



УДК 621.318.12

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В РАЗНЫХ ОТРАСЛЯХ

В.И. Король, И.М. Ланкин, М.В. Ланкин corolvalera@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В статье сделан разбор сфер применения постоянных магнитов из магнитотвердых материалов, таких как ферриты, алюминий-никель-кобальт, а также редкоземельных материалов неодим-железо-бор и самарий-кобальт. Различные магнитотвердые материалы сравниваются по магнитным параметрам и эксплуатационным особенностям.

Ключевые слова: постоянный магнит, индустрия, отрасли производства, редкоземельные материалы, NdFeB, SmCo, ферриты, AlNiCo, магнитотвердые материалы

APPLICATION OF PERMANENT MAGNETS IN VARIOUS INDUSTRIES

V.I. Korol, I. M. Lankin, M.V. Lankin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

The article analyzes the fields of application of permanent magnets made of magnetically hard materials, such as ferrites, aluminum-Nickel-cobalt, as well as rare-earth materials neodymium-iron-boron and samarium-cobalt. Various hard magnetic materials compared magnetic parameters and operational characteristics

Keywords: permanent magnet, industry, industries, rare earth materials, NdFeB, SmCo, ferrites, AlNiCo, hard magnetic materials

В настоящее время постоянные магниты используются повсеместно – в составе измерительных приборов, металлодетекторов, генераторов, электродвигателей, сепараторов и фильтров, гидравлических систем, химических и атомных реакторов. Постоянные магниты используют в сферах нефте- и газодобычи, строительстве, а также медицинской и машиностроительной отрасли, включая военно-ориентированное производство.

Одним из самых старых, но всё ещё актуальных видов постоянных магнитов, является сплав *AlNiCo* (альнико – международное, ЮНДК – российское наименование), которые были впервые разработаны в 30-х годах 20-го века. Слово *AlNiCo* является аббревиатурой, образованной объединением химических символов алюминия, никеля и кобальта. Магниты на основе сплава *AlNiCo* по-прежнему играют важную роль из-за их способности выдерживать высокую температуру до 550 °С, а также высокой температурной и временной стабильности по сравнению с ферритовыми и редкоземельными магнитами [1].

Постоянные литые магниты имеют довольно широкое применение в изготовлении электродвигателей, акселерометров, гироскопов, датчиков угловой скорости, электромашин малой мощности, электросчетчиков, различных автомобильных датчиках, устройствах электрозащитного отключения, поляризованных реле, герконов, акустического оборудования и прочего. Помимо электротехнических приборов, постоянные магниты *AlNiCo* нашли широкое распространение в сфере декорирования и детских развлечений наряду с ферритовыми магнитами.

К литым магнитам относятся также магниты на основе сплава *FeCrCo*, их отличает стабильность магнитных свойств. Однако такие магниты обладают низкой коэрцитивной силой относительно магнитов, созданных на основе редко-



земельных материалов. Для магнитов $AlNiCo$ минимальная коэрцитивная сила по магнитной индукции составляет 40 кА/м в соответствии с ГОСТ 17809-72 [2], а для $FeCrCo$ – минимум 20 кА/м в соответствии с ГОСТ 24897-81 [3]. Прецизионный сплав железо-никель-алюминий может иметь коэрцитивную силу до 145 кА/м. Допускается применение сплавов с магнитными параметрами, превышающими верхние значения диапазонов, указанных в ГОСТ.

На рисунке 1 представлены характеристики размагничивания литых магнитотвердых материалов [2].

Пунктиром выделены области максимального энергетического произведения, границы которых указаны в кДж/м³.

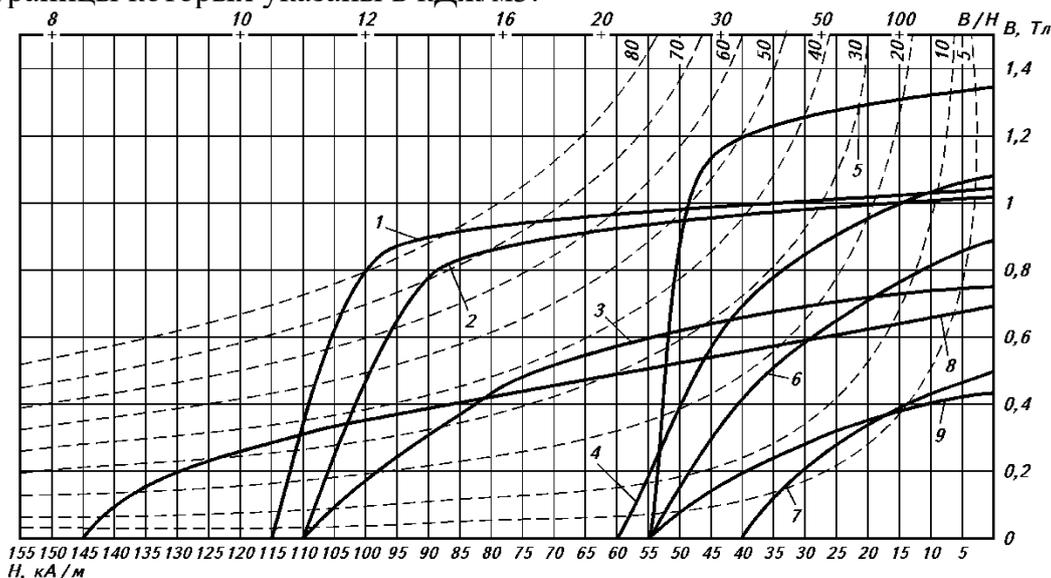


Рис. 1 - Характеристики размагничивания литых магнитотвердых материалов.

1 - ЮНДКТ5АА; 2 - ЮНДКТ5БА; 3 - ЮНДКТ5; 4 - ЮНДК; 5 - ЮНДКБ;
6 - ЮНДКИ; 7 - ЮНД4; 8 - ЮНДКТ8; 9 - ЮНТС

Магнитотвердые материалы, такие как $NdFeB$ и $SmCo$, созданные на основе редкоземельных металлов, отличаются повышенными магнитными свойствами. Коэрцитивная сила по магнитной индукции для неодимовых магнитов составляет до 2400 кА/м и выше, и до 1300 кА/м для самарий-кобальтовых. Особенностью магнитов на основе сплава $NdFeB$ является возможность изготавливать магниты различных форм и размеров, их стойкость к размагничиванию, высокие магнитные характеристики и невысокая стоимость. Если ферритовый магнит может потерять все магнитные свойства за 7-10 лет – неодимовый потеряет только 1 % энергии за 100 лет.

Магнитные характеристики редкоземельных материалов и особенности эксплуатации позволяют им быть широко распространёнными в приборостроении – постоянные магниты неодим-железо-бор встречаются в компьютерном оборудовании, датчиках, регуляторах, электросчетчиках, станочном оборудовании, магнитных линзах, магнитных тормозах, магнитных системах для удержания плазмы, магнитных сепараторах, магнитных дефектоскопах. Также неодимовые магниты применяются в иных сферах – в составе электродвигателей постоянного тока, генераторов, магнитных зажимов и захватов и так далее.



С применением неодимовых магнитов изготавливаются магнитные муфты, которые обеспечивают бесконтактную передачу крутящего момента с ведущего вала на ведомый.

На рисунке 2 изображена стандартная магнитная муфта, которая состоит из: ведущей полумуфты, ведомой полумуфты и разделительного экрана. Магнитное решение для передачи крутящего момента, в отличие от классических механических решений, не испытывает никакого износа и защищает двигатель от перегрева и выхода из строя. Такие устройства широко применяются в химических циркулярных насосах, химических реакторах, котлах реакторов АЭС, а также в нефте- и газоперерабатывающей промышленности.

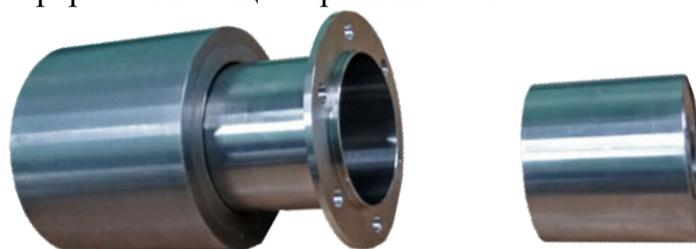


Рис. 2 – Магнитная муфта

Магнитные сепараторы представлены широким спектром устройств различных форм и размеров. На рисунке 3 показаны различные виды магнитных сепараторов, которые применяются в деревообрабатывающей, горно-обогатительной, металлургической, химической, угольной, пищевой, зернодобывающей, стекольной и резинотехнических отраслях. Сепараторы с ручной очисткой делятся на: 1 – шкивные, 2 – стержневые, 3 – подвесные плитные, 4 – колонные, 5 – барабанные сепараторы и 6 – магнитные флокуляторы.



Рис. 3 – Магнитные сепараторы

Магнитные свойства неодимовых магнитов изображены на рисунке 4 [4].

Более высокие магнитные свойства по сравнению с литыми и ферритовыми магнитами, позволяют изготавливать устройства с меньшим весом и размером, а значит и большим коэффициентом полезного действия. К недостаткам неодимовых магнитов можно отнести относительно невысокую рабочую темпе-



ратуру (до $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$) и неустойчивость к агрессивным средам, которая устраняется нанесением, как правило, многослойных, защитных покрытий из цинка, меди, никеля или эпоксидной смолы.

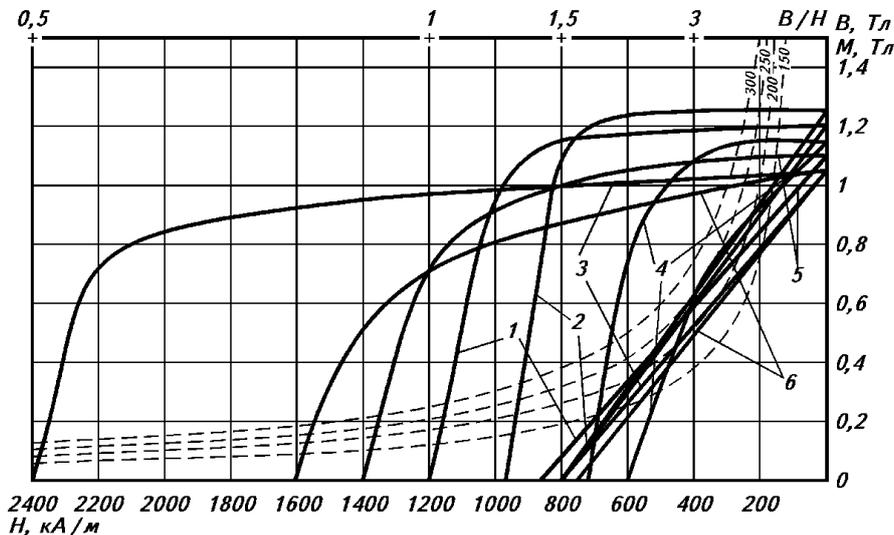


Рис. 4 - Характеристики размагничивания неодимовых материалов.

1 - Нм28Ди4Р; 2 - Нм32РА; 3 - Нм25Ди8Р; 4 - Нм36Р; 5 - Нм32Ди4Р; 6 - Нм30Ди6Р

Производство неодимовых магнитов – сложный и высокотехнологичный процесс, требующий соблюдения состава и содержания примесей. Мелкий порошок $NdFeB$, получаемый методом многоступенчатого дробления, запрессовывается в форму, затем спекается, режется и шлифуется до нужного размера. Все операции, кроме окончательной механической обработки, проводятся без доступа кислорода в вакууме или атмосфере инертных газов. Направление намагниченности задается текстурой магнитного поля во время прессования [1].

Магниты на основе сплавов кобальта с редкоземельными металлами $Sm2Co17$ и $SmCo5$ являются вторыми наиболее мощными магнитами после магнитов из $NdFeB$. Спеченные магниты $Sm2Co17$ и $SmCo5$ были разработаны в 1960-х и 1970-х годах соответственно. Технология изготовления магнитов на основе $SmCo$ схожа с порошковой технологией изготовления магнитов из $NdFeB$.

Самарий-кобальтовые магниты характеризуются высокими магнитными свойствами, отличной коррозионной устойчивостью и хорошей стабильностью параметров при температурах до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает им преимущества на высоких температурах перед магнитами $NdFeB$. По магнитной составляющей мощнее ферритовых, но слабее неодимовых магнитов, что делает их использование более обоснованным для агрессивных сред.

Характеристики размагничивания самарий-кобальтовых магнитов изображены на рисунке 5 [5].

Самарий-кобальтовые магниты используются в устройствах, где требуются магниты небольших размеров с высокой энергией, высокой температурой окружающей среды и температурной стабильностью. Кроме этого, эти магниты обладают высокой радиационной стойкостью, что делает их незаменимыми в авиационной и ракетной технике. Значение температурного коэффициента индукции (Br) составляет $-0,035\%/^{\circ}\text{C}$ в отличие от $-0,11\%/^{\circ}\text{C}$ для магнитов на основе $NdFeB$.

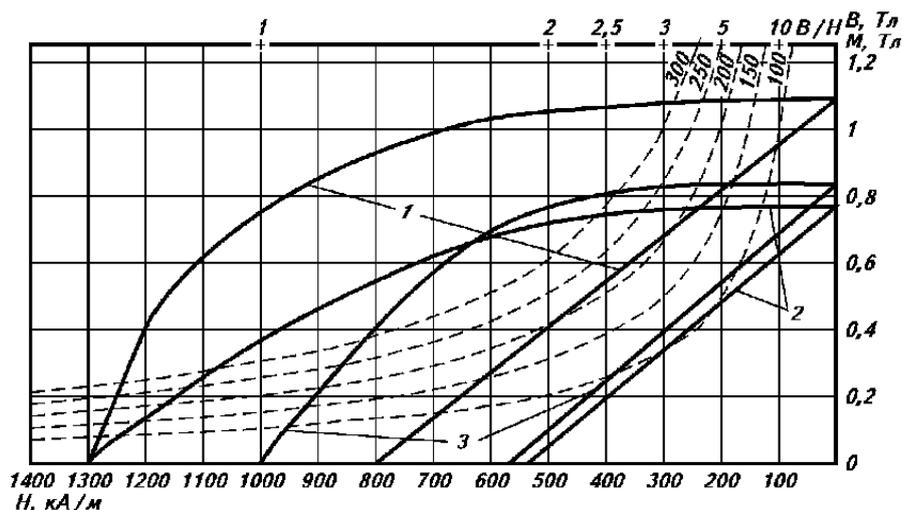


Рис. 5 - Характеристики размагничивания самарий-кобальтовых материалов.
1 - KS25ДЦ225; 2 - KS37; 3 - KS37A

Спеченные постоянные магниты $SmCo$ применяются при разработке специальных устройств с особо жесткими требованиями к объему и весу изделия, например, самариевые магниты можно встретить в составе вентильных двигателей погружных насосов, магнитов дефектоскопов, работающих в сероводородной среде, а также генераторах, магнитных линзах и магнитных муфтах [1].

Помимо этого, самариевые магниты нашли широкое применение в военной промышленности: спутниковые навигационные системы, оптические системы, стабилизаторы ракетно-бомбового вооружения и системы наведения.

Самарий-кобальтовые магниты имеют более высокую стоимость относительно других видов постоянных магнитов, а также имеют низкую стойкость к механическим воздействиям.

На рисунке 6 представлена сравнительная характеристика магнитной энергии BH для разных видов и марок магнитных материалов, изобретенных в разные годы. Как можно видеть, наиболее высокими магнитными характеристиками отличаются марки неодимовых магнитов.

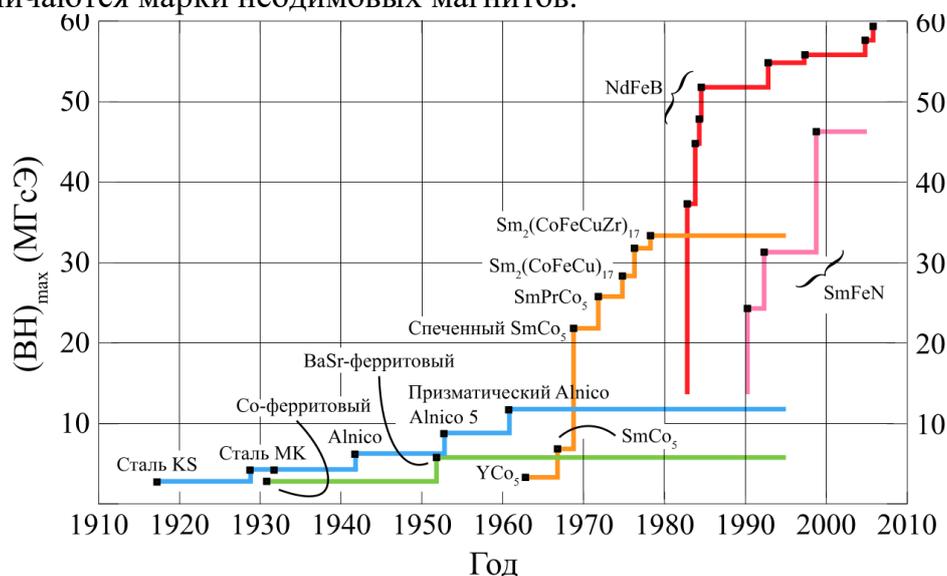


Рис. 6 – Магнитная энергия BH различных магнитных материалов



На рисунке 7 представлена сравнительная характеристика марок самариевых, неодимовых магнитов и литых магнитов $AlNiCo$ по показателям остаточной индукции B_r , коэрцитивной силы H_c и магнитной энергии BH .

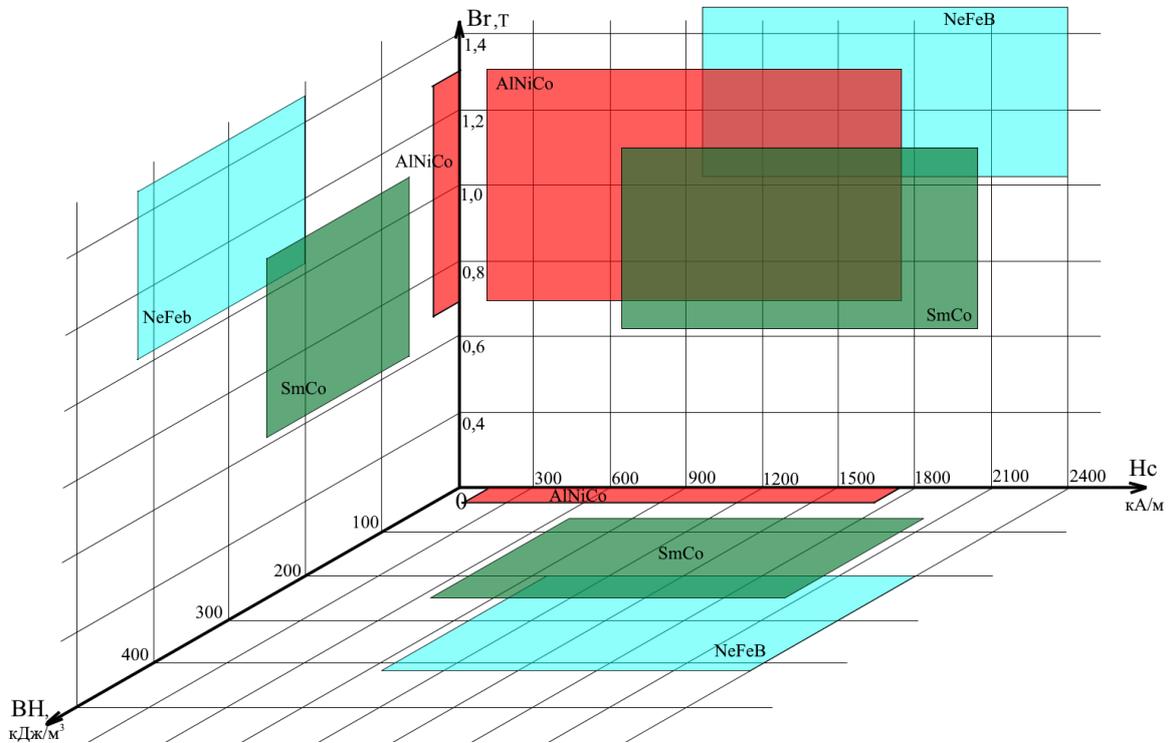


Рис. 7 – Характеристики различных магнитотвердых сплавов

Список использованных источников

1. НПО «Магнетон» - разработчик и производитель постоянных магнитов и систем на их основе: сайт. Владимир, 2020. URL: <http://tdmagneton.ru> (дата обращения: 20.10.2020)
2. ГОСТ 17809-72 Материалы магнитотвердые литые. Марки (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) // М.: Издательство стандартов, 2001. Электронный вариант документа на сайте «Техэксперт». – 6 с.
3. ГОСТ 24897-81 Материалы магнитотвердые деформируемые. Марки (с Изменениями N 1, 2, 3) // М.: Издательство стандартов, 1989. – 15 с.
4. ГОСТ Р 52956-2008 Материалы магнитотвердые спеченные на основе сплава неодим-железо-бор. Классификация. Основные параметры // М.: Издательство стандартов, 2009. – 14 с.
5. ГОСТ 21559-76 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки (с Изменениями № 1, 2, 3) // М.: Издательство стандартов, 1991. – 35 с.