

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В САМОЛЕТНЫХ АГРЕГАТАХ

Матусевич В.А., Гетья А.Н., Шарабан Ю.В.
ГП "Харьковское агрегатное конструкторское бюро"
Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 132, ГП "ХАКБ"
тел. (057) 707-02-71, факс (057) 707-02-73, E-mail: khadb@ukr.net

В статті розглянуті авіаційні агрегати, в яких застосовуються постійні магніти. Наведені умови експлуатації цих агрегатів та постійних магнітів. Вказані технічні вимоги до матеріалів постійних магнітів з урахуванням їх конкретного використання в авіаційній техніці.

В статье рассмотрены авиационные агрегаты, в которых применяются постоянные магниты. Приведены условия эксплуатации этих агрегатов и постоянных магнитов. Указаны технические требования к материалам постоянных магнитов с учетом их конкретного использования в авиационной технике.

В электротехническом оборудовании современного самолета применяется большое количество постоянных магнитов различных типов. Так, например, постоянные магниты Fe-Ni-Al используются в коллекторных электродвигателях постоянного тока, в подвозбудителях синхронных генераторов, различных устройствах сигнализации, в датчиках линейных и угловых перемещений, для создания магнитного поля в электромагнитных устройствах автоматики, в магнитных ловушках продуктов износа гидравлических и топливных агрегатов.

Широкое применение постоянных магнитов Fe-Ni-Al обусловлено их высокой рабочей температурой, они способны удовлетворительно работать при температурах до 600°C [1]. Однако эти магниты слабо устойчивы к механическим воздействиям, а также для получения высокой индукции в воздушном зазоре требуют большой трудоемкости при сборке изделий. Например, коллекторные электродвигатели с такими магнитами необходимо собирать, применяя, так называемое, охранное кольцо, что существенно затрудняет сборку, пересборку и их ремонт. Также в коллекторных электродвигателях авиационных агрегатов и других устройствах нашли применение материалы Fe-Cr-Co и магнитотвердые ферриты. Эти материалы имеют относительно низкую стоимость по сравнению со сплавами на основе редкоземельных металлов.

Параметры некоторых магнитотвердых материалов, в соответствии с [5 – 8], приведены в табл. 1.

Несмотря на относительно высокие значения энергетического произведения у литых сплавов, не представляется возможным проектирование электрических машин, по своим массогабаритным показателям превосходящих машины с электромагнитным возбуждением [14]. Достижение высоких энергетических и массогабаритных показателей электротехнических устройств, что в авиации имеет решающее значение, возможно только с постоянными магнитами, обладающими высокими магнитными свойствами, такими как сплавы Nd-Fe-B и Sm-Co. Эти магниты находят применение в магнитных системах вентильных электродвигателей насосных станций, интегрированных электромеханических следящих приводах управления поверхностями самолета, в дозаторах топлива топливных систем для поворота дозирующего золотника, в датчиках положения ротора и др.

Авиационным электрическим машинам с постоянными магнитами и самим магнитам посвящен ряд работ [1 – 5], [13], однако уделено мало внимания со-

временным требованиям, предъявляемым к постоянным магнитам, применяемым в авиационной технике.

Таблица 1

Марка магнита	(BH) _{max} , кДж/м ³	H _{CB} , кА/м	B _r , Т
Литые сплавы на железо-никель-алюминиевой (Fe-Ni-Al) основе			
ЮНДК35Т5БА	72	110	1,02
ЮНДК35Т5АА	80	115	1,05
ЮНДК40Т8АА	64	145	0,9
ЮН13ДК25БА	56	48	1,4
Деформируемые материалы на основе сплавов железа, хрома и кобальта (Fe-Cr-Co)			
25Х15КА	32	40	1,2
23Х15К5ФА	38	42	1,25
Магнитотвердые ферриты			
24БА210	24	205	0,37
28БА190	28	185	0,39
22БА220	22	215	0,36
Спеченные материалы на основе кобальта с редкоземельными металлами (Sm-Co)			
КС25ДЦ-240	240	780	1,1
КС25ДЦ-225	225	760	1,06
КС37А	130	560	0,82
Сплавы на основе редкоземельных металлов типа Nd-Fe-B			
NQ3G	245	855	1,14
NQ3F	280	915	1,23
Нд35Р-1	215	820	1,1
Нд35Р-5	318	892	1,3
МАЕР 30НLs	225	900	1,14
МАЕР 33НsLs	270	930	1,18

Цель настоящей работы заключается в описании авиационных агрегатов различных систем самолета, в которых применяются постоянные магниты, критериев выбора материала магнита и в выработке технических требований к современным материалам постоянных магнитов в зависимости от их конкретного применения на самолете.

На предприятии ГП "ХАКБ" разрабатываются агрегаты для различных систем летательных аппаратов. В том числе насосные станции с приводом от вентильных или асинхронных электродвигателей для гидравлической системы самолета, автономные рулевые электрогидравлические и электромеханические приводы для системы управления полетом, агрегаты для топливной системы самолета и др.

К этим агрегатам предъявляется высокие требования по прочности и устойчивости к различным внешним воздействующим факторам, таким как вибрация, удары,

действие ускорения, высокие и низкие температуры, повышенная влажность, действие различных агрессивных сред. Эти факторы могут действовать как по отдельности, так и совместно. Такой сложный комплекс воздействий на агрегат практически невозможно создать в наземных условиях и решающими являются летные испытания в составе объекта. Поэтому все более высокие требования предъявляются к применяемым материалам и, в частности, к постоянным магнитам.

Высокая коррозионная стойкость - одно из требований, которому должны удовлетворять постоянные магниты. Применение постоянных магнитов из материала Nd-Fe-B является одним из перспективных направлений совершенствования характеристик вентиляльных электродвигателей с постоянными магнитами. Однако, существенным фактором, ограничивающим сферу применения постоянных магнитов на основе сплавов системы Nd-Fe-B, является их высокая склонность к коррозии под воздействием влаги [10].

У самолетов – амфибий, например, Бе-200, Бе-103, ЛА-8 и др, которые могут совершать посадку на поверхность водоемов, некоторые агрегаты могут подвергаться непосредственному воздействию пресной или морской воды.

Прямое попадание воды возможно на агрегаты системы управления полетом (приводы закрылков, элеронов, интерцепторов, руля высоты и направления), а также шасси. При этом агрегаты должны исправно выполнять свои функции и не создавать аварийных ситуаций.

Одним из путей повышения коррозионной стойкости постоянных магнитов этого класса является использование защитных покрытий.

Требования к самолетам и агрегатам в части обеспечения ресурса и срока службы постоянно возрастают и, следовательно, материалы постоянных магнитов должны сохранять свои характеристики в течение многих лет эксплуатации (не менее 30 лет).

Для привода насоса в насосных станциях гидравлических систем применяются вентиляльные электродвигатели. Конструктивно вентиляльный электродвигатель представляет собой электромеханическую часть и блок управления [11]. Электромеханическая часть состоит из статора, закрепленного в корпусе и ротора, на котором размещены постоянные магниты. Магниты на магнитопроводе ротора удерживаются при помощи клея и бандажа из немагнитного материала, например, стали 12Х18Н10Т. На рис. 1 показан внешний вид роторов вентиляльных электродвигателей на постоянных магнитах различной мощности разработки ГП "ХАКБ".

Режимы работы более жесткие, а тепловые нагрузки у авиационных электродвигателей значительно выше, чем у электродвигателей общепромышленного назначения. Активные части малогабаритных вентиляльных электродвигателей мощностью в несколько киловатт и имеющих удельную мощность 1 кВт/кг, при работе могут нагреваться до 180°C.

Существенным фактором, который может ограничить область применения существующих постоянных магнитов Nd-Fe-B является высокая температура окружающей среды. В агрегатах топливных систем, расположенных непосредственно на маршевом двигателе, температура окружающего воздуха составляет около 125°C, а в отдельных местах может достигать 200°C, что может привести к размагничиванию магнитов и отказу агрегата. Поэтому одним из требова-

ний к постоянным магнитам является сохранение параметров при высоких температурах.



Рис. 1. Ротора вентиляльных электродвигателей

В ГП "ХАКБ" с целью выяснения возможности применения проведены температурные испытания постоянных магнитов из материала Nd-Fe-B различных марок.

В качестве образцов для испытаний были отобраны постоянные магниты различных конфигураций в виде сегментов и полых цилиндров, различных производителей. Внешний вид образцов и точки замера магнитной индукции приведены на рис. 2.

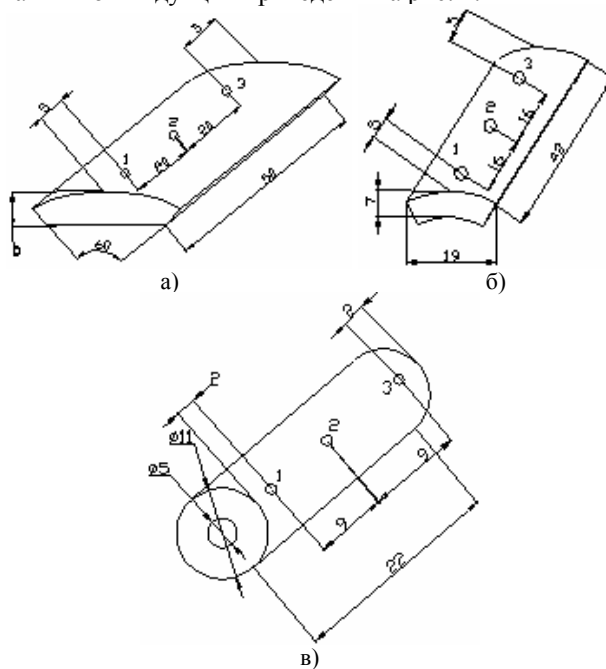


Рис. 2. Постоянные магниты вентиляльных электродвигателей различной мощности а) Образец № 1 (МАЕР 33HsLs), б) Образец № 2 (NQ-3G), в) Образец № 3 (МАЕР 30HLs)

Образцы были подвергнуты ступенчатому нагреву до температуры 220°C с замером магнитной индукции на поверхности через каждые 20°C при непосредственном воздействии температуры, и после остывания до температуры соответствующей нормальным климатическим условиям (НКУ). На рис. 3 и 4 приведены результаты испытаний на нагревание постоянных магнитов.

Из графиков видно, что без изменения магнитной индукции постоянные магниты держат температуру до 100°C. Повышение температуры выше 100°C влечет необратимые изменения магнитной индукции образцов №№ 2, 3. Образец № 1 выдерживает температуру 200°C без необратимых изменений магнитной

индукции на поверхности магнита. Температура 300°C является достаточной для размагничивания постоянного магнита Nd-Fe-B.

Одним из перспективных направлений является применение высококоэрцитивных магнитов в бортовых системах генерирования электрической энергии. Современный самолетный генератор переменного тока постоянной частоты, состоит из подвозбудителя, возбудителя и основного генератора, собранных в одном корпусе, а также электронного блока регулирования. С

развитием радиоэлектронной техники и появлением новой элементной базы представляется целесообразным уменьшить массу генератора за счет применения высококоэрцитивных постоянных магнитов.

Однако при применении высококоэрцитивных постоянных магнитов непосредственное управление потоком возбуждения генератора является проблематичным, и необходимо переходить на регулирование выходного напряжения при помощи электронного преобразователя.

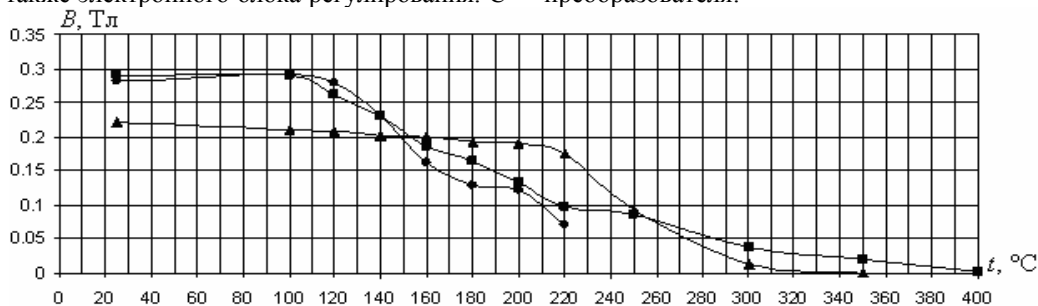


Рис. 3. Сравнительные данные средних значений магнитной индукции на поверхности постоянных магнитов при воздействии повышенной температуры

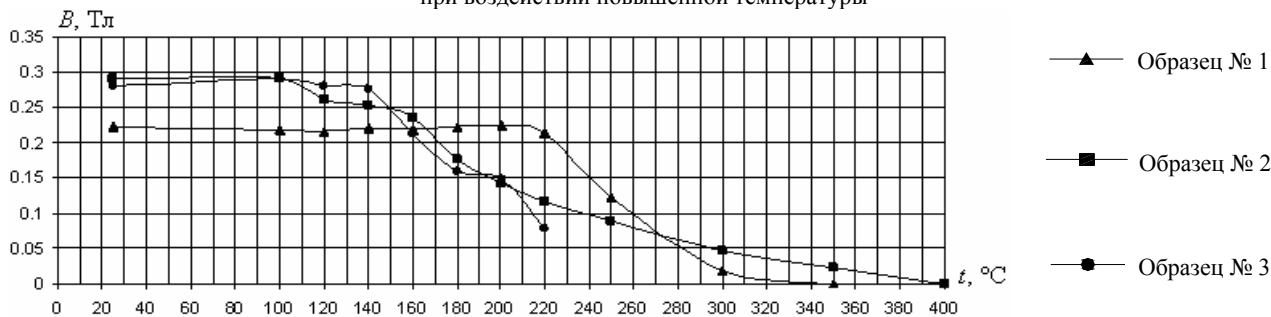


Рис. 4. Сравнительные данные средних значений магнитной индукции на поверхности постоянных магнитов после воздействия повышенной температуры и остывания до температуры НКУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Авиационные агрегаты разработки ГП "ХАКБ" с постоянными магнитами успешно эксплуатируются на отечественных и зарубежных самолетах.

2. Применение современных высококоэрцитивных постоянных магнитов Sm-Co и Nd-Fe-B позволяет существенно повысить энергетические и массогабаритные показатели вентиляльных электродвигателей, повысить коэффициент момента электрохимических преобразователей, что существенно улучшает динамические показатели агрегатов.

3. Для широкого и повсеместного их применения в авиационной технике необходимо выполнение следующих условий:

- увеличение максимальной рабочей температуры (для магнитов из Nd-Fe-B);
- повышение термостабильности свойств постоянных магнитов;
- увеличение коррозионной стойкости;
- получение постоянных магнитов необходимых размеров без дополнительной механической обработки;
- повышение механической прочности материала;
- снижение стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Д.А. Бут. Бесконтактные электрические машины. - М.: Высшая школа, 1990. - 415с.
 [2] В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. Электрические генераторы с постоянными магнитами. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 279с.

[3] А.Г. Сливинская, А.В. Гордон. Постоянные магниты. - М.: Энергия, 1965. - 127с.
 [4] В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев, А.Н. Ларионов. Электрические машины с постоянными магнитами. - М.: Энергия, 1964. - 479с.
 [5] В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. Авиационные генераторы переменного тока комбинированного возбуждения. - М.: Машиностроение, 1977. - 95с.
 [6] ГОСТ 17809 Материалы магнитотвердые литые. Марки и технические требования.
 [7] ГОСТ 24897 Материалы магнитотвердые деформируемые. Марки, технические требования и методы контроля.
 [8] ГОСТ 24063 Ферриты магнитотвердые. Марки и основные параметры.
 [9] ГОСТ 21559 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки, технические требования и методы контроля.
 [10] Бюллетень МООСМ "Магнитное общество" Российской Федерации. Том 5. № 1. 2004.
 [11] Гетья А.Н., Шарaban Ю.В. Перспективы применения вентиляльных электродвигателей в агрегатах авиационной техники // Электротехника и электромеханика. - 2003. - № 1. - С. 26-28.
 [12] Ю.М. Пятин и др. Материалы в приборостроении и автоматике. - М.: Машиностроение, 1982. - 528с.
 [13] Г.К. Ягола, Р.В. Спиридонов. Определение характеристик современных высококоэрцитивных материалов и магнитов из них в разомкнутой магнитной цепи.
 [14] А.Н. Ледовский. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 168с.

Поступила 14.11.2005