

ВОПРОСЫ СЕРТИФИКАЦИИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ.

К.т.н. Надеев М.М , ООО «Полимагнит» , Москва (Группа компаний АМТ&С)

1. Введение

Постоянные магниты (ПМ) широко применяются в различных узлах военной техники (ВТ) – датчиках, электродвигателях, магнитных системах СВЧ приборов и др. и существенно влияют на эксплуатационные характеристики ВТ и ее надежность.

Поэтому сертификация ПМ должна обеспечивать достоверный и объективный контроль эксплуатационных параметров ПМ и их надежности (стойкость к внешним воздействиям, сохраняемость, срок службы). Показатели ПМ должны отвечать требованиям ВТ, в которых они применяются.

На деле при поставках ПМ это выполняется не в полном объеме, а именно:

1. Требования к параметрам и показателям надежности ПМ не соответствуют соответствующим требованиям, установленным для ВТ.
2. Важные эксплуатационные параметры и показатели надежности ПМ не проверяются.

В результате при использовании магнитов в ряде случаев приходится сталкиваться с ситуацией, когда постоянные магниты могут, например корродировать (рис.1) или даже разрушаться (рис.2), выводя устройство с постоянными магнитами из строя.

Эти проблемы и обсуждаются в статье.

В ВТ в основном применяются ПМ, изготовленные из сплава SmCo или литые типа ЮНДК. Требования к мате-



Рис. 2 Разрушение магнита из сплава SmCo после 1 года эксплуатации в морской воде.

риалам данного типа заданы в [1,2] соответственно, а к магнитам, изготовленным из этих материалов – в [3,4] соответственно. Указанные проблемы будут рассмотрены на примере существующей ситуации с SmCo ПМ. Один из основных поставщиков SmCo для ВТ в РФ является в настоящее время предприятие ООО «ПОЗ «Прогресс» г.В. Пышма. Поэтому для конкретности в статье используются технические условия на ПМ, разработанные ПОЗ и согласованные с АО «Исток» г.Фрязино [5] и ОАО НПЦАП г.Москва [6].

Общий, на наш взгляд, подход к вопросу сертификации ПМ для ВТ должен быть основан на том, что все эксплуатационные параметры ПМ и показатели их надежности должны объективно проверяться поставщиком и соответствовать требованиям к ВТ, в которой ПМ применяются.

Требования по надежности и стойкости к внешним воздействиям, предъявляемые к ВТ, зависят от назначения ВТ и регламентированы в [7,8].

2. Проверка эксплуатационных параметров магнитов

На функциональные параметры магнитов влияют магнитные параметры материала магнита (параметры петли гистерезиса B_r , H_{cb} , H_{cj} , $(BH)_{max}$, температурные коэффициенты обратимых изменений B_r , H_{cb} , H_{cj}), термостабилизация магнитов. При поставках



Рис. 1 Коррозия магнитов из сплава ЮНДК (кольца) и NdFeB (блок) при эксплуатации

ПМ для ВТ для обеспечения надежности изделий ВТ эти параметры должны в полном объеме контролироваться для каждой партии поставки.

Однако в ГОСТ на магниты [3,4] измерение магнитных параметров материала не регламентировано. Предписано измерение магнитного потока или магнитной индукции в контрольной магнитной системе (КМС), но требования к КМС отсутствуют. По сути, требования по контролю магнитных параметров ПМ по ГОСТ являются рамочными и основной регламент переносится на ТУ.

ТУ обычно разрабатываются поставщиком ПМ и согласовываются с Заказчиком. Практически во всех ТУ предписанный объем контроля магнитных параметров не является полным, не включает контроль Поставщиком всех функционально значимых для Заказчика параметров или вообще переносит обязанность такого контроля параметров магнитов на Заказчика. Часто контроль магнитных параметров материала магнитов в ТУ [6] отнесено к периодическим испытаниям и, следовательно, не проводится для каждой партии поставки магнитов.

Ряд важных параметров магнитов не контролируется совсем. Так, заявленной в п.1.5.1 [6] особенностью ПМ является уменьшенное (по сравнению со стандартными магнитами из $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) значение температурного коэффициента магнитной индукции. Но в п.3.9 сообщается, что ТКИ проверяет не Изготовитель ПМ, а Заказчик на своем оборудовании и сообщает результаты проверки Изготовителю.

Другой пример: согласно п.1.6-1.7 [6], магниты должны поставляться Заказчику термостабилизированными, но факт проведения термостабилизации при проведении приемки ПМ Изготовителем не предусмотрены. Но отсутствие термостабилизации магнитов может привести к снижению их параметров при эксплуатации и ухудшению характеристик изделий ВТ с ПМ.

Ни в одном из действующих ТУ не заданы требования к разбросу параметров ПМ в партии. Как правило, задаются только требования к магнитным параметрам материала магнита (параметры петли гистерезиса) и магнитов (поток, индукция) – их значения должны быть не менее заданных в ТУ значений. Но для многих изделий ВТ с ПМ разброс параметров ПМ в партии должен быть регламентирован, иначе это может привести к снижению характеристик изделия. Так, в электродвигателях – к биениям выше нормы, сбоях системы управления, в магнитных системах ЭВМ СВЧ приборов – к расфокусировке электронных потоков, в датчиках – к некорректным сигналам.

3. Проверка стойкости ПМ к внешним воздействиям, сохраняемости и срока службы.

Изделия ВТ с ПМ должны быть стойкими к воздействию климатических, механических и биологических внешних воздействующих факторов (ВВФ), агрессивных сред. По степени стойкости к ВВФ в зависимости от условий применения изделия подразделяются на 6 групп унифицированного исполнения [8]. Значения ВВФ зависят



от группы, соответственно и требования к стойкости ПМ должны соответствовать требованиям к стойкости изделия, в котором ПМ применяется.

В Табл.1 приведены требования к ВВФ, указанные в ГОСТ на магнит [3], ТУ на магнит [5] и ГОСТ [8] на ВТ.

Естественным и обоснованным представляется соответствие требований к стойкости к ВВФ для магнитов и для ВТ, в которых магниты применяются. Однако фактически такого соответствия по ряду ВВФ нет: по относительной влажности, давлению, вибрациям, ударам.

Проверка стойкости магнитов к ВВФ также не производится Изготовителем, а согласно [3,5] возложена на Заказчика.

Такие важнейшие показатели надежности магнитов, как срок сохраняемости магнитов и гарантийный срок согласно [3,5] гарантируются технологией изготовления и не подлежат проверке. Хотя это возможно делать путем ускоренных испытаний ускорением ВВФ [9].

4. Ситуация с проверкой стойкости постоянных магнитов к внешним воздействиям.

Проверка стойкости постоянных магнитов к внешним воздействиям, как указано выше, в ГОСТ на магниты и ТУ поставщиков перекладывается на потребителя.

Систематические исследования стойкости постоянных магнитов к внешним воздействиям были ранее проведены для магнитов из литых материалов типа ЮНДК и изложены в [10] в 1971 г. Но в современной военной технике применяются, в основном, высокоэнергетические магниты из сплава Sm-Co и NdFeB . ГОСТы на эти магнитотвердые материалы и ТУ поставщиков перекладывают проверку стойкости магнитов на потребителей.

Лишь в редких случаях поставщики магнитов по требованию заказчика, проводят такие испытания для магнитов конкретных марок материалов и размеров.

В [11] проверена стойкость магнитов $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ только к механическим воздействиям.

Табл. 1. Требования стойкости ПМ к ВВФ.

№ пп	Параметр	[5] ТУ 48-4-415-79 6 Магниты дисковые и пластинчатые (ПОЗ-Исток)	[3] ГОСТ 24936-89 Магниты постоянные для электротехнических изделий. Общие технические требования	[8] ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 Классификация по условиям применения и требования стойкости к внешним воздействующим факторам.
1	Требования к стойкости к внешним воздействиям	Критерием устойчивости является стабильность параметров согласно п.п. 1.1.4, 1.15 настоящих ТУ. Испытания на стойкость к внешним климатическим и механическим воздействиям не проводятся. Гарантируется технологией.	Виды воздействующих факторов и значения их характеристик устанавливаются в технической документации на магниты конкретных типов. Примечание. Работоспособность магнитов в условиях эксплуатации подтверждается испытаниями в составе комплектуемого изделия, проводимых предприятием-потребителем.	
1.1	температура окружающей среды	от -60° до +160°		5У: +125° 6У: по ТЗ
1.2	смена температур от -60° до +160°	-60° до +160° (не менее 5 циклов)		
1.3	относительная влажность воздуха	до 98% при температуре +35°		100% при +35
1.4	давление окружающей среды	от 1.3x10 ⁻⁴ Па (10-6 мм.рт.ст.) до 106.7 кПа (800 мм.рт.ст.)		Пониженное 0.67x10 ³ Па (5 мм рт ст) Повышенное 2.92x10 ⁵ Па (2207 мм рт ст)
2.	Требования к устойчивости при механических воздействиях		Виды воздействующих факторов и значения их характеристик устанавливаются в технической документации на магниты конкретных типов. Примечание. Работоспособность магнитов в условиях эксплуатации подтверждается испытаниями в составе комплектуемого изделия, проводимых предприятием-потребителем.	
	вибрации в диапазоне частот	от 5 до 2000 Гц с ускорением до 15g		3-6У: 1-2000 Гц, 3У-10g, 4У-20g, 5У-30g 6У: 1-5000 Гц, 40g
	многократных ударов	количестве до 1000 с ускорением до 150g		1У-15g, 2-15 мс 2У- 40g, 2-10 мс 3-6У – 150g, 1-5 мс Длительность действия
	одиночных ударов	ускорением до 500g		1-2У – 1000g 3-4g – 1500g 5У – 3000 g, Длительность действия 0.1-2 мс
	линейных нагрузок	с ускорением до 200g		1У-10g, 2У-20g, 3У-100g, 4У-500g
	синусоидальная вибрация	в диапазоне частот 1...2500 Гц с ускорением до 200 м/с ² (20g). Общая продолжительность воздействия 24 ч.		1У 1-200 Гц, 5g 2У 1-500Гц, 10g 3У 1-2000 Гц, 10g 4У, 1-2000 Гц, 20g 5У 1-2000 Гц, 30g 6У 1-5000 Гц, 40g
	механический удар многократного действия	пиковым ударным ускорением до 1500 м/с ² (150g), длительностью ударного ускорения 1...15 мс, общее количество ударов – 6000		1У: 15g, длит-ность 2-15 мс 2У: 40g, 2-10 мс 3-6У: 150g, 1-5 мс
	линейное ускорение	до 2000 м/с ² (200g)		1У-10g, 2У-20g 3У-100g 4У-500g
3	Требования к сохраняемости			
	Срок сохраняемости магнитов	с вероятностью 95% должен быть не менее 25 лет при хранении в составе изделия. (Соответствие магнитов требованиям п.1.1.10 настоящих ТУ гарантируется технологией изготовления)	Срок сохраняемости магнитов должен быть в пределах полного срока службы. Требования надежности обеспечиваются технологией изготовления магнитов.	

4	Указания по применению и эксплуатации	Запрещается эксплуатация незащищенных магнитов в агрессивных средах	6.2. При эксплуатации во влажной, агрессивной средах или в среде с наличием плесневых грибов магниты должны быть защищены потребителем от коррозии.
5	Гарантии изготовителя	Изготовитель гарантирует соответствие качества магнитов требованиям настоящих ТУ в течении 25 лет.	Полный срок служб устанавливают в технической документации на магниты конкретных типов, минимальные значения выбирают из ряда 8, 10, 12, 15, 17, 20, 25 и 35 лет. Требования надежности обеспечиваются технологией изготовления магнитов.
6	Методы испытаний	1). Испытания магнитов на соответствие требованиям 3,5 настоящих ТУ проводит Заказчик в составе изделия и предоставляет акты испытаний Изготовителю не реже одного раза в год в необходимых случаях. 2). Соответствие магнитов требованиям п.3 настоящих ТУ гарантируется технологией изготовления)	Виды воздействующих факторов и значения их характеристик устанавливают в технической документации на магниты конкретных типов. Примечание. Работоспособность магнитов в условиях эксплуатации подтверждается испытаниями в составе комплектуемого изделия, проводимых предприятием-потребителем

Наиболее полно стойкость РЗМ магнитов к воздействию ряда внешних воздействующих факторов исследована в [12](см.табл.1).

Но при этом не рассматривалась стойкость ПМ к воздействию:

- повышенной и пониженной влажности
- соляного тумана
- гидростатического давления
- атмосферных осадков
- статической и динамической пыли (песку)
- солнечного излучения
- плесневых грибов
- агрессивных и испытательных сред
- компонентов ракетного топлива

В [13] рассмотрены факторы, влияющие на долговечность магнитов из сплавов ЮНДК35 и SmCo5. Приводятся результаты, показывающие снижение магнитных параметров при сочетании ряда внешних воздействующих факторов (температура, влажность), но при этом делается заключение о неизменности магнитных параметров в течении 41.5 года для ЮНДК и 26.5 лет для SmCo5.

В [14] результаты коррозионных испытаний показали, что Sm-Co магниты подвержены коррозии, как при хра-

нении в полевых условиях, так и в отапливаемом складском помещении, однако магнитные свойства изменяются незначительно (~1 –2 %).

Но повторим, что все выше упомянутые результаты получены для магнитов определенного производителя, определенной марки и размеров.

Для магнитов, применяемых в военной технике, испытания на стойкость к внешним воздействиям должны проводиться для каждой партии поставки, проводится систематически и параметры внешних воздействий при испытаниях должны соответствовать требованиям [7,8].

4. Заключение

Рассмотренная выше ситуация с сертификацией магнитов для ВТ показывает, что существует не соответствие между требованиями, предъявляемыми к ВТ и к магнитам, которые в этой ВТ используются. Существующие ГОСТ на магниты [3,4] разработаны давно, до введения действующих ГОСТ РВ [7-9 и др.] и не соответствуют требованиям по надежности к ВТ.

Применяемые при поставках ТУ на магниты не предусматривают контроль всех функциональных параметров магнитов. Контроль, параметров стойкости к ВФ, сохра-

Табл. 2 Соответствие магнитов группам унифицированного исполнения по ГОСТ РВ 20.39.414.1-97

Наименование воздействующего фактора	NdFeB	Sm2Co17
Синусоидальная вибрация	6У	6У
Механический удар одиночного действия	2У	2У
Механический удар многократного действия	2У	2У
Линейное ускорение	4У	4У
Акустический шум	6У	6У
Атмосферное пониженное давление	5У	5У
Повышенное давление	6У	6У
Повышенная температура среды (максимальное значение при эксплуатации)	1У-5У	1У-6У
Пониженная температура	6У	6У

няемости и долговечности магнитов предполагается не Изготовителем, а Заказчиком- соответственно и ответственность за надежность магнитов также перекладывается на Заказчика.

По почти 20 летнему опыту ООО «Полимагнит», Москва (Группа «АМТ&С») такая ситуация, в ряде случаев, приводит к не соответствию технических характеристик изделий ВТ, снижает их надежность.

Решение рассмотренных проблем возможно путем разработки специального ГОСТ для магнитов, предназначенных для использования в ВТ. В таком ГОСТ необходимо регламентировать требования к магнитам в соответствии с требованиями, указанными в ГОСТ на ВТ, предусмотреть контроль всех функционально значимых параметров магнитов и их стойкости к ВФ при каждой партии поставки. Применение такого специализированного ГОСТ позволит гарантировать соответствие параметров магнитов требованиям ВТ.

Литература:

1. ГОСТ 21559-76 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки
2. ГОСТ 17809-72 Материалы магнитотвердые литые. Марки
3. ГОСТ 24936-89 Магниты постоянные для электротехнических изделий. Общие технические требования
4. ГОСТ 25639-83 Магниты литые постоянные. Технические условия
5. ТУ 48-4-415-79 Изм.1-6 Магниты дисковые и пластинчатые
6. ТУ 48-4-0531-394-889 Изм.1-6 Магниты из сплава КСГЭ-26 с регламентируемым температурным коэффициентом индукции
7. ГОСТ РВ 20.39.412-97 Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Общие технические требования.
8. ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Классификация по условиям применения и требования стойкости к внешним воздействующим факторам
9. ГОСТ Р 51372-99 Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость
10. Миткевич А.В. «Стабильность постоянных магнитов», Энергия, 1971
11. Акт №793 от 16.11.2010 г. «О результатах испытаний магнитов постоянных из сплава Sm2Co17 на стойкость к внешним механическим». ООО «Полимагнит» г. Москва.
12. Кутепов А.В. ПАО «НПО «Магнетон» «Стойкость современных магнитных материалов и постоянных магнитов к воздействию внешних факторов». Доклад на конференции «Магниты и магнитные системы» в рамках выставки «Армия 2016».
13. Каневский Е.И., Колпакова Н.Ф. «Долговечность постоянных магнитов», Электронная техника, Сер.1 «Электроника СВЧ», вып.1, 2008
14. Станолевич Г.П., Федосеев Н.В., Тимаков С.А., Борисов С.Л.(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») «Устойчивость редкоземельных SmCo магнитов к длительному хранению. «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ», Том 139, №: 2, 2014

ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ



Группа компаний АМТ&С является признанным лидером на рынке РФ в сфере новых магнитных материалов и технологий, специализируясь на разработке и изготовлении постоянных магнитов и изделий с их использованием, промышленного и оборонного назначения. **ГК АМТ&С** базируется на 35-летнем научно-практическом опыте в области магнетизма и его приложений и сосредоточена на таких современных областях прикладного магнетизма как энергонезависимые отсекающие газовые клапаны, электроприводы и электромашин с предельно высокими значениями КПД до 98.5%, подрессоренных мотор-колесах, научное приборостроение и магнитные системы для управления эндоскопическим капсулами для обследования ЖКТ.