

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ

Савельева М. В., Колтунова Е. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В современной технике автоматизированного электропривода используются муфты, осуществляющие передачу вращающего момента с одного вала на другой. Электромагнитные муфты, срабатывание которых происходит под воздействием электромагнитных сил, наиболее широко распространены из-за удобства их эксплуатации, высокого быстродействия, небольших габаритов, малой потребляемой мощности в управляющей обмотке при значительных управляемых моментах на валу.

В гистерезисных муфтах силы сцепления между ведущей и ведомой частями создаются за счет использования явления остаточного намагничивания магнитотвердых материалов. Одна из частей гистерезисной муфты (как правило, ведомая) несет на себе гистерезисный слой, выполняемый из материала с большими удельными потерями на гистерезис, причем гистерезисный материал муфты предварительно не намагничивается. Другая часть муфты представляет собой многополюсную магнитную систему с полюсами чередующейся полярности. Такие муфты относятся к классу синхронных муфт и обладают несколькими важными преимуществами перед другими типами синхронных муфт: передаваемый с одного вала на другой без механической связи вращающий момент гистерезисной муфты не зависит от скорости вращения; гистерезисная муфта обладает естественными пусковыми характеристиками, что позволяет ведомой части муфты войти в синхронизм с ведущей частью [1].

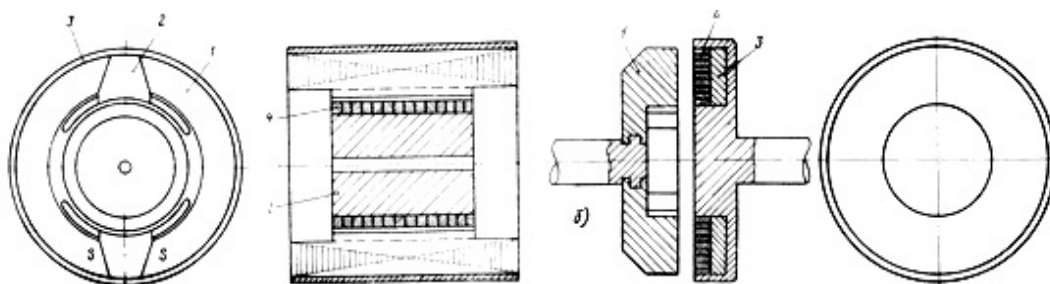
Часто в системах электроавтоматики одновременно с синхронной передачей скорости вращения с одного вала на другой без механической связи требуется ограничение величины передаваемого момента. В этих системах магнитно-гистерезисная муфта одновременно с функцией синхронной муфты осуществляет функцию ограничительного устройства, предохраняющего приводной двигатель, связанный с ведущей частью муфты, от перегрузок. При этом используется свойство гистерезисных муфт сохранять неизменную величину передаваемого момента вне зависимости от скорости вращения. В случае аварийного механического заклинивания исполнительного механизма, когда ведомая часть муфты остановлена, момент, действующий на ведущий вал (ведущую часть муфты), т.е. приложенный к приводному двигателю, равен максимальному гистерезисному моменту муфты. Максимальный гистерезисный момент при синхронном вращении и при заторможенной ведомой части остается неизменным по величине. Поэтому в данном случае достаточно рассчитать максимальный момент муфты в соответствии с перегрузочной способностью двигателя и приводу будет обеспечена автоматическая защита от перегрузок при одновременном осуществлении синхронной передачи в системе без механической связи [2].

В быстродействующих системах автоматического регулирования с целью сокращения времени выбега исполнительных двигателей применяют динамическое торможение. Динамическое торможение довольно просто может быть осуществлено применением гистерезисных муфт с электромагнитным возбуждением и магнитно-гистерезисных муфт, используемых в системах синхронных передач. При этом одна (ведомая) часть муфты затормаживается, а вторая (ведущая) соединяется с валом исполнительного двигателя. Включение такой муфты-тормоза должно производиться одновременно с отключением исполнительного двигателя. Гистерезисная муфта-тормоз эффективно действует в режиме динамического торможения исполнительных двигателей по той причине, что при постоянном магнитном потоке возбуждения гистерезисный момент муфты остается неизменным по величине в процессе снижения

скорости вращения двигателя вплоть до полной остановки. Тогда как в других типах муфт (например, асинхронных) момент зависит от скорости вращения и уменьшается по мере снижения скорости вращения, что приводит к менее эффективному торможению по сравнению с гистерезисной муфтой-тормозом.

Конструктивное исполнение возможно в нескольких вариантах, но наибольшее применение в системах синхронных передач получили магнитно-гистерезисные муфты, возбуждаемые постоянными магнитами, поскольку они бесконтактны, высоконадёжны и просты в эксплуатации, автономны и не требуют источников электроэнергии для их питания.

Магнитно-гистерезисные муфты выполняются в двух основных конструктивных формах: с радиальным воздушным зазором (немагнитным промежутком между ведущей и ведомой частями муфты) и аксиальным (осевым) воздушным зазором. Каждая из этих двух основных форм можно разделить на несколько схем исполнений, то есть можно изменять форму индуктора (тип «звездочка», тип с радиально расположенными магнитами и др.), располагать гистерезисный слой снаружи или внутри. На рис. 1 приведены две конструктивных схемы – с радиальным воздушным зазором, внутренним гистерезисным слоем, двухполюсным индуктором со скобообразными магнитами и с аксиальным воздушным зазором с радиальным намагничиванием. Выбор типа муфты зависит от конкретных условий ее применения.



**Рис. 1.** Конструктивные исполнения магнитно-гистерезисных муфт

Стоит отметить, что магнитно-гистерезисные муфты возможно применять в системах с регулируемой величиной максимального момента передачи. Осуществление данной задачи будет зависеть от изменения величины воздушного зазора в муфтах с аксиальным воздушным зазором, либо посредством осевого смещения индуктора относительно гистерезисного слоя в муфтах с радиальным воздушным зазором [3].

В настоящее время гистерезисные муфты используются в конвейерных производствах, где максимально могут раскрыть свой потенциал в управляемости и возможности точного ограничения момента на валу. Чаще всего гистерезисную муфту применяют на пищевых производствах, где очень важна чистота помещения, т.к. в гистерезисной муфте нет трущихся или масляных частей. Например, выпускаемые в данное время фирмой Magtrol муфты работают только при малых мощностях. В табл. 1 приведена линейка основных выпускаемых гистерезисных муфт, которая наглядно показывает текущий уровень их развития. В частности наглядно видно, что муфты обладают сравнительно небольшими габаритными размерами и потребляют малую мощность, однако имеют низкую частоту вращения и момент на валу [4].

Все материалы, применяемые для изготовления магнитно-гистерезисных муфт, делятся на активные и конструктивные. Именно активные материалы обеспечивают создание момента. К ним относятся магнитотвердые сплавы постоянных магнитов, гистерезисные материалы гистерезисного слоя и магнитомягкие материалы полюсных наконечников, ярма и арматуры гистерезисного слоя.

**Таблица 1.** Характеристики моделей муфт от производителя Magtrol

Модель муфты	Минимальный момент при номинальном токе	Максимальная скорость	Ном. ток	Мощность (при ном. токе)	Диаметр	Длина
	<b>Н · м</b>	об/мин	мА	Вт	см	см
HCS-8	0,06	3600	38	2,5	4	3
HCS-16	0,11	3600	45	4,5	4,2	3,4
HCS-32	0,23	3600	71	7,5	4,2	5,1
HCS-120	0,85	3600	79	7,5	8,1	6,7
HCS-210	1,48	3600	123	11,4	10,1	7,6
HCS-420	2,96	3600	162	13,6	12,9	9,7

Гистерезисный материал, прежде всего, характеризуется удельными потерями на гистерезис, которые зависят от площади петли гистерезисного цикла

$$\rho_z = f(B_{z.m}).$$

Величина удельных гистерезисных потерь существенно зависит от напряженности магнитного поля, в котором происходит перемагничивание гистерезисного материала. Поскольку перемагничивание гистерезисного материала происходит в магнитном поле индуктора, в связи с этим важной характеристикой является отношение  $\rho_z / H_{z.m}$ , где  $H_{z.m}$  – максимальная напряженность магнитного поля. Чем выше данное отношение, тем лучше гистерезисный материал. Материал также определяет гистерезисный момент на ведомом валу в синхронном режиме

$$M_z = \frac{1}{2\pi} p \rho_z V_z \text{ н.м.},$$

где  $p$  – число пар полюсов индуктора муфты;  $V_z$  – объем перемагничиваемого гистерезисного слоя, см<sup>3</sup>.

К магнитотвердым материалам, из которых изготавливается гистерезисный слой гистерезисных муфт, относятся кобальтовые и высокоуглеродистые стали, сплавы тройной системы типа Альни, Альнико, Альниси, и специально созданный сплав для гистерезисных электродвигателей типа викаллой 52КФ (Fe-Co-V). Перспективным направлением развития магнитно-гистерезисных муфт является замена данного сплава на сплав Fe-Cr-Co (Железо-Хром-Кобальт). Впервые магнитотвердые материалы на основе Fe-Cr-Co предложены Х. Канеко в 1971 г., практическое применение получили сплавы 25ХК15, 30ХК25 [5]. Магнитотвердые материалы на основе Fe-Cr-Co обладают удачным и весьма редким сочетанием достаточно высоких магнитных свойств с коррозионной стойкостью, прочностью, пластичностью и относительно низкой стоимостью из-за невысокого содержания дорогостоящего кобальта. В настоящее время исследование данного материала продолжается и находятся способы дальнейшего повышения его характеристик. Для повышения магнитных свойств (коэрцитивной силы, остаточной индукции, магнитной энергии) сплавы системы Fe-Cr-Co легируют молибденом, титаном или медью, проводят термомагнитную обработку (ТМО) и предварительный отжиг. Данные методы работы позволяют увеличить магнитную энергию на 10-20%. Сплавы с анизотропным эффектом ТМО имеют значения коэрцитивной силы до 76 кА/м и максимальную магнитную энергию до 91,2 кДж/м<sup>3</sup> [6]. Разработка оптимального состава и технологии изготовления позволила заменить изготовление постоянных магнитов из сплава ЮДНК 24 на заводе «Электроприбор» (г. Чебоксары) на сплав системы Fe-Cr-Co [7]. Также была показана

возможность обработки данных сплавов всеми видами лезвийных инструментов. Магнитные свойства различных материалов приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Магнитные свойства различных сплавов

Марка сплава	Магнитные свойства		
	Коэрцитивная сила	Магнитная индукция	Эл.-Магнитная Энергия
	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл	$W_{уд}$ , кДж/м <sup>3</sup>
ЮДНК24	46,5 – 52	1,28 – 1,35	16–24
52К13Ф	28	0,75	9,2
52К5Ф	4,0	1,4	–
Кунико I	56	0,34	–
25ХК15	40	1,2	8
30ХК25	62	1,05	7,5
Fe-Cr-Co [(8–10) % Co, (26 – 28) % Cr, (0,3 – 0,7 до 1% Mo)]	41–48	1,25–1,35	36–40
Fe-Cr-Co [(22–23) % Fe, (15–20) % Cr, (3–5) % Co, 8 % W или Mo]	До 76	До 1,46	До 91,2

Применение новых сплавов позволит изменить основные технические параметры гистерезисной муфты, такие как гистерезисный момент и момент под нагрузкой, которые зависят от величины петли гистерезиса. Таким образом, открывается возможность получения ряда новых магнитно-гистерезисных муфт для применения в различных сферах промышленности, где будут необходимы более мощные бесконтактные соединительные устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Таев. И.С. Электрические аппараты автоматики и управления. – М.: «Высшая школа», 1975. – 224 с.
2. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
3. С.Р. Мизюрин, М.А. Ермилов. Проектирование магнитно-гистерезисных муфт. – М.: Ротапринт МАИ, 1966. – 123 с.
4. <http://www.magtrol.com/>
5. Постоянные магниты: Справочник/Альтман А.Б., Герберг А. Н., Гладышев П.А. и др. ; Под редакцией Ю. М. Пятина.– 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1980. – 488 с.
6. Чередниченко И.В. Формирование высококоэрцитивного состояния и магнитные свойства сплавов системы Fe-Cr-Co-Mo.//Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. МИСиС. М. 2010. С. 144.
7. Миляев А.И. Разработка и исследование деформируемых магнитотвердых сплавов на основе системы Fe-Cr-Co с содержанием 8-10 масс. % кобальта.//Дисс. на соиск. ученой степени к.т.н. МИСиС. М. 2004. С. 110.