

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ И МАТЕРИАЛА МАГНИТОПРОВОДА НА СИЛУ СДВИГА МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГЕРМЕТИЧНЫХ МАШИН

Зубков В.Г.¹, Блинков О.Г.²

¹ООО «Вектор», Миасс;

²Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ключевые слова: магнитная система, герметичные машины, сила сдвига, постоянные магниты, магнитопровод, толщина магнита.

Аннотация. Магнитные системы линейной передачи в герметичных машинах обеспечивают бесконтактную передачу усилия через рабочий зазор. Ключевым параметром является сила сдвига F_x . В работе обобщены результаты автора по влиянию толщины постоянных магнитов Nd-Fe-B марки ЧЗ6Р (7 группа) и материала магнитопровода на силовые характеристики системы. Показано, что уменьшение толщины магнитов приводит к снижению F_x , установлено сопоставимое влияние материала магнитопровода. Полученные выводы применимы при проектировании магнитных линейных передач герметичных машин.

THE EFFECT OF THE THICKNESS OF PERMANENT MAGNETS AND THE MAGNETIC CORE MATERIAL ON THE SHEAR STRENGTH OF THE MAGNETIC LINEAR TRANSMISSION SYSTEM OF HERMETIC MACHINES

Zubkov V.G.¹, Blinkov O.G.²

¹Vector LLC, Miass;

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Yekaterinburg

Keywords: magnetic system, hermetic machines, shear force, permanent magnets, magnetic circuit, magnet thickness.

Abstract. Magnetic linear transmission systems in hermetic machines provide contactless force transmission through the working gap. The key parameter is the shear strength F_x . The paper summarizes the author's results on the effect of the thickness of Nd-Fe-B permanent magnets of the CH36P brand (group 7) and the magnetic core material on the power characteristics of the system. It is shown that a decrease in the thickness of the magnets leads to a decrease in F_x , and a comparable effect of the magnetic core material has been established. The conclusions obtained are applicable in the design of magnetic linear gears of hermetic machines.

Для герметичных машин, работающих в агрессивных и токсичных средах, применяют решения, исключаящие механические вводы и контактные передачи. Магнитная линейная передача обеспечивает передачу усилия через немагнитный барьер без непосредственного контакта элементов. Работоспособность такой передачи определяется силой сдвига F_x , Н, ограничивающей максимально передаваемое линейное усилие при заданной конструкции и воздушном зазоре δ , мм [1, 2].

Практика проектирования показывает, что силовые характеристики магнитной системы могут существенно отличаться даже при постоянной

компоновке устройства при изменении конструктивных параметров: толщины постоянных магнитов и материала магнитопровода [1, 3]. Цель настоящего доклада – представить обобщенную оценку влияния указанных факторов на силу сдвига магнитной системы линейной передачи герметичных машин.

Объектом исследования является магнитная система линейной передачи, представленная на рисунке 1, состоящая из неподвижной и подвижной секций, взаимодействующих через воздушный зазор δ и герметизирующий барьер. В качестве показателя силовой работоспособности рассмотрена сила сдвига F_x [3].

В системе использовались пластинчатые постоянные магниты Nd–Fe–В марки ЧЗ6Р (7 группа) размером 40×20×10 мм (ООО «ПОЗ – Прогресс») с характеристиками: $B_r = 1,22$ Тл; $H_{cj} = 920$ кА/м; $H_{cb} = 800$ кА/м; $(BH)_{\max} = 280$ кДж/м³; потокоцепление одной пластины – 87,5 мкВб.

В докладе рассматриваются два конструктивных фактора:

- 1) толщина постоянных магнитов $h_M = 10, 8, 6, 4$ мм;
- 2) материал магнитопровода Сталь 15, Сталь 09Г2С, Сталь 08Х22Н6Т.

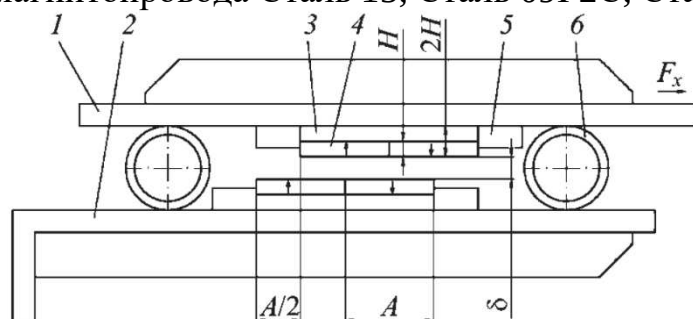


Рис. 1. Схема приспособления для измерения силы сдвига в магнитной системе:

1, 2 – соответственно верхняя и нижняя секции магнитной системы; 3 – магнитопровод; 4 – магнит; 5 – фиксатор; 6 – трубка немагнитная (каток)

По экспериментальным данным установлено систематическое снижение силы сдвига F_x при уменьшении толщины магнитов [4]. Результаты представлены в таблице 1.

Табл. 1. Влияние толщины постоянных магнитов h_M , на силу сдвига F_x

h_M , мм	$F_x(2)$, Н	$F_x(4)$, Н	$F_x(6)$, Н	$F_x(8)$, Н	$F_x(10)$, Н	$F_x(12)$, Н
10	320,49	247,21	189,43	144,21	109,48	86,72
8	301,07	230,44	177,27	136,16	106,14	81,03
6	236,81	179,62	138,42	107,32	81,23	62,00
4	160,88	121,55	94,18	70,73	53,56	41,30

Из таблицы 1 следует, что переход с 10 до 8 мм приводит к умеренному снижению F_x (от 3 до 7%), тогда как переход с 8 до 6 мм вызывает более выраженное падение силы (от 25 до 29% относительно 10 мм), а при толщине 4 мм уменьшение достигает порядка 50% [1, 4]. Для наглядности относительные изменения представлены в таблице 2.

Помимо геометрических параметров, существенное влияние на F_x оказывает материал магнитопровода, определяющий магнитное сопротивление замыкающего участка магнитной цепи [2, 3]. Экспериментальные данные с применением различных материалов приведены в таблице 3.

Табл. 2. Относительное влияние толщины магнитов на F_x к ($h_M = 10$ мм)

δ , мм	$\Delta(8 \text{ к } 10)$, %	$\Delta(6 \text{ к } 10)$, %	$\Delta(4 \text{ к } 10)$, %
2	-6,06	-26,11	-49,80
4	-6,78	-27,33	-50,83
6	-6,42	-26,93	-50,28
8	-5,58	-25,58	-50,96
10	-3,05	-25,80	-51,07
12	-6,56	-28,50	-52,37

Табл. 3. Значения силы сдвига F_x при различных материалах магнитопровода

δ , мм	F_x , Н (09Г2С)	F_x , Н (15)	F_x , Н (08Х22Н6Т)
2	396,32	386,51	312,94
4	299,21	289,85	241,33
6	225,63	217,75	185,41
8	177,56	168,24	134,40
10	137,34	127,53	102,19
12	107,58	96,14	70,63

Относительно стали 15 применение стали 09Г2С увеличивает F_x от 2,54% до 11,89% в диапазоне δ от 2 до 12 мм, а применение стали 08Х22Н6Т снижает F_x от 14,86% до 26,53% [3]. Для наглядности относительное влияние приведено в таблице 4.

Табл. 4. Относительное влияние материала магнитопровода на F_x (к стали 15)

δ , мм	Δ (09Г2С к 15), %	Δ (08Х22Н6Т к 15), %
2	+2,54	-19,04
4	+3,23	-16,72
6	+3,62	-14,86
8	+5,56	-20,12
10	+7,69	-19,87
12	+11,89	-26,53

Сопоставление результатов показывает, что оба фактора оказывают существенное влияние на силовые характеристики. Уменьшение толщины магнитов до 6 мм и менее приводит к резкому снижению F_x (от 25% до 52% относительно варианта 10 мм), что делает толщину магнитов критическим параметром при ограничениях по габаритам. Материал магнитопровода воздействует на уровень силы во всем диапазоне зазоров: сталь 09Г2С повышает силовые характеристики, тогда как применение коррозионно-стойкой стали 08Х22Н6Т сопровождается значительным снижением силы сдвига и требует закладывания конструктивного запаса по F_x [2, 3].

С практической точки зрения обеспечение требуемой силы сдвига следует рассматривать как выбор согласованной пары параметров: толщина магнитов h_M и марка магнитопровода, особенно при необходимости применения коррозионно-стойких материалов в герметичных машинах [2, 3].

Список литературы

1. Красильников А.Я., Красильников А.А., Таранов Д.В., Зубков В.Г. Влияние толщины магнита и магнитопровода на силовые характеристики магнитной системы // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – №7. – С. 20-28. – DOI: 10.14489/hb.2024.07.pp.020-028.
2. Красильников А.Я., Красильников А.А., Таранов Д.В., Зубков В.Г. О возможности применения коррозионностойкой стали 08Х22Н6Т в конструкциях магнитных муфт и магнитных систем // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – №8. – С. 10-16. – DOI: 10.14489/hb.2024.08.pp.010-016.
3. Красильников А.Я., Красильников А.А., Таранов Д.В., Зубков В.Г. Влияние марки материала, из которого изготовлены магнитопроводы, на силовые характеристики магнитной системы // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – №6. – С. 07-14. – DOI: 10.14489/hb.2024.06.pp.007-014.
4. Красильников А.Я., Красильников А.А., Таранов Д.В., Пестов К.Н., Зубков В.Г. Применение магнитомягкой конструкционной Ст3 в конструкциях магнитной системы и магнитной муфты // Справочник. Инженерный журнал. – 2025. – №6. – С. 15-21. – DOI: 10.14489/hb.2025.06.pp.015-021.

Сведения об авторах:

Зубков Виктор Геннадьевич – директор, аспирант;

Блинков Олег Геннадьевич – д.т.н., заведующий кафедрой Технологии машиностроения, станки и инструменты.