

## СИЛА ТЯГИ МАГНИТНОЙ МУФТЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Кравченко А.И., к.т.н., Бовда А.М.

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт", НПФ "Полус-Н"  
тел. (057) 7-598-299. Факс (0572) 26-65-27, (057) 7-328-527. E-mail: alex@krawa.net

*Методом компьютерного моделирования выполнен расчёт линейной модели магнитной муфты. Получены зависимости: а) силы тяги  $f_x$  одного магнита от магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов и расстояния  $\delta$  между магнитами в ряду при различных значениях периодичности  $L$  магнитов и при постоянной массе магнитов; б) суммарной силы тяги  $nf_x$  от числа магнитов  $n$  и магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов при заданных габаритах муфты и магнита. Установлен сложный характер этих зависимостей.*

*Методом комп'ютерного моделювання здійснено розрахунок лінійної моделі магнітної муфти. Отримані залежності: а) сили тяги  $f_x$  одного магніту від магнітного зазору  $\delta_m$  між рядами магнітів та відстані  $\delta$  між магнітами в ряду при різних значеннях періодичності  $L$  магнітів та при умові постійної маси магнітів; б) сумарної сили тяги  $nf_x$  від числа магнітів  $n$  і магнітного зазору  $\delta_m$  між рядами магнітів при заданих габаритах муфти та магніта.. Встановлен складний характер цих залежностей.*

Магнитная муфта – устройство, соединяющее два вала посредством магнитов. Ведущая и ведомая части муфты (полумуфты) могут быть сделаны несоприкасающимися, а между ними может быть размещена стенка из немагнитного материала. Магнитные муфты используются для введения вращения внутрь герметизированных устройств, содержащих химически активные среды либо нагретых до высокой температуры, когда применение сальникового уплотнения вала проблематично (насосы для перекачки химически активных жидкостей, замкнутые контуры кондиционеров, высоковакуумные прогреваемые камеры и т. п.) [1-3].

Вращающий момент магнитной муфты с постоянными магнитами определяется в первую очередь массой установленных в ней магнитов. В то же время, вследствие взаимодействия не только между магнитами разных полумуфт, но и между магнитами одной полумуфты, при конструировании магнитной муфты существует задача выбора размеров магнитов и периодичности их размещения при заданной общей массе магнитов, а также задача выбора оптимального числа магнитов при заданных габаритах магнитов и муфты – для максимизации вращающего момента муфты.

Цель работы – используя метод компьютерного моделирования, изучить зависимость силы тяги магнитной муфты от геометрических параметров.

Расчёты выполнялись с помощью программы FEMM [4] для магнитного материала Nd-Fe-B со значением максимального магнитного произведения  $(BH)_{\max}=40$  МГс·Э. Изучалась линейная модель магнитной муфты с четырьмя магнитами в каждом из двух рядов. Магнитное поле такой модели при одном из вариантов геометрических параметров показано на рис. 1 (соседние магниты одного ряда имеют противоположные направления намагниченности).

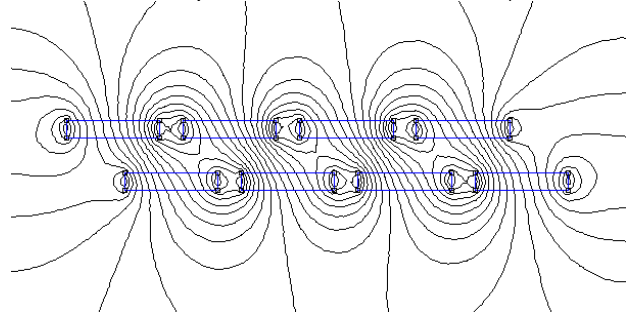


Рис. 1. Магнитное поле модели магнитной муфты ( $L=20$  мм,  $\delta_m=6$  мм,  $\delta=4$  мм, размеры магнита в сечении  $16 \times 3$  мм<sup>2</sup>)

### 1. Зависимость силы тяги магнитной муфты от геометрических параметров магнитов при постоянной массе магнитов

Вычислялась сила тяги  $f_x$ , действующая на один из внутренних магнитов ряда в направлении смещения одного ряда магнитов относительно другого ряда, в зависимости от следующих параметров:  $L$  – периодичность магнитов в ряду;  $\delta_m$  – магнитный зазор между рядами магнитов;  $\delta$  – расстояние между магнитами в ряду. Расчёты выполнялись при постоянном значении сечения магнита в плоскости рисунка ( $0,5$  см<sup>2</sup>), т.е. при постоянной общей массе магнитов. Размер магнитов в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка, был принят равным 1 см. Смещение одного ряда магнитов относительно другого принималось равным  $0,5L$ . Периодичность магнитов  $L$  принималась равной  $L_2=2$  см и  $L_1=1$  см (рис. 2). Результаты расчётов представлены в виде табл. 1 и 2 и графиков (рис. 3). Для сравнения результатов графики при  $L_1=1$  см (рис. 3б) построены в координатах  $2f_{x1} - 2\delta_1$ , поскольку при  $L_1=1/2L_2$  на заданной длине муфты укладывается в 2 раза большее количество магнитов, чем при  $L_2$ . С этой же целью по данным табл. 1 и 2 построена табл. 3.

Видно, что при определённых значениях  $\delta_m$  и  $\delta$  отношение  $2f_{x1}/f_{x2}$  (являющееся характеристикой эффективности перехода к меньшей периодичности магнитов) заметно превышает единицу, т.е.  $2f_{x1} > f_{x2}$ . В то же время, зависимость  $f_x$  от геометрических параметров магнитов имеет сложный характер (существуют значения  $\delta_m$  и  $\delta$ , при которых отношение  $2f_{x1}/f_{x2} < 1$ ).

### 2. Зависимость силы тяги магнитной муфты от числа магнитов при заданных размерах муфты и магнитов

Расчёты проводились применительно к муфте с длиной окружности  $l=37$  см ( $\varnothing 118$  мм), в которой установлено  $n$  магнитов с размерами в сечении  $a \times b = 6 \times 8$  мм<sup>2</sup>. Размер магнитов в направлении оси вращения муфты был принят равным 1 см. Смещение одного ряда магнитов относительно другого принималось равным половине периодичности  $L$  размещения магнитов в ряду ( $L=b+\delta$ ). Также как в п. 1, для упрощения расчётов использовалась линейная модель магнитной муфты с четырьмя магнитами в каждом из двух рядов. Вычислялась модуль силы тяги  $f_x$  (действующей на один магнит в направлении смещения одного ряда магнитов относительно другого ряда) и суммарный модуль силы  $nf_x$  в зависимости от числа магнитов  $n$ . (Максимальное число магнитов с размером  $b=8$  мм

при плотном размещении магнитов вдоль окружности длиной 37 см равно 46). Результаты расчётов представлены в виде таблицы 4 и гистограммы (рис. 4).

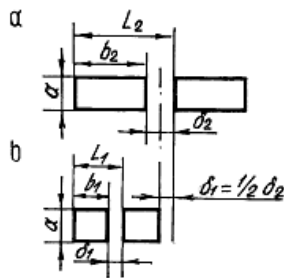


Рис. 2. Схемы размещения магнитов в одном ряду при различной периодичности а)  $L=L_2$ ; б)  $L=L_1$  ( $L_1=1/2 L_2$ )

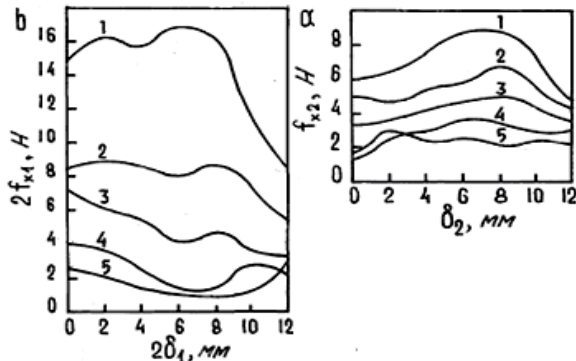


Рис. 3. Сила тяги  $f_{x2}$  в зависимости от расстояния  $\delta_2$  между магнитами в ряду: а) периодичность магнитов  $L=2$  см; б)  $L=1$  см: 1) магнитный зазор  $\delta_m=2$  мм; 2)  $\delta_m=4$  мм; 3)  $\delta_m=6$  мм; 4)  $\delta_m=8$  мм; 5)  $\delta_m=10$  мм.

Таблица 1

Сила тяги  $f_{x2}$  (в ньютонах) в зависимости от магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов и расстояния  $\delta_2$  между магнитами в ряду при периодичности магнитов в ряду  $L=2$  см (для каждого значения  $\delta_2$  указаны соответствующие габариты магнитов  $a$  и  $b$ , мм)

$\delta_m$ , мм	$\delta_2$ , мм						
	0	2	4	6	8	10	12
	b=20 a=2,5	b=18 a=2,8	b=16 a=3,1	b=14 a=3,6	b=12 a=4,2	b=10 a=5,0	b=8 a=6,3
2	6,0	6,3	7,5	8,3	8,9	7,0	5,0
4	5,0	4,9	5,4	5,7	6,5	5,6	4,1
6	3,4	3,8	4,0	4,3	4,5	4,1	3,2
8	0,9	2,7	2,7	3,3	3,2	2,9	3,0
10	1,4	3,1	2,1	2,4	1,8	2,3	2,1

Таблица 2

Сила тяги  $f_{x1}$  (в ньютонах) в зависимости от магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов и расстояния  $\delta_1$  между магнитами в ряду при периодичности магнитов в ряду  $L=1$  см ( $\delta_1=1/2 \delta_2$ ; для каждого значения  $\delta_2$  указаны соответствующие габариты магнитов  $a$  и  $b$ , мм)

$\delta_m$ , мм	$\delta_1$ , мм						
	0	1	2	3	4	5	6
	b=10 a=2,5	b=9 a=2,8	b=8 a=3,1	b=7 a=3,6	b=6 a=4,2	b=5 a=5,0	b=4 a=6,3
2	7,5	8,1	7,9	8,6	8,3	5,8	4,3
4	4,2	4,5	4,4	3,9	4,4	3,8	2,6
6	3,6	3,0	2,7	2,0	2,2	1,9	1,8
8	2,0	1,9	1,2	0,7	0,6	1,5	1,2
10	1,4	1,1	0,7	0,5	0,5	0,6	1,6

Таблица 3

Отношение  $2f_{x1}/f_{x2}$  в зависимости от магнитного зазора  $\delta_m$  и расстояния  $\delta_2$  при соответствующем значении  $\delta_1=1/2 \delta_2$

$\delta_m$ , мм	$\delta_2$ , мм						
	0	2	4	6	8	10	12
2	2,5	2,6	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7
4	1,7	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3
6	2,1	1,6	1,4	0,9	1,0	0,9	1,1
8	4,4	1,4	0,9	0,4	0,4	1,0	0,8
10	2,0	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	1,5

Таблица 4

Суммарная сила тяги  $n \cdot f_x$  (в ньютонах) в зависимости от числа  $n$  магнитов при различных значениях магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов

$n$	$\delta_m$ , мм	$\delta_m=3$ мм		$\delta_m=5$ мм		$\delta_m=7$ мм	
		$f_x$	$n \cdot f_x$	$f_x$	$n \cdot f_x$	$f_x$	$n \cdot f_x$
46	0	9,9	455	4,6	212	2,1	97
44	0,4	10,5	464	4,8	211	2,4	106
42	0,8	9,5	399	4,8	202	2,5	105
40	1,3	9,9	396	5,1	204	2,9	116
38	1,7	10,8	409	5,3	201	2,9	110
36	2,3	9,9	356	5,6	202	3,1	112
34	2,9	9,9	337	5,6	190	3,1	105
32	3,6	9,8	314	5,6	179	3,3	106
30	4,3	9,3	279	5,8	174	3,3	99

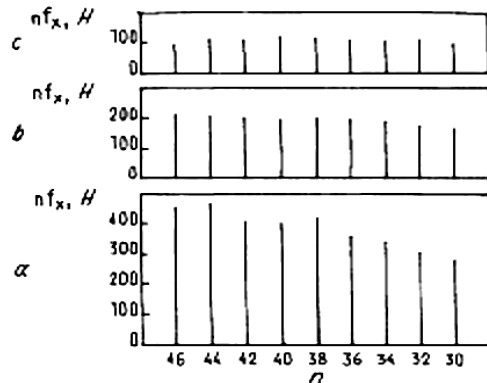


Рис. 4. Суммарная сила тяги  $n \cdot f_x$  (в ньютонах) в зависимости от числа  $n$  магнитов при различных значениях магнитного зазора  $\delta_m$  между рядами магнитов: а)  $\delta_m=3$  мм; б)  $\delta_m=5$  мм; в)  $\delta_m=7$  мм.

Отмечаются следующие закономерности:

- $f_x$  и  $n \cdot f_x$  увеличиваются при переходе от плотного размещения магнитов ( $n=46$ ) к неплотному ( $n=44$ );
- в то время как  $f_x$  проходит через локальные максимумы (при  $\delta_m=3$  мм) или увеличивается (при  $\delta_m=5$  мм и  $\delta_m=7$  мм) с уменьшением  $n$ , значение суммарной силы  $n \cdot f_x$  остаётся почти стабильным при уменьшении  $n$  до некоторого значения  $n_{min}$  ( $n_{min}=38$  при  $\delta_m=3$  мм;  $n_{min}=36$  при  $\delta_m=5$  мм;  $n_{min}=32$  при  $\delta_m=7$  мм); значение  $n_{min}$  уменьшается при увеличении  $\delta_m$ ;
- зависимости  $n \cdot f_x$  от  $n$  имеют максимум: для  $\delta_m=3$  мм - при  $n=44$  (т. е. при почти плотном размещении магнитов), для  $\delta_m=5$  мм - при  $n=46$  (т. е. при плотном размещении магнитов), для  $\delta_m=7$  мм - при  $n=40$  (при расстоянии между магнитами  $\delta=1,7$  мм).

**Обобщая**, отметим, что зависимость  $f_x$  от геометрических параметров (размеры магнита, магнитный зазор, периодичность размещения магнитов) при постоянной массе магнитов и зависимость  $n \cdot f_x$  от числа магнитов при заданных размерах магнита и муфты имеют сложный характер, и актуальной остаётся разработка методики оптимизации конструкции магнитной муфты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ганзбург Л.Б., Вейц В.Л. Бесконтактные магнитные механизмы - Л.: Из-во Ленинградского ун-та, 1985. - 152 с.
- Ганзбург Л.Б., Федотов А.В. Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов: Справочник - Л.: Машиностроение, 1980. - 364 с.
- Ганзбург Л.Б., Глуханов Н.П., Рейфе Е.Д., Федотов А.И. Механизмы с магнитной связью - Л.: Машиностроение, 1973. - 272 с.
- Meeker D. Finite Element Method Magnetics (FEMM): <http://femm.berlios.de/>

Поступила 10.03.2005