

Как видно из рис. 6, использование монолитного SMC-сердечника позволяет выровнять температуру в системе «обмотка - сердечник», снизить предельно достигаемую при работе двигателя температуру со 155 °С до 37 °С. Кроме того, как это хорошо видно и на рис.4 и 5, коэффициент заполнения статора магнитомягким материалом SMC в два раза выше, чем ламинированным железом.

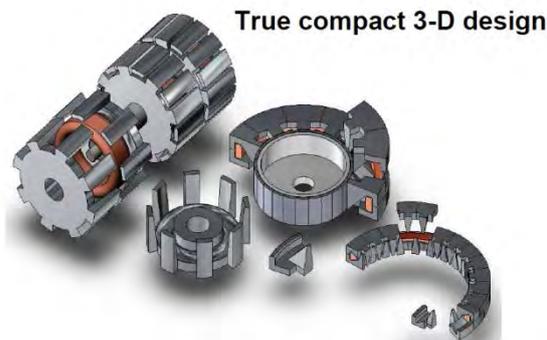


Рис.7. совершенствование конструкций двигателей за счет порошковых деталей, формирующих трехмерные магнитные потоки

Дальнейшее совершенствование конструкций ротора и статора электродвигателей, по мнению авторов работы

[5], связано с формированием трехмерных магнитных потоков за счет особой конструкции безобмоточного статора и ротора из SMC материала (рис.7).

Таким образом, применение новых SMC материалов и технологий порошковой металлургии позволяет коренным образом изменить конструкции электродвигателей, уменьшить их габариты и массу, повысить эксплуатационные параметры.

1 Конструкторско-технологические и экологические аспекты проектирования и реализации технологии производства композиционных порошковых материалов и изделий / Б.Ч.Месхи, А.В.Люлько, М.П.Дрягина, А.В.Трифонов // Вестник ДГТУ, 2008. Т.8. №1(36). – С.7-11.

2 Soft Magnetic Composite Technology. SMC-Update. Hognes AB. Sweden. – № 2, 2003. – 8 p. № 1, 2005. – 4 p.

3 Somaloy vs. Silicon steel lamination// Magnetworld AG. Jena, 2013. – 2 p.

4 <https://www.hoganas.com/en/business-areas/soft-magnetic-composites/>

2. Existing & Future Automotive Applications for Soft Magnetic Composites / Lars Hultman, Henrique Lopes //1° Workshop sobre Inovações nos Materiais Magnéticos para a Indústria Automobilística Atual e as Perspectivas dos Carros Híbrido. 30 junho – 1 julho 2008. - Sao Paolo, Brazil

УДК 621.822

ИЗМЕНЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО КИНЕМАТИКОЙ ПОСРЕДСТВОМ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя В.Т., Берхин Е.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Движение шарика в подшипнике качения определяется геометрией контактирующих поверхностей. В общем случае в сферическом движении шарика можно выделить три составляющих:

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}_K + \bar{\omega}_B + \bar{\omega}_{кр},$$

где $\bar{\omega}_K$ – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта; $\bar{\omega}_B$ – угловая скорость вращения, вектор которой находится в плоскости контакта; $\bar{\omega}_{кр}$ – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта (рис. 1) [1].

Для радиально-упорного подшипника, работающего с предварительным осевым натягом, соотношение угловых скоростей шарика $\omega_K : \omega_B : \omega_{кр} = 1 : 0,18 : 0$, что приводит к его неравномерному износу [2]. Ранее было доказано, что при $\omega_{кр} \neq 0$ можно обеспечить равно-

мерный износ шарика, что было использовано при восстановлении точностных параметров изношенного подшипника методом обкатки [3]. Значение $\omega_{кр} \neq 0$ обеспечивалось приложением к одному из колец подшипника осевых ультразвуковых колебаний. Управляя параметрами колебаний можно получить различные значения $\omega_{кр}$.

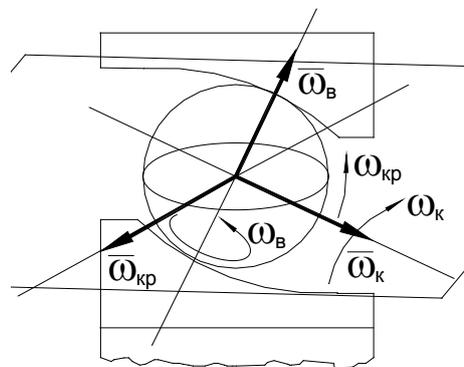


Рис. 1. Составляющие угловой скорости шарика

Создавая условия для равномерного вращения в процессе работы подшипника, можно обеспечить равномерный износ шариков, за счет чего повысить точностную долговечность узла вращения.

При работе подшипника в условиях осевых колебаний одного из колец из-за изменения кинематики шарика будет изменяться угол контакта, и теоретическое соотношение $\omega_k:\omega_b$ также изменится. Для установления реального значения угла контакта в условиях одновременного осевого нагружения и осевых колебаний было использовано специально разработанное устройство, схема которого показана на рисунке 2.

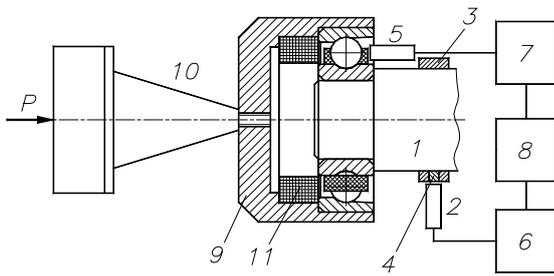


Рисунок 2

Отклонение угла контакта определяется косвенным методом по соотношению угловых скоростей внутреннего кольца и сепаратора по формуле:

$$\alpha = \arccos \frac{d_m}{d_{ш}} \left(1 - \frac{2\omega_c}{\omega_b} \right),$$

где ω_c – угловая скорость сепаратора; ω_b – угловая скорость внутреннего кольца.

Подшипник устанавливается внутренним кольцом на выходной вал шпинделя 1, скорость вращения которого измеряется с помощью бесконтактного индуктивного датчика 2. Якорь датчика представляет собой алюминиевое кольцо 3 с равномерно расположенными по окружности ферромагнитными вставками 4 в количестве 11 штук (по числу шариков в подшипнике). Для измерения скорости вращения сепаратора предназначен бесконтактный индуктивный датчик 5. Якорем для датчика служат шарики измеряемого подшипника. Сигналы от обоих датчиков преобразуются двумя приборами 6, 7 типа БИМП-2 в последовательности электрических импульсов, которые подаются на вход специального устройства 8, предназначенного для вычисления угла контакта. Ультразвуковые колебания преобразователя 10 и осевая нагрузка Р передаются на подшипник через стакан 9. Устройство позволяет дополнительно измерять скорость вращения шарика с помощью индукционного датчика 11

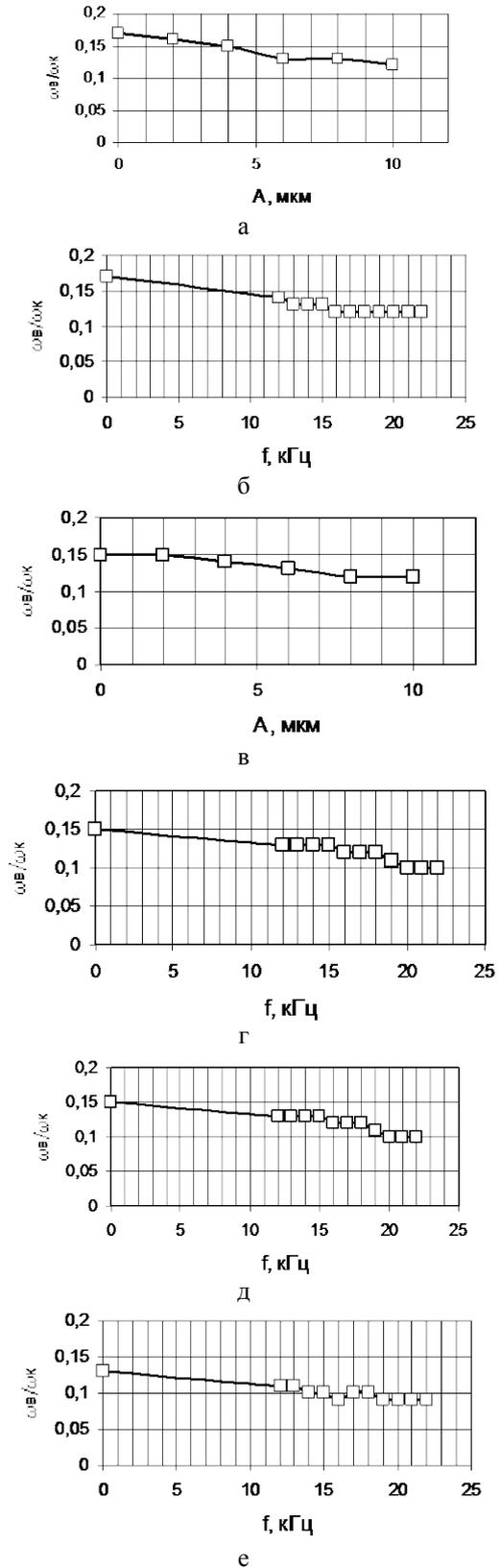


Рисунок 3 – Зависимости отношения $\omega_b:\omega_k$ от амплитуды ультразвуковых колебаний при $f = 18$ кГц (а, в, д), от частоты ультразвуковых колебаний при $A = 8$ мкм (б, г, е) при осевой нагрузке 400 Н (а, б), 500 Н (в, г), 600 Н (д, е)

(один из шариков подшипника полярно намагничен). С помощью описанного устройства были получены зависимости колебания угла контакта от осевой нагрузки и параметров ультразвуковых колебаний. Результаты измерений в виде графиков зависимостей отношения $\omega_b:\omega_k$ от осевой нагрузки и параметров ультразвуковых колебаний показаны на рисунке 3.

Из графиков видно, что при увеличении амплитуды и частоты колебаний величина $\omega_b:\omega_k$ уменьшается, что можно объяснить увеличивающимся проскальзыванием шариков в местах контакта. При увеличении осевой нагрузки величина $\omega_b:\omega_k$ также уменьшается, что связано с увеличением угла контакта.

Вместе с тем, снижение измеренного соотношения скоростей относительно невелико. Поэтому можно сделать вывод о том, что при управлении кинематикой можно пренебречь изменением угла контакта. При этом действитель-

ные кинематические соотношения в подшипнике будут незначительно отличаться от расчетных.

1. Филонов, И. П. Механика процессов обработки / И. П. Филонов; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Наука и техника, 1985. – 328 с.
2. Бочков, В. С. Исследование кинематики радиально-упорного подшипника / В.С. Бочков, Б. Л. Каневский // Сб. науч. тр. / Всесоюзный научно-исследовательский конструкторско-технологический институт подшипниковой промышленности. – М., 1971. – №1(65). – С. 3 – 34.
3. Савченко, А.Л. Восстановление точностных параметров радиально-упорных шарикоподшипников / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – №6. – С. 93 – 97.

УДК 538.2; 620.179.14

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛЕЙ НА ЧАСТНЫХ ПЕТЛЯХ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ РАЗНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Сандомирский С.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

При изменении магнитного поля H намагниченность M ферромагнитных сталей изменяется нелинейно и неоднозначно – по кривой намагничивания и петле гистерезиса (рис. 1).

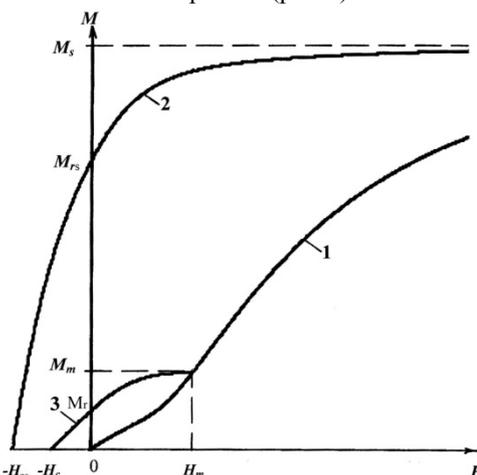


Рисунок 1. Основная кривая намагничивания (1) и нисходящие ветви предельной (2) и частной (3) петель магнитного гистерезиса стали

В магнитном структурном и фазовом анализе сталей используют результаты измерений параметров их предельной петли гистерезиса: коэрцитивной силы H_{cs} , намагниченности M_s технического насыщения, остаточной намагниченности M_r .

Магнитным параметром, наиболее чувствительным к структурным изменениям в сталях, происходящих при их термических обработках, считается H_{cs} . При структурных изменениях металла его M_r изменяется в узких пределах [1]:

$$0,5M_s \leq M_r \leq 0,866 M_s \quad (1)$$

Но H_{cs} среднеуглеродистых сталей не однозначно изменяется в области средних и высоких температур T_0 отпуска. Поэтому изменение M_r таких сталей особенно важно.

Кроме того, стальные изделия обладают размагничивающим фактором [2]. Поэтому материал изделий в открытой магнитной цепи намагничивается по частным петлям магнитного гистерезиса, которые характеризуются максимальными напряженностью H_m намагничивающего поля и намагниченностью M_m , коэрцитивной силой H_c и остаточной намагниченностью M_r (рис.1). Зависимости M_m , H_c и M_r сталей от изменений T_0 не соответствуют зависимостям M_s , H_{cs} и M_r тех же сталей от T_0 . Так, в [3] определены условия намагничивания, при которых зависимость H_c сталей от их H_{cs} меняется с прямой на обратную.

Аналитическое описание связи остаточной намагниченности M_r сталей на частных петлях магнитного гистерезиса с их намагниченностью