

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.891

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-10-4-11

В.П. Тихомиров, А.О. Горленко, С.Г. Волохов, М.А. Измеров

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ФРИКЦИОННЫМ ГАСИТЕЛЯМ КОЛЕБАНИЙ

Исследовано влияние магнитного поля на свойства трущихся стальных поверхностей при срыве посадки с натягом через проявляемые эффекты и визуально наблюдаемый их износ. На примере пар трения шпинтонного узла подвески вагонов даётся обоснование актуальности и возможности создания технических устройств с управляемым коэффициентом трения, а также экспериментально подтверждается стабильность достигаемых эффектов.

Проведены физические эксперименты на лабораторной установке.

Установлено влияние магнитного поля на величину силы срыва прессовой посадки с гарантированным натягом.

Представлена возможность управлять коэффициентом трения через воздействие магнитным полем.

Ключевые слова: трение, скольжение, коэффициент, магнитное поле, гаситель колебаний, износ.

V.P. Tikhomirov, A.O. Gorlenko, S.G. Volokhov, M.A. Izmerov

MAGNETIC FIELD IMPACT UPON TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF PERMANENT CONNECTIONS IN RELATION TO FRICTION SHOCK ABSORBERS

The work purpose is the investigation of magnetic field impact upon properties of friction steel surfaces at fit stripping with tightness through manifested effects and their wear visually observed. On the spots of a real contact the magnetic field increases active centers, their amount and saturation with the time of dislocation outlet, and has an influence upon tribo-mating.

The external electro-magnetic field promotes the increase of the number of active centers at the expense of dislocations outlet on the contact surface, and the increase of a physical contact area results in friction tie strengthening and growth of a friction factor. By the example of friction pairs of a spontaneously unit in the suspension of coach cars there is given a substantiation of actuality and possibility for the

creation of technical devices with the controlled factor of friction and the stability of effects achieved is also confirmed experimentally.

Investigation methods: the fulfillment of laboratory physical experiments on the laboratory plant developed and patented on bush-rod samples inserted with the fit and tightness.

The results of investigations and novelty: the impact of the magnetic field upon the value of a stripping force of a press fit with the guaranteed tightness is defined.

Conclusion: there is a possibility to control a friction factor through the magnetic field impact upon a friction contact.

Key words: friction, sliding, coefficient, magnetic field, vibration dampener, wear.

Введение

Известно, что фактическая площадь контакта состоит из отдельных пятен, несущих всю нагрузку. Для соединения с натягом имеет место насыщенный пластический контакт. В инженерной практике расчеты соединений с натягом не учитывают физический контакт и молекулярные связи при взаимодействии сопряжённых поверхностей, например «стержень – втулка».

На пятнах фактического контакта магнитное поле, которым воздействуют на трибосопряжение, увеличивает активные центры, их количество и насыщение со временем выхода дислокаций. Внешнее электромагнитное поле способствует росту числа активных центров при выходе дислокаций на поверхность контакта, а увеличение площади физического контакта приводит к упрочнению фрикционных связей и росту коэффициента трения.

При воздействии магнитного поля на изделие происходит не только увеличение числа дислокаций и их перераспределение, а также изменяется расположение и взаимодействие точечных дефектов кристаллической решетки. Интенсификация выхода дислокаций на деформируемую поверхность касания, приводящая к росту количества активных центров, способствует формированию фрикционных молекулярных связей.

В технике вообще и в подвижном составе в частности, большое распространение получили гасители колебаний на основе сухого трения – фрикционные. Библиографические исследования показали [1, 5], что для работы фрикционных гасителей характерны повышенный износ деталей, ударные нагрузки, возможные заклинивания и значительная нестабильность коэф-

фициента трения, что является причинами снижения общей надежности узла. Принципиально новым направлением в совершенствовании динамических показателей работы фрикционных гасителей колебаний является управление силой их сопротивления в зависимости от характеристик колебательных процессов надressорного механизма. Такая возможность возникает при введении в конструктивное решение фрикционных гасителей колебаний магнитного поля с воздействием на зону трения и обратной связью по его величине [3–7].

Таким образом, объектом исследования настоящей работы являются пары трения «сталь – сталь» применительно к прессовой посадке фрикционных гасителей колебаний рессорного подвешивания транспортных средств.

Экспериментальное исследование влияния магнитного поля

Для проведения экспериментальных исследований по срыву прессовой посадки была разработана, изготовлена и запатентована лабораторная установка, а также были изготовлены образцы по схеме «стержень – втулка». Задача экспериментальных исследований на данном этапе работ заключается в следующем: необходимо качественно и количественно установить факт влияния магнитного поля на изменение силы срыва прессовой посадки базового варианта (без влияния магнитного поля) и срыв такой же прессовой посадки с воздействием на место контакта магнитным полем.

На рис. 1 представлена схема и общий вид установки. Образец в виде стержня, одетого с натягом на него втулкой диаметром 14 Н7/р6, расположен внутри катушки (длина втулки 35 мм, наружный диаметр 20 мм).

Эксперимент проводился следующим образом: втулка закреплена неподвижно, а стержень нагружали силой в осевом направлении до момента срыва прессовой посадки (смещения стержня относительно

втулки) с регистрацией силы воздействия. Втулка сделана таким образом, что может помещаться внутри катушки с магнитным полем, при этом магнитопровод замкнут на металлический образец двумя железными пластинами по бокам оправки. Нагрузочным устройством является пресс с ручным приводом с малым шагом нагружения, нагрузка передается на образец (стержень) через регистрирующее устройство – мездозу, и центрирующее устройство для устранения перекосов. В качестве обработчика данных с мездозы применена крейтовая система сбора данных *LTR* фирмы *L-Card*.

Общий вид графика срыва посадки без магнитного поля приведен на рис. 2. Результаты расчета коэффициента трения f при срыве посадки по испытаниям 6-ти образцов приведены в табл. 1. При этом изменение величины f не превышает 3 %, что подтверждает правильность эксперимента (рис. 2б), среднее значение $f = 0,0809$. Средняя сила срыва составляет 2550 Н.

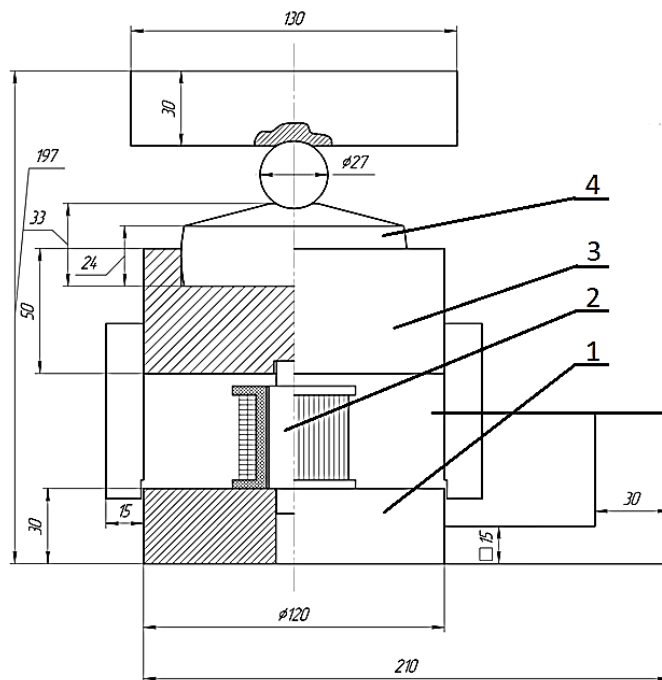


Рис. 1. Испытательная установка:
1 – оправка, 2 – образец, 3 - центрирующее устройство, 4 - месдоза

Таблица 1

Изменение величины коэффициента трения при срыве посадки

№ образца	1	2	3	4	5	6
f	0,078	0,0792	0,081	0,0814	0,0828	0,0832

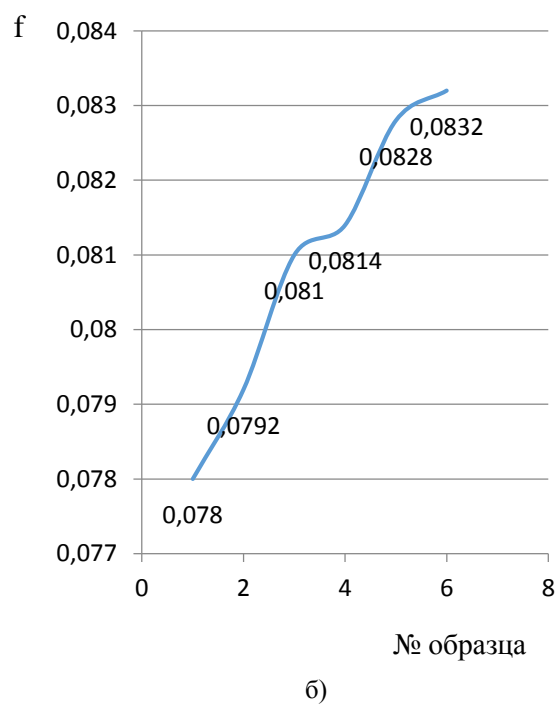
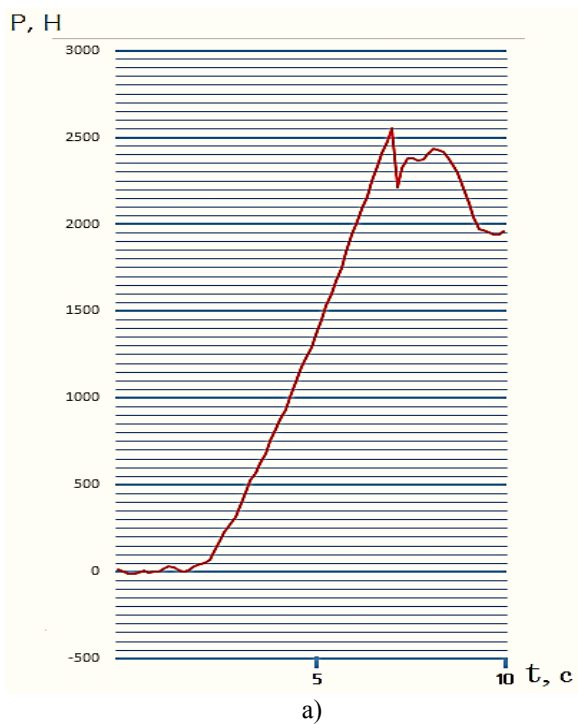


Рис. 2. Срыв посадки без магнитного поля:
а – срыв посадки образца № 3, табл. 1,
б - изменение коэффициента трения f при срыве посадки вариационного ряда образцов

Влияние магнитного поля на срыв посадки с параллельным оси образца (вертикальным) направлением силовых линий

магнитного поля при одной катушке индуктивности представлено на рис. 3.

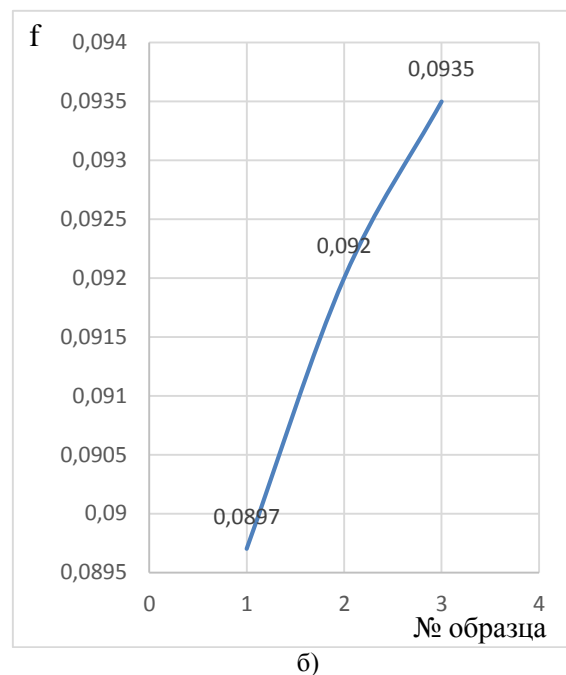
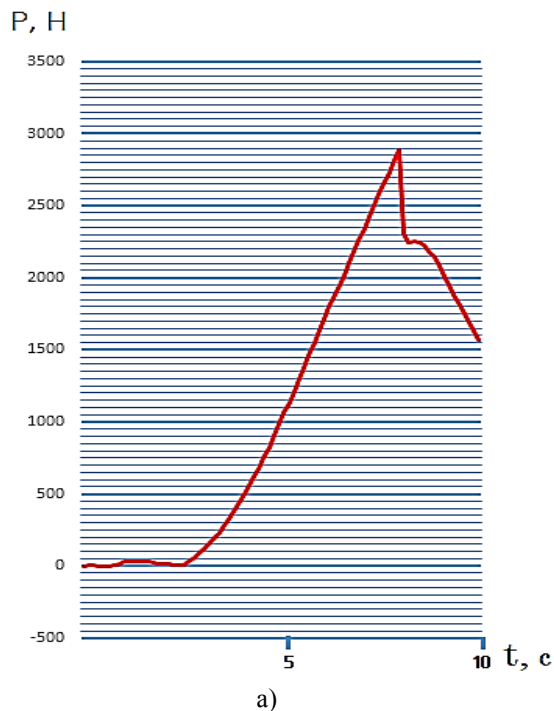


Рис. 3. Срыв посадки при параллельном воздействии магнитного поля одной катушки:

а – срыв посадки образца № 2, табл. 2,

б - изменение коэффициента трения f при срыве посадки вариационного ряда образцов

Эксперимент проводился на трёх образцах (табл. 2), среднее значение $f = 0,0917$ (рис. 3б), увеличение величины f при наличии магнитного поля в данном случае составляет 13,3 %. Средняя сила

срыва составляет уже 2900 Н, увеличение силы срыва по сравнению с испытаниями без воздействия магнитного поля в данном случае составляет 13,7 %.

Таблица 2

Изменение величины коэффициента трения при срыве посадки

№ образца	1	2	3
f	0,0897	0,092	0,0935

Влияние магнитного поля на срыв посадки с перпендикулярным оси образца (горизонтальным) направлением силовых линий магнитного поля при параллельном подключении двух катушек представлено на рис. 4. Эксперимент проводился на трёх образцах (табл. 3), среднее значение $f = 0,0978$ (рис. 4б), увеличение величины f при наличии магнитного поля в данном случае составляет 21% от базового варианта без воздействия магнитного поля. Средняя сила срыва составляет 3100 Н, увеличение силы срыва по сравнению с испыта-

ниями без воздействия магнитного поля в данном случае составляет 21,6 %.

Влияние магнитного поля на срыв посадки с перпендикулярным к оси образца (горизонтальным) направлением силовых линий магнитного поля при последовательном подключении двух катушек представлено на рис. 5. Эксперимент проводился на трёх образцах (табл. 4) среднее значение $f = 0,1043$ (рис. 5б) увеличение величины f при наличии магнитного поля в данном случае составляет 28,9 % в сравнении с базовым вариантом без воздействия магнитного поля.

Сила срыва составляет 3250 Н, увеличение силы срыва по сравнению с испытаниями Р, Н

без воздействия магнитного поля в данном случае составляет 27,5 %.

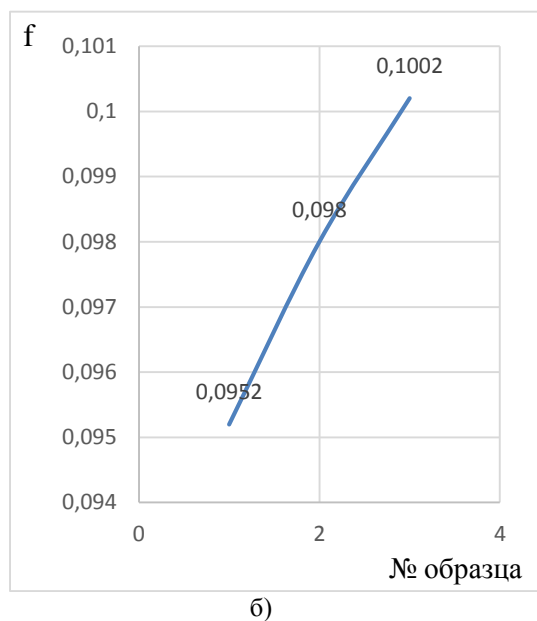
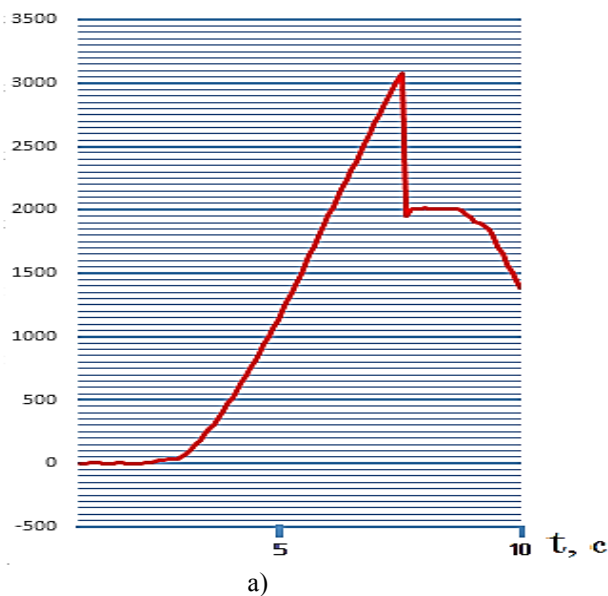


Рис. 4. Срыв посадки при перпендикулярном воздействии магнитного поля двух катушек:
 а – срыв посадки образца № 2, табл. 3,
 б - изменение коэффициента трения f при срыве посадки вариационного ряда образцов

Таблица 3

Изменение величины коэффициента трения при срыве посадки

№ образца	1	2	3
f	0,0952	0,098	0,1002

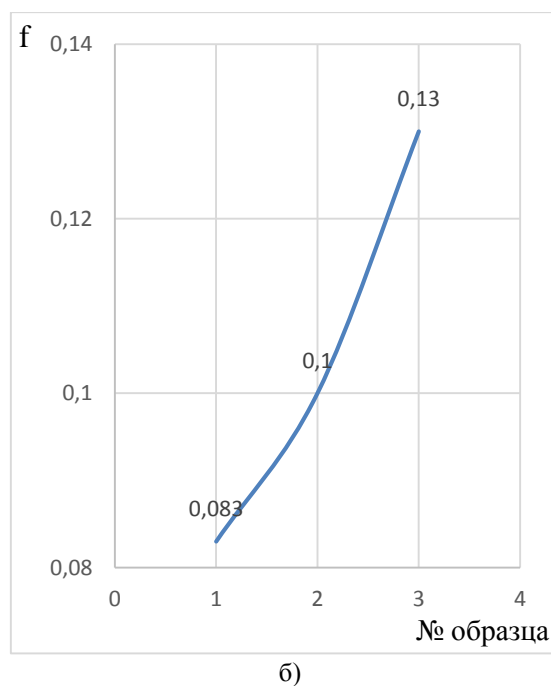
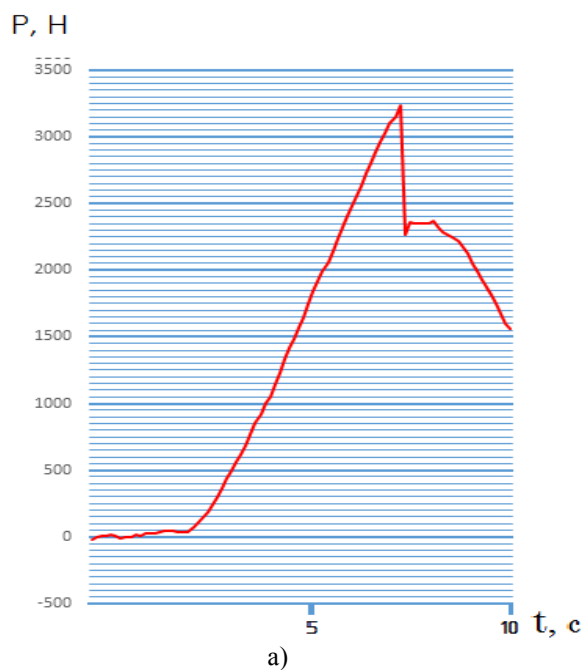


Рис. 5. Срыв посадки при последовательном подключении двух катушек:
 а – срыв посадки образца № 2, табл. 4,
 б - изменение коэффициента трения f при срыве посадки вариационного ряда образцов

Таблица 4

Изменение величины коэффициента трения при срыве посадки

№ образца	1	2	3
f	0,083	0,1	0,13

По результатам выше приведенных опытов построен усредненный график (рис. 6) зависимости коэффициента трения

от влияния магнитного поля при разном расположении катушек.

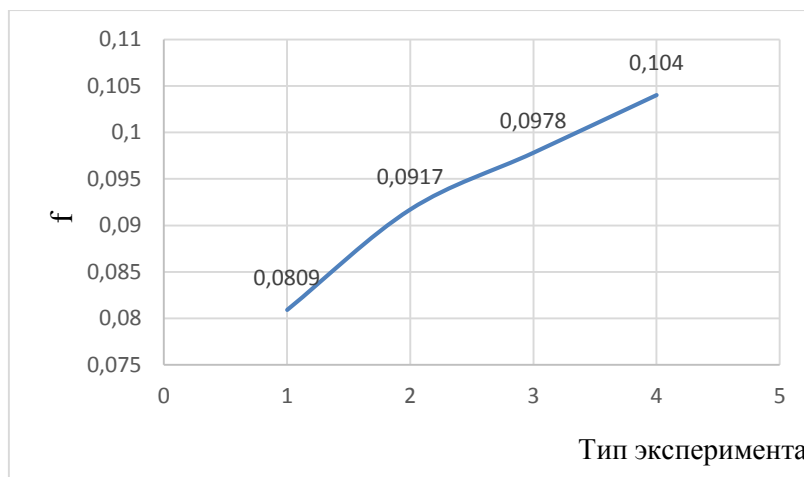


Рис. 6. Влияние магнитного поля на величину коэффициента трения f при разном расположении катушек по всем экспериментам

На рис. 7 графически представлено расчетное обобщение изменения магнитного поля в предполагаемом соединении с

натягом при различном устройстве опытной установки и воздействии изменяемых величин магнитного поля.

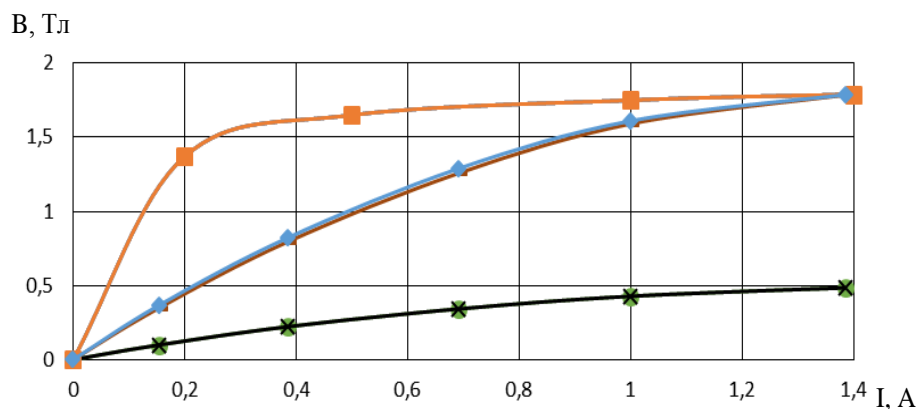
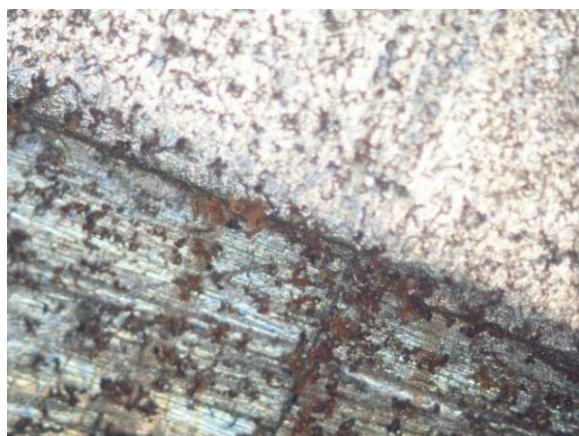


Рис. 7. Индукция магнитного поля в образце при различных токах катушек:

- - вертикальный стержень (одна катушка);
- *— - горизонтальный стержень (две катушки, поток согласован);
- x— - горизонтальный стержень (две катушки, поток встречный)

На рис. 8 представлена морфология структуры металла в зоне сопряжения «стержень – втулка» без воздействия маг-

нитного поля и при воздействии магнитного поля.



а)



б)

Рис. 8. Шлифы контактной области соединения с натягом:
а – зона сопряжения «стержень – втулка» без воздействия магнитного поля;
б – сопряжение «стержень – втулка» при воздействии магнитного поля

В зоне сопряжения деталей посадки с натягом без воздействия магнитного поля ярко выражена граница их раздела. При воздействии магнитного поля наблюдается локальное отсутствие выраженной границы раздела. Это объясняется тем, что на пятнах контакта магнитное поле увеличивает активные центры, их количество и

насыщение со временем выхода дислокаций. Внешнее электромагнитное поле способствует росту этого числа активных центров за счет выхода дислокаций на поверхность контакта, а увеличение площади физического контакта приводит к упрочнению фрикционных отношений и росту коэффициента трения.

Заключение

Установлено влияние магнитного поля на величину силы срыва прессовой посадки с гарантированным натягом. Показано, что при воздействии магнитного поля с параллельным оси образца (вертикальным) направлением силовых линий магнитного поля при одной катушке происходит увеличение силы срыва соединения с посадкой по сравнению с испытаниями без воздействия магнитного поля на 13,7 %, а коэффициента трения на 13,3 %. При воздействии магнитного поля с перпендикулярным оси образца (горизонтальным) направлением силовых линий магнитного поля при параллельном подключении двух катушек происходит увеличение силы срыва по сравнению с испытаниями без воздействия магнитного поля на 21,6 %, а коэффициента трения на 21 %. При воздействии магнитного с перпендикулярным оси образца (горизонтальным) направлением силовых линий магнитного поля при последовательном подключении двух

катушек происходит увеличение силы срыва по сравнению с испытаниями без воздействия магнитного поля на 27,5 %, а коэффициента трения на 28,9 %.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что в зоне сопряжения деталей посадки с натягом без воздействия магнитного поля ярко выражена граница их раздела. При воздействии магнитного поля наблюдается локальное отсутствие выраженной границы раздела. Это объясняется тем, что на пятнах контакта магнитное поле увеличивает активные центры, их количество и насыщение со временем выхода дислокаций. Внешнее электромагнитное поле способствует росту этого числа активных центров за счет выхода дислокаций на поверхность контакта, а увеличение площади физического контакта приводит к упрочнению фрикционных отношений и росту коэффициента трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войнов, К.Н. Надежность вагонов / К.Н. Войнов. – М.: Транспорт, 1989.
2. Волохов, С.Г. Использование физических эффектов при создании узлов транспортных машин / С.Г. Волохов // Новые горизонты: материалы V междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 29-31.
3. Гаркунов, Д.Н. О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой Д.Н. Гаркунов, Г.И. Суранов, Г.Б. Коптяева // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 2. – С. 327-330.
4. Диков, А.Г. Исследование влияния магнитного поля на трение и износ / А.Г. Диков, Е.А. Борисова, В.В. Зелинский // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 73-74.
5. Лукин, В.В. Конструирование и расчет вагонов / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов. – М.: УМК МПС России, 2000.
6. Chang, Y.P. Effects of friction on tribo-magnetization mechanisms for self-mated iron pairs under dry friction condition / Y.P. Chang, L.M. Chu, H.M. Chou, Y.C. Hwang // Proc. IMechE. – 2009. – Vol. 223. – P. 1-12.
7. Chin, K.J. Tribological behavior and surface analysis of magnetized sliding contact XC 48 steel/XC 48 steel / K.J. Chin, H. Zaidi, M.T. Nguyen, P.O. Renault // Wear. – 2001. – P. 470-476.
1. Voinov, K.N. *Car Reliability* / K.N. Voinov. – M.: Transport, 1989.
2. Volokhov, S.G. Physical effect use at units formation of transport machines / S.G. Volokhov // *New Horizons: Conf.* – 2018. – pp. 29-31.
3. Garkunov, D.N. On origin of tool and parts wear-resistance increase with magnetic processing / D.N. Garkunov, G.I. Suranov, G.B. Koptyaeva // *Friction and Wear.* – 1982. – Vol.3. – No.2. – pp. 327-330.
4. Dikov, A.G. Investigation of magnetic field impact upon friction and wear / A.G. Dikov, E.A. Borisova, V.V. Zelinsky // *Success in Modern Natural Science.* – 2012. – No.6. – pp. 73-74.
5. Lukin, V.V. *Design and Calculation of Cars* / V.V. Lukin, L.A. Shadur, V.N. Koturanov, A.A. Khokhlov, P.S. Anisimov. – M.: UMC MC of Russia, 2000.
6. Chang, Y.P. Effects of friction on tribo-magnetization mechanisms for self-mated iron pairs under dry friction condition / Y.P. Chang, L.M. Chu, H.M. Chou, Y.C. Hwang // Proc. IMechE. – 2009. – Vol. 223. – P. 1-12.
7. Chin, K.J. Tribological behavior and surface analysis of magnetized sliding contact XC 48 steel/XC 48 steel / K.J. Chin, H. Zaidi, M.T. Nguyen, P.O. Renault // Wear. – 2001. – P. 470-476.

Ссылка цитирования:

Тихомиров, В.П. Влияние магнитного поля на триботехнические показатели неподвижных соединений применительно к фрикционным гасителям колебаний / В.П. Тихомиров, А.О. Горленко, С.Г. Волохов, М.А. Измеров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 10. – С. 4-11. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-10-4-11.

Статья поступила в редакцию 15.04.20.

Рецензент: д.т.н., гл. науч. сотрудник
АО «ВНИКТИ» г. Коломна
Оганьян Э.С.

Статья принята к публикации 30.09.20.

Сведения об авторах:

Тихомиров Виктор Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: dm-bgtu@yandex.ru.

Горленко Александр Олегович, д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Брянского государственного технического университета, e-mail: trt@tu-bryansk.ru

Tikhomirov Victor Petrovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Pipeline Transport Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: dm-bgtu@yandex.ru.

Gorlenko Alexander Olegovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Motor Transport”, Bryansk State Technical University, e-mail: trt@tu-bryansk.ru.

Volokhov Stanislav Grigorievich, Design engineer, Joint-Stock Co. “VNIKTI” (“Research and Design-

Волохов Станислав Григорьевич, инженер-конструктор АО «ВНИКТИ» («Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава»), e-mail: aivent@mail.ru.

Измеров Михаил Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: m.izmerov@yandex.ru.

Technological Institute of Rolling-Stock”), e-mail: aivent@mail.ru.

Izmerov Mikhail Alexandrovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Pipeline Transport Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: m.izmerov@yandex.ru.