

УДК 537.311.4

КОНТАКТНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВАХ
СОВРЕМЕННЫХ МАШИН

Попов В.М., Дорняк О.Р., Кондратенко И.Ю., Лазебный М.Д.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Email: ordornyak@mail.ru

Аннотация: Исследуется процесс передачи тепла от гетерогенного материала к гомогенному на примере теплообмена между тормозными накладками и дисками. Установлено, что в этом процессе существенную роль играет структура контактных поверхностей. Эффективным представляется способ повышения теплопроводности в зоне раздела путем воздействия магнитным полем на клеевую прослойку.

Ключевые слова: передача тепла, гетерогенный материал, гомогенный материал, контакт поверхностей, тормозное устройство.

CONTACT HEAT EXCHANGE IN BRAKE DEVICES MODERN MACHINE

Popov V.M., Dornyak O.R., Kondratenko I.Yu., Lazebny M.D.

Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: ordornyak@mail.ru

Summary: the process of heat transfer from a heterogeneous material to a homogeneous one is Studied using the example of heat exchange between brake linings and disks. It is established that the structure of contact surfaces plays a significant role in this process. An effective method is to increase the thermal conductivity in the interface zone by applying a magnetic field to the adhesive layer.

Keywords: heat transfer, heterogeneous material, and homogenous material, the contact surfaces of the brake device.

Развитие современной техники сопровождается интенсивным ростом теплонапряженности отдельных деталей и в целом узлов технических систем. Особую проблему представляют тормозные узлы таких современных машин как экскаваторы, самолеты, автомобили, прессовое оборудование, дорожно-строительная техника, машины лесного комплекса, работающие в высокофорсированных режимах.

При создании тормозных узлов в указанных технических системах преследуется цель изготовления компактных тормозных устройств, при одновременном повышении скоростей и массы машин. Решение подобной проблемы требует обеспечения высокой теплостойкости фрикционного материала, используемого при создании тормозного устройства, поскольку необходимо обеспечить стабильные повышенные значения коэффициента трения тормозной пары при различных и в большинстве случаев повышенных температурах. Отсюда следует вывод, что для снижения температуры в области тормозной пары необходимо использовать все возможные технологические приемы интенсификации процесса теплоотвода из зоны трения.

Из конструкции современных тормозных устройств видно, что можно добиться существенного вклада в процесс теплоотвода из зоны трения тепла на диск, к которому крепятся накладки из фрикционного материала.

Опыт создания тормозных узлов свидетельствует о том, что во многих случаях при креплении фрикционных накладок к дискам продолжает применяться способ крепления с помощью металлических заклепок или винтов. Однако, использование этого способа, во-первых, приводит к частому выкрашиванию фрикционного материала и, во-вторых, наличие воздушной прослойки между накладкой и диском в значительной степени снижает тепловую проводимость соединения, в результате чего имеет место перегрев узла, что приводит к снижению коэффициента трения. В последнее время широкое применение находит способ крепления накладок к дискам с помощью дисперснонаполненных клеев. Наполнение клея металлическими порошками (железные, латунные, алюминиевые) в определенной степени повышает теплопроводность клеевой прослойки [1-3]. Однако, как показывают исследования [4, 5] за счет отсутствия непосредственного контакта между частицами наполнителя, теплопроводность прослойки остается низкой. Кроме этого заметно снижается такой существенный показатель как прочность клеевого соединения между накладками и дисками [6].

Более перспективным в практическом плане следует считать способ мо-

дифицирования клеевых прослоек с металлическим дисперсным наполнителем, в основу которого заложен эффект образования цепочечных структур из частиц наполнителей путем воздействия на неотвержденную прослойку магнитным полем [7, 8]. При осуществлении предлагаемой операции частицы порошка из ферромагнитного металла под воздействием постоянного магнитного поля образуют в структуре прослойки в неотвержденном состоянии цепочки из соприкасающихся между собой частиц наполнителя. В этом случае естественно растет теплопроводность клеевой прослойки между тормозной накладкой и диском, в значительной степени, способствующей отводу тепла из зоны трения в диск. Анализ температурного поля соединения накладка-тормозной диск свидетельствует о значительном снижении температуры в зоне трения за счет отвода тепла в тело накладки и затем на диск.

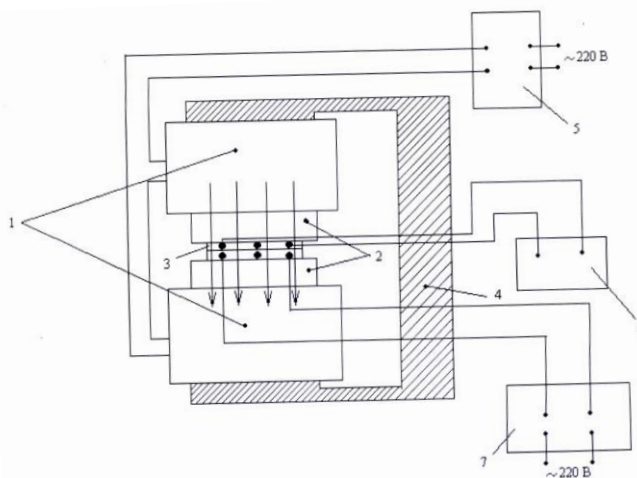
Процесс переноса тепла в этом случае имитирует так называемый контактный теплообмен [5]. Интенсифицировать процесс снижения температуры в зоне трения можно, повышая теплопроводность прослойки между накладкой и диском. Для установления закономерностей снижения термосопротивлений в зоне раздела накладка-диск проведены натурные исследования.

Реализация поставленной задачи осуществлялась на экспериментальной установке стержневого типа, используемой для исследований контактного теплообмена [6]. Исследовалась величина температурных перепадов $\Delta\theta$ в зоне контакта накладка-диск. В качестве гомогенного материала, из которого изготовлен образец, имитирующий диск, использовалась сталь марки 30. В качестве образца, имитирующего накладку, применялся фрикционный материал гетерогенной природы ФК-16Л. Контактные поверхности образцов обрабатывались на плоскошлифовальном станке ε_0 значений $R_z \approx 0,9 \div 1,7$ мкм. Исследовались контактные пары с зазорами из воздуха, эпоксидной композиции на основе смолы ЭДП и полиэтиленполиамина (ПЭПА) в качестве отвердителя, а также дисперсных наполнителей в виде железного и никелевого порошков.

Применен также физический метод модифицирования клеевых прослоек путем их обработки в постоянном магнитном поле. Формирующиеся при этом из частиц наполнителя ферромагнитной природы цепочки значительно повышают теплопроводность клеевой прослойки [7, 8].

Обработку образцов в магнитном поле осуществляли на специально изготовленной установке [9], схема которой представлена на рисунке 1 Установка позволяет создавать постоянное магнитное поле напряженностью до $30 \cdot 10^4$

А/м. Изменение напряженности поля достигалось варьированием силы тока или расстоянием между полюсами.



1 – обмотка электромагнита; 2 – башмаки электромагнита; 3 – нагревательное устройство с образцом; 4 – ярмо; 5 – блок питания; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревательного устройства

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для обработки образцов в магнитном поле с клеевыми прослойками

Полученные указанными методами клеевые прослойки после их отверждения при температуре 40°C в течение суток в термощкафу исследовались на теплопроводность.

Коэффициент теплопроводности прослойки находился на установке, функционирующей в режиме нестационарности по методу двух температурно-временных режимов [10].

Для исследований применялись образцы, схема одного из которых приведена на рисунке 2.

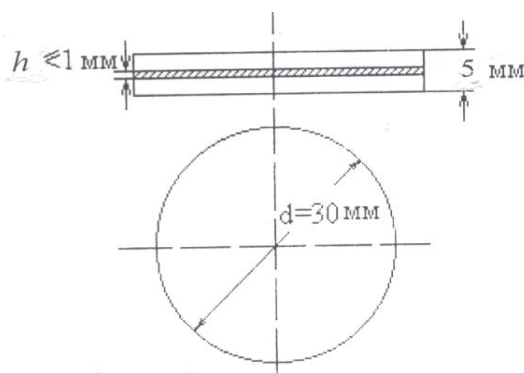


Рисунок 2 – Образец, применяемый для обработки в магнитном поле и для определения коэффициента теплопроводности клеевой прослойки

Устройство для намагничивания позволяет создавать магнитное поле напряженностью до $30 \cdot 10^4$ А/м. Путем изменения силы подаваемого тока на рабочую ячейку или изменением расстояния между электродами в рабочей ячейке проводится операция по созданию поля с заданной напряженностью. Обработанные в магнитном поле образцы подвергались в дальнейшем отверждению в термошкафу при температуре 40°C в течении суток. Приготовленные таким способом образцы подвергались исследованию на теплопроводность на специальном приборе по методу двух температурно-временных режимов [10].

Исследовались образцы в форме цилиндров длиной 40 мм и диаметром 30 мм с четырьмя сверлениями на толщину образца диаметром 1 мм для установления хромель-никелевых термопар.

Образцы из стали и фракционного материала ФК-16Л устанавливались в рабочую ячейку при условии их контакта по торцам. При этом боковые поверхности тщательно теплоизолировались, работая в магнитном поле.

Полученные в процессе проведенных исследований данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности прослойки в зоне контакта сталь марки 30 – ФК-16Л при различной концентрации никелевого и железного порошков в клеевой прослойке

Наполнитель с концентрацией, % от массы сплав		Коэффициент теплопроводности клеевой прослойки λ , Вт/м·К в зависимости от напряженности магнитного поля $I \cdot 10^{-4}$, А/м			
ПНК	ПЖВ	0	5	10	22
0		0,16	0,19	0,19	0,19
10		0,25	0,52	0,53	0,68
20		0,31	0,57	0,6	0,76
30		0,35	0,64	0,71	0,8
40		0,38	0,69	0,78	0,85
	0	0,15	0,16	0,16	0,16
	5	0,21	0,41	0,54	0,7
	17	0,25	0,5	0,58	0,77
	22	0,4	0,6	0,63	0,6

Предлагаемый метод повышения теплопроводности и соответственно снижения термосопротивления через зону контакта между фрикционным материалом ФК-16Л и металлической пластиной тормозного диска из стали марки 30 позволяет значительно повысить теплоотвод из зоны трения на диск и таким образом повысить коэффициент трения. Особенно перспективным представля-

ется снижение термосопротивления клеевой прослойки при магнитной обработке наполненной клеевой прослойки металлическими порошками ферромагнитной природы. Реализация предлагаемой технологии вполне доступна для машиностроительных предприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-00165).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Козлов, М. П. Применение полимерных материалов в конструкциях, работающих под нагрузкой / М. П. Козлов // М. : Химия, 1969. – 248 с.
- 2 Попов, В. М. Теплообмен через соединения на клеях / В. М. Попов // М. : Энергия, 1974. – 301 с.
- 3 Кардашов, Д. А. Синтетические клеи / Д. А. Кардашов // М. : Химия. 1968. – 592 с.
- 4 M. Pantoga, J. Abenogar, M. A. Martinev, F. Velasco Silane pretreatment of electro gal vanired stee: Effect on adhesive properties // JnE. J. Adhes. 2016. – V.65. – Pp. 54-62.
- 5 Madhusudana C. V. Thermal Contact Conductance : Sydney: Springer, 2014. – 260 p.
- 6 Айбиндер, С. В. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров / С. В. Айбиндер, Н. Г. Андреева // Известия АН Лат. ССР. Сер. физ. и техн. наук. 1983. – № 5. – С. 3-18.
- 7 Martl M. G., Schaller R., Hummel K. Influence of on external magnetic field on the cross-linking reaction of 1,4-polybutadiene with bits (2,4 dichlobenzoyl) peroxide //Macromolecular Chemistry and Physics. – 1985. Vol. 186. – № 12. – Pp. 2615-2622.
- 8 Воронежцев, Ю. И. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / Ю. И. Воронежцев, В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук, В. В. Снежков // Мн. : Наука и техника, 1990. – 263 с.
- 9 Патент № 2328788 МПК H01F13/00. Устройство для намагничивания. В. М. Попов, А. В. Иванов, В. С. Мурзин, А. П. Новиков, В. В. Шестакова, А. В. Латынин. Заявит. и патентобл. ВГЛТА. № 2007115746/09. Заявл. 25.04.2007. Оpubл. 10.07.2008. Бюл. № 19. – 14 с.
- 10 Волькенштейн, В. С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов / В. С. Волькенштейн // Л. : Энергия, 1971. – 145 с.