

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (13. 132, 133)

УДК 621.89:625.032

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОГО ЗМАЩУВАННЯ РЕЙОК**

Доктори техн. наук С. В. Панченко, С. В. Воронін, М. П. Ремарчук,
асп. Б. С. Асадов

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО СМАЗЫВАНИЯ РЕЛЬСОВ**

Доктора техн. наук С. В. Панченко, С. В. Воронин, М. П. Ремарчук,
асп. Б. С. Асадов

**SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS FOR LUBRICANTS OF AUTOMATIC
LUBRICATION SYSTEMS OF RAILS**

Dr. of Techn. Sciences S. V. Panchenko, S. V. Voronin, M. P. Remarchyk,
pg. student B. S. Asadov

У статті розглядається питання обґрунтування вимог до мастильних матеріалів для автоматичного змащування рейок і гребенів коліс рухомого складу. Запропоновано механізм двошарового мащення поверхонь контакту рейки та колеса при застосуванні автоматичного змащування, який відповідає максимуму фактичної площі контакту і мінімуму напруження в контактї, сили тертя і зносу рейок і гребенів коліс. Отримано залежності для визначення мінімально достатніх концентрацій твердих антифрикційних легуючих добавок і поверхнево-активних речовин у мастильному матеріалі. Такі залежності є базовими для обґрунтування складу та будови мастильного матеріалу при застосуванні автоматичного змащування рейок і гребенів коліс з точки зору реалізації в контактї двошарового мащення. Вони враховують номінальну площу тертя, мікрогеометрію контактуючих поверхонь, форму та розміри легуючих частинок, товщину полімолекулярного граничного шару поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: рейка, колесо, контакт, знос, тертя, автоматичне змащування, легуюча добавка, концентрація.

В статье рассматривается вопрос обоснования требований к смазочным материалам для устройств автоматического смазывания рельсов и гребней колес подвижного состава. Предложен механизм двухслойной смазки поверхностей контакта рельса и колеса при реализации автоматического смазывания. Получены зависимости для определения минимально достаточных концентраций антифрикционных легирующих добавок и поверхностно-активных веществ в смазочном материале.

Ключевые слова: рельс, колесо, контакт, износ, трение, автоматическая смазка, легирующая добавка, концентрация.

The article deals with the question of substantiation of requirements for lubricants for automatic lubrication of rails and crests of rolling stock wheels. The mechanism of two-layer placement of the surfaces of the contact between the rail and the wheel is proposed, with the

application of automatic lubrication, which corresponds to the maximum of the actual contact area and the minimum stress in contact, the friction and wear of the rails and crests of the wheels. The obtained dependences for determining the minimum of sufficient concentrations of solid antifriction dopants and surfactants in the lubricant. Such dependencies are the basis for substantiating the composition and structure of the lubricant when applying automatic lubrication of rails and rims of wheels from the point of view of realization in the contact of two-layered lubrication. They take into account the nominal area of friction, the microheometry of contacting surfaces, the shape and size of alloying particles, the thickness of the polymolecular boundary layer of surfactants.

Key words: rail, wheel, contact, wear, friction, automatic lubrication, alloying additive, concentration.

Вступ. При взаємодії рейок з колесами рухомого складу залізниць у приповерхневих шарах металу в зоні контакту виникають суттєві змінні напруження та сили тертя. Вони призводять до підвищеного зносу рейок і бандажів коліс. Це в першу чергу стосується рейок у кривих ділянках колії, швидкозношуваних елементів стрілочних переводів, гребенів коліс. Таким чином, в умовах експлуатації залізниць існує проблема забезпечення зносостійкості вказаних елементів. Дана проблема традиційно вирішується декількома шляхами, а саме забезпеченням потрібної міцності матеріалів рейок і бандажів коліс, геометричним наближенням до конформного контакту колеса та рейки і застосуванням змащування бокової поверхні рейки та гребенів коліс. З урахуванням досягнень матеріалознавства, технологій отримання рейкових і колісних сталей, технологій механічної обробки та зміцнення поверхневих шарів металу перші два методи досить глибоко вивчені, хоча й мають певні резерви щодо подальшого їх розвитку та застосування при вирішенні вказаної проблеми.

Найбільш перспективним методом боротьби зі зносом рейок і коліс, який сьогодні активно розвивається, є застосування змащування [1–3]. Цей метод досліджується та впроваджується в багатьох розвинутих країнах світу. Він реалізується шляхом впровадження стаціонарних рейкозмащувачів і навісних гребенезмащувачів різноманітної

конструкції. При цьому на сьогодні не існує єдиної думки щодо доцільності та ефективності використання таких змащувачів у певних місцях та умовах, й особливо типу мастильного матеріалу та методу його нанесення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі залізничні системи змащування (лубрикації) можна поділити на декілька груп [1, 2]:

- системи змащення гребенів, що встановлюються на локомотивах і моторвагонних рухомих складах;

- стаціонарні та пересувні колійні лубрикатори, що змащують бічні грані головки рейки в кривих і на стрілочних переводах.

У свою чергу конструктивне виконання системи змащування повністю залежить від виду мастильного матеріалу, що використовується. Так, наприклад, системи змащування, які встановлюються на рухомий склад, можуть обладнуватись форсунками для нанесення рідкого, пластичного або твердого мастильного матеріалу на реборди коліс. У стаціонарних і пересувних колійних лубрикаторах переважно застосовуються рідкі, напіврідкі та пластичні мастильні матеріали. Велика кількість мастильних матеріалів конструктивних виконань змащувачів свідчить про відсутність узагальнених вимог до мастильних матеріалів, що застосовуються.

З іншого боку, роботи в галузі триботехніки формують такі головні вимоги до мастильних матеріалів:

максимальна адгезія до твердої поверхні тертя і мінімальна когезія між їхніми молекулярними шарами [4, 5], при цьому досягається мінімум сил тертя в широкому діапазоні навантажень. З метою дотримання вказаних вимог до базових олив і мастил додають поверхнево-активні речовини – присадки, молекули яких мають електричний дипольний момент, внаслідок чого формують на поверхнях тертя граничні шари кристалічної будови. Такі шари, за дослідженнями [5, 6], мають властивості рідких кристалів, тобто високу несучу здатність у нормальному напрямку та низький опір дотичному зсуву.

Слід зазначити, що граничні шари ПАР утворюються лише на фактичній площині контакту, тобто на зношених (ювенільних) верхівках мікроскопічних виступів поверхонь тертя, які постійно утворюються за рахунок пружно-пластичного контакту, зсуву або зрізу мікроставів. Якщо несуча здатність граничного шару буде меншою, ніж діючий контактний тиск на поверхні, то такий шар зруйнується і не буде виконувати своїх функцій.

Враховуючи високі контактні напруження, з метою зменшення контактного тиску в парі тертя «колесо-рейка» слід виконати ще одну умову, а саме реалізувати двошарове мащення поверхонь [7, 8]. Таким чином, вирішення проблеми вибору мастильного матеріалу для автоматичних рейко- та гребенезмащувачів лежить у площині реалізації двошарового мащення.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування складу та будови мастильного матеріалу при застосуванні автоматичного змащування рейок і гребенів коліс з точки зору реалізації в контакті двошарового мащення. Відповідно до поставленої мети основними завданнями є аналіз механізму взаємодії мастильних матеріалів різної будови з поверхнею тертя, впливу мастильного шару на контактні

напруження, тертя і знос рейок і гребенів коліс рухомого складу.

Основна частина дослідження. При застосуванні автоматичних змащувачів сили тертя і знос у трибологічному контакті «колесо – рейка» залежать від багатьох факторів. Однак якщо врахувати лише вплив мастильної плівки двошарової будови, зв'язок між її властивостями і тертям і зносом можна аналітично подати як

$$I \propto f(\tau) \propto \frac{\sigma^m}{h^n} = \frac{k}{S_\phi^m \cdot h^n}, \quad (1)$$

де I – інтенсивність зношування; τ – питома сила тертя; σ – напруження в контакті; h – товщина граничної плівки ПАР (другий шар); S_ϕ – фактична площа контакту; m та n – показники ступеня; k – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив інших факторів (властивості матеріалів, температуру, швидкість тертя тощо).

Як відомо, при двошаровому змащуванні перший шар – підложка – розподіляє зовнішнє навантаження за рахунок заповнення впадин мікронерівностей поверхонь, а другий шар – кристалічний шар ПАР – сприймає зовнішнє розподілене навантаження, як зображено на рисунку.

У якості легуючих добавок застосовуються мікро- або наночастинки металів, графіту, дисульфиду молібдену, природних мінералів тощо. З метою їх стабілізації в розчині базової оливи перед введенням їх вкривають тонкою плівкою маслорозчинних ПАР.

Виходячи з наведеної інформації можна встановити такі основні вимоги до мастильних матеріалів для автоматичних рейко- або гребенезмащувачів:

– мастильний матеріал повинен містити в собі мікроскопічні легуючі частинки, вкриті оболонками ПАР, які мають високу адгезію до поверхні та заповнюють впадини мікронерівностей;

– мастильний матеріал повинен містити в собі достатню кількість присадок для формування на зношених верхівках мікроскопічних виступів поверхонь тертя кристалічної граничної плівки;

– для забезпечення ефективного нанесення на поверхню тертя (наприклад, шляхом розпилювання) мастильний матеріал повинен мати необхідну в'язкісно-температурну характеристику.

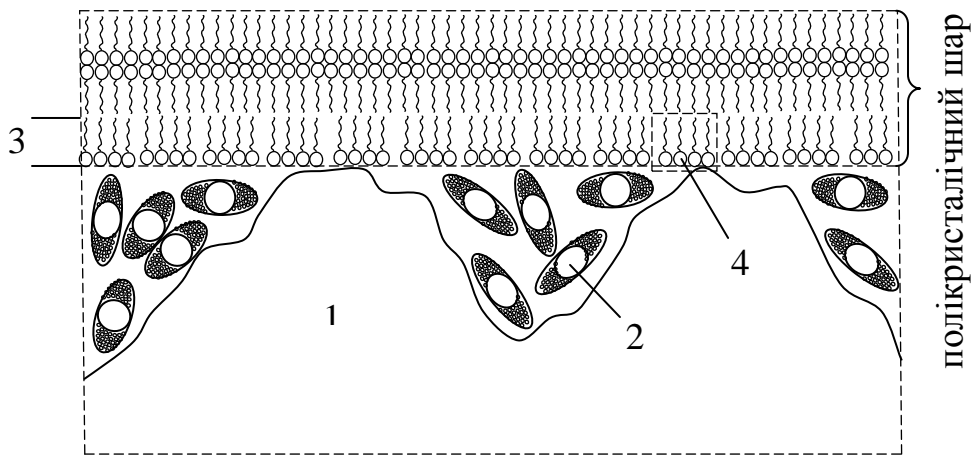


Рис. Фізичне уявлення про двошарове мащення поверхонь тертя:
1 – поверхня тертя; 2 – легуючі дисперсні добавки, вкриті оболонкою ПАР;
3 – монокристалічний шар присадки; 4 – «пакети» присадок

Вказаним вимогам відповідають рідкі мастильні матеріали, леговані частинками графіту або дисульфиду молібдену, які не лише заповнюють нерівності, але й проявляють антифрикційні властивості.

Ключовим питанням, з точки зору можливості реалізації двошарового мащення за рисунком, є визначення мінімально достатньої концентрації легуючих твердих частинок і ПАР в базовій оливі. Такі концентрації повинні встановлюватись за двох умов:

– концентрація легуючих дрібнодисперсних частинок повинна бути достатньою для заповнення всіх мікронерівностей з урахуванням площі поверхні, що змащується, і товщини граничного шару ПАР, яким вкриті легуючі частинки;

– концентрація ПАР повинна бути достатньою для формування граничних плівок на вільній поверхні легуючих частинок і полікристалічного шару, як

показано на рисунку, також з урахуванням площі поверхні, що змащується.

Якщо задати, що V_m – об'єм оливи, що наноситься на поверхню тертя площею S_H (вона ж – номінальна або контурна площа) за один цикл змащування, то концентрація легуючих частинок складе

$$c_q = \frac{V_\phi}{V_m} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де V_ϕ – фактичний об'єм, який потрібно заповнити, що визначається розподілом і геометричними характеристиками мікронерівностей.

Концентрація ПАР визначається аналогічно виразу (2) і складає

$$c_q = \frac{(V_\phi - \sum V_q) + V_{nu}}{V_m} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $\sum V_q$ – загальний об'єм легуючих частинок, який залежить від їх форми та

розмірів. Тобто вираз у скобках являє собою загальний об'єм граничних плівок ПАР на частинках, які заповнюють впадини нерівностей.

Друга складова виразу (3) $V_{ни}$ – об'єм, який займає полікристалічний шар ПАР – другий шар на рисунку. Він визначається як

$$V_{ни} = h_{ни} \cdot S_n, \quad (4)$$

де $h_{ни}$ – товщина полікристалічного шару ПАР.

Залежності (2) та (3) є базовими для обґрунтування складу та будови мастильного матеріалу при застосуванні автоматичного змащування рейок і гребенів коліс з точки зору реалізації в контакті двошарового мащення. Вони враховують загальну (номінальну) площу тертя, мікрогеометрію контактуючих поверхонь, форму та розміри легуючих частинок, товщину полімолекулярного граничного шару ПАР.

Висновки:

1. Розглянуто механізм мащення поверхонь контакту рейки та колеса при застосуванні автоматичного змащування, відповідно до якого встановлено, що реалізація в контакті двошарового мащення дозволить наблизити фактичну площу контакту до величини контурної площі, і, як наслідок, зменшаться напруження в контакті, сили тертя і знос рейок і гребенів коліс.

2. Отримано базові залежності для обґрунтування складу та будови мастильного матеріалу при застосуванні автоматичного змащування рейок і гребенів коліс з точки зору реалізації в контакті двошарового мащення. Вони враховують загальну (номінальну) площу тертя, мікрогеометрію контактуючих поверхонь, форму та розміри легуючих частинок, товщину полімолекулярного граничного шару ПАР.

Список використаних джерел

1. Буйносов, А. П. Результаты применения системы гребнесмазывания АГС-8 на промышленном железнодорожном транспорте [Текст] / А. П. Буйносов, И. М. Пышный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 64-68.
2. Игнатъев, О. Л. Современные системы лубрикации трибопары «колесо-рельс» [Текст] / О. Л. Игнатъев, В. О. Говорунов // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 6. – № 3. – С. 148-152.
3. Voronin, S. Study of the predominant defect development in rails of underground systems after preventive grinding and lubrication [Text] / S. Voronin, O. Skoryk, V. Stefanov, D. Onopreychuk, Y. Korostelov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V.116.
4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
5. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 472 с.
6. Лысиков, Е. Н. Влияние наноструктур присадки на трение и износ в технических системах [Текст] / Е. Н. Лысиков, С. В. Воронин // Фундаментальные и прикладные проблемы науки: Материалы VIII Междунар. симпозиума. – М.: РАН, 2013. – Т. 1. – С. 143-151.
7. Фукс, Г. И. Адсорбция и смазочная способность масел [Текст] / Г. И. Фукс // Трение и износ; [Академия наук СССР]. – 1983. – Т. 4, №3. – С. 398-414.

8. Лысиков, Е. Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин. – Харьков : ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

Панченко Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-13. E-mail: info@kart.edu.ua.

Воронін Сергій Володимирович, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Ремарчук Микола Парфенійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-72. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Асадов Башир Сабірович, аспірант кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Панченко Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, ректор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (057) 730-10-13. E-mail: info@kart.edu.ua.

Воронин Сергей Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Ремарчук Николай Парфениевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (057) 730-10-72. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Асадов Башир Сабирович, аспирант кафедры строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Panchenko Serhii, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-13. E-mail: info@kart.edu.ua.

Voronin Serhii, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of Construction, Travel and Cargo-Handling Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Remarchyk Mykola, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction, Travel and Cargo-Handling Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-72. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Asadov Bashir, graduate student of the Department of Construction, Travel and Cargo-Handling Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-66. E-mail: spprm@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 12.02.2018 р.