

Розглянуті причини та процес зносу тягових редукторів електропоїздів. Показані основні напрямки розвитку проблем трибології для тягового рухомого складу. Визначені передумови та методи розрахунку деталей на міцність

Ключові слова: нанотехнології, тяговий привід, тяговий редуктор вагонів метрополітену

Рассмотрены причины и процесс износа тяговых редукторов электропоездов. Показаны основные направления развития проблем трибологии для тягового подвижного состава. Определены предпосылки и методы расчета деталей на прочность

Ключевые слова: нанотехнологии, тяговый привод, тяговый редуктор ва метрополитена

The causes and the process of electric traction reducers wearing . The main directions of the tribology problems development for traction rolling stock have been shown. The prerequisites and the methods of parts durability calculation have been determined

Keywords: nanotechnology, traction drive, hauling gear cars subway

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТІ ТЯГОВИХ РЕДУКТОРІВ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Д. Ю. Зубенко

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра електротранспорту

Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, м. Харків, 61012

Контактний тел.: (057) 712-62-85, 050-520-21-01

E-mail: Denis04@ukr.net

Вступ

Загальні тенденції у галузі перспективного рухомого складу в розвинених країнах базуються на концепції «оксамитової революції», тобто забезпечення якості на протязі всього життєвого циклу. Тому технічне обслуговування й ремонти, ремонтпридатність та сервісне обслуговування обґрунтовуються в процесі проектування рухомого складу на базі розрахунків утомленісної міцності, довговічності та не руйнуючого контролю. Нова технологія конструювання та виробництва, що забезпечує більш високу точність при виготовленні, включає стандартизацію модулів рухомого складу та їх компонентів. Це, у свою чергу, потребує нових підходів до визначення надійності конструкцій, рівня безпеки локомотивів та використання сучасних інформаційних технологій і вимагає від фахівців у галузі тягового рухомого складу більш глибокого вивчення питань із трибології.

Останні досягнення

Значення трибології в останні десятиліття незмінно підвищується. Вона торкається самі різні сфери діяльності людини. Особливу важливість вона набула з необхідністю підвищення зносостійкості машин, приладів, устаткування, інструмента, робочих органів і інших виробів, а також зниження втрат на тертя [2,3].

Застосування досягнень трибології носить яскраво виражений міжгалузевий характер. Тільки урахована частка витрат, зв'язаних із передчасним зносом технічних виробів, досягає в розвинених країнах 2% національного доходу [1,12]. Внесок трибології у машинобудування здійснюється шляхом створення зносостійких фрикційних і антифрикційних матеріалів, сучасних технологій зміцнення тертьових поверхонь, оптимізацією конструкцій вузлів тертя, машин і виробів з обліком триботехнічних властивостей, створенням ефективних мастильних матеріалів і мастильних систем, поруч інших напрямків, що включають трибодіагностику й трибоінформацію. Оцінка внеску цих напрямків [2] наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Напрямок робіт	Внесок, %
Матеріалознавство, включаючи технології зміцнення	40
Оптимізація машин по трибологічним властивостям	30
Мастильні матеріали й системи	20
Інші напрямки (трибомоніторинг, трибодіагностика, приборне забезпечення, трибоінформація)	10

Ціллю даної статті є розкриття причин та процесу зносу тягових приводів електропоїздів, а також визначення передумов та методів розрахунку деталей на міцність на основі комплексної прогнозуючої моделі

оцінки ресурсу, яка урахує вплив НАНО-технологій.

Матеріал дослідження

На основі багаторічного спостереження за тяговими приводами електропоїздів можна виділити три основні фактори, що обумовлюють процес старіння цього вузла:

- знос та деформація базисних незмінних деталей;
- знос змінних деталей;
- частий ремонт вузла.

Знос базисної деталі значно впливає на старіння цього вузла. Протягом часу посадочні, спряжені місця цієї деталі змінюють свою форму, в них спостерігається зменшення натягу, з'являються та збільшуються зазори у спряжених деталях. Як наслідок, між деталями порушуються міжцентрові відстані, виникають їх перекося, змінюється орієнтація та кріплення як деталей, так і механізмів. Переміщується та зменшується площа контакту тертьових пар, та підсилюються питомі навантаження на неї. В результаті це призводить до поступового збільшення швидкості зносу змінних деталей. На швидкість зносу змінних деталей впливають також зміна відстані між робочими поверхнями та зменшення зносостійкості. Зношені, але придатні для експлуатації зубчасті колеса, підшипники кочення, а також інші деталі мають у спряженнях збільшені зазори. У процесі роботи це призводить до росту динамічних та інших навантажень, зростання контактних напружень із впливаючими звідси наслідками (поява стукоту, нагрівання та збільшення швидкості зносу деталей).

У ряді випадків із збільшенням зносу деталі зменшуються її зносостійкість. Це стосується деталей, що мають на робочих поверхнях тонкий шар зносостійкого металу (гартування, цементация, наклеп, антифрикційний матеріал та ін.). Зі зменшенням по мірі зносу цього шару, зносостійкість деталі та інші її робочі властивості погіршуються, а швидкість зносу збільшується.

Частий ремонт є своєрідним інтенсифікатором старіння тягового приводу. Він прискорює процес старіння, тому що перекомплектування деталей при збиранні, їх не втілення призводять до порушення спряжень та зменшення площі контакту.

Під дією першого фактора процес старіння протікає безперервно, під дією інших факторів - стрибкоподібно.

Вид руйнування деталей в умовах експлуатації залежить від типу матеріалу, форми та розмірів деталі, температури, характеру зміни навантаження в часі, зовнішнього середовища, опромінення та інших факторів. При цьому навантаження розділяють на статичні, змінні та ударні. При експлуатації в основному спостерігаються змінні та ударні навантаження.

Метод розрахунку на міцність, яка визначає ресурс, базується на порівнянні робочих напружень σ із припустимими, що визначаються за формулою [7]

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[n]} \quad (1)$$

де σ_{lim} - граничне напруження, при досягненні якого робочими напруженнями порушується працездатність конструкції;

$[n]$ - нормативне значення коефіцієнта запасу міцності; тобто умова забезпеченості міцності.

Необхідно відзначити, що вагомість вищевказаних факторів значно зростає з приводу старіння цих вузлів. На даний час електропоїзди мають подовжений строк служби і цей класичний метод не забезпечує в повній мірі розкриття процесів взаємодії поверхонь при їх відносному русі, механіку контактних взаємодій, зміну фізичного стану матеріалу в зонах тертя; кінетики структурних, фазових та дифузійних перетворень, міцнісних та деформаційних властивостей, пошук числових критеріїв оптимального структурного стану, оцінок якості поверхні та змащувальних засобів зносостійких спряжень.

Для покращення стану пар тертя у тяговому приводі на дослідному парку електропоїздів (як магістральних, так і метрополітену) була застосована НАНО-технологія.

Дія НАНО-технологій - це процес утворення модифікованого шару на поверхнях пар тертя [10]. У відповідності з технологією ремонтно-відбудовної сполучення (НАНО) додаються в носій, у даному випадку - масло, причому не нове, а яке вже має у своєму складі продукти тертя (рис. 1,а). Якщо умовно розподілити процеси, що протікають, на етапи, то процес буде виглядати таким чином. За рахунок високих абразивних властивостей НАНО у місцях контакту відбувається суперфінішна обробка поверхонь тертя, тобто очистка від нагарів, окислів, деформуваного масла. У місцях локального контакту у мікрооб'ємах виникають високі температури (до 1000°C й більше), що призводить до ініціації мікрометалургійних процесів (мікросхоплювання, мікрозварювання й шаржування).

В результаті відбувається «приплавлення» часток НАНО до кристалічних решіток поверхневого шару металу (рис. 1,б).

Практично одночасно з цим відбувається нагартування неспрацьованих часток НАНО, часток металу й інших продуктів тертя в заглиблення мікрорельєфу. Оскільки елементи НАНОів працюють як каталізатори, то в місцях нагартування створюються умови для активного протікання окислювально-відновлюваних процесів. В результаті цих реакцій відбувається утворення модифікованого шару.

Одночасно в прикордонній області відбувається утворення нових кристалів, нарощених на кристалічних решітках металу (рис. 1,в). Вони показані бордовим кольором.

Надалі ці кристали орієнтуються уздовж поля і зростаються, утворюючи на всій поверхні плями контакту суцільний ряд твердих розчинів або монокристалів (рис. 1,г).

Усі вище вказані процеси насправді протікають практично одночасно і мають місце доти, поки в носії не вичерпається доданий НАНО або в системі не наступить рівновага.

Таким чином усі зазори будуть вибрані до оптимальної величини, яка обумовлена термодинамічними процесами, що протікають у кожній точці локального контакту даної системи.

Нарешті, оптимізація зазорів у місцях контакту буде обумовлюватися конструктивними особливостями самої системи і всього агрегату в цілому. Тепер у місцях контакту замість пари тертя метал-метал буде метал-модифікований шар і ця пара буде мати істотно менший коефіцієнт тертя і набагато більшу зносостійкість.

Виходячи з цього на кафедрі «Міський електро-транспорт» Української національної академії міського господарства сумісно з Українською державною академією залізничного транспорту проведені дослідження з прогнозування ресурсу, базою яких є розроблена комплексна модель оцінки ресурсу на різних стадіях життєвого циклу, тобто визначення зміни величини зносу δ , швидкості V та прискорення W й функції часу роботи t у періоди припрацювання (I), нормальної експлуатації (II), інтенсивного зносу (III) та подовження строку служби з використанням НАНО-технологій (IV), геометрична інтерпретація якої подана на рис. 2.

Формалізацію оцінки зносу в період I запропоновано проводити, виходячи із залежності як для пар тертя зі зворотно-поступальним ковзанням.

Для цього випадку вираз для оцінки зносу буде мати вигляд

$$\delta_{np} = k \left(\frac{\sigma_H}{HB} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\chi}{h_m} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{RT}{Q} \right)^{\alpha_3} \left(\frac{v_{100}}{v_T} \right)^{\alpha_4}, \quad (2)$$

фізико-хімічні

σ_H - допускаема контактна напруга;

HB - площа фактичного дотику тіл;

χ - наведений параметр шорсткості поверхонь;

h_m - товщина мастильного шару;

R - універсальна газова стала;

T - температура поверхонь;

Q - теплота адсорбції мастильного матеріалу;

v_{100}, v_T - відповідно кінематична в'язкість мастила при 100°C і робочій температурі.

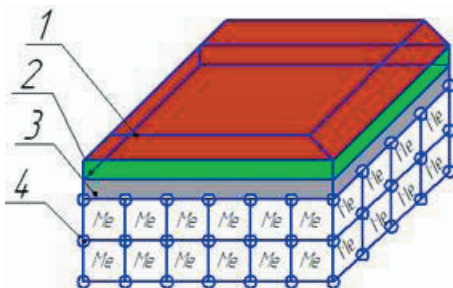


Рис.1. Схема захисної структури

1. Об'єм металу;
2. Адсорбційно пластифікований захищаємий шар поверхні (металу);
3. Захисний шар (третє тіло), що має найвищі антифрикційні, демпфуючі характеристики;
4. Подрастворенна поверхня третього тіла.

Для формалізації періоду II запропоновано умови роботи досить стабільні і швидкість зношування можна вважати постійною) термін служби нормальної експлуатації визначати як

$$T_p = \frac{\sigma_{max}}{\bar{V}}, \quad (3)$$

де σ_{max} - допустима величина зносу;

\bar{V} - середня швидкість зношування.

Для періоду III інтенсивного зносу прийнята аналітична залежність прирощування зносу

$$\Delta\delta = (\bar{\delta} - h) \cdot e^{\left(\frac{t+t_2}{A}\right)} + h, \quad (4)$$

де $\bar{\delta}$ - середній знос робочої поверхні;

h - коефіцієнт зсування кривої відповідно початку координат;

A - коефіцієнт довговічності, який визначає форму прогнозуючої кривої. Для цього періоду - це експонента.

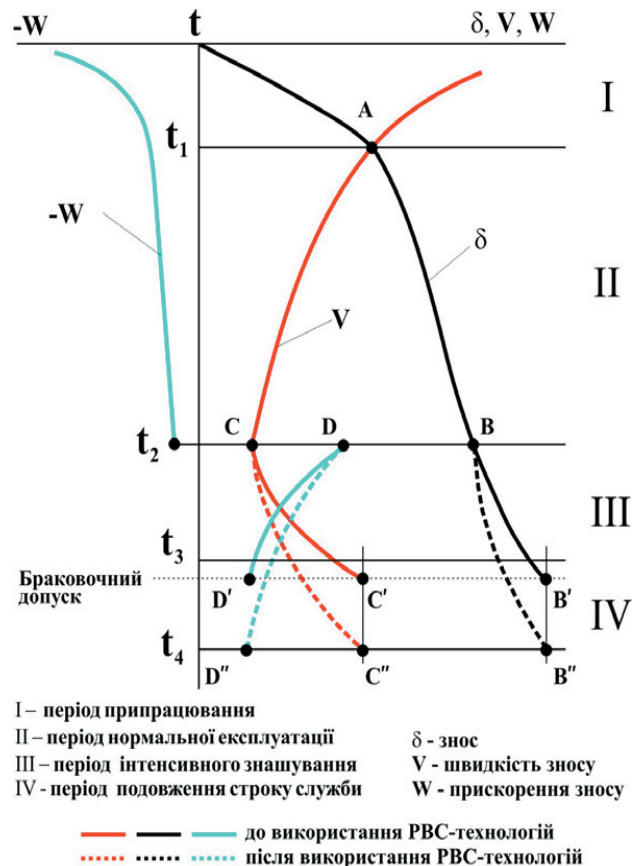


Рис.2. Геометрична інтерпретація життєвого циклу тягових приводів електропоїздів

Період подовження строку служби IV урахує, що на знос робочої поверхні значний вплив здійснюють фактори питомих витрат на утримання й ремонт та питомі витрати електроенергії в експлуатації $q = f(q', q'')$. Тому для цього періоду запропонована залежність

$$\delta_n = \left[A \cdot \ln \left(\frac{T_p + h}{h + T_{B,d} + T_{H,d} \cdot \tau} \right) \right] \cdot q, \quad (5)$$

де $T_{B,d}, T_{H,d}$ - відповідно верхній і нижній строки допускаємої експлуатації;

τ - поправочний коефіцієнт.

На базі цих залежностей були проведена обробка статистичних даних по зносу робочих поверхонь зубчастих коліс тягових приводів електропоїздів і були отримані прогнозуючі залежності. Так для тягового приводу електропоїзда метрополітену отримано

$$\delta = 0,13 \cdot e^{\left(\frac{t+300}{803,5}\right)} - 0,05, \tag{6}$$

$$\delta_B = 0,173 \cdot e^{\left(\frac{t+300}{803,5}\right)} - 0,05, \tag{7}$$

$$\delta_H = 0,087 \cdot e^{\left(\frac{t+300}{803,5}\right)} - 0,05. \tag{8}$$

Графічна залежність зносу зубів шестерень тягових приводів електропоїздів метрополітену наведена на рис. 3.

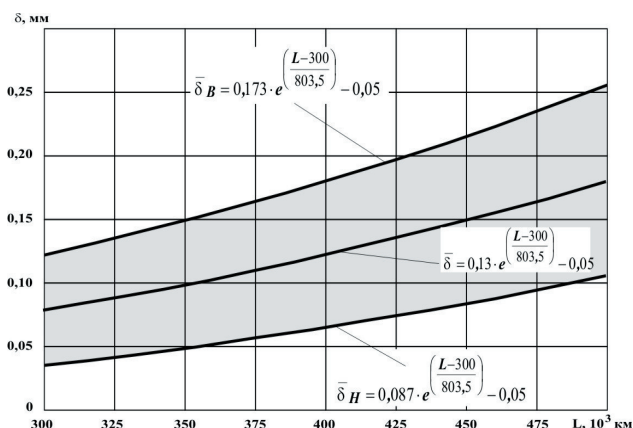


Рис. 3. Залежність зносу зубів шестерень тягових передач електропоїздів

Висновки

1. Розкрито загальний механізм розвитку процесів зносу на різних тимчасових стадіях, з урахуванням інтенсивності протікання і факторів, від яких вони залежать.
2. Визначені причини, що впливають на зміну швидкості зношування і розкриті їхня сутність, яка у більшості має не випадковий характер.
3. Запропонована модель процесу зношування тягових приводів електропоїздів, яка відображує експоненціальний закон, основними складовими якого є коефіцієнт довговічності й коефіцієнт зсування форми кривої відносно початку координат.
4. Формалізована задача визначення ресурсу тягових приводів і запропонована математична модель, яка враховує чотири стадії життєвого циклу протікання зносу (приробітку, періодів нормальної експлуатації і

граничного стану, а також періоду продовження терміну служби). У IV періоді визначений вплив витрат на ремонт, електроенергію й масло.

5. Отримані залежності, які дозволяють прогнозувати ресурс тягових передач електропоїздів, як у рядовій експлуатації, так і із застосуванням НАНО-технологій.

Література

1. Балабанов В.И. Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники реализацией избирательного переноса при трении. М.: Московский агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 1999. 305 с.
2. Гаврилюк М.Р., Чукмарев А.С., Васильков О.А. Повышение эффективности смазочных материалов // Эффект безызносности и триботехнологии. 1994, № 1. С. 40-42.
3. Джост П. Трибология – истоки и перспективы (доклад). Мировые достижения в области трибологии // Трение и износ. 1996, Т.7. №4. – С.593-603.
4. Дякин С.И. Опыт повышения надежности и ресурса узлов трения с использованием металлолакирующих смазочных материалов // Эффект безызносности и триботехнологии. 1994, № 3-4. С. 3-9.
5. Ефимов А.Б., Дроздов Ю.Н., Наумова Н.М. Математическое моделирование контактного взаимодействия в цилиндрической опоре скольжения // Трение и износ. 1988, Т.9. №2. – С.223-230.
6. Зайцев В.О. Удосконалення технології контролю та діагностування гільз циліндрів тепловозних дизелів: Дис. канд. техн. наук. – Харків, 2001. – 156с.
7. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. – М.: Высш. шк., 1991. – 319с.
8. Некрасов С.С., Стрельцов В.В. Применение масел с металлолакирующими присадками в карбюраторных двигателях // Эффект безызносности и триботехнологии. 1997, № 2. С. 66-71.
9. Поляков А.А. Трение на основе самоорганизации // Эффект безызносности и триботехнологии. 1996, № 3 - 4. С. 47-122.
10. НАНО-технологии и их применение. Патент Республики Украина №2442А с приоритетом от 22.04.97.
11. Цыпкин В.И., Стрельцов В.В. Исследование свойств сверхтонких порошков металлов, добавляемых в смазочные масла для реализации эффекта избирательного переноса при трении // Эффект безызносности и триботехнологии. 1994, № 3-4. С. 39-47.
12. Erhöhung der Verschleißfestigkeit auf der Grundlage der selektiven Übertragung. Erarbeitet von einem Autorenkollektiv. VEB VERLAGTECHNIK BERLIN, 1981, 191s.