

В. В. АРТЕМЧУК, М. А. ГРІЧАНИЙ (ДПТ), О. В. ЛЕМЕШЕВ (Служба локомотивного господарства Південно-Західної залізниці, Київ)

АДГЕЗІЙНИЙ МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ ПРИ ТЕРТІ

У статті розглянуто питання механізму адгезійного зношування. Наведено дію даного виду зносу на прикладі роботи поглинального пружинно-фрикційного апарату.

В статье рассмотрены вопросы механизма адгезионного изнашивания. Приведено действие данного вида износа на примере работы поглощающего пружинно-фрикционного аппарата.

The questions of mechanism of adhesion wear are considered in the article. The action of this type of wear is presented on the example of work of spring-friction shock absorber.

Процеси тертя та механізми зношення матеріалів є предметом досліджень багатьох вчених. Існує декілька теорій, що пояснюють закономірності, пов'язані з явищем тертя, а також класифікацій зношування. Серед деталей залізничного транспорту найбільш поширеними видами зношення є втомлене, адгезійне, абразивне та фретинг. Розглянемо адгезійне зношування (схоплювання) більш детально.

Механізм схоплювання на даний час не має однозначного визначення та пояснення [1]. Але при спрощеному визначенні можливо припустити, що адгезійне зношування можливе тоді, коли молекулярні зв'язки контактуючих поверхонь при певних умовах більш міцні, ніж зв'язок поверхневого шару з основою. Наслідком цього явища є глибинне виривання частки матеріалу з поверхні, що зношується. Не дивлячись на різність поглядів, дослідники збігаються в тому, що на процес схоплювання однозначно впливають такі чинники, як питоме навантаження та фізико-хімічний стан поверхонь. Костецьким Б. І. запропоновано дислокаційно-вакансійну гіпотезу створення металевих зв'язків, згідно з якою головним чинником у процесі схоплювання є активація при терті поверхневих шарів металу в результаті пластичної деформації поверхонь. Дійсно, питомий тиск істотно впливає на поверхню деталі, активуючи її. Це положення збігається з припущенням, що при більшій пружності контактуючих матеріалів вірогідність прояву цього виду зношення менша порівняно з більш пластичними [2].

Як відомо, робота сил тертя витрачається на створення тепла в зоні контакту та поглинання енергії поверхневим шаром. Зауважимо, що поглинена енергія при пластичному деформуванні металу визначає кінетику накопичення пошкоджень (дефектів) структури. Поглинена (нако-

пичена) поверхневим шаром енергія складає малу частину загальної енергії тертя. Активована поверхня поступово насичується вакансіями, в точках фактичного контакту виникають дифузійні процеси і створюються металеві зв'язки. У той же час, чим більше поверхня металу буде схильна до утворення вакансій, тим більше буде поглинатись енергія при пластичній деформації і, відповідно, зношування від схоплювання.

Згідно з дослідженнями [3], в поверхневих шарах при терті в умовах, близьких до виникнення схоплювання, створюється шар, структура якого подрібнена під дією температури, деформації та перемішування часток. Також зроблено припущення, що в процесі адгезійного зношування локальна деформація у п'ятні контакту може приводити до втрати опору здвигу в цих точках і швидкого створення та переносу деформованої частки, схильної до адгезії, оскільки відомо, що опір здвигу матеріалу обумовлює інтенсивність деформації. Якщо контактні напруження незначні, то пластична деформація зерен відбувається таким чином, що границі зерен і субзерен зорієнтовані по напрямку ковзання. Кристаліти також орієнтуються в напрямку ковзання, що пояснюється мінімальним напруженням деформації [3].

З наведеного витікає, що відносні здвиги частин металу провокують нестабільні процеси тертя, між контактуючими поверхнями з'являються нові мікроскопічні частки металу та окисли, які, у свою чергу, значною мірою інтенсифікують зношування.

Процес схоплювання носить випадковий характер і залежить від багатьох чинників. Існує припущення, що два контактуючі кристаліти з однаковою орієнтацією за певних умов (тиск, температура, контактуючі матеріали) з'єдну-

ється в один кристаліт. При контакті двох кристалітів з непаралельним розташуванням кристалографічних площин, тобто з різною орієнтацією, між ними створюється перехідна зона. На створення перехідної зони витрачається поверхнева енергія, яка вивільняється за рахунок перебудови структури. Цей процес супроводжується утворенням вузлів зварювання. При руйнуванні вузлів зварювання можуть бути вириви макро-, мікро- і субмікроскопічних частинок металу. Далі можливі різні варіанти: видалені частинки можуть виноситись із зони контакту, можуть переноситись і прилипати до контактуючих тіл. Можливий варіант, коли частинки окислюються і працюють між контактуючими тілами як абразив.

Розглянемо дію адгезійного виду зношування на прикладі поглинальних апаратів пружино-фрикційного типу (рис. 1). Досвід експлуатації таких апаратів вказує, що за наявності пар тертя «сталь – сталь» спостерігається високе зношування поверхонь тертя завдяки ефекту схоплювання зі зниженням ефективності поглинання енергії у процесі експлуатації. Однак, на жаль, заміна існуючих апаратів новими по всьому рухомому складу не є можливою, тому постає питання покращення експлуатаційних показників поглинальних апаратів, які експлуатуються на даний час.

Як відомо, поглинальні апарати передають тягові та гальмові зусилля, але головним їх призначенням є амортизація ударів при маневровій роботі та в процесі руху локомотивів та вагонів. При цьому перетворення кінетичної енергії удару в інші види енергії в основному відбувається в зоні тертя (3) між клином (1) та корпусом (2). При переміщенні фрикційних клинів виникає сила тертя, яка разом із дією пружин врівноважує силу, що стискає поглинальний апарат. При цьому одним із недоліків фрикційних апаратів є стрибкоподібний характер зміни сили опору при ударі [4]. Такий характер зміни сили стискання істотно впливає на знос елементів конструкції автозчепного пристрою рухомого складу, оскільки значно збільшується число навантажувальних ударів. Згідно з [4], стрибкоподібна зміна сили при ударі є наслідком дії автоколивальних, які переважно виникають в пружній системі та є наслідком зменшення коефіцієнта тертя при збільшенні швидкості ковзання. Збуджені стрибками коливання окремих елементів конструкції локомотива чи вагона можуть приводити до значних деформацій навіть при невеликих ударах. Неврахування ав-

токоливального характеру удару може привести до помилки розрахунків інтенсивності параметричних відмов у 2,5 рази [6].

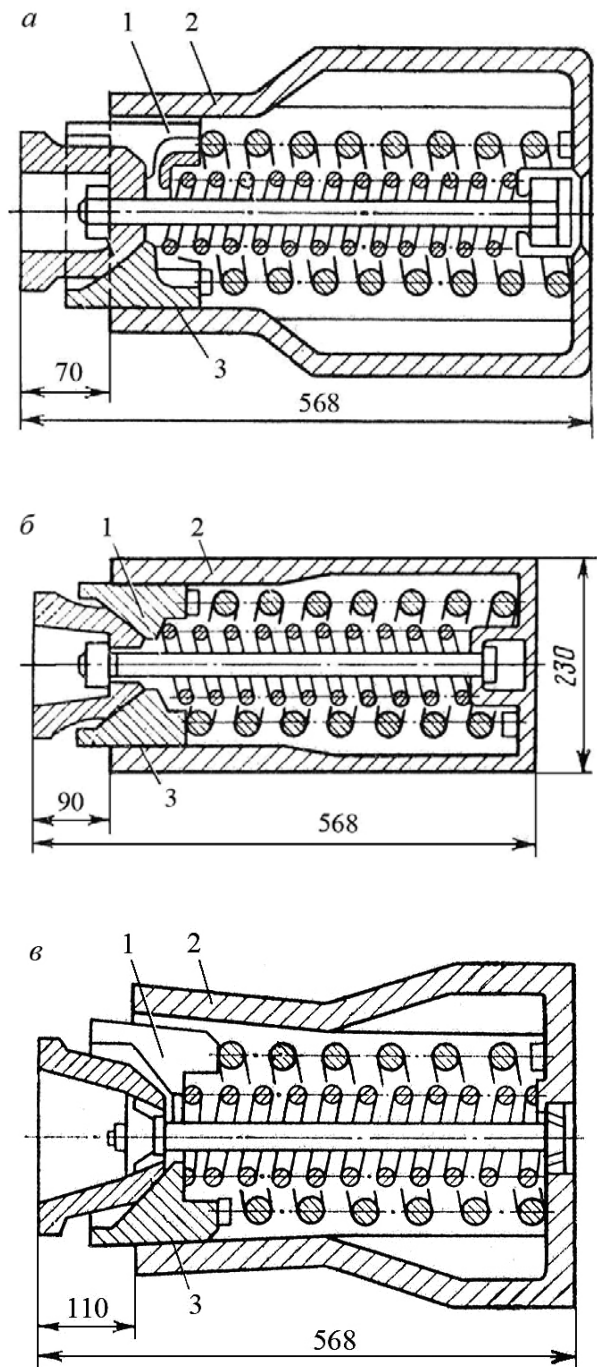


Рис. 1. Поглинальні пружино-фрикційні апарати:
а – Ш-1-ТМ; б – Ш-2-В; в – Ш-2-Т

На рис. 2 представлена фотографія клину після пробігу 100 тис. км. На поверхні чітко помітні, так звані, адгезійні шви, задери. В процесі експлуатації контактуючі поверхні фрикційного клина та корпусу поглинального апарату зчищуються від окисних плівок, збільшується фактична площа контакту, збільшується сила тертя. Огляд контактуючих поверхонь клинів

та корпусів показав нерівномірний знос, що може означати нерівномірне розподілення тиску по поверхні контакту. Розрахункова схема поглинального пружинно-фрикційного апарату (рис. 3) показує розподілення сил, що діють на клин. Однак, зрозуміло, загальна схема не враховує нерівномірність розподілення сил по всій площі контакту, оскільки останні є випадковими і залежать від багатьох чинників, наприклад, технологічних (установка елементів поглинаючого апарату), експлуатаційних (зміна геометричних розмірів деталей внаслідок їх зношення, поява окислів при певній перерві в роботі апарату).

Розглянемо механізм зношування поверхні фрикційного клина та корпусу поглинального апарату схоплюванням.

Фрикційний клин може знаходитись у двох станах – покою або руху. При роботі поглинального апарату поверхні, що труться, нагріваються, пластично деформуються, активуються, відбувається переміщення клину на якусь відстань (випадкову), на деякий час клин зупиняється, потім знову відбувається «зрив», клин знову переміщується вздовж корпусу і так далі. Довжина переміщення (стрибка) і час зупинки є випадковими і залежать відповідно від статичної характеристики контактуючих поверхонь та кінетичної характеристики тертя.



Рис. 2. Фотографія фрикційного клину

При відносному переміщенні тіл, у даному випадку фрикційного клина відносно корпусу поглинального апарату, під дією високого тиску відбувається пластична деформація у точках контакту з утворенням міцних металевих зв'язків. Тобто, на відстанях порядку міжатомних відбувається схоплювання контактуючих поверхонь з виділенням енергії; у точках схоплювання зникає межа між контактуючими тілами.

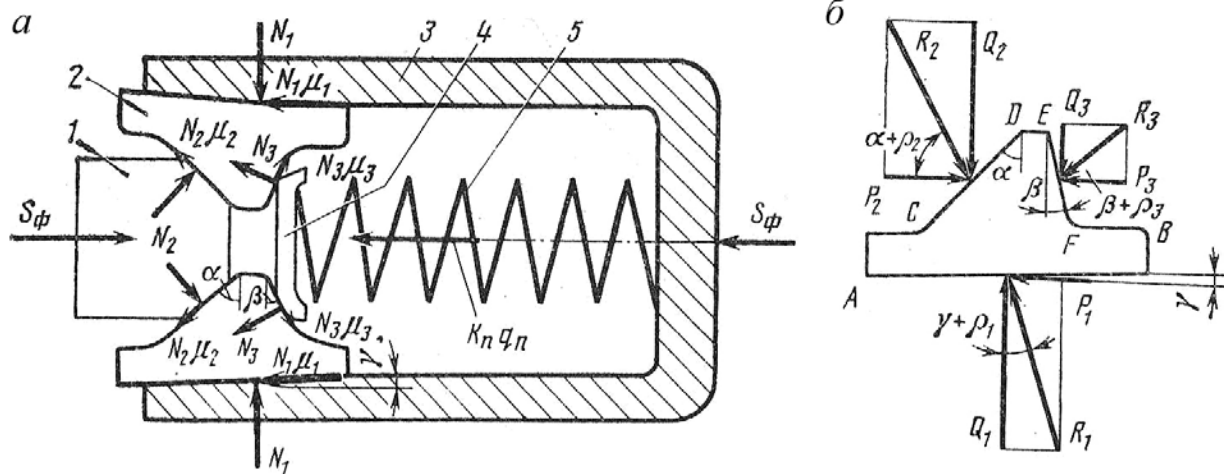


Рис. 3. Розрахункова схема поглинального пружинно-фрикційного апарату (а) та сили, що діють на клин (б)

Коли молекулярна взаємодія між схопленими елементами більша, ніж межа міцності матеріалу, і при цьому тіла продовжують взаємно переміщуватись, то відбувається виривання металу з поверхні. Під час схоплювання та відриву пластична деформація поверхонь супроводжується глибинним вириванням часток металу та створенням напливів на корпусі поглиналь-

ного апарату. На робочій поверхні фрикційного клину (рис. 2) помітні конусоподібні глибокі канавки з нерівними краями, витягнуті по напрямку руху клину.

Однією з існуючих проблем, що приводить до автоколивань, є нестабільність коефіцієнту тертя під час роботи поглинального апарату, тобто зменшення коефіцієнту тертя при збіль-

шенні швидкості відносного переміщення фрикційного клину. Особливо небезпечним є схоплювання в крайньому стиснутому положенні, коли тиск між фрикційним клином та корпусом досягає максимальних значень; тоді апарат або заклинює, що фактично є аварійним станом, або молекулярні зв'язки розриваються, і апарат

різко повертається в початкове положення з ударом по передньому упору та хвостовику автотцепи. Вказані фактори негативно впливають на динаміку рухомого складу, значно підвищують зношення деталей, а також можуть приводити до значних пошкоджень (рис. 4).



Рис. 4. Пошкодження корпусу поглинального апарату Ш-2-В

Для покращення роботи поглинального апарату необхідно вжити низку заходів конструкційного і технологічного характеру. Але для цього необхідно більш детально розглянути чинники, що впливають на роботу та зношення деталей поглинального апарату.

Аналізуючи наведені вище фактори роботи поглинаючих апаратів із парами тертя «сталь – сталь», можна припустити, що основними заходами покращення роботи є протидія механізму схоплення, яка полягає у наступному:

- необхідно уникати поєднань пар металевих матеріалів з однаковою твердістю, оскільки такі пари схильні при незначних перевантаженнях до утворень вузлів зварювання, мають невисоку зносостійкість і ненадійні в роботі;

- необхідно поєднувати різні за твердістю метали, що мають температуру рекристалізації, нижчу за середню температуру поверхні тертя;

- враховуючи специфіку роботи поглинаючих апаратів, металеві сплави повинні мати високу теплостійкість і, до того ж, міцність робочого шару повинна бути меншою за міцність основного металу [3].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Носовский, И. Г. О механизме схватывания металлов при трении [Текст] / И. Г. Носовский // Трение и износ. – 1993. – Т. 14, № 1. – К., 1993. – С. 19-24.
2. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Тарасов, С. Ю. Структурные изменения в металлических материалах в условиях адгезионного трения [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 2008.
4. Никольский, Л. Н. Амортизаторы удара подвижного состава [Текст] / Л. Н. Никольский, Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение, 1986. – 144 с.
5. Кеглин, Б. Г. Параметрическая надежность фрикционных устройств [Текст] / Б. Г. Кеглин. – М.: Машиностроение, 1981. – 136 с.
6. Вагоны [Текст] / под ред. Л. А. Шадура. – М.: Транспорт, 1980. – 433 с.

Надійшла до редколегії 15.09.2009.
Прийнята до друку 23.09.2009.