

**М. Дмитриченко**

Професор, д-р. техн. наук

**Р. Мнацканов**

Професор, д-р техн. наук

**О. Мікосянчик**

Доцент, канд. техн. наук

**Ю. Туриця**

Аспірантка

Національний транспортний  
університет,  
м. Київ

УДК 621.891

## МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ СТ45 ПРИ ДОДАВАННІ ДО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ БУТИЛКАУЧУКУ

*Встановлений механізм утворення й адаптації граничного шару на контактуючих сталевих поверхнях. При додаванні 1 % бутилкаучуку значно підвищується адсорбційна активність мастила. При змащуванні контактних поверхонь мастилом I-40 встановлено відмінність лінійного зносу для випереджаючої і відстаючої поверхонь — 1,541 і 0,805 мкм відповідно.*

**поверхня металу, адсорбційний граничний шар, режим мащення, контактна поверхня**

При динамічному навантаженні поверхневі шари металів сприймають значну пластичну деформацію. При цьому істотно змінюється дислокаційна структура поверхневого шару, що пов'язано з протіканням у фрикційному контакті фізико-хімічних процесів. Опір деформації і руйнуванню поверхні металу при циклічному навантаженні значною мірою визначає надійність пар тертя. Крім цього, слід враховувати наявність взаємозв'язку зміни структури поверхневих шарів твердих тіл і мастильного середовища при терті, а також кінетики зношування зі структурними змінами пар тертя.

Мета статті — дослідження мастильної здатності розчину 1 % бутилкаучуку до мінерального мастила I-40, виявлення фізико-хімічних властивостей, що обумовлюють інтегральний ефект, встановлення механізму утворення й адаптації граничного шару на контактуючих поверхнях і вплив його активних компонентів на механічні властивості поверхні металів.

**Опис матеріалу та результати досліджень.** Випробування проводили за схемою ролик — ролик (Ст45, HRC 38-42) на установці СМЦ-2 в режимі частих пусків-зупинок (розгін до сумарної швидкості кочення 1,92 м/с, негайне гальмування до повної зупинки) в період пуску, при максимальному моменті тертя, в умовах кочення

(проковзування — 15%). Цикли розгін (4 с) — гальмування (3,5 с) слідуєть один за іншим, без перерви. Кількість циклів в експерименті  $N=3000$ . Об'ємна початкова температура мастила складала 16 °С, після  $1000 \leq N \leq 2500$  поступово збільшувалася до 70 °С. Дослідження проводилися при контактному напруженні 400 МПа.

**Механізм формування граничного змащувального шару компонентами мастильного матеріалу.** При додаванні 1 % бутилкаучуку значно підвищується адсорбційна активність мастила. Час адаптації граничного шару скорочується в 2,5 рази, при  $N \leq 100$  встановлено в контактні формування адсорбційних шарів завтовшки 0,550 — 3,572 мкм. На доріжці тертя утворюється темно-коричнева плівка, яка покриває всю поверхню (рис. 1). Утворений змащувальний шар стабільний до підвищення температури. Частковий зрив змащувальної плівки зафіксований при  $2010 \leq N \leq 2100$ , в 20 % циклів встановлений металевий контакт поверхонь тертя на стоянці.

Товщина хемосорбційних плівок з введенням у мастило I-40 бутилкаучуку підвищується в 3,5 рази і до закінчення експерименту складає 0,121 — 0,557 мкм. Приріст товщини змащувального шару при збільшенні сумарної швидкості кочення в період зрушування підвищується на 40 %. Якщо при  $N \leq 100$  в контактні реалізується змішаний

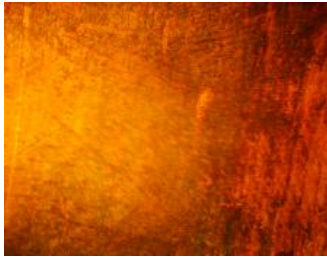


Рис. 1. Доріжка тертя при змащуванні контактуючих пар 1% розчином бутилкаучуку

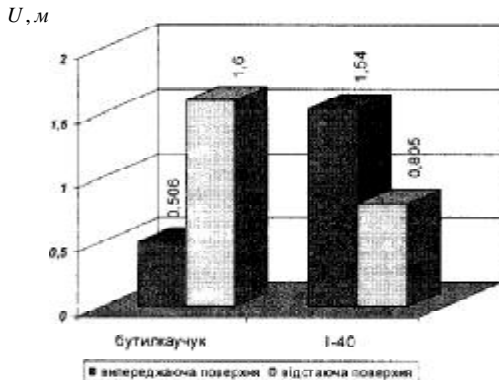


Рис. 2. Лінійний знос поверхонь тертя Ст45 при напрацюванні

режим мащення, то при адаптації граничних шарів в умовах частих пусків-зупинок встановлюється гідродинамічний режим мащення.

**Закономірності зношування Ст45 при змащуванні вузла тертя мінеральним мастилом і його композицією з присадкою.** Зношування твердих поверхонь є складним процесом, який частіше за все обумовлений як хімічною взаємодією, так і фізичним пошкодженням поверхонь. Будь-яка незначна зміна умов тертя може повністю змінити характер зношування [1].

На рис. 2 наведений лінійний знос пар тертя при напрацюванні  $N=3000$  з використанням розчину бутилкаучуку. При змащуванні контактних поверхонь I-40 в ході експерименту встановлено істотну відмінність лінійного зносу для випереджаючої і відстаючої поверхонь — 1,541 і 0,805 мкм відповідно. Найбільший знос характерний для періоду припрацювання, до  $N \leq 250$  (загальна інтенсивність зношування зразків складала  $7,648 - 4,134 \cdot 10^{-8}$ ). Саме в цей період був зафіксований частий зрив змащувального шару на стоянці і встановлений металевий контакт поверхонь. У міру адаптації граничних адсорбційних шарів інтенсивність зношування знижується до  $0,601 - 0,751 \cdot 10^{-8}$ .

Нами були проведені дослідження зміни мікротвердості поверхневого шару випереджаючого і відстаючого зразків в умовах динамічного навантаження і встановлено вплив зміни цього параметра на величину зносу. Найбільший знос, зафіксований при  $N \leq 250$ , обумовлений розміщенням поверхневого шару металу як на випереджаючій, так і на відстаючій поверхнях (рис. 3).

На цій стадії деформації відбувається дроблення елементів структури і накопичення дислокацій. Зміни вели-

чини зсуву по слідах ковзання особливо сильно виявляються при перших закономірних циклах, що характеризуються інтенсивним зменшенням пластичної компоненти і підвищенням деструкційної складової.

Перший етап протікання мікропластичної деформації характеризується в більш полегшеному утворенні і русі дислокацій у приповерхневих шарах кристалічних матеріалів [2]. Згідно з гіпотезою Смекаля в реальних кристалах є порожнини, які підвищують хімічну активність довколишніх атомів і викликають посилення адсорбційної дії [3]. Наслідком процесів активації поверхневих шарів у режимі частих пусків-зупинок є утворення граничних адсорбційних плівок на контактуючих поверхнях.

Різний характер зміни мікротвердості і зносу на відстаючій і випереджаючій поверхнях, на наш погляд, обумовлений складним напруженим станом матеріалу поверхневого шару, що виникає в результаті поєднання контактних напружень нормального навантаження і тангенціальних сил. У міру формування й адаптації граничного шару в контакті домінує гідродинамічний режим мащення. Вплив мастила на контактну витривалість виявляється через пік гідродинамічного тиску в зоні виходу поверхонь з контакту, який створює різко виражену концентрацію напружень: виникаючі сили тертя в контакті підвищують напруження в поверхневому шарі матеріалу на відстаючій поверхні і зменшують їх на випереджаючій [4]. Згідно з даними, наведеними у праці [4], підвищення напруження в поверхневому шарі на відстаючій поверхні знижує його контактну витривалість при коченні з проковзуванням. При змащуванні мінеральним мастилом I-40 встановлений протилежний ефект: лінійний знос випереджаючого зразка в два рази більший, ніж відстаючого. Ми вважаємо, що механізм цього процесу полягає в наступному. Вплив тангенціальних знакозмінних циклічних напружень на поверхню металу послаблюється у міру формування граничних адсорбційних шарів при  $N \geq 500$ , ступінь зміцнення слабшає. Оскільки розміщення випереджаючої поверхні відбулося більш інтенсивно ( $H_{200} = 4900$  МПа — випереджаюча,  $H_{200} = 5350$  МПа — відстаюча), то збільшення зносу обумовлено підвищенням стиранням менш зміцненого поверхневого шару випереджаючого зразка. У міру формування граничного шару компонентами мастила відбувається незначне зміцнення

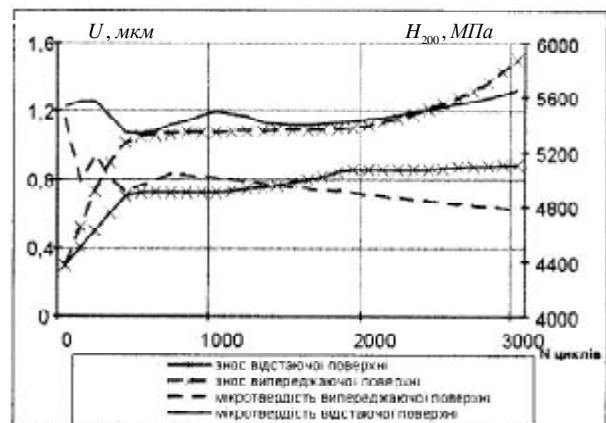


Рис. 3. Зміна мікротвердості та лінійного зносу Ст45 в умовах частих пусків-зупинок при змащуванні I-40

поверхневого шару пар тертя, а з підвищенням температури при  $N \geq 1000$  спостерігається синхронний процес розміщення на дослідних зразках. Це пов'язано, поперше, зі зниженням напруження, потрібного для деформації при збільшенні температури, по-друге, з інтенсифікацією теплового руху атомів металу і переважанням явища відпочинку металу [5].

Слід зазначити, що з підвищенням температури спостерігається збільшення дифузії кисню [1], а глибина дії теплового джерела на відстаючій поверхні буде більшою, ніж на випереджаючій, відбувається інтенсифікація окислювальних процесів, що приводять до збільшення мікротвердості на відстаючому зразку і підвищення зносостійкості відстаючої поверхні.

Отримані дані узгоджуються з [6], де встановлений значний знос при змащуванні очищеним мінеральним мастилом до тих пір, доки на поверхні, що зношується, не утворюється достатня плівка оксидів.

Проведений аналіз кінетики зношування при змащуванні I-40 дає підстави зробити припущення про домінуючий вплив у контакті адгезійного виду зносу в період припрацювання, а з підвищенням температури супутнім видом зносу є окислювальний.

При змащуванні поверхонь 1 % розчином бутилкаучуку загальна інтенсивність зношування зразків не змінюється, а встановлені експериментальні значення лінійного зносу для відстаючої і випереджаючої поверхонь (1,596 і 0,506 мкм відповідно) — діаметрально протилежні, порівняно з I-40. Перш за все, це обумовлено більш істотним зниженням мікротвердості поверхневого шару відстаючого зразка, що призводить до інтенсифікації зношування. Слід зазначити, що найбільший знос зразків встановлений при якісному збігу процесів розміщення в початковий період припрацювання до  $N \leq 450$  — 480 (рис. 4).

Збільшення часу знеміцнення в 1,8 рази при введенні в I-40 бутилкаучуку пов'язано зі зменшенням ступеня металевого контакту поверхонь внаслідок екрануючої дії адсорбційного шару. З формуванням ранніх стабільних граничних адсорбційних шарів, на наш погляд, відбувається зниження хімічної активності поверхонь за рахунок витрати поверхневої енергії металу на взаємодію з молекулами змащувальної речовини, що зменшує ступінь первинної деформації кристалічної ґратки через ослаблення впливу знакозмінних тангенціальних напружень на поверхневі шари металу. Граничні адсорбційні шари також зменшують вплив температурного чинника на зміну мікротвердості поверхневих шарів — зниження  $H_{200}$  зафіксовано лише при  $N \geq 1500$ .

Таким чином, можна припустити, що зношування поверхонь відбувається через періодичні процеси стирання й відновлення плівки на поверхні металу. Отже, в контакті переважають корозійно-механічні процеси. З підвищенням температури супутнім видом зносу є окислювальний, який протікає за аналогічним механізмом, описаним для I-40.

В усіх експериментах спостерігається лише одна закономірність — підвищення зносостійкості випереджаючої чи відстаючої поверхонь обумовлено меншою інтенсивністю розміщення поверхневих шарів у період припрацювання й подальшою інтенсивністю зміцнення. На

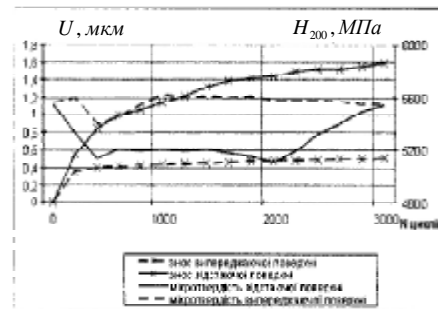


Рис. 4. Зміна мікротвердості та лінійного зносу Ст45 в нестаціонарних умовах для розчину бутилкаучуку

ці процеси впливають такі чинники: фізико-хімічний склад мастильного матеріалу; формування граничних адсорбційних шарів у контакті; вплив температури, який, в більшості випадків, призводить до початкового розміщення поверхневих шарів металу, а також до подальшого зміцнення поверхні відстаючого зразка через інтенсифікацію реакцій окислення з підвищенням температури.

Таким чином, для підвищення довговічності пар тертя, які експлуатуються в зазначених вище умовах, потрібно при проектуванні надійності вузла тертя враховувати кінетику зміни мікротвердості поверхневих шарів і механізми, які обумовлюють ці зміни.

**Висновки.** 1. Найбільший знос зразків встановлений у початковий період припрацювання.

2. Зафіксовано частий зрив змащувального шару на стоянці і встановлено металевий контакт поверхонь.

3. Встановлено істотну відмінність лінійного зносу для випереджаючої і відстаючої поверхонь при змащуванні контактних поверхонь мастилом I-40.

#### Література

1. Дмитриченко Н.Ф., Мнацаканов Р.Г. Смазочные процессы в условиях нестационарного трения. — Житомир: ЖИТИ, 2002. — 308 с.
2. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. — М.: Машиностроение, 1982. — 280 с.
3. Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин. — К.: Техника, 1950. — 168 с.
4. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. — М.: Транспорт, 1976. — 182 с.
5. Лихтман В.И. Влияние среды на прочность металлов. — М.: Знание, 1953. — 60 с.
6. Свойства металлических поверхностей: Сборник сокращений переводов /под общ. ред. Дьяченко П.Е. — М.: Машиностроение, 1976. — 303 с.

Отримана 18.05.09

M. Dmitrichenko, R. Mnatsakanov, O. Mykosiianchyk, Y. Turitsa  
**A mechanism of wear of steel is at adding to lubricating material of butyl rubber**

National Transport University, Kiev

*It is established the mechanism of formation and adaptation of a boundary layer on contacting steel surfaces. At addition of 1 % butyl rubber considerably raises adsorption activity of oil. At greasing of contact surfaces by oil I-40 difference of linear wear for advancing and lagging behind surfaces - 1,541 and 0,805 mkm accordingly is established.*