

УДК 621.891

М.Ф. Дмитриченко, д.т.н., проф.**Р.Г. Мнацаканов, д.т.н., проф.****С.С. Кроль, інж.****О.О. Мікосянчик, аспір.***Національний транспортний університет*

ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ АДСОРБЦІЙНИХ ШАРІВ НА ДИНАМІКУ ЗНОШУВАННЯ СТАЛІ

Досліджується взаємозв'язок між зносом пар тертя і такими чинниками, як тип металу і змащувального матеріалу. Встановлено, що підвищення термоокислювальної стабільності масла для гідромеханічних коробок передач за рахунок підбору базової основи (поліальфаолефінів і ріпакової олії) і антиокислювальної присадки (іонол) забезпечує підвищення зносостійкості сталі, яке обумовлено зміцненням поверхневих шарів металу при напрацюванні і формуванням граничних шарів якісно іншої природи, що забезпечує зменшення інтенсивності корозійно-механічного зношування контактних поверхонь.

Постановка проблеми. Одним із сучасних напрямів теорії тертя є вивчення механічних і фізико-хімічних процесів, що відбуваються в контакті. Хімічну активність поверхні твердого тіла при механічній дії слід розглядати у взаємозв'язку зі „зворотним” впливом фізичної адсорбції та хімічних реакцій на протікання процесів пластичної деформації [1]. Одночасна реалізація в контакті процесів деформації металу і дифузії елементів змащувального середовища накладає особливості на механізм пластичної деформації, який визначається також важливим проявом активації поверхневих шарів – збільшенням дефектності структури металів [2]. Механізм деформації тонких поверхневих шарів в умовах контактної взаємодії твердих тіл пов'язаний зі специфікою їх взаємодії з поверхневоактивними компонентами змащувального матеріалу, проте трактування безпосередньої ролі процесу адсорбції ПАР у деформації металу суперечливі і потрібні подальші дослідження у цьому напрямку [3], [4].

Мета і задачі дослідження. Метою проведених досліджень є встановлення ефективності змащувальної дії та протизношувальних властивостей масел для гідромеханічних коробок передач, а також визначення залежності цих параметрів від механічних і фізико-хімічних властивостей контактуючих матеріалів при експлуатації в несталих умовах роботи.

У якості змащувального матеріалу використовувалося два типи масел для гідромеханічних коробок передач:

1) нафтове масло МГТ на основі глибокоочищеної і депарафінізованої фракції МС-8 із загущуючою, депресорною, протизношувальною, детергентною та антипінною присадками, виготовлене згідно з ТУ 38.101.103-87 [5];

2) синтетичне масло на основі поліальфаолефінів (95 %) і ріпакової олії (5 %) з антиокислювальною (іонол), протизношувальною (інфеніум С9425), поліфункціональною в'язкісною і депресорною присадкою поліметакрилатного типу (В8-705) та антипінною (ПМС-200А) присадками [6].

Дослідження проводилися на установці СМЦ-2 в режимі частих пусків–зупинок. Цикли пуск (4 с)–зупинка (3,5 с) йшли один за іншим, без перерви; всього циклів у експерименті – $N = 3000$. Випробування проводили за схемою ролик–ролик в умовах кочення ($V_{\Sigma k}$ до 1,92 м/с), проковзування складало 15 %. У якості зразків використовували ролики $d = 50$ мм зі сталі ШХ-15 (HRC = 58–60) і Ст 45 (HRC = 35–42). Максимальна контактна напруга за Герцом – 400 МПа. Початкова об'ємна температура масла складала 16 °С, швидкість нагріву – 0,2 °С/хв, максимальна температура масла досягала 70 °С.

Результати досліджень. При вивченні протизношувальних властивостей досліджуваних композицій масел встановлено ряд загальних закономірностей зношування пар тертя в умовах кочення з проковзуванням. По-перше, знос, не залежно від типу металу і масла, менший на випереджаючій поверхні, ніж на відстаючій (рис. 1). По-друге, при використуванні зразків з більш твердого металу ШХ-15 знос контактних поверхонь зменшується в середньому на 70 %. По-третє, застосування в якості змащувального матеріалу масла для гідромеханічних коробок передач № 2 забезпечує зниження лінійного зносу

ШХ-15 на 41 % і 61 %, а Ст 45 на 30 % і 55 % відповідно на випереджаючій і відстаючій поверхнях. Таким чином, простежується чітка кореляція між зносом пар тертя і такими чинниками, як тип металу і змащувального матеріалу.

Для встановлення механізму впливу вказаних чинників на динаміку зношування були проведені дослідження кінетики зміни інтенсивності зношування і мікротвердості поверхневих шарів металу в умовах багатоциклічної деформації в режимі пуск–зупинка.

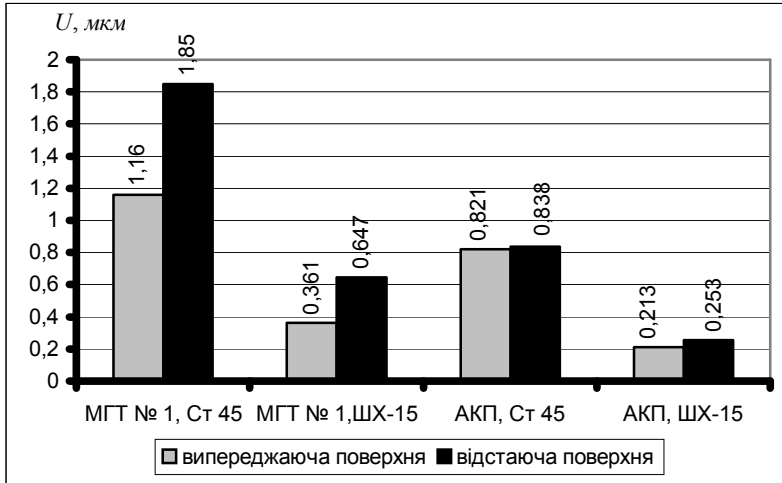


Рис. 1. Лінійний знос випереджаючої та відстаючої поверхонь

Найбільша інтенсивність зношування сталі ШХ-15 при змашуванні МГТ № 1 встановлена в період припрацювання, до $N \leq 200$, і складає $0,96 \cdot 10^{-8}$ та $1,82 \cdot 10^{-8}$ відповідно для випереджаючої і відстаючої поверхонь (рис. 2). У міру формування граничних адсорбційних шарів цей параметр зменшується у середньому в 8 разів до закінчення експерименту. При цьому встановлено, що у міру напрацювання, після $N \leq 2600$, інтенсивність зношування випереджаючого зразка не змінюється, а на відстаючій поверхні підвищується на 2,5%. Пояснення цьому факту дає аналіз кінетики зміни мікротвердості поверхневих шарів. У початковий період при перших циклах навантаження встановлена тенденція до розміцнення поверхневих шарів металу на обох поверхнях. Це пов'язано перш за все з полегшенням виходу дислокацій на поверхню при початковому подрібненні зерен металу в результаті пружньо-пластичної деформації в зоні контакту. При цьому збільшення площин ковзання призводить до зворотнього ефекту – перешкоджання руху і виходу дислокацій, що обумовлює зміцнення поверхневих шарів. Проте, в наших умовах експерименту часткове зміцнення металу відбувається до $N \leq 1000$, що пов'язано з підвищенням впливу температурного чинника, який збільшує імовірність зняття дефектів кристалічної решітки. З підвищенням температури домінуючий вплив на зміну мікротвердості поверхневих шарів належить граничним адсорбційним шарам

змашувального матеріалу, які мають різну природу. Найбільший вплив на поверхню металу здійснюють шари СОП і хімічно модифіковані плівки. Встановлено, що з підвищенням температури збільшується ступінь окислення компонентів змашувального матеріалу, що призводить до утворення поверхнево-активних речовин. Деформація металу за наявності ПАР згідно з даними роботи [2] протікає у два етапи: на першому етапі пластичний зсув полегшується, другий етап пов'язаний зі зменшенням відносного зсуву площин ковзання, що забезпечує більш сильне зміцнення вздовж цих площин. Зазначена тенденція впливу ПАР простежується на випереджаючій поверхні – ступінь текстурування зростає (рис. 2). На відстаючій поверхні відбувається подальше розміцнення поверхневого шару, і також зафіксовано збільшення інтенсивності зношування. Ми вважаємо, що механізм даного процесу полягає у наступному. Внаслідок різновекторної спрямованості сил тертя на випереджаючій і відстаючій поверхнях у контакті відбуваються наступні ефекти: на випереджаючій поверхні домінує ефект Ребіндера – пластифікування поверхні у присутності ПАР і подальше підвищення міцності, а на відстаючій поверхні пластифікуючий ефект Ребіндера взаємозв'язаний з розклинюючим ефектом Дерягіна. На відстаючій поверхні не відбувається зміцнення шару металу, оскільки адсорбція ПАР на внутрішніх поверхнях розділу призводить до зниження роботи утворення нових поверхонь і до подальшого полегшення розвитку пластифікованого шару.

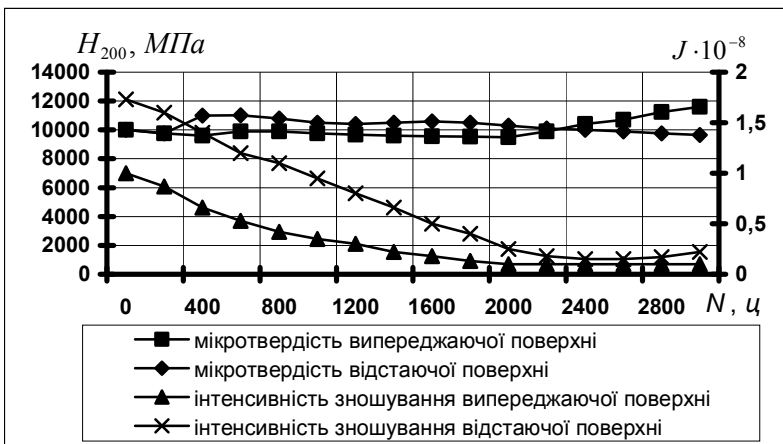


Рис. 2. Зміна мікротвердості поверхневих шарів та інтенсивності зношування у функції напрацювання (ШХ-15)

Проведений аналіз динаміки інтенсивності зношування та мікротвердості поверхневих шарів ШХ-15 при змащуванні МГТ № 1 дозволяє припустити зміну природи зносу в контакті при напрацюванні: якщо у період припрацювання домінує адгезійне зношування, обумовлене частою зміною граничних шарів, що призводить до металевого контакту поверхонь, то з підвищенням температури, у міру формування адсорбційних плівок, в контакті домінує корозійно-механічне зношування поверхонь.

Аналогічні закономірності і механізми зношування встановлені і на зразках зі Ст 45. Інтенсивність зношування контактних поверхонь підвищується в середньому в 3 рази (рис. 3). Якщо до закінчення експерименту підвищення мікротвердості на випереджаючій поверхні для ШХ-15 склало 150 МПа, то для Ст 45 $\Delta H_{200} = 20$ МПа, а на відстаючій поверхні зменшення мікротвердості поверхневих шарів у результаті розміцнення зафіксовано на 340 МПа (ШХ-15) і 520 МПа (Ст 45).

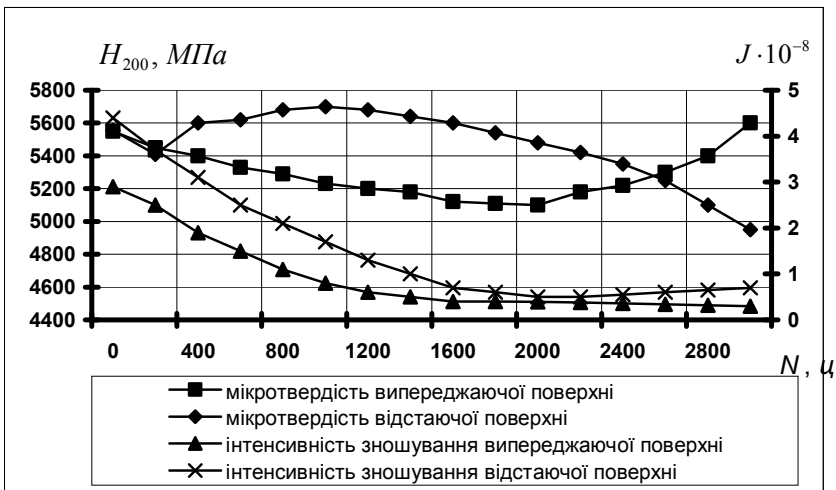


Рис. 3. Динаміка мікротвердості поверхневих шарів та інтенсивності зношування Ст 45 при напрацюванні

Таким чином, зменшення твердості металу знижує зносостійкість пар тертя. Перш за все збільшується ступінь впливу на активовану

поверхню металу граничних адсорбційних шарів масла, що обумовлює менш інтенсивне зміцнення випереджаючої поверхні та інтенсифікує розміцнення відстаючої поверхні в результаті пластифікуючого та розклинюючого ефектів.

Застосовування в якості змащувального матеріалу масла АКП другого типу забезпечує зниження інтенсивності зношування зразків зі сталі ШХ-15 у період припрацювання в 2 рази на випереджаючій і в 2,3 рази на відстаючій поверхнях ($J = 0,48 \cdot 10^{-8}$ та $0,79 \cdot 10^{-8}$ відповідно для випереджаючої і відстаючої поверхні) у порівнянні з МГТ № 1; надалі зменшення даного параметра зафіксовано також у 8 разів (рис. 4).

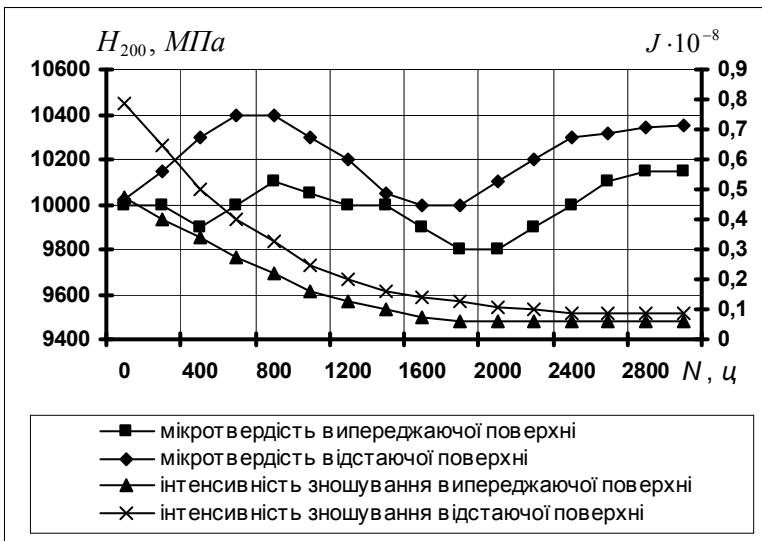


Рис. 4. Кінетика зміни мікротвердості поверхневих шарів та інтенсивності зношування ШХ-15 у нестационарних умовах тертя (масло для АКП)

Підвищенню зносостійкості ШХ-15 сприяють, на наш погляд, наступні процеси. По-перше, прискорена адаптація адсорбційних шарів при перших циклах навантаження забезпечує локалізацію дотичних напруг зсуву у сформованому змащувальному шарі, що знижує ступінь впливу даного параметра на деформацію поверхневих і приповерхневих шарів. У період припрацювання ($N \leq 200$) на випереджаючій поверхні встановлено менш інтенсивне розміцнення

поверхневого шару (у середньому в 2 рази), а на відстаючій поверхні зміцнення металу зафіксовано до $N \leq 1000$. По-друге, сформовані граничні адсорбційні шари на поверхні металу мають аналогічну природу, що і при використуванні МГТ № 1, – СОП і хімічно модифіковані шари, але різні за хімічним походженням. Перш за все дані шари містять на 90 % менше поверхнево-активних речовин, що утворюються при термоокисленні масла. Це забезпечує зменшення впливу компонентів граничних плівок на диспергування поверхневих шарів металу, що обумовлює їх зміцнення у міру напрацювання і забезпечує підвищення зносостійкості. До закінчення експерименту мікротвердість поверхневих шарів металу збільшується в середньому на 280 МПа, що на 2 % і 7 % відповідно для випереджаючої та відстаючої поверхні більше у порівнянні з аналогічними показниками при змащуванні зразків маслом МГТ № 1.

При використуванні зразків зі Ст 45 зафіксовано збільшення інтенсивності зношування у середньому в 3,2 рази в ході експерименту у порівнянні з ШХ-15. Істотна відмінність в кінетиці зміни мікротвердості поверхневих шарів встановлена в період припрацювання – розміщення зафіксоване як на випереджаючій, так і на відстаючій поверхнях; при подальших циклах навантаження динаміка мікротвердості поверхонь аналогічна встановленій для ШХ-15 (рис. 5).

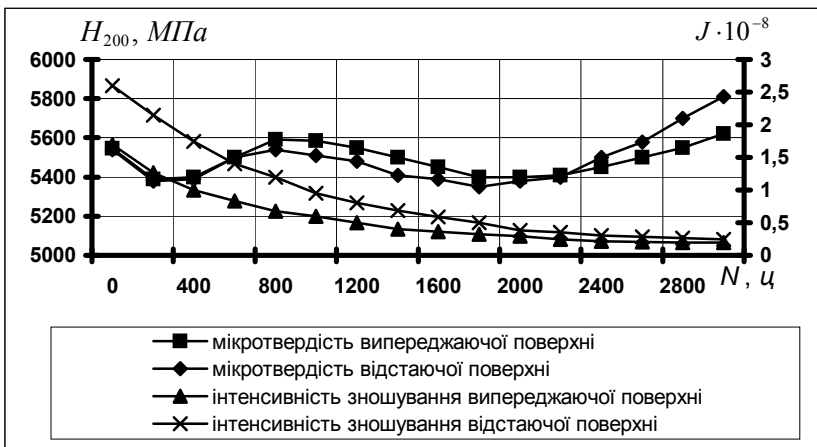


Рис. 5. Динаміка інтенсивності зношування і мікротвердості поверхневих шарів у режимі пуск-зупинка (Ст 45, масло АКП)

Зміцнення поверхонь до закінчення експерименту склало $\Delta H_{200} = 110$ МПа і 280 МПа на випереджаючій і відстаючій поверхнях відповідно, що на 1,5 % і 14 % більше у порівнянні з аналогічним параметром при змащуванні МГТ № 1.

Висновки. На підставі проведених випробувань про вплив компонентів граничних адсорбційних плівок на зношування контактних поверхонь можна встановити, що підвищення термоокислювальної стабільності масла для гідромеханічних коробок передач за рахунок підбору базової основи (поліальфаолефінів і ріпакової олії) і антиокислювальної присадки (іонол) забезпечує підвищення зносостійкості сталі в 2 рази (ШХ-15) і в 2,3 рази (Ст 45) при використуванні масла для АКП, яке обумовлено зміцненням поверхневих шарів металу при напрацюванні та формуванням граничних шарів якісно іншої природи (на 90 % міститься менше ПАР у порівнянні з МГТ), що забезпечує зменшення інтенсивності корозійно-механічного зношування контактних поверхонь.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
2. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механо-химические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 1972. – 173 с.
3. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
4. Санин П.И. Химические аспекты граничной смазки // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 1. – С. 45–57.
5. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун. – 2-е изд. – К.: Наук. думка, 1990. – 264 с.
6. Деклараційний патент на винахід 52026А, Україна, 7С10М129.70. Олива для гідромеханічних коробок передач: Пат. 52026А, 7С10М129.70. – Заявл. 04.01.2002; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12, 2002. – 4 с.

ДМИТРИЧЕНКО Микола Федорович – доктор технічних наук, професор, ректор Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

– тертя та зношування в машинах.

МНАЦАКАНОВ Рудольф Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

– тертя та зношування в машинах;

– надійність машин.

Тел.: (044) 290-18-86.

E-mail: rudolf@ntu.edu.ua

КРОЛЬ Семен Семенович – інженер Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

– тертя та зношування в машинах.

МІКОСЯНЧИК Оксана Олександрівна – аспірант Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

– тертя та зношування в машинах;

– надійність машин.

Подано 25.02.2006