

надежности лесохозяйственных машин на стадии проектирования / А.Э. Эгипти, Н.И. Серебрянский // Труды лесоинженерного ф-та ПетрГУ, 1999. – С. 195–197.

5. Шевченко С.А. Анализ влияния надежности машин технологического комплекса на вероятность выполнения производственного задания / С.А. Шевченко // Вестник Гомельского гос. технич. ун-та им. П.О. Сухого. – Гомель: ГГТУ, 2010. – №4. – С. 30–36.

6. Шевченко С. Исследование влияния длительности восстановления машины на потери продукции растениеводства / С. Шевченко // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture, 2013. –Vol. 15, №7. – P. 40–44.

7. Агррокваліметрія / Ю.І. Ковтун, Д.І. Мазоренко, В.І. Пастухов, П.А. Джолос. – Харків: РВП "Оригінал", 2000. – 312 с.

Рецензент д.т.н., проф. В.А. Войтов.

УДК 621.793.8, 669.268 - 631.356.4

© А. В. Шостак, д.т.н.,
Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки
В. В. Широков, д.т.н.,
Українська академія друкарства
С. В. Синій, к.т.н., М. Я. Варголяк
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ТА ЗЛАМІВ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведено результати растрово-електронно-фрактографічних досліджень топографії поверхонь руйнування в процесі зношування зразків сірих чавунів різних плавок, що дозволить зменшити зношування та злами деталей сільськогосподарської техніки.

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА, РАСТРОВА ЕЛЕКТРОННА МІКРОСКОПІЯ, ЧАВУН, ЗНОШУВАННЯ, ЗЛОМ.

Постановка проблеми. Застосування в машинобудуванні економнолегованих сплавів із задовільним комплексом фізико-механічних та експлуатаційних характеристик є однією з найактуальніших проблем раціонального використання матеріалів у конструкціях машин. Особливо гостро вона стоїть в Україні, у зв'язку з

дефіцитом багатьох легувальних елементів. Як було показано в роботах І. П. Волчка, А. О. Жукова, Г. І. Слинька, О. П. Остаха, Ю.Г.Бобро, Я. Н. Малиночки та інших, у цьому плані особливо перспективними є сірі чавуни, які знаходять широке застосування в конструкціях різноманітних технологічних машин та комплексів, у тому числі – продукції машинобудування [1 та ін.], призначеної для застосування у сільськогосподарському виробництві.

Одним із напрямків розвитку сільськогосподарського машинобудування є підвищення потужностей машин. Це призводить до більш жорстких умов їх експлуатації, оскільки значна кількість конструкцій техніки сільськогосподарського призначення виконують технологічні процеси в умовах зовнішнього інтенсивного агресивного впливу на конструктивні елементи. Зокрема, конструкції машин та комбайнів для збирання коренебульбоплодів [2 та ін.] зазнають такого впливу як з боку оточуючого середовища (грунтово-кліматичних умов), так і з боку складників самого вороху. При цьому слід відзначити, що найбільшою агресивністю характеризується абразивний вплив. Тому, актуальною є проблема підвищення зносостійкості конструкцій машин, і передусім – їх основних робочих органів, які піддаються найбільшому зношуванню. Для її вирішення слід постійно удосконалювати і покращувати систему робочих органів, і загалом деталей та вузлів конструкцій машин.

Переважаюча частина деталей сільськогосподарських машин виготовляється із сірого чавуну, їх частка складає 70 % від загального об'єму деталей для сільськогосподарської техніки. Практично немає жодної одиниці техніки сільськогосподарського призначення, яка б не мала чавунних деталей - їх частка за номенклатурою коливається від 3,5 до 45 %. Застосування такої великої кількості деталей із сірого чавуну в сільськогосподарському машинобудуванні зумовлене рядом факторів, до основних належать: технологічність матеріалу (хороші ливарні якості, можливість обробки різанням, доступність компонентів, застосування дешевої вторинної сировини - чавунного скрапу, тощо), відповідність деталей експлуатаційним вимогам. Оскільки робочі органи та вузли інтенсивно взаємодіють із оброблюваним матеріалом, виконують технологічні процеси, завдяки яким відбуваються його формозміна, зміна стану, активності, фізичних, хімічних, біологічних та інших властивостей, то в більшості випадків саме чавунні деталі визначають ресурс роботи цих машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Явище зношування чавунних деталей сільськогосподарських машин (шкребки, лопатки, зірочки пруткових транспортерів, цапфи, опори, маслос'ємні кільця,

корпусні деталі та ряд інших), дуже складне, оскільки на їх стійкість впливає велика кількість різноманітних факторів, тому говорити про теоретичні передумови підбору матеріалу досить важко. Дослідження процесів зношування робочих поверхонь при взаємодії із абразивним середовищем [3 та ін.] дозволяють обґрунтовано підходити до вивчення питань впливу абразивного середовища ґрунту на зношування робочих органів машин. Однак, незважаючи на багаточисельні дослідження в Україні та за її межами, до цього часу ще не знайдено однозначного зв'язку між опором стиранню та будь-якими властивостями матеріалу. Наприклад, із літературних даних відомо [4 - 6], що чавуни з однаковою твердістю відрізняються за зносостійкістю, водночас чавуни рівнозначної зносостійкості дуже відрізняються за твердістю, хоча твердість все ж корелює зі зносостійкістю. Подібна ситуація спостерігається і при розгляді трибологічних властивостей з експлуатаційними та іншими факторами.

Зазвичай зношені поверхні мають розвинуту топографію, особливо в зонах схоплювання, задиру, сколів [7, 8]. Вивчення зон руйнування, зокрема з використанням можливостей методів растрової електронної мікроскопії (РЕМ), дозволяє встановити його причини та механізми, що в свою чергу є підґрунтям для розробки технологічних та інших заходів щодо підвищення опору поверхонь тертя та надійності конструкції відповідних машин загалом. У зв'язку з цим, особливо важливим є проведення більш поглиблених РЕМ-стереофотограмметричних досліджень поверхонь зон руйнування таких деталей.

Мета дослідження. Растрово-електронно-фрактографічні дослідження топографії поверхонь руйнування в процесі зношування зразків сірих чавунів різних плавок.

Результати дослідження. Експерименти металографічного і рентгеноструктурного аналізу робочої поверхні дослідних зразків, виконаних у вигляді лопаток, після різних термінів експлуатації в абразивному середовищі (пісок) показали, що поверхневий шар має структуру, твердість і фазовий склад, які відрізняються від вихідного стану. В залежності від тривалості неперервної роботи щільність дислокацій на робочій поверхні збільшується в 2-4 рази і більше. Кількість залишкового аустеніту на поверхні лопаток після експлуатації зменшується в порівнянні з вихідним станом. Розміри кристалів (блоків) значно змінюються. Такі структурні та фазові зміни не можна пояснити простою пружною чи пружно-пластичною деформацією, потрібно враховувати також і теплові явища, що відбуваються при терті. Товщина ефективної зони, що бере участь у теплопоглинанні, є пропорційна квадратному кореню добутку температуропровідності на час взаємодії.

Для експериментального вивчення механізму руйнування нами був виконаний фрактографічний аналіз РЕМ-стереозображень поверхні зношування дослідних чавунних зразків виробництва «Амурлітмаш», Росія [9]. На рис. 1 наведено стереопару, яка ілюструє зношувальність дослідних зразків чавуну плавки заводу «Амурлітмаш». На стереозображенні добре помітні різної глибини ямки, поверхня помережена борознами довільної орієнтації. За формою та взаємним розміщенням досліджувані борозни відрізняються від борозен втомленого злому. На краях та в кінці борозен чітко видно потовщення, утворені в результаті пластичної деформації, стінки борозен пошкоджені. Як бачимо, характер мікрорельєфу неоднаковий, що є результатом різної інтенсивності зношування як в цілому, так і окремих їх частин, а також дії неоднакових механізмів. Мікрорельєф розвинений, хаотичний, багато деформованого металу, однак чітко виражених борозен мало, добре видно скупчення оплавлених часток, можливо, окислів. На рис. 2 наведена РЕМ-стереопара поверхні зламу досліджуваного зразка.

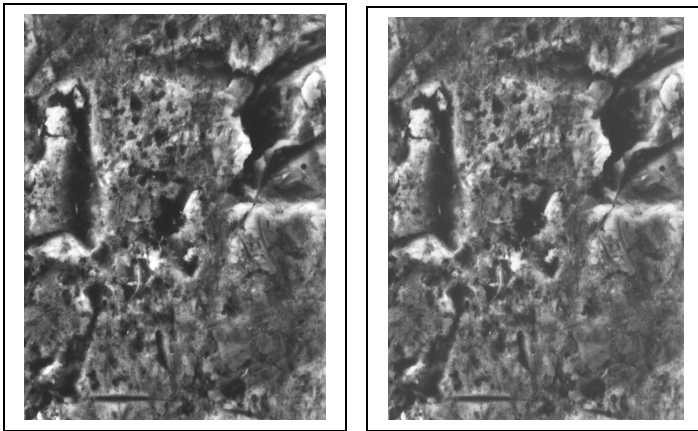


Рис. 1 - РЕМ-стереопара поверхні зношування зразка лопатки з сірого чавуну. Збільшення 2000[×], кут конвергенції 0[°]-7[°]

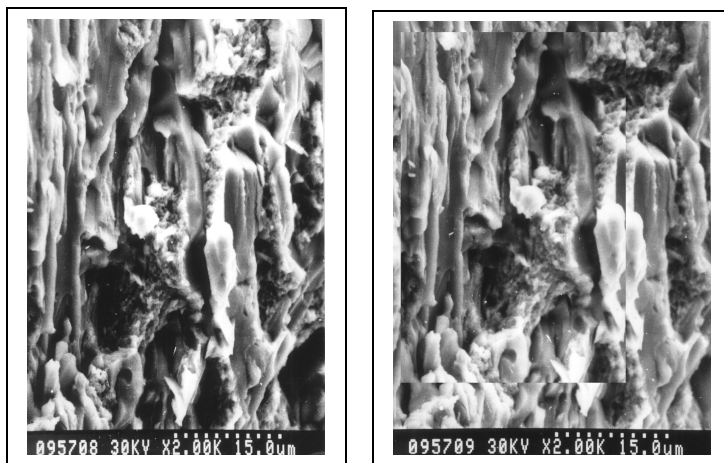


Рис. 2 – РЕМ-стереопара поверхні зламу зразка лопатки з сірого чавуну. Збільшення 2000 \times , кут конвергенції 0 $^{\circ}$ -7 $^{\circ}$

Для кількісної характеристики поверхонь зношування досліджуваних лопаток були проведені [9] стереофотограмметричні вимірювання та побудовані карти ізоліній (рис. 3). У більшості випадків мікрорельєф має випадковий характер і не відповідає нормальному закону розподілу, а має унімодальний (тільки в одному випадку бімодальний) характер.

Крім стереовимірювань, був виконаний морфоспектральний аналіз цифрових моделей мікрорельєфу (ЦММР), результати якого подані на рис. 4. Досліджувався мікрорельєф робочих поверхонь однієї серії після 20 годин експлуатації. Всі відібрані зразки мали майже однаковий ресурс зносостійкості. Як видно з рис. 3, наявне тісне співпадіння спектрів потужності ЦММР, що по суті є підтвердженням корельованості зносостійкості від властивостей і характеру мікрорельєфу поверхонь лопаток.

Таким чином, РЕМ-мікроскопічне вивчення рельєфу зношеної поверхні дослідних зразків підтверджує, що при цьому має місце ударно-абразивний та ерозійний знос. У металознавстві відомо [10], що ерозійне зношування пов'язане з мікрорізанням і полідеформацією, а при ударно-абразивному зношуванні передбачається крихке руйнування поверхневого шару металу під дією циклічних напруг. До механізму руйнування дослідних зразків можна застосувати, хоч і обмежено, теорію розшарування. Згідно з цією теорією руйнування поверхні відбувається через зношування при ковзанні, що є результатом пластичної деформації поверхневого і приповерхневого шарів. У

деформованій приповерхневій області утворюються та ростуть приповерхневі пори та мікротріщини.

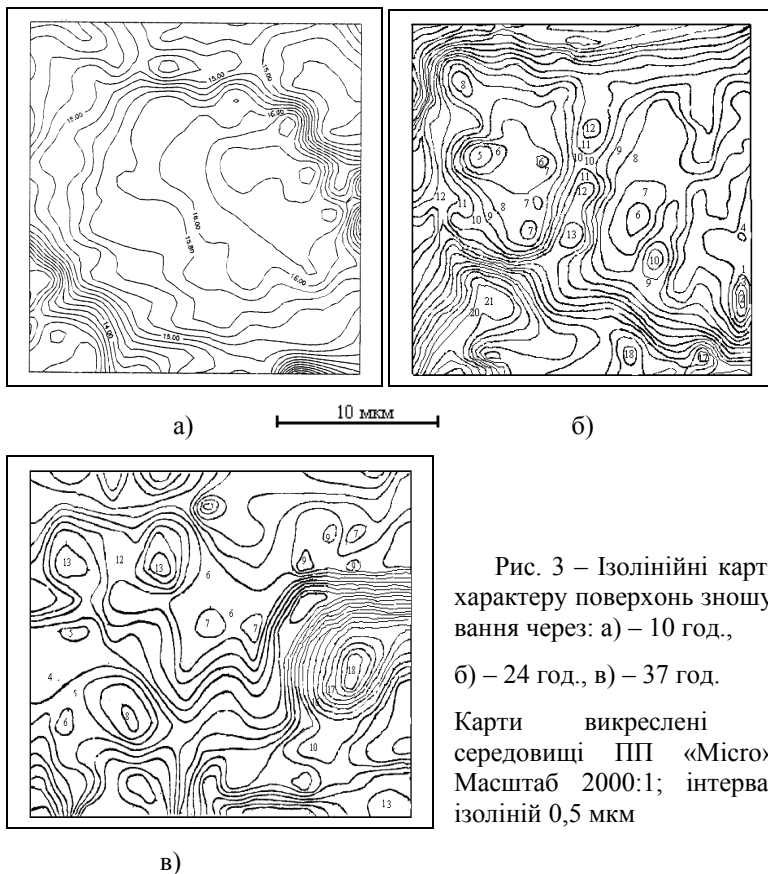


Рис. 3 – Ізолінійні карти характеру поверхонь зношування через: а) – 10 год., б) – 24 год., в) – 37 год.

Карти викреслені в середовищі ПП «Місго». Масштаб 2000:1; інтервал ізоліній 0,5 мкм

На рис. 4 наведені результати спектрального аналізу ЦММР п'яти зразків. Досліджувався мікрорельєф робочих поверхонь дослідних зразків після 20 годин експлуатації. Досліджувані зразки мали приблизно однаковий ресурс зносостійкості. Як видно з рис. 4, спостерігається досить тісний збіг спектрів потужності ЦММР, що є, по суті, підтвердженням залежності зносостійкості від властивостей і характеру мікрорельєфу поверхні.

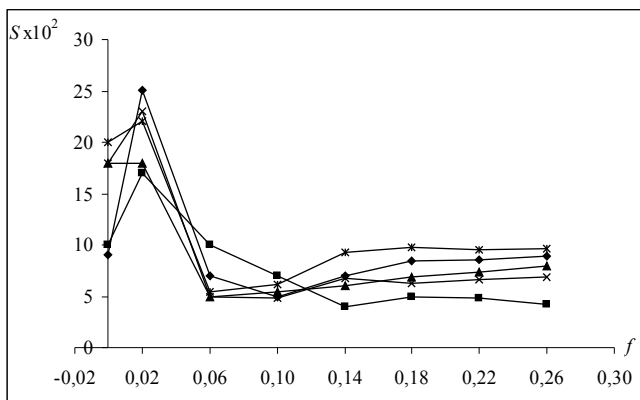


Рис. 4 – Спектри ЦММР поверхонь зношування одної серії дослідних зразків лопаток з сірого чавуну через 20 годин роботи

Кінематика руху приповерхневих мікротріщин обумовлює утворення пластинок зношування.

З урахуванням особливостей ЦММР поверхонь зношування можна стверджувати, що на поверхні та у приповерхневому шарі утворюються розриви і мікротріщини. У подальшому сформовані дефекти, відіграючи роль центрів інтенсивного зношування, спричиняють нерівномірне руйнування дослідних зразків аж до появи наскрізних отворів. Очевидно, що при експлуатації відбувається руйнування та відрив від поверхні твердих тіл і разом з цим - крихких карбідів. Крихкість карбідної складової підтверджується фрактограмами зламів лопаток і результатами досліджень праць [11, 12].

Найбільший зносостійкий опір мають мікроструктури з дрібними, проте добре диспергованими карбідними частинками. Наявність у структурі евтектичних карбідів відіграє двояку роль. З одного боку, крупні тверді карбіди забезпечують високу зносостійкість, а з іншого – через свою крихкість вони є центрами зародження і поширення мікротріщини.

Отже, першочерговим завданням при розробці зносостійкого матеріалу для елементів конструкції сільськогосподарських машин є одержання оптимальної структури. Невисокі значення зносостійкості притаманні чавунам, у структурі яких міститься нелегований цементит. Окрім цього, збільшення кількості карбідів у структурі зносостійких сірих чавунів є доцільним тільки в доевтектичних чавунах, в той час як у

заевтектичних крихких масивні первинні карбїди можуть відколюватися та відкришуватися, збільшуючи при цьому зношуваність деталей.

Висновки. Дослідження поверхні зношування дослідних зразків на растровому електронному мікроскопі дозволили встановити наявність оплавлених зон, що свідчить про локальні перегріву поверхні тертя.

Експериментально підтверджено, що контактна взаємодія в процесі експлуатації деталей сільськогосподарської техніки призводить до розвитку в робочому шарі інтенсивних деформаційних зсувів та фазових перетворень, які зумовлені ними та супутніми тепловими процесами.

*Робота виконана за підтримки МОН України
(держреєстраційний номер теми № 0112U000290).*

Література

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. [Текст] / В. И. Анурьев; Под ред. И. Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, – Т. 1. – 2006. – 927 с.

2. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки [Текст] / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, С. В. Синій та ін. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

3. Ткачѳв В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / В. Н. Ткачѳв. – М.: Машиностроение, 1964. – 176 с.

4. А. с. №1033564 СССР, МКИ³ С 22 С 37/10. Чугун [Текст] / М. П. Шебаинов, П. П. Сбитнев, Д. П. Брон, В. Н. Мельник, Н. О. Маглаперидзе, И. П. Мардыкин, И. И. Прохоров (СССР). – № 3414558/22-02 ; заявл. 30.03.82 ; опубл. 07.08.83, Бюл. № 29. – 6 с. : іл.

5. Шостак А. В. Моделювання мікрорельєфу фрактографічних поверхонь методами триангулятора та скінчених елементів [Текст] / А. В. Шостак // Наукові нотатки: Міжвузівський зб. наук, ст., напрямок "Інженерна механіка". – Вип. 5. – Луцьк, –1999. – С. 285–291.

6. Справочник по триботехнике. Триботехника антифрикционных, фрикционных и сцепных устройств. Методы и средства триботехнических испытаний [Текст] / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М.: Наука, Машиностроение. – Т.3. – 1992. – 730 с.

7. Бунин К.П. Строение чугуна [Текст] / К.П. Бунин, Ю.Н. Таран – М.: Металлургия, – 1972. – 160 с.

8. Широков В.В. Трибологічні властивості сірих чавунів, легованих фосфором [Текст] / В.В. Широков, Л.А. Арендар, Д.І. Рицар // ФХММ. – 2004. – №4. – С. 70–74.

9. Шостак А.В. Аналітична та експериментальна оцінка впливу складу структури і рельєфу поверхонь тертя на функціональні особливості зносостійких Ст-чавунів [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.01 / А.В. Шостак ; Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 1999. – 21 с. – укр.

10. Бобро Ю. Износостойкость и структура трения при изнашивании высокопрочного чугуна, легированного свинцом [Текст] / Ю. Бобро, И. Батурина // Трение и износ. – 1987. – Т.8. – № 5. – С. 810–814.

11. Мрочек Ж. А. Прогрессивні технології відновлення і упрочнення деталей машин [Текст] / Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожур. – Минск: Технопринт, – 2000. – 268 с.

12. Захаров С.М. Задачи компьютерной трибологии [Текст] / С.М. Захаров. – М.: Трение и износ, – 2002. – Т. 23. – № 3.