

В.М. ГОЛУБЕЦЬ¹

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ

Охарактеризовано процеси тертя, зношування і корозії, які впливають на працездатність натурних виробів під час експлуатації. Акцентовано увагу на поверхневому зміцненні деталей машин, різального інструменту, технологічного оснащення, оскільки несуча здатність цих виробів залежить від одночасної дії механічних навантажень і робочих середовищ. Наведено приклади технологічних підходів для підвищення ресурсу роботи обладнання лісового комплексу шляхом хіміко-термічної і термомеханічної обробки, електроіскрового легування, нанесення на поверхню виробів дифузійних, евтектичних і йонно-плазмових покриттів.

Ключові слова: *тертя, зношування, корозія, технологія, зміцнення поверхневе, покриття захисні.*

Вступ. Підвищення довговічності і надійності деталей машин і механізмів, різального інструменту, технологічного оснащення є надзвичайно актуальним завданням у різних галузях промисловості, зокрема у лісовій і деревообробній. Із всіх існуючих сьогодні підходів до вирішення поставлених завдань, чільне місце відводиться технологічним методам зміцнення конструкційних матеріалів, які суттєво підвищують властивості поверхневого шару металу. Методи поверхневого зміцнення можна об'єднати в групи, що базуються на поверхневому пластичному деформуванні, поверхневій термічній обробці, одночасній дії поверхневого пластичного деформування і термічної

¹**ГОЛУБЕЦЬ Володимир Михайлович** – дійсний член Лісівничої академії наук України, завідувач кафедри технології матеріалів та інженерної графіки, доктор технічних наук, професор, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: +38(032) 239-27-37. E-mail: nltu@ukr.net

обробки, хіміко-термічній і термомеханічній обробці, нанесенню на поверхню металу різних видів зміцнюючих покриттів тощо.

З огляду на вирішення задач конструювання, експлуатації та ремонту обладнання лісового комплексу, варто зосередити увагу на двох надзвичайно важливих процесах, які мають до цього безпосереднє відношення. Це процеси тертя і зношування та корозії металів і сплавів.

Перший з них, що охоплює тертя, змащування і зношування у машинах, і характеризується одним терміном «трибологія» (назва від грецьких слів: «трибос» – тертя, «логос» – наука), який було вжито у 1961 р. у доповіді низки організацій у Британському департаменті освіти і науки [1]. Започаткування трибології та шляхи її подальшого розвитку описано у науковій праці Д. Доусона (Велика Британія) «Історія трибології» [2].

Тертя завжди виникає при відносному рухову контактуючих, механічно взаємодіючих тіл. Основною характеристикою при цьому є сила тертя – реакція, що перешкоджає взаємному переміщенню, яка напрямлена в протилежний бік. У цьому проявляється шкідливість тертя, що впливає на втрати потужності машин, зношування і пошкодження поверхонь контакту. З іншого боку, без тертя не може функціонувати більшість машин і механізмів, а його корисний ефект використовують, наприклад, у гальмах або фрикційних муфтах при передачі руху, зусиль та при роботі виконавчих органів машин.

Тертя твердих тіл або їх контакт з середовищем супроводжується зміною їх лінійних розмірів – зношуванням, або пошкоджуваністю – процесом різко виражених і нерівномірних змін геометричного стану поверхонь тертя, структури та властивостей поверхневих шарів металу.

Як відомо, основним показником під час експлуатації машин внаслідок процесів тертя і зношування є зносостійкість деталей. Варто зазначити, що затрати процесів зношування надзвичайно великі. Так, статистичні дані станом на кінець XX ст. засвідчують, що тільки в Німеччині у всіх видах промисловості ці витрати становили 100 млрд марок щорічно. Затрати від зношування у США було оцінено в 7% річного валового продукту. У

колишньому СРСР на проведення ремонту і обслуговування техніки щорічно витрачалось від 20 до 40 млрд рублів, на виготовлення запасних частин використовували 20% виплавленого металу, а ремонтом механізмів унаслідок низької зносостійкості деталей машин було зайнято декілька мільйонів чоловік [3].

Другий із названих вище процесів належить до корозії і захисту металів від корозії. Корозія металів – це процес їх руйнування внаслідок хімічної чи електрохімічної взаємодій з корозійним середовищем. Основним її показником є корозійна стійкість металів і сплавів. Корозія зумовлює величезні матеріальні збитки в різних галузях промисловості. Існують дані, що інколи швидкість корозії настільки висока, коли впродовж року сталеві конструкції товщиною 3...5 мм «проїдаються» наскрізь, при цьому товщина шару іржі на незахищеній поверхні металу із вуглецевої сталі може сягати 8...10 мм [4]. Винятково актуальними є дослідження процесів корозії металів і їх захисту і для України – однієї із найбільш металонасичених держав Східної Європи, металофонд якої введено в дію в основному у 60-80 роках минулого століття, становить сотні мільйонів тонн, але за рівнем корозійної захищеності, довговічності і надійності поступається більшості промислово розвинених країн.

Сьогодні металургійна промисловість випускає менше 5% корозійно-стійкого і захищеного прокату, тоді як у США, Японії і західно-європейських країнах ця цифра сягає 60% і більше [4]. Втрати, спричинені корозією, перед здобуттям Україною незалежності становили 4,5...5% ВВП. У передових промислово розвинених країнах ці втрати значно менші і становлять у середньому 2...4% ВВП.

Короткий огляд приведених затрат від впливу процесів тертя і зношування, а також корозії на працездатність виробів наведено тому, що фактично експлуатація багатьох деталей машин і механізмів відбувається саме в умовах одночасної дії як механічних навантажень, так і робочих середовищ.

З позиції фізико-хімічної механіки матеріалів – нового наукового напрямку, який враховує при оцінюванні довговічності і несучої здатності

матеріалів вплив зовнішнього середовища, або одночасної дії механічних навантажень і робочих середовищ, згадані вище два процеси, що відбуваються під час експлуатації натурних виробів, є взаємозв'язані між собою. Пріоритет у виникненні та розвитку фізико-хімічної механіки матеріалів належить академіку П.О. Ребіндеру, який у 1928 р. вперше виявив та визначив явище зниження міцності твердих тіл під впливом адсорбції поверхнево-активних речовин з оточуючого середовища, яке названо «ефектом Ребіндера». Подальший розвиток фізико-хімічної механіки матеріалів як в теоретичному, так і в практичному напрямках продовжив у 50-х роках минулого століття академік Г.В. Карпенко [5].

Актуальні технологічні підходи до поверхневого зміцнення обладнання. Враховуючи наведене вище, розкриття механізмів тертя і зношування та корозії за умов впливу різних експлуатаційних чинників, поглиблення теорії цих процесів і створення нових методів підвищення зносостійкості, опору корозії та корозійно-механічному руйнуванню конструкційних матеріалів є актуальною міждисциплінарною проблемою, різні аспекти якої є предметом досліджень науковців як в усіх промислово розвинених країнах, так і в Україні. У нашій державі такі дослідження виконують колективи багатьох установ НАН України, ВНЗ та галузевих інститутів. Певні напрацювання з цієї проблеми виконано в НЛТУ України.

1. Детально вивчено вплив хіміко-термічної обробки (ХТО), як одного із технологічних процесів поверхневого зміцнення деталей машин [6]. Показано, що застосування таких методів ХТО, як цементация (насичення поверхневого шару металу вуглецем), азотування (насичення азотом), нітроцементации або ціанування (одночасне насичення вуглецем і азотом), а також дифузійної металізації (насичення різними металами – Al, Cr, Si, B та іншими), суттєво змінює інженерію поверхні металу, що підвищує експлуатаційні властивості деталей машин. Так, завдяки збільшенню твердості підвищується рівень зносостійкості, завдяки високому рівню залишкових напружень стиску – опір втомному руйнуванню. ХТО можна досягнути підвищення стійкості проти

корозії як за нормальних, так і за високих температур. Жаростійкі деталі для робочих температур до $1000...1100^{\circ}\text{C}$ виготовляють з простих вуглецевих сталей з наступним алітуванням, хромуванням або силіціюванням. Виключно високою твердістю (до 2000 HV) і високим опором абразивному зношуванню володіють боровані шари, завдяки утворенню на поверхні високотвердих боридів заліза (FeB і FeB_2).

2. Завдяки аналізу різновидів термомеханічної обробки встановлено можливість нанесення на поверхню металу білого шару, утворення якого відбувається внаслідок фазових перетворень за одночасної дії пластичної деформації і термічної обробки.

Чисельні дослідження структури білих шарів, їх фізико-механічних властивостей (розподілу елементів, характеру зміни мікротвердості і термоелектрорушійної сили, обробки холодом і відпуску за різних температур, залишкових макронапружень), впливу на зносостійкість сталей і чавунів, дали змогу розробити нові технологічні методи зміцнення поверхні металу, зокрема: швидкісне точіння, механо-ультразвукову, лазерну і фрикційно-зміцнювальну (високошвидкісне тертя) обробки. Практичне застосування цих розробок апробовано на муфтах великогабаритних подрібнювальних агрегатів, шарових пальцях і шкворнях автомобілів, деталях спецдвигунів, напрямних станинах металорізальних верстатів, лапах бурових доліт, пальцях ланцюгів конвеєрів. Значний інтерес має використання високошвидкісного тертя як технологічного процесу, для зміцнення дереворізального інструменту в процесі експлуатації та під час його виготовлення з високовуглецевих і низьколегованих інструментальних сталей (ножі стружкових верстатів, вузькі ділильні і колодопилні стрічкові пили [7], притискні біла відцентрових стружкових верстатів [8], ножі для фрезерування деревини та ін.).

3. Розроблено новий технологічний підхід до створення на поверхні металу евтектичних покриттів завдяки нагріванню на зміцнювальній поверхні виробу спеціального порошкового матеріалу системи Fe-Mn-C-B до температури евтектики з утворенням розплаву і наступної його кристалізації, або вико-

ристання для цих цілей спеціально виготовленого евтектичного електродного сплаву. Цей підхід дав змогу наносити евтектичні покриття для підвищення зносостійкості [9] і корозійної стійкості [10] плоских поверхонь при пічному нагріванні; на зовнішні і внутрішні циліндричні поверхні з використанням нагрівання струмами високої частоти; нанесенні евтектичного покриття в процесі сталюого лиття; при плазмовому, детонаційно-газовому, імпульсно-плазмовому та йонно-плазмовому напиленнях [11]. Технологічні процеси апробовано на муфтах, перехідниках і замках геологорозвідувальної бурильної колони; зірочках шахтних конвеєрів СП-63 для транспортування вугілля; деталях вагонеток для транспортування фосфогіпсу; лемішах плугів; опорах ковзання турбобурів; подрібнювачах (молотках, штифтах, ножах).

4. Запропоновано раціональні режими відомої технології електроіскрового легування поверхні виробів за допомогою спеціально створених евтектичних електродних матеріалів на безвольфрамовій основі взамін використання дороговартісних електродів із твердих сплавів типу ВК, ТК і ТТК [12]. Показано, що електроіскрові покриття, отримані з евтектичних електродних матеріалів на установці «Елітрон-20», перевершують покриття із серійного дороговартісного сплаву Т15К6 за товщиною в 1,5...2,5 рази; за зносостійкістю – у 2...2,5 рази; за кавітаційно-ерозійною стійкістю у нейтральному і лужному середовищах, відповідно, в 10 і п'ять разів; за жаростійкістю – на 30%. Такі покриття підвищують ресурс роботи пуансонів, штамів, свердл, мітчиків у 2,0...2,5 рази, а стійкість пресформ для виготовлення скляних ізоляторів – на 20%.

Зазначимо, що цю розробку колективу авторів ІІМ НАН України, УкрДЛТУ і Луганського ПКТІ з наукових основ створення нового покоління матеріалів, технології та устаткування для електроіскрового зміцнення деталей машин та інструментів та їх освоєння у промисловості у 1994 р. відзначено Державною премією України в галузі науки і техніки.

5. Проведено широкий комплекс досліджень із забезпечення підвищення стійкості йонно-плазмових покриттів в умовах дії механічних навантажень і

корозійних середовищ (корозійна стійкість, корозійно-механічне і кавітаційно-ерозійне зношування, корозійно-втомна міцність) з використанням методу осадження конденсатів у вакуумі в умовах іонного бомбардування (КІБ) на установці «Булат 3» [13]. Розроблено технологічну інструкцію з очищення виробів перед нанесенням покриттів та технологічні особливості вакуумного напилення.

Напилення покриттів апробовано на різальних зубцях (сталь 85ХФ) ланцюгів для бензомоторних пилок типу ПЦУ-10; болтах кріплення рафінерів гарячого помолу СВ-36, виготовлених із сталі Ст 3, які працюють в середовищі варильного лугу (75% NaOH і 25% Na₂S) целюлозного заводу; свердлах діаметром 17 і 21 мм із швидкорізальної сталі Р6М5; болтах М16 для кріплення готової гарнітури млина St 660 паперового цеху паперово-картонного виробництва бурового потоку, виготовлених із сталі Ст 3, які працюють у середовищі півцелюлози високого виходу з вмістом глинозему на основі Al₂SO₄.

6. Розроблено технологію нанесення комплексних дифузійних силіцидних покриттів у разі насичення матеріалу різними елементами з рідкометалевого розплаву для забезпечення високої жаростійкості в умовах дії високих температур і газових кисневих середовищ [14]. Отримані комплексні силіцидні покриття надзвичайно ефективні для використання в умовах високотемпературного окислення камер згорання різних агрегатів, а також в енергетичній галузі.

Висновки. Наведені приклади розроблених технологічних методів поверхневого зміцнення металів і сплавів засвідчують про їх можливе використання у процесі експлуатації, ремонту і відновлення обладнання лісового комплексу, зміцнення різального інструменту і технологічного оснащення, а також захисту деталей від дії корозійних процесів як за звичайних, так і за високих температур. Більш детально такі технології, їх режимні параметри, конструкції необхідного для ведення обробки обладнання, як і інших відомих сьогодні в практиці технологічних підходів, описано в поданому списку використаних джерел і, зокрема, в роботі [3], яка призначена не тільки для студентів коледжів, механічних і технологічних спеціальностей

ВНЗ, але може бути корисною для інженерно-технічних працівників підприємств галузі.

У НЛТУ України для підготовки фахівців за напрямом «Інженерна механіка» в навчальні плани введено дисципліну «Оброблення і поверхневе зміцнення конструкційних матеріалів», структура якої передбачає проведення як лекційних, так і лабораторних (практичних) занять, а також навчальної практики на підприємствах і в установах. Успішно функціонує також наукова школа з проблем підвищення ресурсу роботи деталей машин, металорізального, дереворізального інструментів і технологічного оснащення; теорії конструкцій та технічної експлуатації деревообробного устаткування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Словарь-справочник** по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Є.Д. Браун. – [Отв. ред. И.М. Федорченко. – 2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Наук. думка, 1990. – 264 с.
2. **Трибологія:** підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, С.В. Корбут. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк». – 2009. – 392 с.
3. **Голубець В.М.** Технологічні методи поверхневого зміцнення металічних конструкційних матеріалів: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Голубець В.М. – Львів: ВТФ «Друксервіс», 2000. – 178 с.
4. **Похмурський В.І.** Розвиток досліджень у галузі корозії матеріалів в Україні / Похмурський В.І. – Львів: ФМІ НАН України. – 2010. – 44 с.
5. **Карпенко Г.В.** Про фізико-хімічну механіку металів: моногр. / Карпенко Г.В. – К.: Наук. думка, 1973. – 176 с.
6. **Похмурский В.И.** Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий: моногр. / Похмурский В.И., Далисов В.Б., Голубец В.М. – К.: Наук думка, 1980. – 188 с.

7. Кірик М.Д. Технологічні основи підвищення стійкості проти спрацювання дереворізального інструменту з високовуглецевих та низьколегованих інструментальних сталей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.07 «Машини і технологія лісовиробничого комплексу» / М.Д. Кірик. – Львів, 1996. – 38 с.

8. Рудь А.Є. Підвищення експлуатаційних характеристик відцентрових стружкових верстатів зміцненням їх бил високошвидкісним тертям: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх та лісотехнічних робіт» / А.Є. Рудь. – Львів, 2010. – 17 с.

9. Голубец В.М. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe-Mn-C-V: моногр. / Голубец В.М., Пашечко М.И. – К.: Наук думка, 1989. – 160 с.

10. Голубец В.М. Долговечность эвтектических покрытий в коррозионных средах : моногр. / Голубец В.М. – К.: Наук думка, 1990. – 120 с.

11. Пашечко М.И. Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий: моногр. / Пашечко М.И., Голубец В.М., Чернец М.В. – К.: Наук думка, 1993. – 344 с.

12. Гасій О.Б. Розробка евтектичних електродів для електроіскрового зміцнення деталей машин і оснащення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.01 – матеріалознавство в машинобудуванні / О.Б. Гасій. – Львів, 1993. – 16 с.

13. Голубець В.М. Захисні властивості і зносостійкість вакуумних йонно-плазмових покриттів: моногр. / Голубец В.М., Гасій О.Б., Щуйко Я.В. – Львів: ВТФ «Друксервіс», 2008. – 104 с.

14. Степанишин В.І. Розробка жаростійких покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик тугоплавких металів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.01 «Матеріалознавство в машинобудуванні» / В.І. Степанишин. – Львів, 1994. – 20 с.

В.М. Голубец

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Дана характеристика процессов трения, изнашивания и коррозии, которые оказывают влияние на работоспособность натуральных изделий при эксплуатации. Акцентируется внимание на поверхностном упрочнении деталей машин, режущего инструмента, технологической оснастки, поскольку несущая способность этих изделий зависит от одновременного воздействия механических нагрузок и рабочих сред. Приведены параметры технологических подходов к повышению ресурса работы оборудования лесного комплекса путем химико-термической и термической обработки, электроискрового легирования, нанесения на поверхность изделий диффузионных, эвтектических и ионно-плазменных покрытий.

Ключевые слова: трение, изнашивание, коррозия, технология, ресурс, упрочнение поверхностное, покрытия защитные.

V.M. Holubet's

THE WAYS OF RESOURCE OF OPERATION INCREASE FOR EQUIPMENT OF FOREST SECTOR

The processes of friction wear and corrosion, which influence on serviceability of natural products in operation are characterized. The attention was focused on the surface hardening of details of machines, cutting tools, tooling, as the bearing capacity of these products depends on the simultaneous action of mechanical loads and working environments. The examples of technological approaches for increasing service life of equipment of forest sector are presented by means of chemical and thermal and thermomechanical treatments, electrospark alloying, coating the surface of products of diffusion, the eutectic and ion-plasma coatings.

Key words: friction, wear, corrosion, technology, strengthening of the surface, protective coats.