

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1.	
Інноваційні технологічні рішення в галузевому машинобудуванні (д. т. н. Кирик Г. В.)	10
1.1. Аналіз більш розповсюджених технологій для формування захисних поверхневих шарів деталей при їх виготовленні та ремонті.....	10
1.2. Екологічно безпечні інноваційні технології для формування захисних поверхневих шарів деталей при їх виготовленні та ремонті.....	19
1.3. Інноваційні технологічні рішення підвищення якості поверхонь типових деталей у галузевому машинобудуванні.....	31
1.4. Практична частина.....	62
Питання для самоконтролю.....	68
Список використаних джерел.....	69
РОЗДІЛ 2.	
Сучасні інформаційні технології в галузі (к. е. н. Вьюненко О. Б.)	73
2.1. Математичне моделювання експерименту та обробка експериментальних досліджень машини для викопування цукрових буряків (приклад реферату).....	73
2.2. Практикум.....	86
Список використаних джерел.....	111
РОЗДІЛ 3.	
Триботехніка (д. т. н. Тарельник В. Б.)	113
3.1. Основи триботехніки.....	113
3.2. Вплив основних параметрів геометрії поверхні на зносостійкість деталей машин.....	123
3.3. Аналіз основних причин зниження надійності і довговічності деталей. Види і характеристики зношування.....	131
3.4. Практична частина.....	152
Питання для самоконтролю.....	164
Список використаних джерел:.....	165
РОЗДІЛ 4.	
Прогресивні технології інженерії поверхні (к. т. н. Думанчук М. Ю.)	170
4.1. Методи дослідження технологій інженерії поверхні.....	170
4.2. Результати дослідження впливу експлуатаційних параметрів ПМ на інтенсивність Ф-К гнучких елементів.....	177
4.3. Результати впливу захисних покриттів на Ф-К гнучких елементів.....	179
4.4. Технологічне забезпечення захисту контактних поверхонь з'єднання «півмуфта – вал» від фретингового зносу.....	183
4.5. Результати дослідження способу зниження Ф-К кріпильних деталей пружних муфт.....	189

4.6. Процедура вибору раціональної технології забезпечення якості поверхневих шарів деталей при виготовленні ПМ	192
Список використаних джерел	196
РОЗДІЛ 5.	
Реєстрація прав інтелектуальної власності (к. е. н. Тарельник Н. В.).....	199
5.1. Законодавство у сфері інтелектуальної власності	199
5.2. Загальні положення про інтелектуальну власність	231
5.3. Приклад складання опису заявки на винахід.....	244
Контрольні питання	249
Список використаних джерел	250
РОЗДІЛ 6.	
Методичні рекомендації щодо об'єктів інтелектуальної власності, що виникають у процесі наукової та науково-практичної діяльності (к. т. н. Черепов Л. В.).....	252
6.1. Загальні положення	252
6.2. Об'єкти інтелектуальної власності, що можуть виникати у процесі наукової та науково-практичної діяльності наукових закладів.....	253
6.3. Виявлення об'єктів інтелектуальної власності	262
Перелік нормативно-правових актів та інших документів	289
РОЗДІЛ 7.	
Методологія управління якістю в машинобудуванні (д. т. н. Тарельник В. Б.).....	291
7.1. Системний підхід до вибору технологій.....	291
7.2. Аналіз складу технологічних методів зміни якості поверхневих шарів деталей	300
7.3. Спрямований вибір технології підвищення якості поверхневих шарів виробів	324
7.4. Практична частина.....	335
Питання для самоконтролю:.....	348
Список використаних джерел	350
РОЗДІЛ 8.	
Ефективність використання сенсорів та контролерів при супроводженні експериментальних досліджень (д. т. н. Зубко В. М.)	354
8.1. Дослідження можливості практичного використання цифрових технологій у полі	354
8.2. Використання інноваційних датчиків ґрунту.....	354
8.3. Прилади для агрохімічного обстеження полів	363
8.4. Висновок	366

РОЗДІЛ 9.

Науково-методологічні основи забезпечення якості

механізованих агротехнологій (д. т. н. Зубко В. М.)	369
9.1. Інформаційно-комунікаційні технології в аграрному секторі.....	369
9.2. Найкращі новітні технології в аграрному виробництві.....	371
9.3. Цифровий сервіс Cropio	376
9.4. Цифровий сервіс Climate Field View.....	378
9.5. Цифровий сервіс One Soil	380

РОЗДІЛ 10.

Синтез раціональних технологічних рішень

(к. т. н. Коноплянченко Є. В.)	388
10.1. Генерація раціональної послідовності ощадного розбирання на етапі ремонту та модернізації енергетичного обладнання.....	388
10.2. Спрямований вибір енергоефективних технологій формування покриттів на робочих поверхнях деталей під час ремонту та модернізації складних машин	398
10.3. Висновки.....	404
Список літератури.....	405

РОЗДІЛ 11.

Методологія зміцнювальних впливів на робочі поверхні деталей машин концентрованими джерелами енергії

(д. т. н. Гапонова О. П.)	406
11.1. Сучасний стан методів підвищення якості робочих поверхонь деталей	406
11.2. Фізичні основи процесу електроіскрового легування	410
11.3. Аналіз якості алітованих поверхневих шарів, отриманих методами ЕІЛ	413
11.4. Оцінка жаростійкості алітованих поверхневих шарів, отриманих методами ЕІЛ	424
11.5. Математична модель процесу алітування методом електроіскрового легування.....	426
11.6. Аналіз якості сульфоцементованих покриттів, отриманих методом ЕІЛ.....	436
11.7. Математична модель процесу сульфоцементзації.....	448
11.8. Висновки.....	459
Список літератури.....	461

ВСТУП

Розробка освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування» пов'язана з обранням Україною напрямком розвитку на євроінтеграцію. Обраний державою напрямком розвитку вимагає від машинобудівної галузі розв'язання складних завдань забезпечення високої якості продукції, розробки та впровадження у виробництво нових ресурсощадних, енергоефективних та екологічно безпечних виробничих процесів. Вказані обставини зумовлюють формування нових вимог до підготовки наукових та професійних кадрів вищої кваліфікації по спеціальності «Галузеве машинобудування».

Метою ОНП «Галузеве машинобудування» є створення умов для підготовки висококваліфікованих фахівців для науково-педагогічної та наукової діяльності шляхом формування у здобувачів програмних компетентностей, необхідних для інноваційної науково-дослідницької та професійної діяльності стосовно розробки та застосування прогресивних технологічних процесів, а також для здійснення науково-педагогічної діяльності і розв'язання актуальних комплексних практичних проблем механічної інженерії на засадах глибокого переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Особливостями ОНП є здобуття майбутніми фахівцями фахових та спеціальних компетенцій, які спрямовані на застосування теорії матеріалознавства, технології машинобудування і триботехнології при комплексному розв'язанні прикладних завдань та виконання досліджень, спрямованих на формування заданих властивостей робочих поверхонь деталей машин шляхом нанесення спеціальних покриттів та/або зміцнювальних впливів різної фізичної природи.

У представленому підручнику наведено теоретичний матеріал та практичний досвід у сфері розробки та впровадження інноваційних технологій у галузевому машинобудуванні. Розглянуто ресурсозберігальні та енергоощадні методи інженерії поверхонь деталей машин та механізмів, питання правового оформлення та захисту прав інтелектуальної власності.

У підручнику зібрано та систематизовано теоретичний матеріал та практичні завдання з дисциплін навчального плану аспіранта: «Сучасні інформаційні технології у науковій діяльності», «Триботехніка», «Реєстрація прав інтелектуальної власності», «Інноваційні технологічні рішення в галузевому машинобудуванні», «Ефективність використання сенсорів та контролерів при супроводженні експериментальних досліджень», «Прогресивні технології інженерії поверхні», «Методологія управління якістю в машинобудуванні», «Синтез раціональних технологічних рішень», «Методологія зміцнюючих впливів на робочі поверхні деталей машин концентрованими джерелами енергії».

Перший розділ підручника присвячений інноваційним технологічним рішенням у галузевому машинобудуванні. Проведений аналіз як існуючих, так і більш розповсюджених технологій для формування захисних поверхневих шарів деталей при їх виготовленні та ремонті. На підставі проведеного аналізу окремо виділені екологічно безпечні інноваційні технології, а також інноваційні технологічні

рішення підвищення якості поверхонь типових деталей у галузевому машинобудуванні. У практичній частині приведені як приклади розв'язання типових задач згідно з розглянутими темами, так і завдання для самостійного виконання, а також запитання для самоконтролю.

У **другому розділі** підручника розглядаються питання формування програми експериментальних досліджень, планування експерименту, методики визначення фізико-механічних характеристик сільськогосподарських матеріалів, математичної обробки отриманих результатів дослідження, статистичного аналізу та оптимізації. Як приклад математичного моделювання та обробки результатів експериментальних досліджень розглянуто машину для викопування цукрових буряків. У практичній частині приведені як приклади розв'язання типових задач згідно з розглянутими темами, так і завдання для самостійного виконання, а також запитання для самоконтролю.

Третій розділ підручника присвячений основам триботехніки, науки, що займається прикладними завданнями щодо підвищення зносостійкості й керування тертям за рахунок застосування нових конструкцій вузлів, матеріалів і експлуатаційних прийомів. Розглянуті такі наукові розділи триботехніки, як трибомеханіка, трибофізика, трибохімія, триботехнічне матеріалознавство, триботехнологія та ін. Проведений аналіз основних причин зниження надійності і довговічності деталей. Розглянуті основні існуючі види і характеристики зношування. У практичній частині приведені як приклади розв'язання типових задач згідно з розглянутими темами, так і завдання для самостійного виконання, а також запитання для самоконтролю.

Четвертий розділ підручника присвячено питанню дослідження розвитку процесів фретинг-корозії (Ф-К). Яскравим прикладом вузла, що поєднує різноманітні умови утворення фретинг-корозії та типи поверхонь деталей, уражених нею, є пружні муфти (ПМ). Розглянуто технологічні методи підвищення фретингостійкості поверхонь різних деталей. На прикладі пружної муфти розглянуто процедуру вибору раціональної технології забезпечення якості поверхневих шарів деталей при виготовленні ПМ.

У **п'ятому розділі** підручника розглядаються питання реєстрації прав інтелектуальної власності. Проведений аналіз літературних джерел, в яких висвітлюються теоретичні і практичні основи та законодавчі положення у сфері інтелектуальної власності як результату інтелектуальної, творчої діяльності однієї людини (автора, виконавця, винахідника) або кількох осіб. Крім цього в розділі приділена увага питанням, які дуже тісно пов'язані з інтелектуальною власністю: питання раціоналізаторства і винахідництва, технічної творчості, охорони об'єктів інтелектуальної власності в Україні, патентного права та права промислової власності. У практичній частині приведений приклад складання опису заявки на винахід та запитання для самоконтролю.

У **шостому розділі** підручника приведені методичні рекомендації щодо виявлення об'єктів інтелектуальної власності, що виникають у процесі наукової та науково-практичної діяльності наукових закладів загального призначення, призначені для використання співробітниками наукових і практичних підрозділів наукових закладів та їх керівниками, з метою визначення наявності в наукових результатах,

нових знаннях та інформації, вироблених у процесі діяльності цих підрозділів об'єктів, які можуть отримати захист як об'єкти права інтелектуальної власності. Результатом застосування методичних рекомендацій може бути прийняття управлінського рішення про надання науковому результату, знанням, інформації форми об'єкта інтелектуальної власності з подальшою постановкою цього об'єкта на бухгалтерський облік закладу та отримання економічного результату від його реалізації або впровадження.

У **сьомому розділі** підручника показано, що певним етапом у розвитку методів пізнання, методів дослідницької та конструкторської діяльності, способів опису та пояснення природи аналізованих або штучно створюваних об'єктів є системний підхід. Це методологічний напрямок у науці, основне завдання якого полягає у розробці методів дослідження та конструювання складно організованих об'єктів – систем різних типів і класів, та є теоретичною й методологічною основою системного аналізу, який, у свою чергу, містить низку інших, підпорядкованих йому методів, які функціонують у його рамках. Один з них – це метод спрямованого вибору, який являє собою сукупність спеціальних методів дослідження, розглянутих у розділі, з якої в тому чи іншому випадку вибирається найбільш раціональний з них. У практичній частині приведені як приклади розв'язання типових задач згідно з розглянутими темами, так і завдання для самостійного виконання, а також запитання для самоконтролю.

У **восьмому розділі** підручника приділено увагу передовим технологічним рішенням діджиталізації досліджень у галузі агроінженерії. Розглянуто особливості застосування різноманітних сенсорів та контролерів для моніторингу врожаю культур, збирати фактичні візуальні дані щодо вегетації рослин, аналізувати стан ґрунту, наявність шкідників, що дає змогу посилити процеси цифрової трансформації як виробничих процесів, так і управління сільськогосподарськими підприємствами.

У **дев'ятому розділі** підручника розглянуто науково-методологічні основи забезпечення якості механізованих агротехнологій. Суттєве значення в сучасних умовах мають інтегровані комплексні програмні рішення, що забезпечують комплексне збирання, накопичення та обробку різноманітної інформації, включно із супутниковим моніторингом стану посівів, веденням обліку показників та відстеження технологічного обладнання і техніки з метою максимального підвищення ефективності прийняття рішень, деякі з яких представлено в дев'ятому розділі.

У **десятому розділі** підручника розглядаються питання синтезу раціональних технологічних рішень. Як приклад використовуються технологічні процеси ремонту та реінжинірингу енергетичного обладнання. При цьому досліджуються проблеми як синтезу раціональної послідовності технологічного процесу відновлення і модернізації обладнання, так і спрямований вибір технологічних методів формування необхідних якісних параметрів окремих поверхонь деталей машин. Приділяється особлива увага енергоефективності та ощадності застосованих технологічних процесів.

У **одинадцятomu розділі** розглянуто методологію дослідження зміцнювальних впливів на робочі поверхні деталей машин концентрованими джерелами енергії.

Особливу увагу приділено методу електроіскрового легування як одному з найбільш простих і доступних з технологічної точки зору. Наведено приклади дослідження впливу технологічних режимів електроіскрового легування на формування якісних параметрів, мікро- і макроструктури, розподілу хімічних елементів по глибині поверхневого шару, прогнозування експлуатаційних параметрів зміцненої поверхні при одно- та багатокомпонентному легуванні.

Автори висловлюють щире подяку рецензентам доктору технічних наук, професору **Пермякову О. А.** та доктору технічних наук, професору **Шуляку М. Л.** за цінні зауваження та поради, які надали велику допомогу в роботі над рукописом.

Заздалегідь дякуємо за відгуки, зауваження та пропозиції. Будемо раді можливості співпраці або обміну досвідом.

Розділ 1

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ В ГАЛУЗЕВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

1.1. Аналіз більш розповсюджених технологій для формування захисних поверхневих шарів деталей при їх виготовленні та ремонті

Вихід з ладу деталей машин, що знаходяться в контактi в процесі експлуатації, є наслідком фізичного зносу різних видів: втомних руйнувань, повзучості матеріалів, механічного зносу, корозії, ерозії, кавітації, старіння матеріалу та ін.

Найбільш поширеною причиною порушення працездатності деталей та робочих органів машин є не поломка, а знос і пошкодження їх робочих поверхонь.

Якість поверхні деталей машин визначається геометричними характеристиками і фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Основними геометричними характеристиками якості поверхневого шару є: шорсткість поверхні, хвилястість і відхилення від правильної геометричної форми. До основних фізико-механічних характеристик якості відносяться: структура поверхневого шару, мікротвердість, наявність та знак залишкової напруги.

Промислові підприємства, які використовують у своєму виробничому процесі насосне та компресорне обладнання, центрифуги та ін., стикаються з необхідністю захисту при експлуатації або відновлення при ремонті поверхонь деталей, що піддаються різним видам абразивного зносу. Це, наприклад, гвинтові та циліндричні поверхні шнеків центрифуг, що піддаються гідроабразивному зносу; маточини робочих коліс дуттьових машин після газоабразивного зносу (ерозії) та ін. Наявність у робочому середовищі агресивних компонентів призводить до прискорення процесу руйнування поверхонь деталей.

Технологія відновлення таких деталей включає видалення зношених ділянок і заміну їх окремими сегментами, виготовленими, як правило, зі сталевих листів такої ж марки. Прикріплення сегментів на зношені ділянки зазвичай здійснюють різними видами зварювання.

У результаті проведеного аналізу з'явилася можливість зробити строгу класифікацію: виробів, для яких актуальне управління якістю поверхневих шарів залежно від основних вимог, що висуваються до цих виробів; їх елементів; вимог до цих елементів (табл. 1.1, див. 11 с.).

Одним із напрямів збільшення опору тертю та зношування деталей є створення на їх поверхнях шарів хімічних сполук, властивості яких відрізняються від властивостей основних металів. До такої категорії методів підвищення зносостійкості металів відноситься хіміко-термічна обробка (ХТО), при якій на поверхні металів утворюються сполуки з вуглецем, азотом, сіркою та іншими хімічними елементами з V, VI, VII груп періодичної системи Д. І. Менделєєва.

Таблиця 1.1 – Класифікація виробів, для яких актуальне управління якістю поверхневих шарів, їх елементів та вимог до цих елементів

Назва групи виробів	Основні вимоги до виробів	Поверхні виробів	Основні вимоги до відповідальних поверхонь виробів
Вали, осі, штоки.	Висока міцність та опір втомним руйнуванням.	Шийки під підшипники ковзання. Шийки під посадкові місця.	Висока мікротвердість і стійкість проти окислювально-аbrasивного зносу, низька шорсткість. Висока мікротвердість, стійкість проти фреттинг-корозії, низька шорсткість.
Деталі, схильні до високих питомих навантажень: штоки, пуансони, валки прокатних станів і т. ін.	Висока міцність, опір втомним руйнуванням і високим питомим навантаженням.	Зовнішні циліндричні поверхні, що піддаються зносу.	Висока мікротвердість, стійкість проти окислювально-аbrasивного зносу, низька шорсткість.
Деталі, схильні до торцевого тертя: імпульсні торцеві ущільнення, підп'ятники тощо.	Відсутність короблення в умовах змінних навантажень та високих температурних напруг.	Плоска робоча поверхня. Криволінійний поясок.	Висока мікротвердість, стійкість проти окислювально-аbrasивного зносу, низька шорсткість. Низька мікротвердість.
Робочі колеса компресорів, дуттьових машин, насосів тощо.	Забезпечення працездатності в умовах високих статичних та динамічних навантажень.	Криволінійна ділянка лопатки на вході та виході та прилеглі до неї плоскі ділянки основного диска.	Стойкість проти ерозійного зносу і хімічної корозії.
Металорізальний інструмент: різці, свердла, кінцеві та дискові фрези, пилки Геллера та ін.	Висока міцність.	Ріжучі кромки.	Висока мікротвердість, стійкість проти окислювально-аbrasивного, адгезійного, дифузійного та інших видів зносу, низька шорсткість.

Ці методи обробки, що отримали назви: цементація, азотування, ціанування, борування, хромування та інших, останнім часом застосовуються в машинобудуванні переважно для поліпшення протизадирних і антифрикційних якостей тих деталей машин, які працюють у важких умовах тертя, коли є небезпека заїдання.

Нерідко з метою більш ефективного захисту від абразиву поверхню деталей піддають таким видам зміцнення, як наплавлення твердими та зносостійкими матеріалами [1–3], плазмове напилення [4; 5], хіміко-термічна обробка (ХТО) [6; 7] та ін.

При цьому видалення зношеної частини деталі, заміна її окремими сегментами і зміцнення поверхонь, що піддаються в процесі абразивного зношування, нерідко здійснюються методами, що надають шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Ремонтне зварювання та наплавлення деталей машин та механізмів на сьогоднішній день є одними з основних технологічних методів відновлення експлуатаційних властивостей деталей та зміцнення їх поверхонь [8–10].

Відповідно до [11] газозварювальне обладнання є вибухонебезпечним і потребує суворого дотримання заходів безпеки. Обладнання для газополум'яної обробки металів має відповідати вимогам ГОСТ 12.2.008 «Обладнання та апаратура для газополум'яної обробки металів та термічного напилення покриттів».

Для проведення **зварювальних робіт** на підприємствах застосовується mig/mag зварювання – дугове зварювання металевим електродом (дротом), що плавиться, в середовищі інертного/активного захисного газу з автоматичним поданням присадного дроту. Застосування цього зварювання супроводжується низькою екологічних проблем.

Проблема фотохімічних реакцій у повітрі. Основним джерелом небезпечних та шкідливих факторів зварювання у захисних газах є світлове випромінювання іонізованого у дузі аргону. Це випромінювання притаманно Сонцю у відкритому космосі. До поверхні Землі від Сонця доходять лише промені довжиною 290 нм, коротші гальмуються атмосферою [12]. При гальмуванні короткого ультрафіолету, що випромінюється аргонном, відбуваються фотохімічні реакції з молекулярним киснем та азотом з утворенням озону та оксиду азоту. Озон – O_3 , алотропна форма кисню, є сильним окиснювачем. Завдяки своїй хімічній активності озон має дуже низьку гранично допустиму концентрацію в повітрі (порівняну з ГДК бойових отруйних речовин) $5 \times 10^{-8} \%$ або $0,1 \text{ мг/м}^3$, що у 10 разів більше за нюховий поріг для людини. Озон дратує слизову оболонку очей та дихальних шляхів, ушкоджує тканини легень, викликає кашель та запаморочення. Окис азоту (NO) на повітрі швидко окислюється в двоокис азоту – NO_2 , який відіграє основну роль при отруєнні окислами. Окиси азоту викликають ураження глибоких відділів повітроносних шляхів та набряк легень. Отруєння озоном та окислами азоту може призвести до летального результату внаслідок паралічу дихання [13].

Проблема утворення біологічно активних речовин. У зону дуги із сумішшю аргону та вуглекислого газу потрапляє близько 3–6 % атмосферного повітря. У ній виділяються розчинені в металі гази. Дослідженнями [14] визначено, що у зоні дуги можливий синтез біологічно активних речовин (БАР) – CN, HCN, NO_2 , N_2O , CO, що надходять у повітря робочої зони. Найменша концентрація БАР утворюється при зварюванні в чистому аргоні та при зварюванні в суміші AR+5 % O_2 . Найбільша – при зварюванні у суміші AR+CO₂.

Проблема утворення аерозолів неокислених металів (діаметр частинок аерозолів металу становить 0,1–0,5 мкм, а агломератів – 5–10 мкм) у струмені захисного газу має важливе значення як для забезпечення безпеки робіт, так і для вирішення екологічної безпеки зварювання за рахунок утилізації високодисперсних аерозолів металів, що утворилися. Усі неокислені метали горючі [13].

Наплавлення – це нанесення шару металу на поверхню заготовки або виробу за допомогою зварювання плавленням (ГОСТ 2601-84). У разі застосування із цією метою зварювання тиском використовується термін наварювання (плакування). Відновлювальне наплавлення (наварювання) застосовується для відновлення початкових розмірів зношених або пошкоджених деталей. У цьому випадку