

13. Загоруйко, А. В. Экспериментальные исследования новых конструкций торцовых сальниковых уплотнений с гидродинамической разгрузкой пары трения [Текст] / А. В. Загоруйко, С. М. Гудков // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2007. — № 3. — С. 91–97.
14. Загоруйко, А. В. Решение задачи упругогидродинамической смазки для пары трения торцового сальникового уплотнения [Текст] / А. В. Загоруйко, С. Н. Гудков // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. — 2010. — № 3, Т. 1. — С. 75–82.
15. Марцинковский, В. А. Насосы атомных электростанций [Текст] / В. А. Марцинковский, П. Н. Ворона. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 256 с.

РЕСУРСНІ ВИПРОБУВАННЯ ТОРЦЕВОГО САЛЬНИКОВОГО УЩІЛЬНЕННЯ З РЕВЕРСИВНИМИ КАНАВКАМИ

У роботі представлені результати ресурсних випробувань торцевого сальникового ущільнення з реверсивними канавками на опорній поверхні аксіально-рухомої втулки. Отримані результати дозволяють говорити про ефективність нової конструкції торцевого сальникового ущільнення. Ущільнюваний вузол може використовуватися при тисках ущільнюваної рідини до 2 МПа, забезпечуючи мінімальні витрати і необхідний ресурс.

Ключові слова: торцеве сальникове ущільнення, пара тертя, реверсивні канавки, податливе дно, гідродинамічний тиск.

Гудков Сергей Николаевич, заведующий лабораторией, кафедра общей механики и динамики машин, Сумский государственный университет, Украина, e-mail: sngudkov@omdm.sumdu.edu.ua.
Загоруйко Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра общей механики и динамики машин, Сумский государственный университет, Украина, e-mail: anzagorulko@omdm.sumdu.edu.ua.

Гудков Сергій Миколайович, завідувач лабораторії, кафедра загальної механіки та динаміки машин, Сумський державний університет, Україна.

Загоруйко Андрій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальної механіки та динаміки машин, Сумський державний університет, Україна.

Gudkov Sergii, Sumy State University, Ukraine, e-mail: sngudkov@omdm.sumdu.edu.ua.

Zahorulko Andriy, Sumy State University, Ukraine, e-mail: anzagorulko@omdm.sumdu.edu.ua

УДК 621.757 : 621.7.08

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37678

Кузін О. А.,
Кусий Я. М.,
Топільницький В. Г.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СПАДКОВОСТІ НА ПАРАМЕТРИ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ

Проаналізовано проблему забезпечення надійності у взаємозв'язках із життєвими циклами машини та інженерії поверхні деталей. Встановлено роль технологічної спадковості у формуванні експлуатаційних характеристик та показників надійності. Вдосконалено структурну схему формування показників надійності технологічного процесу та математичну залежність для визначення ймовірності його безвідмовного здійснення $P(t)$. Представлено обґрунтування та аналіз отриманих результатів, показані шляхи подальших досліджень.

Ключові слова: виріб, надійність, технологія, технологічний процес, інженерія поверхні, викінчувально-зміцнювальна операція.

1. Вступ

Провідною концепцією забезпечення надійності техніки на сучасному етапі її розвитку є системність, причому системи забезпечення надійності охоплюють весь життєвий цикл машини (рис. 1) від розроблення до експлуатації [1].



Рис. 1. Життєвий цикл машини

Як свідчить досвід експлуатації машин, приладів, апаратів, показники надійності залежать від характеру контактування спряжених деталей або взаємодії з рідким, газовим та іншим середовищем [2]. Багаточисельними дослідженнями встановлено, що якість поверхні деталей машин суттєво впливає на їх зносостійкість, міцність, корозійну стійкість та інші експлуатаційні властивості.

Економічна доцільність комплексного забезпечення якості деталей на всіх стадіях їх життєвого циклу зумовила необхідність формування робочих поверхонь із заданими властивостями з використанням методів інженерії поверхонь [3].

Важливе значення поверхневих шарів у формуванні параметрів надійності виробів обумовлено тим, що при зовнішніх навантаженнях на поверхні виникають потоки

дефектів, які сприяють розвитку пошкоджень. Найефективнішими методами керування такими потоками є створення в деталях функціонально-градієнтних структур шляхом поверхнево-пластичного деформування (ППД), хіміко-термічної, лазерної та плазмової обробки. При цьому підвищення довговічності досягається за рахунок зміни напружено-деформованого стану в локальних зонах деталей, що дозволяє ефективно керувати поверхневими дефектами, розвитком знеміцнення та деструктивних процесів, матеріалу, але вимагає детального аналізу ролі структурних параметрів в процесах руйнування. Відповідно до цих підходів вивчення поверхневих шарів необхідно здійснювати комплексно на всіх етапах життєвого циклу деталей (рис. 2) [3, 4].

ходить переміщення дефектів трансляційного типу (дислокацій і дисклінацій), поворот окремих ділянок (ротаційна складова деформації), утворюються локальні порушення суцільності – пошкодження (мікропори, мікротріщини). Поведінка технологічних пошкоджень, їх розвиток при експлуатації та зміна в цих умовах надійності деталей і машин вивчені недостатньо.

Слід відзначити, що для матеріалу деталей або їх окремих об'ємів з різною пластичністю, яка може виникнути внаслідок технологічних обробок і призводить до зміни їх фізико-механічних властивостей, реалізуються різні механізми деформації. Проходження процесів, які супроводжують пластичну деформацію, залежить від ступеню попередньої деформації заготовки деталі та її окремих об'ємів.

Зміна структури матеріалів деталей в умовах зовнішніх навантажень є наслідком складних процесів, що відбуваються на таких рівнях ієрархії:

а) механічному, що відповідає пружній поведінці матеріалу;

б) дефектів трансляційного типу, при якому локальні зміни структури визначаються густиною та потоками дислокацій;

в) дефектів ротаційного типу;

г) локального порушення суцільності, при якому в матеріалах виникають мікропори та мікротріщини;

д) глобального порушення суцільності, при якому формуються магістральні тріщини та втрачається фізична сутність механічних параметрів – тензора напружень і тензора деформації.

В зв'язку з цим будова матеріалу після технологічних методів обробки є основним чинником, який відзначає кінетику деградації деталей при їх експлуатації та їх надійність.

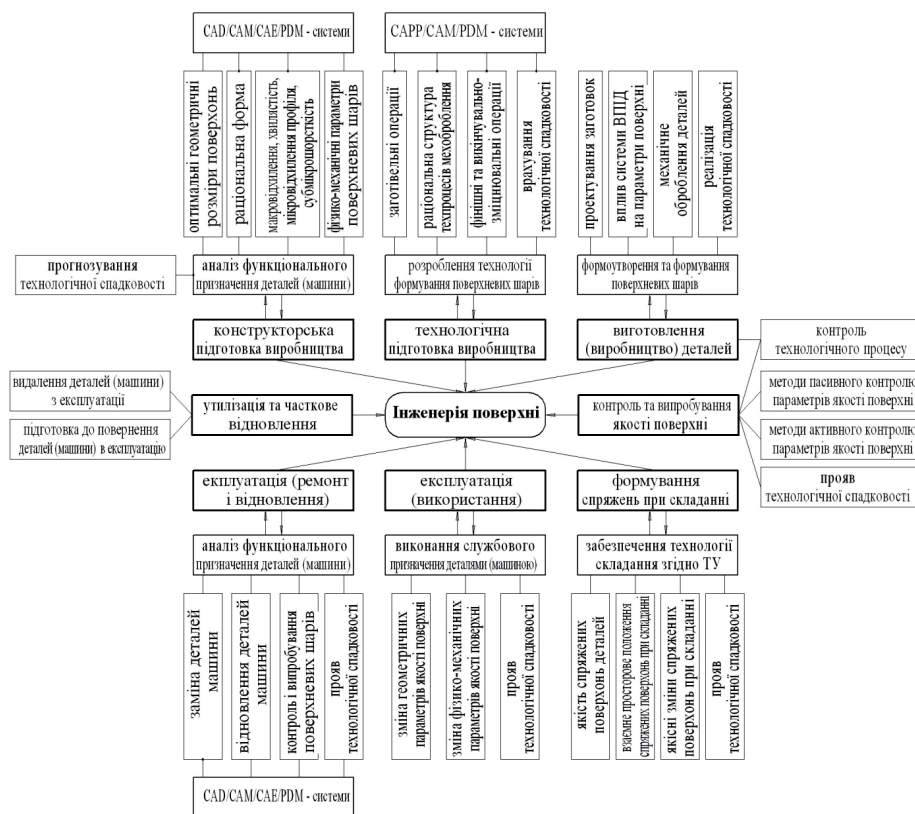


Рис. 2. Взаємозв'язки етапів життєвого циклу деталей

Особливістю надійності є її зв'язок зі всіма етапами проектування, розроблення технології, виробництва, експлуатації життєвих циклів машини та інженерії поверхні деталей (рис. 1, 2), оскільки кожен з етапів вносить свій внесок до вирішення складного завдання створення машин необхідного рівня надійності з найменшими витратами часу і засобів. При проектуванні, розрахунках, а також при розробленні технології механічного оброблення та складання закладається, при виробництві формується, а при експлуатації машини реалізується її надійність [5, 6], що є справедливим і для поверхневого шару виробу.

У більшості випадків технологічне оброблення супроводжується формуванням розсіяних пошкоджень за рахунок усадження матеріалу, перерозподілу елементів в локальних зонах, утворення залишкових напружень. Під час пластичної деформації, яка відбувається при технологічних обробках деталей, в локальних зонах про-

Характерною особливістю машинобудівного виробництва для забезпечення надійності виробів є необхідність опрацювання даних на всіх етапах життєвого циклу виробу, причому зростання обсягів технічної інформації за рахунок ускладнення конструкцій виробів вимагає розроблення комплексних методів і засобів її зберігання, систематизації та оперативного обміну [7]. Тому вирішення проблеми надійності вимагає системного підходу, нових концепцій та ідей, як-от: ідея інформаційної інтеграції стадій життєвого циклу продукції (виробу), що на сучасному етапі розвитку машинобудування реалізується впровадженням комплексної системи керуванням життєвим циклом виробу (машини) (Product Lifecycle Management – PLM) із проектуванням функціонально-орієнтованих технологій машинобудівного виробництва [7, 8].

Іншою характерною рисою сучасного машинобудівного виробництва є жорсткі вимоги до конкурентоспроможності продукції [9], що зумовило розвиток

інтегрованих інформаційних систем керування наукоємним виробництвом [7, 8]. Підвищення вимог до надійності виробів поряд із збільшенням числа параметрів, обумовлених технічними умовами, вимагає ретельнішого прогнозування основних взаємозв'язків між експлуатаційними та технологічними параметрами виробів, що можливе засобами паралельного інжинірингу — CAPE (Concurrent Art-to-Product Environment). В результаті суттєво зменшується кількість помилок за рахунок використання спільних баз даних та оперативного обміну інформацією між фахівцями, що суттєво зменшує терміни виконання проектів і підвищує якість продукції [7].

Багатошаровість цифрової моделі виробу та координаційні функції CAPE-системи дозволяють значно скоротити цикл його створення, підвищити технічний рівень проектів, уникнути розбіжностей і помилок внаслідок взаємозв'язку та контрольованості інформації на всіх стадіях технологічного проектування [8].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Як відзначається у роботах [2–9], для забезпечення надійності важливе значення відіграють технологічні процеси: виготовлення, складання, контролю виробів, що покликані забезпечити високий рівень технічних вимог, високу продуктивність процесу та максимально можливе авантаження технологічного обладнання. Однак нерідко виникають протиріччя: підвищення продуктивності супроводжується зниженням якості, і, навпаки, вища якість досягається при нижчій продуктивності. При цьому має місце ігнорування характеристик надійності, які проявляються під час експлуатації виробів (рис. 1, 2), хоча власне основні показники надійності: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережливість забезпечують бажаний ресурс роботи деталей машин. Однак зв'язки між технологічними процесами та експлуатаційними властивостями виробів і пов'язаними з ними показниками надійності зазвичай надскладні і важко прогнозовані (рис. 3) [5].

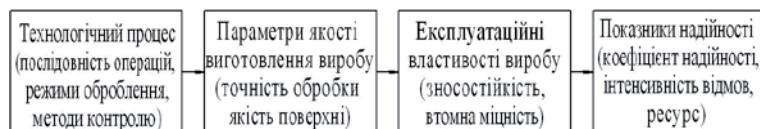


Рис. 3. Схема залежності показників надійності від рівня технологічного процесу [5]

Встановлено, що близько 80 % всіх дефектів, які виявляються під час виробництва та використання виробів, обумовлені недостатньою якістю процесів розроблення концепції виробу та підготовки його виробництва. Причиною близько 60 % всіх відмов, що виникають під час гарантійного терміну виробу, є помилкова, поспішна та незавершена розробка, а також недотримання технічних вимог [10].

Тому в стандарті ISO 9001:2008 зроблений акцент власне на процесний (системний) підхід до організації та керування роботами, інтегрування усіх дій (операцій) за рахунок перенесення центру ваги з функції на процес, що забезпечує єдність керування, вдосконалення організаційної культури [11, 12] та дозволяє ефективно впроваджувати PLM-технології.

В загальному комплексі поставлених технічних завдань для покращання експлуатаційних характеристик і забезпечення показників надійності деталей та вузлів машин при механічному обробленні та складанні важливе місце займає технологічна спадковість, під якою розуміють перенесення властивостей оброблюваного об'єкту (заготовки) від попередніх операцій до наступних, що відображається на експлуатаційних характеристиках кінцевого виробу [3, 4, 13].

Питанням технологічної спадковості в машинобудуванні та механообробці присвячені роботи В. І. Аверченкова, А. М. Дальського, Е. В. Рижова, А. Г. Суслова, П. І. Ящеріцина та багатьох інших науковців.

При виготовленні заготовок методом штампування, кування, лиття температурний інтервал обробки закладає певні параметри майбутньої деталі, причому структура та напрям пластичної деформації сплавів суттєво впливають на зносостійкість, контактну міцність і експлуатаційну надійність [13].

Дослідженнями [14–16] встановлено, що як при виготовленні заготовок, так і при термічній обробці металів має місце структурна спадковість, тісно пов'язана з технологічною. В. Д. Садовський [15] стверджує, що структурна спадковість, яка пов'язана із технологією проведення термічної обробки, визначає внутрішню будову та механічні властивості багатьох сталей.

Важливу роль під час механічного оброблення деталей відіграє конструктивна спадковість, що полягає у виникненні, стійкому збереженні та передачі від однієї операції до іншої конструктивних особливостей заготовок в різних перерізах. Конструктивну спадковість необхідно враховувати не лише при розробленні технологічних процесів, але і на стадії проектування високоточних деталей, що дозволяє передбачати та керувати похибкою форми цих деталей [17].

Носії спадкової інформації — оброблюваний матеріал і поверхня деталі — активно беруть участь в технологічному процесі, проходячи через різні операції та переходи, випробовуючи дії технологічних факторів [13, 17].

У технологічному ланцюгу існують свого роду «бар'єри», причому деякі технологічні фактори здолати ці «бар'єри» не можуть — в результаті проявляється їх вплив на кінцеві властивості об'єкту. Інші параметри такі «бар'єри» проходять, і вони впливають на кінцеві властивості дуже слабо [13, 18]. Найістотніші «бар'єри» проявляються на термічних операціях об'ємного зміцнення, а також на операціях, що супроводжуються ППД і зміцненням, оскільки вони змінюють мікроструктуру оброблюваного матеріалу, мікрогеометрію формованої поверхні, призводять до викривлення деталі і спотворення форми. Під час цих операцій такі вади поверхні, як фізична та структурна неоднорідність, пори, мікротріщини можуть розвиватися або «заліковуватися». Отже, процесом технологічної спадковості можна керувати, з тим, щоб особливості будови сплавів, які позитивно впливають на якість деталі, зберегти впродовж усього технологічного процесу, а дефекти будови, які впливають негативно, — ліквідувати на його початку [17, 19].

Проте в сучасній літературі при аналізі впливу технологічної спадковості на параметри якості кінцевого виробу недостатньо враховується роль заготівельних операцій. Структуру та властивості заготовок слід

розглядати в тісному поєднанні із спадковістю металу з рідкого стану, оскільки лише 25 % властивостей шхти передається заготовці, а 75 % формується під час заливання та затверднення при охолодженні [16]. Технологічні чинники, що виникають в металургійному процесі і при виконанні ковальсько-штампувальних і термічних операцій, проходять надалі увесь технологічний ланцюжок отримання виробів і мають значний вплив на формування кінцевих характеристик оброблених поверхонь, а отже, на втомну міцність деталей і їх зносостійкість [13].

Складність процесів, при яких проявляються встановлені нами різновиди спадковості (рис. 4), вимагає подальшого глибокого теоретичного та експериментального вивчення фізичного змісту даних явищ.



Рис. 4. Різновиди спадковостей у життєвих циклах машини та інженерії поверхні

Як показують виконані дослідження, довговічність і надійність роботи деталей, вузлів та машин загалом істотно залежать від технології їх виготовлення [3, 13].

В зв'язку із цим, забезпечення надійності виробів з аналізом впливу спадковості загалом і технологічної спадковості зокрема вимагає комплексного підходу, причому врахування впливу операцій отримання заготовок, поряд із іншими «бар'єрами» сприятиме ефективному впровадженню PLM-технологій для раціонального вирішення задач проектування, розробки, виготовлення та супроводу продукції на всіх етапах її життєвого циклу.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — спадковість матеріалів, заготовок і технологічних процесів.

Мета дослідження полягає у дослідженні впливу заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій технологічних процесів виготовлення виробів на забезпечення технічних вимог, експлуатаційних характеристик і показників надійності деталей машин.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

1) провести огляд і аналіз літературних джерел стосовно частки впливу заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій технологічних процесів виготовлення виробів на забезпечення технічних вимог, експлуатаційних характеристик і показників надійності деталей машин;

2) розробити узагальнену структурну схему формування показників надійності технологічного процесу;

3) встановити математичну залежність для визначення ймовірності безвідмовного здійснення технологічного процесу $P(t)$.

4. Дослідження впливу технологічної спадковості на формування показників надійності технологічного процесу

4.1. Надійність технологічного процесу. Технологічні процеси з позиції надійності характеризуються специфічними особливостями, які, з одного боку, утруднюють вирішення цієї задачі, а з іншої — володіють цілим рядом позитивних властивостей і можливостей. Зокрема, до позитивів слід віднести можливість оптимізації структури технологічного процесу та його елементів і володіння властивістю саморегулювання (адаптації) для автоматичної або цілеспрямованої зміни своїх параметрів з метою забезпечення необхідного рівня надійності [5].

В роботі [20] введено поняття технологічної надійності, як властивості технологічного обладнання та виробничо-технічних систем, таких, як верстат, системи ливарного, ковальсько-пресового або іншого виробничо-технічного обладнання або автоматичних ліній, зберегти на заданому рівні вихідні параметри якості отриманого виробу протягом необхідного часу.

Поняття «надійність технологічних процесів» введено О. С. Проніковим [5]. Автор відзначає, що значний відсоток відмов різних машин пов'язаний з недостатньою надійністю технологічного процесу, тому технологічний процес повинен бути надійним, тобто не допускати таких показників, які можуть впливати на якість виробів, що випускаються. Питання оцінки надійності технологічних процесів і безвідмовності розглядаються також у роботах А. А. Рижкіна, П. В. Дубровського та інших вчених, причому тільки з точки зору здатності технологічних систем, процесів та операцій забезпечувати (протягом заданого часу) виготовлення продукції з показниками якості відповідно до встановлених вимог.

З огляду на процесний підхід до організації, керування роботами у стандарті ISO 9001:2008, складність взаємозв'язків між параметрами технологічних процесів і показниками надійності виробів доцільно, на думку авторів даної роботи, перенести показники надійності деталей машин на показники надійності власне процесів їх виробництва.

Надійність технологічного процесу необхідно досліджувати у взаємозв'язках між усіма операціями (від заготівельних до фінішних і викінчувально-зміцнювальних), враховуючи технологічну надійність устаткування, організацію методів контролю та роль системи верстат — пристрій — інструмент — заготовка в технології виготовлення виробів.

4.2. Узагальнена структурна схема формування показників надійності технологічного процесу. Формування вихідних параметрів виробу в процесі його виготовлення має свою специфіку, пов'язану із структурою технологічного процесу, методами контролю, надійністю здійснення окремих операцій і переходів [5, 20]. Комплексне врахування «бар'єрів» технологічних ланцюгів виготовлення виробів і складання машин, раціональне впровадження PLM-технологій вимагає вдосконалення класичної схеми формування показників надійності технологічних процесів, запропонованої О. С. Проніковим [5].

Розглянемо схему оцінки надійності технологічного процесу, що складається з послідовних операцій – від заготовельної (0) до кінцевої (n) (рис. 5). Відправними параметрами для здійснення технологічного процесу служить множина значень $Y_{01}, Y_{02}, \dots, Y_{0j}$. В результаті цього технологічного процесу згідно технічних вимог потрібно забезпечити m вихідних параметрів X_1, X_2, \dots, X_m . Ймовірність $P_0(t)$ характеризує здійснення технологічного процесу на заготовельній операції. Ймовірність $P(t)$ (вихід будь-якого з параметрів за межі допуску протягом заданого періоду $t = T$) визначить безвідмовність даного технологічного процесу. Формування вихідних параметрів відбувається в результаті послідовного оброблення заготовки, причому для кожної операції, як правило, призначені свої вихідні параметри, які мають бути забезпечені в результаті виконання технологічних переходів даної технологічної операції.

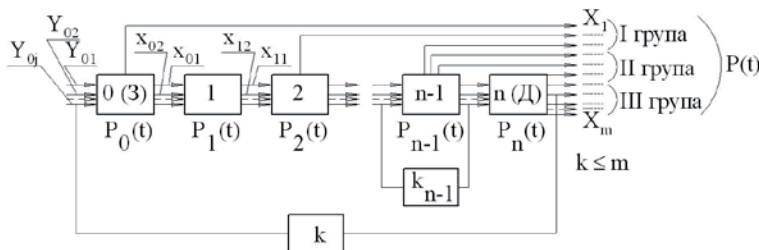


Рис. 5. Схема формування показників надійності технологічного процесу

Тому кожна операція також характеризується ймовірністю $P_i(t)$ здійснення на ній технологічного процесу. Проте ймовірність безвідмовного здійснення технологічного процесу на всьому ланцюгу не дорівнює добутку відповідних ймовірностей $P_i(t)$ для кожної операції з огляду на особливості формування вихідних параметрів всього технологічного процесу, як-от [5]:

1. Найвагомий вплив на формування вихідних параметрів мають кінцеві (фінішні та викінчувально-зміцнювальні) операції, а параметри, контрольовані на проміжних операціях, як правило, зазнають змін і їх значення не відіграє істотної ролі (параметри I групи, рис. 5). Виняток становлять зазвичай характеристики матеріалу, які є відправними параметрами технологічного процесу, але визначають у значній мірі і його кінцеві властивості.

2. Більшість параметрів фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій безпосередньо визначають надійність технологічного процесу, оскільки саме тут відбувається остаточне формування параметрів якості виробів. Саме ймовірність їх забезпечення в межах допуску істотно визначає надійність всього технологічного процесу (параметри II групи, рис. 5).

3. В той же час є і такі параметри фінішних та викінчувально-зміцнювальних операцій, на забезпечення яких впливає характер попередніх операцій, що визначаються технологічною спадковістю. Тому частина вихідних параметрів (III група, рис. 5) функціонально пов'язана з параметрами попередніх проміжних операцій.

Однак, ті ж фінішні та викінчувально-зміцнювальні операції можуть зменшувати або повністю нейтралізувати вплив попередніх операцій. Фінішні технологічні операції, що базуються на обробці різанням характеризуються, як правило, хаотичністю, нерегулярністю мікрорельєфів, виникненням концентраторів напружень:

рисок, подряпин, припалів на оброблюваній поверхні, що негативно відображається на експлуатаційних характеристиках виробів (зносоустійкості, втомній міцності тощо). На відміну від методів лезового оброблення при застосуванні на викінчувально-зміцнювальних технологічних операціях методів оброблення поверхневим пластичним деформуванням зберігається цілість волокон металу, створюється сприятлива форма мікронерівностей з більшою долею опорної площі, відсутні лущення оброблюваної поверхні частинками шліфувальних кругів, полірувальних паст і термічні дефекти. Формування регулярних мікрорельєфів із заданою площею заглиблень для затримання змащувального матеріалу дозволяє здійснювати аналітичний розрахунок геометричних і фізико-механічних параметрів як функцій режимів оброблення та створює передумови для керування технологічною операцією.

Досвід промислового впровадження ефективних енергоощадних технологій переконливо свідчить, що одними із найефективніших посеред відомих викінчувально-зміцнювальних операцій стосовно оброблення різноманітних деталей машин, що працюють в умовах зношування та знакозмінних навантажень, є вібраційні технології завдяки достатньо широким технологічним можливостям і здатності якісного зміцнювального оброблення поверхонь виробів [2, 9, 21–23].

Зокрема, розроблений у Національному університеті «Львівська політехніка» метод вібраційно-відцентрового зміцнення (ВВЗ) деталей форми тіл обертання завдяки змінно-контактній взаємодії зміцнювального інструменту із оброблюваною поверхнею деталі належить до групи методів динамічного зміцнення. Переваги даного методу полягають у забезпеченні високого рівня енергії деформування, високій продуктивності, простоті, надійності, компактності та універсальності зміцнювальних пристроїв, можливості якісного оброблення внутрішніх поверхонь нежорстких втулок. Процес зміцнення ВВЗ не змінює геометричної форми деталі та не вимагає спеціального припуску під оброблення. Метод ВВЗ може бути використаний для зміцнення виробів, виготовлених як із кольорових металів та сплавів, так і з різних марок сталей, які піддаються деформуванню у холодному стані; при цьому, завдяки широкому діапазону регулювання легко підібрати оптимальні режими зміцнювального оброблення. Особливо ефективно ВВЗ для зміцнення деталей, які піддаються в процесі експлуатації знакозмінним циклічним навантаженням [9].

Розглянемо кінцевий результат формування m вихідних параметрів деякого технологічного ланцюга (рис. 5). Вважасмо, що при механічному обробленні заготовки для кожного з x -параметрів визначена ймовірність P_{X_i} його отримання в межах допуску, що враховує належність параметра до однієї з трьох категорій і наявність для частини з них проміжного контролю. В кінці технологічного ланцюга для ряду параметрів виконується вихідний контроль, ефективність якого характеризується ймовірністю P_k відбракування виробів, параметри яких перевищують межі допуску. Для неконтрольованих параметрів $P_k = 0$, для абсолютної надійного контролю $P_k = 1$. Контрольні операції не володіють стовідсотковою гарантією відбракування у випадку використання

статистичних методів контролю і з врахуванням метрологічної надійності вимірювальних приладів [20].

Тому оцінка ймовірності безвідмовного здійснення технологічного процесу опишеться формулою:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - P_0)(1 - P_{x_i})(1 - P_k)]. \quad (1)$$

Отже, ймовірність безвідмовного здійснення технологічного процесу $P(t)$ безпосередньо залежить від ймовірностей виконання технологічного процесу на заготівельній операції $P_0(t)$, на проміжних i -тих операціях $P_{x_i}(t)$ і ймовірності P_k відбракування виробів P_k .

Надійність технологічного процесу пов'язана з надійністю здійснення окремих операцій, особливо фінішних і викінчувально-зміцнювальних, що залежить від технологічної надійності устаткування, організації методів контролю, від рівня розвитку та запасу надійності даного технологічного процесу [5].

5. Аналіз і обґрунтування результатів досліджень методу контролю технологічного процесу

Отримана математична залежність (1) враховує вплив структури технологічного процесу, зокрема, заготівельних, фінішних, викінчувально-зміцнювальних і контрольних операцій.

При високій технологічній дисципліні на підприємстві створюються передумови для впровадження прогресивного методу контролю — контроль технологічного процесу та розроблення нового методу контролю — показників надійності виробів.

Контроль технологічного процесу полягає в контролі не мікрогеометрії поверхні, а технологічного процесу, всіх умов і режимів обробки контрольованої поверхні [2].

В цьому випадку технологічна спадковість має важливе значення, оскільки від раціонально вибраної послідовності операцій залежать як мікрогеометрія, так і фізико-механічні параметри якості поверхні.

Метод контролю показників надійності виробів дозволяє прогнозувати значення показників надійності залежно від параметрів технологічного процесу. Ефективними передумовами для розвитку даного методу контролю повинна слугувати достатня лабораторна база для дослідницького відпрацювання фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій технологічних процесів виготовлення виробів, висока виробничо-технологічна дисципліна та наявність кваліфікованого персоналу.

При застосуванні таких методів контролю знижується вплив контрольних операцій, які в класичній постановці задачі забезпечення надійності виконують роль резервних елементів та істотно підвищують надійність технологічного процесу.

Однак введення контрольних операцій вимагає додаткових матеріальних витрат, процес контролю має певний рівень надійності та не всі параметри і не всі вироби піддаються контролю [5].

Тому при впровадженні методу контролю технологічного процесу та розробленні методу контролю показників надійності виробів можна виключити контрольні операції, тоді формула (1) матиме вигляд:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - P_0)(1 - P_{x_i})]. \quad (2)$$

Отже, при високій технологічній дисципліні та впровадженні прогресивних методів контролю ймовірність безвідмовного здійснення технологічного процесу $P(t)$ безпосередньо залежить від ймовірностей виконання технологічного процесу на заготівельній операції $P_0(t)$ і проміжних i -тих операціях $P_{x_i}(t)$, включаючи фінішні і викінчувально-зміцнювальні.

Викінчувально-зміцнювальні технологічні операції відіграють важливе значення у формуванні експлуатаційних характеристик виробів і показників надійності. Зокрема, оброблення ВВЗ циліндрових втулок бурової помпи НБ32 із діаметрами робочої поверхні $\varnothing 100^{+0,14}$ мм і $\varnothing 110^{+0,14}$ мм сприяло зменшенню висотних і крокових параметрів поверхневого шару (R_a , R_z , R_p , R_{max}) у 1,5–5,8 разів. Після вібраційно-відцентрового зміцнення циліндрових втулок середнє напрацювання на відмову T_{cp} підвищилося в 1,79 рази порівняно з оригінальними шліфованими та термообробленими втулками, крім цього економічний ефект забезпечується при заміні матеріалу заготовки зі сталі 70 на сталь 20.

6. Висновки та перспектива подальших досліджень

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Аналіз літературних джерел показав, що при дослідженні впливу технологічної спадковості на параметри якості кінцевого виробу необхідно поряд із технологічними операціями виготовлення виробів враховувати заготівельні операції з огляду на тісний взаємозв'язок структурної спадковості з технологічною.

2. Розроблено узагальнену структурну схему формування показників надійності технологічного процесу.

3. Встановлено пріоритетність викінчувально-зміцнювальних операцій, що базуються на поверхневому пластичному деформуванні, над фінішними операціями обробки різанням для забезпечення бажаних експлуатаційних характеристик та показників надійності.

4. Вдосконалено математичну залежність для визначення ймовірності безвідмовного здійснення технологічного процесу $P(t)$ з огляду на сучасний стан розвитку науки та техніки.

Подальші дослідження у цьому напрямку — оптимізація структури технологічних процесів із врахуванням технологічної спадковості при раціональному поєднанні заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій; встановлення безпосередніх зв'язків між експлуатаційними характеристиками деталей і методами їх обробки, а також між показниками надійності та технологічними параметрами; розроблення практичних рекомендацій по використанню енергоощадних технологій, зокрема вібраційних, для покращання експлуатаційних характеристик деталей машин.

Література

1. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем [Текст]: учебник / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. — М.: Логос, 2001. — 208 с.

2. Шнейдер, Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом [Текст] / Ю. Г. Шнейдер. — Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1982. — 2-е изд., перераб. и доп. — 248 с.
3. Суслов, А. Г. Инженерия поверхности деталей [Текст] / Колл. авт.; под ред. А. Г. Сусл. — М.: Машиностроение, 2008. — 320 с.
4. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А. Г. Суслов. — М.: Машиностроение, 2000. — 320 с.
5. Проников, А. С. Надежность машин [Текст] / А. С. Проников. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
6. Афтаназів, І. С. Технологічне забезпечення надійності деталей машин [Текст]: конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090202 «Технологія машинобудування» / І. С. Афтаназів. — Львів: ДУЛП, 1998. — 132 с.
7. Одноволик, Л. А. Підхід до керування базовими геометричними параметрами фюзеляжу літака в контексті PLM-технологій [Текст] / Л. А. Одноволик, Г. А. Вірченко, А. Й. Незенко // Інформаційні системи, механіка та керування. — 2013. — Вип. 9. — С. 15–22.
8. Ступницький, В. В. Структурно-параметрична оптимізація технологічних процесів при забезпеченні експлуатаційних властивостей деталей [Текст] / В. В. Ступницький // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2014. — № 2/3(68). — С. 9–16. — Режим доступу: \www/URL: <http://journals.urpn.ua/eejet/article/view/23378>
9. Кусий, Я. М. Технологічне забезпечення фізико-механічних параметрів поверхневих шарів металевих довгомірних циліндричних деталей вібраційно-відцентровим зміцненням [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Я. М. Кусий. — Львів, 2002. — 260 с.
10. Хрулиндик, Д. С. FMEA — інструмент впливу на якість процесів обслуговування виробництва [Текст] / Д. С. Хрулиндик, Э. А. Петровский // Современные проблемы науки и образования. — 2011. — № 6. — С. 39.
11. ISO 9001:2008. Quality management systems — Requirements (Системы менеджмента качества. Требования). — Швейцария, Женева, ИСО, 2008. — 36 с.
12. Ващенко, Н. В. Методология оценки совместимости нормативных требований отечественной и зарубежной практики при построении систем менеджмента качества [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Н. В. Ващенко. — Москва, 2014. — 205 с.
13. Ящерицын, П. И. Технологическая наследственность в машиностроении [Текст] / П. И. Ящерицын, Э. В. Рыжов, В. И. Аверченко. — Минск: Наука и техника, 1977. — 256 с.
14. Маркарян, Г. К. Технологическая наследственность при образовании поверхности закаленных деталей машин [Текст] / Г. К. Маркарян // Физика резания металлов. — Ереван, 1971. — Вып. 1. — С. 32–34.
15. Садовский, В. Д. Структурная наследственность в стали [Текст] / В. Д. Садовский. — М.: Металлургия, 1973. — 208 с.
16. Божидарнік, В. В. Технологія виготовлення деталей виробів [Текст]: навч. посібник / В. В. Божидарнік, Н. С. Григор'єва, В. А. Шабайкович. — Луцьк: Надстир'я, 2006. — 612 с.
17. Дальский, А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин [Текст] / А. М. Дальский. — М.: Машиностроение, 1975. — 319 с.
18. Ящерицын, П. И. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей [Текст] / П. И. Ящерицын и др. — Новополюцк: ПГУ, 1996. — 136 с.
19. Васильев, А. С. Технологические основы управления качеством машин [Текст] / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С. А. Клименко и др. — М.: Машиностроение, 2003. — 256 с.
20. Дунин-Барковский, И. В. Вопросы технологической надежности [Текст] / под ред. И. В. Дунина-Барковского. — М.: Издательство стандартов, 1974. — 156 с.
21. Aftanaziv, I. Using vibrations for strengthening of long-sized cylindrical details [Text] / I. Aftanaziv, J. Kusyj, I.-P. Kuritnyk // Acta Mechanica Slovaca, Košice. — 2000. — Vol. 3. — P. 43–46.
22. Kusyj, J. Calculations of vibratory-centrifugal strengthening treatment's dynamics by means of application software [Text] / J. Kusyj, V. Topilnitskiyy // Book of abstracts XVII Polish-Ukrainian Conference on «CAD in Machinery Design — Implementation and Educational Problems». — 2009. — P. 25–26.
23. Stotsko, Z. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts [Text] / Z. Stotsko, J. Kusyj, V. Topilnytskyj // Journal of Manufacturing and Industrial Engineering. — 2012. — Vol. 11, Issue 1. — P. 15–17.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Проанализирована проблема обеспечения надежности во взаимосвязях с жизненными циклами машины и инженерии поверхности деталей. Установлена роль технологической наследственности в формировании эксплуатационных характеристик и показателей надежности. Усовершенствованы структурная схема формирования показателей надежности технологического процесса и математическая зависимость для определения вероятности его безотказного осуществления $P(t)$. Представлено обоснование и анализ полученных результатов, показаны пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: изделие, надежность, технология, технологический процесс, инженерия поверхности, отделочно-упрочняющая операция.

Кузін Олег Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: n_kuzin@mail.ru.

*Кусий Ярослав Маркіянович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: jarkym@ukr.net.
Топільницький Володимир Григорович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра проектування та експлуатації машин, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: vgtvol@mail.ru.*

Кузін Олег Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладного материаловедения и обработки материалов, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Кусый Ярослав Маркиянович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии машиностроения, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Топильницкий Владимир Григорович, кандидат технических наук, доцент, кафедра проектирования и эксплуатации машин, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Kuzin Oleg, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: n_kuzin@mail.ru.

Kusyj Jaroslav, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: jarkym@ukr.net.

Topilnytskyj Vladimir, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: vgtvol@mail.ru.