МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ТРІЩУК РУСЛАН ЛЮБОМИРОВИЧ

УДК 655.1/.3(043)

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОБКЛАДИНОК

Спеціальність 05.05.01 – Машини і процеси поліграфічного виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі технології поліграфічного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України
Киричок Петро Олексійович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
директор Видавничо-поліграфічного інституту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гавенко Світлана Федорівна,
Українська академія друкарства МОН України,
завідувач кафедри поліграфічних медійних технологій і паковань;

доктор габілітований з інженерно-технічних наук
Хаджинова Світлана Євстафіївна,
Лодзький технологічний університет,
заступник директора Центру папірництва і поліграфії.

Захист відбудеться «23» квітня 2021 року о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.10 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, вул. Володимирська, 7, корпус № 25.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці ім. Г. І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розіслано «18» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.10 Т. Є. Клименко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. До важливих технологічних відкриттів сучасності у виготовленні книжкових конструкцій слід віднести інтегральну обкладинку (ІО). Зростання її частки на ринку та витіснення інших конструкцій книжкових оправ зумовлені рядом характеристик, до яких належать технологічність, міцність з'єднання, легкість виготовлення та низька собівартість. Також при виготовленні книжкової продукції, зокрема інтегральних обкладинок, які є її складовою частиною, за умов постійної конкуренції підвищуються вимоги до якості та термінів виготовлення кінцевого продукту. Дотримання цих вимог можливе при точній безперебійній тривалій роботі вузлів поліграфічного обладнання та, зокрема, їх рухомих деталей, які утворюють пари тертя та піддаються значним навантаженням у процесі експлуатації. Оскільки якість інтегральної обкладинки значною мірою залежить від її контурної стабільності, виникає необхідність забезпечити високу зносостійкість і точність роботи деталей координувально-транспортувального механізму. Найменші відхилення в його роботі, які можуть бути спричинені зношуванням рухомих циліндричних деталей, призводять до проковзування та зміщення заготовок під час подавання до фальцювально-склеювального блоку. Як наслідок, зміщення фальців і нанесення клейового шару в непередбачених місцях негативно впливають на кінцеву якість обкладинки та продукції загалом.

До того ж, упродовж усього експлуатаційного терміну поліграфічного обладнання деталі вищезазначених вузлів постійно зазнають дії змінних циклічних навантажень і впливу агресивного середовища (паперовий пил, розчинники, клей, лак). Ці фактори спричиняють посилене зношування поверхонь тертя цих деталей.

Тому, зважаючи на специфіку роботи рухомих деталей поліграфічного обладнання в умовах тертя кочення, виникає необхідність підвищити їх строк служби та покращити такі критерії працездатності, як міцність, зносостійкість, корозійна стійкість. Крім цього, щоб забезпечити точність координування транспортувального механізму очевидною є необхідність удосконалити циліндричні поверхні його деталей шляхом модифікації їх геометричних параметрів для отримання оптимальної опорної площі контактування та формування складного мікрорельєфу, який унеможливить зсуви та проковзування заготовок.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Робота безпосередньо пов’язана з науковими дослідженнями кафедри технології поліграфічного виробництва ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського та виконувалась одночасно з науково-дослідною роботою № 2212-п на тему «Теоретичні та практичні засади забезпечення якості металографічного друку» (наказ МОН України від 09.11.2018 р. №1223, Наказ КПІ ім. Ігоря Сікорського від 28.12.2018 р. № 2/346).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка комплексної технології утворення повністю- та частково регулярного мікрорельєфу з подальшим зміцненням приповерхневих шарів хіміко-термічним методом, та її вплив на параметри якості й експлуатаційні властивості поліграфічного обладнання, якість поліграфічної продукції, а також зв'язок між ними на основі узагальненої логічної схеми.

Відповідно до цієї мети сформульовано такі дослідницькі завдання:

1. Розробити комплексний технологічний процес для формування на циліндричних поверхнях деталей механізму координувально-транспортувального блоку повністю регулярного мікрорельєфу (ПРМР) та частково-регулярного мікрорельєфу (ЧРМР) з подальшим зміцненням приповерхневих шарів фізико-хімічними методами.

2. Розробити алгоритм керування комплексним технологічним процесом оздоблювально-зміцнювальної обробки поверхонь деталей поліграфічного обладнання для виготовлення інтегральних обкладинок з широкими клапанами.

3. Встановити аналітичні залежності між технологічними факторами та геометричними параметрами мікрорельєфу поверхні циліндричних деталей поліграфічного обладнання.

4. На основі теоретичних та експериментальних досліджень змоделювати процес впливу режимів обробки й товщини модифікованого шару поверхні деталей на їх зносостійкість.

5. Встановити залежності фізико-механічних характеристик приповерхневого шару деталей від режимів їх обробки шляхом чисельного моделювання двохетапного процесу обробки поверхневим пластичним деформуванням.

6. Розробити узагальнену логічну схему моделювання технологічного забезпечення і взаємозв'язку якості та експлуатаційних властивостей деталей механізму координувально-транспортувального блоку, а також показників якості обкладинок.

7. Результати дослідження запропонувати до впровадження в навчальний процес, а також у виробництво поліграфічної галузі.

Об'єкт дослідження – комплексний технологічний процес забезпечення якості та експлуатаційних властивостей деталей поліграфічного обладнання при виготовленні інтегральних обкладинок.

Предмет дослідження – режими комплексної технології підвищення зносостійкості деталей поліграфічного обладнання, параметри повністю регулярного мікрорельєфу та частково-регулярного мікрорельєфу, фізико-механічні характеристики приповерхневого шару, зносостійкість циліндричних деталей, а також їх вплив на показники контурної стабільності обкладинки.

Методи досліджень. Для розробки та обґрунтування комплексної технології підвищення зносостійкості циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широкими клапанами використовували системний підхід, який базується на проведенні ряду теоретичних і практичних досліджень.

Структуру поверхні деталей у початковому стані та після кожного етапу їх комплексної обробки досліджували за допомогою металографічного аналізу. Параметри шорсткості циліндричної поверхні деталей визначали механічним контактним методом, а твердість – методом Віккерса. Під час теоретичних досліджень зносостійкості застосовували метод багатофакторного планування експерименту з використанням регресійного аналізу для його моделювання. Експериментальне дослідження зносостійкості проводили ваговим методом на реальному виробничому обладнанні – на виробничій лінії для виготовлення обкладинок.

Для моделювання процесу обробки поверхневим пластичним деформуванням використано систему інженерного розрахунку CAD / CAE ANSYS, що реалізує метод кінцевих елементів.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Уперше запропоновано узагальнену логічну схему в параметричному вигляді моделювання процесів технологічного забезпечення контурної стабільності обкладинок та якості й експлуатаційних властивостей деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широкими клапанами.
- Уперше розроблено технологічне забезпечення, здатне покращити координатне позиціювання при переміщенні обкладинок через координувально-транспортувальний блок з одночасним зміцненням поверхонь його циліндричних деталей.
- Для розробленої комплексної технології формування ПРМР і ЧРМР уперше встановлено аналітичний взаємозв'язок між параметрами мікрорельєфів і технологічними режимами їх формування. Це дає змогу отримати прогнозовані параметри мікрорельєфу поверхні і, як наслідок, підвищити зносостійкість деталей поліграфічного обладнання та забезпечити точність позиціювання обкладинок у координувально-транспортувальному блоці.
- Виявлено закономірності формування геометричних характеристик поверхні і фізико-механічних параметрів приповерхневого шару при комплексному технологічному процесі обробки деталей координувально-транспортувального блоку, а також їх вплив на якість обкладинок.

Практичне значення одержаних результатів.

- Розроблено комплексний технологічний процес оздоблювально-зміцнювальної обробки циліндричних деталей поліграфічного обладнання та алгоритм для його реалізації.
- Розроблено узагальнену логічну схему, яка взаємопов'язує параметри контурної стабільності обкладинок, витратні поліграфічні матеріали, режими комплексного технологічного процесу, характеристики якості поверхонь деталей координувально-транспортувального блоку, а також їх експлуатаційні властивості, що дає можливість впливати на зазначені параметри й характеристики.
- Виявлено закономірності формування геометричних (параметри РМР) і фізико-механічних характеристик (твердість, залишкові напруження, мікроструктура) в результаті комплексного технологічного процесу обробки.
- Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень упроваджуються у виробництво в Державному видавництві «Преса України», ДП «Київська офсетна фабрика», видавництві «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- Матеріали дисертації впроваджено в навчальний процес кафедри технології поліграфічного виробництва ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Їх використовують для підготовки лекційного матеріалу, практичних і лабораторних робіт з дисциплін «Методи і засоби автоматизованого проектування» і «Технологічні процеси механічної обробки деталей поліграфічних машин».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та практичні результати роботи, які виносяться на захист, отримані дисертантом особисто. У зареєстрованому

в співавторстві патенті на корисну модель частка кожного автора є рівноцінною. У працях, які опубліковані в співавторстві, здобувачеві належать основні ідеї проведених досліджень, їх реалізація та наукове обґрунтування.

Робота автора полягає в пошуку та аналітичному опрацюванню літературних джерел за темою дисертаційного дослідження, розробці методики теоретичних й експериментальних досліджень, їх безпосередній підготовці та проведенні, аналізі отриманих результатів, авторстві або участі в написанні наукових статей і тез доповідей. Дослідження проводили на кафедрі технології поліграфічного виробництва ВПІ. Режими іонного азотування в плазмі геліконного розряду досліджували на спеціалізованій технологічній установці в Інституті металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження оприлюднені автором у доповідях і повідомленнях на міжнародних і всеукраїнських наукових, науково-практичних конференціях: XVI, XVII, XIX міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2016 р., 2017 р., 2019 р.); III, міжнародна науково-технічна конференція «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (м. Львів, 2018 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 14 наукових працях, у тому числі 9 статей у фахових виданнях, з яких 3 статті у виданнях з переліку Міжнародної наукометричної бази даних Scopus, з них 2 статті у виданнях, які належать до фахових видань України категорії «А».

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку літератури і додатків. Матеріал викладений на 168 сторінках друкованого тексту, містить 62 рисунки, 14 таблиць, 152 найменуваня в списку використаних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, завдання та наукову новизну дисертаційної роботи, подано її практичне значення та результати апробації.

У **першому розділі** проведено аналіз поліграфічної продукції, що була вироблена на лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном та визначено ключові фактори, які впливають на кінцеві якісні характеристики готових виробів. Аналіз показав, що крім властивостей вихідного матеріалу, клеїв тощо значну роль у створенні якісної продукції відіграє координувально-транспортувальний блок лінії, зокрема його рухомі частини – сталеві вали та притискні ролики, які забезпечують точність координатного позиціювання вихідних заготовок до фальцювально-склеювального блоку та, відповідно точність згинів та обробки клеєм потрібних зон.

Огляд літературних джерел допоміг проаналізувати сучасні технології фінішної обробки поверхонь деталей, визначити переваги та недоліки кожної з них та можливості їх оптимального застосування, враховуючи специфіку роботи обладнання, зокрема координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном. Для цього блоку дотепер не розроблено технологічного забезпечення для покращення координатного позиціювання обкладинок у напрямку фальцювання з одночасним зміцненням приповерхневого шару циліндричних деталей блоку, а також підвищення їх зносостійкості.

На основі аналізу методів зміцнення з урахуванням специфіки роботи деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном та умов їх експлуатування здійснено вибір етапів комплексної технології оздоблювально-зміцнювальної обробки.

Проведено літературний огляд та патентний пошук за останні 20 років, який показав значну динаміку зростання кількості досліджень технологій та обладнання для зміцнення металевих поверхонь пластичним деформуванням і модифікації приповерхневих шарів металу шляхом хіміко-термічної обробки іонним азотуванням, що обумовило подальший вибір способів обробки поверхні та етапність їх застосування.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір матеріалів і наведено умови для проведення теоретичних та експериментальних досліджень по впровадженню комплексної технології оздоблювально-зміцнювальної обробки поверхонь деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном і забезпечення контурної стабільності виготовленої продукції.

Розроблено методику досліджень по кожному етапу комплексної ОЗО: наведено перелік технологічного обладнання, подано його опис, технічні параметри, порядок та умови роботи, встановлено оптимальні режими роботи для кожного технологічного процесу.

Запропоновано вимірювальне обладнання та методику проведення досліджень по визначенню таких основних характеристик якості оброблених зразків, як геометричні й фізико-механічні параметри поверхні, експлуатаційні властивості, та їх вплив на кінцеву поліграфічну продукцію.

Одним із найбільш важливих показників інтегральної обкладинки є контурна стабільність, яка характеризується відхиленням зовнішніх контурів від прямокутної побудови. Цей параметр формується під час проходження заготовки обкладинки через механізм координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок. Зазначений показник залежить як від витратних матеріалів (папір, картон-хромерзац, клей, термоклей), так і від тиражу, а також від геометричних і фізико-механічних параметрів контактуючих з обкладинкою деталей координувально-транспортувального блоку.

У **третьому** розділі, для встановлення взаємозв’язку з метою керування не тільки контурною стабільністю, а й експлуатаційними властивостями деталей, розроблено узагальнену логічну схему моделювання процесів технологічного забезпечення контурної стабільності обкладинок та експлуатаційних властивостей циліндричних деталей (рис. 1). На схемі наведено вплив комплексної технології ОЗО на геометричні і фізико-механічні параметри деталей координувально-транспортувального блоку та якість кінцевої продукції, що характеризується значним зниженням відсотка відбракування після застосування цієї технології.

Запропоновано комплексний технологічний процес ОЗО, в основу якого поставлено завдання підвищити параметри якості та експлуатаційні властивості поверхневого шару циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок (рис. 2, а). З урахуванням специфіки поліграфічного обладнання комплексний процес ОЗО складається з двох послідовних операцій формування мікрорельєфу способом віброобкатування та алмазного вигладжування. Для додаткового зміцнення та підвищення зносостійкості поверхонь деталей

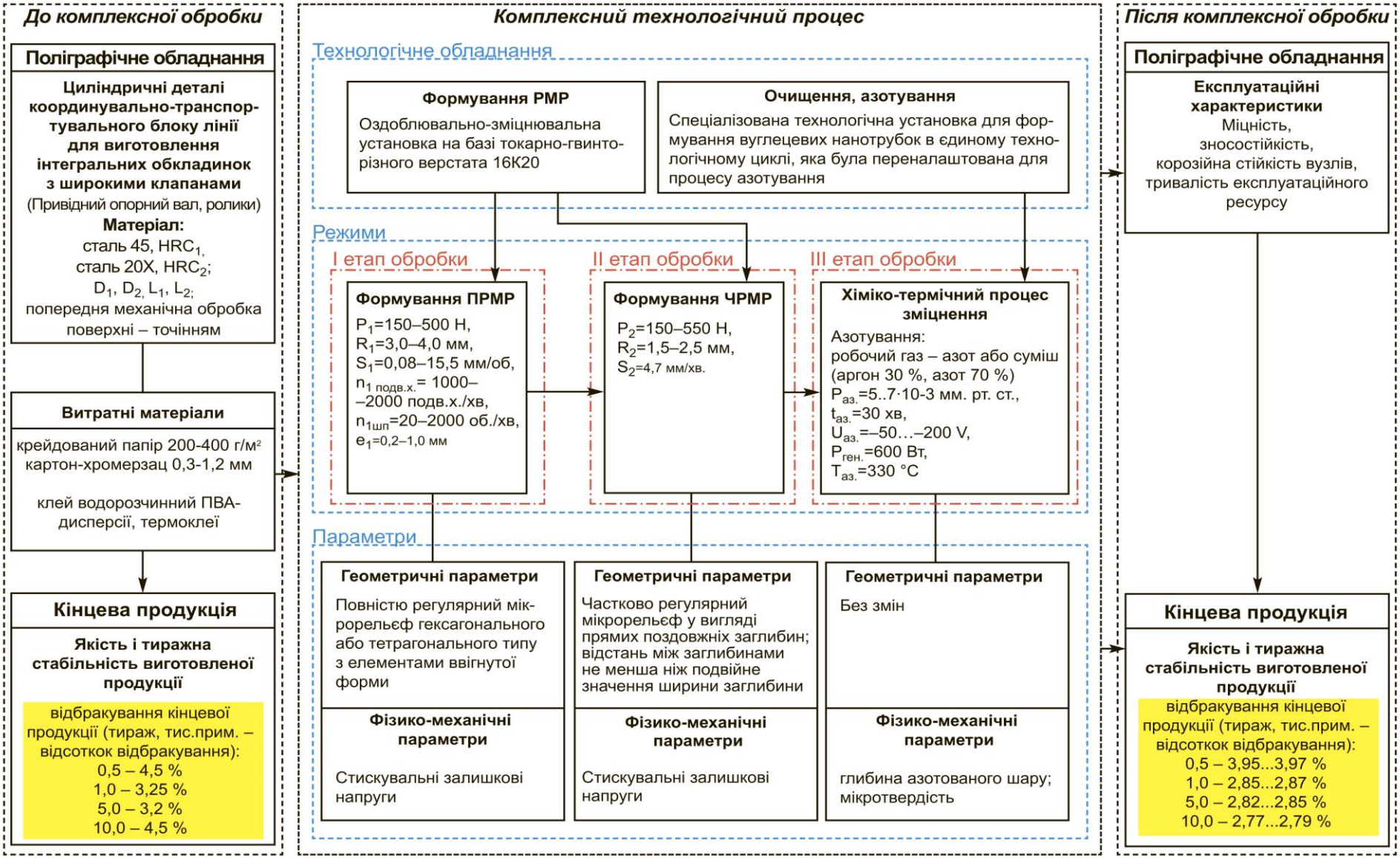


Рис. 1. Узагальнена логічна схема моделювання процесів технологічного забезпечення контурної стабільності обкладинок та експлуатаційних властивостей циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широкими клапанами.

запропоновано третій завершальний етап обробки – модифікацію поверхні шляхом іонного азотування в плазмі геліконного розряду. Перший етап обробки передбачає утворення на поверхні валів ПРМР гексагонального типу, що належить: до класу – з елементами ввігнутої форми; до групи – новий мікрорельєф; до виду – сітчастий, до типу – шестикутний (рис. 2, б). Другий етап передбачає утворення на циліндричній поверхні валу з ПРМР частково-регулярного мікрорельєфу у вигляді прямих заглибин (рис. 2, в). Застосування цього етапу обробки зумовлене необхідністю забезпечення точності подання вихідного матеріалу, що проходить між валами поліграфічного обладнання. Запропонований третій етап обробки (азотування) приводить до структурних змін у приповерхневих шарах, при цьому мікрогеометрія поверхні залишається незмінною.

Обробка циліндричної поверхні валу та притискних роликів, на відміну від відомих традиційних процесів віброобкатування, здійснюється у два етапи.

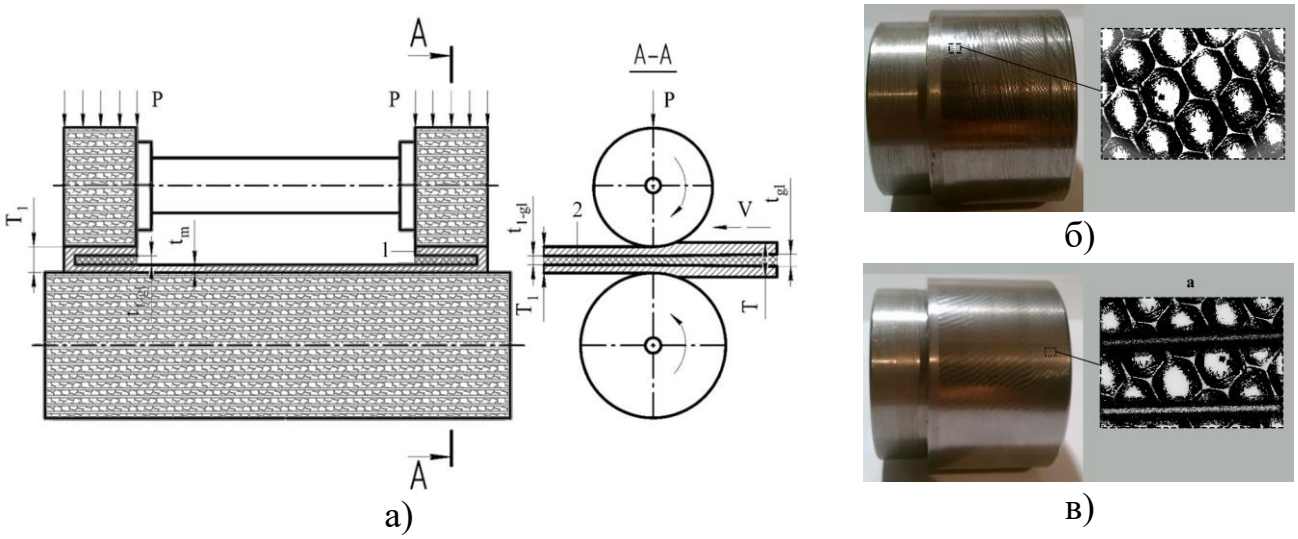


Рис. 1. а) Поверхня, що обробляється; кінематична схема пресування інтегральної обкладинки: 1 – палітурний матеріал обкладинки; 2 – клей; Т – товщина обкладинки до пресування; T_1 – зазор між роликами й опорним валом; t_{gl}, $t_{1\text{-}gl}$ – товщина клею до та після пресування; Р – розподілені зусилля в момент пресування; V – швидкість і напрямок руху обкладинки; б) Спосіб утворення ПРМР; в) Спосіб утворення ЧРМР на поверхні з ПРМР.

Перший етап обробки передбачає утворення на поверхні валу ПРМР гексагонального типу з такими параметрами технологічного процесу:

– радіус сфери індентора (деформувального інструмента) R=3,0–4,0 мм;
– зусилля деформування P=150–500 Н;
– ексцентриситет інструмента e=0,2–1,0 мм;
– частота обертання шпинделя $n_{шп}$ =20–2000 об./хв;
– частота осциляцій деформувального інструмента $n_{подв.х}$ =1000–2000 подв.х./хв;
– подача інструмента S=0,08–15,5 мм/об.

Складний рух індентора відносно поверхні, що обробляється, та контактування з кожним виступом мікронерівностей вихідної поверхні спричиняє утворення ПРМР

гексагонального типу ввігнутої форми. При цьому метал піддається пластичному деформуванню в різних напрямках.

Такий підхід дає змогу зменшити опір деформуванню та збільшити інтенсивність ППД, а це дозволяє створювати оптимальний мікрорельєф під час обробки деталей і без значної загальної деформації досягати істотного зміцнення поверхні заготовки.

Другий етап обробки полягає в тому, що на поверхні валу з ПРМР утворюють ЧРМР, який займає площу не менше 30 % від загальної площі поверхні валу та має вигляд прямих заглибин, які розташовані паралельно до осі валу на відстані одна від одної не менше 2*b*, глибиною *h*=0,006–0,009 мм, шириною *b*=0,35–0,5 мм і мають висоту напливів 0,0017–0,0040 мм. Зусилля вдавлювання індентора *P* =150–550 Н, радіус сфери індентора *R*=1,5–2,5 мм.

Установлено аналітичну залежність відносної опорної площі поверхні від режимів обробки та параметрів мікрорельєфу. Це дозволяє прогнозовано впливати на якість утворених поверхонь завдяки керуванню параметрами мікрорельєфу залежно від режимів обробки.

Відносна опорна площа нерівностей, отриманих після двох етапів обробки містить два складники: площу ПРМР гексагонального типу ρ_1, яка займає 2/3 від загальної площі, та площу мікрорельєфу, нанесеного у вигляді поздовжніх заглиблень ρ_2, – 1/3 площі.

$$\rho_1 = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \times \frac{R}{R + \sqrt{R^2 - h^2}} + \left(1 - \frac{\pi}{2\sqrt{3}}\right) \frac{R}{\sqrt{R^2 - h^2}},$$

$$\rho_2 = \frac{2R_2}{b} \arcsin\left(\frac{b}{2R_2}\right).$$

Отже, загальна відносна опорна площа розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{2}{3}\rho_1 + \frac{1}{3}\rho_2 \approx \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \times \frac{R}{R + \sqrt{R^2 - h^2}} + \left(\frac{2}{3} - \frac{\pi}{3\sqrt{3}}\right) \frac{R}{\sqrt{R^2 - h^2}} + \frac{2R_2}{3b} \arcsin\left(\frac{b}{2R_2}\right),$$

де: *h* – ширина заглибини, утвореної на першому етапі обробки; *R* – радіус деформувального елемента на першому етапі обробки; *b* – ширина заглибини, утвореної на другому етапі обробки; R_2 – радіус деформувального елемента на другому етапі обробки.

Після другого етапу обробки утворені у вигляді прямих заглибин ділянки згладжують мікрорельєф гексагонального типу завдяки повторному прикладанню зусилля деформування. На поверхні утворюється ЧРМР, геометричні параметри якого (ширина та глибина мікронерівностей, їх форма й розташування, висота напливів) визначаються не тільки величиною зусилля, а й радіусом сфери індентора, швидкістю подачі інструмента, кількістю обертів заготовки та величиною ексцентриситету інструмента. Залежність геометричних характеристик мікрорельєфу від цих параметрів технологічного процесу встановлено аналітично й експериментально.

Третій етап комплексної зміцнювальної обробки передбачає додаткове підвищення мікротвердості приповерхневих шарів деталей шляхом модифікації їх поверхонь іонним азотуванням у геліконному розряді. Цей інноваційний метод

досліджено нами вперше та має значні переваги над відомими нині методами азотування (енергоефективність, швидкість технологічного процесу тощо).

Щоб цілеспрямовано управляти як комплексним технологічним процесом зміцнення циліндричних поверхонь обладнання для виготовлення обкладинок, так і кожним окремим його етапом, розроблено узагальнений алгоритм керування процесом поліпшення експлуатаційних властивостей деталей координувально-транспортувального вузла лінії з виготовлення інтегральних обкладинок шляхом реалізації трьохетапної комплексної технології їх поверхневого зміцнення.

У **четвертому** розділі на основі теоретико-експериментальних досліджень отримано математичні моделі, які описуються рівняннями регресії, за рахунок керованих факторів. Зв'язок вхідних і вихідних параметрів має вигляд функції відгуку типу: $Y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$.

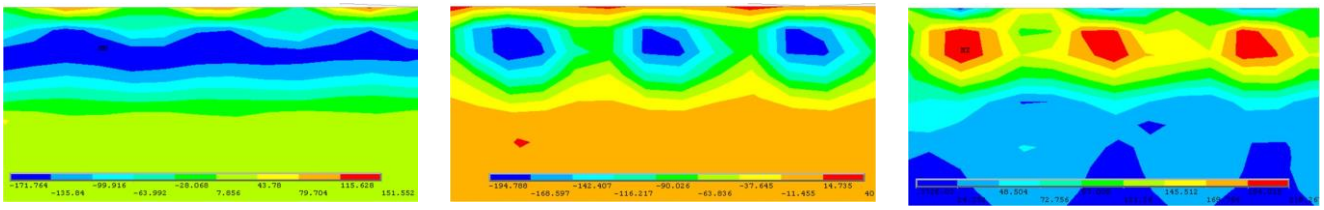
де $x_1, x_2, \dots x_k$ – керовані фактори, які впливають на відгук системи. Вихідні параметри можна використовувати як критерії оптимізації. У нашому дослідженні ключовим вихідним параметром є інтенсивність зношування I, кг/м^2, який і припускаємо функцією відгуку. Вихідними ж параметрами встановлюємо (відповідно для першого та другого етапів обробки) – зусилля вдавлювання деформувального інструмента P_1, P_2; радіус деформувального інструмента R_1, R_2; подачу деформувального інструмента S_1, S_2; глибину азотованого шару a, тобто I=φ (P_1, P_2, R_1, R_2, S_1, S_2, a).

Побудову регресійних моделей здійснено з використанням програмного засобу ПРІАМ (планування, регресія і аналіз моделей).

Оскільки факторний простір для показника зносостійкості поверхні виявився неоднорідним, то за допомогою нечіткого кластерного аналізу його було розділено на однорідні підобласті, у кожній з яких побудовано свою модель. Усі моделі є адекватними, інформативними та стійкими. Їх використання дозволяє розробити оптимальний технологічний процес відповідно до обраних якісних показників.

Моделювання двохетапного процесу обробки поверхневим пластичним деформуванням виконано з використанням системи інженерного розрахунку CAD / CAE ANSYS, що реалізує метод кінцевих елементів. Вирішувалася контактна задача деформування абсолютно жорстким індентором пружно-пластичного фізично нелінійного тіла. Для розробки моделі передбачались такі етапи: вибір розрахункової схеми процесу; визначення допусків з урахуванням особливостей програмного продукту, що використовується для моделювання та розрахунку; геометрична побудова моделі процесу; задання фізико-механічних властивостей матеріалу елементів моделі; вибір кінцевого елемента і розбивка моделі; задання граничних умов; вибір контактних елементів і задання контакту між інструментом і деталлю; вибір вирішувача та вирішення тестового завдання; аналіз результатів вирішення.

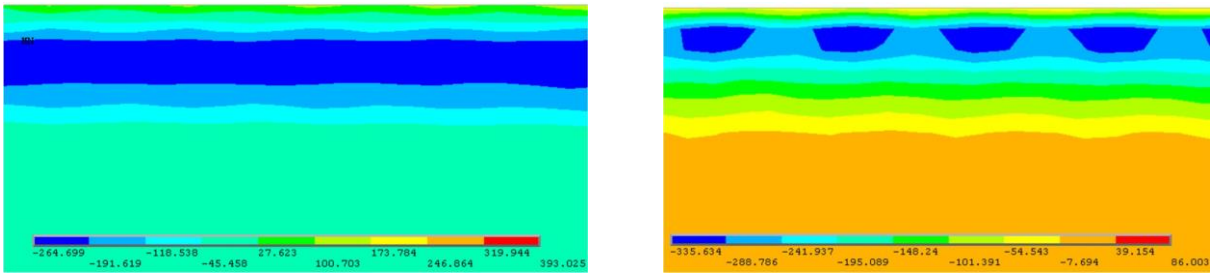
У результаті моделювання процесу двохетапної обробки пластичним деформуванням методом кінцевих елементів встановлено, що після першого етапу комплексного технологічного процесу (рис. 3) в приповерхневому шарі формуються стискувальні залишкові напруги σ_x і σ_z. Їх максимальна величина знаходиться на глибині 50–100 мкм та складає σ_x=100–120 МПа, σ_z=170–190 МПа.



а) б) в)

Рис. 3. Розподіл залишкових напружень після першого етапу обробки вібровигладжуванням: а) і б) – нормальні напруження σ_x і σ_z, в) – інтенсивність напружень.

Після другого етапу розробленого технологічного процесу (рис.4) в місцях повторного проходження деформувального інструмента збільшується глибина й величина залягання нормального залишкового напруження σ_z за рахунок додаткового зусилля вигладжування.



а) б)

Рис. 4. Розподіл залишкових напружень після другого етапу обробки вигладжуванням в осьовому напрямку: а) і б) – нормальні напруження σ_x і σ_z.

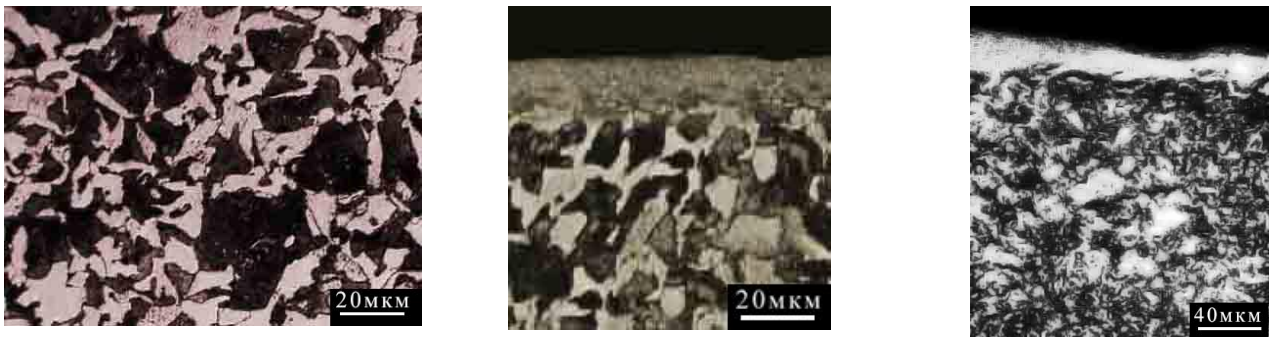
Значне збільшення нормального напруження σ_x може бути обґрунтоване збігом напрямків дії цих напружень на першому та другому етапах комплексного технологічного процесу.

У п’ятому розділі подано результати експериментальних досліджень мікроструктури поверхні деталей, її твердості, шорсткості, зносостійкості; впливу режимів обробки поверхнево-пластичним деформуванням на геометричні параметри мікрорельєфу поверхні; режимів іонного азотування в плазмі геліконного розряду.

Дослідження точності контурної прямокутної геометрії (контурної стабільності) готових обкладинок здійснювалось візуальним контролем та методом вибіркового вимірювання за допомогою висіченого з пластику шаблона.

Дослідження мікроструктури поверхні проведено на зразках зі сталі 45 в початковому стані, після обробки поверхневим пластичним деформуванням і після комплексного трьохетапного технологічного процесу оздоблювально-зміцнювальної обробки.

Установлено, що після точіння зразки мають феритно-перлітну структуру із середнім розміром феритних зерен 40...60 мкм (рис. 5, а). Перлітна складова частина характеризується пластинчатою будовою з відстанню між пластинами близько 0,1...0,3 мкм.



а б в

Рис. 5. Мікроструктура зразків зі сталі 45: **а** – у початковому стані; **б** – після обробки поверхнево-пластичним деформуванням; **в** – після комплексного технологічного процесу зміцнювальної обробки.

У результаті двохетапної обробки поверхні пластичним деформуванням, а саме вібраційним обкатуванням і подальшим поздовжнім вигладжуванням, мікроструктура поверхневого шару має вигляд деформованих зерен фериту та перліту. Після такої обробки отримано подрібнену структуру, у поверхневому шарі якої окремі зерна набувають невиразного характеру (рис. 5, б).

Деформації розповсюджуються в глибину матеріалу, що зумовлює зміни його механічних властивостей у бік зростання за рахунок внутрішньозернового дислокаційного зміцнення. Це сприяє підвищенню твердості й міцнісних характеристик поверхневого шару металу.

У структурі металу завдяки трьохетапній комплексній обробці (рис. 5, в) формуються дрібніші зерна приповерхневого шару деталі після поверхнево-пластичного деформування та утворюється нітридний прошарок унаслідок іонного азотування в плазмі геліконного розряду, що зумовлює додаткове зміцнення та істотне підвищення твердості поверхні.

Значну глибину азотованого шару від поверхні вглиб металу отримано на основі експериментальних досліджень режимів іонно-плазмового азотування та вибору з-поміж них оптимальних.

Дослідження впливу режимів обробки поверхнево-пластичним деформуванням на геометричні параметри мікрорельєфу поверхні проводено експериментально, оскільки прогнозувати вплив запропонованої комплексної технології зміцнення на якість поверхні та на її експлуатаційні властивості виключно за допомогою теоретичних досліджень неможливо. Тому в цьому напрямі було проведено ряд однофакторних експериментів.

Виявлено, що з-поміж параметрів технологічної обробки шляхом поверхнево-пластичного деформування таких, як зусилля вдавлювання інструмента (P), радіус деформувального інструмента (R), величина подачі деформувального інструмента (S), кількість подвійних ходів інструмента ($n_{\text{подв.х.}}$), кількість обертів шпинделя ($n_{\text{шп.}}$) тощо, найбільший вплив на геометричні параметри поверхні мають перші два.

На першому етапі проведено зміцнювальну обробку вібронакатуванням циліндричних деталей (D=65 мм) зі сталей 45 (HRC 44…46) і 20Х (HRC 60…62). За параметрів обробки R=3,5 мм, P=325 Н, $n_{\text{подв.х}}$ =1300 подв.х./хв, S=0,5 мм/об.,

$n_{шп}$=125 об/хв (для сталі 45) та R=2,0 мм, P= 450 Н, $n_{подв.х}$ = 1300 подв.х./хв, S=0,5 мм/об., $n_{шп}$=125 об/хв (для сталі 20Х) отримано ПРМР гексаконального типу.

На другому етапі проведено обробку деталей алмазним вигладжуванням шляхом нанесення на отриманий попередньо мікрорельєф ЧРМР у вигляді поздовжніх заглиблень ввігнутої форми. Ці заглиблення розташовані паралельно до осі обертання циліндричної деталі на відстані одне від одного, яка не менша, ніж подвійне значення ширини заглиблення.

Залежність глибини нерівностей мікрорельєфу (h), їх ширини (b) і висоти напливів ($h_н$) при значеннях радіуса деформувального елемента в діапазоні 1,5…2,5 мм і зусиллі вдавлювання P=150–550 Н для досліджуваних сталей має чіткий лінійний характер (рис. 6–8).

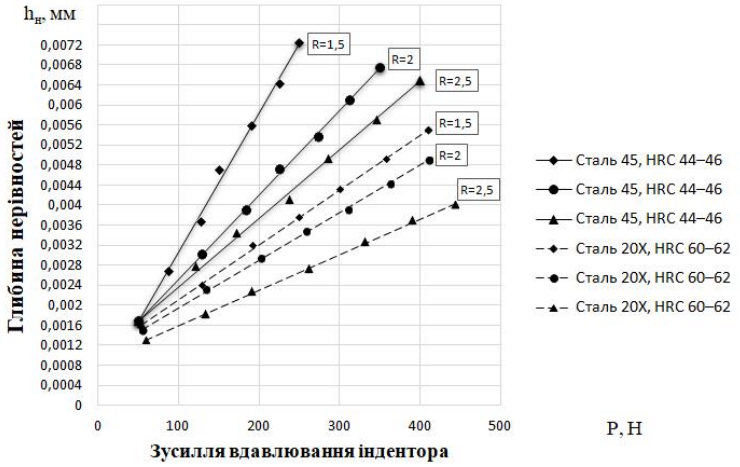


Рис. 6. Залежність глибини нерівностей мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора.

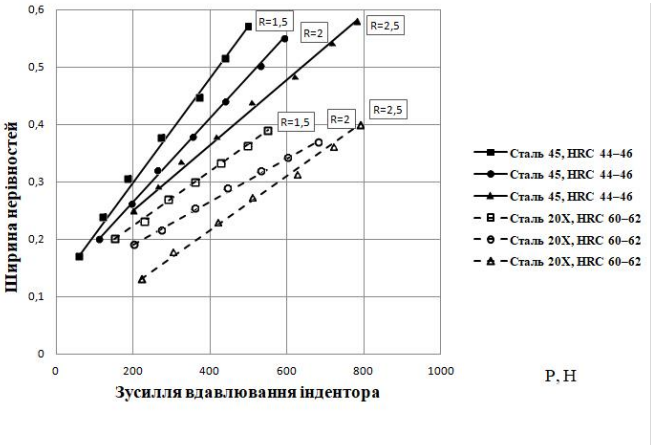


Рис. 7. Залежність ширини нерівностей мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора.

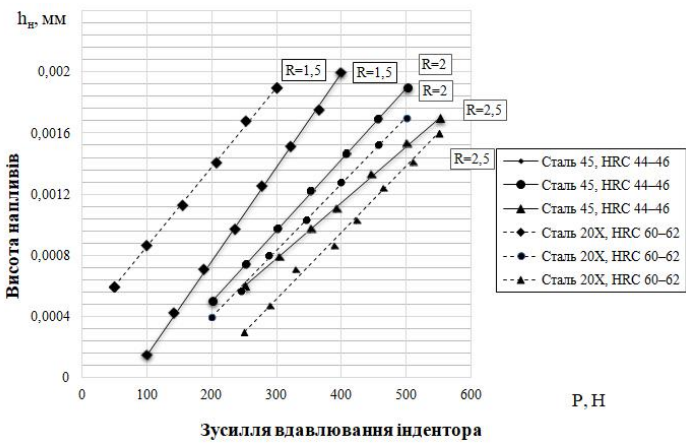


Рис. 8. Залежність висоти напливів мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора.

Початкова твердість поверхневого шару має неабиякий вплив на залежність геометричних параметрів нерівностей від технологічних факторів. За одних і тих же значень зусиль і радіусів деформувального елемента розміри нерівностей на зразках зі сталі 45 більші ніж зі сталі 20Х. Це пояснюється різницею твердості поверхонь матеріалів.

Методом досліджень встановлено оптимальні параметри режимів обробки зразків на перших двох етапах. Вібраційне обкатування на першому етапі обробки та алмазне вигладжування на другому етапі проводили в режимах, наведених у основній роботі.

Дослідження шорсткості поверхні проводили на зразках зі сталей 45 та 20Х після точіння, вібраційної обробки та на зразку зі сталі 45 після комплексного технологічного процесу за такими параметрами як R_a (середнє арифметичне відхилення профілю) та R_z (висота нерівностей профілю по 10 точках у межах базової довжини). Профілограми шорсткості поверхонь подано на рис. 9–12.

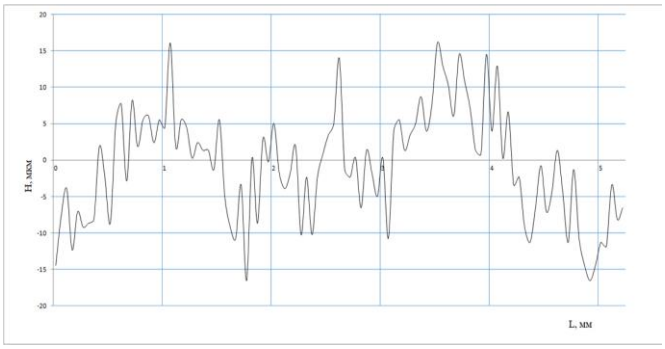


Рис. 9. Профілограма поверхні валу зі сталі 45 з утвореним ПРМР.

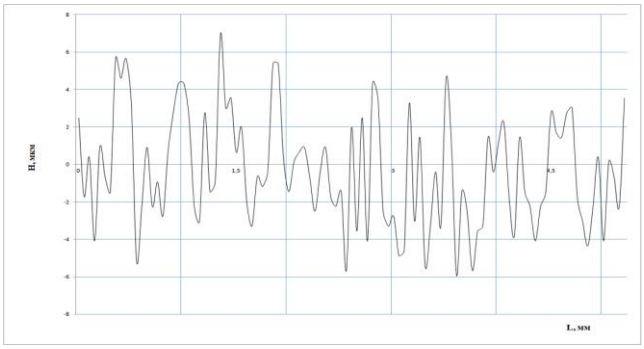


Рис. 10. Профілограма поверхні валу зі сталі 20Х з утвореним ПРМР.

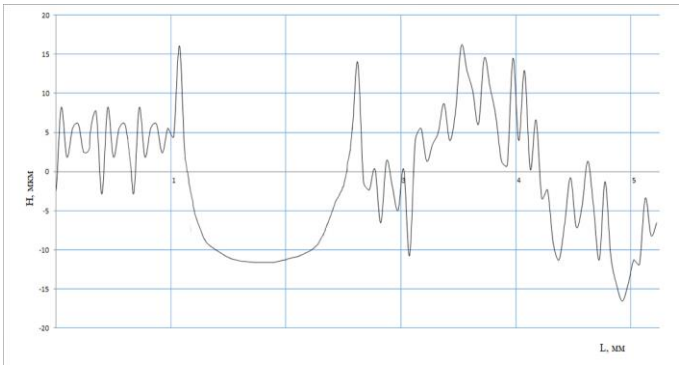


Рис. 11. Профілограма поверхні валу зі сталі 45 після комплексної ОЗО.

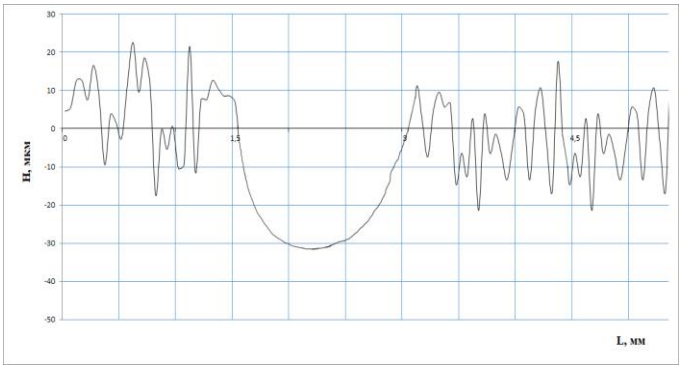


Рис. 12. Профілограма поверхні валу зі сталі 20Х після комплексної ОЗО.

Параметри шорсткості поверхні до обробки, на проміжній стадії обробки та після завершення комплексного технологічного процесу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Середнє арифметичне відхилення профілю та висота нерівностей профілю по 10 точках для сталі 45 та сталі 20Х за різних умов обробки

Метод поверхневої обробки	**Середнє арифметичне відхилення профілю, R_a, мкм**	**Висота нерівностей профілю по 10 точках, R_z, мкм**
Сталь 45		
Зразок до обробки ППД	5,8	18,2
Зразок після обробки ППД	2,8	8,5
Зразок після комплексної обробки	2,5	7,3
Сталь 20Х		
Зразок до обробки ППД	4,4	17,6
Зразок після обробки ППД	3,6	10,5

Під час досліджень зміцнювальної обробки поверхневим пластичним деформуванням величину зусилля вдавлювання інструмента змінювали в діапазоні від 150 *Н* до 550 *Н*, а ряд значень радіуса деформувального інструмента становив: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм.

Дослідження показали, що параметри шорсткості поверхні після іонного азотування в плазмі геліконного розряду (завершальний етап комплексної технології зміцнення) практично не відрізнялись від параметрів шорсткості поверхні після обробки пластичним деформуванням (початкові 2 етапи).

Дослідження режимів іонного азотування в плазмі геліконного розряду здійснено в іонно-плазмовій вакуумно-технологічній установці, з параметрами, наведеними на рис. 1.

Технологічний процес іонного азотування сталі 45 у геліконній плазмі іонно-плазмової вакуумно-технологічної установки здійснено з попереднім очищенням зразка (геліконною плазмою в середовищі аргону).

Дослідження розподілу твердості вглиб поверхні проведено на зразку, який пройшов 3 етапи обробки (вібраційне обкатування, поздовжнє алмазне вигладжування та іонне азотування в плазмі геліконного розряду). Зменшення твердості по глибині відбувається плавно, її зниження на 50 % спостерігається, починаючи лише з глибини 120 мкм (рис. 13). Результати порівняно зі зразками, що пройшли зміцнення традиційним методом азотування (у тліючому розряді).

Результати дослідження підтвердили доцільність і перспективність застосування в якості завершального етапу комплексної технології запропонованого способу зміцнення поверхонь сталевих деталей тертя, оскільки метод іонного азотування у високочастотному геліконному розряді значно енергоощадливіший та екологічно безпечніший порівняно з іншими традиційними методами азотування. Він дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу азотування в 10 разів і більше (наприклад, середня тривалість технологічного процесу іонного азотування в тліючому розряді становить 6–8 год), при цьому мікротвердість поверхні зростає на більше ніж 30%.

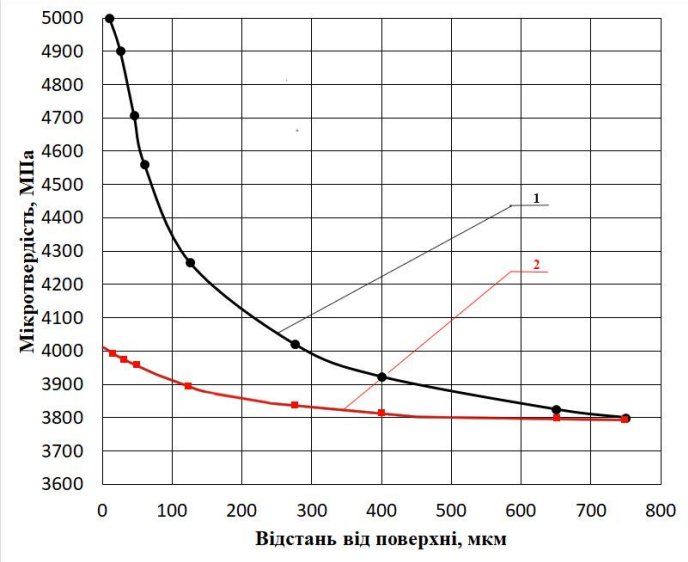


Рис. 13. Розподіл твердості по глибині поверхні зразка: 1) після комплексної ОЗО, 2) після перших двох етапів обробки ППД.

Дослідження зносостійкості поверхні притискних роликів координувально-транспортувального блоку проведено за допомогою вагового методу визначення зношення з використанням електронних лабораторних ваг Radwag PS 600.R2.

Залежність інтенсивності зношення для притискних роликів валу координувально-транспортувального блоку в початковому стані та за різних умов зміцнювальної обробки зображено на рис. 14.

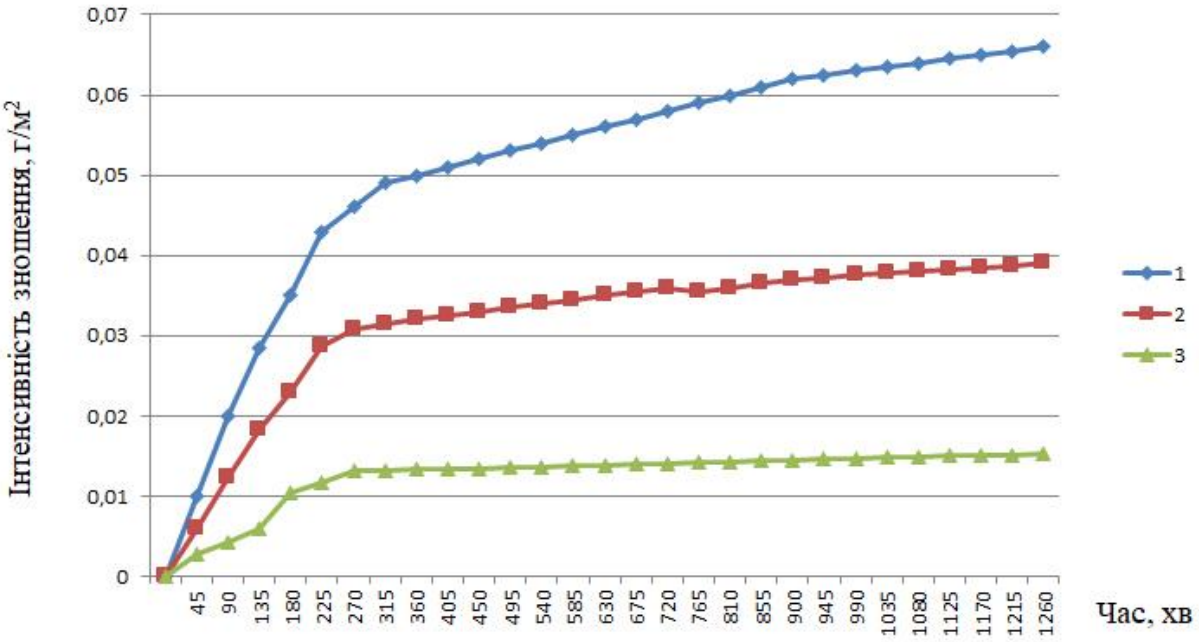


Рис. 14. Інтенсивність зношення залежно від часу випробування зразків зі сталі 45: 1 – у початковому стані, 2 – після вібраційного обкатування та поздовжнього вигладжування, 3 – після комплексного технологічного процесу ОЗО.

Після часу припрацювання, який у середньому становить біля 250 хв, спостерігається стабільна інтенсивність зношення і, чим вище значення мікротвердості поверхневого шару, тим вона менша. Це пояснюється специфічними умовами роботи деталей: відсутністю ударних навантажень, контактуванням метал–метал. Тому підвищена мікротвердість приповерхневих шарів циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку є ключовим показником їх високої зносостійкості.

Дослідження паралельності відхилення зовнішніх контурів готової обкладинки від прямокутної побудови здійснювали до та після впровадження комплексного технологічного процесу ОЗО для накладів: 500, 1000, 5000 та 10000 шт. Відсоток відбракування до комплексної обробки становив, відповідно: 4,5 %, 3,25 %, 3,2 % і 4,5 %. Після комплексної обробки відсоток відбракування зменшився до значень: 3,95...3,97 %, 2,85...2,87 %, 2,82...2,85 % та 2,77...2,79 %, відповідно до накладу.

Аналіз результатів досліджень показав, що комплексний трьохетапний технологічний процес зміцнення забезпечує підвищення зносостійкості деталей зі сталі 45 у більше ніж 4 рази порівняно з початковим станом й у 2,5 рази порівняно з обробкою ППД. Тобто покриття з найбільшою мікротвердістю мають високі значення зносостійкості.

У **додатках** до дисертаційної роботи наведено статистичні дані по математичних моделях багатофакторного планування експерименту, акти впровадження, акт про використання результатів у навчальному процесі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну задачу – виявлено взаємозв’язки між параметрами розробленого комплексного технологічного процесу ОЗО циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок та їх характеристиками якості з урахуванням витратних матеріалів, що дозволяє на основі запропонованої узагальненої логічної схеми в параметричному вигляді прогнозувати якість й експлуатаційні властивості деталей координувально-транспортувального блоку, а також контурну стабільність обкладинок.

2. Установлено аналітичну залежність між режимами обробки (геометричними параметрами елементів мікрорельєфу та радіуса сфери деформувального елемента) і відносною опорною площею поверхні. Це дозволяє шляхом регулювання параметрів режимів обробки отримати оптимальну контактну площу робочих поверхонь деталей, які контактують із заготовками обкладинок.

3. Розроблено узагальнений алгоритм керування комплексним технологічним процесом ОЗО циліндричних деталей поліграфічного обладнання, який дозволить на кожному етапі обробки досягати необхідної якості поверхонь деталей та їх експлуатаційних характеристик.

4. На основі теоретико-експериментальних досліджень режимів комплексного технологічного процесу ОЗО отримано математичні моделі, які описують рівняннями регресії, за рахунок керованих факторів: радіусів деформувального інструмента, зусиль вдавлювання, величини подачі на перших двох етапах ОЗО і товщини азотованого шару. Отримані моделі дозволяють визначити інтенсивність зношування

циліндричних деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок.

5. У результаті числового моделювання перших двох етапів комплексної ОЗО, установлено, що максимальна величина напружень і деформацій спостерігається в момент контактування деформувального інструмента з деталлю. При віддаленні від місця контакту величини напружень і деформацій зменшуються, наближаючись до нуля. Застосування такої моделі для процесів ОЗО дозволяє визначити величину цих напружень і прогнозувати підвищення зносостійкості деталей координувально-транспортувального блоку.

6. Шляхом дослідження мікроструктури сталевих зразків встановлено підвищення міцнісних характеристик поверхневого шару металу та збільшення його твердості за рахунок внутрішньозернового дислокаційного зміцнення, яке зумовлене деформаціями, що розповсюджуються в глибину матеріалу після перших двох етапів комплексної ОЗО. Також після третього етапу комплексної обробки виявлено значне підвищення твердості поверхні та градієнтний розподіл твердості у приповерхневих шарах, яке спричинене утворенням у них нітридного прошарку, унаслідок чого відбувається додаткове зміцнення деталей.

7. Експериментальними дослідженнями впливу режимів ОЗО на геометричні параметри мікрорельєфу встановлено чітку лінійну залежність глибини, ширини нерівностей і висоти напливів від величини радіуса деформувального інструмента й зусилля вдавлювання.

8. Дослідження шорсткості поверхні після обробки ППД показало зменшення у 2 рази значення середнього арифметичного відхилення профілю, після третього етапу цей показник залишився без суттєвих змін.

9. Дослідження режимів іонного азотування в плазмі геліконного розряду показало, що розподіл твердості по глибині відбувається плавно. Лише з глибини 120 мкм спостерігається зниження твердості на 50 %, а на глибині понад 600 мкм вона прямує до значення твердості осердя металу. При зростанні мікротвердості поверхні на більш ніж 30% тривалість технологічного процесу, порівняно з іншими традиційними методами азотування, менша у понад 10 разів.

10. Дослідження зносостійкості показали при комплексному трьохетапному технологічному процесі ОЗО підвищення зносостійкості деталей зі сталі 45 в більш, ніж 4 рази порівняно з початковим станом (чистовим точінням) і в 2,5 рази порівняно з обробкою ППД. Виявлено, що покриття з більшою мікротвердістю мають більші значення зносостійкості.

11. Визначено вплив комплексної технології на якісні параметри готових обкладинок. Установлено що після її впровадження відсоток відбракування кінцевої продукції значно зменшився (залежно від накладу). Так, для накладів: 500, 1000, 5000 та 10000 шт, відсоток відбракування до комплексної обробки становив, відповідно: 4,5 %, 3,25 %, 3,2 % та 4,5 %. Після комплексної обробки відсоток відбракування зменшився до значень: 3,95...3,97 %, 2,85...2,87 %, 2,82...2,85 % та 2,77...2,79 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Rudenko E. M., Panarin V. Ye., Kyrychok P. O., Svavilnyi M. Ye., Korotash I. V., Palyukh O. O., Polotskyi D. Yu., and Trishchuk R. L., Nitriding in a Helicon Discharge as a Promising Technique for Changing the Surface Properties of Steel Parts, Usp. Fiz. Met., Vol. 20, № 3: 485–501 (2019). **(Фахове видання України категорії «А», входить до WoS та Scopus).** *Автором проаналізовано технології зміцнення, проведено дослідження інноваційної технології іонного азотування в плазмі геліконного розряду, оброблено експериментальні результати досліджень, побудовано діаграми.*

2. O. Paliukh, P. Kyrychok, R. Trishchuk, M. Korobka, Ye. Dziadyk. Defining technological features in the manufacture of semi-hard book covers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 4/1 (106), 80–90 (2020). **(Фахове видання України категорії «А», входить до Scopus).** *Автором проведено теоретичні та експериментальні дослідження обробки деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок, запропоновано параметричну систему.*

3. Руденко Е., Панарін В., Киричок П., Свавільний М., Короташ І., Полоцький Д., Тріщук Р. Зміцнення поверхні сталі 45 йонним азотуванням у геліконному розряді // Металлофизика и новейшие технологии. 2018. Т. 40. № 8. С. 993–1004. **(Фахове видання України, входить до Scopus).** А*втором проведено аналіз досліджень зі зміцнення металевих поверхонь шляхом формування дифузійних покриттів, проведено експериментальні дослідження зміцнення сталевих зразків методом іонного азотування в геліконному розряді, доведено перспективність упровадження цього методу зміцнення.*

4. Киричок П., Тріщук Р. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном // Технологія і техніка друкарства. 2017. № 3 (57). С. 4–19. *Автором проведено аналітичний огляд методів зміцнення циліндричних металевих поверхонь деталей, запропоновано комплексну технологію оздоблювально-зміцнювальної обробки, зроблено висновки.*

5. Тріщук Р. Підвищення зносостійкості деталей поліграфічного обладнання шляхом модифікації їх поверхонь методом іонно-плазмового азотування // Технологія і техніка друкарства. 2018. № 1 (59). С. 48–59.

6. Киричок П., Тріщук Р., Рибак О. Розрахунки відносної опорної площі циліндричних поверхонь деталей поліграфічного обладнання при комбінованому зміцненні віброобкатуванням // Технологія і техніка друкарства. 2018. № 3 (61). С. 4–13. *Автором запропоновано методику розрахунків, проведено аналіз отриманих результатів, зроблено висновки.*

7. Тріщук Р. Алгоритм керування комплексним технологічним процесом зміцнення циліндричних сталевих поверхонь деталей поліграфічного обладнання // Технологія і техніка друкарства. 2019. № 2 (64). С. 4–14.

8. Киричок П., Тріщук Р. Моделювання технологічного процесу двоетапної ОЗО циліндричних валів поліграфічного обладнання методом кінцевих елементів // Технологія і техніка друкарства. 2019. № 3 (65). С. 4–14. *Автором проведено аналіз отриманих результатів, зроблено висновки*.

9. O. Paliukh, P. Kyrychok, R. Trishchuk, M. Korobka, Research of changes of strength indicators of semi-rigid covers glued by modified adhesive compositions, Technology audit

and production reserves, vol. 3, № 1 (53), 27–31 (2020). *Автором проведено обробку результатів експериментальних досліджень методом математичної статистики.*

10. Пат. 129043 Україна, МПК (2006) B24B 39/00. Спосіб утворення регулярного мікрорельєфу на поверхнях циліндричних деталей поліграфічних машин / П. О. Киричок, Ю. Ю. Віцюк, Р. Л. Тріщук ; заявник і власник КПІ ім. І. Сікорського. № u 2018 00825; заявл. 30.01.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 6 с. *Автором запропоновано формулу корисної моделі, розроблено та відпрацьовано технологічні режими для двохетапного формування прогнозованих поверхневих характеристик циліндричних деталей поліграфічного обладнання.*

11. Киричок П. О., Тріщук Р. Л. Технологія забезпечення роботи лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном // Друкарство молоде: тези доп. 16-ї Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. Київ, 2016. С. 107–108.

12. Киричок П. О., Тріщук Р. Л. Удосконалення механічної лінії для виготовлення інтегральних обкладинок // Друкарство молоде: тези доп. 17-ї Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. Київ, 2017. С. 103–104.

13. Киричок П. О., Тріщук Р. Л. Удосконалення механічної лінії для виготовлення інтегральних обкладинок шляхом застосування інноваційного методу зміцнювальної обробки // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. III Міжнар. наук.-техн. конф. Львів, 2018. С. 103–105.

14. Киричок П. О., Тріщук Р. Л. Комплексна технологія зміцнення деталей вузлів лінії для виготовлення інтегральних обкладинок // Друкарство молоде: тези доп. 19-ї Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів. – Київ, 2019. – С. 108–109.

АНОТАЦІЯ

Тріщук Р. Л. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей деталей поліграфічного обладнання при виготовленні інтегральних обкладинок. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2021.

Дисертацію присвячено розробці технологічного забезпечення якості й експлуатаційних властивостей деталей поліграфічного обладнання при виготовленні інтегральних обкладинок і встановленню закономірностей впливу комплексного технологічного процесу оздоблювально-зміцнювальної обробки (ОЗО) на якісні показники кінцевої поліграфічної продукції.

Запропоновано комплексний технологічний процес ОЗО циліндричних рухомих деталей координувально-транспортувального блоку лінії для виготовлення інтегральних обкладинок, в основу якого поставлено завдання підвищити параметри якості та експлуатаційні властивості поверхневого шару циліндричних валів блоку, а також покращити точність координатного позиціювання в ньому палітурного матеріалу.

Установлено, що при впровадженні цієї комплексної технології підвищується зносостійкість деталей зі сталі 45 у більш, ніж 4 рази порівняно з початковим станом

і в 2,5 рази порівняно з обробкою ППД. Виявлено, що покриття з більшою мікротвердістю мають вищі показники зносостійкості.

Визначено вплив комплексної технології на якісні параметри готових обкладинок. Установлено, що після її впровадження відсоток відбракування кінцевої продукції суттєво зменшується (залежно від тиражу). Наприклад, для тиражу в 10000 примірників відсоток відбракування знизився на 1,72 %.

Ключові слова: поліграфічне обладнання, інтегральна обкладинка, зміцнення, вібраційне обкатування, мікротвердість, азотування, регулярний мікрорельєф, зносостійкість.

АННОТАЦИЯ

Трищук Р. Л. Технологическое обеспечение качества и эксплуатационных свойств деталей полиграфического оборудования при изготовлении интегральных обложек. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.01 – машины и процессы полиграфического производства. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2021.

Диссертацию посвящено разработке технологического обеспечения качества и эксплуатационных свойств деталей полиграфического оборудования при изготовлении интегральных обложек и выявлению закономерностей влияния комплексного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) на качественные показатели конечной полиграфической продукции.

Предложен комплексный технологический процесс ОУО цилиндрических подвижных деталей координирующе-транспортировочного блока линии для изготовления интегральных обложек, в основу которого поставлена задача повысить параметры качества и эксплуатационные свойства поверхностного слоя цилиндрических валов блока, а также улучшить точность координатного позиционирования в нем переплетного материала.

Установлено, что при внедрении вышеупомянутой комплексной технологии повышается износостойкость деталей из стали 45 в более чем 4 раза по сравнению с исходным состоянием и в 2,5 раза по сравнению с обработкой ППД. Выявлено, что покрытия с большей микротвердостью имеют более высокие значения износостойкости.

Определено влияние комплексной технологии на качественные параметры готовых обложек. Установлено, что после ее внедрения процент отбраковки конечной продукции существенно уменьшается (в зависимости от тиража). Например, для тиража в 10000 экземпляров процент отбраковки снизился на 1,72%.

Ключевые слова: полиграфическое оборудование, интегральная обложка, упрочнение, вибрационное обкатывыние, микротвердость, азотирование, регулярный микрорельеф, износостойкость.

SUMMARY

Trischuk R. Technological assurance of quality and operational properties of details of the printing equipment at manufacturing of flexible covers. – On the rights of the manuscript.

The thesis is for getting a degree of engineering sciences candidate in 05.05.01 specialty – Machines and Processes of Printing Production. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2021**.**

The dissertation is devoted to the development of technological quality assurance and operational properties of printing equipment parts in the manufacture of integral covers and the establishment of patterns of influence of the complex technological process of finishing and strengthening treatment on the quality of the final product.

The author for the first time proposed a generalized logic diagram in the parametric form of modeling the processes of technological support of contour stability of covers and quality and operational properties of parts of the coordination and transport unit of the line for the manufacture of integral covers.

For the first time, technological support has been developed that is able to improve the coordinate positioning when moving the covers through the coordination and transport unit with the simultaneous strengthening of the surfaces of its cylindrical parts.

For the first time, an analytical relationship between the parameters of microreliefs and technological modes of their formation has been established for the developed complex technology of formation of completely and partially regular microreliefs. This makes it possible to obtain the predicted parameters of the microrelief of the surface and, as a result, increase the wear resistance of parts of printing equipment and ensure the accuracy of positioning of the covers in the coordination and transport unit.

Regularities of formation of geometrical characteristics of a surface and physical and mechanical parameters of a near-surface layer at complex technological process of processing of details of the coordinating and transporting block, and also their influence on quality of covers are revealed.

The research methodology for each stage of complex strengthening processing is developed: the list of technological equipment is given, its description, technical parameters, order and working conditions are given, the optimal operating modes for each technological process are established.

The measuring equipment and a technique of carrying out researches on definition of such basic qualitative characteristics of the processed samples, as geometrical parameters of a surface (roughness), hardness, wear resistance and their influence on final polygraphic production are offered.

Theoretical researches are carried out taking into account the basic analytical dependences of technology of polygraphic production, physical-mechanical and physical-chemical processes, materials science, statistical methods of control, structural-functional and system analysis.

Experimental studies were performed on the newly created experimental line for the manufacture of flexible covers with wide valves, on modern measuring and testing process equipment in laboratory and production conditions.

The author for the first time substantiated and developed a method of forming a combined regular microrelief on cylindrical surfaces of printing equipment parts, the implementation of which has a positive effect on the accuracy of coordinate positioning of binding material, and, consequently, the quality of finished covers.

A complex technological process of finishing and strengthening processing of cylindrical moving parts of the coordination and transport block of the line for the production of integral covers is proposed. A generalized control algorithm for such a complex technological process has been developed.

An analytical relationship between the processing modes (geometric parameters of the microrelief elements and the radius of the sphere of the deforming element) and the relative reference surface area is established. This allows by adjusting the parameters of the processing modes to obtain the optimal contact area of the working surfaces of the parts that are in direct contact with the binding material.

Based on theoretical and experimental studies, mathematical models are obtained, which are described by regression equations, due to controlled factors: radii of the deformation tool, indentation forces, feed rates in the first two stages of surface plastic deformation (SPD), nitrided layer thickness. The obtained models allow to predict the intensity of wear of the surface layers of cylindrical parts.

Studies of wear resistance have shown in a complex three-stage technological process of SPD increase the wear resistance of steel parts 45 in more than 4 times compared to the initial state and 2.5 times compared to the processing of FSP. It was found that coatings with higher microhardness have greater values of wear resistance.

The influence of complex technology on the qualitative parameters of the finished covers is determined. It is established that after its introduction the percentage of rejection of final products has significantly decreased (depending on the circulation). For example, for a circulation of 10,000 copies, the rejection rate decreased by 1.72%.

Keywords: printing equipment, flexible cover, hardening, vibration running-in, microhardness, nitriding, regular microrelief, wear resistance.