

УДК 621.9.011

© Р. Л. Тріщук, асистент, КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Київ, Україна

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЗМІЦНЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Розроблено алгоритм керування комплексним технологічним процесом поверхневого зміцнення циліндричних деталей транспортувально-координувального вузла лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном, що дозволить забезпечити оптимальні режими обробки деталей та раціональну послідовність їх упровадження. Застосування цього алгоритму гарантуватиме високі показники якості та прогнозовані геометричні та фізико-механічні параметри поверхні деталей.

Ключові слова: оздоблювально-зміцнювальна обробка; мікрорельєф; пластичне деформування; алгоритм керування зміцненням; іонне азотування.

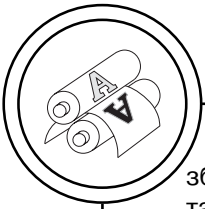
Постановка проблеми

Сьогодні в поліграфічній галузі за жорсткої конкуренції серед виробників поліграфічного обладнання пред'являються високі вимоги до якості і довговічності його деталей. Відомо, що довговічність безпосередньо пов'язана з якісними характеристиками поверхневого шару деталі. Також існує пряма залежність експлуатаційних властивостей деталей від якості їх поверхневого шару.

Формування експлуатаційних властивостей деталей відбувається протягом усіх етапів їх виготовлення, особливо на операціях під час фінішної обробки [1]. Адже на етапі експлуатації впливати на сформовані властивості вже немає змоги. Тому завдання

технологічного забезпечення якості поверхневого шару деталей є одним з найважливіших при вирішенні проблеми підвищення експлуатаційних властивостей і збільшення життєвого циклу деталей.

Одним з перспективних способів, застосовуваних на фінішних етапах обробки, є поверхневе пластичне деформування (ППД) [2]. Сутність ППД полягає в тому, що необхідних розмірів та якісних характеристик поверхневого шару досягають не зрізанням частини матеріалу, а його пластичним видозмінням. У процесі ППД одночасно з обробкою поверхні деталі проводиться її зміцнення [3] і, як наслідок, поліпшуються експлуатаційні властивості, що, у свою чергу, сприяє



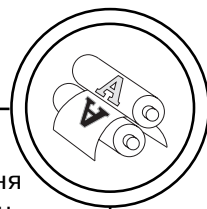
збільшенню ресурсу роботи деталей [4]. Великий інтерес інженерів до цих методів пояснюється їх широкими технологічними можливостями та суттєвими техніко-економічними перевагами.

Під час пошуку оптимальних режимів обробки ППД можуть виникати деякі труднощі, оскільки від раціонального вибору того чи іншого режиму залежить не тільки підвищення міцності та довговічності деталей, а й забезпечення необхідної якості поверхневого шару. Найчастіше параметри режимів обробки обирають виходячи з результатів, отриманих емпіричним шляхом, що не завжди дає змогу досягти бажаного результату обробки. Виходячи з цього, слід розуміти, що в умовах сучасного виробництва важливо мати методику оптимізації змцнювальної обробки, що гарантує не тільки задану якість поверхневого шару, а й дозволяє забезпечити високі показники його міцності та зносостійкості.

Аналіз попередніх досліджень

Підвищення довговічності та зносостійкості деталей поліграфічного обладнання завжди було й досі залишається одним з найважливіших завдань у цій галузі. Аналіз можливих технологій змцнення деталей і методів їх обробки показав, що для вирішення поставлених завдань існує велике різноманіття сучасних способів, серед яких особливе місце займають методи поверхневого пластичного деформування (ППД) [5–8], які застосовуються на фінішних етапах обробки деталей. Застосу-

вання цих методів змцнення є ефективним засобом поліпшувати міцнісні та експлуатаційні властивості деталей поліграфічного обладнання. Але, враховуючи специфіку роботи певного поліграфічного обладнання та підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик деяких деталей, обмежуватись якимось одним типом змцнювальної обробки недостатньо. Тому багатьма авторами досліджень цього напрямку пропонуються комплексні технології змцнення, які являють собою комбінування відомих технологічних процесів змцнення шляхом їх застосування в певній послідовності [9]. Це дозволяє досягти необхідних якісних показників для поверхонь деталей. Таким чином, виходячи з вимог, які було висунуто до якісних характеристик досліджуваних деталей (у нашому випадку — це деталі транспортувально-координувального вузла лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном) [10], з-поміж відомих нині методів змцнення вибір був сфокусований на комбінуванні технології змцнення шляхом ППД [11] з технологією, яка передбачає подальше модифікування приповерхневого шару деталей шляхом іонного азотування [12–14]. Вибір обумовлений такими чинниками, як необхідність формування мікрогеометрії поверхні деталей певного прогнозованого типу задля підвищення їх міцності та забезпечення високої точності роботи і потреба максимально підвищити показники мікротвердості приповерхневих шарів деталей



для забезпечення високих показників їх зносостійкості та корозійної стійкості. У багатьох випадках, наприклад, при контактній взаємодії деталей, що утворюють пари тертя, має місце контакт типу «метал—метал», або ж робота цих деталей супроводжується певними ударними навантаженнями — можливість досягнути максимальних показників мікротвердості поверхонь тут не є доцільною, оскільки виникає істотний ризик руйнування поверхневих шарів у результаті їх викришування. За цих умов роботи деталей доцільнішими будуть компромісні значення показників твердості та пластичності приповерхневих шарів. Робота деталей транспортувально-координувального вузла лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном триває в умовах тертя ковзання через абразивний прошарок, що ним виступає картон або інший вихідний матеріал, що переміщується, проходячи між циліндричними поверхнями цих деталей. Тому, зважаючи на відсутність ударних навантажень і прямого контактування металевих поверхонь, застосовувати технологію іонного азотування на фінішному етапі комплексного зміцнення представляється виправданим і доцільним.

Мета роботи

За мету покладено розробити ефективний алгоритм керування обробкою циліндричних поверхонь деталей транспортувально-координувального вузла лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким кла-

паном шляхом упровадження технології комплексного зміцнення, яка реалізується комбінуванням технологічних процесів вібраційного накатування, алмазного вигладжування та іонного азотування у плазмі геліконного розряду.

Результати проведених досліджень

Щоб цілеспрямовано керувати комплексним технологічним процесом зміцнення циліндричних поверхонь обладнання для виготовлення обкладинок, розроблено узагальнений алгоритм керування процесом поліпшення експлуатаційних властивостей деталей транспортувально-координувального вузла лінії з виготовлення інтегральних обкладинок шляхом реалізації триетапної комплексної технології їх поверхневого зміцнення (рис. 1). Ця технологія поєднує у собі процеси зміцнення ППД та інноваційний метод іонного азотування [15] у плазмі геліконного розряду [16].

Алгоритм виконується в такій послідовності. Спочатку вводимо вхідні дані — такі, як діаметр циліндричної деталі, яка обробляється (D), мм, довжина деталі (L), мм, середнє арифметичне відхилення профілю (R_a), мкм, матеріал деталі, твердість (HRC). Далі здійснюємо вибір класу мікрорельєфу залежно від етапу обробки: на першому етапі утворюється повністю регулярний мікрорельєф (ПРМР), а на наступному, відповідно, — частково регулярний мікрорельєф (ЧРМР), що реалізується у вигляді поздовжніх заглибин [17]. При виконанні умови «повністю регулярний

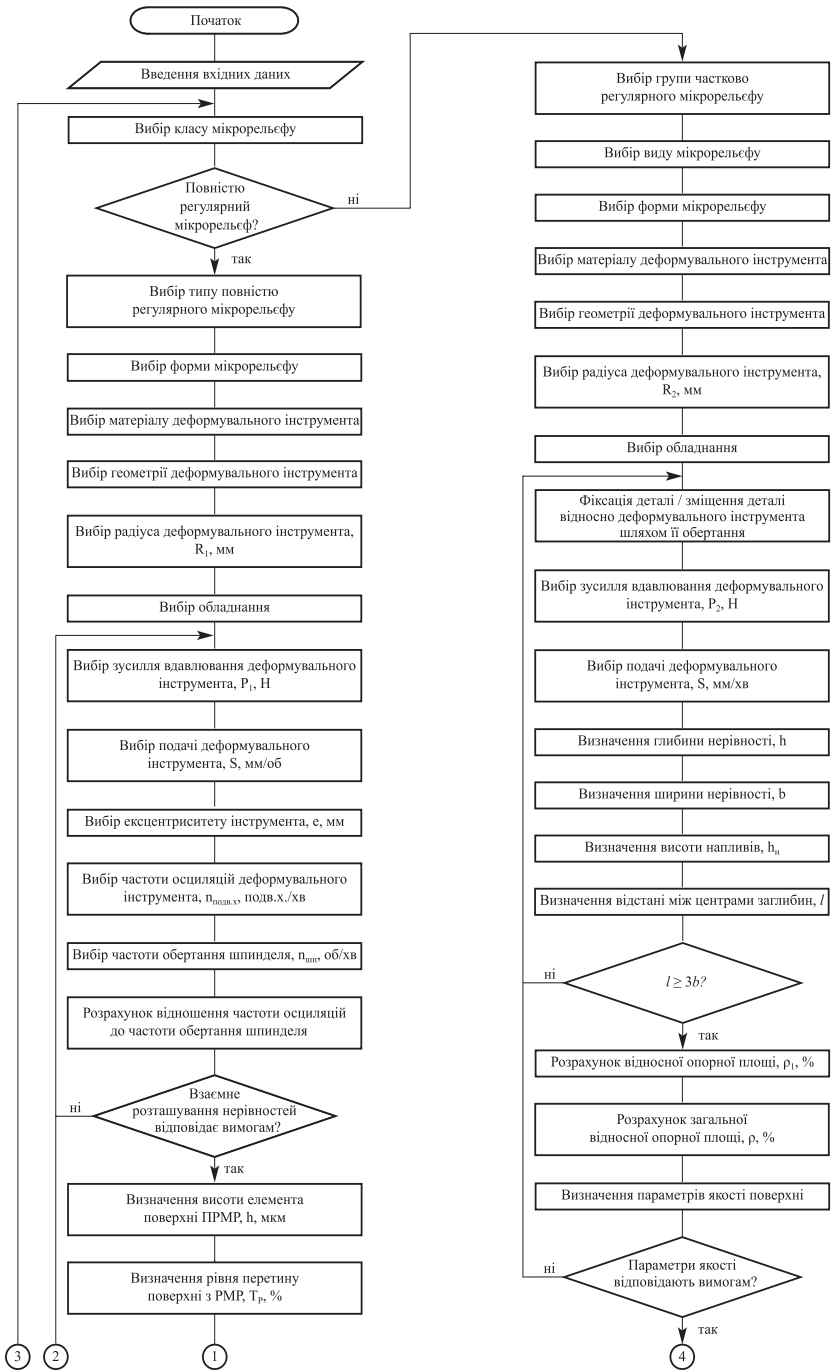
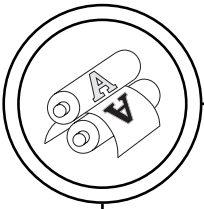


Рис. 1. Алгоритм керування комплексним технологічним процесом поверхневого зміцнення циліндричних деталей поліграфічного обладнання. Початок

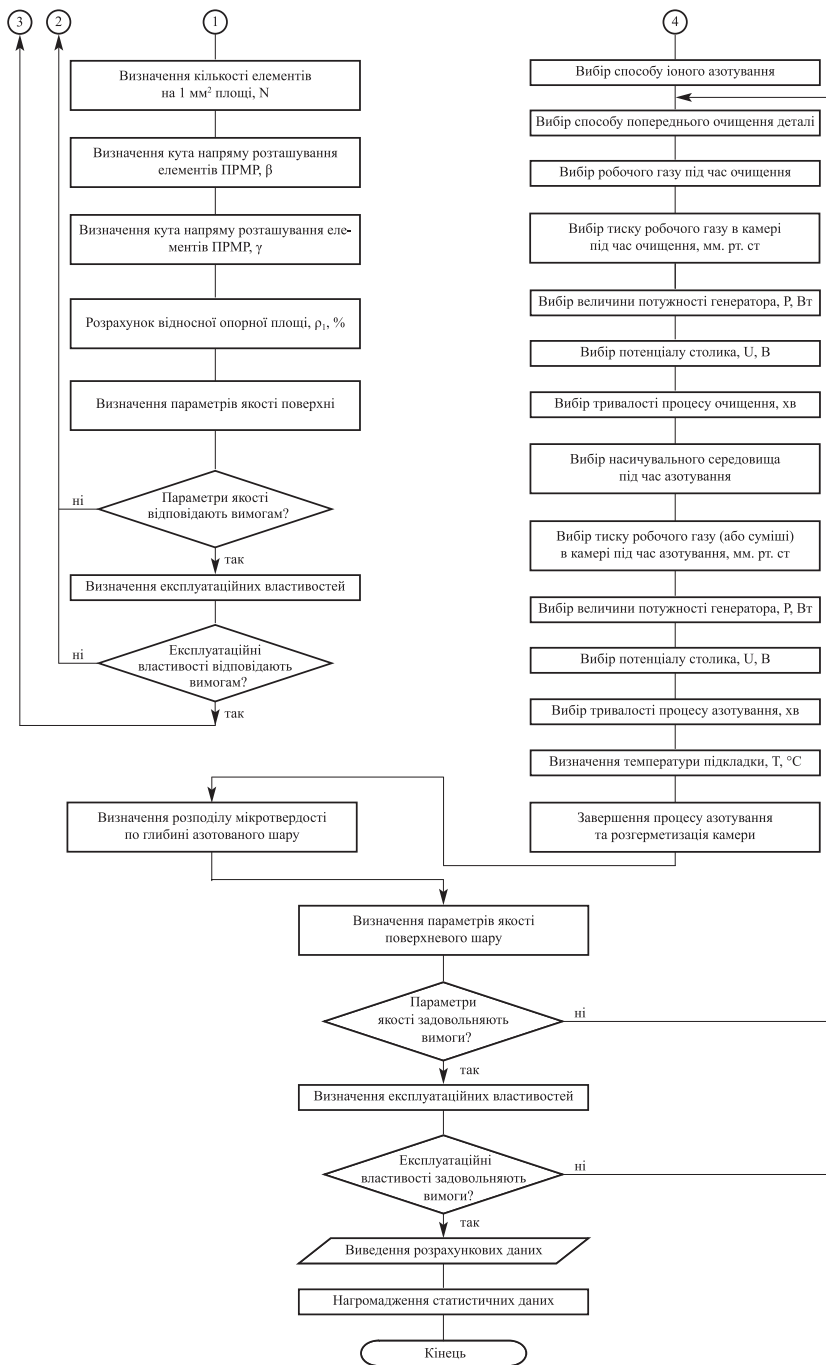
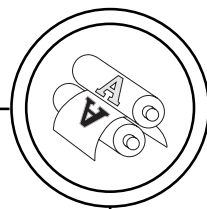
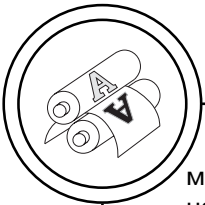


Рис. 1. Алгоритм керування комплексним технологічним процесом поверхневого зміцнення циліндричних деталей поліграфічного обладнання. Закінчення



мікрорельєф» переходимо до наступного кроку. В іншому разі здійснюємо перехід до «вибору групи частково регулярного мікрорельєфу». Цей крок визначає послідовне застосування перших двох етапів комплексного технологічного процесу поверхневого зміцнення шляхом пластичного деформування.

Далі здійснюємо вибір типу повністю регулярного мікрорельєфу з-поміж чотирикутного або гексагонального (шестикутного). Після цього обирається його форма: ввігнута або випукла.

Подальший вибір матеріалу деформувального інструмента та його геометрії дає можливість обрати між алмазним та твердосплавним наконечником, або сталеву загартовану кулькою з такими формами поверхні, як конус, циліндр, сфера чи круговий тор. Радіус деформувального інструмента обираємо залежно від твердості матеріалу деталі. Згідно із запропонованим комплексним технологічним процесом, деталь повинна мати твердість не менше ніж HRC 50, але вона може досягати і HRC 65. При твердості матеріалу деталі HRC 50...65 — радіус робочої поверхні деформувального інструмента вибираємо в межах $R_1 = 0,5-1$ мм. Якщо ж твердість матеріалу є в межах HRC 32...50 — радіус робочої поверхні деформувального інструмента (R_1) має становити 1,5–4 мм.

Визначившись з деформувальним інструментом, обираємо обладнання для вібраційної обробки деталі з-поміж типу таких металорізальних верстатів, як

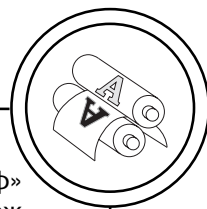
токарно-гвинторізнi. Зусилля вдавлювання деформувального інструмента обираємо, виходячи із статистичних даних і розрахунків, у діапазоні $P_1 = 150-500$ Н, а величину швидкості подачі деформувального інструмента — залежно від технічних характеристик токарно-гвинторізного верстата, встановлюючи значення в межах $S = 0,08-12,5$ мм/об. Ексцентриситет інструмента обирається в межах $e = 0,2-1,0$ мм, а частота осциляцій — $n_{\text{подв.х}} = 1000-2000$ подв./хв при обертанні шпинделя з частотою, встановленою в діапазоні $n_{\text{шп}} = 25-2000$ об./хв. відповідно до технічних характеристик токарно-гвинторізного верстата.

Розрахунок відношення частоти осциляцій до частоти обертання шпинделя верстата проводимо за такою формулою:

$$i = \frac{n_{\text{подв.х}}}{n_{\text{шп}}}$$

Якщо взаємне розташування нерівностей відповідає вимогам, то переходимо до наступного кроку, інакше — повертаємось до кроку «Вибір зусилля вдавлювання деформувального інструмента, P_1 ».

Вибір числового значення висоти елемента мікрорельєфу R_e здійснюємо із стандартизованого ряду значень: 1000, 800, 630, 500, 400, 100, 80, ..., 0,100, 0,080, 0,063, 0,050, 0,040 [17]. Числове значення рівня перетину поверхні з регулярним мікрорельєфом вибирається з ряду: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 % від значення висоти елемента, згідно з ГОСТ 24773–81. Визначити кількість елементів на одиницю площі (1 мм^2) N



можна також шляхом вибору зі стандартизованого ряду значень: 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 % [17]. Кути напряму розташування елементів ПРМР β та γ визначаються в межах діапазону 0–180°.

Після завершення першого етапу комплексної обробки обчислення відносної опорної площі поверхні з ПРМР ρ_1 проводимо за аналітичною залежністю [18]:

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

Визначення параметрів якості поверхні здійснюємо за допомогою статистичних даних. Якщо параметри якості відповідають вимогам, то переходимо до наступного кроку. В іншому разі повертаємось до кроку «вибір зусилля вдавлювання деформувального інструмента, P_1 ».

Також за допомогою статистичних даних визначаємо експлуатаційні властивості поверхні та, за виконання умов відповідності вимогам експлуатаційних властивостей, переходимо до наступного кроку. Якщо ж вони не задовольняють умов — здійснюємо перехід до кроку «вибір зусилля вдавлювання деформувального інструмента, P_1 ».

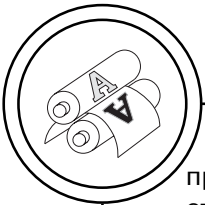
Наступним кроком є перехід до другого етапу комплексної обробки та, відповідно, повернення до вибору класу мікрорельєфу, де обираємо ЧРМР. Умова «пов-

ністю регулярний мікрорельєф» при цьому не виконується, тож здійснюємо перехід до кроку «вибір групи частково регулярного мікрорельєфу», який обираємо згідно з ГОСТ 24773–81 у групі ЧРМР з дискретними регулярними нерівностями [17]. Цей вид мікрорельєфу належить до нестандартизованих, оскільки формується у вигляді поздовжніх заглиблень, що розташовані паралельно до осі обертання циліндричної деталі на відстані одна від одної не менше подвійного значення ширини заглиблення і площею, яка перевищує 30 % площі поверхні деталі. Такий мікрорельєф має ввігнуту форму заглиблень.

Матеріал і геометрія деформувального інструмента мають бути такими: алмазний чи твердосплавний наконечник, або сталева загартована кулька та, відповідно, конус, циліндр, сфера або круговий тор. При цьому радіус деформувального інструмента залежить від твердості матеріалу деталі. За твердості матеріалу деталі HRC 50...65 — радіус робочої поверхні деформувального інструмента вибираємо в межах $R_2 = 0,5-1$ мм. Якщо ж твердість матеріалу є в межах HRC 32...50 — радіус робочої поверхні деформувального інструмента доцільно обирати $R_2 = 1,5-4$ мм. У нашому випадку $R_2 = 1,5-2,5$ мм.

На другому етапі зміцнювальної обробки використовуємо таке саме обладнання, як і на першому, тобто токарно-гвинторізний верстат.

Фіксація деталі у затискачах верстата проводиться з послідовним зміщенням її після кожного



проходу деформувального інструмента відносно робочої поверхні шляхом обертання деталі навколо своєї осі. При цьому відстань між утвореними заглибинами повинна бути не меншою, ніж величина подвійної ширини заглибини. Зусилля вдавлювання деформувального інструмента встановлюється в діапазоні $P_2 = 75\text{--}500$ Н при значенні швидкості його подачі, яке обирається з урахуванням технічних характеристик токарно-гвинторізного верстата та з вимкненим обертанням шпинделя ($n_{\text{шп}} = 0$ об./хв) в межах $S = 0,2\text{--}7,5$ мм/хв.

Визначення глибини нерівності h , ширини нерівності b та висоти напливів h_n здійснюємо за експериментально встановленими залежностями від зусиль вдавлювання деформувального інструмента та радіусів його робочої поверхні, які подано на рис. 2-4 відповідно.

Наступний крок — визначення відстані між утвореними заглибинами (рис. 5). Необхідною умовою для переходу до наступного кроку є значення відстані між центрами утворених заглибин (l), яке не менше, ніж потрійне значення ширини заглибини ($l \geq 3b$). Якщо вказана умова не виконується — то фіксуємо деталь в іншому положенні, перейшовши до відповідного кроку «фіксація деталі/зміщення деталі відносно деформувального інструмента шляхом її обертання».

Обчислення відносної опорної площі поверхні з ЧРМР після завершення другого етапу комплексної обробки p_2 проводимо за аналітичною залежністю [18]:

$$p_2 = \frac{2R_2}{b} \arcsin\left(\frac{b}{2R_2}\right).$$

Розрахунок загальної відносної опорної площі поверхні з РМР після завершення другого

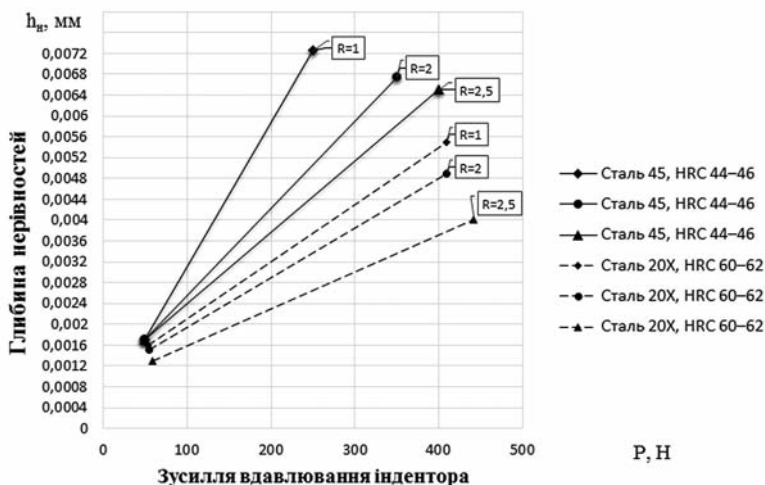


Рис. 2. Залежність глибини нерівностей мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора

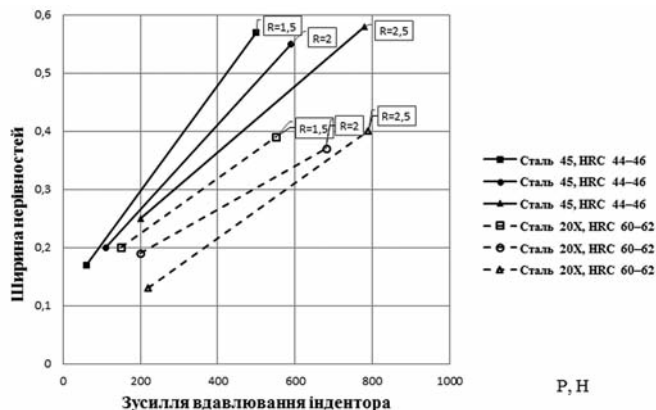
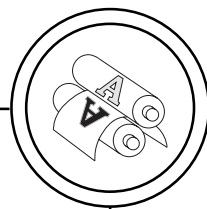


Рис. 3. Залежність ширини нерівностей мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора

етапу комплексної обробки ρ проводимо за формулою, виведеною в роботі [18]:

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

За допомогою статистичних даних визначаємо параметри якості поверхні. Перевіряємо умову «параметри якості відповідають вимогам». Якщо умова виконується, то переходимо до наступного кроку. В іншому разі повертаємось до кроку «фіксація деталі/зміщення деталі відносно деформувального інструмента шляхом її обертання».

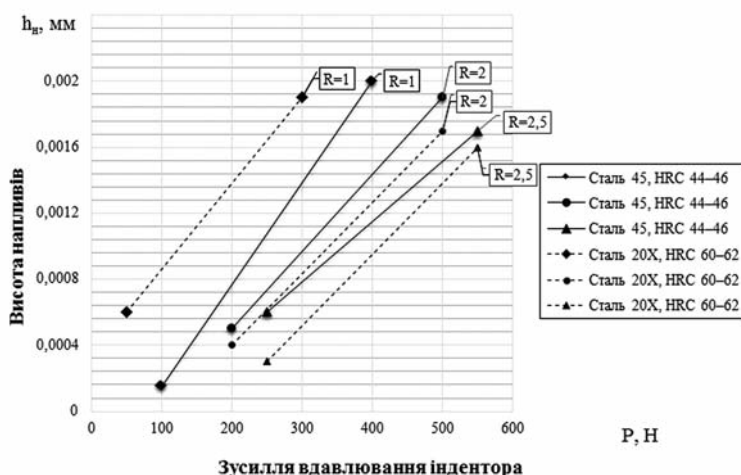


Рис. 4. Залежність висоти напливів мікрорельєфу від зусилля вдавлювання за різних радіусів сфери індентора



Перехід до третього, заключного етапу комплексної обробки (детальний опис: обладнання, технологія та ін. — наведено у статтях [13, 14]) здійснюємо кроком «вибір способу іонного азотування». При цьому для попереднього очищення деталі обираємо плазму в середовищі газу (суміші). Робочий газ, який використовується під час очищення — аргон, значення його тиску в камері під час очищення становить $7 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст. Сам процес очищення триває 5 хв при потужності генератора $P = 600$ Вт, значенні потенціалу столика $U = -50$ V.

Після попереднього очищення без вилучення зразка з камери обробки починається процес азотування. Вибір насичувального середовища під час азотування здійснюємо з-поміж азоту або суміші аргону з азотом (аргон 30 %, азот 70 %). Азотування проводиться при величині тиску робочого газу (або суміші) в камері в діапазоні $5 \dots 7 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст. Потужність генератора при цьому встановлюється $P = 600$ Вт, а вибір потенціалу столика здійснюється в діапазо-

ні $-50 \dots -200$ В, або «плаваючий». Оптимальна тривалість процесу азотування — 30 хв. Температуру підкладки визначаємо в ході процесу азотування, максимальне її значення досягається $T = 330^\circ$ С. Після завершення процесу азотування здійснюємо розгерметизацію камери та вилучаємо з неї оброблену деталь [13].

Після вилучення деталі проводимо вимірювання мікротвердості її поверхневого шару та визначаємо розподіл мікротвердості по глибині азотованого шару.

Далі визначаємо параметри якості поверхневого шару і, якщо вони задовольняють вимоги — переходимо до наступного кроку. В іншому разі повертаємося до кроку «вибір способу попереднього очищення деталі».

Визначаємо експлуатаційні властивості деталі: зносостійкість, корозійну стійкість і контактну жорсткість, після чого перевіряємо умову «експлуатаційні властивості задовольняють вимоги». При виконанні умови переходимо до наступного кро-

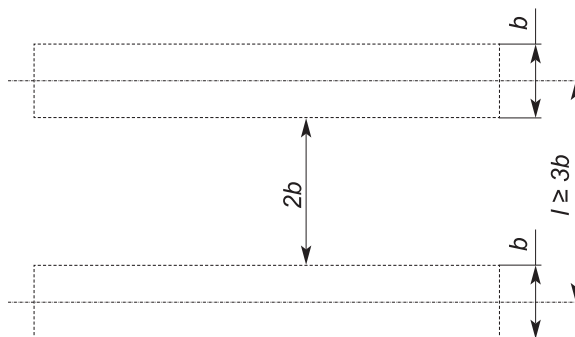
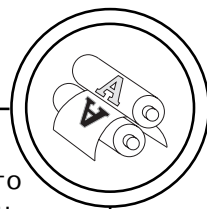


Рис. 5. Відстань між поздовжніми нерівностями, утвореними на другому етапі обробки



ку, в іншому разі переходимо до кроку «вибір способу попереднього очищення деталей».

Завершальними кроками є введення розрахункових даних і нагромадження статистичних даних.

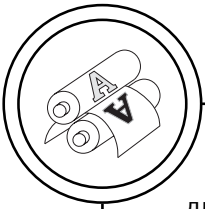
Висновки

В результаті проведених експериментальних та теоретичних досліджень розроблено ефективний алгоритм керування комплексним технологічним процесом поверхневого зміцнення циліндричних деталей транспор-

тувально-координувального вузла лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном. Застосування цього алгоритму доцільне при зміцнювальній обробці не тільки деталей поліграфічного обладнання, а й для будь-яких деталей у машинобудуванні, що мають аналогічні характеристики та працюють у схожих умовах. Це дає можливість прогнозовано впливати на якість поверхні цих деталей, досягаючи її необхідних фізико-механічних і геометричних параметрів.

Список використаної літератури

1. Бутаков Б. И. Повышение контактной прочности стальных деталей с помощью поверхностного пластического деформирования / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибологии. 2008. № 1. С. 14–23.
2. Деревінка І. С. Стан і аналіз сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням / І. С. Деревінка // Вісн. Нац. унту «Львівська політехніка». Сер. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. 2007. № 583. С. 18–24.
3. Одинцов В. М. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / В. М. Одинцов. М.: Машиностроение, 1981. 160 с.
4. Данько К. А. Анализ состояния проблемы повышения жизненного цикла деталей авиационных двигателей технологическими методами / К. А. Данько, И. В. Зорик // Авиационно-космическая техника и технология. 2010. № 4(71). С. 47–53.
5. Киричок П. О. Зміцнення поверхонь металевих деталей / П. О. Киричок, В. Г. Олійник, Т. Ю. Киричок. Київ: Преса України, 2004. 240 с.
6. Ляшенко Б. А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине / Б. А. Ляшенко, С. А. Клименко // Сучасне машинобудування. 1999. № 1(1). С. 94–104.
7. Aftanziv, I., Shevchuk, L. and Strohan, O. (2016). Increase of durability for torsion shafts and long details by surface plastic deformation // ScienceRise, 4(2 (21)), p. 37.
8. Ferencsik, V. and Varga, G. (2019). Analysis of Surface Microhardness on Diamond Burnished Cylindrical Components // Cutting & Tools in Technological System, 0(90), pp. 151–157.
9. Киричок П. Експериментальні дослідження геометричних параметрів циліндричних деталей поліграфічних машин при комплексній обробці / П. Киричок, О. Лотоцька // Технологія і техніка друкарства. 2011. № 3(33). С. 4–12. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(33\).2011.52142](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(33).2011.52142).



10. Киричок П. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей лінії для виготовлення інтегральних обкладинок з широким клапаном / П. Киричок, Р. Тріщук // Технологія і техніка друкарства. 2017. № 3(57). С. 4–19. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(57\).2017.111523](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(57).2017.111523).

11. Спосіб утворення регулярного мікрорельєфу: пат. 55748 Україна. № у 201006779; заявл. 01.06.2010; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. 4 с.

12. Тріщук Р. Підвищення зносостійкості деталей поліграфічного обладнання шляхом модифікації їх поверхонь методом іонно-плазмового азотування / Р. Тріщук // Технологія і техніка друкарства. 2018. № 1(59). С. 48–59. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(59\).2018.135134](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(59).2018.135134).

13. Руденко Е. Зміцнення поверхні сталі 45 йонним азотуванням у геліконному розряді / Е. Руденко, В. Панарін, П. Киричок, М. Свавільний, І. Короташ, Д. Полоцький, Р. Тріщук // Металлофизика и новейшие технологии. 2018. Т. 40. № 8. С. 993–1004.

14. Rudenko E. M., Panarin V. Ye., Kyrychok P. O., Svalilnyi M. Ye., Korotash I. V., Palyukh O. O., Polotskyi D. Yu., and Trishchuk R. L., Study of the Processes of Shaping the Hollow Billets from Antifriction Alloys by the Centrifugal and Continuous Casting Methods, *Usp. Fiz. Met.*, 20, No. 3: 485–501 (2019); doi: 10.15407/ufm.20.03.485.

15. Dhafer W. A.-R., Kostyk V., Kostyk K., Glotka A., Chechel M. The choice of the optimal temperature and time parameters of gas nitriding of steel // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3, Issue 5(81). P. 44–50. DOI: [10.15587/1729-4061.2016.69809](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69809).

16. Corr C., Plihon N., Chabert P., Sutherland O., Boswell R. W. Spatially limited ion acoustic wave activity in low-pressure helicon discharges // *Phys. Plasmas*. 2004, v. 11. P. 4596–4602. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1785790>.

17. ГОСТ 24773-81 Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики.

18. Киричок П. Розрахунки відносної опорної площі циліндричних поверхонь деталей поліграфічного обладнання при комбінованому зміцненні віброобкатуванням / П. Киричок, Р. Тріщук, О. Рибак // Технологія і техніка друкарства. 2018. № 3(61). С. 4–13. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(61\).2018.155937](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(61).2018.155937).

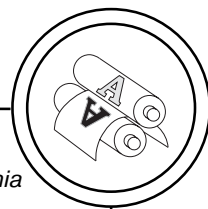
References

1. Butakov, B. I. & Marchenko, D. D. (2008). Povyshenie kontaktnoy prochnosti stal'nykh detaley s pomoshch'yu poverkhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya. *Journal of Problemy trybolohii*, 1, 14–23 [in Russian].

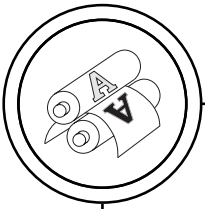
2. Derefinka, I. S. (2007). Stan i analiz suchasnykh metodiv pidvyshchennia nadiinosti detalei mashyn poverkhnevym zmitsnenniam. *Journal of Visn. Nats. un-tu 'Lvivska politehnika'*. Ser. *Optymizatsiia vyrobnychkykh protsesiv i tekhnichnyi kontrol u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, 583, 18–24 [in Ukrainian].

3. Odintsov, V. M. (1981). *Finshinaya obrabotka detaley almaznym vyglazhivaniem i vibroyglazhivaniem*. Moscow: Mashinostroenie, 160 [in Russian].

4. Dan'ko, K. A. & Zorik, I. V. (2010). Analiz sostoyaniya problemy povysheniya zhiznennogo tsikla detaley aviatsionnykh dvigateley tekhnologicheskimi metodami. *Journal of Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 4(71), 47–53 [in Russian].



5. Kyrychok, P. O. & Oliinyk, V. H. & Kyrychok, T. Yu. (2004). *Zmitsnennia poverkhon metalevykh detalei*. Kyiv: Presa Ukrainy, 240 [in Ukrainian].
6. Lyashenko, B. A. & Klimenko, S. A. (1999). Tendentsii razvitiya uprochnyayushchey poverkhnostnoy obrabotki i polozenie v Ukraine. *Journal of Suchasne mashynobuduvannia*, 1(1), 94–104 [in Russian].
7. Aftanaziv, I. & Shevchuk, L. & Strohan, O. (2016). Increase of durability for torsion shafts and long details by surface plastic deformation. *Journal of ScienceRise*, 4(2 (21)), 37 [in English].
8. Ferencsik, V. & Varga, G. (2019). Analysis of Surface Microhardness on Diamond Burnished Cylindrical Components. *Journal of Cutting & Tools in Technological System*, 0(90), 151–157 [in English].
9. Kyrychok, P. & Lototska, O. (2011). Eksperymentalni doslidzhennia heometrychnykh parametriv tsylindrychnykh detalei polihrafichnykh mashyn pry kompleksnii obrobtsti. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(33), 4–12. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(33\).2011.52142](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(33).2011.52142) [in Ukrainian].
10. Kyrychok, P. & Trishchuk, R. (2017). Pidvyschennia eksploataciynykh vlastyvostei detalei linii dlia vyhotovlennia intehrainykh obkladnyok z shyrokym klapanom. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(57), 4–19. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(57\).2017.111523](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(57).2017.111523) [in Ukrainian].
11. *Sposib utvorennia rehuliarnoho mikroreliefu* // Patent № u 201006779. Publish 27.12.2010 [in Ukrainian].
12. Trishchuk, R. (2018). Pidvyschennia znosostiikosti detalei polihrafichnoho obladdannia shliakhom modyfikatsii yikh poverkhon metodom ionno-plazmovoho azotuvannia. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 1(59), 48–59. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(59\).2018.135134](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(59).2018.135134) [in Ukrainian].
13. Rudenko, E. & Panarin, V. & Kyrychok, P. & Svavilnyi, M. & Korotash, I. & Polotskyi, D. & Trishchuk, R. (2018). Zmitsnennia poverkhni stali 45 yonnym azotuvanniam u helikonnomu rozriadi. *Journal of Metallofizika i noveyshie tekhnologii*, Vol. 40, 8, 993–1004 [in Ukrainian].
14. Rudenko, E. M. & Panarin, V. Ye. & Kyrychok, P. O. & Svavilnyi, M. Ye. & Korotash, I. V. & Palyukh, O. O. & Polotskyi, D. Yu. & Trishchuk, R. L. (2019). Study of the Processes of Shaping the Hollow Billets from Antifriction Alloys by the Centrifugal and Continuous Casting Methods. *Journal of Usp. Fiz. Met.*, 20, No. 3: 485–501. doi: [10.15407/ufm.20.03.485](https://doi.org/10.15407/ufm.20.03.485) [in English].
15. Dhafer, W. A.-R. & Kostyk, V. & Kostyk, K. & Glotka, A. & Chechel, M. (2016). The choice of the optimal temperature and time parameters of gas nitriding of steel. *Journal of Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, Issue 5(81), 44–50. DOI: [10.15587/1729-4061.2016.69809](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69809) [in English].
16. Corr, C. & Plihon, N. & Chabert, P. & Sutherland, O. & Boswell, R. W. (2004). Spatially limited ion acoustic wave activity in low-pressure helicon discharges. *Journal of Phys. Plasmas.*, v. 11, 4596–4602. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1785790> [in English].
17. *Poverkhnosti s regulyarnym mikroreliefom. Klassifikatsiya, parametry i kharakteristiki*: GOST 24773-81 [in Russian].
18. Kyrychok, P. & Trishchuk, R. & Rybak, O. (2018). Rozrakhunky vidnosnoi opornoj ploschi tsylindrychnykh poverkhon detalei polihrafichnoho obladdannia pry kombinovanomu zmitsnenni vibroobkatuvanniam. *Journal of Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 3(61), 4–13. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(61\).2018.155937](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(61).2018.155937) [in Ukrainian].



Разработан алгоритм управления комплексным технологическим процессом поверхностного упрочнения цилиндрических деталей транспортировочно-координирующего узла линии для изготовления интегральных обложек с широким клапаном, что позволит обеспечить оптимальные режимы обработки деталей и рациональную последовательность их внедрения. Применение этого алгоритма будет гарантировать высокие показатели качества и прогнозируемые геометрические и физико-механические параметры поверхности деталей.

Ключевые слова: отделочно-упрочняющая обработка; микрорельеф; пластическое деформирование; алгоритм управления упрочнением; ионное азотирование.

An algorithm for controlling the complex technological process of surface hardening of cylindrical parts of the transport-coordinating node of a line for the manufacture of integral covers with a wide valve is developed. This will ensure optimum machining of parts and a rational sequence of their implementation. The application of this algorithm will guarantee high quality indicators and predicted geometric and physical-mechanical parameters of the surface of the parts.

Keywords: finishing-strengthening treatment; microrelief; plastic deformation; algorithm for controlling of surface hardening; ion nitriding.

Рецензент — А. І. Іванко, канд. техн. наук,
доцент, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції 22.05.19