

УДК 686.1.023.2

DOI: 10.20535/2077-7264.2(80).2023.292277

© П. О. Киричок, д-р техн. наук, проф., Д. О. Палюх, асп.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
УТВОРЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФНИХ НАПРЯМНИХ
НА ПРОФІЛЬНИХ ПЛАСТИНАХ
ДЛЯ ФАЛЬЦЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОБКЛАДИНОК**

**Об'єктом дослідження є процеси формування мікро-
рельєфних напрямних на профільних пластинах
для фальцювання інтегральних обкладинок. Про-
ведено аналітичні та експериментальні дослідження
зосереджено на вивченні механізмів утворення мікро-
рельєфів та їх впливу на точність та ефективність
фальцювання.**

**Ключові слова: мікрорельєфні напрямні; профільні
фальцювальні пластини; точність фальцювання;
зносостійкість інструменту.**

Вступ

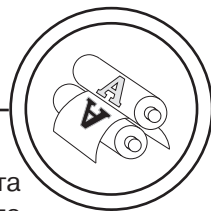
Сучасні профільні фальцювальні пластини, як невіддільні інструменти механізмів фальцювально-склеювальних ліній, грають відповідальну роль у точному формуванні інтегральних обкладинок. Вони мають точно визначені краї та кути, які використовуються для згинання паперу або картону під час проходження через машину.

Завдяки цьому обладнанню можна швидко та точно формувати згини на матеріалі, що значно підвищує продуктивність та якість кінцевого продукту. Ці інструменти не тільки підвищують якість кінцевих виробів, але й забезпечують ефективність виробничих операцій, вносячи вклад в оптимізацію технологічних процесів.

Профільні пластини гарантують точне та рівномірне згинання матеріалів різної товщини й жорсткості, від тонкого паперу до хром-ерзац картону. Ця точність важлива для забезпечення однорідності обкладинок, особливо в умовах масового виробництва, де кожна деталь має значення.

Особливо важливою є розробка профільних фальцювальних пластин, що враховують специфічні властивості різних видів паперу і картону. Така адаптація забезпечує не тільки універсальність використання в різних виробничих умовах, але й дозволяє мінімізувати відходи та оптимізувати використання ресурсів.

Додатково, використання зносостійких матеріалів і технологій зміцнення поверхневих шарів,



таких як утворення мікрорельєфних напрямних, значно підвищує довговічність пластин. Це не тільки знижує ризик пошкодження обкладинок під час фальцювання, але й сприяє зменшенню екологічного впливу виробничого процесу, роблячи його більш сталим та ефективним.

Фальцювальні пластини, адаптовані для створення різноманітних типів згинів, є ключовим елементом у виробництві обкладинок зі складними дизайнерськими елементами.

Їх гнучкість у налаштуванні, що дозволяється через програмне забезпечення або механічну адаптацію, відіграє важливу роль у виробництві обкладинок різних розмірів та дизайнів. Це значно підвищує гнучкість виробничого процесу та зменшує час, необхідний для підготовки та переналаштування обладнання.

Фальцювальні пластини також інтегровані в автоматизовані системи контролю якості, що дозволяє проводити автоматичну перевірку кожної обкладинки на точність згинів та відповідність заданим параметрам.

Ці системи використовують передові технології, такі як оптичні сенсори та програмне забезпечення для аналізу даних, що забезпечує високий рівень точності та якості кінцевого продукту.

Така інтеграція не тільки підвищує продуктивність, але й забезпечує високий стандарт якості обкладинок, відповідно до вимог сучасного ринку.

Використання матеріалів із низьким рівнем адгезії у виробництві фальцювальних пластин забезпечує легке відокремлення готових обкладинок від пластин.

Це запобігає їх прилипанню та зберігає високу якість кінцевого продукту.

Крім того, інновації у виробництві фальцювальних пластин, особливо впровадження передових технологій зміцнення поверхонь, забезпечують довговічність робочих поверхонь, що контактують з обкладинками під час фальцювання.

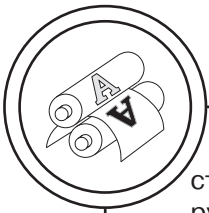
Це не лише підвищує якість фінішного продукту, але й знижує витрати на технічне обслуговування обладнання, роблячи процес ефективнішим та надійнішим.

Отже, спеціалізовані фальцювальні пластини, які застосовуються в поліграфічній промисловості, відіграють важливу роль не тільки у формуванні якісних обкладинок, але і є важливим елементом у підтриманні високих стандартів продуктивності та якості виробництва.

Постановка проблеми

Технологічну інновацію у сфері виготовлення компонентів для поліграфічного обладнання представляє поверхневе зміцнення профільних фальцювальних пластин. Цей процес, що базується на пластичній деформації та створенні мікрорельєфних напрямних, значно підвищує продуктивність та ефективність поліграфічного устаткування. Водночас він відкриває нові перспективи для створення вдосконалених компонентів з підвищеною зносостійкістю та міцністю, особливо в частинах, що схильні до швидкого зношування.

Покращення поверхневого шару фальцювальних пластин здійснюється без додаткового нагрівання, за допомогою викори-



стання спеціального прес-інструменту. Його робоча поверхня має деформувальний профіль, що дозволяє точно відтворювати конфігурацію мікрорельєфного заглиблення. В процесі деформування, основна маса металу поверхневого шару ущільнюється вглиб структурного масиву деталі, забезпечуючи міцність та довговічність.

Залишкові пластичні деформації, що виникають під час цього процесу, не впливають на якість удосконаленої поверхні. Натомість формується точний та рівномірний мікрорельєф, який сприяє поліпшенню фізико-механічних характеристик деталей та продовжує їх експлуатаційний термін.

Пластична деформація відіграє важливу роль не лише в удосконаленні точності виготовлення компонентів, але й сприяє зниженню обсягів виробничих відходів. Це особливо актуально в контексті сучасних вимог до ресурсо-

ощадного та сталого розвитку. Завдяки цій технології, знижується потреба у частих ремонтах, оптимізуються виробничі витрати, що в цілому покращує надійність та продуктивність обладнання.

Нанесення мікрорельєфу на поверхні профільних пластин (рис. 1) значно підвищує їх властивості, зокрема стійкість до механічних навантажень під час фальцювання. Це, своєю чергою, зменшує знос та підвищує довговічність механізмів.

Тому, розробка інноваційних методів поверхневого зміцнення, включаючи пластичну деформацію профільних фальцювальних пластин, є актуальним напрямом досліджень. Ці інновації мають важливе значення для покращення якості фальцювальних процесів, що є ключовим чинником у виробництві високоякісних поліграфічних виробів.

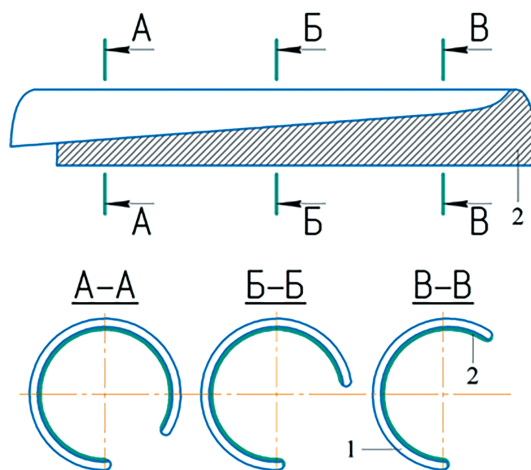
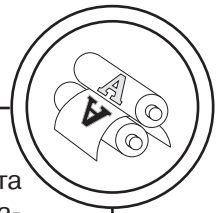


Рис. 1. Фальцювальна пластина зі змінним лінійним профілем: 1 — профільна пластина; 2 — мікрорельєф на робочій поверхні пластини; А-А, Б-Б, В-В — перерізи (збільш.) змінних профільних ділянок



Аналіз попередніх досліджень

В роботі [1] основна увага зосереджується на технологіях зміцнення поверхневого шару металевих деталей за допомогою вібраційної обробки, яка створює мікрорельєф на їх поверхні. Відзначено, що вібраційне зміцнення базується на динамічному впливі, де безліч мікроударів інструмента або частинок середовища формують мікрорельєф, поліпшуючи фізико-механічні властивості оброблюваної поверхні. Сформований віброобробленням мікрорельєф знижує коефіцієнт тертя в рухомих сполученнях від 1,6 до 2,2 рази. Проте запропонований у цій роботі опис функціонала не враховує профільних поверхонь деталей.

Автори статті [2] описують динаміку процесу формування регулярного мікрорельєфу на внутрішніх циліндричних поверхнях деталей, які експлуатуються в складних умовах, з метою збільшення їхнього життєвого циклу. В результаті аналізу розроблено математичну модель динамічного процесу формування регулярного мікрорельєфу, особливістю якого є його утворення концентрованою силою, що має змінну точку застосування у радіальному та аксіальному напрямках відносно деталі. Проте, попри переваги такого алгоритму, залишається відкритим питання можливості формування мікрорельєфних напрямних.

Результатами досліджень [3] встановлено, що більш значущими з досліджуваних параметрів мінливості розмірів і форми комірок утворюваного мікрорельєфу на поверхні деталей є ті, що пов'язані з характеристиками траек-

торії деформувального елемента (частота та амплітуда), ніж інші параметри, які належать до пластичної деформації (сила та діаметр кульового інструменту).

Особливий інтерес має інтерпретація результатів формування частково правильного мікрорельєфу [4] у виді V-подібних канавок, зміщеного на кутовий крок $0,5^\circ$ на поверхні корпусу деталі. Крім того, в роботі показано, що перетини між пазами канавок можуть бути різного типу. Визначено залежність між геометричними параметрами V-подібних канавок та їх розташуванням. Встановлено вплив геометричних параметрів канавок на площу перекриття залежно від їх розташування. Попри практичну значущість таких результатів, не розглянуто достатньою мірою створення мікрорельєфу на плоских поверхнях.

Метою наступної роботи [5] є порівняння впливу передових методів механічної поверхневої обробки на характеристики поверхні аустенітної нержавіючої сталі для поліпшення якості поверхні й збільшення величин твердості, глибини зміцнення та залишкових напружень стискання у приповерхневих шарах. Показано, що комбіновані методи зміцнення поверхонь деталей призводять до збільшення значень залишкових напружень, порівняно з одиничним процесом, забезпечуючи глибину зміцнення приблизно до 1 мм.

Розвиток поглядів на моделювання таких об'єктів може бути знайдено в роботі [6], в якій показано дослідження математичних залежностей і побудові імітаційної моделі утворення мікрогеометричного рисунка на циліндричних поверхнях деталей друкарських



машин після тонкої механічної обробки абразивним шліфувальним інструментом. Для складання математичних перетворень, що описують рух абразивних зерен відносно оброблюваної поверхні деталі розроблено послідовний математичний опис руху абразивного зерна шліфувального круга на площині. Виконано трансформацію площини руху зерна в циліндр та перетворення координат у просторовій циліндричній системі. Проте, в дослідженнях не враховано методів створення зміцненої поверхні деталей, у виді мікрорельєфних напрямних.

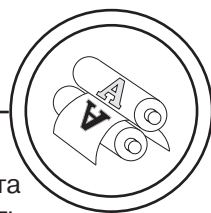
Створення однорідно зміцненого поверхневого шару [7] та формування оптимальних залишкових напружень стиснення і вдосконаленої твердості матеріалу, через поверхневе пластичне деформування (ППД), має певні обмеження, але, які в практичній площині, можливо здійснити за допомогою точного налаштування параметрів обробки. Впровадження динамічних навантажень в ППД призводить до значного поліпшення у зміцненні та глибині обробки поверхневого шару.

Метою досліджень [8] є систематизований виклад спеціальних методів оброблення робочих поверхонь деталей машин та особливостей технологічної підготовки виробництва з використанням нових технологічних методів. Особливістю дослідницьких розробок є використання нейромережевого аналізу як інструменту отримання адекватних математичних моделей процесів поверхневого зміцнення деталей машин. Попри очевидно правильне застосування математичного апарату та ал-

горитму його реалізації практичні наслідки наведено в роботі лише концептуально.

Для підвищення фізико-механічних характеристик зовнішнього шару круглих деталей, на завершальній стадії модифікації поверхневої міцності, після утворення мікрорельєфу [9], використовується технологія іонного азотування. Цей процес відбувається в безводневому середовищі з використанням плазми геліконного розряду, що забезпечує глибоку модифікацію матеріалу. Внаслідок цього, відбувається зміна складу на поверхні металу деталей через дифузійні процеси, спричиняючи формування нового структурно-фазового стану. Цей новоутворений стан відрізняється від внутрішньої структури (серцевини) деталей, значно підвищуючи їхню довговічність та надійність у використанні. Проте, попри переваги такого методу, залишається відкритим питання модифікації поверхневої міцності профільних деталей.

Результатами проведених досліджень [10] передбачено застосування інноваційних методів зміцнювальної обробки циліндричних поверхонь, що фокусуються на створенні регулярного мікрорельєфу. Особливістю запропонованої методики вдосконалення циліндричних поверхонь є формування повністю регулярного мікрорельєфу з ввігнутими формами комірок, після чого нанесено частково регулярні шліцьові заглибини у виді плоскопаралельних канавок, розташованих під кутом до центральної осі циліндра. Однак, слід зазначити, що в даній роботі не наведено досліджень стосовно розташування мікрорельєф-



них напрямних вздовж напрямку технологічного руху розгортки склеюваних обкладинок.

Таким чином, актуальними є дослідження, що зосереджуються на процесах утворення мікрорельєфних напрямних на профільних пластинах для фальцювання інтегральних обкладинок. Важливість цих досліджень полягає у визначенні оптимальних характеристик та параметрів мікрорельєфних напрямних, які сприятимуть підвищенню точності та якості фальцювання розгортки інтегральних обкладинок. Це, своєю чергою, впливає на ефективність виробничих процесів, оптимізацію витрат і загальну продуктивність брошурувально-палітурних процесів.

Мета роботи

Це дослідження спрямоване на ідентифікацію ключових чинників, необхідних для формування мікрорельєфних напрямних, та аналізує процеси їхнього утворення на профільних пластинах, використовуваних у фальцюванні інтегральних обкладинок. Основним завданням є дослідження впливу цих напрямних на точність та якість формування кінцевих виробів. Це дозволить оптимізувати технологічний процес фальцювання, забезпечуючи високу якість і точність виробництва інтегральних обкладинок. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

— вивчити процеси, що впливають на зносостійкість та довговічність профільних фальцювальних пластин в умовах тривалої експлуатації;

— дослідити механізми формування мікрорельєфних напрям-

них на профільних пластинах та оцінити їх вплив на ефективність процесу фальцювання;

— проаналізувати взаємодію мікрорельєфних напрямних з матеріалом обкладинок для визначення найбільш ефективних параметрів фальцювання.

Результати проведених досліджень

У сучасній поліграфічній індустрії, глибоке розуміння процесів зносу обладнання є особливо важливим для забезпечення високої якості продукції та ефективності виробництва. Це особливо актуально для профільних фальцювальних пластин, які використовуються при обробці розгортки інтегральних обкладинок. Важливо дослідити, як частота фальцювання розгортки впливає на швидкість зносу та глибину утворених на поверхні пластин заглибин.

Це стає ще більш важливим, оскільки для склеювання конструктивних елементів інтегральних обкладинок часто застосовуються водорозчинні полівінілацетатні дисперсії (ПВА), які можуть залишати клейові рештки на фальцювальних пластинах. Ця обставина зумовлює необхідність використання матеріалів з високою корозійною стійкістю. Тому фальцювальні пластини часто виготовляються з нержавіючої сталі, яка ефективно протистоїть іржавленню. Попри те, що звичайні сталеві пластини можуть бути більш економічно вигідними через нижчу вартість, вони не забезпечують порівнянного рівня стійкості до корозії.

Серед різних варіантів нержавіючої сталі, які розглядаються



як потенційно придатні для виготовлення фальцювальних пластин (табл. 1), тип 316L (AISI) вирізняється завдяки своєму складу. Він містить високий відсоток хрому та нікелю та має низький вміст вуглецю, що робить його одним з найбільш універсальних та широко використовуваних серед аустенітних нержавіючих сталей. Цей модифікований аустенітний сплав з 18 % вмісту хрому і 12 % нікелю відзначається високою ефективністю у промисловому використанні.

Цей високолегований сплав вирізняється своєю термічною стабільністю, яка дозволяє йому залишатися незмінним при коливаннях температури. Це ключова властивість, означає, що матеріал залишається стійким і не піддається суттєвим змінам, ні під час нагрівання, ні під час охолодження. Така стабільність робить його доцільно придатним для виготов-

лення профільних фальцювальних пластин, адже для підвищення їх міцності не потрібно проводити додаткову термічну обробку.

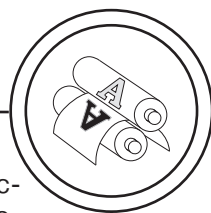
Стабільність та надійність цього матеріалу забезпечуються завдяки високому вмісту хрому та нікелю у складі сплаву. Ці елементи сприяють формуванню міцної структури та забезпечують високий рівень стійкості до корозії, що є надзвичайно важливим для збереження якості та структури пластин протягом тривалого часу експлуатації.

Окрім цього, сталь марки 316L (AISI) відзначається високою пластичністю та міцністю, що сприяє холодному формуванню та пластичній деформації за потреби зміцнення поверхневого шару фальцювальних пластин без втрати якості. Ці властивості сталі 316L (AISI) визначили її вибір для виготовлення профільних фальцювальних пластин, оскільки вона забезпечує тривалу стабільність

Таблиця 1
Вибірка відповідності основних марок нержавіючої сталі
вмісту легувальних добавок згідно з міжнародними стандартами

| Сталь | DIN | AISI | Cr | C | Mn | Ni | Mo |
|-------|--------|-------|-------|------|-----|---------|-------|
| C1 | 1.4021 | 420 | 12–14 | 0,20 | 1,5 | | |
| F1 | 1.4016 | 430 | 16–18 | 0,08 | 1,0 | | |
| A1 | 1.4305 | 303 | 16–19 | 0,12 | 6,5 | 5–10 | 0,7 |
| A2 | 1.4301 | 304 | 18–19 | 0,07 | | | |
| | 1.4948 | 304H | 18–20 | 0,08 | 2,0 | 8–10,5 | |
| | 1.4306 | 304L | 18–20 | 0,03 | 2,0 | 10–12 | |
| A3 | 1.4541 | 321 | 17–19 | 0,08 | 2,0 | 9–12 | |
| | 1.4401 | 316 | 16–18 | 0,08 | 2,0 | 10–14 | 2–2,5 |
| A4 | 1.4435 | 316S | 16–18 | 0,08 | 2,0 | 12–14 | 2,5–3 |
| | 1.4404 | 316L | 17–19 | 0,03 | 2,0 | 10–14 | 2–3 |
| A5 | 1.4571 | 316Ti | 16–18 | 0,08 | 2,0 | 11–12,5 | 2–3 |

AISI (American Iron and Steel Institute) США, DIN (Deutsche Industrie Norm) Німеччина



форми та розмірів пластин, навіть, при інтенсивному використанні та змінах умов експлуатації.

Таким чином, можна з упевненістю стверджувати, що знос поверхні фальцювальних пластин з нержавіючої сталі 316L (AISI) в процесі фальцювання розгорток інтегральних обкладинок є багатофакторним явищем. Він залежить не лише від конструкційних особливостей та якості виготовлення самих пластин, а й від характеристик використовуваних палітурних матеріалів, зокрема картону хром-ерзац.

Підвищена швидкість роботи фальцювально-склеювальної лінії не лише призводить до збільшення температури у зоні контакту, але й збільшує тиск на поверхню фальцювальних пластин. Це може сприяти прискореному зносу матеріалу. Додатково, постійний тиск та висока частота повторень фальцювальних процесів також можуть збільшувати ступінь зносу. Глибоке розуміння цих взаємозалежностей є важливим для розробки точних моделей прогнозування зносу та планування ефективного обслуговування обладнання.

Можна розглядати основну формулу, яка виражає залежність між кількістю фальцьованих розгорток обкладинок та глибиною утворених заглибин на поверхні фальцювальних пластин, як функцію зносу від кількості циклів. Ця формула може включати змінні, як-от тиск, температура та частота повторень, щоб забезпечити більш точне визначення зносу і допомогти у визначенні оптимальних умов роботи обладнання:

$$D = f(N), \quad (1)$$

де D — глибина заглибин у пластинах, а N — кількість фальцьованих розгорток.

Функція $f(N)$ може бути визначена на основі експериментальних даних. Це дозволяє встановити точну математичну модель, яка описує знос пластин відповідно до кількості циклів фальцювання.

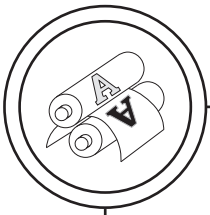
Наприклад, якщо знос має лінійну залежність від кількості циклів, формула має наступний вид:

$$D = k \cdot N + D_0, \quad (2)$$

де k — коефіцієнт зносу, що визначається експериментально, а D_0 — первісна глибина заглибин до початку експлуатації.

Для поглибленого визначення зазначеної формули необхідно провести систематизовані експерименти, під час яких слід вимірювати глибину заглибин на поверхні фальцювальних пластин після певної кількості циклів фальцювання. Вимірювання мають бути проведені після кожного визначеного числа циклів, щоб забезпечити достатню точність даних. Аналіз отриманого масиву даних сприятиме математичній кореляції опису цієї залежності.

Більш того, щоб врахувати додаткові залежності в моделі функції зносу, які значною мірою впливають на перебіг технологічного процесу фальцювання розгорток обкладинок, необхідно розширити початкову формулу, додавши параметри, такі як швидкість фальцювання, тиск на пластини, частоту циклів фальцювання, а також умови виробничого середовища, включаючи температуру та вологість. Така багатофакторна модель у загальному випадку може бути представлена таким чином:



$$D = f(N, V, P, F, T, H), \quad (3)$$

де D — глибина заглибин у пластинах, N — кількість фальцюваних розгорток, V — швидкість фальцювання, P — тиск на пластини, F — частота циклів фальцювання, T — температура виробничого середовища, H — вологість виробничого середовища.

Функція f може бути складною і вимагати емпіричного визначення, оскільки вона має включати взаємодію між цими змінними. Для визначення конкретної форми функції f можуть бути використані методи регресійного аналізу, що базуються на зібраних експериментальних даних.

На практиці, це може вимагати великої кількості даних та складного аналізу для точного моделювання цих залежностей. Кожен з цих чинників може впливати на знос у різній мірі, і відносини між ними можуть бути нелінійними або між залежними.

Для моделювання залежності зносу фальцювальних пластин від різних чинників, у загальному випадку, розроблено загальну багатофакторну модель з перехідними коефіцієнтами. Ці коефіцієнти представляють вплив кожного чиннику на знос. Нижче наведено прикладну модель:

$$D = a \cdot N^b + c \cdot V^d + e \cdot P^f + g \cdot F^h + i \cdot T^j + k \cdot H^l + M, \quad (4)$$

де $a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l$ — перехідні коефіцієнти для кожного параметра, M — константа, яка враховує початковий стан зносу та інші чинники, які не включені в модель.

Кожен перехідний коефіцієнт (a, b, c, \dots, l) представляє вплив відповідного чиннику на знос і по-

винен бути визначений емпірично через детальні експерименти та аналіз даних. Ступені кожного члена ($N^b, V^d, P^f, \dots, H^l$) дозволяють моделювати лінійні або нелінійні залежності.

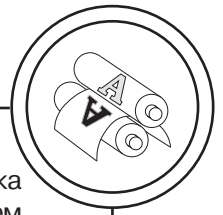
Ця модель є гнучкою і може адаптуватися до різних умов і параметрів, але важливо зазначити, що точне визначення коефіцієнтів та валідація моделі потребує проведення експериментального аналізу.

Очевидно, подібні підходи дозволяють знаходити прийнятні рішення тільки в тому випадку, який точно визначає поверхневий знос фальцювальних пластин під час швидкісного тертя обкладинок. Для цього додатково необхідно врахувати кілька ключових чинників.

По-перше, важливо встановити, як швидкість тертя обкладинок впливає на знос пластин. По-друге, слід уважно розглянути вплив матеріалу фальцювальних пластин, а також різноманітності матеріалів обкладинок, які включають крейдований папір, хром-ерзац та палітурний картон. Ці аспекти є суттєвими для розуміння зносостійкості фальцювальних пластин, якщо кінцевий стан процесу відомий, та розробки формули для прогнозування їх зношування, математичний опис якої має вид:

$$W = k \cdot v^n \cdot f(m_p, m_c), \quad (5)$$

де W — ступінь зносу фальцювальних пластин; k — коефіцієнт зносу, що враховує властивості матеріалу пластин; v — швидкість тертя розгорток обкладинок по пластинам; n — експоненційний коефіцієнт (величина залежної змінної і швидкість її зростання є прямо-



пропорційним — $\frac{dx}{dt} = kx$, де $x = ae^{kt}$), що характеризує залежність зносу від швидкості тертя (зазвичай в межах від 1 до 3); $f(m_p, m_c)$ — функція, яка враховує властивості матеріалів виготовлення розгортки обкладинок (крейдований папір, хром-ерзац, папітурний картон). Ця функція може включати параметри, такі як твердість, гладкість, і інші фізичні характеристики матеріалів.

Для точного визначення цих параметрів необхідно додатково провести експериментальні дослідження, оскільки вони можуть сильно варіюватися залежно від конкретних умов використання і властивостей матеріалів.

Коефіцієнт зносу k , який є ключовим критерієм у визначенні довговічності матеріалів, придатних для виготовлення профільних фальцювальних планок, відіграє важливу роль у забезпеченні їхньої тривалої експлуатаційної ефективності та надійності (табл. 2).

Коефіцієнт зносу відрізняється для різних металів, таких як сталь 30, сталь 45, нержавіюча сталь, дюралюміній та латунь, залежно від їхніх унікальних фізич-

них властивостей. Сталь 30, яка характеризується середнім рівнем твердості та міцності, має порівняно низький коефіцієнт зносу, хоча він може бути вищим порівняно з більш твердими сталями. У контрасті, сталь 45, зі своєю вищою міцністю та твердістю, має тенденцію до нижчого коефіцієнта зносу порівняно зі сталлю 30.

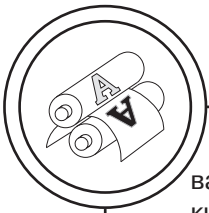
Суттєвою альтернативою є нержавіюча сталь, чия висока корозійна стійкість та міцність сприяють зниженню коефіцієнта зносу, особливо у середовищах, де корозія є значним чинником. З іншого боку, дюралюміній, легкий але міцний сплав алюмінію, має нижчу твердість порівняно зі сталлю, що може призвести до вищого коефіцієнта зносу. Нарешті, латунь, яка має меншу твердість ніж сталі та дюралюміній, часто виявляє вищий коефіцієнт зносу.

Отже, детальне розуміння взаємозв'язків між фізичними властивостями різних матеріалів та їх зносостійкістю сприяє у виборі найбільш ефективного та довговічного матеріалу для виготовлення профільних фальцювальних пластин. Згідно з даними, представленими у табл. 1, нержавіюча сталь виявилася оптимальним

Таблиця 2

Коефіцієнти зносу для вибірки металів виготовлення профільних фальцювальних пластин

| № п/ч | Зразки металів | Коефіцієнт зносу (min), мм ³ /Нм | Коефіцієнт зносу (max), мм ³ /Нм |
|-------|------------------|---|---|
| 1 | Сталь 30 | 1×10^{-5} | 5×10^{-5} |
| 2 | Сталь 45 | $0,8 \times 10^{-5}$ | 4×10^{-5} |
| 3 | Нержавіюча сталь | $0,6 \times 10^{-5}$ | 3×10^{-5} |
| 4 | Дюралюміній | 2×10^{-5} | 6×10^{-5} |
| 5 | Латунь | 3×10^{-5} | 8×10^{-5} |



варіантом для виготовлення таких пластин, завдяки своїй високій міцності, корозійній стійкості та ефективності у тривалому використанні.

Щоб об'єднати загальну формулу для визначення поверхневого зносу фальцювальних пластин з формулою, яка враховує глибину заглибин у пластинах, розглянуто поверхневий знос, як частину загального процесу зношування, який також включає формування заглибин. Таким чином, інтегрована формула має вид:

$$Z = K \cdot \left(\frac{F}{A}\right)^\alpha \cdot d^\beta \cdot E^\gamma + a \cdot N^b + c \cdot V^d + e \cdot P^f + g \cdot F^h + i \cdot T^j + k \cdot H^l + M, \quad (6)$$

де Z — загальний знос фальцювальних пластин, який включає як поверхневий знос, так і глибину заглибин.

Особливо слід відзначити, що зношування фальцювальних пластин та зміна їх геометричних параметрів з часом є результатом додаткового впливу різноманітних чинників, які виходять за рамки звичайного зносу, від якості матеріалів до тривалості та інтенсивності використання, включаючи вплив технологічних умов роботи, екстремальних умов навколишнього середовища, корозії, накопичення забруднень, неправильного технічного обслуговування, механічних ударів та вібрацій, та механічних навантажень на зношування.

Для створення формули, яка враховує зазначені чинники для зношування фальцювальних пластин, необхідно інтегрувати різноманітні фізичні, хімічні та механіч-

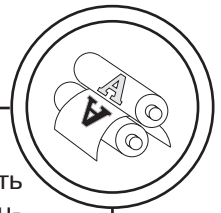
ні процеси. Однак, для наближення до реальних умов, розроблено багатофакторну формулу, яка б враховувала основні аспекти зношування:

$$Z_{total} = Z_{basic} + f_1(M, Q, T, H) + f_2(V, P, F) + f_3(C, I, E), \quad (7)$$

де Z_{total} — загальний знос фальцювальних пластин; Z_{basic} — базовий знос, визначений через коефіцієнти та характеристики матеріалів (може включати формулу, розглянуту попередньо); $f_1(M, Q, T, H)$ — функція, що враховує механічні удари (M), якість матеріалів (Q), температуру (T) та вологість середовища (H); $f_2(V, P, F)$ — функція, що враховує швидкість фальцювання (V), тиск на пластини (P) та частоту циклів фальцювання (F); $f_3(C, I, E)$ — функція, що враховує корозію (C), інтенсивність використання (I) та вплив вібрацій або екстремальних умов (E).

Для числового обрахунку така формула є узагальненою і потребує конкретизації та емпіричного визначення кожного з чинників та їх взаємодії. В реальних умовах, така модель має бути адаптована та уточнена відповідно до специфіки виробництва, характеристик обладнання та матеріалів. Крім того, для подальшого математичного моделювання необхідно враховувати, що деякі з цих чинників можуть мати нелінійні або складні взаємозв'язки.

Завдяки підсиленню поверхневого шару фальцювальних пластин з нержавіючої сталі, які контактують із клапанами обкладинок із картону хром-ерзац, можливо значно покращити їхні експлуатаційні характеристики. До-



даткове зміцнення поверхні пластин суттєво зменшує знос, викликаний постійним тертям картону, тим самим збільшуючи термін їх служби та зменшуючи необхідність у частій заміні.

Таке покращення поверхневого шару не тільки підвищує загальну міцність пластин, але й робить їх більш стійкими до механічних пошкоджень і деформацій. Використання нержавіючої сталі, з її високою корозійною стійкістю, і подальше підсилення її поверхневого шару може значно покращити ці властивості, особливо важливі в умовах постійного контакту з різними палітурними матеріалами, включаючи картон.

Це означає, що вдосконалена поверхня пластин забезпечує більш гладке тертя з картонними клапанами, знижуючи опір і полегшуючи процес фальцювання, що, своєю чергою, сприяє плавній та більш ефективній роботі обладнання. В результаті, зміцнені поверхневі шари не тільки збільшують довговічність та на-

дійність пластин, але й знижують ризик непередбачуваного ламання чи збоїв у роботі обладнання, забезпечуючи стабільність та надійність усього виробничого процесу.

Для досягнення цих переваг, можна використовувати різні технології зміцнення поверхні профільних пластин, сприятливі для визначеного типу сталі 316L (AISI) та, які краще відповідають специфічним умовам експлуатації механізмів фальцювання й вимогам до склеєних інтегральних обкладинок.

До таких сприятливих технологій зміцнення поверхонь профільних фальцювальних пластин, що суттєво покращують їхні експлуатаційні характеристики, можливо віднести технології нанесення мікрорельєфу

Утворення мікрорельєфу на поверхні фальцювальних пластин (рис. 2) може зменшити тертя між пластинами та картонними клапанами, що позитивно впливає на більш плавний і менш зно-

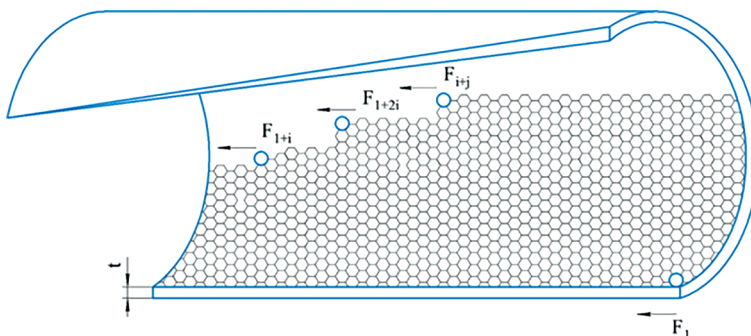
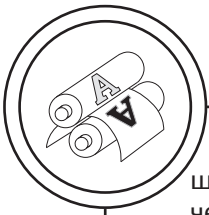


Рис. 2. Фрагмент профільної фальцювальної пластини зі схемою послідовного нанесення мікрорельєфу, t — товщина пластини; F_1 — тиск та напрям руху індентора на початковому етапі утворення мікрорельєфу; F_{1+i} , F_{1+2i} , F_{1+j} — тиск та напрям руху індентора на проміжних етапах утворення мікрорельєфу



шувальний контакт. Це, своєю чергою, допомагає знизити опір під час фальцювання, роблячи весь процес більш дієвим. Крім того, наявність мікрорельєфу на поверхні пластин підвищує їх стійкість до зносу, особливо в місцях інтенсивного і постійного контакту з клапанами обкладинок.

Це важливо, оскільки рівномірний розподіл навантаження на поверхні пластин, який забезпечується завдяки мікрорельєфу, знижує ризик місцевих пошкоджень і подовжує термін експлуатації обладнання.

Методика нанесення мікрорельєфу сприяє не лише покращенню антифрикційних властивостей поверхонь фальцювальних пластин, але й додатковому збільшенню корозійної стійкості. Важливо вибрати метод, який найкраще відповідає специфічним вимогам процесу фальцювання та матеріалу, з яким контактуватимуть пластини.

При виборі інденторів для створення поверхневого зміцнення та мікрорельєфу на профільних фальцювальних пластинах з нержавіючої сталі основними критеріями є матеріал індентора, його форма, розмір, спосіб нанесення рельєфу, вартість та доступність.

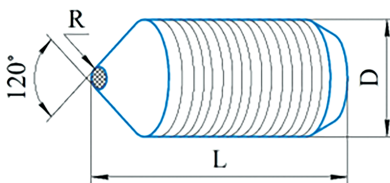


Рис. 3. Наконечник індентора армований композитом АКТМ+,
R — радіус армованого композиту;
L — довжина наконечника; D — діаметр наконечника

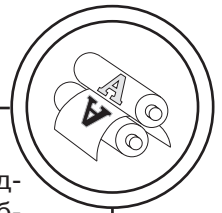
Індентори мають бути виготовлені з матеріалу, який перевершує твердість нержавіючої сталі, наприклад, з вольфрам-карбіду або алмазу, щоб забезпечити точне формування мікрорельєфу без значного зносу.

Алмазне вигладжування є завершальним етапом у підвищенні якості поверхневого шару конструктивних елементів виконавчих фальцювально-склеювальних механізмів, що істотно впливає на їх експлуатаційні характеристики. Цей процес полягає у пластичному деформуванні базового мікропрофілю поверхні алмазним інструментом з регульованими зусиллями вдавлювання. Така методика сприяє вирівнюванню мікрогребенів і заповненню мікроулоговин об'ємом деформованих гребенів, що покращує гладкість і однорідність оброблюваної поверхні. Це забезпечує не тільки високу якість обробки, але й збільшує стійкість поверхні до зносу та корозії, розширюючи спектр застосування зміцнених деталей в різних умовах експлуатації.

На рис. 3 зображено наконечник індентора армований композитом АКТМ+, який можливо застосувати для зміцнення поверхневого шару профільних фальцювальних пластин для інтегральних обкладинок.

Алмазний композиційний терmostійкий матеріал підвищеної зносостійкості (АКТМ+) отримано в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України спіканням у НРНТ умовах алмазних мікропорошків з добавкою n-шарових графенів ($n \geq 2$) у кількості 0,01–0,30 % (за масою) [11].

Дослідження [11] показало, що вигладжувальний інструмент, уком-



плектований вставками з алмазного композиту АКТМ+, виявляє високу зносостійкість при вигладжуванні поверхонь деталей, що є порівняним з інструментами, оснащеними природними алмазами.

За результатами цього процесу, шорсткість обробленої поверхні відповідає високим стандартам якості, які висуваються до сучасних вигладжувальних інструментів, забезпечуючи оптимальну точність та якість обробки.

Застосування методу алмазного вигладжування у фінішних операціях обробки значно покращує якість поверхневого шару деталей, що сприяє підвищенню їх експлуатаційних характеристик. Проте, інтеграція цього методу в промислові процеси часто ускладнюється через його відносно низьку продуктивність, обумовлену обмеженими подачами та швидкостями обробки використовуваного алмазного інструменту [12].

Оптимізація продуктивності можлива внаслідок збільшення швидкості обробки. Однак, це викликає підвищення температури

в контактній зоні, що може адверсно впливати на якість обробленої поверхні та призводити до збільшення зносу алмазного інструменту.

Щоб інтенсифікувати теплопередачу, можна застосувати різноманітні методи охолодження, виготовити корпус вигладжувача з матеріалів з вищою теплопровідністю (рис. 4), збільшити площу його тепловіддачі (рис. 5), а також забезпечити оптимальну конструкцію з точки зору розмірів та форми конструктивних елементів.

Поточні індустріальні варіанти вигладжувальних інструментів часто не відповідають цим оптимальним характеристикам. Тому необхідні подальші дослідження, спрямовані на вивчення впливу зазначених чинників на процес вигладжування та температурні умови.

Форма індентора має відповідати бажаному мікрорельєфу, із використанням кулястих, конічних чи пірамідальних інденторів

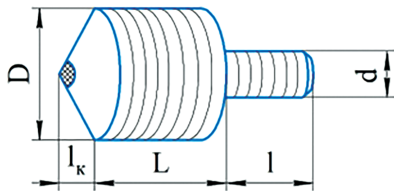


Рис. 4. Індентор з алмазним наконечником у корпусі з матеріалу високої теплопровідності, d — діаметр закріплювальної частини; D — діаметр індентора; L — довжина індентора; l_k — довжина конусної частини; l — довжина закріплювача

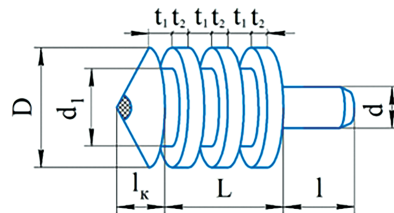


Рис. 5. Індентор з алмазним наконечником у корпусі зі збільшеною площею тепловіддачі, d — діаметр закріплювальної частини; d_1 — діаметр внутрішніх перехідних циліндрів індентора; D — діаметр зовнішніх перехідних циліндрів індентора; L — довжина корпусу; l_k — довжина конусної частини; l — довжина закріплювача



для створення відповідних шаблонів, від округлих вдавлень до гострих та виразних ліній.

Розмір індентора визначає розмір і глибину мікрорельєфу, з меншими інденторами для дрібних деталей і більшими для грубших мікрорельєфів на великих поверхнях.

Важливим є також вибір методу нанесення мікрорельєфу, з можливостями від штампування до гравіювання чи лазерної обробки, кожен з яких вимагає відповідних типів інденторів. Економічний аспект також є важливим, оскільки хоча алмазні індентори надають високу точність, вони можуть бути значно дорожчими порівняно з твердо сплавними інденторами, які часто є більш економічними.

Таким чином, для оптимального створення мікрорельєфу на фальцювальних пластинах з нержавіючої сталі доцільно вибирати індентори з твердих сплавів, враховуючи їх форму, розмір та метод нанесення, щоб задовільнити специфічні технічні та економічні вимоги процесу фальцювання інтегральних обкладинок.

Розроблення класифікації інденторів для формування мікрорельєфу на фальцювальних планках з нержавіючої сталі здійснено з урахуванням типу контактної взаємодії між індентором та поверхнею планки, геометрії індентора, що визначає форму вдавлень, та матеріалу, з якого виготовлено індентор, що впливає на його міцність та зносостійкість.

Тому, необхідно відзначити, що у розробленій класифікації основних типів інденторів для формування мікрорельєфу фальцювальних планок враховано різно-

манітні чинники впливу, в результаті чого індентори поділено за такими категоріями:

1. За *типом контактної взаємодії*:

— *точкові* індентори використовуються для створення дискретних відбитків на поверхні, кожен відбиток формує окремий елемент мікрорельєфу;

— *лінійні* індентори створюють безперервні лінії або борозни на поверхні пластини, використовуються для формування лінійних мікроструктур.

2. За *формою* індентора:

— *конусоподібні* індентори використовуються для створення конічних відбитків, зазвичай застосовуються в точкових техніках;

— *кулькові* індентори формують круглі вдавлення, ефективні для створення рівномірних круглих мікроструктур;

— *плоскі* індентори використовуються для створення плоских і широких вдавлень, що можуть бути корисні для певних видів мікрорельєфів.

3. За *матеріалом* виготовлення індентора:

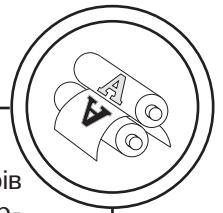
— *алмазні* індентори використовуються для високоточної обробки, здатні створювати гострі та виразні мікрорельєфи;

— *карбідні* індентори мають високу зносостійкість, використовуються для створення більш грубих мікроструктур.

4. За *способом утворення мікрорельєфу*:

— *статичні* індентори використовуються для створення мікрорельєфу без зміни положення індентора відносно пластини;

— *динамічні* індентори забезпечують рух індентора відносно



поверхні пластини, дозволяючи створювати складніші мікроструктури.

Залежно від конкретних технологічних вимог до мікрорельєфу на профільних пластинах з нержавіючої сталі, вибір індентора буде залежати від бажаного результату, необхідної точності, твердості матеріалу пластини та інших чинників.

На основі цих параметрів, можна скласти загальну формулу, яка відображає процес поверхневого зміцнення фальцювальної пластини з нержавіючої сталі під час створення мікрорельєфу методом пресування вигладжувальним індентором:

$$Z = K \cdot \left(\frac{F}{A}\right)^\alpha \cdot d^\beta \cdot E^\gamma, \quad (8)$$

де Z — індикатор зміцнення поверхні, K — константа, яка залежить від специфіки обробки та обладнання, F — тиск індентора, A — площа контакту індентора, d — глибина проникнення індентора, E — модуль Юнга, а α , β , та γ — емпірично визначені експоненти, які описують вплив відповідних параметрів.

Ця формула є узагальненою і може варіюватися залежно від конкретних умов обробки та характеристик матеріалу. Для точного визначення коефіцієнтів K , α , β , та γ потрібні експериментальні дані та тестування.

Для розробки формули оптимальної величини сили алмазного вигладжування при зміцненні поверхні профільних фальцювальних пластин з нержавіючої сталі, необхідно врахувати ряд параметрів.

До показників цих параметрів доцільно долучити радіус і форму робочої частини вигладжувача, пластичність і шорсткість поверхні, що обробляється, глибину впровадження вигладжувача в оброблювану поверхню, подачу, температуру обробки, швидкість вигладжування тощо.

Формула визначення оптимальної сили алмазного вигладжування P , з інтегрованими параметрами:

$$P = K \cdot \left(\frac{D \cdot R^2}{D + R}\right)^2 \cdot \frac{1}{HV} \cdot f(S, A, T, V), \quad (9)$$

де K — коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу; D — діаметр оброблюваної поверхні; R — радіус вигладжування; HV — твердість оброблюваного матеріалу за Віккерс; $f(S, A, T, V)$ — функція, яка включає параметри шорсткості поверхні S , форми робочої частини вигладжувача A , температури обробки T та швидкості вигладжування V .

Тут функцію $f(S, A, T, V)$ введено для врахування взаємозв'язку між параметрами, які можуть впливати на оптимальну силу вигладжування. Конкретна форма цієї функції залежить від специфіки процесу та повинна бути визначена на основі експериментальних досліджень.

З урахуванням інтегрованих параметрів для розрахунку оптимальної сили алмазного вигладжування можна досягти більш точного контролю над процесом вигладжування, що приводить до підвищення якості поверхні, зменшення шорсткості та поліпшення



мікроструктури. Оптимальний розрахунок сили вигладжування допомагає уникнути надмірного навантаження на інструмент, що сприяє збільшенню його терміну служби.

Оптимізація сили вигладжування може привести до зниження витрат часу на обробку, підвищуючи загальну продуктивність процесу. Відповідний розрахунок дозволяє контролювати температуру в зоні обробки, зменшуючи ризик пошкодження деталі внаслідок перегріву. З урахуванням оптимальної величини сили, ризик деформації деталей під час вигладжування мінімізується.

Практичне застосування цієї формули дозволяє встановити стандарти для оптимальних умов вигладжування в конкретних виробничих умовах, зокрема при зміцненні поверхні профільних фальцювальних пластин з нержавіючої сталі. Це сприяє не тільки збільшенню ефективності та якості обробки, але й зменшує виробничі витрати та час, що є визначальними чинниками в промисловому виробництві.

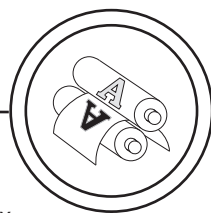
Висновки

1. Визначено, що зносостійкість профільних фальцювальних пластин залежить від якості використовуваних матеріалів, точності виробництва, а також від умов експлуатації, включно з навантаженням та характеристиками оброблюваного матеріалу. Виявлено, що чинники виробничого середовища, як-от температурний режим і вологість, мають суттєвий вплив на довговічність цих пластин. Оптимізація цих умов

може значно збільшити термін служби інструменту. З'ясовано, що застосування поверхневої обробки з нанесенням мікрорельєфу на профільні фальцювальні пластини підвищує їх зносостійкість, оптимізує просторову профільну геометрію та знижує швидкість зносу, підвищуючи ефективність інструменту.

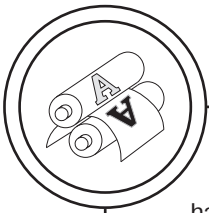
2. Встановлено, що мікрорельєфні напрямні значно підвищують ефективність процесу фальцювання. Вони сприяють кращому керуванню матеріалом під час фальцювання, зменшують втрати матеріалу та збільшують точність формування фальців. Використання мікрорельєфних напрямних дозволяє знизити механічний знос інструменту, оскільки вони забезпечують більш рівномірний розподіл навантаження на поверхні пластин. Мікрорельєфні напрямні сприяють стабільному та контрольованому руху матеріалу, що веде до виробництва рівних і точних фальців.

3. Досліджено, що глибина та кут нахилу мікрорельєфних напрямних істотно впливають на точність та зносостійкість процесу фальцювання обкладинок. Оптимальні параметри цих напрямних підвищують контроль над рухом матеріалу, що забезпечує більш рівномірне фальцювання та знижує ризик пошкоджень. Виявлено, що ефективність мікрорельєфних напрямних залежить від типу матеріалу обкладинок. Налаштування параметрів фальцювання відповідно до характеристик папітурних матеріалів забезпечує оптимальні результати.



Список використаної літератури

1. Паніна В. В. Оброблення робочих поверхонь зубчастих коліс поверхнево-пластичним деформуванням / В. В. Паніна, Г. І. Дашивець, О. Ю. Новик // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12977>.
2. V. Dzyura. Dynamics of relative torsional vibrations in the formation of a regular microrelief on internal cylindrical surfaces / Volodymyr Dzyura, Andrii Babii, Ihor Okipnyi, Dmytro Radyk, Ihor Tkachenko, Olha Myshkovych, Mariia Sokil, Vladyslav Sytarchuk // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. 2021. № 4(104). https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.
3. Slavov S. Variability of Regular Relief Cells Formed on Complex Functional Surfaces by Simultaneous Five-Axis Ball Burnishing / S. Slavov, D. Dimitrov, I. Iliev // UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering 82. August 2020. No. 3. pp. 195–206. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/343696976_Variability_of_regular_relief_cells_formed_on_complex_functional_surfaces_by_simultaneous_five-axis_ball_burnishing.
4. V. Dzyura. Determining Optimal Parameters of Regular Microrelief Formed on the End Surfaces of Rotary Bodies / Volodymyr Dzyura, Pavlo Maruschak, Olegas Prentkovskis // Algorithms. 2021. 14. 46. pp. 1–18. <https://doi.org/10.3390/a14020046>.
5. Lesyk D. A. Combination of Laser Shock Peening with Cavitation, Shot and Ultrasonic Impact Hardening for Stainless Steels Surface Characteristics Improving / D. A. Lesyk, H. Soyama, B. N. Mordyuk, O. Stamann, V. V. Dzhemelinskiy // Metallophysics and Advanced Technologies. 2022. vol. 44. No. 1. pp. 79–95. <https://doi.org/10.15407/mfint.44.01.0079>.
6. Роїк Т. А. Імітаційна модель формування мікрорельєфу поверхні антифрикційних композитних деталей поліграфічної техніки при тонкому абразивному шліфуванні / Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, А. О. Бровкин // Технологія і техніка друкарства. 2022. № 4(78). С. 87–101. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(78\).2022.280473](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(78).2022.280473).
7. Дудніков А. А. Зміцнення матеріалу деталей пластичним деформуванням / А. А. Дудніков, В. В. Дудник, О. І. Біловод, О. В. Іванкова, Т. Г. Лапенко // Наукові нотатки. 2019. Вип. 66. С. 94–97. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_66_17.
8. Ковалевський С. В. Розробка та дослідження спеціальних методів обробки деталей машин / С. В. Ковалевський, О. Ю. Андронов, О. С. Ковалевська, С. Л. Міранцов, С. Г. Оніщук, В. І. Тулупов, А. В. Гушнін, С. О. Коржов, В. Л. Аносов, Ю. Б. Борисенко, В. С. Медведєв, А. О. Кошевой. Краматорськ: ДДМА, 2015. 300 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/2440512/>.
9. Rudenko E. M. Nitriding in a helicon discharge as a promising technique for changing the surface properties of steel parts / E. M. Rudenko, V. Ye. Panarin, P. O. Kyrychok, M. Ye. Svavilnyi, I. V. Korotash, O. O. Palyukh, D. Yu. Polotskiy, R. L. Trishchuk // Journal of Usp. Fiz. Met. 2019. 20. No. 3: 485–501. DOI: <https://doi.org/10.15407/ufm.20.03.485>.



10. Paliukh O. Defining technological features in the manufacture of semi-hard book covers / O. Paliukh, P. Kyrychok, R. Trishchuk, M. Korobka, E. Dziadyk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 4/1(106). pp. 80–90. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/208798>.

11. Сохань С. В. Применение алмазного композиционного термостойкого материала повышенной износостойкости для алмазного выглаживания стали 40x / С. В. Сохань, В. В. Возный, А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, В. Г. Гаргин // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов*. Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. 2018. Вып. 21. С. 193–199. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.ism.kiev.ua/images/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2021%20\(2018\).pdf](http://www.ism.kiev.ua/images/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2021%20(2018).pdf).

12. Гамзаева Г. Вплив подачі та кількості проходів при алмазному вигладжуванні на шорсткість / Г. Гамзаева // *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*. 2022. № 34. С. 16–22. <https://doi.org/10.15421/4222102>.

References

1. Panina, V. V., Dashyets, H. I., & Novyk, O. Yu. (2020). Obroblennia robochykh poverkhon zubchastykh kolis poverkhnevo-plastychnym deformuvanniam [Treatment of working surfaces of gear wheels by surface-plastic deformation]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, Issue 10, Vol. 2. Retrieved from <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12977> [in Ukrainian].

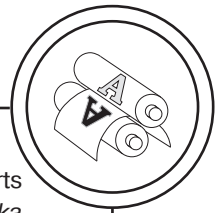
2. Dzyura, V., Babii, A., Okipnyi, I., Radyk, D., Tkachenko, I., Myshkovych, O., Sokil, M., & Sytarchuk, V. (2021). Dynamics of relative torsional vibrations in the formation of a regular microrelief on internal cylindrical surfaces. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, (4)(104). https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04 [in English].

3. Slavov, S., Dimitrov, D., & Iliev, I. (August 2020). Variability of Regular Relief Cells Formed on Complex Functional Surfaces by Simultaneous Five-Axis Ball Burnishing. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering* 82, 3, 195–206. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/343696976_Variability_of_regular_relief_cells_formed_on_complex_functional_surfaces_by_simultaneous_five-axis_ball_burnishing [in English].

4. Dzyura, V., Maruschak, P., & Prentkovskis, O. (2021). Determining Optimal Parameters of Regular Microrelief Formed on the End Surfaces of Rotary Bodies. *Algorithms*, 14, 46, 1–18. <https://doi.org/10.3390/a14020046> [in English].

5. Lesyk, D. A., Soyama, H., Mordyuk, B. N., Stamann, O., & Dzhemelinskyi, V. V. (2022). Combination of Laser Shock Peening with Cavitation, Shot and Ultrasonic Impact Hardening for Stainless Steels Surface Characteristics Improving. *Metallophysics and Advanced Technologies*, Vol. 44, No. 1, 79–95. <https://doi.org/10.15407/mfint.44.01.0079> [in English].

6. Roik, T. A., Havrysh, O. A., Vitsiuk, Yu. Yu., & Brovkyn, A. O. (2022). Imitatsiina model formuvannia mikroreliefu poverkhni antyfyryktsiinykh kompozytnykh detalei polihrafichnoi tekhniky pry tonkomu abrazyvnomu shlifuvanni [Simula-



tion model of microrelief formation of the surface of anti-friction composite parts of printing equipment during fine abrasive grinding]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, (4(78), 87–101. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(78\).2022.280473](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(78).2022.280473) [in Ukrainian].

7. Dudnikov, A. A., Dudnyk, V. V., Bilovod, O. I., Ivankova, O. V., & Lapenko, T. H. (2019). Zmitsnennia materialu detalei plastychnym deformuvanniam [Strengthening of the material of parts by plastic deformation]. *Naukovi notatky*, 66, 94–97. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_66_17 [in Ukrainian].

8. Kovalevskiy, S. V., Andronov, O. Iu., Kovalevska, O. S., Mirantsov, S. L., Onishchuk, S. H., Tulupov, V. I., Hushchin, A. V., Korzhov, S. O., Anosov, V. L., Borysenko, Yu. B., Medvedev, V. S., & Koshevoi, A. O. (2015). *Rozrobka ta doslidzhennia spetsialnykh metodiv obroby detalei mashyn [Development and research of special methods of processing machine parts]*. Kramatorsk: DDMA, 300 p. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/2440512/> [in Ukrainian].

9. Rudenko, E. M., Panarin, V. Ye., Kyrychok, P. O., Svavilnyi, M. Ye., Korotash, I. V., Palyukh, O. O., Polotskiy, D. Yu., & Trishchuk, R. L. (2019). Nitriding in a helicon discharge as a promising technique for changing the surface properties of steel parts. *Journal of Usp. Fiz. Met.*, 20, No. 3: 485–501. DOI: <https://doi.org/10.15407/ufm.20.03.485> [in English].

10. Paliukh, O., Kyrychok, P., Trishchuk, R., Korobka, M., & Dziadyk, E. (2020). Defining technological features in the manufacture of semi-hard book covers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/1(106), 80–90. Retrieved from <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/208798> [in English].

11. Sokhan', S. V., Voznyy, V. V., Shul'zhenko, A. A., Sokolov, A. N., & Gargin, V. G. (2018). Primenenie almaznogo kompozitsionnogo termostoykogo materiala povyshennoy iznosostoykosti dlya almaznogo vyglazhivaniya stali 40kh. *Porodorazrushayushchiy i metalloobratyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya*, 21, 193–199. Retrieved from [http://www.ism.kiev.ua/images/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2021%20\(2018\).pdf](http://www.ism.kiev.ua/images/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2021%20(2018).pdf).

12. Hamzaieva, H. (2022). Vplyv podachi ta kilkosti prokhodiv pry almaznomu vyhladzhuvani na shorstkist [Effect of feed and number of passes during diamond smoothing on roughness]. *Problemy obchysluvalnoi mekhaniky i mitnosti konstruksii*, 34, 16–22. <https://doi.org/10.15421/4222102> [in Ukrainian].

The research focuses on the processes of forming microrelief guides on profile plates for folding integral covers. Analytical and experimental studies were conducted to examine the mechanisms of microrelief formation and their impact on the accuracy and efficiency of folding.

Keywords: microrelief guides; profile folding plates; folding accuracy; process efficiency; tool wear resistance.

Надійшла до редакції 24.05.23