

зубчастих коліс. Інструменти та інструментальне виробництво // Матеріали першої науково-практичної конференції: Зб. наук. статей, Львів, 24–25 жовтня, – Львів: ЛвЦНТЕІ, 2007. – С. 31–32.

4. Литвиняк Я.М., Грицай І.С., Махоркін Є.М Підвищення технологічної гнучкості операцій формоутворення зубців циліндричних зубчастих коліс в автоматизованому виробництві // Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні та приладобудуванні: Міжгалуз. зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 42.

5. Литвиняк Я.М. Кусий Я.М., Широков О.В. Моделювання кінематичного формування синусоїдальних зубців зубчастого колеса рухомим дисковим інструментом // Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах: Матеріали Восьмої Міжнарод. промислен. конф., п. Славское, Карпати. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технологія”, 2008. – С. 212–215.

6. Литвиняк Я.М. Кусий Я.М., Арендар Л.А., Махоркін Є.М. Вплив конструктивних параметрів на формування характеристик синусоїдального зубчастого зачеплення // Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах: Матеріали Восьмої Міжнарод. промислен. конф., п. Славское, Карпати. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технологія”, 2008. – С. 215–218.

УДК 620.178.167.+ 621.785

О.В. Манько, В.А. Сторошук

Українська академія друкарства,
кафедра технології матеріалів і поліграфічного машинобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАПЕРОРІЗАЛЬНИХ НОЖІВ, ЗМІЦНЕНИХ МЕТОДОМ ФРИКЦІЙНО-ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ (ФРЗО)

© Манько О.В., Сторошук В.А., 2008

Розглянуто застосування фрикційно-зміцнювальної обробки для збільшення періоду стійкості клинового паперорізального інструмента (поліграфічного ножа).

The friction-strengthening treatment application is considered for increasement of the working period of wedge paper-cutting instrument (the knife for cutting machine)

Постановка проблеми. Проблема збереження ресурсів та електроенергії, зростання цін на енергоносії та матеріали змушує нас удосконалювати ресурсо- та енергозберігаючі технології у машинобудівній галузі. Одним із таких способів є створення технологій, які розширюють ресурс (строк служби) деталей, що працюють в умовах ударно-абразивного зношення. В існуючих умовах машинобудівної практики деталі, які працюють в таких умовах, зміцнюють, переважно гартуванням (для кращого ефекту використовують леговані сталі) або класичними способами хіміко-термічної обробки, а саме: цементації, азотування, борування тощо. Проте існує цілий клас виробів, до яких зараховуємо різальний інструмент, особливо в поліграфічній галузі, де підвищення періоду стійкості (періоду між двома найближчими перезаточуваннями) інструмента можливе тільки за рахунок добору високоякісної легової сталі, якій після загартування притаманні високі фізико-механічні властивості, такі, як твердість та зносостійкість. Мається на увазі клас поліграфічних ножів з кутом заточування при вершині $\beta = (18^\circ - 22^\circ)$. Поліграфічний ніж, як правило (у разі одноножевих різальних машин), являє собою металеву штабу завдовжки від 460 мм до 1500 мм, завтовшки 12 мм та завширшки до 300 мм (рис. 1).

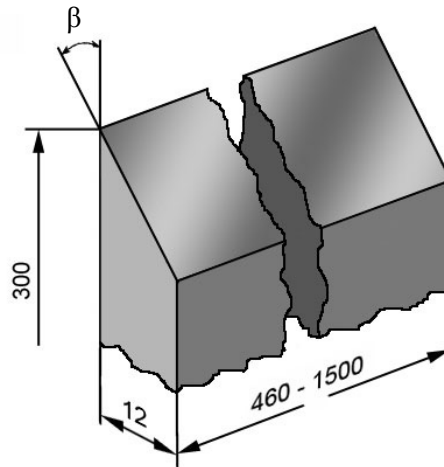


Рис. 1. Загальний вигляд поліграфічного ножа

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, які виконували в Українській академії друкарства, показали, що використання хіміко-термічної обробки для підвищення ресурсу різального леза виявилось неефективним. По-перше, реалізація хіміко-термічної обробки є утрудненою для поліграфічних ножів через їх специфічні геометричні параметри, оскільки утруднюється забезпечення необхідної площинності полотна внаслідок термічних деформацій. Крім того, створення на поверхні різального клину твердих і зносостійких покриттів на основі хімічних сполук (карбідів, нітридів, боридів тощо) кардинально не вирішує проблеми розширення періоду стійкості, оскільки за даних ударно-абразивних умов роботи сформовані шари через свою крихкість легко сколюються, що в цьому випадку є неприпустимим, оскільки впливатиме на якість різи. На додаток, наступне Perezatочування по передній поверхні з припуском 0,8 мм повністю зніме дифузійний шар, товщина якого коливається в межах 20–300 мкм залежно від обраного методу зміцнення хіміко-термічною обробкою.

Як показують останні дослідження в цій галузі [1–3], ефективними в такому разі є так звані імпульсні технології, суть яких полягає в тому, що імпульсною дією тепла або тепла та тиску одночасно на певний об'єм металу можна сформувати на поверхні останнього структуру, яка називається “білий шар (БШ)”. Однією з таких технологій є так звана фрикційно-зміцнювальна обробка (ФРЗО). Суть ФРЗО полягає в тому, що за допомогою примусового тертя взаємних поверхонь, у разі миттєвого їх контакту виникають високі температури, які призводять до зміни фізичних властивостей поверхневого шару матеріалу, внаслідок чого утворюється БШ. Принцип роботи методу такий: замість шліфувального круга на шпинделі шліфувального верстата встановлюють зміцнювальний металевий диск, а обробку деталі здійснюють аналогічно до шліфування. Отриманий методом ФРЗО структурі металу притаманні такі властивості, як підвищена порівняно із загартованою сталлю твердість (на 20 % [4]) та одночасно значна в'язкість. Такі властивості БШ витікають із його фазового складу. БШ – це дрібнодисперсна суміш мартенситу, залишкового аустеніту та хімічних сполук.

Мета дослідження. У статті наводимо результати досліджень зносостійкості клинового різального інструмента з кутом при вершині $\beta = 22^\circ$, який імітує конфігурацію поліграфічного ножа, вістря якого являє собою структуру з білим шаром. Особливість отримання подібної структури на лезі клина з таким кутом полягає в тому, що під час обробки виникають проблеми із збереженням необхідної жорсткості металу при вершині вістря, без чого технологія втрачає свою імпульсну природу через неможливість створення одночасного впливу тиску та температури (метал просідає).

Визначення технологічних умов реалізації технології ФРЗО. Відомо, що під час Perezatочування поліграфічних ножів знімається припуск порядку $\Delta = 0,8$ мм з метою забезпечення високої гостроти леза і створення радіуса заточування при вершині $R = 5$ мкм. Такий порядок Perezatочування дає нам можливість ввести проміжну перед заточуванням операцію формування так званої технологічної площадки – здійснити штучне затуплення торця задля забезпечення

необхідної жорсткості матеріалу. У результаті виконання такої операції отримаємо площадку завширшки близько 0,8 мм. Ця операція дасть нам змогу забезпечити достатню жорсткість матеріалу в зоні контакту пари “диск – торець ножа”.

З метою попереднього виявлення ефективних елементів режимів ФРЗО, дослідження виконували на пластинах зі сталі марки У8А завтовшки 0,75, 0,8, 1,0 мм.

Довжина зразків – 100 мм. Термообробка: гартування + середній відпуск. Обробляли за схемою: “твірна диска-торець пластини”. Аналіз мікроструктури виконували на мікроскопі МИМ-8, мікротвердість вимірювали на мікротвердометрі ПМТ-3.

ФРЗО виконували за таких елементів режиму обробки: частота обертання сталюого диска ($\varnothing = 250$ мм) n , натяг (глибина “занурення” диска в поверхню металу) t , подача s заготовки (пластини). Для виконання експерименту було вибрано такі діапазони в режимах обробки: оберти диска $n = 2240$ об/хв та 3150 об/хв; натяг $t = 0,4$ та $0,6$ мм; подача $S = 60, 80$ та 100 мм/хв. З метою вибору оптимальних режимів технологічного впливу на зразки, внаслідок яких гарантовано отримаємо білі шари значної товщини на фізичній поверхні торця пластини (мінімум 200 мкм), було зроблено аналіз результатів цих досліджень [2, 3]. Всього було апробовано 36 варіантів технології.

Цей результат було зведено в тривимірні графіки (рис. 2, а, б). На цих графіках на осі виведені такі параметри, як товщина δ (мм) зразка (ширина технологічної площадки), подача s зразка (мм/хв), натяг (глибина занурення диска в метал) t (мм). На кожному горизонтальному полі, яке відповідає товщині вибраного зразка, спостерігаємо білі плями різної інтенсивності. Як правило, найінтенсивніші плями характерні для зразків завтовшки 1,0 мм. Ці плями являють собою якісну оцінку імовірності реалізації імпульсної природи фрикційно-зміцнювальної обробки, результатом чого повинне бути формування на фізичній поверхні торця зразка білого шару. Внаслідок експериментів отримано і спостерігаються три моменти: а) отримання білих шарів значної глибини (300–400 мкм), що подається як білі плями високої інтенсивності; б) отримання білих шарів на рівні слідів, що означає формування на фізичній поверхні окремих локальних ділянок білих шарів. Ці ділянки в перерізі мають вигляд опуклої лінзи з максимальною товщиною до 20 мкм; в) у третьому випадку білі шари не отримано, що виражено на графіках відсутністю білих плям взагалі.

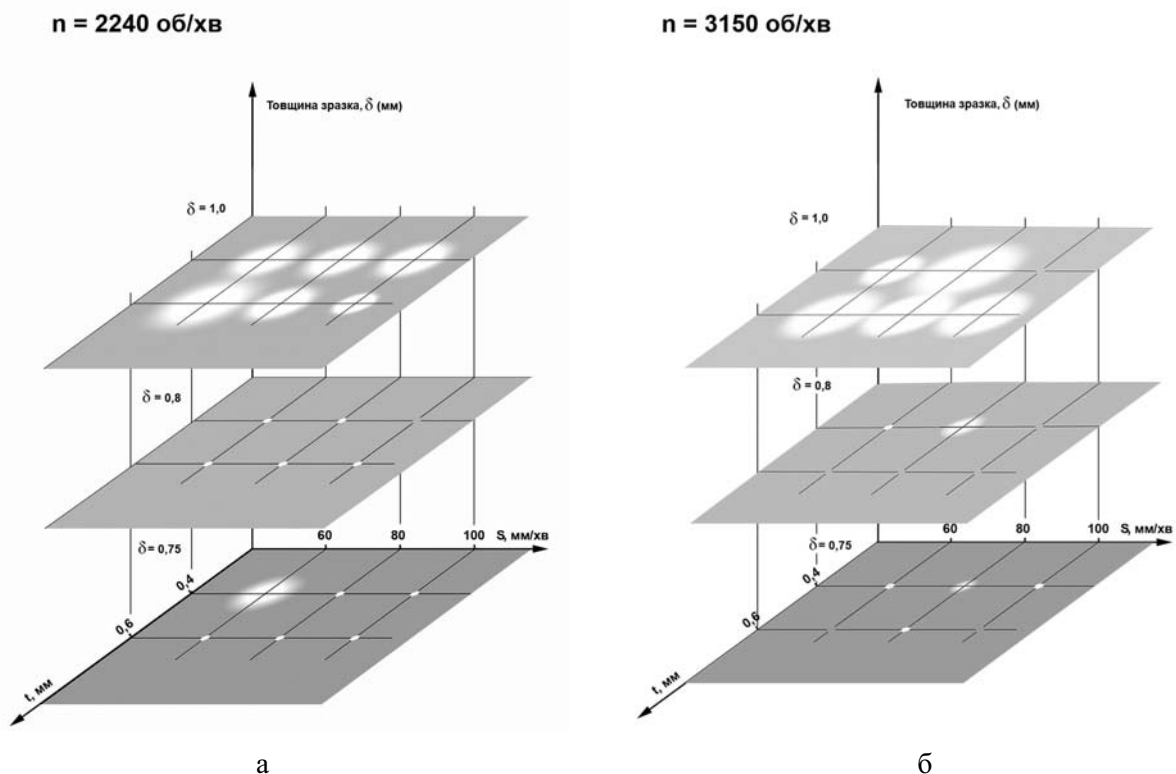


Рис. 2. Імовірність реалізації імпульсної природи ФРЗО, результатом чого має бути формування БШ на торці пластини

Аналізуючи отримані результати, можемо зробити такі Висновки.

1. Найкращі результати отримано на зразках завтовшки 1,0 мм. Для такої товщини найстабільніші і найповторюваніші результати отримували за частоти обертання диска $n = 2240$ об/хв. Це режимне поле ($n = 2240$ об/хв, $\delta = 1,0$ мм, $t = 0,4, 0,6$ мм, $s = 60, 80, 100$ мм/хв) можна вважати найкращим для всієї серії експериментів.

2. Для пакета режимів при $n_2 = 3150$ об/хв характерна “турбулентність” (відсутність технологічної спадковості) результатів. Наприклад, для зразків завтовшки $\delta = 0,8$ мм позитивні результати (білі шари) отримано тільки для двох комбінацій технологічних режимів з шести, у той час коли для цього поля режимів очікувалось більше позитивних результатів.

3. Для того самого пакета режимів при $n = 3150$ об/хв зафіксовано єдиний випадок чіткої спадковості позитивних результатів для всіх товщин зразків, зокрема формування білих шарів для вертикалі режимів (рис. 2) – $t = 0,4$ мм, $s = 80$ мм/хв. Цей випадок можна вважати випадковою удачею віднайдення вдалої комбінації елементів режиму фрикційно-зміцнювальної обробки.

4. Реалізація імпульсної природи ФРЗО та отримання товстих білих шарів на зразках товщин $\delta = 0,75$ мм та $\delta = 0,8$ мм пов'язана, на наш погляд, із набагато точнішим добором елементів технологічних режимів ФРЗО, що є можливим за умови комп'ютерної системи керування технологічним процесом зміцнювання.

Після виконаної повної серії експериментів на зразках всього діапазону виявлено грибоподібні заусенці, які виникають внаслідок течії металу під тиском зміцнювального диска. Конфігурація заусенців має різний характер, що свідчить про різний ступінь піддатливості металу. Якщо взяти за критерій товщину зразків, то максимальна піддатливість притаманна зразкам завтовшки $\delta = 0,75$ та $\delta = 0,8$ мм (у цьому випадку варто брати до уваги, що за аналогічної товщини δ технологічної площадки у разі реального ножа піддатливість матеріалу буде нижчою через трапецієподібний поперековий переріз). Саме на цій серії зразків за цих режимів технологічного впливу не вдалось отримати білий шар стабільної товщини. Тут можна говорити лише про локальні ділянки БШ невеликої товщини (від 5 до 20 мкм) на фізичній поверхні. Ця закономірність свідчить про декілька факторів. По-перше, причиною появи заусенців може бути недостатня жорсткість зразків (точніше, значна пластичність металу в зоні контакту, обумовлена недостатньою жорсткістю зразка) щодо вибраного натягу t , що виразно проявляється для зразків завтовшки $\delta = 0,75$ мм та $\delta = 0,8$ мм. На наш погляд, саме це було основною причиною несформованого білого шару на торці зразків. Недостатня жорсткість або податливість металу в цьому разі не дозволяє реалізуватись необхідним умовам, за яких формується БШ. За нашими спостереженнями – це повинен бути певний баланс поміж температурою від тертя та тиском на метал. Порушення цього балансу призводить з одного боку до “просідання” зразка внаслідок завеликої деформації (яка своєю чергою може бути наслідком глибокого прогрівання), а значить недостатньо насиченого контакту і відповідно замалої температури для алотропних перетворень у приповерхневих шарах металу, а з іншого, до завеликого прогрівання локального об'єму приповерхневого шару через тертя, що тягне за собою різке зростання пластичності сталі в межах глибини натягу з падінням коефіцієнта тертя і подальшого просковзування зміцнювального диска. Тільки у разі одного значення режимів ФРЗО (для $\delta = 0,8$ мм) сформувався білий шар дискретної будови і невеликої товщини (режим: $t = 0,4$ мм; $n = 3150$ об/хв; $S = 80$ мм/хв). У той же час на зразках завтовшки $\delta = 1,0$ мм за аналогічних режимів обробки отримано високоякісні білі шари значної товщини (до 300–400 мкм) при всіх діапазонах ФРЗО.

Враховуючи ці міркування можна стверджувати, що при вибраній схемі зміцнення методом ФРЗО отримати стабільні результати можливо за умови забезпечення імпульсного характеру технології. Останній полягає в локалізації температурно-деформаційних перетворень металу в приповерхневих шарах. Неприпустимим є глибоке прогрівання зразка, з одного боку, (це призводить до підвищення пластичності металу і “просідання” зразка), що в основному залежить від натягу та швидкості обертання диска та переважання деформаційної складової, з іншого. Останнє призводить до розвальцювання торця і реалізації ненасиченого трибоконтракту. Отже, особливість ФРЗО на тонких пластинах полягає в доборі конкретної комбінації елементів режиму зміцнення для конкретної товщини зразка, що дасть змогу забезпечити технологічні умови, за яких на поверхні сформується білий шар.

Проаналізувавши отримані експериментальні результати, вирішено було формувати зразки клинково-го інструмента на зразках, отриманих в оптимальних полях технологічних режимів ФРЗО (для $\delta = 1,0$ мм).

Сформовані за вибраних режимів зміцнені шари із зовнішньою зоною з білого шару мають різну глибину, дискретність та мікротвердість. Тому було виконано сукупний порівняльний аналіз структури та мікротвердості зміцнених шарів з погляду їх експлуатаційних властивостей і вибрані кращі з них. У статті наведено дві найхарактерніші структури з шести вибраних та дослідження їх на зношування.

1. Пластина завтовшки $\delta = 1,0$ мм, кількість обертів зміцнювального диска $n = 2240$ об/хв.

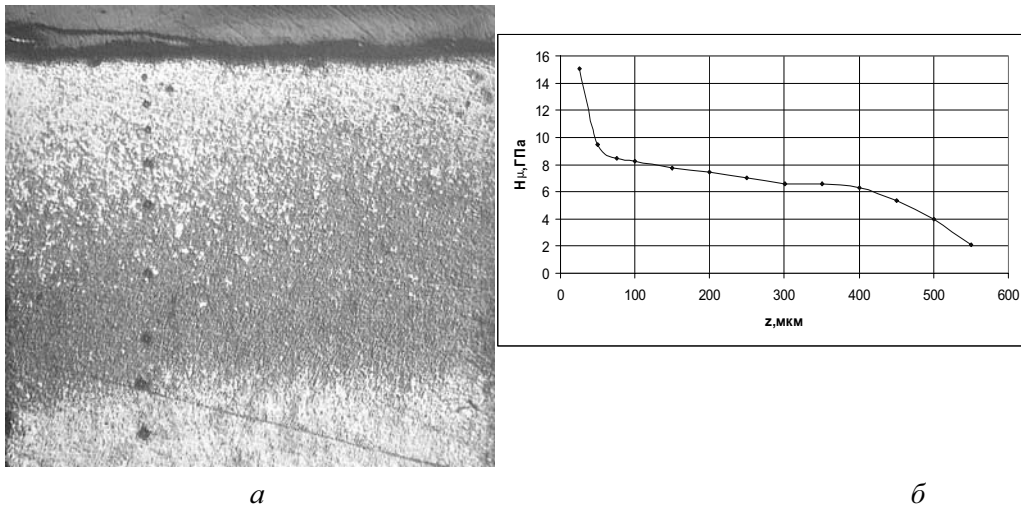


Рис. 6. Режим 2:

$a - t = 0,6$ мм; $n = 2240$ об/хв; $S = 100$ мм/хв; б – значення мікротвердості для подачі $S = 100$ мм/хв

Білий шар, сформований на торці пластини має дискретну (нешільну) структуру. Технологічний вплив виразно прослідковується на глибину до 500 мкм, при цьому товщина самого білого шару становить близько 300 мкм. Характеристика градієнту значень мікротвердості крутіша біля фізичної поверхні і значення становить близько 15 ГПа (точка переламу на глибині 80 мкм), а глибші значення мікротвердості відповідають структурі загартування з низьким відпуском. Наприклад, у цьому випадку мікротвердість 6 ГПа спостерігається на глибині в 400 мкм. Отже, зміцнений шар можна трактувати як зносостійке покриття на твердій підкладці, яка плавно переходить в осердя. Очікувані службові характеристики: висока зносостійкість леза з такою структурою зберігатиметься до моменту лінійного зносу зразка на 50 мкм. Вищі значення мікротвердості на глибині (темна складова шару – підкладка) є, на наш погляд, результатом глибшого прогрівання зразка.

2. Пластина завтовшки $\delta = 1,0$ мм, кількість обертів зміцнювального диска $n = 3150$ об/хв.

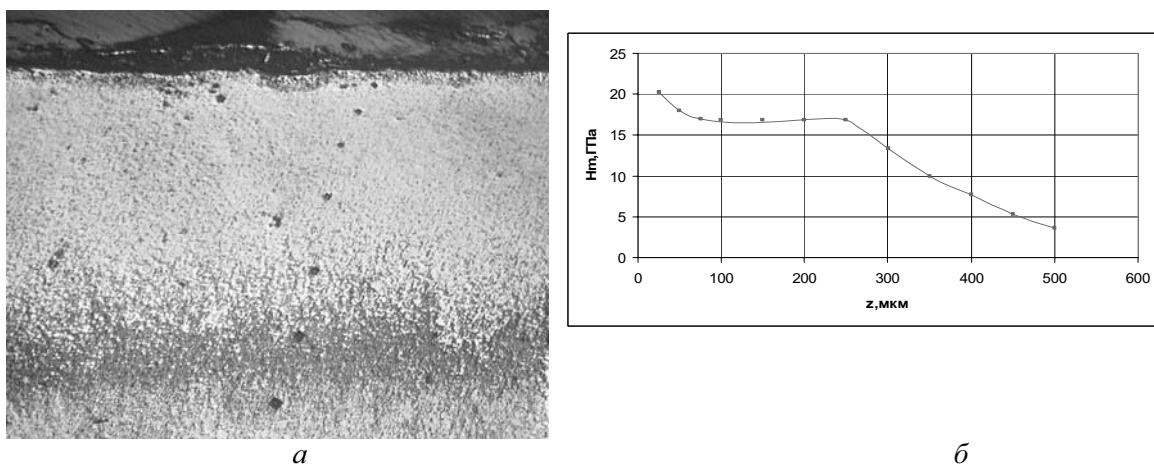


Рис. 8. Режим 4:

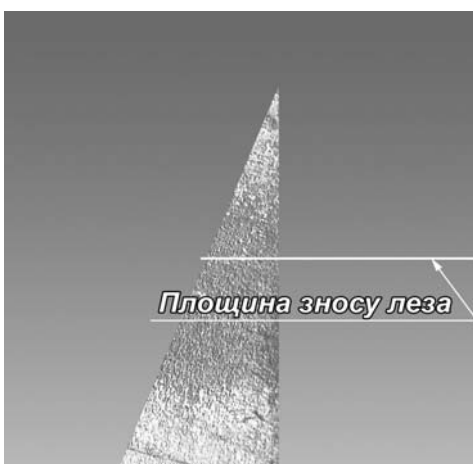
$a - t = 0,4$ мм; $n = 3150$ об/хв; $S = 80$ мм/хв; б – значення мікротвердості для подачі $S = 80$ (2) мм/хв

За цих режимів обробки сформувався білий шар високої щільності, що характерно для білих шарів, які формувались при $n = 3150$ об/хв. Значення мікротвердості за фізичної поверхні аномально високі – понад 20 ГПа. Це можна пояснити ефектом деформаційного зміцнення, тобто жорстким викривленням атомної ґратки, що поряд із високою дисперсністю фазових складових формує надвисоку як для сталі щільність.

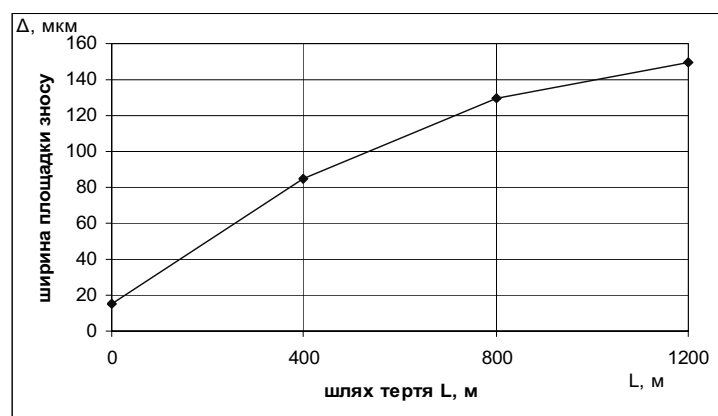
Товщина шару технологічного впливу становить близько 500 мкм, а внутрішня темна зона термічного впливу – близько 10 мкм. Білий шар має доволі щільну структуру, лише біля темної зони робиться дещо дискретнішим. На графіку мікротвердості видно, що до глибини 250 мкм величина мікротвердості незмінна і становить 17 ГПа (за винятком приповерхневої зони, де вона сягає 20 ГПа). Далі мікротвердість стрімко, але монотонно спадає до значення 4 ГПа на глибині 500 мкм. Ймовірно, що зростання подачі за цих режимів (деформаційна складова обробки) інтенсифікує прогрівання зразка на глибину, причому зростає інерційність термічних процесів, що очевидно з появи внутрішнього прошарку зони термічного впливу.

Стендові дослідження ножів на зношення. Для дослідження на зносостійкість клинового інструмента довгої протяжності (типу поліграфічних ножів) була вибрана схема зворотного обертання шпинделя, як така, що імітує процес зношування металу об папір, а з іншого боку, не вимагає значних фінансових та матеріальних затрат для створення відповідного стенду. Тому був використаний метод зворотного обертання шпинделя [5]. Суть методу полягає в тому, що різальний інструмент встановлюється в супорт токарного верстата мод. 1К62 з використанням спеціального пристрою. Встановлюється в патрон папір у формі труби. Задається обертання шпинделя, обернене напрямку різання. Навантаження створюється від подачі супорта. Протягом певного часу поверхня інструмента, взаємодіючи з обертаючим папером, зношується за заданої сили.

Вибрана схема прискореного дослідження клинового інструмента довгої протяжності на знос не відповідає реальним умовам роботи, оскільки в цій ситуації головне зусилля деформації буде спрямоване практично значною мірою перпендикулярно до задньої поверхні ножа і буде породжувати в об'ємі металу напруги розтягу (схема точіння) та деформацію на відрив. У реальних умовах поліграфічний ніж врізається в стос паперу шабельним рухом (контакт “ніж – папір” відбувається по точці) і зазнає зусиль стиску на вістря ножа та його бокові (передню та задню) поверхні, що породжує в об'ємі металу в основному напруги стиску. Така схема напружень є набагато сприятливішою для експлуатації ножа. Тому результатом досліджень на знос при вибраній схемі експерименту буде лише якісна оцінка зносостійкості ножа із зміцненим вістрям. Зусилля притиску становить 60 Н. Глибина лінійного зношування зразка, зміцненого за режимом 2, відображена на графіку (рис. 9, а).



а



б

Рис. 9. Глибина зносу (а) та крива зношення (б). Зразок, зміцнений за режимом 2 (натяг $t = 0,6$ мм, подача $S = 100$ мм/хв, кількість обертів $n = 2240$ об/хв)

Спостерігається (як зрештою у всіх випадках) стрімкий знос леза на перших 300 метрах шляху тертя, що, на наш погляд, пов'язане з високим початковим питомим контактним тиском у зоні тертя. Вид зношування – виразно абразивний. Кінцева ширина площадки зносу становить 150 мкм, що означає знос леза на глибину (перпендикулярно до різального краю) – 370 мкм. Як бачимо з рисунка, білий шар повністю зносився. Крива зносу є доволі похила. Для цього зразка характерні дуже великі заусенці на площадці зносу та вигин леза за напрямком вектора сили на кінцевому етапі досліджень. Ці фактори свідчать, що загалом зразок зі сформованою дискретнішою структурою білого шару зношується на початку менш інтенсивно, ніж у разі щільної структури, проте в подальшому картина змінюється на протилежну. Судячи з крутої характеристики градієнту мікротвердості структури (рис. 6, б), такі властивості структури є причиною порівняно невисокої інтенсивності зношування в початковий період експерименту: напруги розтягу передусім релаксуються в нижніх пластичних шарах, що й гальмує знос вістря.

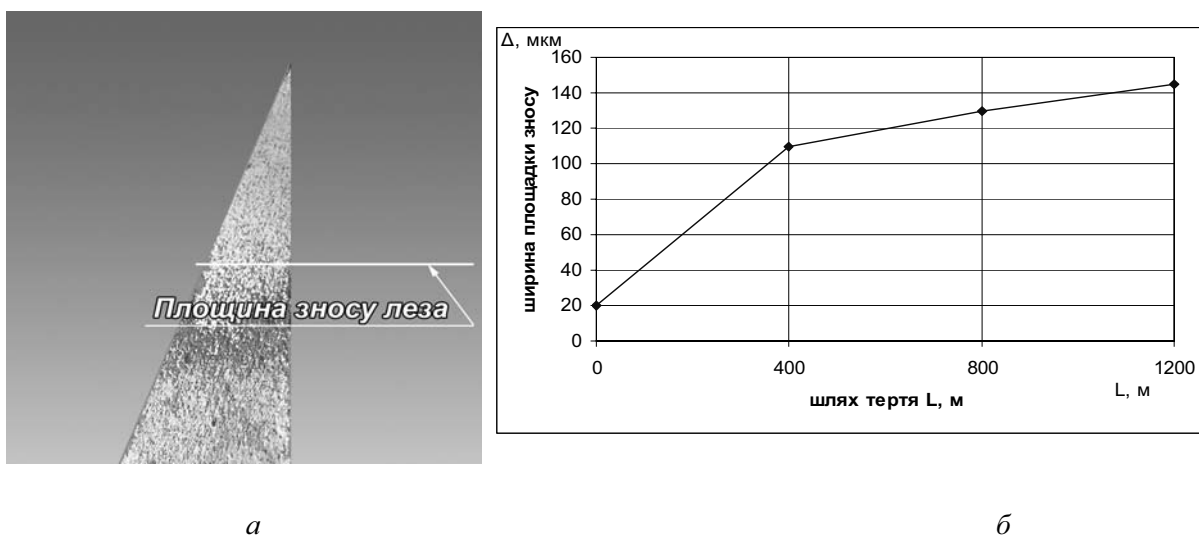


Рис. 10. Глибина зносу (а) та крива зношення (б). Зразок, зміцнений за режимом 4 (натяг $t = 0,4$ мм, подача $S = 80$ мм/хв, кількість обертів $n = 3150$ об/хв)

Глибина лінійного зносу зразка (рис. 10, а), зміцненого за режимом 4, становить 360 мкм за загальної товщини білого шару – 500 мкм (ширина площадки зносу – 145 мкм). Знос площадки рівномірний, без борозд і сколів, що, очевидно, пов'язане із щільною структурою білого шару та його великою глибиною і забезпечує добрі характеристики міцності леза, проте саме значна глибина білого шару, забезпечуючи добру жорсткість кріпильної частини леза, реалізує підвищену інтенсивність зношування останнього. Для щільної структури білого шару обрана схема зношування (експерименту) – не “вигідна”.

3. Зношення леза еталону, сформованого із матеріалу – швидкорізальна сталь Р6М5 (термообробка: гартування + низький відпуск).

Глибина лінійного зносу еталона становить 300 мкм (ширина площадки зносу – 120 мкм) (рис. 11). Площадка зносу – рівна, проте для еталона є характерною присутність сколів на площадці зносу. Прослідковується також ефект вигину тіла ножа в напрямку вектора сили. Загалом еталон демонструє службові властивості не вищі, ніж зміцнені шари, сформовані на сталі У8А. Необхідно додати, що на практиці використовують ножі, виготовлені з низьколегованих сталей 9ХС або ХВГ, яким притаманні службові характеристики, значно нижчі, ніж у сталі Р6М5. Наприклад, відомо, що міжзаточний ресурс таких ножів у 4 рази менший, ніж для ножів, виготовлених із швидкорізальної сталі.

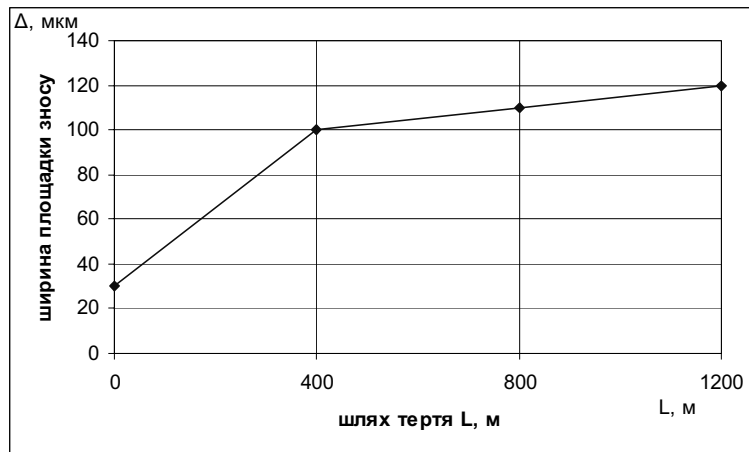


Рис. 11. Крива зношування еталона

Висновки. 1. Внаслідок експерименту була виявлена сукупність режимів ФРЗО, за яких гарантовано утворюються білі шари на тонких пластинах завтовшки $\delta = 0,8$ та $1,0$ мм. Прогнозується, що подібні структури можна отримати на тонших пластинах за умови збереження достатньої жорсткості матеріалу в зоні технологічного впливу.

2. Зафіксовано аномальну мікротвердість білих шарів у межах 15–22 (в окремих випадках до 30 ГПа), тоді як згідно з літературними джерелами [2, 3] мікротвердість білих шарів різної природи вища на 20 % від мартенситу і коливається в межах 8 – 11 ГПа. Це явище потребує додаткового вивчення.

3. Показано, що найкращу зносостійкість показали різальні леза, зовнішньою зоною яких є білі шари, сформовані за технологічних режимів, визначальною особливістю яких є кількість обертів зміцнювального диска, яка становить $n = 3150$ об/хв.

У цьому випадку отримано щільні білі шари завглибшки 300–500 мкм, що дає можливість формувати різальні краї леза поліграфічного ножа навіть на обладнанні середньої точності.

4. Показано, що зразки із крутим градієнтом мікротвердості на початковому етапі зношування зношуються не так інтенсивно як зразки із пологим градієнтом, проте за цієї схеми дослідження на знос загальний ресурс останніх є більшим.

5. Показано, що зносостійкість поліграфічного ножа із вуглецевої сталі У8А після зміцнення методом ФРЗО не поступається зносостійкості швидкорізальної сталі Р6М5.

6. Період стійкості поліграфічного ножа, виготовленого зі сталі У8А і зміцненого методом ФРЗО зріс у 4 рази порівняно із зразками із низьколегованих сталей 9ХС чи ХВГ, зміцнених за стандартною термообробкою “гартування + низький відпуск”.

7. Вважаємо цей метод зміцнення клинових інструментів довгої протяжності перспективним за умов наявності високоточного металообробного обладнання, спорядженого системою комп’ютерного керування технологічними режимами обробки.

1. Бабей Ю.И. *Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна.* – К.: Наук. думка, 1988. – 240 с. 2. Кірик М. *Силова взаємодія при зміцненні тонких ножів для фрезерування деревини* // *Машинознавство.* – 1998. – № 8. – С. 24–28. 3. Манько О.В., Стороцьук В.А., Стецько Ю.Б. *Особливості утворення білих шарів на тонких пластинах. Поліграфія та видавнича справа.* – Львів, № 1 (45), 2007 р. 4. *Formation of surface layer structure produced by electromechanical strengthening of carbon steels* // *Mechanika.* – Kaunas, 2005. – № 2(52). Р. 55–59. 5. *Пат. UA 75978 СЮШЗ/56 України. Спосіб визначення зносу різального інструменту* / О.П. Стецьків, В.А. Стороцьук, А.Г. Кузьменко. – Опубл. 15.06.2006, Бюл. № 6