

В.З.Маїк, О.В.Манько, Г.М.Іванчишин

Українська академія друкарства

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕННЯ ЛАТУННИХ ШТАМПІВ ДЛЯ ТИСНЕННЯ НА УПАКОВЦІ

У статті представлені результати досліджень латунних штампів з спеціальним покриттям для підвищення їх зносостійкості

The article presents the results of the research of brass stamps with special covering for their wear resistance increase.

У видавничо-поліграфічній галузі останнім часом створюють спеціалізовані виробництва для виготовлення етикеткової та пакувальної продукції. При виготовленні такої продукції застосовують спеціальні машини і устаткування, а для її оздоблення – процеси тиснення позолотними пресами, металевими штампами та спеціальними матеріалами.

Етикетково-пакувальну продукцію друкують великими тиражами і досить часто впродовж багатьох років її дизайн залишається незмінним. Відповідно, для друкування таких тиражів високої якості необхідно виготовити не один, а декілька штампів, що пов'язано з їх недостатньою тиражостійкістю для забезпечення високої якості продукції.

Згідно з технічними вимогами до якості готової продукції, точність відтворення зображення протягом всього тиражу повинна бути однаковою. У процесі виготовлення етикеткової і пакувальної продукції у штампах для гарячого тиснення змінюються геометричні розміри друкарських елементів, на них утворюються механічні дефекти і відбувається їх руйнування при друкуванні великими тиражами. Тому наявні технології не забезпечують необхідної тиражостійкості та якості продукції. З урахуванням цього та особливостей процесів тиснення на етикетковій та пакувальній продукції актуальною є наукова задача удосконалення технологічних процесів виготовлення штампів для підвищення їх тиражостійкості.

Теоретичні основи трибології – науки про тертя, за останні роки були закладені фундаментальними працями академіків Н.С. Жуковського, П.Л. Ребіндера, проф. Б.І. Костецького та І.В. Крагельського. За кордоном схожі дослідження проводили Є. Ф. Боуден, Д. Тейбор, Н. Чіхос, Г. Фляйшер тощо. В Україні питаннями вивчення тертя і зносостійкості формних матеріалів, тиражостійкості друкарських форм займалися такі відомі науковці, як О.М. Величко, І.А. Давидов, І.П. Попрядухін, В.А. Коган, Т.Г. Осипова, Е.Т. Лазаренко, О.Ф. Розум, В.С. Лапатухін, Р.І. Мервінський, Н.Н. Полянський, А.А. Семіонов та ін. [1-11].

Тому метою проведених досліджень є удосконалення технології виготовлення латунних штампів для тиснення на упаковці для підвищення їх зносостійкості і тиражостійкості.

Найбільш функціональними є латунні кліше. Оскільки латунь має високий вміст міді, для латунного кліше притаманна висока теплопровідність для швидкісного тиснення і конгреву, а знижена завдяки цинку в'язкість дозволяє здійснювати гравірування латуні на сучасних фрезерувальних машинах.

За стандартною методикою було вивчено зносостійкість латуні. За результатами досліджень зміни маси формного матеріалу розраховано питоме зношення за масою (рис. 1).

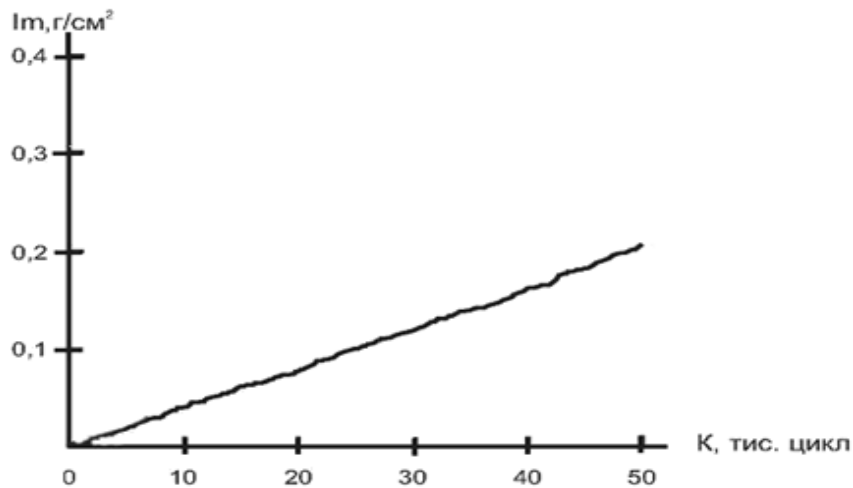


Рис. 1. Залежність показника питомого зношення за масою (I_m) латуні від кількості циклів стирання

Ці результати можна пояснити впливом природи матеріалу та з позиції молекулярно-механічної чи адгезійно-деформаційної теорій тертя.

Величина зносостійкості визначається міжмолекулярною взаємодією, яка залежить від природи контактувальних матеріалів (табл. 1) та механічних властивостей металів – пружності, пластичності, твердості, міцності тощо. Власне, теорія, в розроблення якої зробили великий вклад такі вчені як І.В. Крагельський та Б.В. Дерюгін, пояснює сам механізм тертя. Відповідно до неї тертя має молекулярно-кінетичну природу. Силу тертя можна зобразити як суму молекулярної (адгезійної) та механічної (деформаційної) складових. Молекулярна складова обумовлена опором розриву молекулярних і міжатомних зв'язків у металах, величина яких залежить від природи контактувальних матеріалів [12].

Таблиця 1

Характеристики формних матеріалів

Метал	Твердість, ГПа	Кристалічна гратка	Густина, г/см ³	Міцність на стискання, МПа
Lt	1,6	Кубічна граноцентрована	8,5	600

З точки зору металознавства на стійкість металів до стирання впливають кілька факторів, в тому числі природа металу, його фізичний і хімічний склад. Усі загальні характеристики металів – (електропровідність, теплопровідність,

пластичність), можна пояснити загальною будовою їх кристалічних ґраток, а також структурою атомів. Латунь – сплав міді з цинком, які утворюють твердий розчин заміни міді цинком (>39%), що має ГЦК ґратку. При такому вмісті цинку механічні властивості латуні – міцність і пластичність, зростають [12, 13, 14].

При абразивному зношенні, на відміну від окислювального механізму зношення, абразивні частки вминаються і руйнують поверхню основного металу, інколи з зняттям мікростружки. Абразивне пошкодження можливе в широкому діапазоні зовнішніх механічних впливів, часто воно супроводжує інші види зношення.

Міцність твердих тіл залежить від типу їх ґратки. Тверді тіла з стійкою кристалічною ґраткою, як латунь, мають високу міцність [12, 13, 14].

Слід звернути увагу також на те, що хімічні, фізичні та механічні характеристики сплавів змінюються залежно від відсоткового вмісту того чи іншого компонента. Будова і властивості типових двокомпонентних сплавів визначаються типом твердого розчину. У сплавах, що утворюють твердий розчин з необмеженою розчинністю, властивості змінюються за криволінійною залежністю, вже при невеликих домішках другого компонента твердість, міцність, електричний опір і коерцитивна сила сплавів зростають і стають вищими за відповідні властивості компонентів [12, 13, 14].

Залежність між хімічним складом, структурою і властивостями сплавів встановлена М.С. Курнаковим, який розробив методи фізико-хімічного аналізу металів. У нашому випадку механічні властивості латуні і, відповідно, стійкість до зношення підвищуються завдяки вмісту у ній цинку [12, 13, 14]. Нами показано залежність механічного зношення за масою від кількості циклів.

Залежність зміни показника питомого об'ємного зношення латуні представлено на рис. 2.

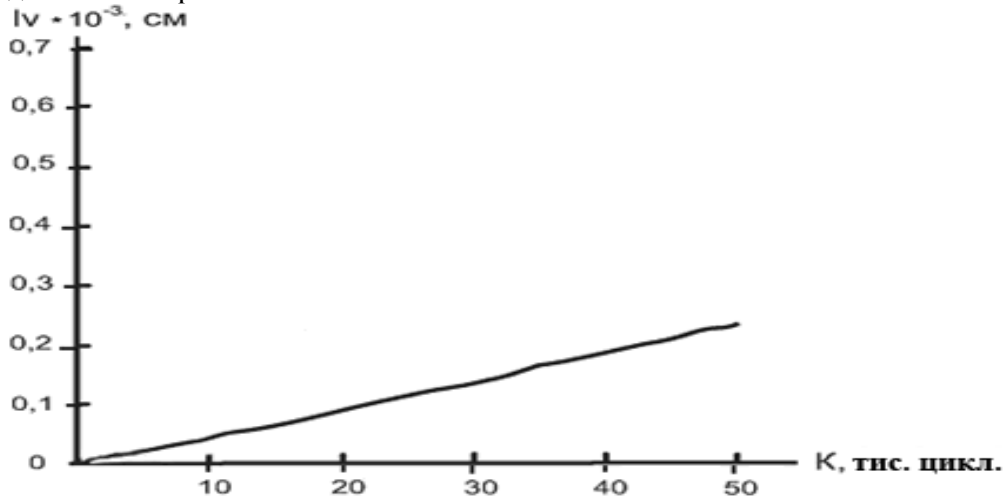


Рис. 2. Залежність зміни показника питомого об'ємного зношення латуні від кількості циклів стирання

На зміну показника питомого об'ємного зношення впливає природа формного матеріалу, хімічні та фізико-механічні характеристики (рис. 3). Необхідно також враховувати, що згідно з методикою, при визначенні питомого об'ємного

зношення враховується густина матеріалу, і це дає змогу об'єктивніше оцінити процес зношення матеріалу [12, 13, 14].

Проведені дослідження зміни маси формного матеріалу, за результатами від кількості циклів стирання якого, розраховано зміну інтенсивності стирання латуні (рис. 3).

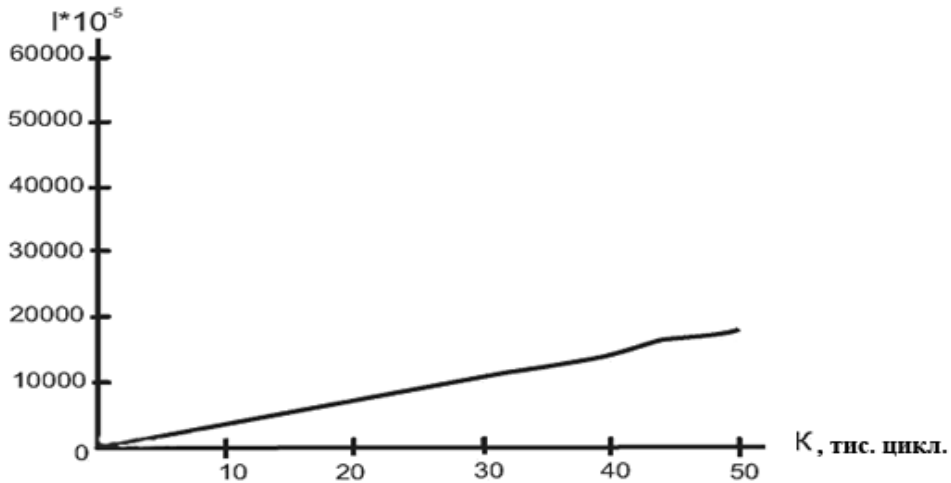


Рис. 3. Залежність зміни інтенсивності стирання латуні від кількості циклів стирання

Дія кількості циклів стирання на питоме об'ємне зношення, визначається природою формного матеріалу, його густиною та твердістю [18, 94, 103].

За результатами проведених досліджень зміни маси формного матеріалу обчислено градієнт швидкості стирання. Показники градієнта швидкості зношення графічно зображено на рис. 4.

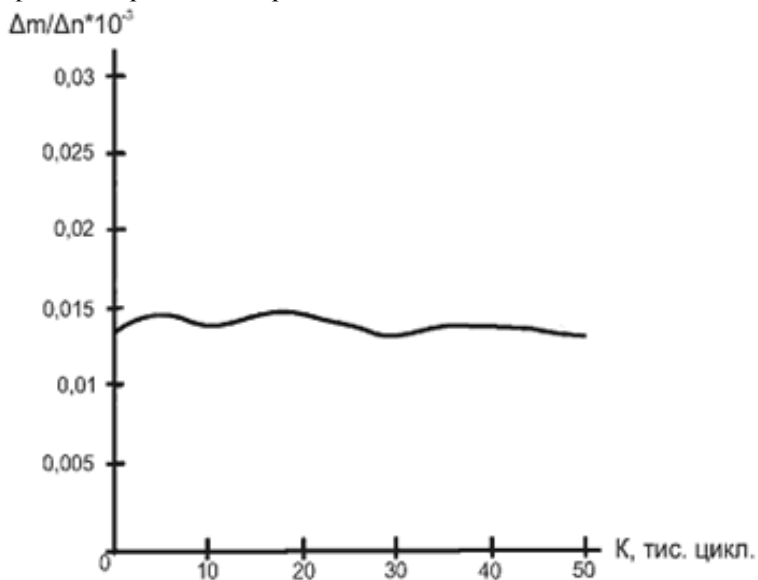


Рис. 4. Залежність градієнта швидкості зношення латуні від кількості циклів стирання

Вплив кількості циклів стирання на питоме об'ємне зношення можна визначити природою формного матеріалу, його густиною та твердістю [12, 13, 14].

Наступним було досліджено зміни геометричних розмірів елементів латунних штампів для подальшого їх порівняння зі штампами, виробленими з використанням зміцнювальних технологій.

З використанням тест-шкал виготовлено зразки штампів для дослідження стійкості друкувальних елементів до тиснення. Були вибрані штрихові й точкові елементи відповідного розміру (на тест-шкалі №1, 3, 5 (рис. 5); штрих №1 – 1 мм; штрих №3 – 0,56 мм; штрих №5 – 0,25 мм). Розрахунок здійснювався від початкової ширини штриха, яка приймалася за 100%.

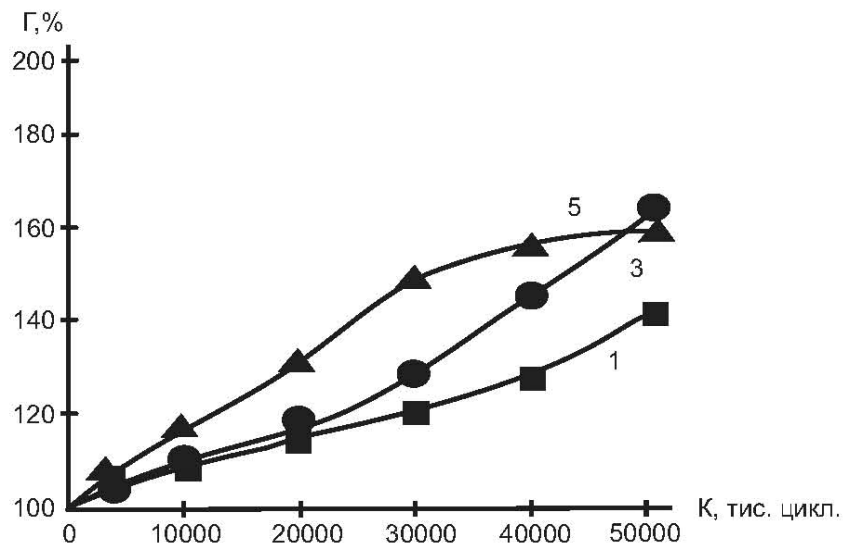


Рис. 5. Залежність відносної зміни ширини точкових елементів латунних штампів (точка №1 – 1 мм; точка №3 – 0,56 мм; точка №5 – 0,25 мм;)

Представлені графіки характеризують вплив кількості циклів навантаження тигельної машини на відносні зміни точкових елементів металевих штампів з латуні. Аналіз графічних залежностей підтверджує можливість побудови ряду в міру збільшення ширини точок латунного штампа: $1 < 3 < 5$ ($46\% < 96\% < 105\%$).

При визначенні чіткості відтворення штрихових елементів металевих штампів з міді й латуні залежність від кількості циклів тиснень збільшується, що показано на рис. 6.

Представлені графіки характеризують вплив кількості циклів навантаження тигельної машини на відносні зміни штрихових елементів металевих штампів з латуні. Аналіз таких графічних залежностей показав, що можна побудувати ряд у міру збільшення ширини штриха латунного штампа: $1 < 3 < 5$ ($46\% < 78\% < 96\%$).

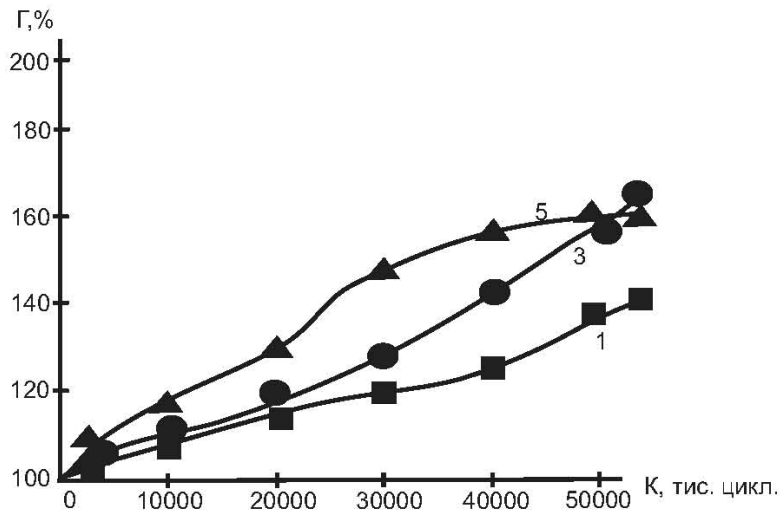


Рис. 6. Залежність відносної зміни ширини штрихових елементів латунних штампів від кількості циклів тиснень: штрих №1 – 1 мм; штрих №3 – 0,56 мм; штрих №5 – 0,25 мм

Як видно з рисунків 5 – 6, під дією навантажень тиснення швидко змінюються величини поверхонь точкових та штрихових елементів з подальшим зменшенням таких змін та їх стабілізації. Це, ймовірно, пов'язано з природою формних матеріалів, їх хімічними та фізико-механічними характеристиками, а також з перерозподілом концентрацій на поверхні елементів, їх розтисканні, у тому числі з округленням країв елементів.

Профілі елементів є трапецеподібними. Частково тертя, а частково деформація їх призводять до збільшення величини поверхні, що здійснює тиснення. Найбільші спотворення поверхні тиснення таких елементів характерні для найменших за розміром друкувальних елементів, при їх збільшенні спотворення зменшуються, що дає змогу побудувати ряди відповідних змін. У свою чергу, отримані ряди експериментальних показників пояснюються тим, що найбільші деформації матеріалу, на якому відбувається тиснення й концентрація напружень, як відомо з досліджень Я.І. Чехмана та інших авторів, очікуються саме на найменших елементах. Зростання деформації викликане підвищеним тиском на поверхню елемента штампа у т.ч. на його краї. Більший питомий тиск утворюється на менших елементах, що зумовлює їх спотворення та зменшення висоти.

При тисненні відбувається циклічне знакозмінне навантаження. Теоретично на верхній грані (поверхнева зона) реалізується втомний механізм зношення. Тут при кожному циклі стискання здійснюються елементарні акти мікропластичної деформації, які врешті-решт призводять до вичерпання запасу в'язкості матеріалу, результатом чого стає поява мікротріщин з подальшим утворенням підповерхневої тріщини і втомного вилушування поверхні (верхня грань фізична).

Окрім дослідження змін ширини точкових і штрихових елементів штампів з латуні, здійснювалося вивчення і змінення висоти елементів означених штампів. Як і в попередньому випадку, з використанням тест-шкал були виготовлені зразки штампів для дослідження стійкості друкувальних елементів до тиснення. Для досліджень вибрані штрихові й точкові елементи відповідного розміру (на тест-шкалі №1, 3, 5). Розрахунок здійснювали від початкової загальної висоти (товщини) штампа.

Представлені на рис. 7 графіки характеризують вплив кількості циклів тиснень на зміни висоти точкових елементів штампів. Аналіз графічних залежностей засвідчив, що можна побудувати ряд у міру зменшення висоти точок латунного штамп: $1 < 3 < 5$.

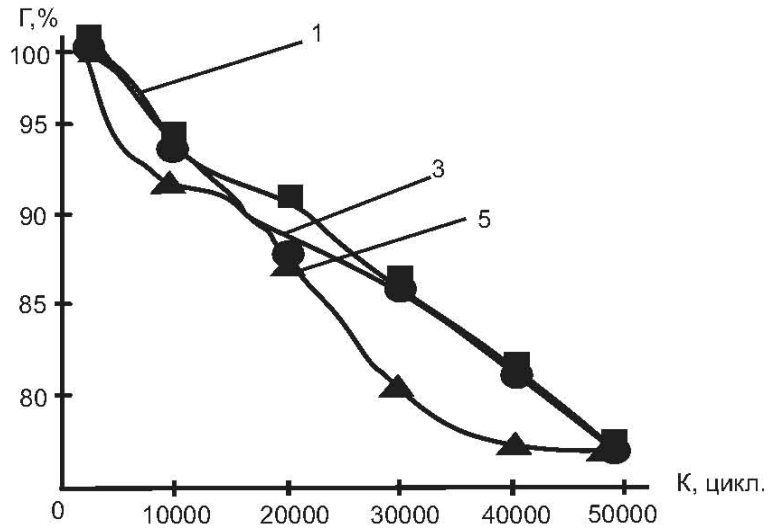


Рис. 7. Залежність відносної зміни висоти точкових елементів латунних штампів від кількості циклів тиснень: точка №1 – 1 мм; точка №3 – 0,56 мм; точка №5 – 0,25 мм

На рис. 8 представлені графіки, які характеризують вплив кількості циклів тиснень на змінення висоти штрихових елементів штампів.

За графічними залежностями побудовано ряд у міру зменшення висоти штрихів латунного штамп: $1 < 3 < 5$.

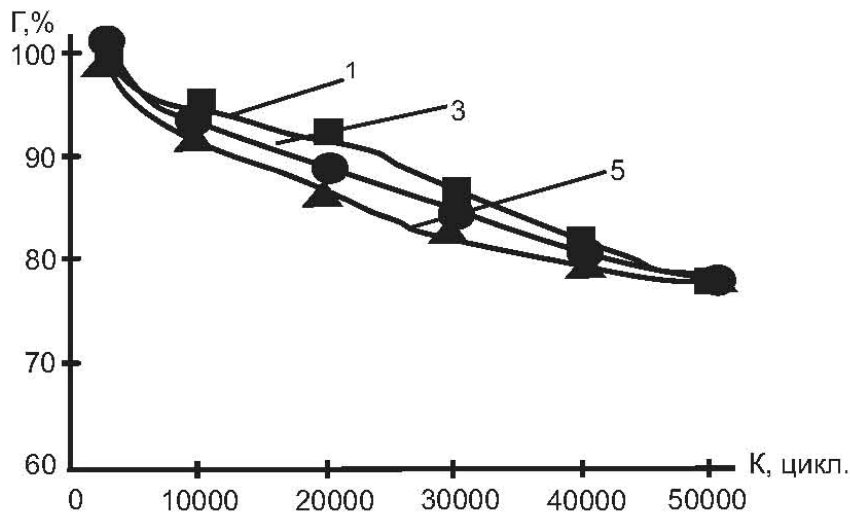


Рис. 8. Залежність відносної зміни висоти штрихових елементів латунних штампів від кількості циклів тиснень: штрих №1 – 1 мм; штрих №3 – 0,56 мм; штрих №5 – 0,25 мм

Як видно з рисунків, під дією навантажень тиснення відбуваються швидкі зміни висоти точкових та штрихових елементів штампів з подальшим їх зменшенням та стабілізацією. В результаті цього проходить часткова усадка елементів зі зміною структури металу.

Величина зміни висоти елементів металевих штампів (рис. 7–8) пов'язана з такими основними факторами, як природа металу, з якого вони виготовлені, величина та характер навантаження на штамп. Теоретично, на верхній грані (поверхнева зона) реалізується втомний механізм зношення. При кожному циклі стискання відбуваються елементарні мікропластичні деформації, які врешті-решт призводять до вичерпання запасу в'язкості матеріалу, до зношення і зміни структури поверхневих шарів елементів, що спричиняє ще щільніше наповнення їх об'єму, тобто усадку матеріалу. Такі змінення в металевих формах високого друку з відповідними змінами структури детально розглядаються в роботах О.Ф. Розума, О.М. Величко та інших учених.

У наступній частині статті приведені технологія зміцнення латунних штампів шляхом хімічного осадження нікелькобальтфосфорного сплаву (Ni-Co-P) [15], а також розглядаються результати лабораторних та виробничих досліджень.

Для хімічного осадження використовували розчин, котрий містить (г/л): вуглекислий кобальт – 7 сірчаноокислий нікель – 15, лимонноокислий натрій – 84, гіпофосфіт натрію – 30.

В 30 мл води при нагріванні розчиняють 7 г вуглекислого кобальту і в отриманий розчин додають по чергово 15 мл сірчаної кислоти (щільністю 1,84) і 90 мл аміаку. Потім розчиняють 15 г сірчаноокислого нікелю, 84 г лимонноокислого натрію і 30 г гіпофосфіту натрію. Об'єм розчину доводиться до 1 л.

Щільність завантаження складає 7,2 дм²/л. Тривалість хімічного осадження сплаву при температурі 80-90°C – 150 хв, рН розчину – 8-9.

Процес хімічного осадження сплаву характеризується підвищеною розсіювальною здатністю, завдяки чому забезпечується винятково рівномірність нанесеного покриття. По всій поверхні штампів незалежно від рельєфу утворюється гладка блискуча плівка металевого кольору. Процес отримання Ni-Co-P покриття відрізняється високою стабільністю і рівномірністю покриття. Коригуючи режими осадження можна отримувати товщину плівки від 5 до 30 мкм. Рельєф покриття повністю відтворює вихідний рельєф виробу (деталі).

Отримана плівка являє собою шар аморфної речовини, котра з підвищенням температури переходить у кристалічний стан. При відпалі покриття ($T_{\text{відп.}} = 250-260^\circ\text{C}$) протікають процеси утворення і виділення дрібнодисперсних сполук нікелю і кобальту із фосфором, що супроводжується підвищенням твердості і міцності. Так, у нашому випадку після відпалу покриття його мікротвердість становить $H_{20} = 7,5$ ГПа при мікротвердості самого латунного штампа $H_{20} = 0,65$ ГПа (вимірювання мікротвердості здійснювали на приладі ПМТ-3). Мікротвердість Ni-Co-P покриття в даному випадку відповідає мікротвердості загартованої середньовуглецевої сталі після низького відпуску. Згідно [15], твердість покриття можна підвищити, провівши відпал при вищих температурах, однак при цьому значно впаде мікротвердість самої латуні, що може негативно відбитись на службових властивостях зміцненого штампу в цілому. Поряд із значною мікротвердістю Ni-Co-P покриття характеризується значною в'язкістю, а отже великим опором втомі. Саме завдяки поєднанню високої твердості та значної в'язкості хімічне покриття

має великий запас працездатності в даних умовах експлуатації, тобто високі зносостійкість і опір контактній втомі.

На рис. 9 – 12 відображено дані, що характеризують зміну елементів металевих штампів, які після виготовлення були оброблені спеціальним зміцнювальним хімічним розчином. Що ж до зношення таких штампів, то зменшилося питоме зношення за масою (латунний штамп – на 35%); питоме об'ємне зношення також знизилася (латунний штамп – на 30%), як і зменшилися градієнт швидкості зношення (латунний штамп – на 35%) та інтенсивність стирання (латунний штамп – на 13%).

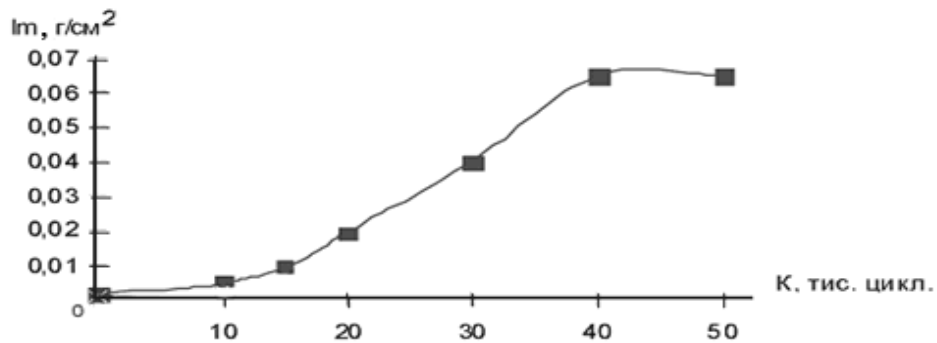


Рис. 9. Залежність показника питомого зношення за масою латунних штампів з покриттям до зношення

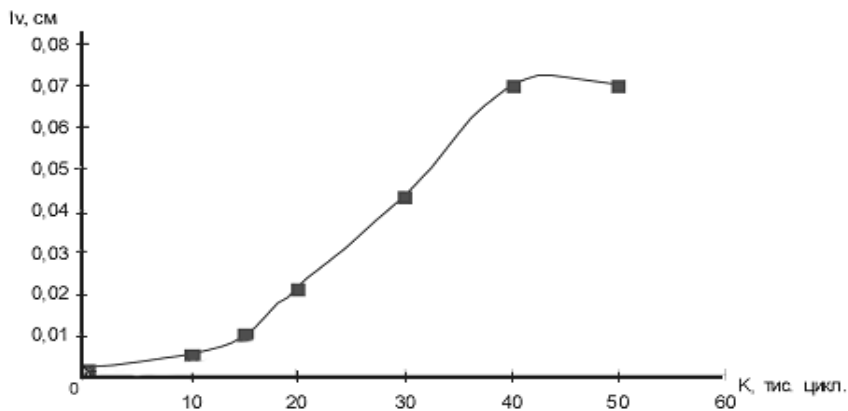


Рис. 10. Залежність показника питомого об'ємного зношення латунних штампів з покриттям до зношення

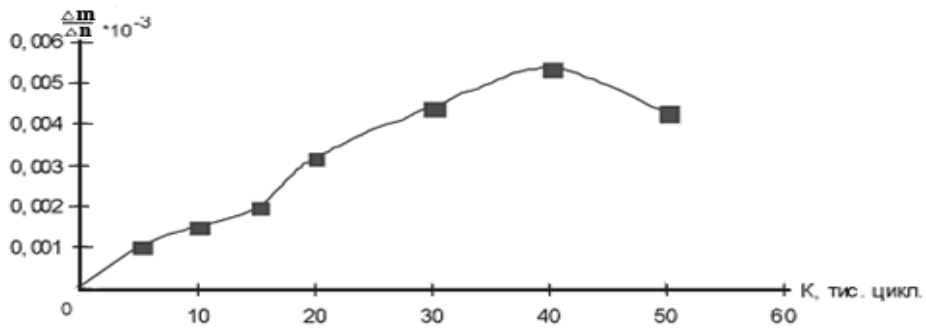


Рис. 11. Залежність показника градієнта швидкості зношення латунних штампів з покриттям до зношення стиранням

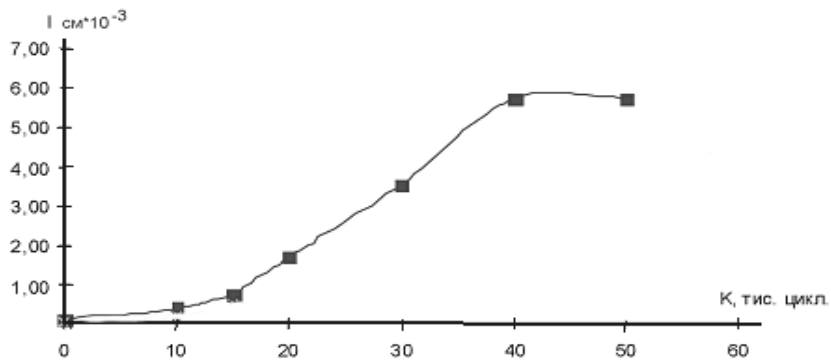


Рис. 12. Залежність показника інтенсивності стирання латунних штампів з покриттям до зношення стиранням

Відносні зміни висоти і ширини друкувальних елементів оброблених штампів хімічною усадкою на метал зображено на рис. 13 – 14. Як зазначено, розміри елементів латунного штампа майже не змінилися, що можна пояснити високою твердістю та зносостійкістю нанесеного покриття.

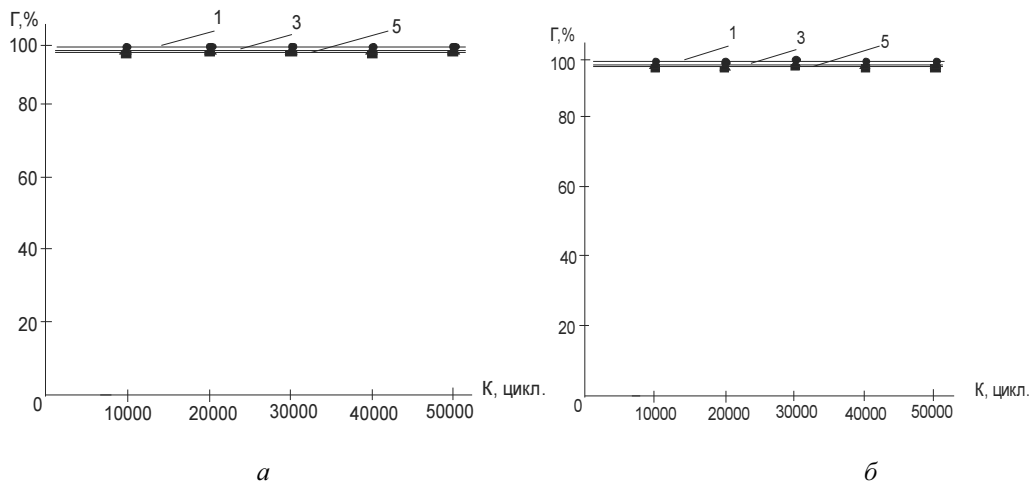


Рис. 13. Залежність відносного збільшення ширини (а) та зменшення висоти (б) штрихових елементів латунного штампа від кількості циклів тиснень : (№ 1 = 0,63мм, № 2 = 0,45 мм, № 3 = 0,25 мм)

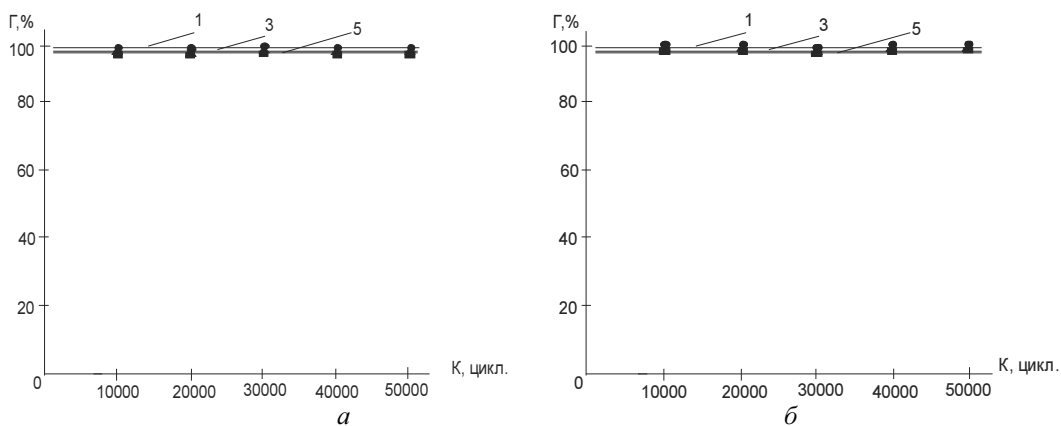
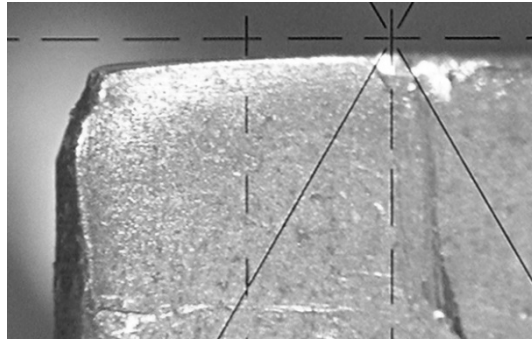


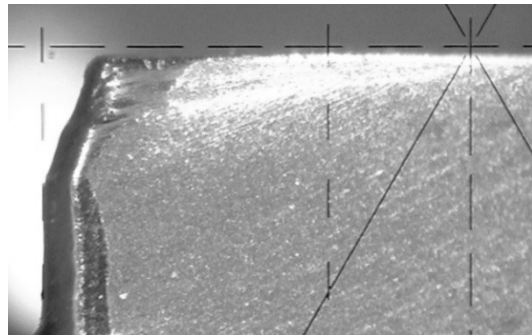
Рис. 14. Залежність відносного збільшення ширини (а) та зменшення висоти (б) точкових елементів латунного штампа від кількості циклів тиснень: (№ 1 = 0,63мм, № 2 = 0,45 мм, № 3 = 0,25 мм)

Як випливає з приведених рисунків, для штампів з вихідних латунних пластин характерні зміни висоти і ширини елементів, які зростають при збільшенні кількості тиснень. Водночас нанесення захисного покриття зводить такі зміни практично до нуля впродовж 50 тисяч циклів тиснення, що уможливорює підвищення тиражостійкості, а це особливо важливо при тисненні на етикетках та пакуванні.

Як відомо, вихід з ладу штампів для припресування фольги в основному обумовлюється такими факторами як: просідання друкуючого елемента внаслідок пластичної течії металу (рис. 15,а), втомного викришування країв друкуючих елементів (рис. 16), змінання друкуючих поверхонь через попадання в зону пресування паперового пилу або наповнювачів картону (рис. 17), а також абразивного зношування країв друкуючих елементів (рис. 18).



a



б

Рис. 15. Профіль друкарського елемента штампа: а) просідання (завал) краю друкарського елемента не зміцненого штампа (відпрацьований тираж – 300 тис. циклів; б) зміцненого штампа після тиражу 600 тис. циклів (матеріал – картон...), (збільшення – 50 разів)

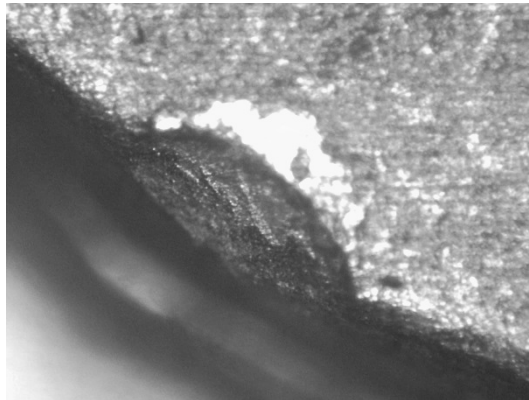


Рис. 16. Втомні сколи країв друкарських елементів (збільшення – 50 разів)

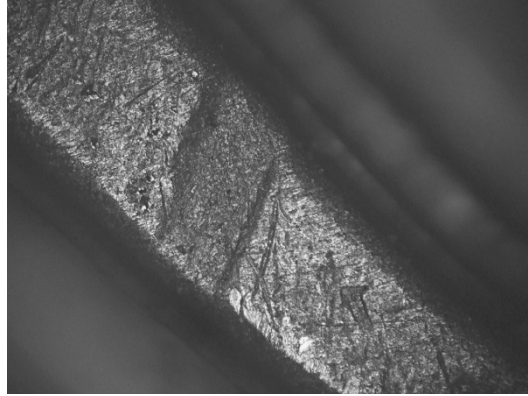


Рис. 17. Вмятини поверхні друкарських елементів (збільшення – 50 разів)

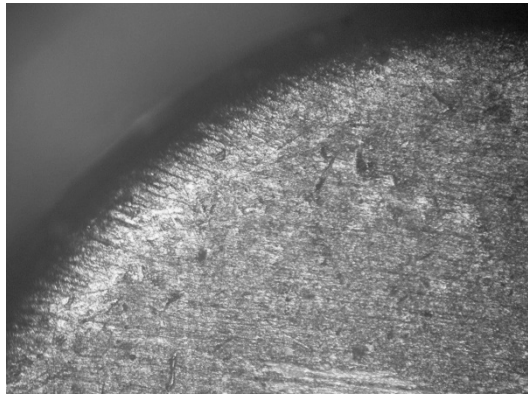
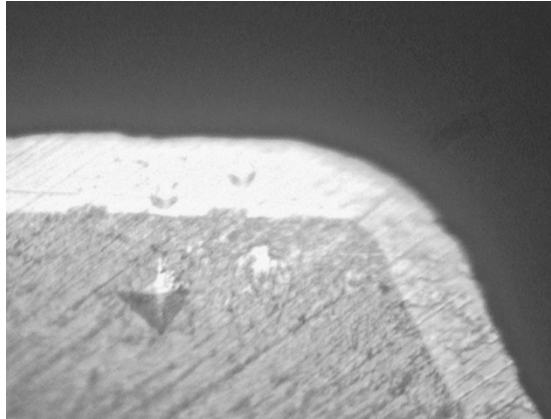


Рис. 18. Абразивне зношування країв друкарських елементів (збільшення – 50 разів)

Виробничі дослідження проводили на СП «Укрпол». Припресування фольги здійснювалось на картон марки.... Ресурс стандартного штампу при даних умовах роботи становив 300 тис. циклів. Контрольний зразок (зміцнений штамп) показав попередній ресурс в 600 тис. циклів (штамп було знято з обладнання через закінчення обсягів роботи). Ресурс контрольного зразка далеко не вичерпано.

Як показали дослідження, основним механізмом зношування в даному випадку є абразивний знос країв друкуючих елементів (рис. 19). Видно, що Ni-Co-P покриття відіграє роль «корсету» для штампу, оскільки рельєф (особливо країв друкуючих елементів) не зазнав змін (немає зминання краю). Видно, що в цьому місці частково зазнало зношення хімічне покриття – зріс радіус заокруглення краю друкуючого елемента, що в даному випадку не вплинуло на якість припресування.



*Рис. 19. Зношування країв друкуючого елемента зміцненого зразка (на поперечному шліфі видно відбитки від алмазної пірамідки після вимірювання мікротвердості)
(збільшення – 600 разів)*

Зношення Ni-Co-P покриття на фізичній поверхні практично не відбулось. Поверхня хімічного покриття після завершальної операції термічної обробки зазнає змін – вона набуває «гофрованого» рельєфу (рис. 20). Під час циклів роботи саме виступи рельєфу зазнають зносу внаслідок високих питомих тисків в цих місцях. Проте інтенсивність зношення є невисокою, про що свідчить незначна пляма фактичного контакту (світлі ділянки поверхні).

Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що для даного хімічного покриття в наявних умовах експлуатації основним механізмом спрацювання є лише абразивне зношування країв друкуючих елементів. Ресурс зміцненого штампа буде обмежуватися нерегламентованим зростанням радіусу заокруглення країв друкуючих елементів, в результаті чого буде понижуватись якість припресування фольги на упаковці (рвані краї фольги).

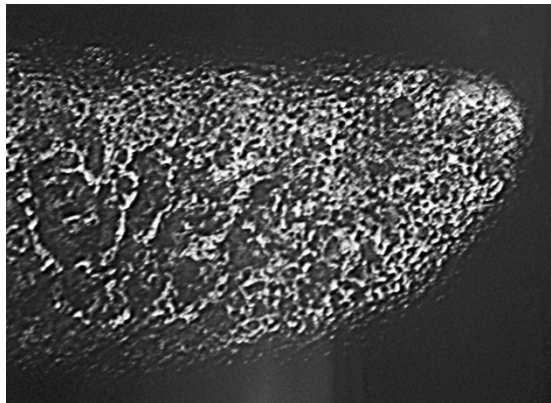
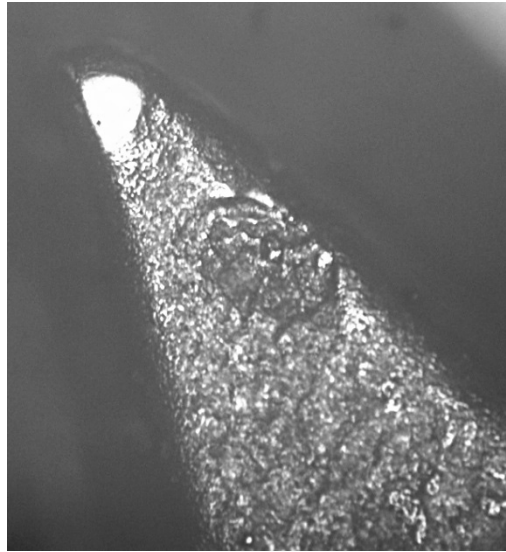


Рис. 20. Рельєф фізичної поверхні друкуючого елемента (збільшення – 50 разів)

Спостерігаються також невеликі ділянки змінання країв в місцях особливо значних контактних тисків (рис. 21,а). Ці ушкодження, однак, набагато менші аніж у стандартному штампі (рис. 21,б).



а



б

Рис. 21. Зношування (змінання) краю друкуючого елемента: а) зміцненого зразка, (збільшення – 50 разів); б) змінання і активне абразивне зношування аналогічного елемента стандартного штампа, (збільшення – 50 разів)

Таким чином, удосконалено технологію виготовлення штампів хімічною усадкою на метал, чим підвищено твердість штампа, його тиражостійкість та зносостійкість.

1. Васильєв В. А. В помощь граверу / В. А. Васильев. — М. : Ленпромбытиздат, 1990. — 96 с.

2. Величко Е. М. Тиражестойкость печатных форм / Е. М. Величко, Т. Г. Осипова, О. Ф. Розум. — К. : Реклама, 1987. — 89 с.

3. Величко Е. М. Тиражестойкость форм высокой печати / Е. М. Величко, О. Ф. Розум, Э. Т. Лазаренко. — М. : Книга, 1985. — 48 с.

4. Величко О. М. Механизм структурных изменений и регулирование износостойкости фотополимерных и металлических форм высокой печати: дис. канд. техн. наук / Величко. О.М. — Львов, 1983. — 217 с.
5. Розум О. Ф. Управление тиражестойкостью печатных форм / О. Ф. Розум. — К. : Техника, 1990. — 126 с.
6. Розум О. Ф. Физико-химические основы тиражестойкости печатных форм / О. Ф. Розум. — К., 1989.
7. Ратнер С. Б. Теория трения и износа / С. Б. Ратнер, М. В. Клименик, Е. Г. Лурье. — М. : Наука, 1965.
8. Розум О. Ф. Износостойкость форм высокой печати / О. Ф. Розум, Р. И. Мервинский, Э. Т. Лазаренко. — М.: МПИ, 1976. — 56 с.
9. Воробьев Д. В. Технология брошюровочно-переплетных процессов / Д. В. Воробьев, А. И. Дубасов, Ю. М. Лебедев. — М. : Книга, 1989. — 165 с.
10. Раскин А. Н. Технология печатных процессов / [А. Н. Раскин, И. В. Ромейков, Н. Д. Бирюкова и др.]. — М. : Книга, 1989. — С. 196–205.
11. Попрядухин П. А. Технология печатных процессов / П. А. Попрядухин. — М. : Книга, 1968. — С. 78–87, 120–125.
12. Справочник по триботехнике / [под. ред. М. С. Хебда, А. В. Чичинадзе]. — М.: Машиностроение, 1989. — Т.1. — 230 с.
13. Трение, износ и смазка: справочник / [под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина]. — М. : Машиностроение, 1988. — Кн. 1. — 145 с.
14. Гаркунов Д. М. Триботехника / Д. М. Гаркунов — М. : Машиностроение.— 1985. — 424 с.
15. О. Стецькив, В. Юцик, С. Савчук, А. Гусев, Т. Курбакова. Метод упрочнения литофильных матриц // Полиграфия, №2, 1981, с.11-13.