



УДК 631.021+655.3.062

**IMPROVEMENT OF OPERATING PROPERTIES OF PARTS OF FLEXOGRAPHIC SHEET MACHINES****ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ АРКУШЕВИХ МАШИН****Kirichek P.A. / Киричок П.О.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.**Видавничо-поліграфічний інститут, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»,  
Київ, проспект Перемоги, 37, 03056***Shostachuk O.P. / Шостачук О.П.***s. lecturer/ ст. викладач**кафедра МАПВ, Видавничо-поліграфічний інститут, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»,  
Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

*Проблема недостатньої точності позиціонування заготовок гофрованого картону при подачі у друкарський апарат спричинена відсутністю розробок технологічного процесу з утворення регулярного мікрорельєфу на направляючих флексографічних аркушевих машин. Це в свою чергу призводить до неточності суміщення фарб, деформації і руйнування заготовок гофрокартону, виникненню багатьох дефектів при друці.*

**Ключові слова:** *друкарський апарат, флексографічна машина, мікрорельєф, направляючі, гофрований картон.*

**Актуальність проблеми дослідження.** Актуальність проблеми розробки технологічного процесу утворення регулярного мікрорельєфу (РМ) на направляючих флексографічних аркушевих машин спричинений недостатньою точністю позиціонування заготовок гофрованого картону при подачі у друкарський апарат. При цьому спостерігається неточність суміщення двох і більше фарб, деформація і руйнування самих заготовок гофрокартону.

**Мета дослідження.** Провести аналіз позиціонування заготовок гофрованого картону різних типів, а також якість і точність суміщення фарб при друці на ньому. Розробити технологічний процес утворення регулярного мікрорельєфу на направляючих транспортуючої системи аркушевих флексографічних машин для точності позиціонування при друці заготовко та підвищення експлуатаційних властивостей при проходженні через вищевказану систему. Дослідити механізм задання тиску у вигляді конусної пари та запропонувати шляхи його удосконалення.

**Теоретична частина** Розглядаються аркушеві флексографічні машини, а саме транспортуюча система, де необхідна обробка поверхонь методом поверхневого пластичного деформування і може бути застосована для покращення плавності ходу і позиціонування гофрокартону при проході його по пласким направляючим флексографічного обладнання.

Відомий технологічний процес обробки пласких поверхонь комбінованим інструментом [1], згідно якому, виконують комбіновану обробку різанням і поверхневим пластичним деформуванням плоских поверхонь. В даному технологічному процесі деформуючі елементи частково "закачують" напливи метала, які утворюються після різання, і в той самий час утворюють нові



напливи після себе. Таким чином формується нерегулярний мікрорельєф з величиною напливів більшою, ніж вихідна шорсткість.

Відомий також спосіб поверхневого пластичного деформування, при якому на поверхні спочатку формуються канавки, з подальшим деформуванням її країв інструментами з прямолінійною формою твірної [2]. При формуванні канавки відбувається зміцнення поверхні. Однак величина зусилля, як наслідок, і поширення пластичної деформації на значну глибину, що характеризує зміцнений шар, обмежена. Це пояснюється тим, що висота напливів, які утворюються при обробці, тим більша, чим більше зусилля вдавлювання деформуючого інструмента. При великих зусиллях, наприклад, при необхідності отримання великої глибини зміцненого шару, висота напливів може досягати таких величин, при яких подальше формування канавки може стати неможливим. Наступне деформування країв канавки в цьому випадку буде супроводжуватися зростанням інтенсивності наклепу, збільшить вірогідність перенаклепу поверхневих шарів металу.

Розглянуто також технологічний процес комбінованої обробки поверхні шляхом випереджаючого поверхневого пластичного деформування (ППД) з наступною обробкою алмазно-абразивним інструментом. В такий спосіб на пласкій поверхні деталі алмазним деформуючим інструментом утворюють частково-регулярний мікрорельєф (ЧРМ) чотирикутного типу. Напливи, що утворилися після першої технологічної операції, а також гребінці мікронерівностей на ділянках з вихідною шорсткістю знімаються протягом другої операції торцем алмазно-абразивного інструмента.

Мікрорельєф чотирикутного типу не сприяє позиціонуванню картону при повздовжньому (прямолінійному) русі по пласкій направляючій. Алмазно-абразивним інструментом знімаються всі напливи, в той час, залишивши крайні напливи на мікрорельєфних направляючих [3,4], стає можливо позиціонувати картон при переміщенні його по пласким направляючим.

В основі заданого способу утворення мікрорельєфу поставлена задача покращення плавності руху і позиціонування гофрокартону при проході його по пласким направляючим флексографічного обладнання.

Від початку задруковування гофрованого картону до отримання кінцевої продукції на флексографічній аркушевій машині він проходить через пристрої подачі та транспортування. Пристрої подачі забезпечують надійне відділення аркуша картону від стосу. Листовивідні приймальні пристрої забезпечують виведення відбитків з останньої друкарської секції та їх укладання в стапель. Важливою вимогою до цих механізмів є відсутність деформацій та інших пошкоджень аркуша механізмами захвату та транспортування.

Механізми вирівнювання забезпечують стабільне прямокутне положення аркушів по відношенню до форми перед подачею їх в друкарську секцію. Це пов'язано з необхідністю точного співвідношення і сталості розмірів полів на відбитках, а також точного накладання фарб при друкуванні в кілька прогонів.

Авторами запропоновано утворення мікронаправляючих на пласких поверхнях транспортуючої системи аркушевої флексографічної машини методом поверхневого пластичного деформування. Це значно покращить

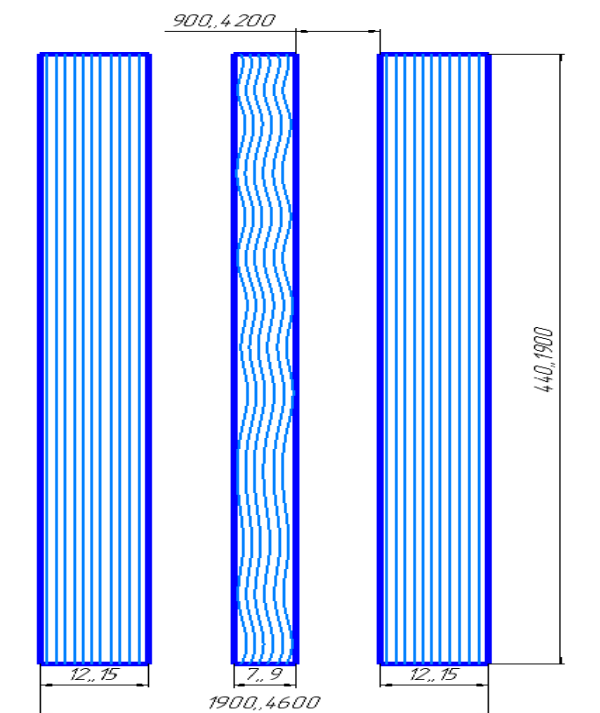


плавність руху і позиціонування гофрокартону при його переміщенні по направляючим флексографічного обладнання і як наслідок якісне відтворення необхідної інформації на поверхні задрукованої продукції.

Обробка здійснюється на вертикально-фрезерному верстаті за допомогою спеціального вібраційного пристрою. В якості деформуючого інструмента використовувався вигладжувач сферичної форми із синтетичного алмаза марки «карбонадо». Перед утворенням РМ пласкі направляючі шліфували, шорсткість поверхні дорівнювала  $Ra=0,32\text{мкм}$ . Попередні дослідження проводились вигладжувачами з радіусами робочої сфери  $R=1,5\text{мм}$ ,  $R=2\text{мм}$ ,  $R=2,5\text{мм}$ . Оптимізація радіуса інструмента здійснювалась методом сімплекс-планування. В якості вихідного плану дослідження використовувалась матриця сімплекс-планування при кількості факторів  $K=3$ . В результаті реалізації вихідного сімплекса було встановлено, що найбільш стабільні геометричні параметри РМ утворюються вигладжувачем із синтетичного алмаза з радіусом сфери  $R=2\text{мм}$ .

В залежності до вимог по твердості до матеріала направляючих, собівартості механізмів подачі в якості матеріала виробів досліджувались: Ст20 (HRC 55..57), Ст20Х (HRC 58..60), Ст40 (HRC 60..63), Ст40Х (HRC 62..64), Ст65 (HRC 63..65), Ст65ХГ (HRC 65..67).

Технологічний процес утворення РМ на пласких направляючих [5] проводять в декілька проходів. В результаті першого проходу на поверхні крайніх направляючих утворюють прямолінійні мікронаправляючі (рис.1) для вказаних вище матеріалів та відповідними параметрами РМ. В результаті виконання першого проходу утворюють пласку мікронаправляючу шириною  $b=0,4-0,33\text{ мм}$ , глибиною  $h=0,0068-0,005\text{ мм}$ , з напливами  $h_{n1}=0,003-0,0022\text{ мм}$  (рис.2).



**Рис.1. Утворення мікрорельєфу на направляючих аркушевих флексографічних машинах**

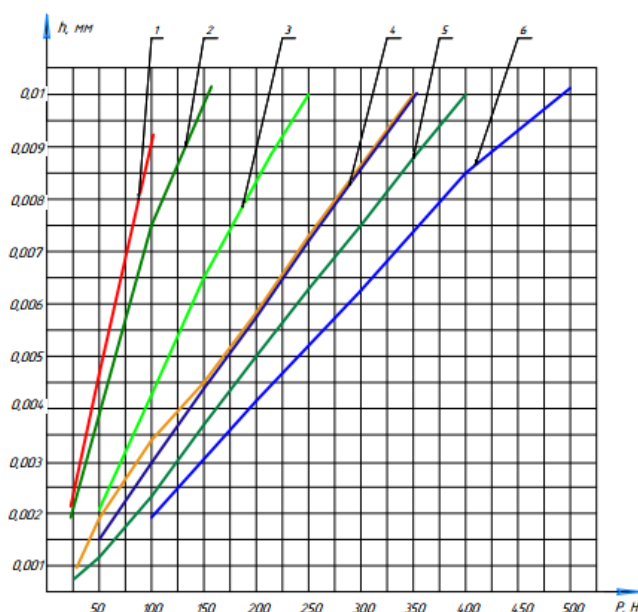


Описати нанесення мікрорельєфу можемо за допомогою функції:

$$y = d + \frac{1}{8} \sin \frac{1}{2} x,$$

де  $d$ -величина зміщення, мм

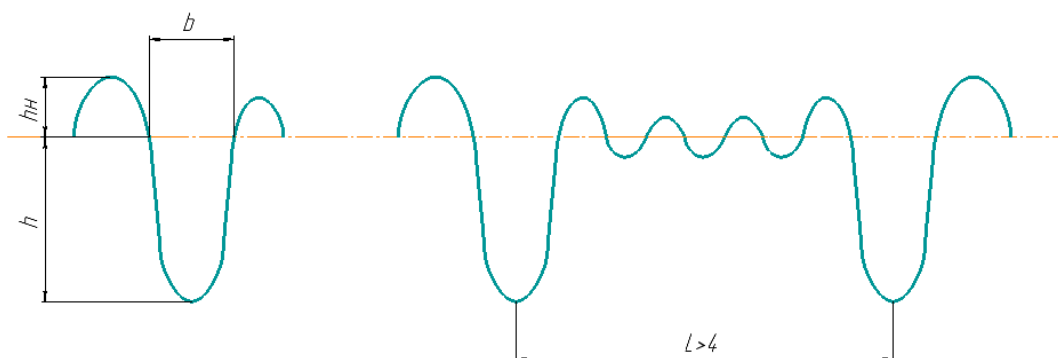
На другому проході зусилля деформування зменшують і внутрішні напливи прямолінійною мікронаправляючої, крім двох крайніх, піддають пластичному деформуванню. Геометричні характеристики вказаних напливів мають параметри:  $h_n=0,0015-0,0012$ мм.



№ п.	Метал	HRC
1	Сталь 20	55.57
2	Сталь 20Х	58.60
3	Сталь 40	60.63
4	Сталь 40Х	62.64
5	Сталь 65	63.65
6	Сталь 65ХГ	65.67

**Рис.2. Залежність глибини нерівностей від зусилля вдавлювання**

Потім на внутрішній пласкій направляючій отримують синусоїдальну мікронаправляючу з параметрами  $b=0,33-0,25$  мм,  $h=0,002-0,0015$  мм,  $h_n=0,001-0,0006$  мм (рис.3).



**Рис.3. Профіль мікрорельєфу на направляючих**

Внутрішню пласку направляючу піддають також пластичному деформуванню, на поверхні утворюють синусоїдальну направляючу. Для цього деформуючому інструменту надають додатково осцилярні рухи. Геометричні характеристики синусоїдальної мікронаправляючої мають параметри:  $b=0,33-0,25$ мм;  $h=0,002-0,0015$ мм;  $h_n=0,001-0,0006$ мм.



Кінцеву обробку плоских направляючих подачі картону здійснюють за декілька проходів методом поверхневого пластичного деформування.

Експериментально досліджено, що оптимальною площею мікронаправляючих для крайніх внутрішньої є величина  $F=28..32\%$  від загальної площі кожної з них.

Для визначення зносостійкості направляючих проводились дослідження на знос методом порівняння вагових втрат за допомогою лабораторних аналітичних вагів. Погрішність зносу маси не більше  $\pm 0,15\text{мг}$ . Результати досліджень показали, що зносостійкість крайніх та внутрішньої направляючих у порівнянні з шліфованими направляючими збільшується у 1,8-2,2 разів.

Одним із важливих механізмів у флексографічній машині є механізм задання тиску з використанням конусних поверхонь. Особливістю цього механізму є періодичність контакту зовнішньої і внутрішньої конусних поверхонь. Згідно з технічними умовами для передачі зусилля кожна з контактуючих деталей повинна максимально щільно періодично прилягати одна до одної і в той же час точно позиціонуватись в заданій позиції. Нами запропонований технологічний процес, який складається з декількох технологічних операцій.

На першому технологічному етапі внутрішню конусну конусну поверхню піддають поверхневому пластичному деформуванню (ППД). Внаслідок ППД змінюються геометричні і фізико-механічні параметри поверхні і поверхневого шару. Мікрогеометрія поверхні набуває іншого значення: мікронерівності мають зглажену, скруглену форму. У зв'язку з великим радіусом закруглень вершин мікронерівностей збільшується і опорна площа поверхні.

В результаті ППД в приповерхневому шарі виникають стискуючі залишкові напруги, які підвищують експлуатаційні властивості виробу (час припрацювання, зносостійкість, щільність прилягання контактуючих поверхонь, корозійна стійкість і т.ін.).

На другому технологічному етапі для збільшення площі контакту і точності позиціонування конусних поверхонь і як наслідок покращення якісних показників кінематики друкарського апарата флексографічних аркушевих машин, а також якості друкованої продукції виконують дві технологічні операції. Під час першої операції на зовнішній конусній поверхні утворюють частково-регулярний мікрорельєф у вигляді синусоїди. Площа поверхні мікрорельєфної синусоїди знаходиться в межах 20-25% від площі конусної поверхні, яка відсічена.

Виходячи з конструктивної особливості конусної деталі синусоїдальну мікронаправляючу утворюють на відстані 3 мм від вершини конуса деталі. В результаті відсічена частина для утворення синусоїдальної направляючої має  $\sim 2\text{мм}$ .

Твердість конусної деталі HRC 56..60 та 58..62.

Результати досліджень представлені в роботах [4,5] дозволяють вибрати зусилля деформування в діапазоні 100-120Н. В якості деформуючого інструмента обрано синтетичний алмазний індендор марки «карбонадо». Радіус сфери закруглення рекомендується 2,0..2,5 мм.



Результати проведених пробних досліджень сімплекс-методом дозволили задати зусилля вдавлювання  $P=100\text{Н}$  при радіусі сфери інструмента  $R=2\text{мм}$ . При зазначених зусиллях інструмента на поверхні на поверхні деталі видавили/утворили синусоїдальну мікронаправляючу з параметрами: ширина канавки синусоїди— $0,2\text{мм}$ , глибина канавки синусоїди— $0,001\text{мм}$ , висота напливів канавки синусоїди— $0,0003\text{мм}$ .

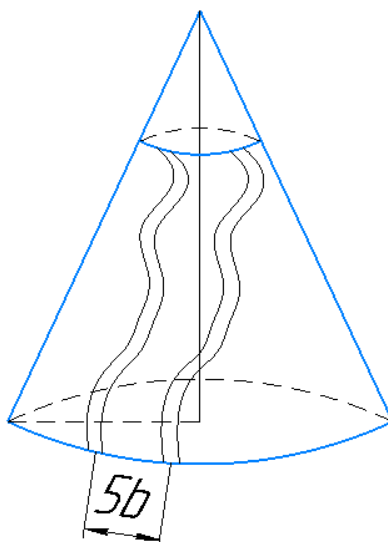
На другій операції зовнішню конусну поверхню деталі (рис.4) піддають вигладжуванню при зусиллі вдавлювання  $P=50\text{Н}$  і радіусі сфери інструмента  $R=2,5\text{мм}$ . В результаті запропонованої операції згладжуються напливи до величини  $0,0002\text{мм}$ , тобто напливи знаходяться в межах шорсткості поверхні.

Довжина повної арки синусоїди від  $0$  до  $\pi$  дорівнює:  $L_{\text{арк}}=2\sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, \pi/2)$   
 $E(k,t)$  еліптичний інтеграл II роду

Довжина дуги синусоїди:

$$L_{\text{sin}} = \sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, x_2) - \sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, x_1), 0 \leq x_1 \leq x_2 \leq \frac{\pi}{2}$$

Площа арки синусоїди:  $S = 2b\sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\pi}{2})$ , де  $b$ —ширина канавки синусоїди.



**Рис.4. Поверхня конусної деталі механізму тиску**

Таким чином:

$$\frac{\pi R\sqrt{R^2 + H^2} - r\sqrt{r^2 - h^2}}{5} \leq 4b\sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\pi}{2})$$

Розрахунок площі конусної поверхні (рис.5):

$$S = \pi RL = \pi R\sqrt{R^2 + H^2}$$

$$S' = \pi rl = \pi r\sqrt{r^2 - h^2}$$

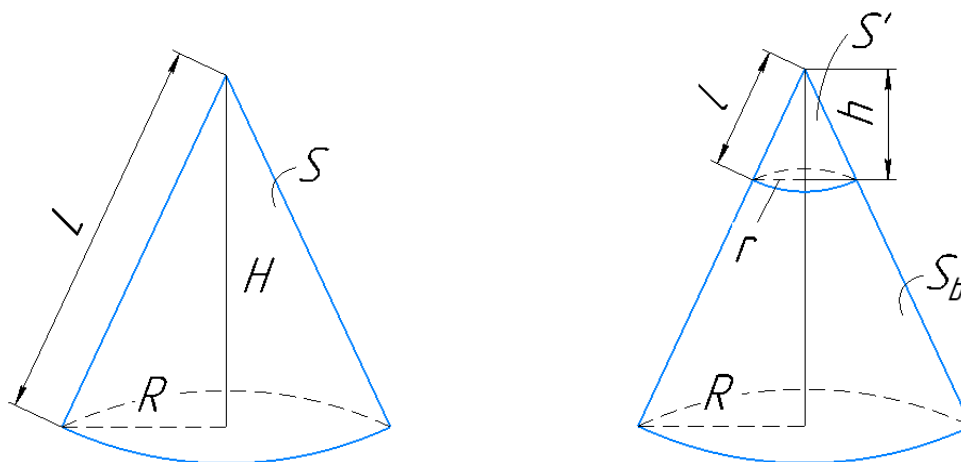
$$S_b = \pi(R\sqrt{R^2 + H^2} - r\sqrt{r^2 - h^2}) \leq 5S_{\text{sin}}$$

Довжина повної арки синусоїди від  $0$  до  $\pi$  дорівнює  $L_{\text{арк}} = 2\sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\pi}{2})$ , де

$E$ —еліптичний інтеграл II роду



Довжина однієї синусоїди до двох арок:  $L'_{\text{арк}} = 4\sqrt{2}E\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$



**Рис.5. Визначення площі нанесення мікрорельєфу**

З метою зміцнення циліндричних, плоских, фасонних пар тертя поліграфічних машин перспективним також є зміцнення поверхонь деталей з регулярним мікрорельєфом конструкційної сталі методом йонного азотування в безводневому середовищі в плазмі геліонного розряду. На теперішній час впровадження зазначеної технології потребує як більш широких досліджень на сталевих деталях, так і обмежень камер установки для йонно-плазмового формування вуглецевих нанотрубок в єдиному вакуумно-технологічному циклі [5,7]

В роботах досліджено вплив повністю регулярних мікрорельєфів (ПРМР) і частково регулярних мікрорельєфів (ЧРМР) різних видів і типів на зносостійкість, корозійну стійкість, плавність руху, припрацювання плоских і циліндричних поверхонь деталей машин і механізмів. Запропоновано підвищувати гідрошліпність в парах метал-рези́на за допомогою утворення на металевій поверхні тетрагонального або гексагонального ПРМР. Проаналізовані дослідження свідчать про актуальність покращення геометричних параметрів поверхонь деталей флексографічного обладнання за рахунок утворення регулярних мікрорельєфів. Конструктивні особливості деталей і вузлів, їх функціональне призначення свідчать про можливість використання методів ППД (вигладжування, розкатування, вібраційне накатування і обкатування і т.ін.) для фінішної поверхні з метою покращення якості і експлуатаційних властивостей виробів, що в свою чергу позитивно впливає на якість поліграфічної продукції.

Мікрорельєф чотирикутного типу не сприяє позиціонуванню картону при повздовжньому (прямолінійному) русі по плоскій направляючій.

Алмазно-абразивним інструментом знімаються всі напливи, в той час, залишивши крайні напливи на мікрорельєфних направляючих, стає можливо позиціонувати картон при переміщенні його по плоским направляючим.

Процесу поверхнево-пластичного деформування сприяють утворенню залишкових напруг, які позитивно впливають на зносостійкість пар тертя



виробів з металу, в той час як шліфовані поверхні навпаки.

Відомий спосіб комбінованої оздоблювально-зміцнюючої обробки (ОЗО) пласких направляючих [6] поліграфічного обладнання шляхом випереджаючого класичного деформування з наступною обробкою алмазно-абразивним інструментом. При цьому на пласкій поверхні деталі створюють алмазним деформуючим інструментом частково-регулярний мікрорельєф чотирикутного типу. Напливи, що утворилися після першої технологічної операції ОЗО, а також гребінці мікронерівностей на ділянках з вихідною шорсткістю знімаються протягом другої операції торцем алмазно-абразивного інструмента.

Проведення зносостійкості пласких направляючих флексографічної аркушевої машини проводилось на спеціальному стенді тертя на базі вертикально-фрезерного верстата. Для дослідження були підготовлені зразки, які імітували направляючі та задруковуваний матеріал.

Підготовка зразків для досліджень здійснювалась за наступним алгоритмом:

1. Очистка поверхонь повітрям під тиском, промивка в ацетоні та спирті, сушка.
2. Визначення на профілометрі-профілографі глибини мікронаправляючих.
3. Закріплення зразків і забезпечення тиску: зразок 1—в затискному пристрої на столі верстата, зразок 4 в тримачі 5.
4. Після 10 годин тертя під навантаженням роботу стенда зупиняють.
5. Зразок 1 очищають, промивають в ацетоні і спирті, просушують та зважують. Встановлюють величину зносу методом порівняння вагових втрат за допомогою аналітичних вагів з похибкою не більше 0,15мкм. Визначають величину лінійного зносу по зміні глибини мікронаправляючих на профілометрі-профілографі.

Для оптимізації площі мікронаправляючих на зразках утворюють регулярний мікрорельєф.

Дослідження зносостійкості на одних і тих режимах дублювались по 2 рази. Таким чином співставляючі методи оцінювання зносу направляючих можна використовувати у подальшій роботі та дослідженнях

### **Висновки**

Статистичні дані накладу 20 000 шт. задрукованих аркушів гофрокартону показали:

1. Точність позиціонування заготовок гофрокартону збільшилась на 33..37%.
2. Дефекти при друці, а саме несуміщення фарб зменшилось на 14..18%.
3. Плавність проходження заготовок зросла на 20%.
4. Збільшення швидкості друку за рахунок зменшення похибок позиціонування можливе на 5..10%.
5. Точність задання тиску в друкарській парі зросла на 12..17%.
6. Стабільність товщини шару фарби на задруковуваному матеріалі підвищилась на 16..22% в залежності від швидкості.
7. Час налагодження до друкарського процесу зменшується на 10%.





### Використана література

1. Авторське свідоцтво СССР №1171299 МКИ В24В39/00, видане 07.08.85р., бюл. №29.
2. Авторське свідоцтво СССР № 1243934 МКИ В24В39/00, видане 25.02.85р.
3. Алгоритм комбінованого технологічного процесу утворення мікронаправляючих на поверхнях поліграфічного обладнання / П.О.Киричок, М.В.Коробка *Технологія і техніка друкарства*, 2019, №4, (66), с. 4-15,
4. Підвищення експлуатаційних властивостей поліграфічного обладнання / М. В. Коробка // *Технологія і техніка друкарства : збірник наукових праць.* – 2019. – Вип. 3(65). – С. 64–71.
5. Технологія і техніка друкарства, 2005, №2, «Комплексна оздоблювально-зміцнююча обробка, П.О.Киричок, О.І.Хмілярчук, с.73-78.
6. Металлические поверхности и пленки, Е.М.Руденко, В.Е.Панарін, П.О.Киричок, с.993-1004, Зміцнення поверхні сталі 45 йонним азотуванням у геліконновому розряді.
7. *Eastern-European Journal of enterprise technologies*, О.Paliuch, Р.Курчочок, R.Trishchuk, М.Коробка, Е.Дзиадук, Defining, s.80-90
8. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1984. — 340с.
9. Киричок П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : Монографія / П. О. Киричок, Т. А Роїк., А. В. Шевчук, А. П. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 427 с.
10. ISO 7274-2001

**Abstract.** *The urgency of the problem of developing the technological process of formation of regular microrelief (RM) on the guides of flexographic sheet-fed machines is caused by insufficient accuracy of positioning of corrugated cardboard blanks when fed to the printing apparatus. At the same time inaccuracy of combination of two and more paints, deformation and destruction of preparations of a corrugated cardboard is observed.*

*The technological process of combined surface treatment by advanced surface plastic deformation (PPD) with subsequent treatment with a diamond-abrasive tool is also considered. In this way, a partially regular microrelief (CRM) of the quadrangular type is formed on the flat surface of the part with a diamond deforming tool. The inflows formed after the first technological operation, as well as the combs of micro-irregularities in areas with initial roughness are removed during the second operation by the end face of the diamond-abrasive tool.*

*Alignment mechanisms provide a stable rectangular position of the sheets relative to the form before feeding them into the printing section. This is due to the need for an accurate ratio and consistency of the size of the margins on the prints, as well as the exact application of inks when printing in several runs.*

**Keywords:** *print unit, flexographic machine, microrelief, dummy guides, corrugated cardboard.*