

УДК 621.7.015

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ

© П. О. Киричок, д.т.н., професор, О. І. Хмілярчук, к.т.н.,
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию отделочно-упрочняющей обработки на геометрические параметры качества и физико-механические свойства поверхностного слоя пар трения.

The results of experimental research of the influence finishing and strengthening treatment on characteristics of surface quality are presented.

Постановка проблеми

У попередніх роботах [1, 3, 4] було запропоновано нові способи оздоблювально-зміцнюючої обробки (ОЗО) поверхонь, встановлено теоретичні залежності між режимами обробки та геометричними параметрами якості поверхонь, їх фізико-механічними властивостями. Запропоновано також пристрої для реалізації нових способів обробки.

Проведення експериментальних досліджень першочергово дасть змогу говорити про адекватність запропонованих моделей, вдосконалити теоретичні залежності, а також перевірити гіпотезу про підвищення довговічності роботи деталей.

Мета роботи

Експериментальне дослідження впливу ОЗО на геометричні параметри якості поверхонь та фізико-механічні властивості поверхневого шару пар тертя.

Результати проведених досліджень

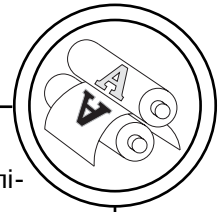
Дослідження експериментальних зразків, а також деталей

поліграфічного обладнання мали за мету підтвердити припущення про можливість підвищення експлуатаційних властивостей, надійності та довговічності роботи деталей за рахунок нанесення на конструктивні елементи регулярних мікрорельєфів з врахуванням впливу технології комбінованої ОЗО, вдосконалити існуючі теоретичні залежності, отримати нові, розробити, вдосконалити і практично перевірити інструменти для реалізації запропонованих способів обробки.

Експериментальні дослідження проводилися у лабораторних і виробничих умовах ґрунтуючись на теорії математичного планування експериментів, з використанням верстатів, розроблених стендів, методів дослідження шорсткості поверхонь, мікродюриметричних досліджень, визначення інтенсивності зношування із застосуванням стандартних вимірювальних пристроїв та ЕОМ для аналізу й обробки отриманих даних.

Досліджувався вплив технологічних факторів, а саме: зу-

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



силля деформування, радіуса деформуючого інструмента, осциляції інструмента, подачі на геометричні параметри мікрорельєфу: глибина і ширина нерівностей, висота напливів, площа нерівностей в поперечному перерізі.

Для проведення даних дослідів застосована методика пробних проходів. При цьому деформуючим інструментом з визначеним радіусом сфери на поверхні зразка, зменшуючи зусилля деформування, створювали нерівності. Після чого експерименти повторювали зі зміною радіуса деформуючого інструмента. Геометричні параметри мікрорельєфу визначали шляхом розшифрування профілограм.

ОЗО проводилась на токарно-гвинторізних верстатах 1К62, КА-280 за допомогою розроблених стендів та пристроїв.

Для підвищення продуктивності роботи поліграфічного обладнання, підвищення якості, надійності й довговічності роботи вузлів було вибрано наступні деталі: шийки друкарського, формного циліндрів та циліндрів фарбового апарату, контактні кільця, напрямні листоподаючої системи.

Зразки, що досліджувалися, і деталі мали циліндричну та плоску геометричну форму (рис. 1).

Вихідна шорсткість поверхонь перед виконанням опе-

рацій ОЗО становила для шліфованих поверхонь $R_a = 0,63 \dots 0,08$ мкм; у фрезерованих — $R_a = 1,25 \dots 0,16$ мкм; для поверхонь після точіння — $R_a = 1,25 \dots 0,16$ мкм.

Безпосередньо перед нанесенням частково-регулярного мікрорельєфу або повністю регулярного мікрорельєфу на поверхні, деталі промивались у воді з милом та протравлювались у слабкому розчині сірчаної кислоти.

Знаходження оптимальних режимів обробки для отримання необхідних параметрів мікрорельєфу як глибина (висота) і ширина нерівностей, а також висота напливів нерівностей мікрорельєфу, та розрахунок параметрів мікрорельєфу проводився спочатку теоретично за допомогою встановлених залежностей і розробленого програмного забезпечення, а потім порівнювалися з результатами експерименту.

На основі методу рангової кореляції і опитуванню спеціалістів можна стверджувати, що ступінь впливу таких технологічних факторів, як зусилля вдавлювання і радіус деформуючого елемента найбільші. Тому були проведені однофакторні експерименти, що дозволили встановити вплив вказаних факторів на глибину, ширину, висоту напливів і площу нерівностей в поперечному перерізі.

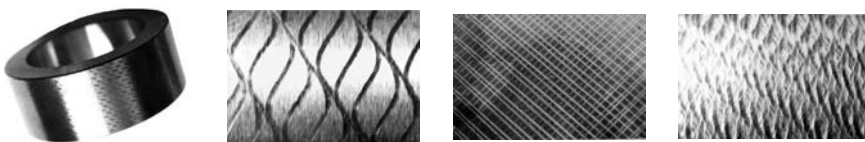
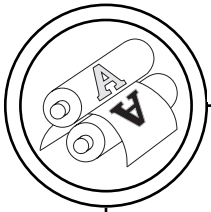


Рис. 1. Зразки для досліджень з різними мікрорельєфами поверхонь



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості матеріалів, які досліджувалися

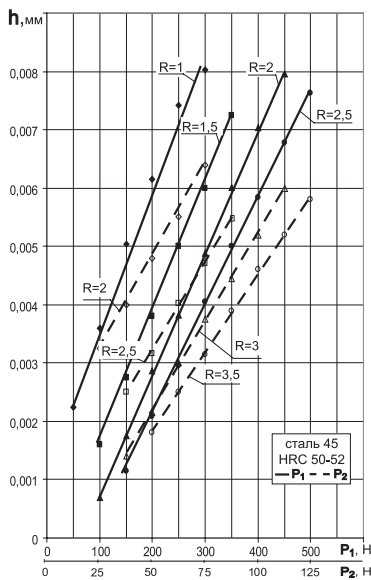
№	Матеріал	ГОСТ	Твердість, HB	Межа текучості, σ_T , МПа	Межа міцності при розтягненні, σ_B , МПа
1	Сталь 20Х	ГОСТ 4543-71	HRC 44...46	195	400
2	Сталь 20Х	ГОСТ 4543-71	HRC 60...62	635	780
3	Сталь 45	ГОСТ 1050-88	HRC 50...52	355	600
4	СЧ25	ГОСТ 1412-85	HB 190...210	—	250
5	Бронза Бр.05Ц5С5	ГОСТ 613-79	HRB 75...85	120	350

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано матеріали, фізико-механічні властивості яких наведено у табл. 1.

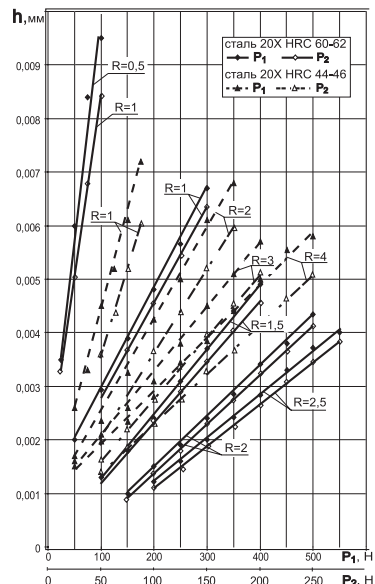
Отримані результати експериментів були опрацьовані та представлені у вигляді двовимір-

них кривих, які характеризують вплив зусилля втискання та радіусу індентора на геометричні параметри мікрорельєфу при комбінованій ОЗО на рис. 2-5.

Межі зміни зусилля втискання індентора для сталі 20Х HRC



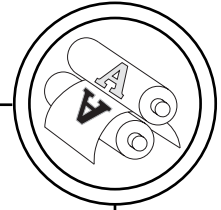
а



б

Рис. 2. Вплив зусилля втискання на глибину нерівностей при різних радіусах деформуючого інструменту для сталі 45 HRC 50-52 (а), сталі 20Х HRC 60-62 та HRC 44-46 (б)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



44-46: радіус 0,5 мм — 25-100 Н; радіус 1 мм — 50-300 Н; радіус 1,5 мм — 100-400 Н; радіус 2 мм — 150-500 Н; радіус 2,5 мм — 200-550 Н. Для сталі 20Х HRC 60-62: радіус 1 мм — 50-175 Н; радіус 2 мм — 50-350 Н; радіус 3 мм — 50-400 Н; радіус 4 мм — 100-500 Н. При виконанні другого переходу з формуванням ПР МР радіус індентора не змінювали.

Межі зміни зусилля втискання індентора для сталі 45: радіус 1 мм — 50-300 Н; радіус 1,5 мм — 100-350 Н; радіус 2 мм — 100-450 Н; радіус 2,5 мм — 150-500 Н. На другому переході при формуванні повністю регулярного мікрорельєфу радіус індентора збільшували на 1 мм відповідно.

Контроль та визначення параметрів зразків-об'єктів дослі-

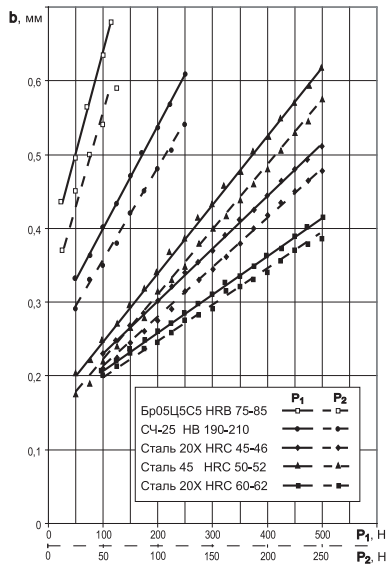
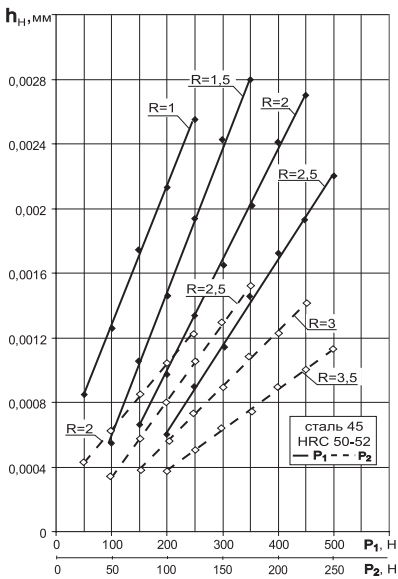
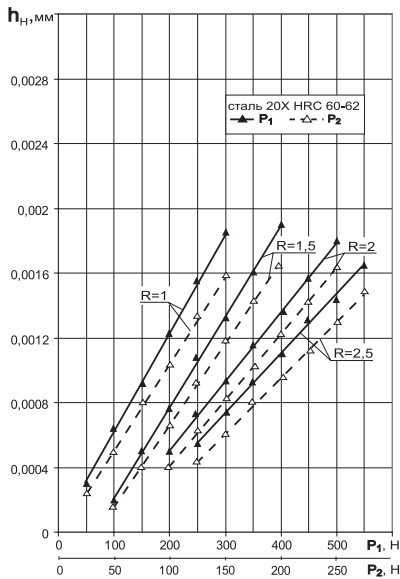


Рис. 3. Вплив зусилля втискання на ширину нерівностей різних радіусів деформуючих елементів для матеріалів: сталь 45, сталь 20Х, бронза Бр.05Ц5С5, чавун СЧ25

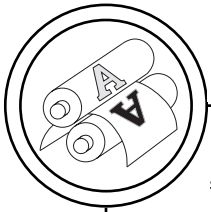


а

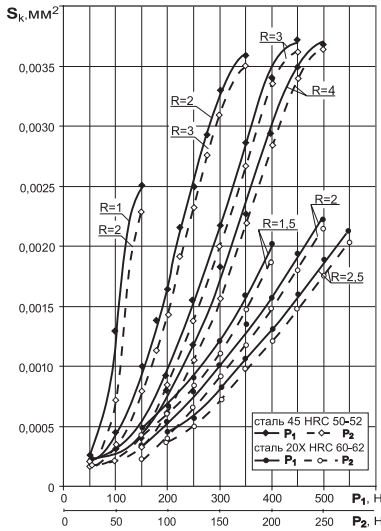


б

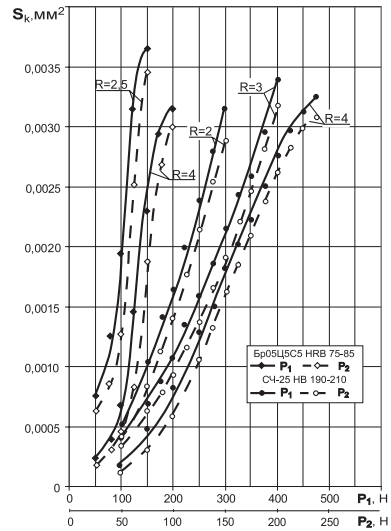
Рис. 4. Вплив зусилля втискання на висоту напливів при різних радіусах деформуючого інструменту для сталі 45 HRC 50-52 (а) та сталі 20Х HRC 60-62 при КОЗО (б)



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

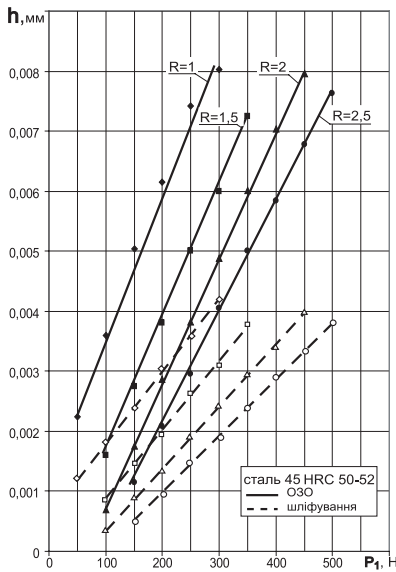


а

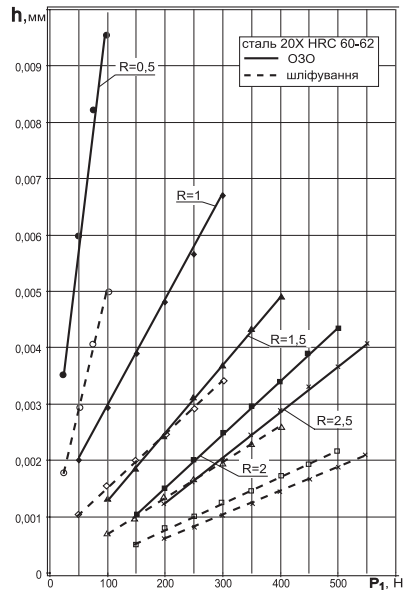


б

Рис. 5. Вплив зусилля вдавлювання на площу нерівностей в поперечному перерізі для різних радіусів деформуючого інструменту при комбінованій ОЗО для сталі 45 та сталі 20X (а), бронзи та чавуну (б)



а



б

Рис. 6. Вплив зусилля вдавлювання на глибину нерівностей при різних радіусах деформуючих елементів для сталі 45 HRC 50-52 (а) та сталі 20X HRC 60-62 (б) при ОЗО з наступним шліфуванням

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

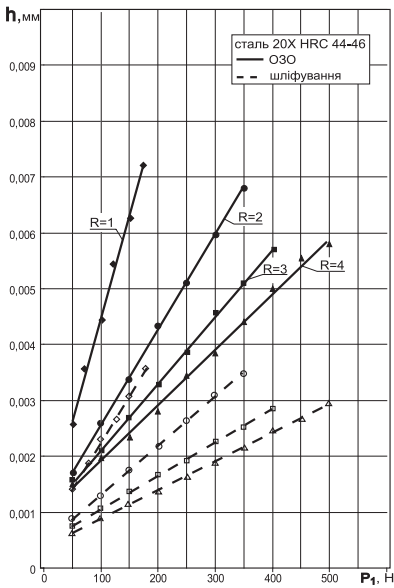
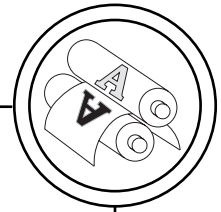


Рис. 7. Вплив зусилля вдавлювання на глибину нерівностей при різних радіусах деформуючих елементів для сталі 20X HRC 44-46 при ОЗО з наступним шліфуванням

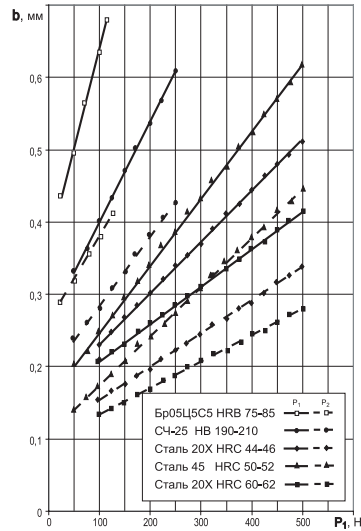


Рис. 8. Вплив зусилля вдавлювання на ширину нерівностей при різних радіусах деформуючих елементів для матеріалів: сталь 45, сталь 20X, бронза Бр.05Ц5С5, чавун СЧ25 при ОЗО з наступним шліфуванням

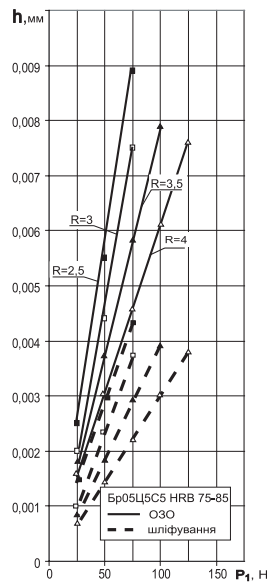
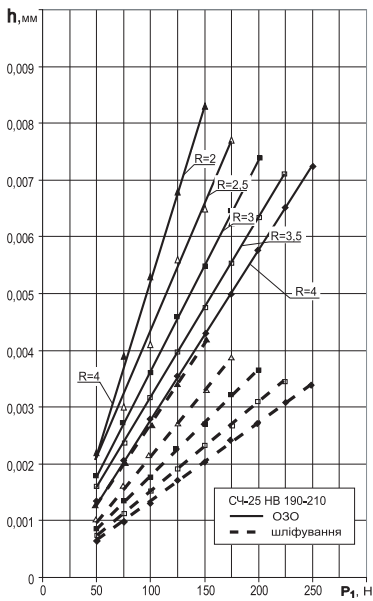


Рис. 9. Вплив зусилля вдавлювання на глибину нерівностей при різних радіусах деформуючих елементів для чавуну (а) та бронзи (б) при ОЗО з наступним шліфуванням



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

дження на всіх етапах проводиться за методиками на основі стандартизованих методів вимірювань: контролю лінійних розмірів та відхилення від форми, оцінки твердості поверхні, визначення параметру шорсткості.

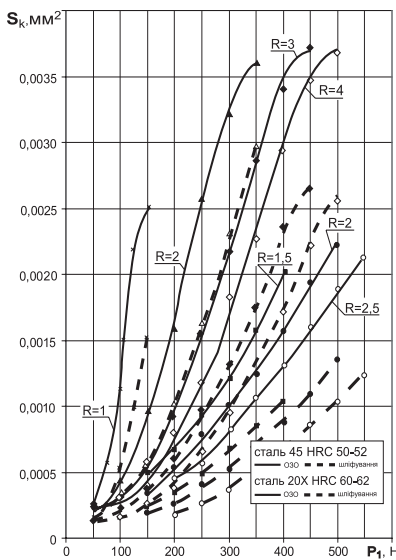
Опрацювання результатів експериментальних досліджень проведено у пакеті Microsoft Excel.

Межі зміни зусилля втискання індентора для бронзи БрО5Ц5С5 HRB 75-85: радіус 2,5 мм — 25-75 Н; радіус 3 мм — 25-75 Н; радіус 3,5 мм — 25-100 Н; радіус 4 мм — 25-125 Н. Для чавуну СЧ-25 HB 190-210: радіус 2 мм — 50-150 Н; радіус 2,5 мм — 50-175 Н; радіус 3 мм — 50-200 Н; радіус 3,5 мм — 50-225 Н; радіус 4 мм — 50-250 Н. При виконанні комбінованої ОЗО на друго-

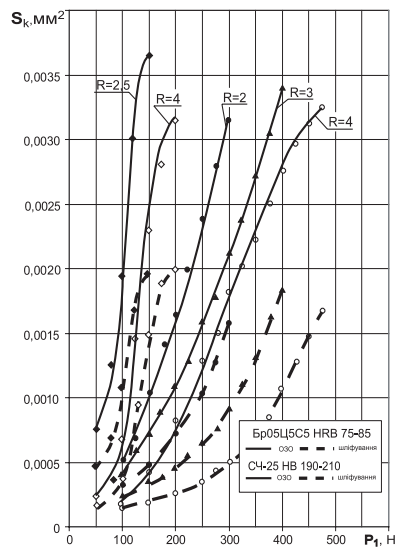
му переході при обробці бронзи та чавуну радіуси інденторів не змінювалися.

Зміна зусилля втискання при дослідженні впливу зусилля втискання та радіусів інденторів на площу канавок регулярного мікрорельєфу та висоту напливів відбувались у тих самих межах.

Результати однофакторних експериментальних досліджень залежності глибини, ширини і висоти напливів від зусилля вдавлювання деформуючого інструмента і його радіуса наступні. Залежність глибини, ширини і висоти напливів має чітко визначений лінійний характер. При постійних зусиллях із збільшенням радіуса деформуючого інструмента значення h і h_H зменшується. Це пояснюється зменшенням величини питомо-



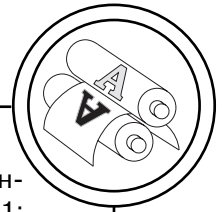
а



б

Рис. 10. Вплив зусилля вдавлювання на ширину нерівностей при різних радіусах деформуючих елементів для матеріалів: сталь 45, сталь 20X (а), бронза Бр.О5Ц5С5, чавун СЧ25 (б) при ОЗО з наступним шліфуванням

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



го тиску. При збільшенні навантаження і, відповідно, розмірів нерівностей до визначеної межі процес пластичного відтискання переходить у процес сколу, який супроводжується погіршенням вигляду поверхні, що оброблюється.

Це призводить до виникнення перенаклепу. У зв'язку з цим, максимальне зусилля для кожного радіуса визначається величиною, яка відповідає проекції на вісь абсцис верхньої точки відрізка прямої. Нижня межа зусилля визначається величиною, при якій вигладжування поверхні переходить в утворення нерівностей.

Результати експериментальних досліджень з визначення змін площі нерівностей в поперечному перерізі від зусилля вдавлювання і радіуса індентора наведено на рис. 5, рис. 10.

Максимальна площа нерівностей в поперечному перерізі визначається величиною, яка відповідає проекції на вісь ординат верхньої точки кривої. Збільшення площі нерівностей більше цього значення вимагає збільшення зусилля вдавлювання. Проведені дослідження показали, що збільшення зусилля вдавлювання інструмента більше за величину, що визначається проекцією верхньої точки кривої на вісь абсцис, не призводить до збільшення площі нерівності. Якість поверхні при цьому починає різко погіршуватись, так як з'являються частки металу, які відшаровуються.

Величина зусилля вдавлювання інструмента під час дослідів змінювалась в діапазоні від

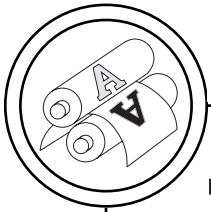
50 Н до 550 Н, а радіуси інденторів мали наступні величини: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 мм.

Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень впливу режимів обробки на геометричні параметри мікрорельєфу проведено з метою встановлення похибки між аналітичними розрахунками глибини, ширини нерівностей, площі нерівностей у поперечному перерізі та проведеними експериментальними дослідженнями.

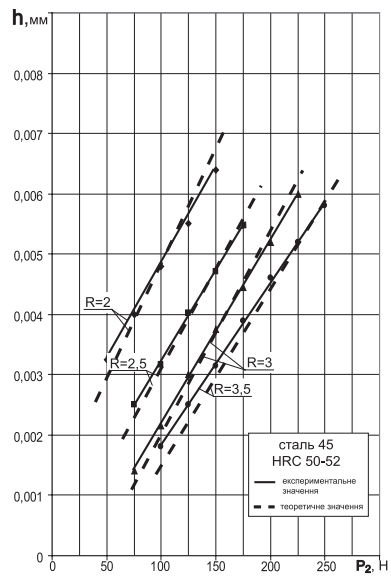
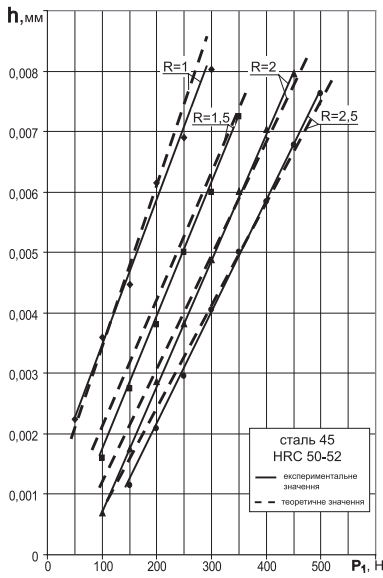
Для матеріалу сталь 45 HRC 50-52 на рис. 11-12 представлено порівняльний аналіз у вигляді двовимірних кривих формування глибини нерівностей та площі нерівностей у поперечному перерізі після першого та другого переходів при комбінованій ОЗО.

Проведений аналіз показав, що для матеріалу сталь 45 похибка між аналітичними та експериментальними показниками склала 5-7 %, для сталі 20X HRC 44-46 — 5-7 %, сталі 20X HRC — 60-62 3-6 %, бронзи БрО5Ц5С5 та чавуну СЧ-25 190-210 — 5-10 %.

Певний вплив на виникнення похибки вносять припущення, зроблені при складанні аналітичних залежностей, такі як: не враховувалась зміна форми та розмірів нерівностей, пов'язані з пружними властивостями матеріалу, напливи, які утворюються по краях нерівностей. Крім того не досліджувався вплив вібрації системи верстат-деталь-інструмент на формування нерівностей. Тож за даних умов величина похибки у 5-10 % є припустимою, через неможливість складання 100 % адекватної моделі.



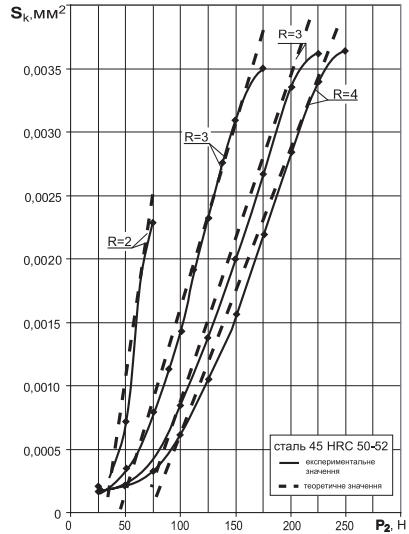
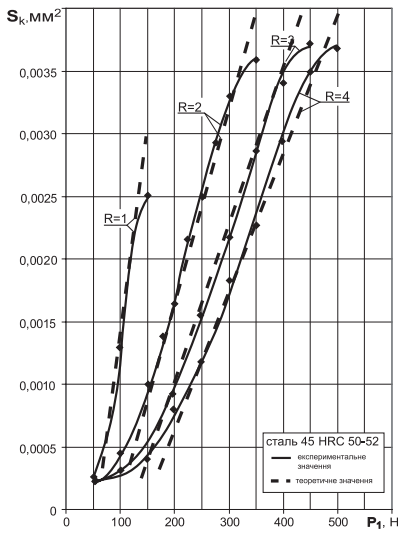
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



а

б

Рис. 11. Порівняльний аналіз формування глибини нерівності теоретичних та експериментальних досліджень після першого (а) та другого (б) переходів

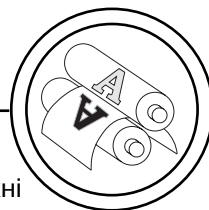


а

б

Рис. 12. Порівняльний аналіз формування площі нерівності в поперечному перерізі теоретичних та експериментальних досліджень після першого (а) та другого (б) переходів

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



Враховуючи те, що за результатами попередніх теоретичних досліджень прогнозувати вплив нової технології обробки на зносостійкість та довговічність неможливо, було проведено ряд експериментальних досліджень.

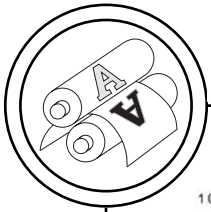
Вплив технологічних факторів досліджувався на циліндричних і плоских зразках на різних

матеріалах (табл. 1), на поверхні яких було нанесено ЧРМР з наступною обробкою шліфуванням або утворенням ПРМР і порівнювався з дослідженнями зразків після тонкого точіння, шліфування та утворення ЧРМР.

Досліджувалися зразки зі сталі, чавуну, бронзи. В табл. 2 наведені усереднені показники

Таблиця 2
Зміна мікрорельєфу поверхні під впливом сили тертя

	Матеріал	Вид обробки	Ширина нерівності, мкм	
			До зносу	Після зносу
1	Сталь 45 HRC 50-52	Тонке точіння	100	88
		Шліфування	100	93
		ЧРМР	100	97
		ЧРМР + ПРМР	100	97,5
		ЧРМР + шліфування	100	97
2	Сталь 20X HRC 44-46	Тонке точіння	125	106
		Шліфування	125	112
		ЧРМР	125	121
		ЧРМР + ПРМР	125	121,5
		ЧРМР + шліфування	125	121
3	Сталь 20X HRC 60-62	Тонке точіння	120	115
		Шліфування	120	116
		ЧРМР	120	117
		ЧРМР + ПРМР	120	118
		ЧРМР + шліфування	120	117,5
4	Бронза БрО5Ц5С5 HRB 75-85	Тонке точіння	145	113
		Шліфування	145	120
		ЧРМР	145	127
		ЧРМР + ПРМР	145	133
		ЧРМР + шліфування	145	127
5	Чавун СЧ-25 HB 190-210	Тонке точіння	137	112
		Шліфування	137	115
		ЧРМР	137	123
		ЧРМР + ПРМР	137	129
		ЧРМР + шліфування	137	126



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

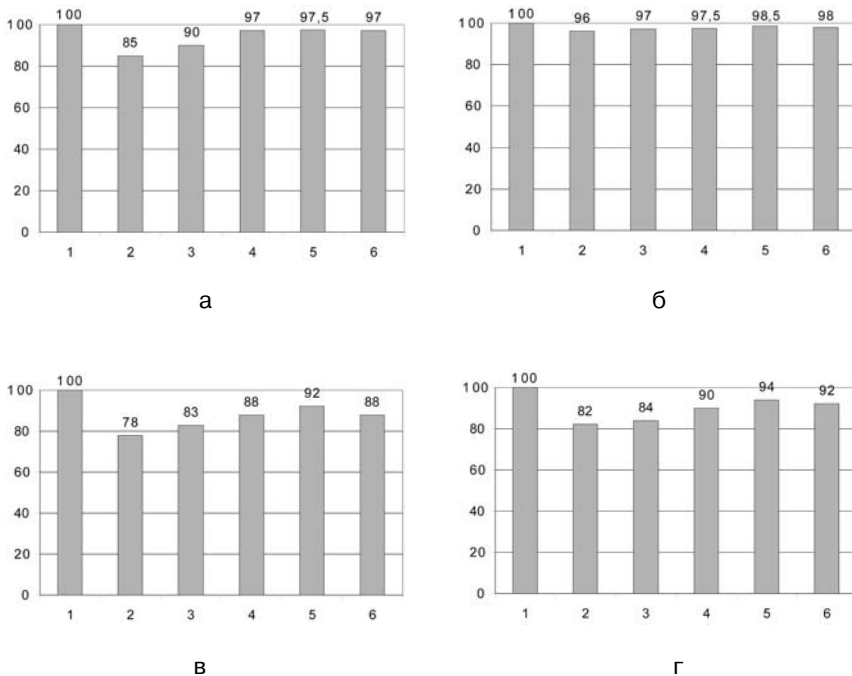


Рис. 13. Гістограма зносу сталі 20X HRC 44-46 (а), сталі 20X HRC 60-62 (б), бронзи Бр05Ц5С5 HRB 75-85 (в), чавуну СЧ-25 HB 190-210 (г): 1 — поверхня до зносу; 2 — обробка тонким точінням; 3 — обробка шліфуванням; 4 — нанесення частково-регулярного мікрорельєфу; 5 — нанесення частково-регулярного мікрорельєфу з наступним нанесенням повністю регулярного мікрорельєфу; 6 — нанесення частково-регулярного мікрорельєфу з наступним шліфуванням

ширини нерівностей до і після проведення досліджень на зносостійкість, зняті з записаних профілограм.

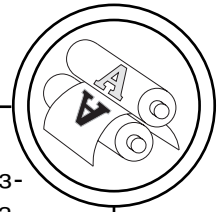
Для порівняння зносостійкості матеріалів, які оброблені різними технологічними операціями фінішної обробки, побудовано гістограми порівняння. За 100% на гістограмах прийнято поверхні до проведення досліджень на зносостійкість. На рис. 13 представлено гістограми зносу матеріалів згідно табл. 2.

Проаналізувавши результати досліджень, можна зробити наступні висновки:

— зносостійкість поверхні залежить від режимів вібровигладжування; найменший знос спостерігається при вібровигладжуванні силою, яка забезпечує малу шорсткість поверхні і високу мікротвердість; інші параметри процесу (швидкість, подача та ін.) в меншій мірі впливають на знос поверхні;

— величина зносу приробки та інтенсивність усталеного зносу по-різному залежать від режимів вібровигладжування: при згладжуючих режимах знос приробки різко зменшується в порівнянні із зносом шліфованих поверхонь, інтенсивність усталеного

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



ного зносу майже однакова, що пояснюється дуже тонким зміцненим шаром, який стирається у процесі приробки; при зміцнюючих режимах обробки знос приробки дещо вищий, але суттєво зменшується інтенсивність усталеного зносу, що пояснюється величиною і глибиною розташування залишкових стилюючих напруг.

Висновки

1. Підтверджено можливість підвищення якості та експлуатаційних властивостей поверхонь деталей поліграфічного обладнання оздоблювально-зміцнюючою обробкою. У порівнянні з деталями, поверхні контакту яких отримано шліфуванням або тонким точінням, розроблена технологія оздоблювально-зміцнюючої обробки дозволяє формувати поверхню з регулярним мікрорельєфом та управляти відносною опорною площею поверхонь контакту.

2. Встановлено вплив розробленої технології комбінованої оздоблювально-зміцнюючої обробки та ОЗО з наступним шліфуванням, а саме залежності між зусиллям втискання та радіусом робочої частини індентора і параметрами якості поверхневих шарів. Отримані експериментальні дані підтвердили теоретичні розрахунки. Похибка між експериментальними і теоретичними розрахунками становить 5-10 %, що є прийнятним через неможливість складання 100 % адекватної моделі.

3. Проведені експериментальні дослідження показали значне зростання якості і експлуатаційних властивостей деталей — підвищення зносостійкості таких поверхонь деталей як: шийки офсетних, друкарських циліндрів, контактних кілець, затискних планок, підшипників, — спостерігається у 1,2-1,4 рази.

1. Хмілярчук О. І. Комбіновані способи поверхневого пластичного деформування деталей поліграфічного обладнання / О. І. Хмілярчук // Технологія і техніка друкарства. — 2006. — № 3(13). — С. 74—81. 2. Киричок П. О. Методика визначення площі перекриття нерівностей при утворенні мікрорельєфів II та III видів при оздоблювально-зміцнюючій обробці / П. О. Киричок, О. І. Хмілярчук // Технологія і техніка друкарства. — 2005. — № 2(8). — С. 73—78. 3. Киричок П. О. Комплексна оздоблювально-зміцнююча обробка / П. О. Киричок, О. І. Хмілярчук // Технологія і техніка друкарства. — 2005. — № 3-4(9-10). — С. 46—52. 4. Хмілярчук О. І. Пристрої та інструмент для виконання віброобробки на деталях поліграфічного обладнання / О. І. Хмілярчук // Технологія і техніка друкарства. — 2006. — № 1-2 (11-12). — С. 133—137.

Рецензент — Т. А. Роїк, д.т.н., професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 05.10.09