

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Шкурупій Валентин Григорович**

УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ СВІТЛОВІДБИВАЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ  
ДЕТАЛЕЙ ІЗ ТОНКОГО ЛИСТА І СТРІЧОК**

Спеціальність 05.02.08 - технологія машинобудування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2006

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі “Техніка та технології” Харківського національного економічного університету Міністерства освіти і науки України (м. Харків)

**Науковий керівник:** доктор технічних наук

**Новіков Федір Васильович,**

Харківський національний економічний університет,  
професор кафедри “Техніка та технології”.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Ларшин Василь Петрович,**

Одеський національний політехнічний університет,  
професор кафедри “Технологія машинобудування”;

кандидат технічних наук, доцент

**Умінський Сергій Михайлович,**

Одеський державний аграрний університет,  
доцент кафедри “Експлуатації та ремонту МТП”

**Провідна установа:** ДП Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування Міністерства промислової політики України, м. Харків.

Захист відбудеться “ 19 ” травня 2006 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.02 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка,1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка,1.

Автореферат розісланий “ 17 ” квітня 2006 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Оборський Г.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** З метою зниження маси, габаритів і економії конструкційних матеріалів при виготовленні сучасних машин і систем широко використовуються деталі з тонкого листа і стрічок. Частина таких деталей працює в умовах впливу світлового потоку, що приводить до нерівномірного нагрівання, виникнення значних температурних деформацій і до зниження експлуатаційних властивостей виробів. До них відносяться різного роду телескопічні системи, довгомірні трубочасті елементи, деталі, які використовуються в космічних літальних апаратах, наприклад, елементи зовнішніх оболонок, пружні виносні елементи, трубки, що плоско завертаються (штанги систем гравітаційної орієнтації і стабілізації, антени та ін.), виготовлені з матеріалів з особливими властивостями пружності і теплового лінійного розширення (хромонікелевих, мідно-берилієвих сплавів та ін.).

Зменшити температуру нагрівання деталей, що працюють в умовах впливу світлового потоку, можна за рахунок створення на них світловідбивних поверхонь, у тому числі методами механічної і фізико-технічної обробки. Однак, у даний час відсутні практичні рекомендації з технологічного забезпечення високої світловідбивної і випромінювальної здібностей поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок. Не досліджені питання взаємозв'язку шорсткості й оптичних характеристик оброблених поверхонь, що не дозволяє науково обґрунтовано підійти до вибору оптимальних методів і умов обробки.

Перспективними є процеси абразивної й електрохімічної обробки, що можуть забезпечити необхідні значення цих характеристик. Разом з тим, дані процеси багатofакторні, дають не стабільні результати, особливо при фінішній обробці тонких пружних стрічок механічними методами. Ці процеси супроводжуються залишковими деформаціями в матеріалі стрічок, які розповсюджуються на розміри, перебільшуючи товщину стінок деталей. У зв'язку з цим дані процеси вимагають подальшого вивчення. Практична реалізація цих процесів недостатньо досліджена для їхнього серійного застосування. Усе це вказує на необхідність проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень по технологічному забезпеченню геометричних і оптичних характеристик поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок з метою підвищення їхніх експлуатаційних властивостей. Тому в роботі вирішується важлива й актуальна народногосподарська задача розробки ефективного технологічного процесу фінішної абразивно-електрохімічної обробки поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок для додання їм необхідних геометричних і оптичних характеристик. Необхідність рішення даної задачі продиктована також проблемами створення світловідбиваючих матових поверхонь деталей, що забезпечують підвищення їхньої зносостійкості і масло утримання, наприклад, пара тертя торцевих ущільнень або що забезпечують естетичні властивості (деталі термостата і т.п.).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри “Техніки і технології” Харківського національного економічного університету в рамках тем: “Дослідження процесів оздоблювальної обробки поверхонь деталей з алюмінієвих і нержавіючих сплавів”, “Дослідження впливу стану поверхні після різних методів обробки на

експлуатаційні (випромінювальні) властивості деталей і розробка рекомендацій по досягненню заданих властивостей”, “Дослідження й удосконалення технології виготовлення деталей верстатів (типу панелей) під гальванічні покриття” (реєстр. номери відповідно 01.86.0077720, Б763672, Б847894). Здобувач брав участь у виконанні робіт як керівник або відповідальний виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок за рахунок вибору методів та умов обробки на основі встановлення і аналізу зв'язків між світловідбивною здібністю і шорсткістю поверхонь.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати вибір і аналітично описати критерії оцінки шорсткості світловідбивних поверхонь деталей;
- теоретично обґрунтувати зв'язок геометричних і оптичних характеристик світловідбивних поверхонь і їхній вплив на експлуатаційні властивості оброблюваних деталей з тонкого листа і стрічок;
- установити зв'язок шорсткості й оптичних характеристик світловідбивних поверхонь деталей для різних методів фінішної механічної і фізико-технічної обробки;
- провести експериментальні дослідження з визначення впливу технологічних факторів абразивно-електрохімічної обробки на продуктивність, параметри якості й експлуатаційні властивості оброблених поверхонь;
- розробити аналітичну модель стійкості трубчастих елементів великої довжини із пружних стрічок у процесі абразивної обробки їх поверхонь і визначити оптимальні режими різання;
- розробити і впровадити у виробництво спеціальне устаткування й ефективні технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок (на прикладі обробки поверхонь довгомірних трубчастих елементів великої довжини із пружних стрічок та тонкостінних деталей термостата).

*Предмет дослідження* – теоретичне й експериментальне обґрунтування зв'язку геометричних і оптичних характеристик світловідбивних поверхонь з експлуатаційними властивостями деталей із тонкого листа і стрічок, що працюють в умовах впливу світлового потоку, і розробка ефективного технологічного процесу їх фінішної абразивно-електрохімічної обробки.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження виконані на основі фундаментальних положень технології машинобудування, теорії різання матеріалів і методів теорії ймовірностей, математичного аналізу, теорії тонкостінних стержнів і статистичного моделювання. Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторних і виробничих умовах із застосуванням профілографа-профілометра мод. 252, мікроінтерферометра Лінніка МІІ-5, накладного фотометра ФМ 59, терморадіометра ФМ 63, твердоміра по Роквеллу ТК-2 і мікротвердоміра ПМТ-3, біологічних (МБС-9 і БМ51-2), металографічних (МІМ 7 і МІМ 8), електронного ЕМ 7 і растрового РЕМ 200 мікроскопів, верстата для полірування і шліфування мікрошліфів ПШСМ-2.

**Наукова новизна отриманих результатів.** 1. Вперше аналітично встановлений зв'язок шорсткості й оптичних характеристик світловідбивних поверхонь на основі трьох критеріїв шорсткості: відносної довжини профілю шорсткості, відношення середньоарифметичного відхилення профілю до максимального значення висотного параметра шорсткості поверхні ( $R_a / R_{max}$ ) і критерію шорсткості – параметра, визначеного з умови енергетичної рівноваги регулярного або нерегулярного профілю, який утворюється при обробці поверхні, що дозволило науково обґрунтовано підійти до вибору оптимального методу обробки світловідбивних поверхонь.

2. Теоретично обґрунтована й експериментально доведена можливість істотного підвищення світловідбивних характеристик поверхонь за рахунок зменшення відношення параметрів шорсткості обробки  $R_a / R_{max}$  в межах 0,29...0 і показана ефективність використання абразивного і електрохімічного полірування, які забезпечують найменші значення відношення  $R_a / R_{max}$ , що дозволило розробити прогресивні технології фінішної обробки високо світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок, які працюють в умовах впливу світлового потоку.

3. Розроблено аналітичну модель стійкості довгомірних трубчастих елементів із пружних стрічок при їх абразивній обробці і на її основі визначені оптимальні умови обробки, що забезпечують максимально можливу продуктивність з урахуванням обмеження по параметрах якості й оптичних характеристик оброблюваних світловідбивних поверхонь.

**Практична значимість отриманих результатів** полягає в тому, що на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблені ефективні технології фінішного абразивно-електрохімічного полірування світловідбивних поверхонь довгомірних трубчастих елементів із пружних стрічок та тонкостінних деталей термостата, що працюють в умовах впливу світлового потоку. Розроблені технології забезпечують одержання необхідних геометричних і оптичних характеристик поверхонь деталей, підвищення їхніх експлуатаційних властивостей за рахунок зниження нерівномірності нагрівання і температурних деформацій і впроваджені на Харківському виробничому об'єднанні “Радіореле”, Харківському заводі транспортного устаткування, Харківському верстатобудівному заводі й інших підприємствах із загальним економічним ефектом понад 200тис.крб. у рік (у цінах 1991р.). Результати досліджень використовують в навчальному процесі на кафедрі «Техніки і технології» Харківського національного економічного університету.

**Особистий внесок здобувача** полягає в обґрунтованому виборі і аналітично описаному критерію шорсткості світловідбивних поверхонь деталей, установленні зв'язку з оптичними характеристиками й експлуатаційними властивостями поверхонь, оброблених різними механічними і фізико-технічними методами. Проведено комплексні експериментальні дослідження параметрів абразивно-електрохімічної обробки деталей з тонкого листа і стрічок. Теоретично визначені умови стійкості довгомірних трубчастих елементів із пружних стрічок у процесі їх абразивної обробки. Розроблено і впроваджені у виробництво ефективні технології і спеціальне устаткування для абразивно-електрохімічної обробки світловідбивних поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XIII Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, здоров'я”, м. Харків, 2005 р.; Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми теорії і практики технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки”, м. Харків, 2000 р; II-IV, IX-XI Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні і комп'ютерні технології у народному господарстві”, м. Харків, 2000-2005р.; III Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології і інновації”, м. Курськ, 2005р.

Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширених наукових семінарах кафедри “Техніки та технології” Харківського національного економічного університету, м. Харків, 2005 р., та кафедри „Технологія машинобудування” Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса, 2006 р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 20 наукових працях, у тому числі 8 наукових праць у виданнях, рекомендованих ВАК України.

**Структура й обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і восьми додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 294 сторінки, з них 108 ілюстрацій на 76 сторінках; 20 таблиць за текстом; 151 найменувань використаних літературних джерел на 13 сторінках; 8 додатків на 50 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** дана загальна характеристика роботи, у якій обґрунтована актуальність, новизна і практична значимість отриманих результатів, сформульовані мета і задачі досліджень. Показано особистий внесок здобувача у виконану роботу і результати апробації.

У **першому розділі** дана характеристика деталей з тонкого листа і стрічок, що працюють в умовах впливу світлового потоку. Показано причини зниження їхніх експлуатаційних властивостей, зв'язані з виникненням температурних деформацій від нерівномірного нагрівання сонячними променями. Відзначається, що на практиці проблема зниження температури нагрівання даних деталей вирішується за рахунок створення високо світловідбивних поверхонь шляхом нанесення покриттів вакуумним напилюванням. Зроблено висновок про те, що важливим резервом у цьому напрямку є створення і застосування ефективних технологій фінішної абразивно-електрохімічної обробки, які можуть забезпечити одержання необхідної шорсткості й оптичних характеристик оброблюваних поверхонь і відповідно підвищити експлуатаційні властивості деталей з тонкого листа і стрічок. З огляду на відсутність практичних рекомендацій у даному напрямку, сформульовані мета і задачі роботи, що приведені вище.

В **другому розділі** обґрунтовані вибір і аналітично описані критерії оцінки шорсткості світловідбивних поверхонь деталей. Теоретично обґрунтований зв'язок з оптичними характеристиками оброблених поверхонь і експлуатаційних властивостей деталей із тонкого листа і стрічок.

Для цього в роботі розроблена нова математична модель формування шорсткості поверхні при абразивній обробці (яка є подальшим розвитком запропонованого професорами Корольовим А.В. і Новосьоловим Ю.К. теоретично-ймовірного підходу при шліфуванні), що дозволило досить просто з позиції теорії ймовірностей визначити основні параметри шорсткості (рис. 1):

$$l_0 = \frac{1}{1 - L_0 \cdot (1 - \sin \gamma)}, \quad (1)$$

$$\frac{R_a}{R_{max}} = L_0 \cdot (1 - 0,5 \cdot L_0)^2 = \frac{\left(1 - \frac{1}{l_0}\right)}{(1 - \sin \gamma)} \cdot \left[1 - 0,5 \cdot \frac{\left(1 - \frac{1}{l_0}\right)}{(1 - \sin \gamma)}\right]^2 \quad (2)$$

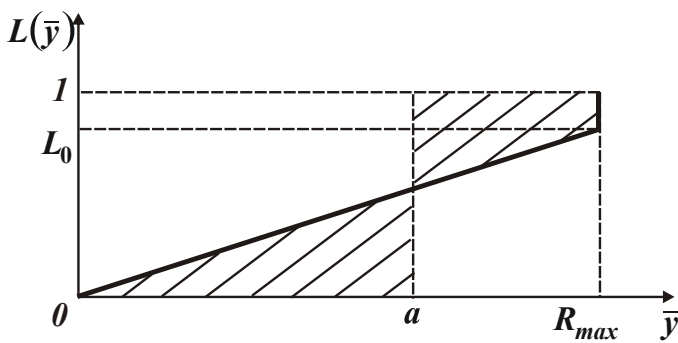


Рис. 1 Загальний вид безрозмірної функції  $L(\bar{y})$ , яка описує відносну опорну довжину профілю (заштрихована площа профілю поверхні визначає положення середньої лінії  $\bar{y} = a$ )

і з використанням формули Агабабова С.Г. установити їхній зв'язок з оптичними характеристиками обробленої поверхні:

$$\varepsilon_{uu} = \frac{\varepsilon_z}{1 - (1 - A_z) \cdot (1 - F)}, \quad (3)$$

де  $l_0$  – відносна довжина профілю, м;  $R_a$ ,  $R_{max}$  – відповідно середньоарифметичне відхилення профілю і максимальне значення висотного параметра шорсткості поверхні, мкм;  $L_0$  – безрозмірна величина, яка визначає ступінь зносу ріжучих крайок зерен і змінюється в межах 0...1;  $\gamma$  – половина

кута при вершині абразивного зерна, що ріже, град;  $F = F_z / F_{uu}$  – фактор шорсткості поверхні (по нашим даним  $F = l / l_0$ );  $F_z$ ,  $F_{uu}$  – відповідно площі гладкої і шорсткої поверхонь, м<sup>2</sup> (рис 2,а);  $\varepsilon_{uu}$  – коефіцієнт випромінювання шорсткої поверхні;  $\varepsilon_z$  і  $A_z$  – відповідно коефіцієнти випромінювання і поглинання гладкої поверхні (коефіцієнт поглинання  $A_{uu}$  визначається по залежності, ідентичної (3), а коефіцієнт відбивання світла  $\rho_{uu}$  – по залежності  $\rho_{uu} = 1 - A_{uu}$ ).

Таблиця 1

Розрахункові значення параметра  $F$  і відносин  $R_{max} / R_a$  і  $R_a / R_{max}$

$L_0$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F (\sin \gamma = 0,5)$	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
$F (\sin \gamma = 0,9)$	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9
$R_{max} / R_a$	$\infty$	11,1	6,25	4,54	3,85	3,57	3,4	3,39	3,45	3,7	4,0
$R_a / R_{max}$	0	0,09	0,162	0,217	0,256	0,281	0,294	0,295	0,29	0,277	0,25

З приведених залежностей випливає, що оптичні характеристики поверхонь визначаються не просто параметрами шорсткості  $R_a$  і  $R_{max}$ , а їх відношенням  $R_a/R_{max}$ , що може змінюватися в досить широких межах:  $0 \dots 0,29$  (табл. 1). Це вказує на можливість значного поліпшення оптичних характеристик оброблюваних світловідбивних поверхонь і відповідно експлуатаційних властивостей деталей з тонкого листа і стрічок, розглядаючи як критерії оцінки шорсткості відносну довжину профілю  $l_0$  і відношення середньоарифметичного відхилення профілю до максимального значення висотного параметра шорсткості поверхні ( $R_a/R_{max}$ ). Як показано вище, критерії  $l_0$ ,  $R_a/R_{max}$  і фактор шорсткості  $F$  аналітично зв'язані між собою. Так, зі зменшенням  $R_a/R_{max}$  фактор шорсткості  $F$  збільшується, а  $l_0$  зменшується. Відповідно коефіцієнти випромінювання  $\varepsilon_{ш}$  і поглинання  $A_{ш}$  оброблюваної поверхні зменшуються, а коефіцієнт відбивання світла  $\rho_{ш}$  збільшується. Отже, з погляду підвищення відбивної здатності поверхні необхідно відношення  $R_a/R_{max}$  і відносну довжину профілю  $l_0$  зменшувати, а фактор шорсткості  $F$  збільшувати.

У роботі введений новий параметр - критерій шорсткості  $F'$ , визначений з умови енергетичної рівноваги регулярного або нерегулярного профілю, що утвориться при обробці поверхні, і запропонована методика його розрахунку на основі визначення координат умовних центрів ваги  $x_{Ц.Т.}$  і  $y_{Ц.Т.}$  площин дійсного профілю шорсткості по відношенню до координат умовного центру ваги середньоарифметичного розподілу відхилень профілю (рис. 2б). Відношення відстані до умовного центру ваги середньоарифметичного розподілу відхилень профілю і відстані умовного центру ваги дійсних відхилень профілю визначається:

$$F' = \sqrt{\frac{x_{у.Т.А}^2 + y_{у.Т.А}^2}{x_{Ц.Т.В}^2 + y_{Ц.Т.В}^2}} \quad (4)$$

Для поверхонь із синусоїдальним профілем шорсткості залежність (4) спрощується ( $x_{Ц.Т.В} = 0$ ):

$$F' = 1 - \frac{R_a}{2H_{min}} \approx 1 - \frac{R_a}{R_{max}} \quad (5)$$

Цим показано, що параметри  $F'$  і  $R_a/R_{max}$  зв'язані між собою й у сукупності дають досить повне представлення про зв'язок шорсткості й оптичних характеристик поверхні, дозволяють обґрунтовано підійти до вибору оптимальних методів і умов обробки світло відбиваючих поверхонь.

У роботі отримана оцінка рішення рівняння теплопровідності для

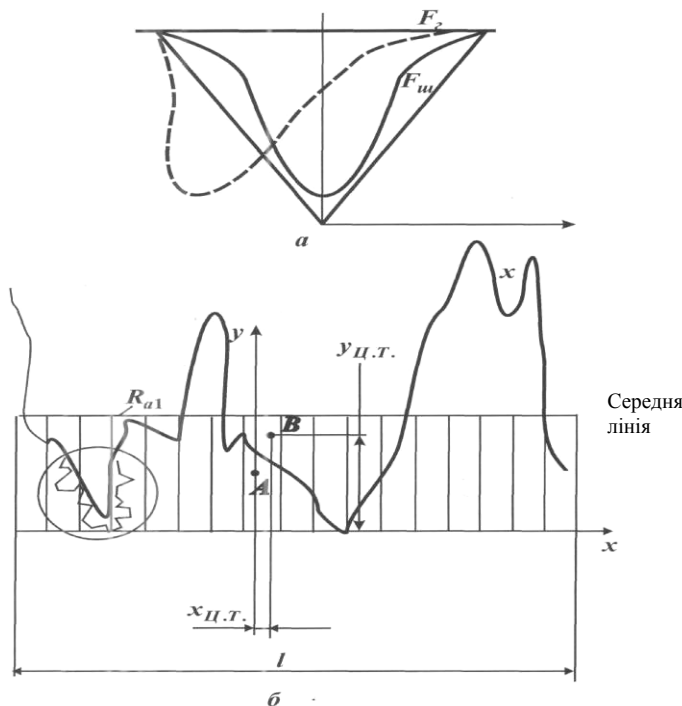


Рис. 2 Розрахункові схеми для визначення критерію шорсткості поверхні: а – западини різної форми; б – профіль шорсткості



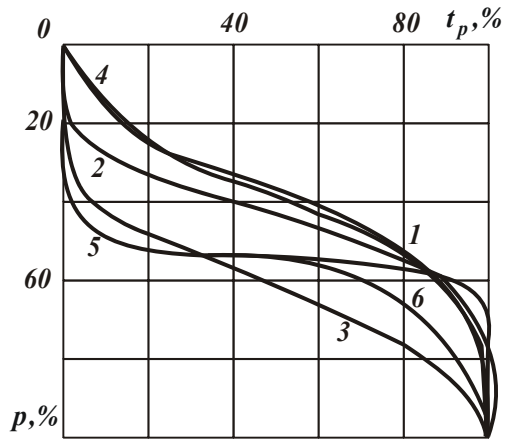
одномірного нестационарного температурного поля, формованого в довгомірному трубчастому елементі, виготовленому з тонкої пружної стрічки і працюючому в умовах впливу світлового потоку. Розрахунками встановлено, що, змінюючи шорсткість і відповідно оптичні характеристики поверхні, з'являється можливість зменшення температури нагрівання довгомірного трубчастого елемента. Поряд із традиційними підходами (вибір геометричних розмірів перетину трубчастого елемента і теплофізичних характеристик застосовуваних матеріалів), це створює додаткові резерви підвищення його експлуатаційних властивостей (зниження нерівномірності нагрівання і теплового вигину). Розрахунками також установлений значний вплив на величину теплового вигину довгомірного трубчастого елемента поглинальної здатності поверхні, коефіцієнтів теплопровідності і теплового лінійного розширення матеріалу.

У третьому розділі експериментально встановлений зв'язок шорсткості й оптичних характеристик світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок для різних методів механічної і фізико-технічної обробки. Виходячи з даних табл. 2, зменшення відношення параметрів шорсткості  $R_a/R_{max}$  (обумовлене різними методами обробки) відповідає збільшенню критерія шорсткості  $F'$ , коефіцієнта відбиття світла  $\rho_s$  і зменшенню коефіцієнтів поглинання  $A_s$  і випромінювання  $\varepsilon$ . При цьому відношення  $R_a/R_{max}$  приймає досить малі значення (0,033 для абразивного полірування), відповідно  $R_{max}/R_a$  приймає відносно великі значення – 30,3. Це добре погоджується з отриманими теоретичними результатами, зокрема, приведеними в табл. 1, згідно яким відношення  $R_a/R_{max}$  може змінюватися в межах 0...0,29. З фізичної точки зору відносно великі значення  $R_{max}/R_a$  при абразивному поліруванні обумовлені формою відносної опорної довжини профілю поверхні  $t_p$  (рис 3 а, крива 5), встановленою експериментально.

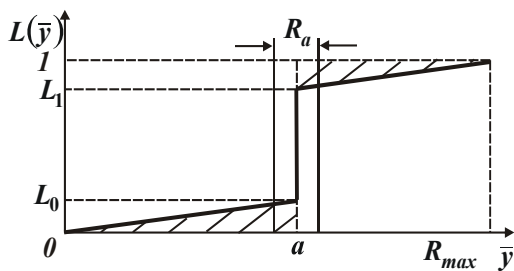
Таблиця 2

Значення параметрів шорсткості й оптичних характеристик поверхонь зразків із прокату алюмінієвого сплаву АМг4, оброблених різними методами

Метод обробки	$R_a$ , мкм	$\frac{R_a}{R_{max}}$	Критерій шорсткості $F'$	Коефіцієнти			$\frac{A_s}{\varepsilon}$	КРП, мВ
				відбиття світла $\rho_s$	поглинання $A_s$	випромінювання $\varepsilon$		
Вихідна поверхня (прокат)	0,35	0,104	0,896	0,4	0,6	0,16	3,75	890
Фрезерування	1,6	0,11	0,89	0,47	0,53	0,15	3,53	100
Струйно-абразивна	0,9	0,16	0,84	0,4	0,6	0,3	3,75	260
Точіння	0,56	0,09	0,91	0,48	0,52	0,07	1,42	1050
Вигладжування кулею	0,1	0,07	0,93	0,8	0,2	0,05	4,0	1020
Абразивне полірування	0,1	0,033	0,967	0,75	0,25	0,06	4,16	120
Тонке точіння алмазним інструментом	0,1	0,047	0,953	0,87	0,13	0,07	1,36	1200



а



б

Рис. 3 Відносні опорні криві поверхонь зразків з алюмінієвого сплаву АМг4 після різних методів обробки (а): 1- прокату (вихідна поверхня); 2 - гідроабразивної; 3 - точіння; 4 - фрезерування; 5 - абразивного полірування; 6 – точіння алмазом, та вид спрощеної функції  $L(\bar{y})$  (б)

Це приводить до додаткового збільшення параметра шорсткості  $R_{max}$  і відповідно до збільшення відношення  $R_{max} / R_a$ . Чим менше безрозмірна величина  $L_0$  і більше аналогічна безрозмірна величина  $L_1 \rightarrow 1$ , тим, мабуть, більше відношення  $R_{max} / R_a$ , що в ідеалі прагне до нескінченності. З цього випливає, що відношення  $R_{max} / R_a$  може змінюватися у великих межах, значно перевищуючі значення 5, 10 і більше. Це залежить від форми відносної опорної довжини профілю  $t_p$ . Цим доведено вірогідність розробленої математичної моделі формування шорсткості поверхні при абразивній обробці, а також те, що за допомогою відношення  $R_{max} / R_a$  (або відношення  $R_a / R_{max}$ ) можна аналізувати оптичні характеристики поверхонь, оброблених різними методами. Параметри шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$  і  $R_{max}$ , як встановлено багаторазовими експериментальними дослідженнями, неоднозначно впливають на оптичні характеристики оброблених поверхонь. Отже, формування оптичних характеристик

Шкала  $p(\%)$  визначає відношення поточної висоти нерівностей до максимальної висоти нерівностей  $R_{max}$ , тобто значення  $p=0\%$  відповідає положенню вершини найбільшої мікронерівності, а значення  $p=100\%$  - положенню найбільшої западини.

Більш плавна зміна значень  $t_p$  зі зміною  $p$  (криві 1, 2, 3 і 4) указує на більш рівномірний розподіл висот вершин мікронерівностей по профілю поверхні. Для абразивного полірування (крива 5) характерний нерівномірний розподіл висот нерівностей. Очевидно, у діапазоні  $p = 50...56\%$  їх значно більше (90%, або більше), чим у діапазонах  $p = 0...50\%$  і  $p = 56...100\%$ . Причому, у діапазоні  $p = 0...50\%$  їх більше, ніж у діапазоні  $p = 56...100\%$ . Це свідчить про те, що в діапазон  $p = 56...100\%$  попадають лише окремі мікронерівності (риски, подряпини), утворені окремими гострими крайками абразивних зерен. Якщо представити  $t_p$  у формі функції  $L(\bar{y})$  рис.1, то прийдемо до наступного спрощеного графіка (рис 3б). Відмінність цього графіка функції  $L(\bar{y})$  складається в наявності додаткової ділянки  $L_1...1$  на рис 3б, обумовленої появою окремих глибоких рисок та подряпин на обробленій поверхні.

поверхонь зв'язано з формою мікронерівностей поверхні, яка визначається відношенням  $R_a / R_{max}$ , а не з висотою її профілю шорсткості.

Експериментально встановлено (табл. 2), що найбільші значення коефіцієнта відбиття світла поверхнею  $\rho_s$  досягаються після тонкого точіння алмазним інструментом, вигладжування кулею й абразивним поліруванням. Ці методи обробки також забезпечують найменші значення параметрів шорсткості  $R_a$ ,  $R_a / R_{max}$  і найбільші значення критерію шорсткості  $F'$ . З цього випливає, що для створення високо світловідбиваючих поверхонь (при забезпеченні дзеркального характеру відбиття світла) жорстких деталей з алюмінієвих і мідних сплавів більш ефективно застосовувати методи алмазного точіння і вигладжування, а для деталей з тонкого листа і стрічок – абразивне полірування, що дозволяє зменшити силову напруженість процесу обробки. Для створення світловідбиваючих матових поверхонь (при забезпеченні дифузійного характеру відбиття світла, для якого відношення  $A_s / \varepsilon$  приймає відносно невеликі значення) ефективно застосовувати процеси фрезерування і струйно-абразивну обробку, табл. 2.

У роботі для опису і контролю фізико-хімічного стану оброблених поверхонь використана методика оцінки роботи виходу електронів за значеннями величини контактної різниці потенціалів (КРП). Показано, що оцінка роботи виходу електронів і критерій шорсткості поверхні (а також і відношення  $R_a / R_{max}$ ) можуть бути використані для опису і контролю фізико-хімічного стану оброблених поверхонь, оскільки максимальним значенням критерію шорсткості відповідають максимальні значення КРП (табл. 2), а мінімальні значення КРП відповідають забрудненому або окисленому поверхневому шару.

У роботі проведений комплекс експериментальних досліджень формування шорсткості й оптичних характеристик поверхонь при абразивному і електрохімічному поліруванні. Експериментально встановлено, що зменшити коефіцієнт поглинання поверхні  $A_s$  при абразивному поліруванні можна за рахунок застосування алмазної пасті АСМ 2/1 (табл. 3). Доведено, що спочатку, при абразивному поліруванні досягається видалення окисної плівки і згладжування поверхневого шару. Застосування наступної електрохімічної обробки додає поверхні властивості високої відбивної здатності і її стійкості при довгостроковому зберіганні за рахунок анодної обробки. Тому, для забезпечення заданих експлуатаційних властивостей деталей з тонколистового матеріалу запропоновано обробку здійснювати в дві операції: абразивного і електрохімічного полірування.

Таблиця 3

Значення критерію шорсткості  $F'$  і коефіцієнта поглинання  $A_s$  поверхонь стрічок сплаву 36НХТЮ після абразивного полірування

Абразивна паста	$A_s$ (експеримент)	$F'$	$A_s$ (розрахунок)
АСМ 2/1	0,38	0,93	0,380
АСМ 1/0	0,39	0,91	0,382
Окис алюмінію М3	0,42	0,89	0,394
Окис хрому М3	0,43	0,89	0,394
Електрокорунд М7	0,46	0,88	0,399

Розроблено математичні моделі абразивного і електрохімічного полірування на основі багатофакторного планування експерименту, які дозволили визначити оптимальні параметри обробки світловідбивних поверхонь. На основі отриманої емпіричної залежності:

$$F' = 0,7638 \cdot V^{0,0372} \cdot p^{0,0151} \cdot \tau^{0,0245} \quad (6)$$

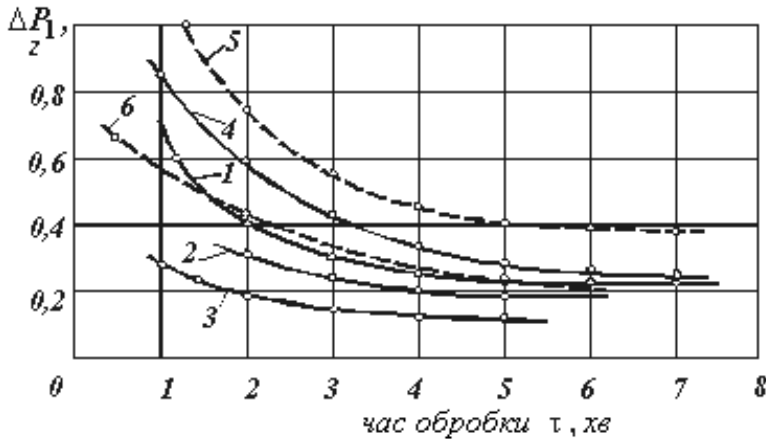


Рис. 4 Залежність маси знятого металу від часу обробки алмазною суспензією різної зернистості: 1 – АСМ 7/5 після шліфування; 2 – АСМ 5/3, після обробки – АСМ 7/5; 3 – АСМ 3/2, після обробки – АСМ 5/3; 4 – АСМ 7/5, після обробки – АСМ 3/2; 5 – АСМ 7/5 після шліфування (суспензія з полімером); 6 – АСМ 5/3, після обробки – АСМ 7/5 (суспензія з полімером)

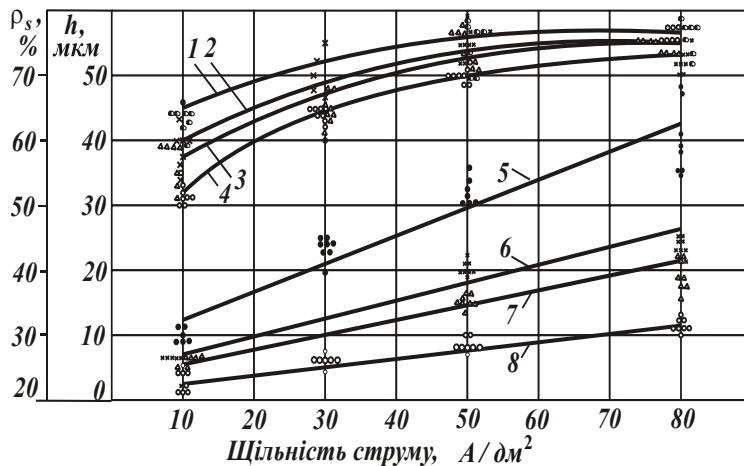


Рис. 5 Залежність відбивної здатності  $\rho_s$  і товщини шару матеріалу, що знімається  $h$ , при електрохімічному поліруванні стрічки із сплаву 3БНХТЮ від щільності струму: 1, 2, 3, 4 -  $\rho_s$  при температурі електроліту 70, 50, 30, 100<sup>0</sup> С відповідно; 5, 6, 7, 8 -  $h$  при температурі електроліту 100, 70, 50, 30<sup>0</sup> С відповідно; час обробки – 1 хв; склад електроліту: Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub> – 60%, Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 20%, Н<sub>2</sub>O – 20%

(де  $V$  – окружна швидкість повстяного полірувальника, м/с;  $p$  – тиск, кПа;  $\tau$  – час обробки, с), визначені оптимальні умови обробки при абразивному поліруванні:  $V=30$  м/с;  $p = 200$  кПа;  $\tau = 15$  с.

Експериментально встановлено, що введення полімеру в абразивний порошок позитивно позначається на збільшенні знімання матеріалу за рахунок хімічної дії на оброблювану поверхню (рис. 4). Велика продуктивність досягається при обробці абразивними пастами з великим розміром зерен. Введення полімеру в абразивні пасту збільшує згладжування поверхні. На цій основі розроблена і захищена авторським посвідченням на винахід ефективна абразивна суспензія: 5–8% алмазного мікропорошку, 5–7% полівінілацетатної дисперсії, а інше – дистильована вода. Полівінілацетатна дисперсія при оптимальному її вмісті в складі забезпечує фіксацію зерен на полірувальнику.

Експериментально встановлено, що застосування електрохімічного полірування дозволяє підвищити відбивну здатність оброблених поверхонь у середньому від 60 до 75%, рис. 5. Це досягається за рахунок збільшення щільності струму до 70 А/дм<sup>2</sup> і температури електроліту до 70<sup>0</sup>С. Великим значен-

ням щільності струму і температури електроліту (у межах 30–100<sup>0</sup>С) відповідають великі значення товщини шару матеріалу, що знімається, рис. 5. Встановлено також, що зі збільшенням часу обробки коефіцієнт поглинання поверхні  $A_s$  зменшується, більш інтенсивно в межах 60с. При абразивному й електрохімічному поліруванні відбувається поліпшення механічних характеристик оброблених хромо-нікелевих і мідно-берилієвих сплавів. Доведено, що здійснення електрохімічного полірування електроконтактним способом переважніше ванного способу за рахунок активації відновлення, зняття прианодного шару. На цій основі розроблено і захищено авторським посвідченням на винахід пристрій для електроконтактного полірування довгомірних трубчастих елементів із пружинних стрічок, визначені оптимальні умови електрохімічного полірування поверхонь деталей із стрічок сплавів марок З6НХТЮ і БрБНТ 1,7.

У роботі проведений комплекс експериментальних досліджень по створенню світловідбивних поверхонь (при забезпеченні дифузійного характеру відбиття світла) шляхом нанесення покриттів електрохімічним засобом, а також хімічним і електрохімічним травленням. Такі поверхні характеризуються відносно невеликими значеннями відношення коефіцієнтів поглинання і випромінювання ( $A_s / \varepsilon$ ). Для цього на зразках з листового прокату (зі сплавів АМг3, АМг6, Д16, ВТ6, ВТ14, ВТ20) одержували покриття хромом і нікелем (товщиною 0,3 мкм), оксидуванням і анодируванням (товщиною до 30 мкм). Анодирування проводили в сірнокислотному розчині при кімнатній температурі і щільності струму 1–1,5 А/дм<sup>2</sup>. Експериментально встановлено, що найменші значення відношення  $A_s / \varepsilon$  для анодированих поверхонь досягаються при наповненні у воді і хромпіку зразків у стані постачання: – для сплаву АМг6:  $A_s / \varepsilon = 0,27$  (у воді); 0,24 (у хромпіку); – для сплаву Д16:  $A_s / \varepsilon = 0,2$  (у воді); 0,22 (у хромпіку).

У четвертому розділі приведені розроблені ефективні технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок (довгомірних трубчастих елементів, деталей термостата). Запропоновано планетарну схему абразивного полірування трубчастих елементів довжиною 25м і більше, виготовлених зі

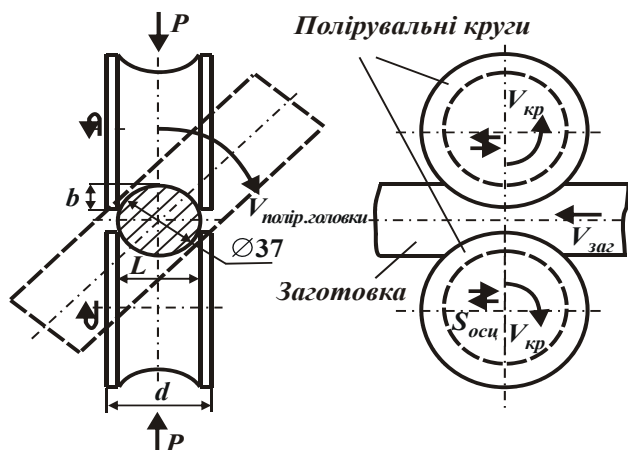


Рис. 6 Схема полірування трубчастих елементів із пружинних стрічок на спеціальній оправці

стрічки товщиною 0,15 мм, рис. 6. Відношення швидкості обертання полірувальних кругів навколо своєї осі до швидкості обертання полірувальної головки навколо осі трубчастого елемента складає 25:1. Зі збільшенням тиску на деталь повстання полірувальних кругів можлива втрата стійкості крайок стрічки. Тому, для вибору оптимальних режимів різання розроблена аналітична модель стійкості тонкостінної деталі (трубчастого елемента) при абразивному поліруванні, що дозволила визначити граничні значення параметрів режимів різання, при яких

сила різання досягає критичного значення, обумовленого втратою стійкості пружної стрічки. Отримано аналітичні залежності для розрахунку двох значень подовжньої сили стиску стрічки:  $P_x$  і  $P_1$ , які визначають появу вигинової або вигиново-крутильної форми втрати стійкості

$$P_x = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot EI_x}{l}; P_1 = \frac{1}{2 \left(1 - \frac{a_y^2}{r_p^2}\right)} \left[ P_y + P_\omega - \sqrt{(P_y + P_\omega)^2 - 4 P_y P_\omega \left(1 - \frac{a_y^2}{r_p^2}\right)} \right], \quad (7)$$

де  $P_y = \frac{n^2 \pi^2 EI_y}{l^2}$ ;  $P_\omega = \frac{1}{r_p^2} \left( \frac{n^2 \pi^2 EI_\omega}{l^2} + GI_k \right)$ ;  $E$  – модуль пружності, Н/м<sup>2</sup>;  $G$  – жор-

сткість при закручуванні, Н/мм<sup>2</sup>;  $I_x, I_y, I_\omega, I_k$  – головні центральні моменти інерції, секторальний момент інерції та момент інерції при закручуванні відповідно, мм<sup>4</sup>;  $a_y$  – координата центру вигину, мм;  $r_p$  – полярний радіус інерції поперечного перетину, мм;  $l$  – координата точки прикладання сили по осі  $Z$ , мм;  $n$  – ціле позитивне число (1, 2, 3...).

Розрахункове значення критичної сили  $P_{кр}$  визначається як найменше з двох значень  $P_x$  і  $P_1$ . Установлено, що якщо  $P_x < P_1$ , то раніш виникає вигинова форма втрати стійкості (вигин у площині симетрії); якщо ж  $P_x > P_1$ , то раніш настає вигиново-крутильна форма втрати стійкості (вигин із площини симетрії, супроводжуваний закручуванням перетинів).

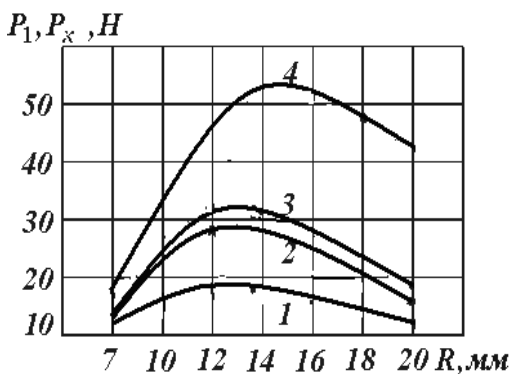


Рис. 7 Вплив радіуса трубчастої заготовки і її товщини на значення критичної сили стиску  $P_{кр}$  (ширина розгортки 50 мм): 1, 2 -  $P_x$  при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм; 3 и 4 – сила  $P_1$  при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм відповідно

Для перевірки на стійкість і визначення інтервалів варіювання значень окружних швидкостей і тиску інструмента були прийняті геометричні розміри перетинів заготовок зі стрічки 0,15x50 мм і 0,20x50 мм із радіусом кільцевого перетину 7, 12, 14 і 20 мм (матеріал – сплав марки 36НХТЮ). Результати обчислення критичної подовжньої сили стиску стрічки трубчастої заготовки при обробці представлені на рис. 7, з якого видно, що при товщині стрічки 0,15 мм величина сили стиску не повинна перевищувати 18 Н ( $R=14$  мм) і 11 Н ( $R=20$  мм) для заготовки 0,15x50 мм. Втрата стійкості трубчастої заготовки відбувається в вигиновій формі. З урахуванням цього для абразивного полірування поверхонь трубчастих заготовок з тонких пружних стрічок хромонікелевих і мідно-берилієвих сплавів рекомендується режим обробки: окружна швидкість повстяних полірувальників з алмазною пастою АСМ 2/1 – 30 м/с, питомий тиск інструмента до 500 кПа.

На основі проведених досліджень запропонований маршрут виготовлення довгомірних трубчастих елементів з мідно-берилієвих сплавів марки БрБНТ 1,7 (1,9), що включає формоутворення і термічну обробку, абразивне й електрохімічне полірування замість металізації алюмінієм у вакуумі. Для обробки довгомірних

трубчастих елементів розроблене і виготовлене спеціальне обладнання: установки термічної, абразивної й електрохімічної обробки, спеціальні оправлення, пристрої зварювальні, для перемотування трубчастих елементів із пружних стрічок, нанесення покриттів і виготовлення отворів, електролізери, системи електроживлення, знежирення, холодного і гарячого промивання, нейтралізації, циркуляції й охолодження робочих розчинів і сушіння поверхонь, спеціальні інструменти. Технологічне устаткування дозволяє регулювати параметри режиму обробки в наступних межах: при термічній обробці швидкість переміщення заготовки (0,0001...0,01) м/с (тривалість термічної обробки відповідно (18000...180)с), температура нагрівання (500...700) К; при абразивному поліруванні окружна швидкість полірувальника (20...100) м/с, питомий тиск до 500 кПа; при електрохімічному поліруванні швидкість переміщення заготовки (0,0002...0,003) м/с (відповідає тривалості обробки відповідно (900...6) с, щільність струму до  $2,5 \cdot 10^2$  А/дм<sup>2</sup> при напрузі 24В (фосфорно-хромовий електроліт); при нанесенні покриттів швидкість переміщення оброблюваної стрічки (0,0001...0,002) м/с, температура в сушильній камері (370...470) К.

Експериментально визначені оптимальні режими обробки: при формоутворенні трубчастої заготовки – нагрів в середовищі аргону і витримка при температурі 640 К протягом 40 хв; наступне абразивне полірування алмазною пастою АСМ 2/1 при окружній швидкості полірувальника 25 м/с, тиску 200 кПа і часу обробки 10 с; електрохімічне полірування протягом 15 с при щільності струму  $0,5 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> (фосфорно-хромовий електроліт).

Розроблена технологія впроваджена на ряді підприємств. На спеціальному устаткуванні була виготовлена партія довгомірних трубчастих елементів діаметром 0,024 м з поліпшеними експлуатаційними характеристиками, коефіцієнти поглинання і випромінювання поверхонь знаходилися в межах 0,22..0,25 і 0,09...0,06 відповідно. Механічні характеристики деталей із сплаву марки БрБНТ 1,7 мали наступні значення: тимчасовий опір розривові  $\sigma_s = 1,23 \cdot 10^3$  Па; границя текучості  $\sigma_m = 1,13 \cdot 10^3$  Па; відносне подовження  $\delta = 2,5\%$ . Установлено, що розроблена технологія більш економічна в порівнянні з існуючою технологією обробки довгомірних трубчастих елементів зі сплаву 36НХТЮ.

Результати досліджень були використані при впровадженні технології електрохімічного полірування стрічок зі сплаву марки Мнц15-20 для контактів реле на Харківському виробничому об'єднанні «Радіореле». По ескізному проекту автора розроблена технічна документація і виготовлені дві установки для електрохімічного полірування нескінчених стрічок.

У роботі розроблена нова технологія фінішної обробки деталей термостата з тонколистових матеріалів, що забезпечує створення світлорозсіюючих поверхонь. Кінематика процесу заснована на обкатуванні поверхні спеціальним еластичним абразивним інструментом, у результаті чого досягається матування поверхні з заданими оптичними характеристиками. Розроблено конструкції і виготовлені зразки пелюсткових кругів і іглофрез. Технологія впроваджена на Харківському заводі транспортного устаткування. Результати досліджень автора були використані також на Харківському верстатобудівному заводі ім. Косіора при розробці технології електрохімічної обробки світлорозсіюючих поверхонь для інформаційних панелей.



Загальний економічний ефект від упровадження розробок автора склав понад 200 тис. крб. у рік (в цінах 1991 року).

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових наукових результатів вирішена важлива й актуальна науково-практична задача створення світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок, що працюють в умовах впливу світлового потоку, за рахунок застосування ефективних технологій фінішної абразивно-електрохімічної обробки (абразивного і електрохімічного полірування), які дозволяють реалізувати необхідні значення шорсткості й оптичних характеристик поверхонь і підвищити експлуатаційні властивості оброблюваних деталей.

1. Розроблено нову математичну модель формування шорсткості поверхні при абразивній обробці що дозволила виразити зв'язок між шорсткістю й оптичними характеристиками оброблюваної поверхні за допомогою відносної довжини профілю. Доведено, що відносна довжина профілю цілком однозначно визначається відношенням середньоарифметичного відхилення профілю до максимального значення висотного параметра шорсткості поверхні ( $R_a / R_{max}$ ), яке змінюється в досить широких межах:  $0 \dots 0,29$ . Це вказує на можливість значного підвищення світловідбиваючої здатності оброблюваних поверхонь і відповідно експлуатаційних властивостей деталей із тонкого листа і стрічок, розглядаючи як критерії оцінки шорсткості відносну довжину профілю і відношення середньоарифметичного відхилення профілю до максимального значення висотного параметру шорсткості поверхні ( $R_a / R_{max}$ ).

2. Введено новий параметр для оцінки шорсткості світловідбивних поверхонь – критерій шорсткості, заснований на використанні умови енергетичної рівноваги регулярного або нерегулярного профілю, що утвориться при обробці поверхні. Доведено, що три вищевказані параметри аналітично зв'язані між собою й у сукупності дають досить повне фізичне уявлення про зв'язок шорсткості з оптичними характеристиками оброблюваної поверхні і дозволяють науково обґрунтовано підійти до вибору оптимального методу обробки світловідбивних поверхонь. Теоретично визначені умови підвищення світловідбивної здатності поверхонь, що складаються в зменшенні відношення  $R_a / R_{max}$ , відносної довжини профілю і збільшенні критерію шорсткості.

3. Оцінкою теплового балансу на поверхні трубчастого елемента встановлено, що, змінюючи шорсткість і відповідно оптичні характеристики поверхні, з'являється можливість зменшення температури нагрівання і температурних деформацій довгомірного трубчастого елемента. Поряд із традиційними підходами (вибір геометричних розмірів перетину трубчастого елемента і теплофізичних характеристик застосовуваних матеріалів), це створює додаткові резерви підвищення його експлуатаційних властивостей (зниження нерівномірності нагрівання і теплового вигину). Таким чином, оцінкою теплового балансу установлений значний вплив на величину теплового вигину довгомірного трубчастого елемента поглинальної (світловідбивної) здатності поверхні, коефіцієнтів теплопровідності і теплового лінійного ро-



зширення матеріалу пружної стрічки.

4. Проведено комплекс експериментальних досліджень по встановленню зв'язку параметрів шорсткості обробки  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_a / R_{max}$  і критерія шорсткості з оптичними характеристиками поверхонь, оброблених різними механічними і фізико-технічними методами (точінням і тонким точінням алмазним інструментом, фрезеруванням, шліфуванням, вигладжуванням кулею, гідроабразивною обробкою й обробкою металевим дробом, абразивним і електрохімічним поліруванням і т.д.). Установлено чіткий взаємозв'язок між відношенням параметрів шорсткості  $R_a / R_{max}$ , критерієм шорсткості і коефіцієнтами відбиття світла, поглинання і випромінювання. Доведено, що меншим значенням  $R_a / R_{max}$  відповідають більші значення критерію шорсткості, коефіцієнта відбиття світла і менші значення коефіцієнтів поглинання і випромінювання. При цьому найменші значення відношення  $R_a / R_{max}$  досягаються при абразивному поліруванні (0,033 – для зразків із прокату алюмінієвого сплаву АМг4). Отримані експериментальні дані добре погодяться з теоретичними, що свідчить про вірогідність розробленої математичної моделі, яка дозволяє встановити функціональні зв'язки між шорсткістю і оптичними характеристиками оброблених поверхонь.

5. Експериментально встановлено, що з усіх досліджуваних методів механічної обробки найбільш ефективними з погляду створення світловідбивних поверхонь (при забезпеченні дзеркального характеру відображення) жорстких деталей з алюмінієвих і мідних сплавів є тонке точіння алмазним інструментом і алмазне вигладжування, а для деталей з тонкого листа і стрічок – методи абразивного й електрохімічного полірування. Дані методи забезпечують найменші значення  $R_a / R_{max}$  і найбільші значення критерію шорсткості і коефіцієнта відбиття світла поверхнею.

6. Показано можливість підвищення коефіцієнта відбиття світла поверхні за рахунок застосування при абразивному поліруванні алмазних паст із зернами АСМ 2/1. Встановлено також, що введення в абразивний склад полімеру забезпечує збільшення інтенсивності знімання матеріалу і зменшення шорсткості за рахунок хімічної дії на оброблювану поверхню. На цій основі розроблений і захищений авторським посвідченням на винахід ефективний абразивний склад: 5–8% алмазного мікропорошку, 5–7% полівінілацетатної дисперсії, а інше – дистильована вода.

7. Експериментально встановлена можливість значного підвищення відбивної здатності поверхні при електрохімічному поліруванні за рахунок збільшення сили струму (до 70 А/дм<sup>2</sup>), температури електроліту (до 70<sup>0</sup>С) і збільшення часу обробки (до 1 хв). Показано, що електрохімічне полірування забезпечує поліпшення механічних характеристик оброблюваного матеріалу, а електроконтактний спосіб його здійснення більш ефективний ванного способу за рахунок активації відновлення і зняття прианодного шару. На цій основі розроблений і захищений авторським посвідченням на винахід пристрій для електроконтактного полірування.

8. Встановлено, що для створення світловідбивних поверхонь (при забезпеченні дифузійного характеру відбиття світла, для якого відношення коефіцієнтів поглинання і випромінювання приймають невеликі значення) найбільш ефективними є струйно-абразивна обробка, хімічне й електрохімічне травлення, обкатування поверхонь еластичним інструментом, а також нанесення покриттів електрохі-

мічним засобом. Доведено, що найменші значення відношення коефіцієнтів поглинання і випромінювання (0,2...0,27) для анодированих поверхонь досягаються при наповненні у воді і хромпіку зразків стрічки у стані постачання.

9. Для контролю фізико-хімічного стану оброблених поверхонь у роботі запропонована методика оцінки роботи виходу електронів. Установлено, що максимальним значенням критерію шорсткості відповідають максимальні значення контактної різниці потенціалів (КРП), а мінімальні значення КРП відповідають забрудненим або окисленим поверхням.

10. Розроблено математичну модель стійкості тонкостінних трубчастих елементів із пружних стрічок в процесі абразивного полірування їх поверхонь, що дозволила визначити межові значення параметрів режиму різання, при яких сила різання досягає критичного значення, обумовленого втратою стійкості пружної стрічки.

11. На основі досліджень розроблені спеціальне устаткування й ефективні технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок (довгомірних трубчастих елементів). За розробленою технологією на спеціальному устаткуванні виготовлена партія довгомірних трубчастих елементів діаметром 0,024 м з поліпшеними експлуатаційними характеристиками і високою світловідбивною здатністю оброблених поверхонь (коефіцієнт відображення на рівні 0,7...0,75 і більше). Розроблена технологія впроваджена на ряді підприємств і за технічними і економічними показниками перевершує існуючі технології.

У роботі розроблена нова технологія фінішної обробки деталей термостата з тонколистових матеріалів, що забезпечує створення світлорозсіюючих поверхонь. Кінематика процесу заснована на обкатуванні поверхні еластичним абразивним інструментом, у результаті чого досягається матування поверхні з заданими оптичними характеристиками. Технологія впроваджена на Харківському заводі транспортного устаткування. Загальний економічний ефект від упровадження розробок автора склав понад 200 тис. крб. у рік (за цінами 1991 року).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шкурупий В.Г., Дудко П.Д., Назаров Ю.Ф. Повышение эффективности финишных методов обработки материалов. – К.: «Знание», 1979. – 24 с.
2. Шкурупий В.Г., Шкурупий Ю.В. Финишная обработка поверхностей тонкостенных деталей // Авиационно-космическая техника и технологии. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Харьков, 2000. – Вып. 14. – С. 259-261.
3. Шкурупий В.Г., Шкурупий Ю.В. Технологическое обеспечение оптических свойств поверхностей тонкостенных деталей // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса: ОГПУ, 2001. – Вып. 5. – С. 56-61.
4. Шкурупий В.Г., Шкурупий Ю.В. Выбор формы абразивных зерен для финишной обработки поверхностей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. 10. – С. 164-168

5. Шкурупий В.Г. Шероховатость и оптические свойства электроосажденных поверхностей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 26. –С. 315-319.
6. Шкурупий В.Г., Новиков Ф.В. Аналитическое описание и технологическое обеспечение параметров шероховатости обработки // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. – Вып. 67. –С. 46-56.
7. Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Исследования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке методами теории вероятности // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2004. – № 44. –С. 140-149.
8. Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Обоснование связи геометрических характеристик светоотражающих поверхностей штанг с отверстиями с их эксплуатационными свойствами // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 33. –С. 294-301.
9. Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Установление функциональных связей между параметрами шероховатости и оптическими характеристиками обработанной поверхности // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005. – Вып. 68. –С. 312-318.
10. А.с. 478067 СССР МКИ С 23в 5/68 Устройство для гальванической обработки электроконтактным методом /П.Д.Дудко, Ю.Ф. Назаров, Д.А.Стороженко, В.Г.Шкурупий, О.С. Кирзунов.- № 1977546/22-1; Заявл. 20.12.73; Оpubл.25.07.75. Бюл. №27. –3 с.
11. А.с. 905256 СССР МКИ С 09 К 3/14. Доводочный алмазно-абразивный состав /П.Д.Дудко, Ю.Ф.Назаров, В.Г. Шкурупий, В.С. Коваленко, В.М.Рубан, А.И. Соловьев. – № 2861281/23-26; Заявл. 03.12.79; Оpubл. 15.02.82.Бюл.№ 6. –4с.
12. А.с. 1633278 СССР МКИ G01в 11/27. Визуальный целевой знак для контроля соосности объектов /В.М. Алимочкин, В.М. Самарин, В.Г. Шкурупий, Ю.И. Малыхин, Г.И. Губин. - № 4625342/28; Заявл 26.12.88; Оpubл.07.03.91.Бюл.№ 9 – 2с.
13. Шкурупий В.Г. Особенности анализа шероховатости поверхности, обработанной резанием // Резание и инструмент. – Харьков, 1982. – Вып.27. –С. 74-77.
14. Коваленко В.С., Рубан В.М., Шкурупий В.Г., Дудко П.Д. Алмазно-абразивные составы с полимерными добавками, применяемые при доводке прецизионных деталей // Резание и инструмент. – Харьков, 1982. – Вып.28. –С. 30-32.
15. Шкурупий В.Г. Особенности процессов финишной обработки светоотражающих поверхностей // Динамика элементов конструкций летательных аппаратов. Сборник научных трудов Харьковского авиационного института. – Харьков: ХАИ, 1985. –С. 111-121.
16. Шкурупий В.Г. Светопоглощательная способность поверхностей после полирования алмазно-абразивными пастами // Алмазы и сверхтвердые материалы. – М.: НИИМаш, 1978. –№10.–С. 11-12.
17. Шкурупий В.Г., Шкурупий Ю.В. Технологическое обеспечение свойств декоративных поверхностей тонкостенных деталей // Вісник інженерної академії України. – К., 2001. – Вип. 3. – С. 107-109.

18. Шкурупий В.Г. Технологии изготовления выдвигаемых упругих элементов // Труды 4-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2001. – С. 63-66.

19. Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Теоретические и экспериментальные исследования шероховатости обработанной поверхности // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 11-15.

20. Шкурупий В.Г. Оценка эксплуатационных свойств упругих выдвигаемых ленточных элементов // Труды 10-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 281-284.

### **Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок.- Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – Технологія машинобудування. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2006.

Робота присвячена створенню ефективного технологічного процесу фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок, що працюють в умовах впливу світлового потоку. Для цього вперше аналітично встановлений зв'язок шорсткості й оптичних характеристик світловідбивних поверхонь на основі трьох критеріїв шорсткості: відносної довжини профілю шорсткості, відносини середньоарифметичного відхилення профілю до максимального значення висотного параметра шорсткості поверхні ( $R_a / R_{max}$ ) і критерію шорсткості – параметра, визначеного з умови енергетичної рівноваги регулярного або нерегулярного профілю, що утвориться при обробці поверхні, що дозволило науково обґрунтовано підійти до вибору оптимального методу обробки світловідбивних поверхонь.

Доведена можливість істотного підвищення світловідбивних характеристик поверхонь за рахунок зменшення відношення параметрів шорсткості обробки  $R_a / R_{max}$  в межах 0,29...0 і показана ефективність використання абразивного й електрохімічного полірування, що забезпечують найменші значення відношення  $R_a / R_{max}$ . Розроблено математичні моделі абразивного й електрохімічного полірування на основі багатофакторного планування експерименту, які дозволили визначити оптимальні умови обробки світловідбивних поверхонь. Показано можливість підвищення коефіцієнта відбиття світла поверхні за рахунок застосування при абразивному поліруванні алмазних паст із зернами АСМ 2/1. Установлено також, що введення в абразивний склад полімеру забезпечує збільшення інтенсивності знімання матеріалу і зменшення шорсткості за рахунок хімічної дії на оброблювану поверхню.

Експериментально встановлена можливість значного підвищення відбивної

здатності поверхні при електрохімічному поліруванні, та ефективність електроконтактного способу його здійснення в порівнянні з ванним способом.

Запропоновано планетарну схему абразивної обробки довгомірних трубчастих елементів, виготовлених зі стрічки товщиною 0,15 мм. На основі результатів досліджень розроблені спеціальне устаткування й ефективні технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок (довгомірних трубчастих елементів та деталей термостата). Розроблена технологія впроваджена на ряді підприємств і по технічних і економічних показниках перевершує існуючі технології.

**Ключові слова:** Шорсткість поверхні, оптичні властивості, світловідбивання, полірування абразивне й електрохімічне, устаткування й оснащення.

**Шкурупий В.Г. Повышение эффективности технологии финишной обработки светоотражательных поверхностей деталей из тонкого листа и лент.-**  
Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2006.

Работа посвящена созданию эффективного технологического процесса финишной обработки светоотражательных поверхностей деталей из тонкого листа и лент, работающих в условиях воздействия светового потока. Для этого впервые аналитически установлена связь шероховатости и оптических характеристик светоотражательных поверхностей на основе трех критериев шероховатости: относительной длины профиля шероховатости, отношения среднеарифметического отклонения профиля к максимальному значению высотного параметра шероховатости поверхности ( $R_a / R_{max}$ ) и критерия шероховатости – параметра, обоснованного из условия энергетического равновесия регулярного или нерегулярного профиля, который образуется при обработке поверхности.

Доказано, что эти три параметра аналитически связаны между собой и в совокупности дают достаточно полное физическое представление о связи шероховатости с оптическими характеристиками обрабатываемой поверхности и позволяют научно обоснованно подойти к выбору оптимального метода обработки светоотражательных поверхностей. Теоретически определены условия повышения светоотражательной способности поверхностей, состоящие в уменьшении отношения  $R_a / R_{max}$ , относительной длины профиля и увеличении критерия шероховатости.

Доказана возможность существенного повышения светоотражательных характеристик поверхностей за счет уменьшения отношения параметров шероховатости обработки  $R_a / R_{max}$  в пределах 0,29...0 и показана эффективность использования абразивного и электрохимического полирования, которые обеспечивают наименьшие значения отношения  $R_a / R_{max}$ . Разработаны математические модели абразивного и электрохимического полирования на основе многофакторного планирования эксперимента, позволившие определить оптимальные условия обработки светоот-

ражательных поверхностей. Показана возможность повышения коэффициента отражения поверхности за счет применения при абразивном полировании алмазных паст с зёрнами АСМ 2/1. Установлено также, что введение в абразивный состав полимера обеспечивает увеличение интенсивности съема материала и уменьшение шероховатости за счет химического действия на обрабатываемую поверхность.

Экспериментально установлена возможность значительного повышения отражательной способности поверхности при электрохимическом полировании за счет увеличения силы тока (до 70 А/дм<sup>2</sup>), температуры электролита (до 70<sup>0</sup>С) и увеличения времени обработки (до 1 мин). Показано, что электрохимическое полирование обеспечивает улучшение механических характеристик обрабатываемого материала, а электроконтактный способ его осуществления более эффективен ванного способа за счет активации обновления и снятия прианодного слоя.

Для контроля физико-химического состояния обработанных поверхностей в работе предложена методика оценки работы выхода электронов. Установлено, что максимальным значением критерия шероховатости соответствуют максимальные значения контактной разности потенциалов (КРП), а минимальные значения КРП соответствуют загрязненным или окисленным поверхностям.

Предложена планетарная схема абразивной обработки трубчатых элементов длиной 25 м, изготовленных из ленты толщиной 0,15 мм. Для выбора оптимальных режимов резания разработана аналитическая модель устойчивости тонкостенной детали (трубчатого элемента) при абразивной обработке, позволившая определить предельные значения параметров режимов резания, при которых результирующая сил резания достигает критического значения, обусловленного потерей устойчивости детали: появлением изгибающей или изгибно-крутильной форм потери устойчивости. На основе результатов исследований разработаны и внедрены в производство специальное оборудование и эффективные технологии финишной обработки светотражательных поверхностей деталей из лент (длинномерных трубчатых элементов).

Для создания светорассеивающих поверхностей (при обеспечении диффузного характера отражения, для которого отношения коэффициентов поглощения и излучения принимают небольшие значения) наиболее эффективными являются струйно-абразивная обработка, химическое и электрохимическое травление, обкатывание поверхностей эластичным инструментом, а также нанесение покрытий электроосаждением. Доказано, что наименьшие значения отношения коэффициентов поглощения и излучения (0,2...0,27) для анодированных поверхностей достигаются при наполнении в воде и хромпике образцов ленты в состоянии поставки.

На основе этих результатов исследований разработана новая технология финишной обработки деталей термостата (осесимметричных деталей) из тонколистовых материалов, обеспечивающая создание светорассеивающих поверхностей. Кинематика процесса основана на обкатывании поверхности эластичным абразивным инструментом, в результате чего достигается матирование поверхности с заданными оптическими характеристиками.

**Ключевые слова:** Шероховатость поверхности, оптические свойства, светотражение, полирование абразивное и электрохимическое, оборудование и оснастка.

**Shkurupiy V.G. Components made of fine sheet and tape surface final processing technologies efficiency increase. - Manuscript.**

The dissertation for a scientific candidate degree of technical sciences on specialty 05.02.08 - Technology of machine building. - Odessa National Polytechnic University, Odessa, 2006.

Dissertation is devoted to designing an efficient technological process of the final processing of surfaces of the details made of fine sheet and tapes, working under the conditions of the light flow influence. For this purpose the relationship between roughness and optical characteristics of light-reflecting surfaces has been for the first time analytically established on basis of three criteria of roughness: the relative length of the roughness profile, the ratio of arithmetical deflections of the profile to the maximum value of the high-altitude parameter of the surface roughness and the criterion of roughness.

The work provides theoretically motivated and experimentally proved model of essential increasing of light-reflecting characteristics of the surfaces at the expense of the reduction of the ratio of the roughness parameters of the processing within 0,29...0.

There have been designed mathematical models of abrasive and electrolytic polishing on basis of multi-factor planning of the experiment, which allowed defining the optimal conditions of processing light-reflecting surfaces.

The scheme of abrasive polishing of tubular elements made of spring tapes with their width 0,15 mm has been also offered. On basis of the results of the research there have been designed special equipment and efficient technologies of the final processing of surfaces of these products. The designed technology is introduced in a number of enterprises and according to its technical and economic characteristics it exceeds the existing technologies.

The keywords: roughness of surfaces, optical characteristics, light reflection, abrasive and electrolytic polishing, equipment and facilities.