

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

Шкурупій В.Г., Новиков Ф.В., докт. техн. наук (м. Харків, Україна)

Повышение эффективности технологии финишной обработки светоотражательных поверхностей деталей из тонкого листа и лент

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 трубчасті 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 [1]. 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 багатофакторні, 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 задача розробки ефективного технологічного процесу фінішної абразивно-електрохімічної обробки поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок для надання 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.).

Для цього в роботі розроблена нова математична модель формування шорсткості поверхні при абразивній обробці [2–5] (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):

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

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

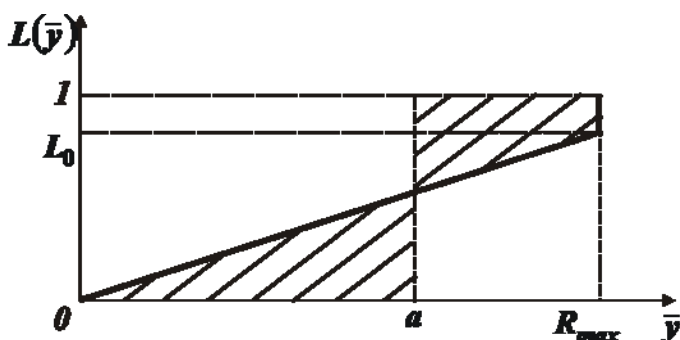


Рис. 1 Загальний вид безрозмірної функції $L(\bar{y})$, яка описує відносну опорну довжину профілю (заштрихована площа профілю поверхні визначає положення середньої лінії $\bar{y} = a$).

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

$$\varepsilon_{uu} = \frac{\varepsilon_2}{1 - (1 - A_2) \cdot (1 - F)}, \quad (3)$$

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; γ – половина кута при вершині абразивного зерна, що ріже, град; $F = F_2 / F_{uu}$ – фактор шорсткості поверхні (по нашим даним $F = l / l_0$); F_2 , F_{uu} – відповідно площі гладкої і шорсткої поверхонь, м² (рис 2,а); ε_{uu} – коефіцієнт випромінювання шорсткої поверхні; ε_2 і A_2 – відповідно коефіцієнти випромінювання і поглинання гладкої поверхні (коефіцієнт поглинання A_{uu} визначається по залежності, ідентичної (3), а коефіцієнт відбивання світла ρ_{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	∞	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: $0...0,29$ (табл. 1). Це вказує на можливість значного поліпшення оптичних характеристик оброблених 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 $A_{ш}$ обробленої 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

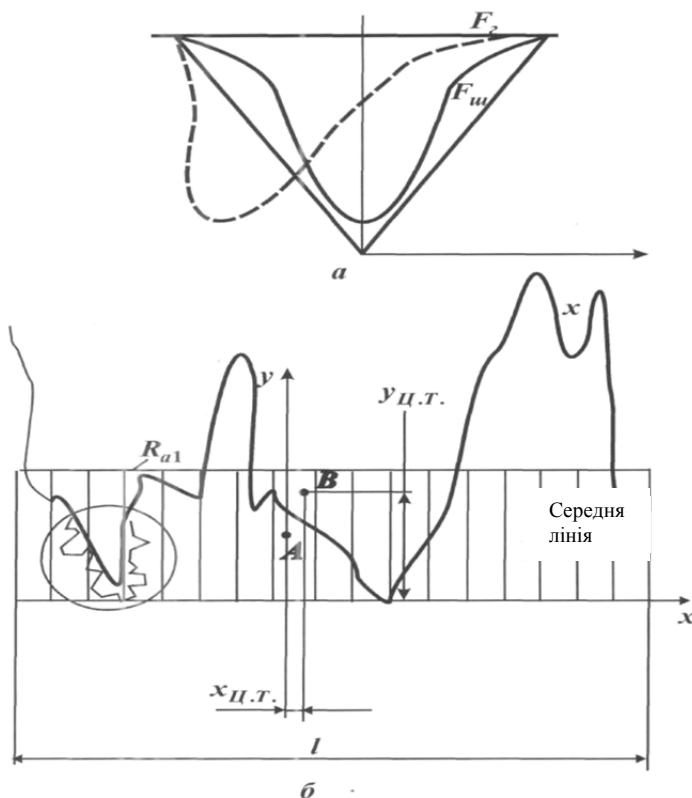


Рис. 2. Розрахункові схеми для визначення критерію шорсткості поверхні: а – западини різної форми; б – профіль шорсткості

го профілю шорсткості по відношенню до координат умовного центру ваги середньоарифметичного розподілу відхилень профілю (рис. 2,б) [6]. 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 обгрунтовано підійти до вибору оптимальних методів і умов обробки світловідбиваючих поверхонь.

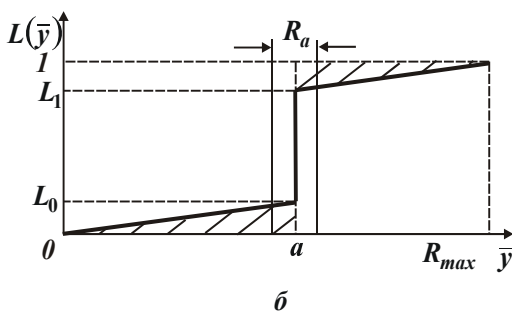
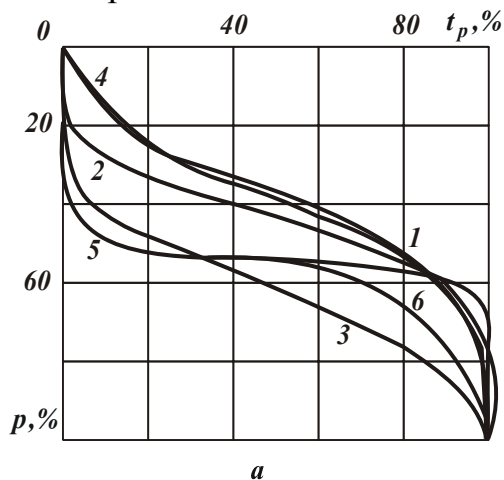


Рис. 3. Відносні опорні криві поверхонь зразків з алюмінієвого сплаву АМг4 після різних методів обробки (а): 1- прокату (вихідна поверхня); 2 - гідроабразивної; 3 - точіння; 4 - фрезерування; 5 - абразивного полірування; 6 – точіння алмазом, та вид спрощеної функції $L(\bar{y})$ (б).

У роботі отримана оцінка рішення рівняння теплопровідності для одномірного нестационарного температурного поля, формованого в довгомірному трубчастому елементі, виготовленому з тонкої пружної стрічки і працюючому в умовах впливу світлового потоку [7]. 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 роботі 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 критерію шорсткості F' ,

коефіцієнта відбиття світла ρ_s і зменшенню коефіцієнтів поглинання A_s і випромінювання ε . 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 ρ_s	поглинання A_s	випромінювання ε		
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

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 3,б). Відмінність цього графіка функції $L(\bar{y})$ складається в наявності додаткової ділянки $L_1 \dots I$ на рис 3,б, обумовленої появою окремих глибоких рисок та подряпин на обробленій поверхні. 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 $L_1 \rightarrow I$, 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 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 ρ_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 / ε 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 проведено комплекс експериментальних досліджень формування шорсткості й оптичних характеристик поверхонь при абразивному і електрохімічному поліруванні. Експериментально встановлено, що зменшити коефіці-

ент 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 багатofакторного планування експерименту, які дозволили визначити оптимальні параметри обробки світловідбивних поверхонь. На основі отриманої емпіричної залежності:

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

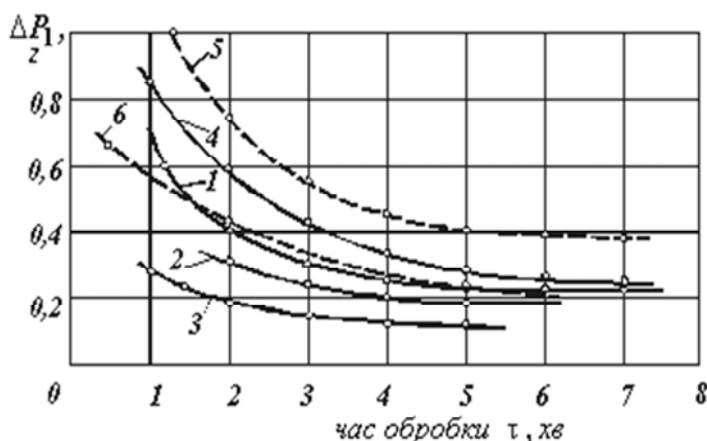


Рис. 4. Залежність маси знятого металу від часу обробки алмазною суспензією різної зернистості: 1 – АСМ 7/5 після шліфування; 2 – АСМ 5/3, після обробки -АСМ 7/5; 3 – АСМ 3/2, після обробки – АСМ 5/3; 4 – АСМ 7/5, після обробки – АСМ 3/2; 5 -АСМ 7/5 після шліфування (суспензія з полімером); 6 – АСМ 5/3,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

(де V – окружна швидкість повстяного полірувальника, м/с; p – тиск, МПа; τ – 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 оброблювальну поверхню (рис. 4) [8]. Велика продуктивність досягається при обробці абразивними пастами з великим розміром зерен. Введення полімеру в абразивні паста 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. Полі-

вінілацетатна дисперсія при оптимальному її змісті 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 A/дм^2 і температури електроліту до 70°C . Великим значенням щільності струму і температури електроліту (у межах $30\text{--}100^\circ\text{C}$) відповідають великі значення товщини шару матеріалу, що знімається, рис. 5.

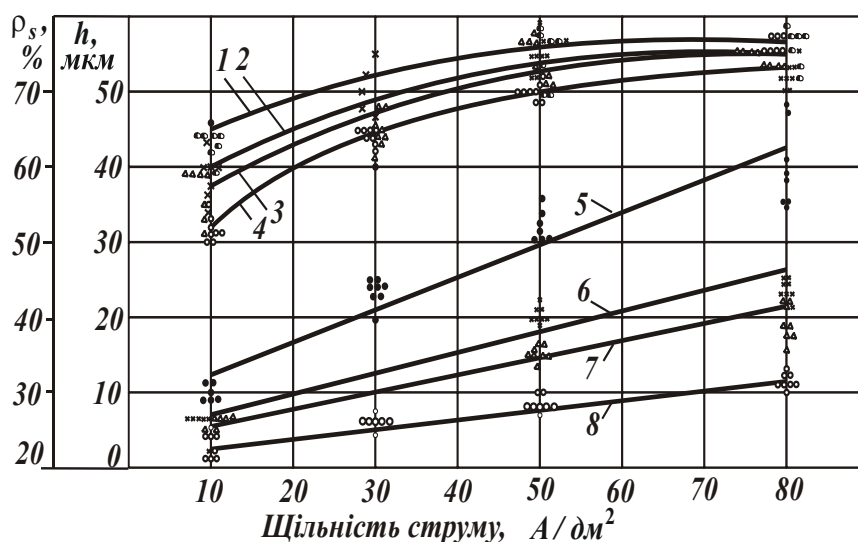


Рис. 5. Залежність відбивної здатності ρ_s і товщини шару матеріалу, що знімається h , при електрохімічному поліруванні стрічки із сплаву 36НХТЮ від щільності струму: 1, 2, 3, 4 - ρ_s при температурі електроліту 70, 50, 30, 100°C відповідно; 5, 6, 7, 8 - h при температурі електроліту 100, 70, 50, 30°C відповідно; час обробки – 1 хв; склад електроліту: H_3PO_4 – 60%, H_2SO_4 – 20%, H_2O – 20%

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 оброблюваних хромонікелевих 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 36НХТЮ 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 / ε). 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) [9]. Анодирування проводили в сірнікислотному розчині при кімнатній температурі і щільності струму 1–1,5 А/дм². Експериментально встановлено, що найменші значення відношення A_s / ε для анодируваних 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).

На основі приведених досліджень розроблені ефективні технології фінішної обробки світловідбивних поверхонь деталей з тонкого листа і стрічок (довгомірних трубчастих елементів, деталей термостата) [10]. Запропоновано планетарну схему абразивного полірування трубчастих елементів довжиною 25 м і

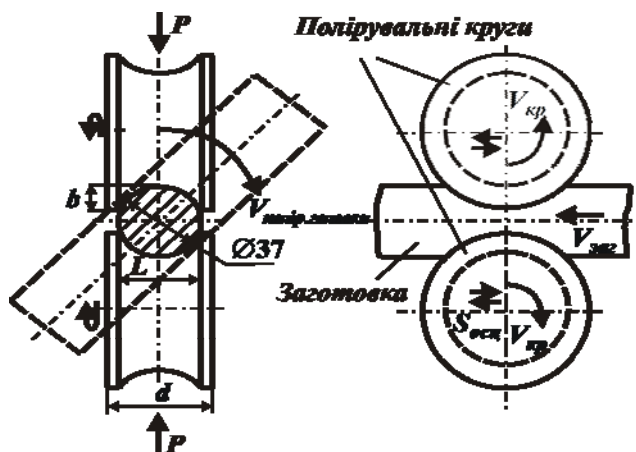


Рис. 6. Схема полірування трубчастих елементів із пружних стрічок на спеціальній оправці.

більше, виготовлених зі 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/м²;

G – жорсткість при закручуванні, Н/мм²; I_x, I_y, I_ω, I_k – головні центральні моменти інерції, секторальний момент інерції та момент інерції при закручуванні відповідно, мм⁴; a_y – координата центру вигину, мм; r_p – полярний радіус іне-

рції 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,

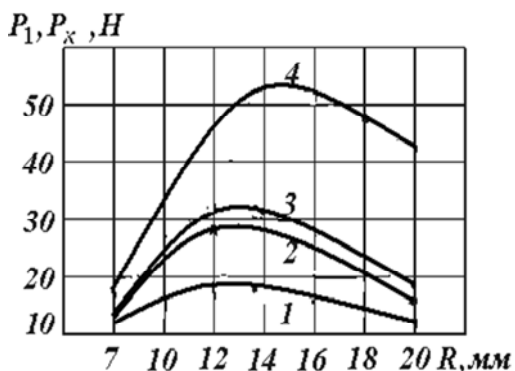


Рис. 7. Вплив радіуса трубчастої заготовки і її товщини на значення критичної сили стиску $P_{кр}$ (ширина розгортки 50 мм): 1, 2 - P_x при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм; 3 и 4 – сила P_1 при товщині стрічки 0,15 і 0,2 мм відповідно.

супроводжуваний закручуванням перетинів). 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 у вигиновій формі. З урахуванням цього для абразивного полірування поверхонь

трубчастих заготовок з тонких пружних стрічок хромо-нікелевих 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, щіль-

ність струму до $2,5 \cdot 10^2$ А/дм² при напрузі 24В (фосфорнохромовий електроліт); при нанесенні покриття 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/м² (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 $\sigma_r = 1,23 \cdot 10^3$ 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»: розроблена технічна документація і виготовлені дві установки для електрохімічного полірування нескінчених стрічок.

Розроблена також 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.

Література: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.10. “Концепции развития технологии машиностроения”. – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 2. 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. 3. 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. 4. 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. 5. 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. **6.** Шкурупий В.Г. Особенности анализа шероховатости поверхности, обработанной резанием // Резание и инструмент. – Харьков, 1982. – Вып.27. – С. 74-77. **7.** 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. **8.** 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; Опубл. 15.02.82.Бюл.№ 6. – 4с. **9.** 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; Опубл. 25.07.75. Бюл. №27. –3 с. **10.** 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.