

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ НА ОПЕРАЦІЯХ ЗУБОШЛІФУВАННЯ

Новіков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харківський національний економічний університет)

Нежебовський В.В.

(ВАТ Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря”)

Вступ і постановка задачі. При виготовленні приводів шахтних конвеєрів виникають проблеми технологічного забезпечення якості обробки зубчастих коліс на фінішних операціях. У значній мірі це обумовлено утворенням на операціях зубошліфування температурних дефектів на оброблюваних поверхнях, а також відносно низькими показниками точності й шорсткості їх обробки [1]. У результаті чого відбуваються часті поломки зубів коліс, знижується їхня зносостійкість і довговічність, а це вимагає ремонту приводів у важких шахтних умовах [2]. Відомо, що підвищити якість обробки зубчастих коліс і відповідно їх надійність і ресурс роботи можна шляхом застосування ефективних технологій зубошліфування, які забезпечують зниження теплової й силової напруженості процесу й підвищення продуктивності обробки. Накопичено певний досвід удосконалювання технології зубошліфування, отримана значна кількість результатів експериментальних досліджень, аналіз яких підтверджує технологічні можливості і резерви зубошліфування. Однак, для їхнього максимального використання необхідні нові теоретичні розробки критеріїв визначення оптимальних режимів шліфування з урахуванням обмежень по температурі шліфування, точності й шорсткості обробки, оскільки експериментальних даних недостатньо для вибору оптимального варіанта обробки.

Мета роботи – підвищення якості й продуктивності обробки зубчастих коліс на фінішних операціях на основі науково обґрунтованого вибору оптимальних режимів зубошліфування й характеристик абразивних кругів.

Результати досліджень. В роботі теоретично обґрунтовані умови підвищення якості й продуктивності обробки при зубошліфуванні на основі температурного фактора [3]. Встановлено аналітичний зв'язок між температурою шліфування θ й глибиною l_2 проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі при торцевому шліфуванні (рис. 1):

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{l_1}{l_2}; \quad (1)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot V_{\text{піз}} \cdot l_1} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{\text{num}}}, \quad (2)$$

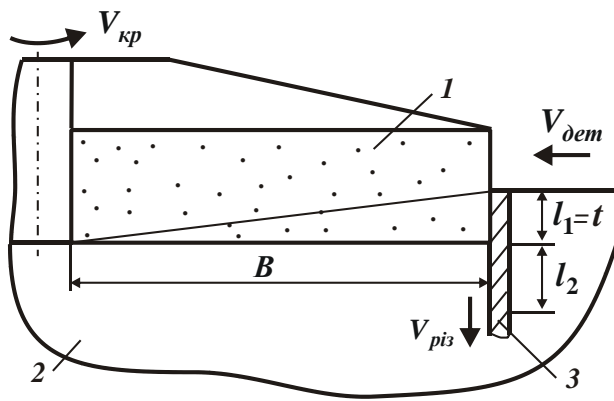


Рис. 1. Розрахункова схема параметрів торцевого шліфування: 1 – круг; 2 – оброблюваний матеріал; 3 – адіабатичний стержень

(довжина контакту круга з деталлю), м; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·град); $Q_{num} = t \cdot V_{дем}$ – питома продуктивність обробки, м²/с.

Аналіз залежності (1) показує, що понизити температуру θ можна за рахунок збільшення глибини l_2 . Отже, одночасного зменшення параметрів θ та l_2 і відповідно підвищення якості обробки можна досягти за рахунок пониження σ в результаті зменшення інтенсивності тертя в зоні шліфування й підвищення ріжучої здатності круга. Розрахунками встановлено, що при шліфуванні сталі ШХ15 ($c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град)) відношення l_1/l_2 приймає значення менші одиниці (рис. 2,а). Установлено також, що забезпечення значень θ , які менше температури плавлення сталі ШХ15 ($\theta_{пл} = 1500$ °С), можливо при умові $l_1/l_2 \ll 1$ (рис. 2,б). Це пов'язано з відносно великими значеннями умовного напруження різання при шліфуванні $\sigma = \sigma_{cm} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{uu}^2}) / K_{uu}$, де $K_{uu} = P_z / P_y$ – коефіцієнт шліфування (0,1...1); P_z, P_y – тангенціальна й радіальна складові сили різання, Н; σ_{cm} – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, МПа (для сталі ШХ15 – $\sigma_{cm} = 2 \cdot 10^3$ МПа). Тому досить складно одночасно зменшити температуру шліфування θ до необхідного рівня й виконати умову $l_1/l_2 \rightarrow 1$ і домогтися підвищення якості обробки. Реально можна виконати лише одну умову: зменшити θ за рахунок збільшення l_2 . У цьому випадку виключається утворення на оброблених поверхнях припикань. Однак, у зв'язку зі збільшенням l_2 можливі структурні зміни поверхневого шару обробленої деталі, які не завжди можна усунути на наступному проході круга для $l_1/l_2 \ll 1$. Тому, поряд із забезпеченням заданого значення θ , необхідно зменшувати параметр l_2 за рахунок пониження σ .

При шліфуванні на оброблених поверхнях, крім припикань, утворюються мікротріщини, обумовлені високим градієнтом температури

де σ – умовне напруження різання, Н/м² (енергоємність обробки, Дж/м³); l_1 – товщина шару знятого матеріалу, яка при торцевому шліфуванні дорівнює глибині шліфування t , м; c – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·град); ρ – щільність матеріалу, кг/м³; $V_{різ} = t \cdot V_{дем} / B$ – швидкість перерізання

адіабатичного стержня, якими умовно представлений припуск, що знімається, м/с; $V_{дем}$ – швидкість переміщення деталі, м/с; B –

довжина робочої частини круга

$$\text{grad}\theta = \frac{\theta}{l_2} = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{\text{дем}} \cdot \quad (3)$$

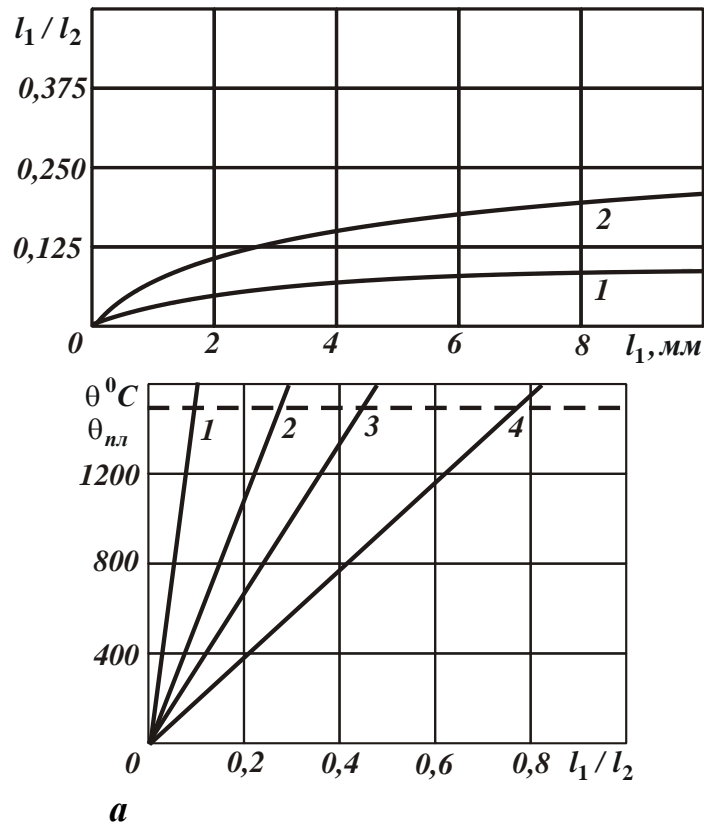


Рис. 2. Залежності l_1/l_2 (а) від товщини знятого матеріалу l_1 для швидкості перерізання адіабатичного стержня (1 – $V_{\text{різ}}=2$ мм/хв; 2 – $V_{\text{різ}}=10$ мм/хв) та температури шліфування θ (б) від l_1/l_2 для коефіцієнта шліфування (1 – $K_{\text{ш}}=0,1$; 2 – $K_{\text{ш}}=0,3$; 3 – $K_{\text{ш}}=0,5$; 4 – $K_{\text{ш}}=1$)

Зменшити $\text{grad}\theta$ й виключити утворення мікротріщин можна пониженням температури шліфування θ й збільшенням глибини l_2 , що відповідає встановленій вище умові виключення припикань, і досягається зменшенням параметрів σ , t , $V_{\text{дем}}$ і збільшенням B . Отже, одночасно зменшити $\text{grad}\theta$, температуру шліфування θ , глибину l_2 й таким чином виключити утворення мікротріщин і припикань на оброблюваній поверхні (при заданій продуктивності обробки) можна лише за рахунок зменшення умовного напруження різання σ .

У роботі виконана оптимізація параметрів режимів зубошліфування з урахуванням температурного фактора. Виходячи із залежностей (1) і (2), понизити температуру шліфування θ при одній і тій же продуктивності обробки можна зменшенням глибини шліфування t , тобто збільшенням кількості проходів круга при зніманні заданого припуску Π . Однак, це веде до збільшення допоміжного часу обробки, пов'язаного з реверсуванням стола верстата. Тому існує оптимальна кількість проходів круга n_1 , при якій штучний час $T_{\text{шт}}$ (що дорівнює сумі основного $T_{\text{осн}}$ й допоміжного $T_{\text{доп}}$ часу

обробки на операції зубошліфування) приймає мінімальне значення. Залежність для визначення $T_{ум}$ приймає вид:

$$T_{ум} = T_{осн} + T_{доп} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot (\tau_{осн} + \tau_{доп}) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{доп} \cdot \gamma_1, \quad (4)$$

де $T_{осн} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot \tau_{осн}$; $T_{доп} = 2 \cdot z \cdot n_1 \cdot k \cdot \tau_{доп}$; z – кількість зубів; k – кількість подвійних зворотньо-поступальних рухів круга уздовж оброблюваного зуба за один прохід; $\tau_{осн} = L/V_{дет}$ – основний час обробки за один подвійний хід круга, с; L – довжина поздовжнього ходу круга, м; $\tau_{доп}$ – допоміжний час обробки за один подвійний хід круга, с; $\gamma_1 = \left(\frac{n_{1екстр}^2}{n_1} + n_1 \right) -$

безрозмірна величина.

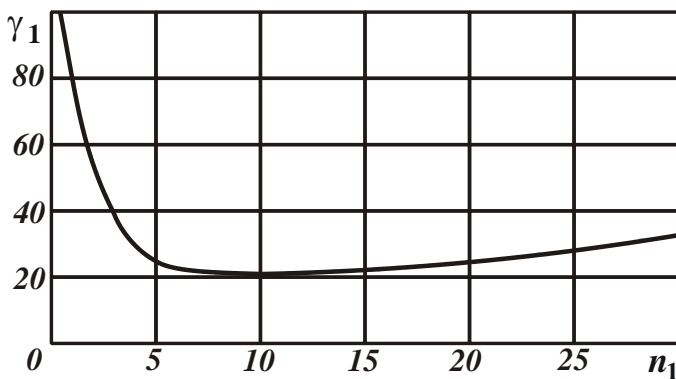


Рис. 3. Залежність безрозмірної величини γ_1 від кількості проходів круга n_1

Для необхідної умови екстремуму $T'_{умn_1} = 0$ за формулою (4) визначені екстремальні значення $n_{1екстр}$ кількості проходів круга і швидкості $V_{дет}$ переміщення деталі та мінімальне значення $T_{ум}$ штучного часу:

$$n_{1екстр} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{доп}}} \quad ;(5)$$

$$V_{дет} = \frac{L}{\tau_{доп}}; \quad (6)$$

$$T_{умmin} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{1екстр} \cdot (\tau_{доп} + \tau_{доп}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{доп}} \cdot \tau_{доп} \quad (7)$$

Перша й друга складові залежності (7) однакові, тобто рівні основний $\tau_{осн}$ і допоміжний $\tau_{доп}$ часи обробки. Зменшити $T_{умmin}$ можна, насамперед, пониженням параметрів σ і Π при заданому значенні θ . При цьому екстремальне значення $V_{дет}$ тим більше, чим менше допоміжний час $\tau_{доп}$. Для вихідних даних: $\rho = 14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·град); $\sigma = 10^5$ Н/мм²; $\theta = 1000$ °С; $\Pi = 0,4$ мм; $L = 100$ мм; $B = 30$ мм; $\tau_{доп} = 1$ с, із урахуванням $t = \Pi/n_1$, отримано $n_{1екстр} = 9$, $V_{дет} = 6$ м/хв, $t = 0,045$ мм. Аналізуючи графік (рис. 3), можна зробити висновок про те, що безрозмірна величина γ_1 несуттєво змінюється в діапазоні $n_1 = 5 \dots 20$. Це свідчить про ефективність знімання припуску за невелику кількість проходів круга (у межах 5 проходів). Таким чином, запропоновано нову методику розрахунку оптимальних умов обробки при шліфуванні за критерієм найменшого

штучного часу обробки з урахуванням обмеження по температурі шліфування.

У роботі також визначені умови одночасного забезпечення вимог по точності і якості оброблюваних поверхонь при шліфуванні, обумовлених заданими значеннями величини пружного переміщення y_{np} , що виникає у технологічній системі, і температури шліфування θ :

$$y_{np} = \frac{P_y}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot K_{ш}} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{дет}}{V_{кр}}, \quad (8)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дет}}{B}}, \quad (9)$$

де C – жорсткість технологічної системи, Н/м; h – ширина шліфування, м; $V_{кр}$ – швидкість обертання круга, м/с.

Виходячи із залежностей (8) і (9), це досягається зменшенням параметрів σ , t , $V_{дет}$ і відповідно продуктивності обробки. Причому, для забезпечення заданої величини y потрібно більш істотно зменшувати продуктивність обробки. Це вимагає застосування як попереднього, так і остаточного шліфування. При попередньому шліфуванні доцільно забезпечити задану температуру θ за рахунок вибору оптимальної глибини шліфування t , яка задовольняє залежність (9). При остаточному шліфуванні необхідно забезпечити задану величину y_{np} , встановлюючи t відповідно до залежності $y_{np} = t / \varepsilon$, і кількість проходів круга n_1 при виходжуванні відповідно до залежності $y_{np} = t / \varepsilon^{n_1}$, де $\varepsilon = (1 + \alpha)$ – уточнення;

$\alpha = \frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дет}}$ – безрозмірний параметр.

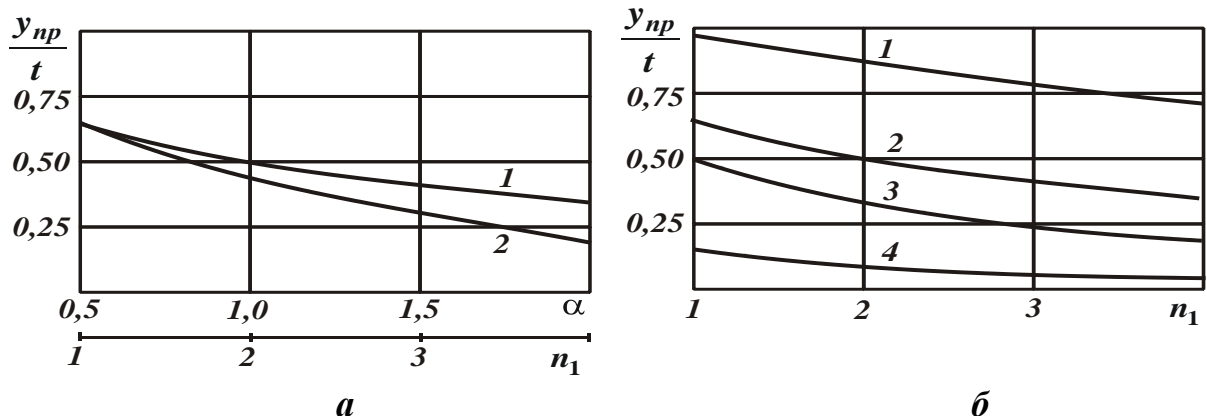


Рис. 4. Залежність безрозмірної величини y_{np}/t від параметра α (1) і кількості проходів круга n_1 (2) для $\alpha_0=0,5$ (а) та від кількості проходів круга n_1 при виходжуванні (б): 1 – $\alpha_0=0,1$; 2 – $\alpha_0=0,5$; 3 – $\alpha_0=1$; 4 – $\alpha_0=5$

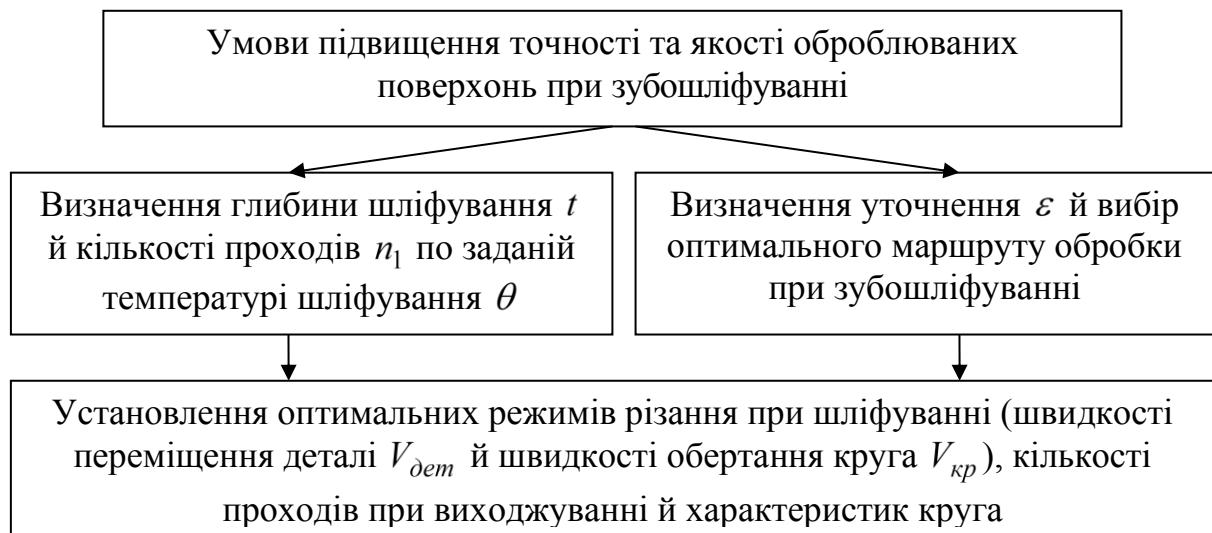


Рис. 5. Структурна схема умов підвищення точності та якості оброблюваних поверхонь при зубошліфуванні

Розрахунками встановлено, що зі збільшенням величин n_1 і α (зменшенням V_{det}) в однакову кількість разів (що відповідає однаковому зменшенню продуктивності обробки) безрозмірна величина y_{np}/t зменшується з різною інтенсивністю (рис. 4,а): більш інтенсивно – зі збільшенням n_1 . Це свідчить про ефективність застосування схеми виходжування в порівнянні зі шліфуванням за жорсткою схемою. Установлено також, що при значенні $\alpha = \alpha_0 \geq 1$ величина y_{np}/t зі збільшенням n_1 зменшується по лінійній залежності (рис. 4,б). Це перевершує інтенсивність зменшення величини y_{np}/t зі збільшенням n_1 за умови зменшення глибини шліфування t . Тому при $\alpha < 1$ (або $\varepsilon < 2$) доцільно використовувати шліфування за жорсткою схемою, а при $\alpha \geq 1$ (або $\varepsilon \geq 2$) – шліфування за схемою виходжування, виключаючи з технологічного процесу операцію остаточного шліфування. Таким чином, коефіцієнт α , а, отже, і уточнення $\varepsilon = (1 + \alpha)$ визначають оптимальний маршрут обробки (рис. 5). Однак для цього необхідно знати кількісні значення уточнення ε , які встановлюються розрахунково-експериментальним шляхом.

В роботі обґрунтовані закономірності знімання припуску й формування шорсткості поверхні при абразивній обробці з урахуванням імовірнісного характеру участі зерен у різанні [4]. На основі розрахункової схеми (рис. 6) аналітично визначена функція $\Phi(y)$ розподілу невилученого матеріалу на обробленій поверхні при обробці одновисотними (1) і різновисотними (3) зернами з урахуванням імовірності їхньої участі в різанні (рис. 7), а також при обробці одновисотними зернами (2), але без урахування імовірнісного характеру участі їх у різанні. У першому випадку $\Phi(y) = e^{-\frac{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot n}{B} \cdot y}$, а параметри шорсткості визначаються співвідношеннями $R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n}$;

$\frac{R_a}{a} = 0,734$; $\frac{R_p}{R_a} = \frac{R_{max} - a}{R_a} = \frac{R_{max}}{R_a} - \frac{a}{R_a}$, де 2γ – кут при вершині конусоподібного ріжучого зерна; n – кількість зерен; y – поточна координата профілю поверхні, м; a – відстань до середньої лінії профілю поверхні, м.

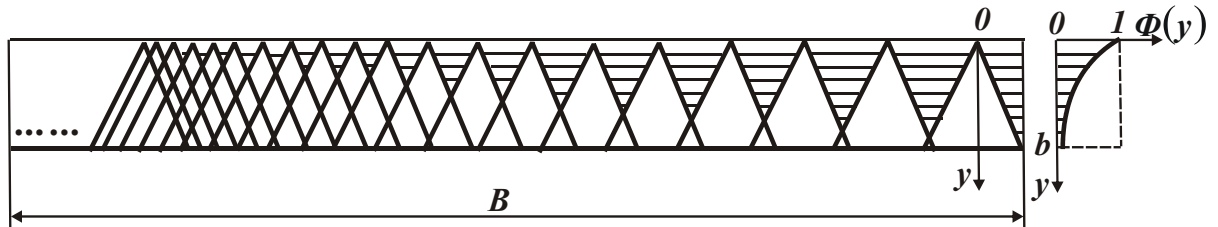


Рис. 6. До розрахунку функції $\Phi(y)$ розподілу невилученого матеріалу на обробленій поверхні: B – ширина оброблюваної поверхні, м; b – висота виступання зерен, м

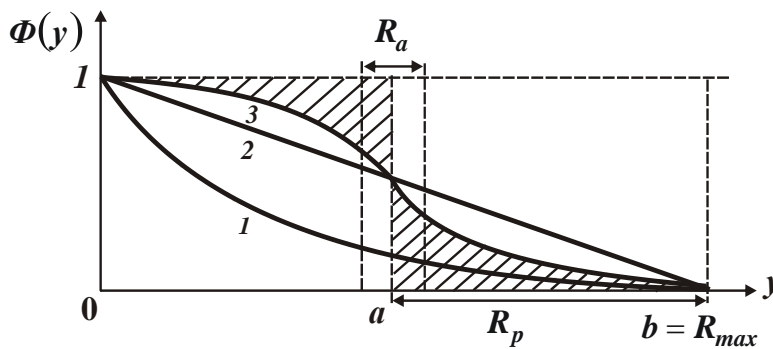


Рис. 7. Графік залежності функції $\Phi(y)$

У третьому випадку функція $\Phi(y)$ також описується експонентною залежністю, а в другому випадку – лінійною залежністю. За структурою побудови функція $\Phi(y)$ відповідає класичній відносній

опорній довжині мікропрофілю обробленої поверхні. У першому й третьому випадках параметр шорсткості R_{max} однозначно визначити не можна, тому що імовірнісна функція $\Phi(y)$ асимптотично наближається до нульового значення (рис. 7). Тому встановити параметр шорсткості R_{max} можна з умови міцності мікронерівності, яка утворюється на оброблювальній поверхні. На цій основі визначена довжина площадки на вершині мікронерівності $l = \frac{0,5 \cdot P \cdot \text{ctg} \gamma}{\tau_{зсув}}$, де P – сила різання, що приходить на одиницю ширини

мікронерівності, Н/м; $\tau_{зсув}$ – межа міцності оброблюваного матеріалу на зсув, МПа; 2γ – кут при вершині мікронерівності. Аналіз цієї залежності показує, що чим більше відношення $P / \tau_{зсув}$, тим менше параметр R_{max} і відношення R_{max} / R_a . Цим пояснюється розходження шорсткості поверхні при абразивній обробці різних за фізико-механічними властивостями матеріалів. Отже, існують два підходи до визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці. Перший підхід полягає в кінематико-геометричному описі профілю поверхні з урахуванням імовірнісного накладення й

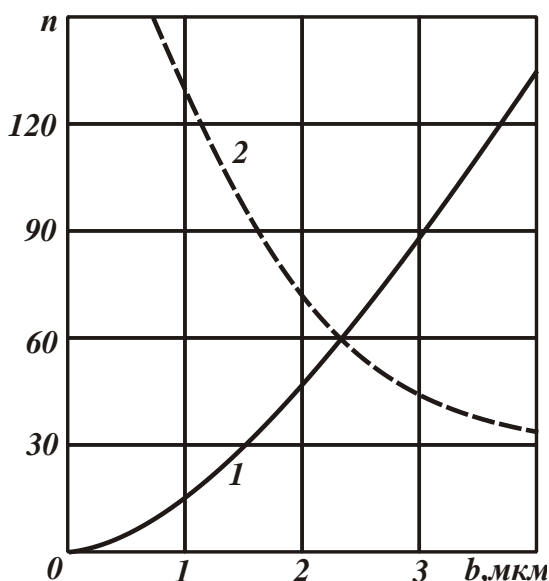
перекриття проєкцій зерен, другий підхід – в описі профілю мікронерівностей від їхнього руйнування під дією сил, що виникають у процесі різання. На основі першого підходу можна встановити відношення a/R_a , а на основі другого підходу – відношення R_{max}/R_a . У підсумку формується досить повне уявлення про структуру шорсткуватого шару обробленої поверхні.

Таблиця 1
Розрахункові значення відношень R_a/a , R_{max}/R_a , R_p/R_a і R_p/a

Найменування параметрів	Випадок 1	Випадок 2	Випадок 3
R_a/a	0,734	0,5	< 0,5
R_{max}/R_a	> 4	4	4...8
R_p/R_a	> 3	2	< 2...6
R_p/a	> 2,2	1	< 1..3

У табл. 1 наведені розрахункові значення параметрів шорсткості поверхні для трьох розглянутих вище випадків (рис. 7). Видно, випадок 2 займає проміжне положення, тому що з переходом від випадку 1 до випадку 3 відношення R_a/a зменшується, а відношення R_{max}/R_a досягає мінімуму, рівного 4. Випадок 2 є свого роду границею, яка розділяє випадки 1 і 3. Порівнюючи експериментальні або розрахункові значення відношень R_a/a , R_{max}/R_a , R_p/R_a і R_p/a з відповідними значеннями відношень для випадку 2, можна оцінити структуру шорсткуватого шару поверхні, яка утворюється при конкретному методі обробки.

Визначені технологічні можливості зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці. Для цього спочатку виконано розрахунок параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні плосковершинними зернами. Установлено, що при обробці одновисотними й різновисотними зернами параметр шорсткості поверхні R_a визначається відповідно залежностями



$$R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n} \cdot e^{-\frac{x \cdot n}{B}}; R_a = \frac{0,734 \cdot B \cdot b}{n \cdot x}, \text{ де } x - \text{довжина площадки на вершині зерна, м.}$$

При шліфуванні периферією круга кількість зерен n , які приймають участь у формуванні шорсткості поверхні (досяжна кількість), визначається

$$n = B \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot b} \cdot \frac{V_{кр}}{V_{дет}} \cdot \frac{3 \cdot m \cdot b}{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}, \quad (10)$$

де $R_{кр}$ – радіус круга, м; m – об'ємна концентрація зерен круга; \bar{X} – зернистість круга, м.

Рис. 8. Залежність досяжної (1) та необхідної (2) кількості зерен n при шліфуванні від параметру b

Кількість зерен, яка необхідна для формування повного профілюю оброблюваної поверхні $\Phi(y = b = R_{max}) = 0,1$, дорівнює

$$n = \frac{6,9 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot b} \quad (11)$$

Із зіставлення досяжної (10) та необхідної (11) кількості зерен n (рис. 8) визначається параметр шорсткості $b = R_{max}$, який потенційно може бути реалізований при шліфуванні для вихідних даних: $B = 20$ мкм; $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 1$ м/хв; $R_{кр} = 100$ мм; $m = 100$; $\bar{X} = 100$ мкм. В цьому полягає новизна запропонованого розрахунку параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні, що, по суті, є подальшим розвитком теоретико-імовірнісного підходу при шліфуванні.

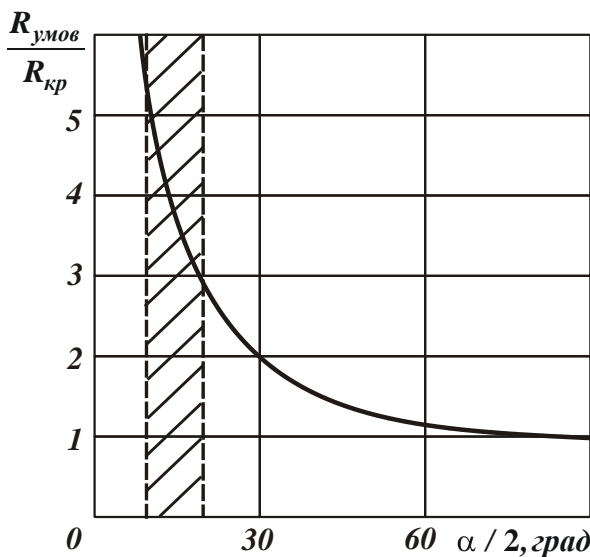


Рис. 9. Залежність $R_{умов} / R_{кр}$ від кута при вершині конічного круга $\alpha/2$

формуванні шорсткості поверхні бере участь більша кількість зерен, що веде до зменшення шорсткості поверхні. При $\alpha/2 = 10 \dots 20^\circ$ (що має місце на практиці) умовний радіус $R_{умов}$ може бути збільшений в 3...5,5 разів (рис. 9).

При $\alpha/2 \rightarrow 0^\circ$ умовний радіус $R_{умов} \rightarrow \infty$. Таким чином шліфування торцем круга забезпечує найменшу шорсткість поверхні. Показано, що зі збільшенням кута $\alpha/2$ відбувається перехід від шліфування периферією круга до шліфування кругом із двостороннім конічним профілем і відповідно до шліфування торцем круга (рис. 10). При цьому досягається ефект зменшення шорсткості поверхні без збільшення площадок зношування на зернах круга, що є основною умовою зменшення шорсткості поверхні при шліфуванні периферією круга. Це обумовлює те, що шліфування торцевим і конусним кругами може здійснюватися гострими зернами, забезпечуючи високу ріжучу здатність круга й високі показники продуктивності та якості обробки. Важливо, що для зменшення шорсткості поверхні не обов'язково

Обґрунтовані закономірності знімання припуску й формування шорсткості поверхні при шліфуванні кругом із двостороннім конічним профілем і кутом при вершині α . Доведено, що в цьому випадку умовний радіус шліфування $R_{умов}$ (конічної частини круга) більше радіуса круга $R_{кр}$ й визначається

$$R_{умов} = \frac{R_{кр}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (12)$$

Очевидно, що при шліфуванні таким кругом (у порівнянні зі шліфуванням периферією круга) у

зменшувати зернистість круга (як при шліфуванні периферією круга), а це свідчить про існування резервів підвищення ефективності шліфування.

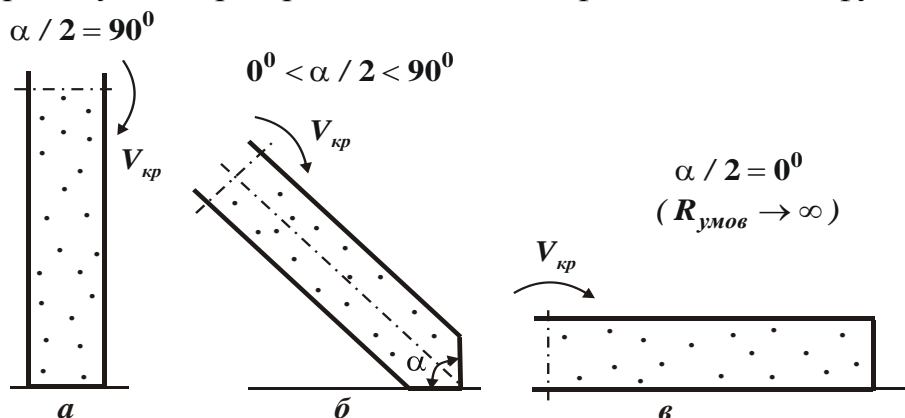


Рис. 10. Схема переходу від шліфування периферією круга (а) до шліфування кругом із двостороннім конічним профілем (б) і шліфування торцем круга (в)

В роботі одержані результати

експериментальних досліджень, розробки й впровадження у виробництво ефективних операцій зубошліфування зубчастих коліс приводів шахтних конвеєрів. Експериментально встановлено, що при шліфуванні сталі 18ХГН2МФБ твердістю HRC 57...63 умовне напруження різання (енергоємність обробки) σ змінюється в межах $(13,117...16,964) \cdot 10^3$ МПа, а відношення l_1/l_2 , яке встановлено розрахунково-експериментальним шляхом

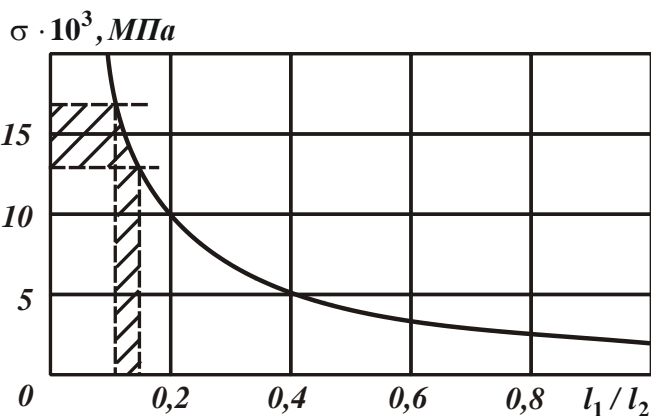


Рис. 11. Залежність умовного напруження різання σ від співвідношення l_1/l_2 для температури θ

(рис. 11), не перевищує значення 0,2. Тому на кожному наступному проході круга не можна усунути пошкоджений на попередньому проході (у результаті теплового впливу) поверхневий шар деталі. Підвищити якість обробки в цих умовах можна лише за рахунок зменшення температури шліфування θ шляхом зменшення енергоємності обробки, що досягається застосуванням кругів з більш високою ріжучою здатністю.

Використовуючи експериментальні значення енергоємності обробки, виконані розрахунки за залежностями (5) і (6) оптимальних параметрів режиму зубошліфування зубчастого колеса зі сталі 18ХГН2МФБ твердістю HRC 57...63 за критерієм найменшого штучного часу обробки з урахуванням обмеження по температурі шліфування θ . Теоретично встановлено, що при зубошліфуванні на верстаті мод. 5843ЕМ (що працює по методу обкатування кругом конічного профілю 2П 400x32x127 24А10СМ2К6) знімання припуску величиною 0,4 мм може бути виконано за 5 проходів круга із глибиною

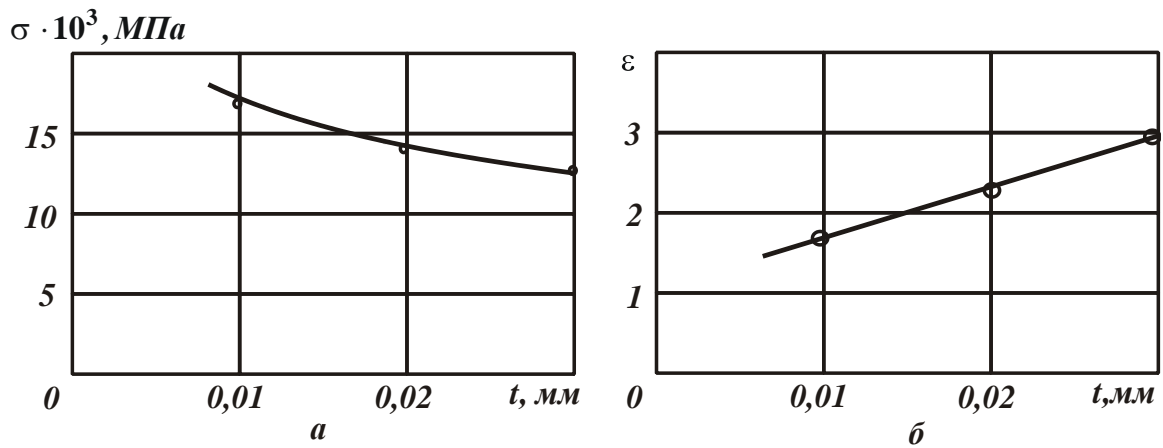


Рис. 13. Залежності енергоємності обробки σ (а) та уточнення ε (б) від глибини шліфування t

Експериментально встановлено, що застосування абразивного круга із двостороннім конічним профілем типу 2П при зубошліфуванні на зазначених вище режимах різання забезпечує стабільно параметр шорсткості обробки $R_a < 0,6$ мкм. Це відповідає вимогам по шорсткості обробки.

Обґрунтована ефективність застосування сучасної координатно-виміральної машини (КВМ) GLOBAL Perfomance 122210 виробництва італійської фірми DEA (концерн Hexagon) для виміру параметрів точності обробки зубчастих коліс. Установлено, що при цьому скорочується час і підвищується точність і стабільність вимірів, знижується потреба в додатковому контрольному оснащенні, з'являється можливість виміру тих розмірів, які раніше було не можливо обміряти наявними технічними засобами. Розроблені "Правила користування протоколами КВМ для зубчастих передач", які ураховують різницю в даних між стандартом ISO і діючими Держстандартами, на основі яких розробляється заводська технічна документація. Установлено також, що, використовуючи результати вимірів параметрів зубчастих коліс за допомогою КВМ, можна скоротити строки й підвищити якість налагодження зубошліфувального верстата з метою забезпечення вимог по точності обробки зубчастих коліс. Це зменшує кількість проходів при остаточному шліфуванні й виходжуванні й відповідно знижує до 2-х разів трудомісткість обробки. Установлено, що знімання припуску величиною 0,4 мм може бути виконано за 3 чорнових проходів, 1 чистовий прохід і 1 прохід при виходжуванні. Відповідно до діючої технології зубошліфування обробка виконується за 5 чорнових проходів, 2 чистових і 1...2 проходи при виходжуванні.

Розроблені операції зубошліфування зубчастих коліс впроваджені в основне виробництво ВАТ ХМЗ "Світло шахтаря" на 4-х зубошліфувальних верстатах. При цьому гарантовано забезпечуються вимоги по якості, точності й шорсткості оброблюваних поверхонь зубчастих коліс приводів шахтних конвеєрів, що підвищило ресурс їхньої роботи до рівня світових виробників аналогічної продукції.

Висновки.

1. Теоретично доведено, що підвищити якість обробки при шліфуванні на основі одночасного зменшення температури шліфування й глибини проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі можна за рахунок зменшення умовного напруження різання.

2. Теоретично визначені умови підвищення точності обробки при зубошліфуванні внаслідок встановлення кількості проходів круга залежно від величини уточнення, реалізованого при шліфуванні.

3. Проведено класифікацію структур шорсткуватого шару поверхонь, які формуються при абразивній обробці, і розроблено науковий підхід до вибору оптимальних умов обробки з урахуванням обмеження по шорсткості поверхні.

Список літератури

1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей [Текст] / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с.
2. Кащук В.А. Справочник шлифовщика [Текст] / В.А. Кащук, А.Б. Верещагин. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.
3. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес [Текст] / Ф.В. Новиков, В.В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып.12. – С.56-62.
4. Нежебовский В.В. Закономерности формирования шероховатости поверхности при абразивной обработке и условия ее уменьшения [Текст] / В.В. Нежебовский // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2009. – Вып. 76. – С. 126-132.