

самого ефективного результату іншими маркетинговими методами для машинобудівних підприємств України практично неможливо.

Незважаючи на достатньо високу вартість зазначеного високопродуктивного обладнання закордонного виробництва, термін його окупності відносно невеликий. Наприклад, термін окупності придбаного АТ «Харківський машинобудівний завод «Світло шахтаря» (м. Харків) сучасного зубошліфувального верстата із ЧПУ моделі HOFLEERRAPID 1250 (виробництво Німеччини) становив лише 6 місяців у зв'язку з досягнутим збільшенням продуктивності більш ніж у 5 разів та високою якістю продукції, що виготовляється. При цьому придбаний верстат також замінив роботу 4-х зубошліфувальних верстатів застарілої конструкції, що застосовувалися раніше на підприємстві. Все це і забезпечило зменшення терміну окупності придбаного зубошліфувального верстата до 6 місяців.

Тому зараз застосування закордонного обладнання на машинобудівних підприємствах України є найважливішою умовою інтенсифікації виробництва та створення високоякісної конкурентоспроможної продукції, що відповідає принципам соціально відповідального маркетингу, яка здатна вивести підприємства із кризового стану та домогтися їхньої беззбиткової діяльності.

*Новіков Ф.В.*

Харківський національний економічний університет  
імені Семена Кузнеця

## **ТЕОРЕТИКО-ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ ТА АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ В ПРОЦЕСІ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ**

Абразивну обробку застосовують для забезпечення високих показників якості, точності та шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин. При цьому особливого значення набувають питання обґрунтування умов суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь. Для їх вирішення застосовують теоретико-імовірнісний підхід, який дозволяє аналітично встановити взаємозв'язки параметрів шорсткості поверхні з умовами абразивної обробки [1]. На цій основі встановлено імовірнісну функцію  $\Phi(y)$  розподілу незнятого матеріалу за висотою мікропрофілю обробленої поверхні, починаючи із найглибшої западини мікропрофілю. Розглянуто 4 випадки, із яких 3 випадки без урахування застосування поперечної подачі абразивного інструменту.

1 Обробка абразивним інструментом із одновисотним (рівномірним) розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (без урахування імовірності їх участі у процесі різання, рис. 1, а):

$$\Phi(y) = 1 - N \cdot \frac{y}{b}. \quad (1)$$

2 Обробка абразивним інструментом із одновисотним (рис. 1, б) і різновисотним розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (урахування імовірності їх участі у процесі різання):

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{y}{b}}; \quad (2)$$

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{y}{b}\right)^2}. \quad (3)$$

3 Обробка абразивним інструментом із різновисотним розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (урахування поперечної подачі абразивного інструменту та імовірності участі зерен у процесі різання):

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{y}{b}\right)^3}, \quad (4)$$

де  $N = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b}{B}$ ;

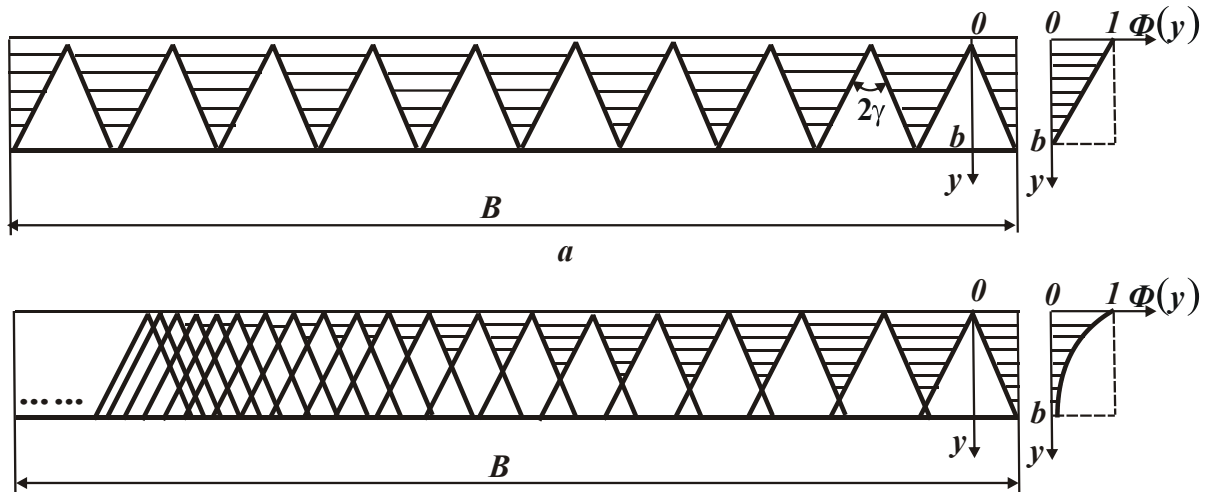
$n$  – загальна кількість зерен, які приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні;

$2\gamma$  – кут у вершини конусоподібного ріжучого зерна;

$b$  – максимальна висота виступу вершин зерен над рівнем зв'язки абразивного інструмента, м;

$B$  – ширина оброблюваної деталі, м;

$y$  – координата, що відлічується від вершини зерна, м.



**б**  
Рисунок 1 – Розрахункові схеми функції  $\Phi(y)$  за умови рівномірного (а) і нерівномірного (б) розташування проекцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі

Величина  $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b$  визначає сумарну довжину основ проекцій  $n$  зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі за умови, що всі зерна рівновіддалені одне від одного (рис. 1,а). Тоді відношення  $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b / B$  буде

визначати, у скільки разів сумарна довжина основ проєкцій  $n$  зерен на цю вертикальну площину  $2 \cdot tg\gamma \cdot n \cdot b$  буде більше ширини оброблюваної деталі  $B$  на рівні  $y = b$ . Отже, за фізичною суттю безрозмірна величина  $N$  визначає кількість накладань (1; 2; 3; ...) шарів робочої поверхні абразивного інструмента на площину поперечного перерізу оброблюваної деталі, які забезпечують виконання умови  $y/b = 1$  при рівномірному розташуванні проєкцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі (рис. 1, а).

На рис. 2 наведено графіки зміни функції  $\Phi(y)$  для розглянутих 4-х випадків абразивної обробки. Найменші значення функція  $\Phi(y)$  досягає в 1-му і 2-му випадках у зв'язку із тим, що зерна виступають над рівнем зв'язки абразивного інструмента на однакову висоту, а в 3-му та 4-му випадках – на різні висоти. Це, відповідно, приводить в 1-му і 2-му випадках до зменшення параметра шорсткості поверхні  $R_{max}$  (максимальної висоти мікронерівностей на оброблюваній поверхні).

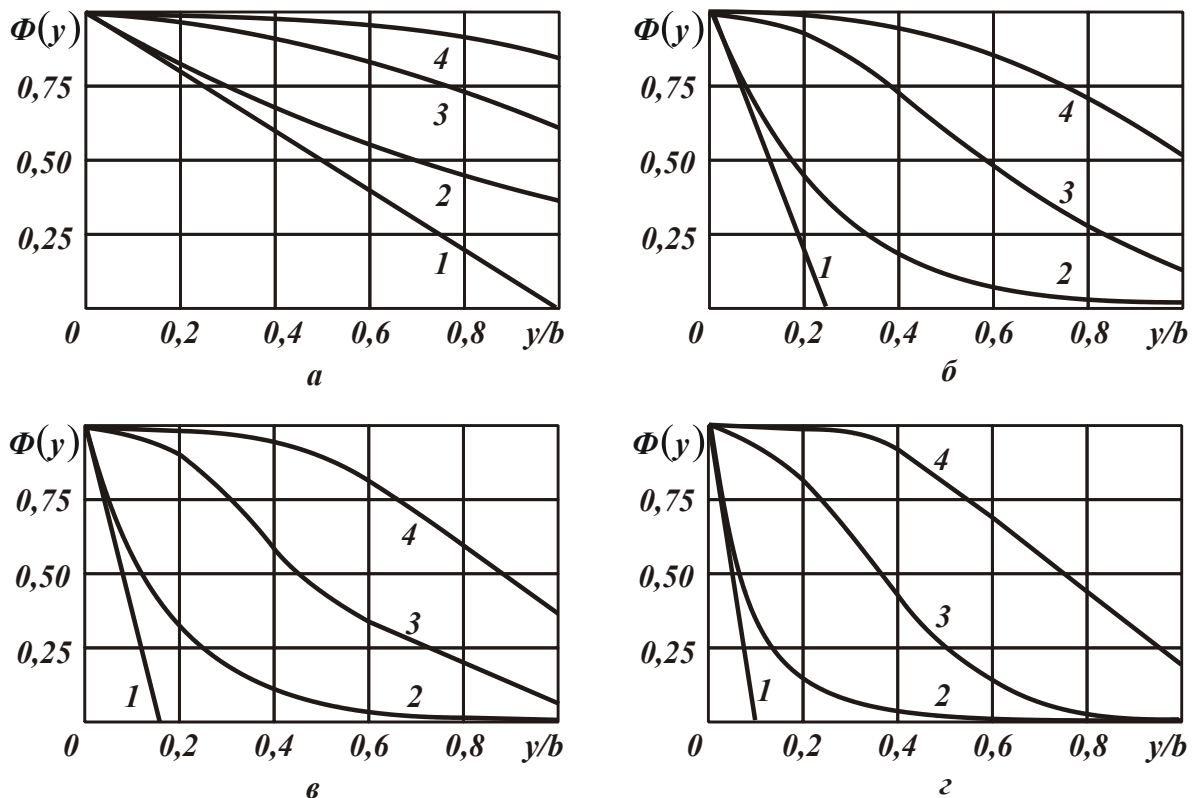


Рисунок 2 – Характер зміни функції  $\Phi(y)$  за умов:  $N=1$  (а);  $N=4$  (б);  $N=6$  (в);  $N=10$  (г); 1; 2; 3; 4 – розрахунок функції  $\Phi(y)$ , відповідно, за залежностями (1) – (4)

Як видно, зі збільшенням безрозмірної величини  $N$  завдяки збільшенню загальної кількості зерен  $n$ , що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні, значення функції  $\Phi(y)$  суттєво зменшуються, наближаючись до нуля за умови  $y/b = 1$ . При цьому в 3-му і 4-му випадках форма функції  $\Phi(y)$  зі збільшенням відношення  $y/b$  проходить точку перегину. Така форма функції  $\Phi(y)$  є типовою для процесів шліфування [1].

За умови одновисотного розташування абразивних зерен (випадок 2 на рис. 2) типовою формою функції  $\Phi(y)$  є форма, яка має місце під час обробки

вільним абразивом. Це указує на можливість зменшення шорсткості обробленої поверхні. Отже, зменшити шорсткість обробленої поверхні можна, перш за все, шляхом забезпечення рівномірного розташування ріжучих зерен на робочій поверхні абразивного інструменту.

На основі залежностей (1) – (4) визначено параметр шорсткості поверхні  $R_a$  для 4-х розглянутих випадків:

Випадок 1. 
$$R_a = \frac{R_{max}}{4} = \frac{0,125 \cdot B}{tg\gamma \cdot n} \quad (5)$$

Як видно, чим більше величина  $n$ , тим менше параметр  $R_a$ . Однак відношення параметрів шорсткості поверхні  $R_{max} / R_a$  залишається незмінним та дорівнює  $R_{max} / R_a = 4$ .

Випадок 2. 
$$R_a = \frac{0,367 \cdot B}{tg\gamma \cdot n} \cdot \frac{R_{max}}{R_{max}} = \frac{0,734 \cdot R_{max}}{N} \quad (6)$$

У цьому випадку параметр  $R_a$  тим менше, чим більше безрозмірна величина  $N$ . Застосовуване на практиці відношення  $R_{max} / R_a = N / 0,734$  значно збільшується зі збільшенням безрозмірної величини  $N$ .

Із порівняння залежностей (5) і (6) випливає, що параметр  $R_a$ , розрахований на основі імовірнісного підходу (рис. 1, б), в 3 рази більше від параметра  $R_a$ , розрахованого на основі геометричних співвідношень за умови рівномірного розташування проєкцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі (рис. 1, а).

Випадок 3. 
$$R_a = 0,566 \cdot \frac{R_{max}}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

Аналогічно залежності (6), параметр  $R_a$  теж зменшується зі збільшенням безрозмірної величини  $N$ , але з меншою інтенсивністю. Відповідно, відношення  $R_{max} / R_a = \sqrt{N} / 0,566$  теж збільшується зі збільшенням безрозмірної величини  $N$  із меншою інтенсивністю, тобто приймає менші значення. Отже, забезпечення одновисотного розташування абразивних зерен на робочій поверхні абразивного інструмента дозволяє зменшити параметр шорсткості оброблюваної поверхні  $R_a$  порівняно із різновисотним розташуванням абразивних зерен на робочій поверхні абразивного інструмента.

Випадок 4. 
$$R_a = 0,518 \cdot \frac{R_{max}}{\sqrt[3]{N}} \quad (8)$$

Таблиця 1 – Розрахункові значення відношення  $R_{max} / R_a$

$N$	1	2	3	4	5	6	10	20	30
Випадок 1	4								
Випадок 2	1,36	2,72	4,08	5,44	6,8	8,16	13,6	27,2	40,8
Випадок 3	1,77	2,5	3,06	3,54	3,96	4,33	5,59	7,92	9,69
Випадок 4	1,93	2,43	2,8	3,07	3,3	3,51	4,17	5,24	6,0

Згідно до залежності (8), параметр  $R_a$  приймає ще більші значення порівняно із залежностями (6) і (7), а відповідно, відношення  $R_{max}/R_a = \sqrt[3]{N}/0,518$  – менші значення (табл. 1). Це підтверджується експериментальними даними [1], за яких під час абразивного полірування параметр  $R_a$  приймає значно менші значення, а відношення  $R_{max}/R_a$ , навпаки, значно більші значення порівняно із процесом шліфування. Так, під час шліфування відношення  $R_{max}/R_a$  приймає значення в межах 4 – 6, а під час абразивного полірування може досягати значень на рівні 30. Як впливає із табл. 1, збільшення безрозмірної величини  $N$  в умовах шліфування (випадок 4) незначно впливає на збільшення  $R_{max}/R_a$ , тоді як в умовах абразивного полірування (випадок 2), навпаки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1 Новіков Ф. В. Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями : монографія / Ф.В. Новіков, В.Г. Шкурूपій. – Харків : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 388 с.

*Новіков Ф.В.*  
Харківський національний економічний університет  
імені Семена Кузнеця

### **ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ ТА УМОВ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ**

Визначальним чинником ефективного застосування процесів шліфування деталей машин у більшості випадків є висока теплова напруженість процесу різання, яка може привести до появи припикань та інших температурних дефектів на оброблюваних поверхнях. Тому для обґрунтування умов зменшення теплової напруженості процесу різання та температури шліфування важливо провести теоретичний аналіз закономірностей формування температури шліфування.

Професор Якимов О. В. у роботах [1, 2] встановив, що під час шліфування розрахунок температури шліфування можна виконувати на основі спрощеної розрахункової схеми (рис. 1). Для цього слід подати припуск, що знімається, пакетом елементарних прямолінійних адіабатичних стержнів, через які (із-за теплопровідності оброблюваного матеріалу) тепло поширюється із зони різання вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі (рис. 1).

У результаті розрахунок температури шліфування зводиться до визначення закону розподілу температури вздовж адіабатичного стержня, на торці якого (у зоні контакту шліфувального круга із оброблюваним матеріалом) діє теплове джерело із щільністю теплового потоку  $q$  протягом часу  $\Delta\tau$ . Для цього виділимо в адіабатичному стержні із площею поперечного перерізу  $S$  елементарний об'єм довжиною  $\Delta x$  і встановимо кількість тепла, яке надійшло до нього в результаті теплопровідності оброблюваного матеріалу за час  $\Delta\tau$ :