

Таким чином, аналіз даних проведених теоретико-експериментальних досліджень переконливо свідчить, що навіть на етапі чистового точіння цілком можливі прояви доволі суттєвого (до 50 %) коливання значень сил різання, зумовлених рельєфом попередніх обробок та збіганням чи кратністю значень кроку профілю. Коливання значень сил різання, в свою чергу, внаслідок збурення вібрацій різко погіршують якість оброблених поверхонь, зумовлюють появу браку при виготовленні прецизійних деталей. Найдешевшим і простим виходом із ситуації несподіваних проявів різкого погіршення стану оброблених чистовим точінням поверхонь без видимих на то причин є перевірка і корекція вибору величини осьової подачі.

1. Jemielniak K., Widota A. Numerical simulation of non-linear chatter vibration in turning // *Int J. Mach Tools Manufact.* 1989 Vol.29. Nr 2. 2. Lin T.J., Lu S.H., Stout K.J. Model-based topography characterization of machined surfaces in three dimension // *Int. J. Mach Tools Manufact.* 1997. Vol.35. Nr 2. 3. Lubimov W., Oczóś K.E. Wybrane zagadnienie kształtowania nierówności powierzchni w procesach obróbkowych // *Mechanik*, 1997. Vol. 70. Nr 3. 4. Oczóś K.E., Lubimov W. Wybrane metody sterowania chropowatością powierzchni obrabianych elementów maszyn przepływowych // *Mat. VIII Międz. Konf. "Przepływowe Maszyny Wirnikowe. Rzeszów-Bystre, 1998 r.* 5. Rubenstein C. The edge force components in oblique cutting // *Int J. Mach Tools Manufact.*, 1990. Vol.30. Nr 1. 6. Sobaszek A., Nieczieta W., Świć A. Обеспечение качества поверхности при многопроходной токарной обработке // *V Международная научно-техническая конференция: Точность и надежность технологических и транспортных систем. Россия, Пенза, 1999.* 7. Tarng S., Young H., Lee B. An Analytical model of chatter vibration in metal cutting // *Int J. Mach Tools Manufact.* 1994. Vol.3. Nr 2.

УДК 621.922(923)

**Я.О. Шахбазов**

Українська академія друкарства,  
кафедра технології матеріалів і поліграфічного машинобудування

## **ТЕХНОЛОГІЧНА СПАДКОВІСТЬ УТВОРЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПРИ ВИКІНЧУВАЛЬНОМУ ШЛІФУВАННІ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ**

© Шахбазов Я.О., 2001

**Досліджені закономірності впливу шорсткості заготовки на шорсткість обробленої поверхні при викінчувальному шліфуванні.**

**There has been explored a possibility to provide given processed surfaces roughness when grinding by abrasive wheels.**

Одним із параметрів якості обробленої поверхні є її шорсткість, яка суттєво впливає на експлуатаційні характеристики деталей машин. Величина шорсткості обробленої поверхні є складовою частиною допуску на розмір та призначається залежно від якості точності обробки. Ефективним способом забезпечення точності по 7–8 квалітетах та шорсткості обробленої поверхні  $Ra=1,25-63$  мкм деталей машин зі сталі є шліфування. При таких технічних вимогах визначення умов шліфування обмежується дослідженнями впливу кінематики процесу, явищ пружних та пластичних деформацій на макрорівні обробленої поверхні. Перехід на більш високий рівень шліфування із шорсткістю обробленої поверхні

$Ra < 0,63$  мкм вимагає врахування пружних деформацій, також мікронерівностей шорсткості поверхонь заготовок, які утворюються при їх попередній обробці, перед викінчувальним шліфуванням та величина яких досягає значної частки допуску на розмір. Такий підхід пояснюється необхідністю створення умов стабільного досягнення шорсткості обробленої поверхні залежно від якості точності у межах партії деталей, які передаються на викінчувальне шліфування, що підтверджується експериментальними дослідженнями у роботі [1].

При викінчувальному шліфуванні взаємодія шліфувального круга та заготовки відбувається з малими товщинами зрізу. Тому можна вважати, що контакт абразивних зерен із оброблюваним матеріалом здійснюється на рівні попередньої шорсткості, при якому пружні деформації на рівні основи мікровиступу шорсткості будуть незначними, в той же час деформації самих мікровиступів будуть впливати на шорсткість обробленої поверхні. Під час зрізання абразивним зерном стружки, мікровиступи шорсткості на поверхні заготовки, пружно деформуєчись, зменшують товщину зрізу, які після відновлення приводять до збільшення шорсткості стосовно рівня контактування зерна і мікровиступу. Тому шорсткість шліфованої поверхні буде залежати також і від шорсткості попередньо обробленої поверхні заготовки. В цьому і буде технологічна спадковість утворення шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні, тобто чим більше буде попередня шорсткість заготовки, тим більше буде і шорсткість шліфованої поверхні за однакових умов обробки. Визначимо ступінь впливу попередньої шорсткості заготовки на закономірності утворення шорсткості шліфованої поверхні для випадку симетричного врізання абразивного зерна у виступаючий мікропрофіль попередньої шорсткості заготовки. Під дією радіальної сили ( $P_{y3}$ ), під час шліфування вершина виступу шорсткості переміщається у вертикальній площині з точки  $O_1$  в точку  $O_2$ , а вершина абразивного зерна з точки  $O_3$  в  $O_4$  (рис. 1), зменшуючи величину шару, що зрізується абразивним зерном шліфувального круга. Після відновлення пружних властивостей мікровиступу матеріалу висота мікровиступу ( $Rz$ ) буде більше ніж у випадку відсутності пружних деформацій оброблюваного матеріалу. Як відомо [2], тангенційна і осьова складові сили різання, які діють на мікровиступ, в горизонтальній площині значно менше, тому їх впливом при розрахунках можна нехтувати. Мікровиступ шорсткості в поперечному перерізу при розрахунках пружних деформацій приймаємо за клин, який навантажений зосередженою нормальною силою. Для розрахунку напружень, які виникають внаслідок дії радіальної сили, використовуємо задачу Мітчелла про пружний клин, який навантажений у вершини [2, 3]. Позначимо кут при вершини мікровиступу ( $2\alpha$ ), висоту мікровиступу після виходу його з контакту із шліфувальним кругом  $Rz$ . З теорії пружності [3] відомо, що в будь-якій точці пружного клину (за винятком області прикладання зусилля), що стискається зосередженою силою, радіальні напруження змінюються прямо пропорційно радіусу-вектору ( $r$ ) та обернено пропорційно косинусу кута  $\Theta$  (рис. 2):

$$\sigma_r = -k \frac{\cos \Theta}{r} . \quad (1)$$

Наприклад, якщо через довільні точки  $M_1(r_1, \Theta_1)$  і  $M_2(r_2, \Theta_2)$  перерізу мікрориступу та матеріалу провести площини, які є перпендикулярними до радіусів  $r_1$  і  $r_2$ , то нормальні напруження по цих площинах будуть:

$$\sigma_{r1} = -k_1 \frac{\cos \Theta_1}{r_1} ; \quad \sigma_{r2} = -k_2 \frac{\cos \Theta_2}{r_2} . \quad (2)$$

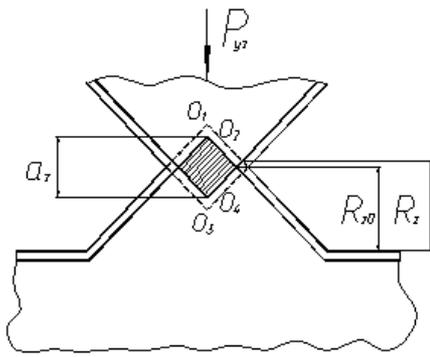


Рис. 1. Схема переміщень при контактї абразивного зерна з мікроставупом шорсткості заготовки

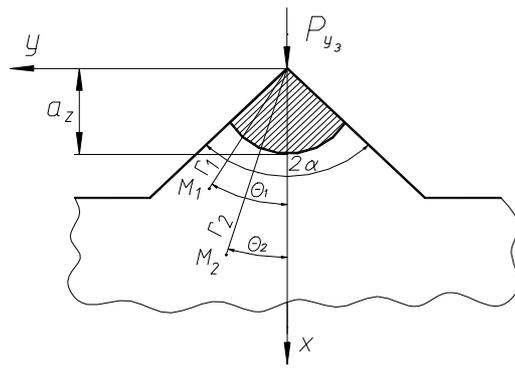


Рис. 2. Схема визначення напруг в точках мікроставупу шорсткості заготовки

Мікроставуп шорсткості та абразивне зерно контактують на рівні товщини зрізу ( $a_z$ ), де напруження, які виникають, мають бути на рівні межі пружності оброблюваного матеріалу, що визначається умовами пластичного деформування при шліфуванні. Якщо відсікати частину мікроставупу, де напруження досягають межі пружності оброблюваного матеріалу, а дії нормального зусилля замінити закономірністю (1), то згідно із [1] отримаємо вираз у вигляді:

$$\sigma_r = -\frac{2P_{yz} \cos \Theta}{(2\alpha + \sin 2\alpha)r} \quad (3)$$

Якщо у виразі (3) прийняти  $2\alpha = \frac{\pi}{2}$ , то  $k = \frac{4P_{yz}}{\pi + 2}$  і, підставивши це значення у формулу (3), отримаємо розподіл нормальних напружень по перерізу у вигляді:

$$\sigma_r = -\frac{4P_{yz} \cos \Theta}{r(\pi + 2)} \quad (4)$$

З виразів (3) і (4) випливає, що максимальні напруження будуть виникати в напрямку дії радіальної сили по осі  $-X$ . У міру відхилення від цієї осі на кут ( $d\Theta$ ) напруження будуть зменшуватися, що пояснюється збільшенням кута  $-\Theta$ . При відомій закономірності розподілу нормальних напружень можна знайти переміщення різних точок мікроставупу шорсткості.

Слід відмітити, що під дією сил різання при шліфуванні пружно деформується також абразивний шліфувальний круг, модуль пружності якого одного порядку з оброблюваним матеріалом. Тому, на відміну від шліфування пластмас [2], при шліфуванні металів необхідно враховувати деформацію зв'язки абразивного шліфувального круга.

Тоді переміщення точок у перерізі мікроставупу визначаються диференціальним рівнянням:

$$\varepsilon_c = \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)] \cos \Theta}{(2\alpha + \sin 2\alpha)E_1E_2r}, \quad (5)$$

де  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\mu_1$  та  $\mu_2$  – відповідно модулі пружності та коефіцієнти Пуассона, зв'язки шліфувального круга та матеріалу оброблюваної деталі.

Після інтегрування рівняння (5) отримаємо:

$$u_m = -\frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)] \cos \Theta}{(2\alpha + \sin 2\alpha)E_1E_2} \ln r + B. \quad (6)$$

Для встановлення значення переміщення точок мікровиступу без врахування деформацій заготовки приймаємо, що основа мікровиступу, яка знаходиться від початку координат на відстані  $r = Rz - a_z$ , не зміщується, тому

$$B = \frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)] \cos \Theta}{(2\alpha + \sin 2\alpha)E_1E_2} \ln(Rz - a_z). \quad (7)$$

Якщо підставити вираз (7) в (6), можна отримати значення переміщення точок мікровиступу шорсткості після його взаємодії із абразивним зерном шліфувального круга з товщиною зрізу  $a_z$ .

$$u_m = \frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)] \cos \Theta}{(2\alpha + \sin 2\alpha)E_1E_2} (\ln Rz - \ln(Rz - a_z)). \quad (8)$$

Вертикальне зміщення точок мікровиступу отримаємо з умови  $\Theta = 0$ , без врахування деформацій оброблюваного матеріалу.

$$u_m = \frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)]}{(2\alpha + \sin 2\alpha)E_1E_2} (\ln Rz - \ln(Rz - a_z)). \quad (9)$$

При прийнятих значень кута ( $\alpha$ ):

$$u_m = \frac{2P_{yz} [E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_1^2)]}{5E_1E_2} (\ln Rz - \ln(Rz - a_z)). \quad (10)$$

Рівняння (10) характеризує зміщення точок мікровиступу шорсткості, а також збільшення його висоти внаслідок відновлення пружних властивостей після виходу шліфованої поверхні із зони контакту з абразивним кругом. Отримана закономірність дає змогу визначити кількість проходів з метою досягнення шорсткості обробленої поверхні ( $n$ ) або побудувати, з врахуванням трудомісткості обробки, оптимальний варіант технологічного процесу шліфування за рахунок скорочення співвідношення шорсткостей поверхонь заготовки ( $Rz_1$ ) та деталі ( $Rz$ ). Кількість проходів для досягнення заданої шорсткості обробленої поверхні, з врахуванням пружних зміщень, можна визначити як  $n = Rz / (Rz_1(1 - u_m))$ . Розрахунки показали, що при шліфуванні слід приймати  $Rz_1 \approx (3-4)Rz$ . Таке співвідношення шорсткостей дозволяє при мінімальній кількості проходів ( $n=5-6$ ) досягти заданої шорсткості обробленої поверхні.

Результати проведених досліджень дають змогу рекомендувати оптимальні співвідношення шорсткостей поверхонь заготовки та деталі з метою досягнення заданої шорсткості при викінчувальному шліфуванні з мінімальною кількістю проходів та побудувати оптимальний варіант технологічного процесу шліфування.

1. Маталин А.А. Новые направления развития технологии чистой обработки. К., 1972.
2. Любимов В.Г. Шлифование пластмасс новым абразивным инструментом. Львов, 1979.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М., 1975.