

**О.О. Жолобов, к.т.н., проф.
К.А. Шалижин, аспір.**

Білорусько-Російський університет (м. Могильов)

МОДЕЛЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

Розглянуто можливості твердотільного моделювання абразивного інструменту. Розроблена модель процесу круглого та плоского шліфування та, як результат, – модель шліфованої поверхні. Визначені області застосування розробленої моделі.

Вступ. На кафедрі технології машинобудування Білорусько-Російського університету проводяться дослідження впливу різноманітних факторів на складуваність шліцьового прямобічного з'єднання. В рамках цих досліджень оцінюється вклад шорсткості контактуючих поверхонь у забезпечення статичної та динамічної складуваності всього з'єднання.

Постановка задачі. Як відомо, шорсткість поверхні – це сукупність мікронерівностей, що утворюють рельєф поверхні, які розглядаються в межах ділянки, що має певну довжину. Крок мікронерівностей змінюється від 2 до 1250 мкм, а висота – від 0,008 до 40 мкм. Шорсткість суттєво впливає на експлуатаційні властивості поверхні та деталі, від неї залежить величина коефіцієнта тертя спряжень, що труться, зносостійкість тіл, що труться, статична та динамічна міцність деталей, надійність пресових та інших посадок. Вплив шорсткості на надійність пресових посадок має подвійний характер та залежить від способу формування спряжень. З одного боку, при поздовжній запресовці втулок на вал або в корпус виступи мікронерівностей пластично деформуються, при цьому зменшується пружна взаємодія деталей порівняно з тим, якою вона була б при відсутності мікронерівностей. З іншого боку, при термічному методі формування спряження деякі мікронерівності деталей входять в зачеплення між собою, сприяючи збільшенню опору взаємному зміщенню.

В більшості випадків джерелом появи шорсткості є наслідок впливу інструменту на поверхню заготовки. Відомо, що причини виникнення мікронерівностей мають різноманітний характер та обумовлені такими факторами: 1) стан поверхневого шару заготовки; 2) механічні властивості матеріалу інструменту та заготовки; 3) кінематична схема та спосіб обробки; 4) коливання в технологічній системі; 5) макро- та мікрогеометрія робочої частини інструмента; 6) механічні та теплові явища безпосередньо в зоні контакту інструменту та заготовки [1–4].

Конфігурація мікронерівностей при обробці утворюється в результаті сумарного впливу перерахованих факторів, що мають, залежно від технологічних умов, різну інтенсивність. Другий, третій, четвертий та п'ятий фактори мають систематичний характер виникнення, вони можуть бути описані математичними залежностями. Перший та шостий фактори мають випадковий характер виникнення та можуть бути описані статистично.

Метою роботи Метою даної роботи є представлення математичної моделі шліфованої поверхні, а також розробленого програмного продукту побудови профілю мікронерівностей, який реалізує розроблену математичну модель поверхні.

Основна частина. При математичному описі систематичних факторів припускають, що реальний профіль, що утворений перетином реальної поверхні певним чином орієнтованою площиною, має періодичний характер, тобто спостерігається його повторення через певний період. Періодичний характер мають профілі поверхонь, отриманих обкатуванням, чорновим точінням, струганням, фрезеруванням. Такі профілі можна представити за допомогою ряду Фур'є з обмеженою кількістю членів [2], [5]:

$$F(x) = \sum_{k=1}^p c_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_k} x + \varphi_k\right), \quad (1)$$

де x – абсциса профілю;

λ_k – період k -ої гармонічної складової;

c_k – амплітуда k -ої гармонічної складової;

φ_k – зсув фази k -ої гармонічної складової.

В більшості випадків для побудови профілю мікронерівностей достатньо використати поліном третього порядку, тобто ряд, що містить три гармонічних складові.

При статистичному описі випадкових факторів припускають, що реальний профіль має неперіодичний характер, тобто немає чітко вираженого повторення профілю. Поверхні з таким профілем отримують при чистовій та абразивній обробках. Геометричні точки таких профілів розташовані у випадковому порядку та статистично можуть бути описані за допомогою функції $G(x)$, яка відображає частку випадковості профілю.

Таким чином, функція, що описує профіль мікронерівностей, в загальному вигляді представляється такою залежністю:

$$F(x) = G(x) + \sum_{k=1}^p c_k \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_k} x + \varphi_k\right). \quad (2)$$

Для різних методів обробки частка випадковості профілю змінюється; усереднені її значення наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність випадковості профілю від методу обробки

Метод обробки	Випадковість профілю, %
Точіння чорнове	32,5
Точіння чистове	52,5
Точіння фінішне	50
Точіння алмазне	37,5
Фрезерування чорнове	35
Фрезерування чистове	57,5
Свердлування	65
Зенкерування	60
Розвертання	75
Шліфування чорнове	75
Шліфування чистове	80
Шліфування фінішне	85
Полірування	90

На основі викладеного вище в середовищі Visual Basic була створена програма побудови профілю мікронерівностей, що реалізує розглянуту математичну модель. Користувачка форма програми представлена на рис. 1. Вихідними даними для програми є: середнє арифметичне відхилення профілю, середній крок мікронерівностей, діаметр валу чи отвору; сектор, що розглядається (для скорочення розрахункового часу); вид обробки. Після запуску програми в середовищі AutoCAD за вихідними даними автоматично будується один чи декілька профілів мікронерівностей.

На основі отриманих профілів можна побудувати тримірну сітку. Далі за цією сіткою будується поверхня, яка включається до складу твердого тіла. Після побудови тримірної моделі її можна проаналізувати за допомогою відомих програмних пакетів, що реалізують розрахунок методом скінчених елементів (рис. 2).

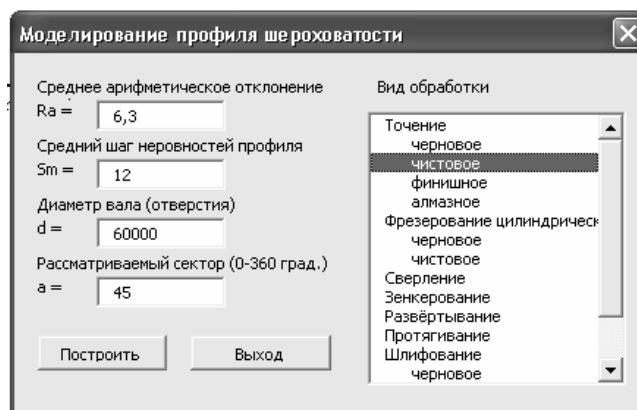


Рис. 1. Користувачка форма програми

Поряд з математичним моделюванням представлених вище шорсткостей додатково було виконане твердотільне моделювання формування мікронерівностей на шліфованих поверхнях. Воно включало створення моделі абразивного інструменту, імітацію процесу обробки та, як результат, – створення моделі шліфованої поверхні.

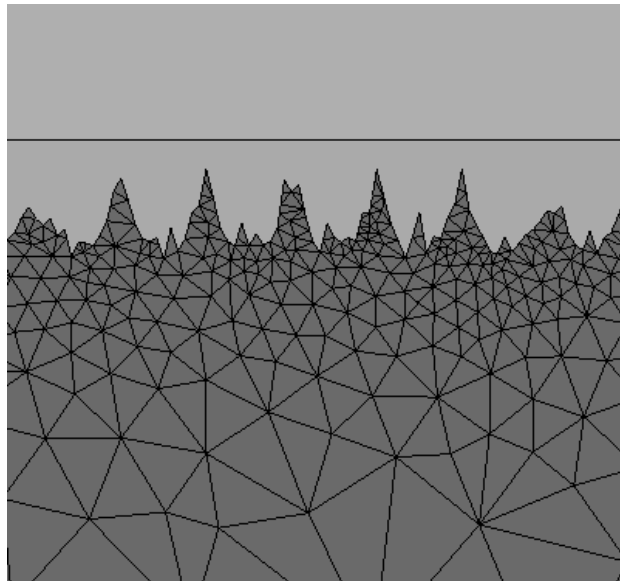


Рис. 2. Скінченноелементний аналіз мікронерівності

Створення моделі шліфувального круга спочатку передбачало дослідження структури абразивних інструментів та концентрації зерен. Під структурою абразивних інструментів розуміють щільність розподілу абразивних зерен в об'ємі тіла круга, який, крім зерен, займають також зв'язка, пори та, іноді, наповнювач. Але оскільки безпосередньо участь в роботі круга бере лише його поверхня, параметри якої визначаються стандартними характеристиками, то задача моделювання полягає не у відтворенні всього об'єму круга, а обмежується лише рельєфом його робочої поверхні. При цьому виконуються такі допущення:

- зернистість визначається стовідсотковим вмістом основної фракції, тобто всі абразивні зерна шліфувального матеріалу мають однаковий розмір;
- інструмент не підлягає адгезійному зношенню, тобто повністю виключено від'єднання абразивних зерен від поверхні шліфувального круга;
- виключене засалювання шліфувального круга.

На основі стандартних характеристик та вказаних допущень сформована модель об'ємної будови тонкого шару поверхні абразивного інструмента, що дає опис положення кожного окремого зерна та характеристику всієї множини зерен. Оскільки утворення поверхневого шару абразивного інструмента відбувається незалежно, то розташування абразивних зерен в ньому можна описати тільки імовірнісними законами.


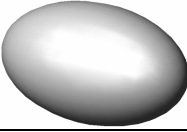
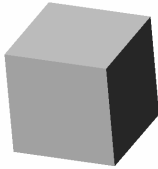

Абразивні зерна характеризуються розмірами та формою. Розмір та об'ємний вміст абразивних зерен нормуються стандартом. Форма зерен не регламентується, в загальному випадку абразивні зерна являють собою осколки неправильної форми з випадковою поверхнею. Будь-яку випадкову поверхню можна представити набором простих форм: сфери, еліпсоїда, куба, конуса. Представлення такого роду найбільш просте та адекватно характеризує фізичні особливості контакту абразивних зерен з металом [6].

Основними параметрами, що характеризують окреме абразивне зерно, є його характерні розміри, що визначають його об'єм, орієнтація зерна у просторі відносно робочої поверхні шліфувального інструменту, яка визначає площу поперечного перерізу зрізу.

В розробленій моделі абразивні зерна представлені у вигляді простих форм з певними характеристиками (табл. 2). Орієнтація зерен у просторі відносно робочої поверхні підкоряється закону рівної імовірності виникнення будь-якого положення зерна.

Таблиця 2

Форма та основні розміри абразивних зерен

Модель абразивного зерна	Форма	Основний параметр
Сфера		D – діаметр сфери
Еліпсоїд		2a – довжина великої осі 2b – довжина малої осі
Куб		b – довжина сторони куба
Конус		D – діаметр основи h – висота конуса

Розташування абразивних зерен в поверхневому шарі шліфувального круга адекватне розв’язку статистичної задачі розміщення об’єктів фіксованих або випадкових розмірів в певному об’ємі простору.

В побудованій моделі реалізовані такі принципи розташування абразивних зерен:

- насичення поверхні шліфувального круга абразивними зернами по колу відбувається в елементарних секторах, при цьому ширина сектора відповідає основним параметрам абразивних зерен;
- насичення поверхні шліфувального круга абразивними зернами по його ширині відбувається в елементарних площадках, що відповідають елементарному сектору, при цьому елементарна площадка має форму квадрата зі стороною, що дорівнює ширині сектора;
- розташування абразивного зерна на елементарній площадці (рис. 3) має рівноімовірнісний характер;
- насичення поверхні шліфувального круга абразивними зернами за глибиною поверхневого шару обмежується основними параметрами абразивного зерна;
- розташування абразивного зерна в поверхні шліфувального круга має рівноімовірнісний характер за умови, що об’єм виступаючої з поверхні частини зерна не більше половини цілого об’єму зерна, що відповідає умовам утримання зерна поверхнею круга.

Реалізація викладених вище принципів дозволяє отримати довільне розташування різальних елементів та їх формоутворюючих кромки, що адекватне реальному рельєфу робочої поверхні шліфувального круга.

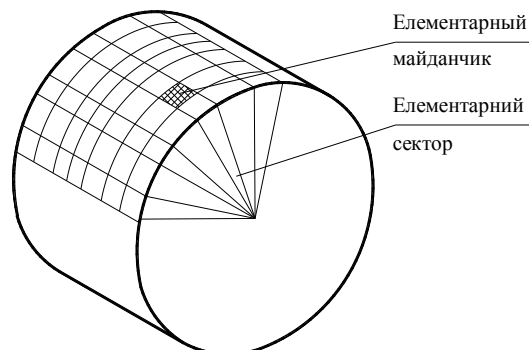


Рис. 3. Схема розташування абразивних зерен в поверхні шліфувального круга

Використовуючи описані представлення в середовищі VBA, інтегрованого в AutoCAD, була написана програма побудови шліфувального круга. Вихідними даними програми є: діаметр та ширина шліфувального круга, форма та основні параметри абразивних зерен. Крім того, для економії машинного

часу та ресурсів є можливість насичення не всієї робочої поверхні шліфувального круга, а лише певного сектора. Результатом виконання програми є тримірна твердотільна модель шліфувального круга (рис. 4).

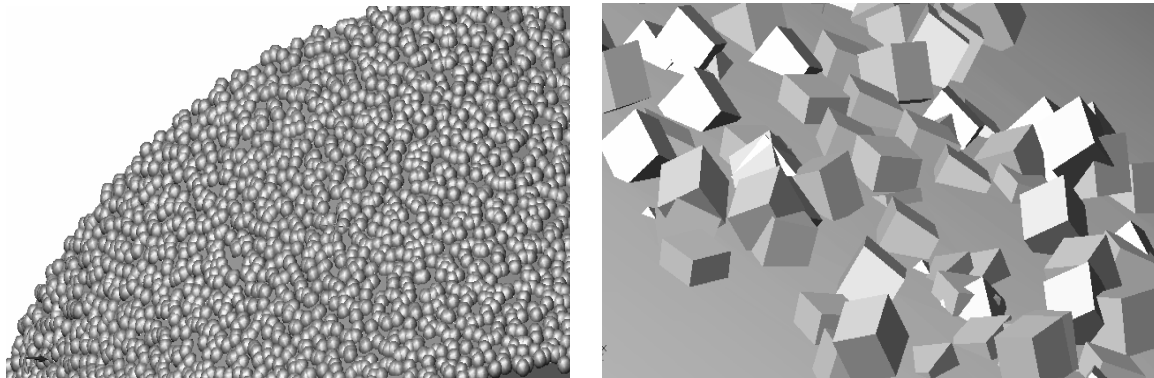


Рис. 4. Моделі шліфувальних кругів

На рис. 4 представлені приклади побудови шліфувальних кругів, насичених моделями абразивних зерен, у формі сфери та куба.

Для створення моделі шліфувальної поверхні була змодельована та відтворена обробка заготовок на кругло- та плоскошліфувальних верстатах методом врізання без поперечного переміщення шліфувального круга.

Як відомо, на круглошліфувальному верстаті головний рух виконує шліфувальний круг, рух кругової подачі передається заготовці від передньої бабки шліфувального верстата. На плоскошліфувальному верстаті головний рух здійснює шліфувальний круг, рух подачі – стіл із заготовкою. При створенні кінематичної моделі були використані такі допущення: всі кінематичні співвідношення розглядаються в одній площині, паралельній торцю круга; вихідна поверхня деталі гладка, її тверда та напрямна є прямою або колом [6].

Перше допущення пов'язане з кінематикою шліфувальних верстатів. Вона забезпечує співпадіння головного робочого руху круга та допоміжного руху подачі деталі в одній площині, а це означає, що кінематичну модель шліфування можна розглядати як плоску задачу, що значно спрощує її розв'язок, оскільки дозволяє не враховувати третю координату.

Друге допущення означає нехтування вихідною шорсткістю. Це допущення викликане необхідністю врахування глибини різання, відлік якої ведеться від поверхні деталі. Оскільки стан вихідної поверхні невідомий, то простіше представити її у вигляді прямої, при цьому для досягнення адекватності моделі необхідно задати таке взаємне положення заготовки та інструмента, що забезпечує зняття припуску, більшого вихідної шорсткості поверхні, що відповідає більшості шліфувальних операцій.

При імітації в моделі круглого шліфування (рис. 5) заготовка була жорстко закріплена, а шліфувальний круг здійснював обертотий рух навколо своєї осі та осі заготовки.

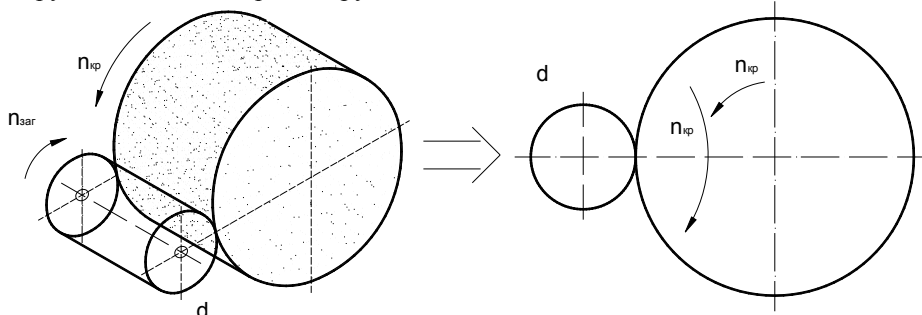


Рис. 5. Кінематична модель шліфування

При цьому робоча поверхня круга котиться по оброблюваній ним поверхні заготовки з ковзанням та при повороті шліфувального круга навколо своєї осі повертання шліфувального круга навколо осі заготовки повинен складати $n_{заг}/n_{кр}$ повороту шліфувального круга навколо своєї осі.

Відстань між осями заготовки та круга встановлювалася таким чином, щоб забезпечити задану глибину різання. При цьому спостерігається інтерференція тіла шліфувального круга та тіла заготовки. Для імітації зрізу, що утворюється абразивними зернами в кожному кутовому положенні круга відносно заготовки, від об'єму заготовки віднімався об'єм інтерференції, внаслідок чого на поверхні заготовки залишався відбиток поверхні шліфувального круга (рис. 6). Модельована шліфована поверхня буде тим точніше та адекватніше реальній, чим меншою є величина кутових переміщень та чим більша їх кількість

припадає на одиницю площі оброблюваної поверхні. Проте при значній деталізації значно збільшується машинний час та об'єм машинних ресурсів, що споживаються. Тому при розв'язку користувачських задач за допомогою вбудованої моделі слід обмежуватися необхідним та достатнім об'ємом обчислень.

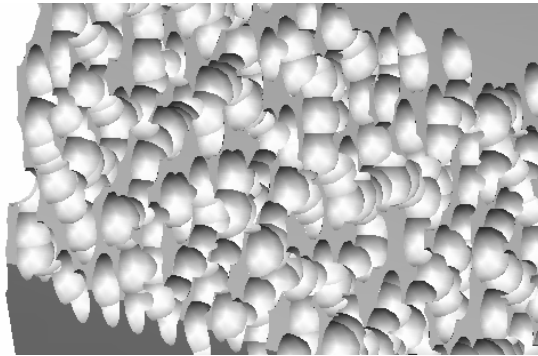


Рис. 6. Модель шліфованої поверхні

Висновки. Представлена модель була використана для дослідження напружено-деформованого стану контакту шліфованої поверхні, що складає контур шліцьового спряження. Був проведений аналіз впливу компоненти шорсткості на динамічну складуваність шліцьового прямобічного з'єднання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Билик Ш.М. Макрогеометрия деталей машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 344 с.
3. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
4. Емкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
5. Ляндон Ю.Н. Функциональная взаимозаменяемость в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1967. – 219 с.
6. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981.—156 с.

ЖОЛОБОВ Олександр Олексійович – проректор з навчальної роботи ГУВПО «Білорусько-Російський університет», кандидат технічних наук, професор.

Наукові інтереси:

– гнучке автоматизоване виробництво, підвищення якості та продуктивності технологічних процесів механообробки.

Адреса: 212029, м. Могильов, вул. Встречная, д. 14.

Тел.: 25-63-97.

ШАЛИЖИН Костянтин Андрійович – аспірант ГУВПО «Білорусько-Російський університет».

Наукові інтереси:

– математичне моделювання, підвищення якості та продуктивності механообробки.

Подано 25.01.2007

Жолобов О.О., Шалижин К.А. Моделювання шорсткості шліфованої поверхні.

Жолобов А.А., Шалижин К.А. Моделирование шероховатости шлифованной поверхности.

Zholobov A.A., Shalyzhyn K.A. The simulation of polished surface roughness.

УДК 621.9.015:519.87

Моделювання шорсткості шліфованої поверхні / О.О. Жолобов, К.А. Шалижин

Розглянуто можливості твердотільного моделювання абразивного інструмента. Розроблена модель процесу круглого та плоского шліфування та як результат – модель шліфованої поверхні. Визначені області застосування розробленої моделі.

УДК 621.9.015:519.87

Моделирование шероховатости шлифованной поверхности / А.А. Жолобов, К.А. Шалижин

Рассмотрены возможности твердотельного моделирования абразивного инструмента. Разработана модель процесса круглого и плоского шлифования и как результат – модель шлифованной поверхности. Определены области применения разработанной модели.

УДК 621.9.015:519.87

The simulation of polished surface roughness / A.A. Zholobov, K.A. Shalyzhyn

The possibilities of solid-state simulation of abrasive tool are considered. The model of round and flat grinding is developed, and, as the result, the model of polished surface is developed. The spheres of the developed model usage are determined.