

Методи визначення шорсткості у визначенні властивостей поверхонь деталей

Анотація. В статті йдеться про те, що шорсткість поверхні – важливий показник технічної характеристики виробу, що впливає на експлуатаційні властивості деталей і вузлів машин – зносостійкість, корозійну стійкість тощо. Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють, визначаючи їх функціональне призначення та конструктивні особливості. Комплекс параметрів шорсткості сприяє встановленню обґрунтованих вимог для поверхонь різного експлуатаційного призначення.

Ключові слова: мікрогеометрія, шорсткість поверхні, параметри, експлуатаційні властивості, методи визначення.

Abstract. The article states that the roughness of the surface is an important indicator of the technical characteristics of the product, which affects the operational properties of machine parts and assemblies - wear resistance, corrosion resistance, etc. Surface roughness requirements are established by determining their functional purpose and design features. The set of roughness parameters contributes to the establishment of reasonable requirements for surfaces of various operational purposes.

Keywords: microgeometry, surface roughness, parameters, operational properties, methods of determination.

Вплив шорсткості на процеси тертя й зношування має істотне значення для народного господарства, адже ремонт і відновлення зношених деталей іноді дорожчі, ніж виготовлення нової машини. Висунуто багато гіпотез, запропоновані різні теорії і класифікації видів тертя. Дослідники одностайні щодо оцінювання шорсткості поверхонь тертя, як вирішального чинника, що обумовлює практично всі аспекти й характеристики явищ тертя і зношування.

Якість виготовлення деталей на металообробних верстатах (токарних, фрезерних, свердлильних, шліфувальних тощо) або на машинах, що обробляють метали тиском (прокатні стани, преси), характеризується шорсткістю поверхні. Не зважаючи на мікроскопічні розміри, нерівності значно впливають на різноманітні експлуатаційні властивості деталей, зокрема такі: тертя й зношування; контактні деформації; корозійну стійкість; концентрацію напружень і втомну міцність; ударну міцність; вібраційну активність; обтічність рідинами і газами; герметичність з'єднань; міцність нерухомих пресових з'єднань; запиленість поверхонь; опір електроконтакту; магнітні властивості; відбивання електромагнітних хвиль від поверхні; розпушення ниток в текстильних машинах і якість тканин; теплопровідність і радіаційні властивості; міцність і якість покриттів, а також на багато інших властивостей поверхонь.

Певною мірою шорсткості служить клас шорсткості. Збільшення висоти нерівностей поверхонь кульок на один клас знижує довговічність підшипників, наприклад, на 70%. [1].

Деталі машин часто працюють в активних зовнішніх середовищах, таких як вологе атмосферне повітря, вода, змащувальні мастила. Взаємодія поверхонь з цими середовищами призводить до процесу корозії й руйнування металу. Важливе значення тут мають форма й розміри нерівностей. При малій висоті нерівностей менша загальна площа активної поверхні деталі зменшує інтенсивність конденсації водяної пари на цій поверхні.

Реальна поверхня деталей не є гладкою, а завжди має мікроскопічні нерівності, утворюючи її шорсткість. Відхилення в межах більшого за розмірами ділянки відносяться до відхилень форми поверхні. На рис. 1 наочно показано різницю між відхиленням форми й шорсткістю.

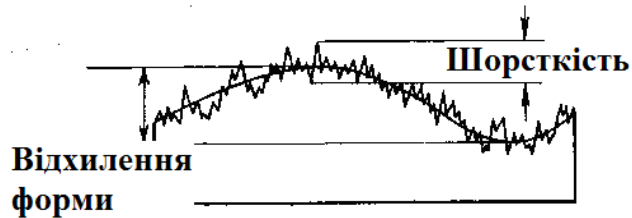


Рис. 1. Відмінність між відхиленням форми і шорсткістю.

У вивченні особливостей шорсткості встановлюються розміри нерівностей, котрі дуже малі. Це добре видно з порівняння профілю (рис. 2, а) з радіусом голки (рис. 2, б) і товщиною волосини (рис. 2, в).

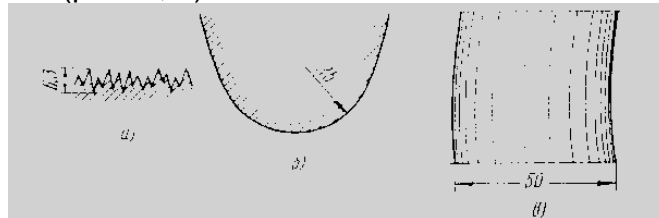


Рис. 2. Порівняння висоти мікронерівностей профілю з радіусом голки і товщиною волосини.

На будь-якій обробленій поверхні при збільшенні добре видно сліди різальних країв інструментів і зерен шліфувальних кругів у вигляді виступів та западин. (рис. 3).

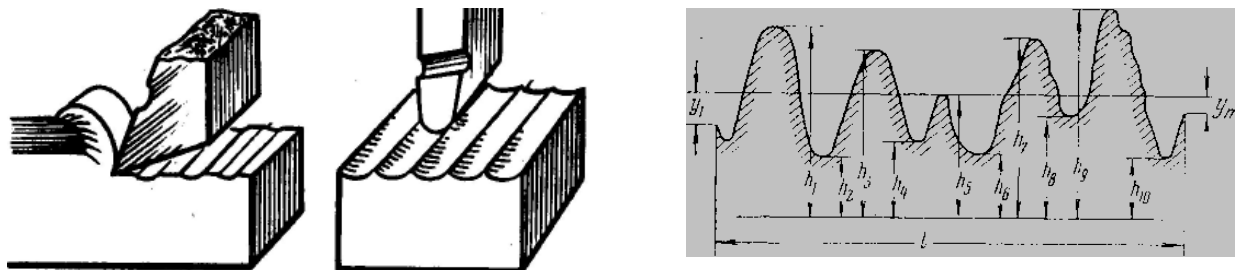


Рис. 3. Профіль поверхні.

З погляду зносостійкості найкращим є гідродинамічне тертя, за якого поверхні тертя розділені шаром мастила (рис. 4,а). Якщо шорсткість груба, то під час ковзання нерівностей руйнується змащувальна плівка, а це може спричинити сухе тертя, підвищене зношування і у важких випадках контактне схоплювання поверхонь (рис. 4,б). З іншого боку, надмірно гладкі поверхні при терті не лише не вигідні, але й шкідливі, в цьому випадку шорсткість не утримує мастило і не створює масляних мікрорезервуарів. В роботі [2] показано, що зношування під час тертя полірованого валу значно вище, ніж шліфованого, не дивлячись на те, що в першому випадку висота нерівностей в 3 рази менше, ніж в другому. Дані табл.1 свідчать, що існують оптимальні значення нерівностей в класах шорсткості, за яких зношування - найменше.

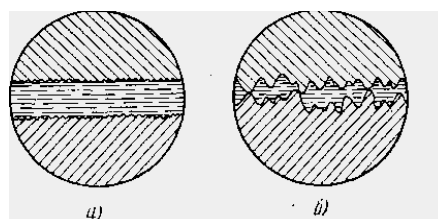


Рис. 4. Вплив шорсткості на вид тертя.

Таблиця 1

Класи шорсткості і порівняльне зношування поверхонь

Класи шорсткості	11	10	9	8	7	7-6
Зношування в мГ	41	37	31	32	43	46

Тривалість збереження заданої точності з'єднань багато в чому залежить від шорсткості. В процесі експлуатації нерівності контактуючих поверхонь зношуються, порушуються передбачені конструктором величини зазорів, і погіршуються експлуатаційні властивості виробу. Ступінь впливу шорсткості на характер з'єднання залежить від його точності, умов експлуатації і розмірів деталей. Ймовірно, що цей вплив буде суттєвішим за умов точнішого з'єднання. У конструюванні використовують таблиці зв'язку точності сполучення з класом шорсткості.

Наявність на контактуючих поверхнях нерівностей визначає дискретний характер їхнього контакту. Поверхні стикаються нерівностями на дуже малій площі, що становить 1-10% від номінальної [1]. Тому шорсткість здійснює значний вплив на контактні деформації деталей. Шорсткість поверхні практично не впливає на міцність деталей, що знаходяться під дією статичних навантажень. Проте за циклічних навантажень вплив шорсткості значний, особливо для деталей, виготовлених з високоміцних легированих сталей (табл. 2).

Таблиця 2
Шорсткість поверхні і втомна міцність сталейних деталей

Вид шорсткої поверхні	Межа витривалості в %
Тонко полірована	100
Грубо полірована	90
Тонко шліфована	88
Грубо шліфована	70
Після прокатки	35

Нерівності, що утворюються на поверхні, є концентраторами напружень і однією з причин зниження втомної міцності. Напруги на дні мікроскопічних канавок, що утворилися в результаті токарної обробки, у 2-2,5 рази перевищують середню величину напружень у поверхневому шарі. Концентрація напружень залежить не лише від глибини, але й від гостроти рисок. Відомий приклад, коли порушення поверхні від удару тупим інструментом на глибину 1 мм понизило межу втомленості на 10%, а гостра подряпина глибиною 0,1 мм призвела до зниження цієї межі на 40%. Встановлено, що концентрація напружень на дні закономірно розташованих канавок, у зв'язку з саморозвантаженням, менше впливає на втомну міцність, ніж концентрація напружень біля випадкових подряпин. Переважна більшість руйнувань від утомленості матеріалу відбувається саме по цих подряпинах.

При кімнатній температурі шорсткість поверхні незначно впливає на ударну міцність (табл. 3). При переході від 1-го класу чистоти (найгрубіша шорсткість) до 11-го класу ударна міцність знижується всього на 17%. Проте за низьких температур ударна міцність з погіршенням шорсткості в тому ж діапазоні знижується на 80%.

Таблиця 3
Вплив шорсткості поверхні на ударну міцність сталейних зразків

Клас шорсткості	Робота руйнування в кгм	
	при + 20 °С	при - 80 °С
1	2,59	1,2
3	2,68	1,6
9	2,96	1,8
11	3,04	2,2

Істотний вплив надає шорсткість на властивість обтічності поверхонь рідинами й газами. Коли висота нерівностей має однаковий порядок з товщиною рідинного

крайового шару, то обтікання нерівностей супроводжується вихроутворенням. Із зростанням швидкості переміщення рідини по трубах шорсткість поверхні труб є гальмом, викликаючи додаткову витрату енергії.

Шорсткість поверхні впливає на герметичність з'єднання. Якщо нерівності розташовані кільцеподібно, на зразок мікролабіринтового ущільнення, то герметичність з'єднання буде вищою, оскільки при цьому виступи однієї поверхні входять в западини іншої. Встановлено [1] залежність витoku рідини від класу чистоти й виду обробки.

Шорсткість поверхні є причиною виникнення вібрацій за умов вузького локалізованого контакту (точка, лінія) двох тіл, що взаємно переміщуються, наприклад у ковзанні натягнутої нитки по циліндричних поверхнях деталей текстильних машин, у переміщенні точкової вершини стрижня по кулачку в автоматі. Особливе значення має вібраційна активність поверхонь, тобто здатність поверхонь порушувати вібрації під час переміщення, в підшипниках кочення. Встановлено [2], що оцінювати геометричні відхилення з погляду віброактивності варто за допомогою спектрального або гармонійного аналізу шорсткості поверхні.

Відсутність забрудненості готових виробів - одна з важливих вимог щодо складання точних машин і приладів. Однією з причин забруднення, якій до останнього часу надавалося відносно мало уваги, є попадання в зону складання продуктів мікрорізання під час з'єднання шорстких поверхонь. Ефект мікрорізання в значній мірі залежить від шорсткості, від форми нерівностей та їхньої загостреності:

Електричний контакт відбувається на дуже малій площі, теоретично в трьох точках. В місцях зіткнення виникає контактний опір, що призводить до стягування ліній струму на точкових ділянках поверхні [3]. Густина струму може досягати на цих ділянках до 10^7 А/см². Згладжуючи поверхні контактів, зменшують їхній перехідний опір і втрати в електричних ланцюгах.

Серйозний вплив здійснює шорсткість поверхні на експлуатаційні властивості магнітної стрічки [3]. Наслідком шорсткості магнітних стрічок є спотворення й перешкоди під час запису й відтворення. Нещільно прилягаючи до магнітної головки, стрічка в процесі переміщення створює коливання рівня запису, оскільки нерівності на її поверхні створюють додаткові імпульси - перешкоди. На рис. 4 зображено осцилограми запису на відносно шорсткій (рис. 5, а) і гладкій (рис. 5,б) поверхнях магнітних стрічок.

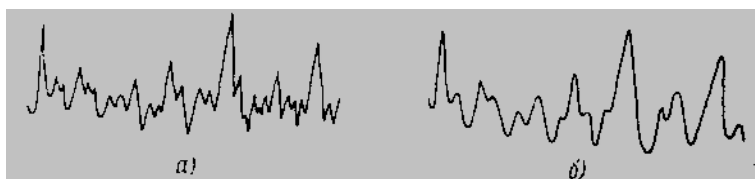


Рис. 5. Вплив шорсткості поверхні магнітної стрічки на рівень шуму в осцилограмі звукозапису.

В процесах текстильного виробництва нитки знаходяться в безпосередньому контакті з поверхнями ниткопровідних деталей. Шорсткість цих поверхонь здійснює значний вплив на якість нитки: малий діаметр (0,003-0,03 мм) волокон нитки робить їх співрозмірними з мікронерівностями ниткопровідної поверхні. Негладка поверхня, риси й гострі нерівності призводять до пошкодження волокон, ворсистості ниток і навіть до їхнього розриву.

З'єднання напиленого шару з металом відбувається головним чином шляхом механічного зчеплення напилених частинок з нерівностями поверхні. Так як шорстка поверхня поглинає напруження розтягування, що виникають в напиленому шарі після його охолодження, тріщини не утворюються. Тому під час металізації необхідно надавати поверхні певної шорсткості.

Проблеми перенесення енергії в розріджених газах набули особливої актуальності в приладобудуванні, в техніці космічних польотів і теплоізоляції. Багато

дослідників відзначають вплив шорсткості поверхні твердої стінки на величину коефіцієнта акомодатії (засвоєння) енергії [4]. Такий вплив має місце, оскільки за наявності шорсткості атом газу вдаряється об поверхню багато разів, перш ніж повернеться в своє середовище. Тому процес акомодатії буде в цьому випадку більш повним. Встановлено [6], що коефіцієнт акомодатії енергії має бути функцією кута нахилу сторін нерівностей. Є експериментальні підтвердження цього висновку.

Доведено істотний вплив шорсткості практично на всі експлуатаційні властивості як деталей, так машин і приладів в цілому. Ця обставина пояснює той підвищений інтерес до проблеми шорсткості з боку дослідників, що спостерігається нині в усіх промислово розвинених країнах. Подальше вирішення завдання підвищення якості виробів викликало необхідність відмовитися від характеристики шорсткості за зовнішньою якісною ознакою й увести стандартні числові параметри.

Для вимірювання шорсткості поверхонь зазвичай використовують наступні методи: контактний – щуповими методами (профілометрами і профілографами) і безконтактний – оптичними приладами. У машинобудуванні часто застосовують візуальний метод, порівнюючи контрольовану поверхню з поверхнею зразка або деталі, шорсткість поверхні якої атестована.

Величина шорсткості впливає на експлуатаційні характеристики деталей – зношуваність, міцність, антикорозійну стійкість шляхом збільшення або зменшення величини контактної поверхні. Для отримання поверхні з мінімальною шорсткістю необхідним є використання точних методів обробки поверхні. Шорсткість поверхні оцінюється кількісно (визначенням висоти шорсткості за певним параметром) і якісно (порівнянням із зразками шорсткості).

Нині встановлено шість *параметрів шорсткості*:

А) *висотні* : R_a – середнє арифметичне відхилення профілю; R_z – висота нерівностей профілю за 10 точками; R_{max} – найбільша висота профілю;

Б) *крокові* : S – середній крок нерівностей профіля по вершинам; S_m – середній крок нерівностей профілю по середній лінії; t_p – відносна опорна довжина профілю.

R_a - середнє арифметичне відхилення профілю від середньої лінії в межах довжини (рис. 3) і R_z висота нерівностей профілю (середня відстань між п'ятьма вищими і п'ятьма нижчими точками профілю в межах довжини l), що визначаються за формулами:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \approx \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}, \quad (1)$$

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{i_{max}} - \sum_{i=1}^5 h_{i_{min}}}{5}, \quad (2).$$

Величини R_a і R_z вказуються на кресленнях деталей у мікрометрах за допомогою спеціальних знаків.

Профіль – це крива, одержана в перетині шорсткої поверхні площиною, перпендикулярною до неї. Зусиллями технологів складено таблицю забезпечення параметрів шорсткості за рахунок вибору виду й режиму обробки. Чисельна оцінка по параметрах R_a і R_z дала можливість встановити вплив шорсткості на експлуатаційні властивості в кількісній формі.

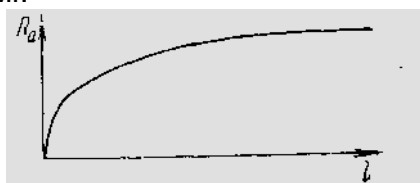
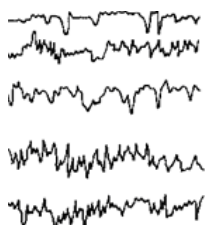


Рис.6. Зміна параметра R_a із збільшенням довжини l .

Свого часу оцінка шорсткості параметрами R_a і R_z була більш прогресивною порівняно з якісною оцінкою. Проте безперервне зростання вимог до експлуатаційних показників деталей машин, пошуки нових резервів якості виробів випередили можливості цих параметрів. Короткий огляд впливу величин шорсткості на експлуатаційні властивості, виявляє, що оцінка шорсткості параметрами R_a і R_z недостатня. Частотні характеристики нерівностей, особливості їхніх форм і розташування здійснюють на експлуатаційні властивості не менший вплив, ніж висота нерівностей.



Вигладжування
Шліфування
Полірування
Притирання
Хонінгування

Рис. 7. Зміна структури профілів відповідно до виду обробки за R_a .

Шорсткість поверхні виникає переважно в наслідок пластичної деформації поверхневого шару заготовки при її обробці нерівними різальними кромками інструменту, тертя, виривання часток матеріалу з поверхні заготовки, вібрації заготовки тощо. Шорсткість поверхні – важливий показник технічної характеристики виробу, що впливає на експлуатаційні властивості деталей і вузлів машин – зносостійкість, корозійну стійкість тощо. Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють, визначаючи їх функціональне призначення та конструктивні особливості. Комплекс параметрів шорсткості сприяє встановленню обґрунтованих вимог для поверхонь різного експлуатаційного призначення. На даному етапі розвитку науки й техніки актуальним залишається більш повний математичний опис шорсткості в кількісній формі, ніж той, що надається двома стандартними параметрами R_a і R_z .

Список використаних джерел:

1. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування: Навч. посібн. Запоріжжя: Мотор СІЧ, 2003. 336 с.
2. Гаркушевський В.С., Глуханюк В.М., Соловей В.В., Цвілик С.Д. Обробка конструкційних матеріалів: Навчально-методичний посібник. Вінниця: ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2017. 175 с.
3. Гаркушевський В.С., Цвілик С.Д., Шимкова І.В. Особливості графічної підготовки майбутніх учителів трудового навчання та технологій на засадах компетентнісного підходу. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини*/ Гол. ред.: Мартинюк М.Т. Умань: «ВПЦ», 2018. С. 96-104.
4. Кравчук І.В., Кравчук В.В., Цвілик С.Д. Особливості реалізації міжпредметних зв'язків креслення з основами виробництва під час навчання технологій у середній школі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2013. Вип. 36. 2013. С. 34-38.
5. Попович В., Кондир А., Плешаков Е. та ін. Технологія конструкційних матеріалів: Практикум: Навч. посібн. Львів: Світ, 2009. 552 с.
6. Різання матеріалів, верстати та інструменти: Навч. посібник для студентів пед. інститутів / За ред. О.І. Гедвілло. К.: Вища школа, 1980. 200 с.
7. Цвілик С.Д. Визначення змісту графічних завдань з метою реалізації наступності в формуванні професійних знань і вмінь учителя трудового навчання. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*: Збірник наукових праць. 2005. Вип.

8. C. 482.487.

8. Shymkova, I., Tsvilyk, S., Hlukhaniuk, V., Marushchak O. Content modeling and organization of environmental training of the future labor training teacher in higher education institutions. *Society. Integration. Education. 17th Proceedings of the International Scientific Conference*. Rēzekne: Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija. 2023. Volume I. May 26th, 2023. P.275-287.
<http://journals.rta.lv/index.php/SIE/article/view/7129/6078>

9. Iryna Shymkova, Svitlana Tsvilyk, Vitalii Hlukhaniuk, Viktor Solovei, Volodymyr Harkushevskiy USE OF Learning management system ILIAS in teaching technologies for intending teachers of secondary and vocational education. Rezekne: Rezeknes Tehnoloģiju akadēmija. 2021. Volume V. p. 470-482.
<http://journals.rta.lv/index.php/SIE/article/view/6313>

10. Vitaliy M.Hlukhaniuk, Viktor V. Solovej, Svitlana D.Tsvilyk, Iryna V.Shymkova STEAM education as a benchmark for innovative training of future teachers of labour training and technology. *Society. Integration. Education. SIE*. 2020. Volume 5. p. 211-221.
<http://journals.rta.lv/index.php/SIE/article/view/5000>