

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Методи та засоби вимірювання характеристик поверхні деталей
на машинобудівних підприємствах**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-4

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Паламарчук В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: завідувач кафедри ІВТ,

доктор технічних наук, професор

Подчашинський Ю.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Паламарчук Віталій Андрійович

1. Тема роботи: Методи та засоби вимірювання характеристик поверхні деталей
на машинобудівних підприємствах

Керівник роботи: завідувач кафедри ІВТ, доктор технічних наук, професор
Подчашинський Ю.О.

затверджена наказом по університету від « 04 » квітня 2025 р. № 131/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 10 » червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи: об'єкт контролю – комп'ютеризована інформаційно-
вимірювальна система визначення та контролю характеристик поверхні деталей
на машинобудівних підприємствах, умови роботи: діапазони вимірювання:
температура від - 20 до 80 °С; вологості від 15% до 95%, рівня запиленості 0 ...
500 мкг/м³.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз параметрів мікроклімату виробничого приміщення, розробка
структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка алгоритму та
програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик,
оцінка показників надійності роботи системи, безпека життєдіяльності
та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів,
блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.25 – 15.03.25	Виконано
2	Огляд та аналіз методів вимірювання характеристик поверхні	25.02.25 – 15.03.25	Виконано
3	Розробка структурної схеми	16.03.25 – 15.04.25	Виконано
4	Розробка електричної принципової схеми	16.04.25 – 24.04.25	Виконано
5	Розробка алгоритму та програми системи	25.04.25 – 09.05.25	Виконано
6	Розрахунок метрологічних характеристик	10.05.25 – 24.05.25	Виконано
7	Розрахунок показників надійності	25.05.25 – 03.06.25	Виконано
8.	Розгляд питань безпеки життєдіяльності та охорона праці	04.06.25 – 15.06.25	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.25 – 17.06.25	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Паламарчук В.А.

(прізвище та ініціали)

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему визначення та контролю параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Система призначена для контролю параметрів мікроклімату приміщення, що служить для сушіння, сортування та зберігання виробничої сировини. Розглянуто фактори, що впливають на мікроклімат виробничих приміщень та методи вимірювання показників мікроклімату. Виконано аналіз існуючих систем контролю параметрів мікроклімату.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми автоматизованої системи, вибрано сучасну елементну базу та приведено алгоритм роботи мікроконтролера. Проведено розрахунок метрологічних характеристик, показників надійності та розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: мікроклімат, температура, вологість, якість повітря, комп'ютеризована система, мікроконтролер.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized information-measuring system for determining and controlling the parameters of the microclimate of the production premises was developed. The system is designed to control the parameters of the microclimate of the room for drying, sorting and storage of production raw materials. Factors influencing the microclimate of industrial premises and methods of measuring microclimate indicators are considered. The analysis of the existing microclimate parameter control systems was carried out.

The structural and electrical schematic diagram of the system has been developed, a modern element base has been selected, and the microcontroller's work algorithms have been presented. The calculation of metrological characteristics, reliability indicators and the problems of labor safety and safety technology were considered.

Key words: microclimate, temperature, humidity, air quality, computerized system, microcontroller.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 78 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків.

Об'єктом дослідження даної роботи є конструкційні сталі, що піддаються різним способам механічної обробки верхнього шару. Ці сталі—ключові матеріали в процесі машинобудування, їхні робочі характеристики прямо корелюють з якістю обробки поверхні.

Мета цього дослідження – проаналізувати методи і засоби вимірювання які існують, поглибити розуміння впливу обробки на властивості сталей, що має важливий вплив на надійність і довговічність машинних деталей та обрати засоби та методи вимірювання для визначення таких особливостей поверхонь, як шорсткість, профіль, макро відхилення і мікротвердість.

Основна ціль дослідження – це всебічний аналіз наявних методик та вимірювального обладнання, яке використовується для вивчення особливостей поверхні конструкційних сталей. Якість поверхні має вирішальне значення, оскільки вона впливає на час служби деталей, їх опір зносу, а також на загальні робочі характеристики. Відтак, окрім оцінки стану поверхні, важливо віднайти оптимальні способи її вимірювання.

Використані в роботі методи дослідження включають експериментальний, аналітичний та розрахунковий підходи.

Експериментальний метод дозволяє отримати практичні дані про властивості матеріалів після різних видів обробки.

Аналітичний метод використовується для обробки та порівняння отриманих результатів з існуючими теоретичними моделями.

Розрахунковий метод застосовується для прогнозування поведінки матеріалів під навантаженням, спираючись на зібрані дані.

У дипломній роботі також досліджуються деякі робочі властивості деталей машин і їх зв'язок зі станом поверхневого шару. Наприклад, проведено аналіз впливу різних видів механічної обробки (шліфування, полірування, термообробка) на зносостійкість та міцність конструкційних сталей. Це дозволяє зробити висновки про те, які технології обробки є найефективнішими для підвищення надійності деталей.

Особливу увагу в роботі приділено аналізу методів вимірювання показників якості поверхні та засобів сучасної вимірювальної техніки.

Визначено переваги і недоліки різних вимірювальних інструментів, таких як профілометри, мікроскопи та інше обладнання, що застосовується для оцінки геометричних характеристик поверхні.

Крім того, було проведено дослідження якості поверхні партії шатунних болтів, які є ключовими компонентами в конструкції двигунів внутрішнього згоряння.

Результати цих досліджень свідчать про значний вплив стану поверхні на робочі властивості болтів, що може призвести до збільшення терміну служби та зниження ризику поломок.

Отже, це дослідження підкреслює важливість якості обробки поверхні конструкційних сталей та необхідність застосування сучасних методів вимірювання для забезпечення надійності деталей машин.

Результати роботи можуть бути корисними для подальших досліджень у цій сфері та для практичного застосування у виробництві та машинобудуванні.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	10
2. ВИМОГИ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ	11
2.1. Аналіз факторів, що впливають на мікроклімат виробничих приміщень	11
2.2. Правила вимірювання показників мікроклімату	14
2.3. Аналіз існуючих технічних рішень	17
2.3.1. Гігротермометр HD2101	17
2.3.2. Монітор мікроклімату Walcom HT-2008	20
2.3.3. Термогігрометр-вимірювач WBGT LUTRON WBGT-2010SD	23
2.3.4. Аналізатор запиленості повітря DT-9880	29
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	33
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	37
4.1. Вибір датчика температури	37
4.2. Вибір датчика вологості	39
4.3. Вибір датчика пилу	42
4.4. Вибір мікроконтролера	44
4.5. Інтерфейс користувача	47
4.6. Електрична принципова схема системи	50
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ РОБОТИ СИСТЕМИ	51
6. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	54

					<i>МІМТ.480.006.024 – ПЗ</i>			
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система визначення та контролю параметрів мікроклімату виробничого приміщення Пояснювальна записка			
<i>Розроб.</i>		<i>Кравчук М.І.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Єфіменко Н.А.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Єфіменко Н.А.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Подчаїнський Ю</i>			Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-4			

7. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	56
8. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	68

					МІМТ.480.006.024 – ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Найгострішою проблемою сучасного машинобудування є недостатня надійність деталей машин, котрі випускаються, їх довговічність і справність.

Сучасні автомобілі складаються з багатьох взаємопов'язаних частин та систем. Вихід з ладу хоча б одного важливого елемента складної системи може призвести до збою в роботі всієї системи і автомобіля загалом, а також до великих витрат на ремонт, простій, а іноді й до аварій з людськими жертвами.

Вирішення цієї проблеми забезпечується контролем якості деталей машин.

Якість деталі значною мірою визначається характеристиками поверхневого шару матеріалу, з якого її виготовлено. Це пов'язано з тим, що при будь-яких навантаженнях (скручування, згин тощо) найбільшому напруженню піддаються поверхневі шари матеріалу деталей машин. Поверхневі шари також протистоять зношенню, корозії, тепловому та іншим впливам під час експлуатації.

Надійність виробу визначається властивостями, що проявляються в процесі експлуатації і дозволяють зробити висновок що до того, наскільки виріб відповідає поставленим до нього вимогам, зважаючи на те, що процес експлуатації машин – один з ключових.

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для контролю параметрів мікроклімату виробничого приміщення.

Потрібно розробити структурну схему системи та вибрати елементну базу, розробити електричну принципову схему системи контролю параметрів мікроклімату виробничого. Розробити програмно-алгоритмічне забезпечення та оцінити точність системи вимірювання.

Початок розробки – лютий 2025 р. Кінець розробки – червень 2025 року.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 0 до +45 °С;

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%4

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.;

1.2.4. Хімічно активних речовин немає;

1.2.5. Характер роботи неперервний.

1.3. Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт контролю – комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система визначення та контролю параметрів мікроклімату виробничого приміщення

1.3.2. Діапазон вимірювання температури $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots + 80\text{ }^{\circ}\text{C}$;

1.3.3. Похибка вимірювання температури $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

1.3.4. Діапазон вимірювання вологості, % 15 ... 95;

1.3.5. Похибка вимірювання вологості, % 5;

1.3.6. Діапазон вимірювання запиленості: 0 ... 500 мкг/м³;

1.3.7. Чутливість вимірювання запиленості: 0,5 В / (100 мкг/м³);

1.4. Вимоги до надійності

Система є що відновлюється, не резервується, ремонтпридатною. Наробіток на відмову складає не менше 45000 годин.

2. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1. Характеристики якості поверхні

У машинобудуванні під поверхнею виробу мають на увазі зовнішній шар, що відрізняється за структурою та характеристиками від внутрішньої частини. Сукупність властивостей, які набуває поверхня деталі в процесі її виробництва, визначається загальним терміном «якість поверхні».

Якість поверхні оцінюється через фізико-механічні, фізико-хімічні властивості та геометричні параметри.

До фізико-механічних властивостей поверхневого шару належать: мікротвердість; міцність, значення, знак та глибина залишкових напружень; величина деформації кристалічної решітки.

Фізико-хімічні властивості поверхні визначаються корозійною стійкістю, наявністю на металевій поверхні різноманітних плівок, які міцно взаємодіють з основою.

Геометричні характеристики описують відхилення реальної поверхні від ідеальної, проектної.

Геометрія поверхні визначається наявністю макродефектів, хвилястості, шорсткості та субмікронерівностей.

Критерієм для їхньої класифікації є співвідношення кроку L до висоти нерівностей h (рис. 1.1). Відтак, для макродефектів: $L/h > 1000$, для хвилястості: $L/h > 50$, для шорсткості: $L/h < 50$.

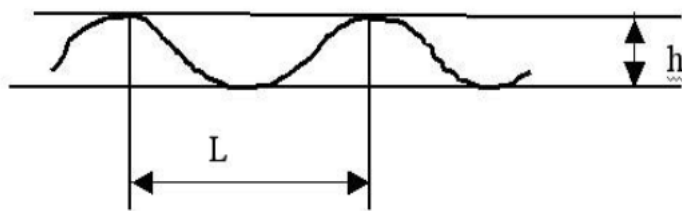


Рисунок 1.1 — Геометрична характеристика якості поверхні

2.2. Аналіз фізико-механічних властивостей поверхні

Фізичний стан поверхні визначається властивостями матеріалу, технологією його створення та умовами, що супроводжують обробку. Спочатку, визначальним фактором фізико-механічних характеристик є матеріал, з якого зроблена деталь. Це можуть бути як конструкційні матеріали, так і ті, що володіють специфічними фізичними властивостями, або ж інструментальні матеріали. Кожен з них має певний набір характеристик: твердість, здатність

до деформації (пластичність), міцність, опір до ударних навантажень, пружність, щільність, температура плавлення, здатність проводити тепло, електропровідність, а також магнітні властивості та інші.

Твердість—це властивість матеріалу протистояти проникненню у нього іншого, більш твердого тіла, а також здатність твердішого тіла впливати на інші матеріали, проникаючи в них. Твердість є комплексним параметром, який залежить від міцності та пластичності матеріалу.

Пластичність—здатність матеріалу до пластичної деформації, тобто змінювати форму і розміри без руйнування під зовнішнім впливом навантажень, зберігаючи цю змінену форму після їх зняття.

Міцність—властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією внутрішніх напружень, які виникають від зовнішніх сил. Також міцність може означати здатність конструкції виконувати свої функції, не руйнуючись, протягом заданого періоду часу.

Межа міцності—це механічна напруга, перевищення якої призводить до руйнування матеріалу. Оскільки оцінка міцності часто проводиться протягом нетривалого часу навантаження (кілька секунд від початку навантаження до руйнування), то цю межу міцності також називають умовно-миттєвою або крихкокороткочасною.

Серед основних показників статичної міцності виділяють також умовну границю текучості та дійсну напругу руйнування тощо.

Ударна в'язкість—це міра спроможності матеріалу протистояти динамічним зусиллям. Оцінка ударної в'язкості має ключове значення для окремих металевих сплавів, котрі функціонують за від'ємних температур та демонструють тенденцію до холодноламкості. Чим нижчий показник порогу холодноламкості, тобто температура переходу від пластичного руйнування до крихкого, і чим значніший запас в'язкості речовини, тим вищою буде ударна в'язкість цього матеріалу.

Холодноламкість характеризується зменшенням ударної в'язкості.

Пружність визначається як здатність матеріалу повертатися до своєї початкової форми та розмірів після того, як зовнішня сила, що спричинила деформацію, припиняє діяти.

Оцінка пружності здійснюється через визначення границі пропорційності та границі пружності. Границя пропорційності, позначена як $\sigma_{пц}$ (МПа), встановлює напруження, перевищення якого призводить до порушення прямої залежності між напругою, що прикладається, та деформацією зразка.

Границя пружності, що позначається $\sigma_{0,05}$, це умовне напруження

суп (МПа). Воно відповідає такому навантаженню, коли залишкова деформація досягає 0,05% від розрахункової довжини зразка.

Модуль пружності представляє собою коефіцієнт пропорційності, який зв'язує напруження та деформації. Для однобічного нормального напруження, позначеного як s , що виникає в результаті простого розтягу (стиску), вводиться модуль подовжньої пружності E (модуль Юнга).

Він визначається як співвідношення нормального напруження s до відносного подовження l , спричиненого цим напруженням у напрямку його дії, та характеризує здатність матеріалу чинити опір розтягуванню.

Температура плавлення—це показник температури, за якого метал змінює свою фізичну форму з твердої на рідку. Зважаючи на температурний поріг плавлення, метали розподіляють на: ті, що плавляться за високих температур, як-от вольфрам (3416°C), тантал (2950°C), титан (1725°C) та інші; та ті, що розплавляються швидко — легкоплавкі: олово (232°C), свинець (327°C), цинк ($419,5^{\circ}\text{C}$), алюміній (660°C).

Температура плавлення—визначальний фактор при підборі металів для виробництва литих предметів, з'єднань, виконаних зварюванням чи пайкою, та інших виробів.

Теплопровідність—це властивість металів передавати тепло від зон з вищою температурою до тих, що мають нижчу. Ця властивість надзвичайно важлива при підборі матеріалів для різних деталей. Скажімо, якщо метал має низьку теплопровідність, він може тріснути під час нагрівання і швидкого охолодження, як, наприклад, при термічній обробці чи зварюванні, окремі частини машин, як поршні двигуна або хаболопатки турбін.

Властивість металів передавати електрику визначається двома взаємозалежними показниками: електропровідністю та електричним опором. З ростом температури металевого провідника його здатність проводити струм падає, тоді як при охолодженні - зростає.

Магнітні характеристики визначаються абсолютною магнітною проникністю або магнітною сталою, яка відображає здатність металів до намагнічування. В системі СІ, магнітна стала вимірюється в Гн/м. Феромагнітними називаються матеріали, що демонструють виражені магнітні властивості, зокрема залізо, нікель, кобальт та їхні сплави.

Значним є метод виготовлення заготовки. Його класифікація відбувається за різними параметрами: фізико-механічним станом матеріалу (гаряча чи холодна обробка тиском); видом енергії, що використовується в технологічному процесі (термічний, термомеханічний та механічний способи зварювання); типом інструменту та обладнання (лиття в піщані, керамічні або

металеві форми; штампування з використанням еластичних чи твердих пуансонів); характером нагрівання заготовок (локальний чи загальний нагрів, паяння в печах, соляних ваннах, паяльником, електронним або світловим променем, індукційне паяння).

Основні способи виробництва заготовок включають лиття, пластичну деформацію та спікання.

Подальша термічна або хіміко-термічна обробка заготовок сприяє формуванню необхідних фізико-механічних властивостей матеріалу.

Термічна обробка—це сукупність технологічних етапів, що передбачають нагрівання та охолодження металевих предметів з метою зміни їх внутрішньої будови та характеристик. Термічній обробці підлягають зливки, виливки, проміжні вироби, зварені шви, складові частини машин, інструменти.

Найбільш поширені види термічної обробки – відпал, гартування, відпуск і старіння. Кожен з цих видів має декілька підтипів.

Хіміко-термічною обробкою прийнято вважати технологічні маніпуляції, які зумовлюють дифузійне насичення зовнішнього шару заготовок різноманітними елементами, чи то метали, чи неметали. Її використовують з метою покращення таких показників, як твердість, опір стиранню, витривалість до втоми, зокрема контактної, а також для забезпечення захисту від електрохімічної та газової корозії.

Переважає більшість машинобудівних деталей підлягають механічній обробці для надання їм відповідних габаритів, конфігурації та необхідної якості поверхні.

Процес обробки металевих виробів і сплавів являє собою комплексний фізичний процес, який супроводжується взаємодією різних явищ, серед яких виокремлюють: пружну та пластичну деформацію, зростання твердості матеріалу (наклеп) і трансформацію структури поверхневого шару заготовки, зміна фізико-механічних характеристик поверхні.

Наклеп (зміцнення) у поверхневому шарі. Під час обробки, коли на метал впливають сили, відбувається пластична деформація в поверхневому шарі. Це веде до подрібнення та витягування кристалічних зерен у напрямку деформації, формуючи текстуру. Також відбувається викривлення площин ковзання, на яких утворюються уламки зерен, виникають міжкристалічні напруження та деформації кристалічної решітки. У результаті збільшується питомий об'єм матеріалу, підвищуються його міцність, твердість та крихкість. Водночас зменшуються пластичність і в'язкість, а також змінюються магнітні та інші властивості.

Зміцнення (наклеп) поверхневого шару під час обробки деталі визначається показниками мікротвердості та рентгенографічними даними, такими як розширення або розмиття інтерференційних ліній. Це свідчить про фрагментацію кристалічних блоків, збільшення деформації кристалічної решітки та активність дислокацій.

При механічній обробці мають місце два зустрічні процеси: наклеп, викликаний силами під час обробки, та зняття наклепу внаслідок теплового впливу пластичної деформації. Вплив кожного процесу залежить від умов обробки. Під впливом тепла, залежно від досягнутої температури, можливе також підвищення твердості обробленої поверхні. Таке підвищення твердості спричиняється повним або частковим рекристалізаційним відпалом.

Ступінь і глибина наклепу варіюються залежно від обраного методу обробки; фізико-механічних характеристик матеріалу, включаючи його твердість; параметрів режиму обробки; геометрії ріжучого інструменту та інших факторів, що впливають на обробку.

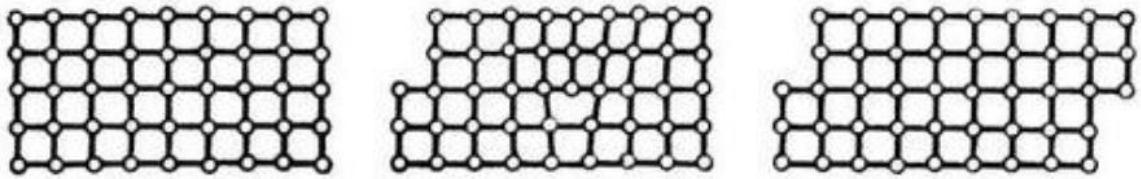
Виникнення напружень, що зберігаються. Напруги, які лишаються всередині матеріалу після зняття зовнішнього впливу, іменуються залишковими. Основною підставою їх появи у компонентах є неоднаковість лінійних та об'ємних деформацій матеріалу, спричинені процесами технологічного виробництва. До таких процесів належать: лиття, обробка тиском, механічна, термічна та хіміко-термічна обробка і т.п.

Залишкові напруження якісно розділяються на ті, що розтягують та стискають. В окремих ситуаціях внутрішні залишкові напруги формуються спеціально для поліпшення якісних властивостей виробу (поверхневий наклеп, гартування, хіміко-термічна обробка). В загальному ж випадку присутність залишкових напруг у матеріалі є небажаною. Це зумовлено тим, що при їх сумуванні з напруженнями, що виникають від зовнішнього навантаження під час експлуатації виробу, можливе передчасне руйнування.

Деформація ґратки кристалів у поверхневому шарі. Метали та їхні сплави у твердому агрегатному стані характеризуються кристалічною структурою. Атоми (іони, молекули) у них формують просторову кристалічну ґратку. Зерна кристалів під час пластичної деформації, зокрема, й при різанні металів, набувають єдиної орієнтації, тобто текстури.

В теоретичних розрахунках міцності кристалів робиться припущення про ідеальну структуру: всі атоми розташовані у кристалічній ґратці, відповідно до кристалічної структури. Передбачається, що пластична деформація за такої будови повинна розподілятися по всьому об'єму кристалу. У такому разі всі атоми чинять значний опір деформації. Проте у реальних кристалах

ковзання відбувається певними кристалографічними площинами, і пластична деформація починається на малих ділянках, розповсюджуючись згодом всією площиною (рис.1.2). В кожен конкретний момент часу в ковзанні бере участь незначна кількість атомів кристалічної ґратки.



a — правильна форма решітки; *б* — дислокація; *в* — порушення форми

кристала Рисунок 1.2 — Схема пластичної деформації по дислокаційному механізму.

Перед стартом деформації кристал має чітку форму ґратки (рис.1.2а). Під впливом прикладеного до однієї зі сторін кристала напруження, виникає зсув. При цьому, на межі зони деформації в кристалі утворюється лінійне порушення розташування атомів, що зветься дислокацією (рис. 1.2б). Коли дислокація досягає іншої сторони кристала, правильність будови кристалічної ґратки відновлюється, але одна половина кристала зміщується відносно іншої на відстань між атомами (рис. 1.2в). Навколо дислокації формується поле напруги. У процесі пластичної деформації порушується правильність кристалічної решітки, що перешкоджає подальшому ковзанню. Ковзання розпочинається на іншій площині, і так далі.

Описана картина стосується ковзання в межах одного зерна. В реальному металі кожне зерно оточене іншими зернами, які зазнають неоднорідної деформації. У кожному зерні активні системи ковзання змінюються від однієї ділянки до іншої. Інколи лінії ковзання поширюються від одного зерна до іншого.

Окрім механізму зсувної деформації, існує також дифузійний механізм пластичної деформації, що ґрунтується на переміщеннях атомів через дифузію. Інтенсивність пластичної деформації в цьому випадку залежить від мобільності дифундуючих атомів, яка визначається температурою. На практиці, особливо в умовах тертя, обидва механізми можуть діяти одночасно, взаємно впливаючи один на одного.

2.3. Аналіз фізико-хімічних властивостей поверхні

Фізико-хімічні характеристики матеріалів визначають їхню здатність протистояти окисленню чи вступати в реакції з різними речовинами. Чим більш охоче метал вступає в хімічні зв'язки з іншими елементами, тим стрімкіше він піддається деструкції. Хімічне руйнування металів відбувається в наслідок впливу на їх поверхню зовнішнього агресивного середовища.

Розчинність — це здатність речовини розчинятися у конкретному розчиннику. Метали демонструють розчинність у потужних кислотах та лугах. Розчинення може мати різний ступінь: від часткового, яке зачіпає лише поверхню, до повного, коли метал цілковито переходить у розчин. Часткове розчинення спостерігається, наприклад, при травленні виробів для досягнення гладкої поверхні, тоді як повне розчинення демонструє цинк у соляній кислоті, з метою отримання флюсу для паяння.

Окислюваність описує властивість металів з'єднуватися з киснем та утворювати оксиди.

Корозійна стійкість відображає здатність металу протистояти руйнуванню, яке спричинене хімічним впливом середовища. Суто хімічна корозія зумовлена, переважно, окисленням, а електрохімічна корозія виникає через фізико-хімічну неоднорідність металів в умовах присутності рідини, що може проводити електричний струм.

Взаємодія металів з газами представляє собою комплексні фізико-хімічні процеси, які прагнуть до рівноваги. Скажімо, якість відливу значною мірою залежить від взаємодії металів, особливо їх рідких розплавів, з газами. У реальних умовах досягнення повної рівноваги між газоподібною і рідкою фазами спостерігається вкрай рідко.

Фізико-хімічні характеристики поверхні визначаються наявністю на металевій поверхні різних плівок, які тісно взаємодіють з основним металом. Адсорбція – це процес утворення тонких плівок газу, пари або розчинених речовин на поверхні твердого тіла, або ж їх поглинання поверхнею тіла. Молекули речовин, які адсорбовані на поверхні твердої речовини, мають здатність переміщатися по цій поверхні, переходячи з областей з їх надлишком у ті місця, де їх недостатньо для повного покриття. Мобільність адсорбованих молекул корелює з видом адсорбції. Адсорбція буває двох типів: фізична та хімічна.

У випадку хімічної адсорбції (хемосорбції), адсорбовані молекули пов'язані з поверхнею тіла, утворюючи на ній моношар, що нагадує хімічну сполуку. Через це їхня рухливість значно обмежена.

Хемосорбція, на відміну від фізичної адсорбції, характеризується селективністю. Вона протікає з високою інтенсивністю в місцях, де порушена правильність кристалічної решітки (наявністю включень чи «дірок»). Часто фізична і хімічна адсорбція відбуваються одночасно.

Поверхнево-активне середовище впливає на процеси деформації та руйнування твердих тіл, відчутно знижуючи їх опір деформації та руйнуванню внаслідок фізичної (оборотної) адсорбції поверхнево –активних речовин з навколишнього середовища. Цей ефект зменшення міцності був виявлений професором П. А. Ребіндером і названий його іменем.

Металеві поверхні в процесі обробки швидко вкриваються первинною оксидною плівкою. Незважаючи на малу товщину, ця плівка перешкоджає подальшому окисленню.

Швидкість формування оксидної плівки на поверхні металу визначається долями секунди. У міру збільшення товщини, зростання плівки сповільнюється. Товщина плівки в металах, що окислюються, становить від 2 до 10 нм (10-20 шарівмолекул). Наприклад, оксидна плівка сталі коливається від 1 до 20 нм, алюмінію — від 10 до 15 нм.

Якщо поверхня виробів повинна мати специфічні властивості, такі як корозійна стійкість, жароміцність, антифрикційні або фрикційні властивості, використовують технології напилення або осадження покриттів.

Покриття на поверхні виробу утворюють шар нового матеріалу, товщиною до 1 мм. Цей шар також дозволяє відновити геометрію та покращити властивості поверхні деталі.

Широке застосування на практиці знайшли газотермічні методи нанесення захисних покриттів, які дозволяють створити поверхні з підвищеною довговічністю. Проте при використанні цих методів на поверхні деталі можуть виникати як стискаючі, так і розтягуючі залишкові напруження. Величина і знак залишкового напруження залежать від методу нанесення покриття, а також хімічного складу матеріалу, що наноситься.

Працездатність напиленої поверхні залежить від складу напилюваного матеріалу, режимів напилення та режимів механічної обробки, зокрема, від режимів шліфування, яке є найбільш поширеним способом фінішної обробки створеного поверхневого шару.

Поверхневий шар обробленої сталеві деталі характеризується неоднорідною структурою (рис. 1.3). У ньому можна виділити граничний шар 1, що складається з адсорбованої плівки газів, вологи та охолоджуючої рідини, видалення якої можливе лише шляхом нагрівання деталі у вакуумі; шар 2 – деформований метал з подрібненими і деформованими зернами. В ньому

присутні оксиди та нітриди, порожнини, надриви та тріщини; шар 3, що складається із зерен, значно деформованих під впливом інструменту. Він містить включення структурно вільного цементиту, який утворився під дією високих температур; шар 4 – метал з вихідною структурою.

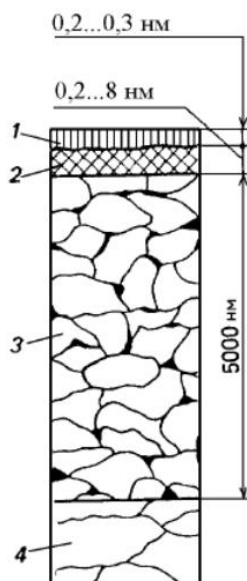


Рисунок 1.3 — Структура поверхневого шару шліфованої деталі з вуглецевої сталі

2.4. Макрогеометрія поверхонь деталей машин

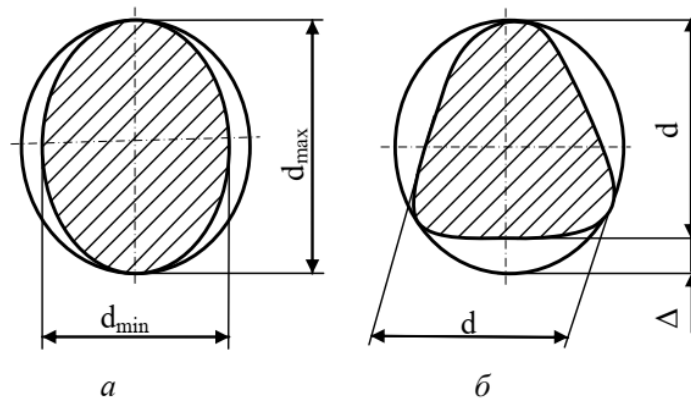
Під терміном макрогеометричні відхилення маються на увазі відхилення поверхні усієї деталі або великих її частин від передбаченої. Величина цих відхилень визначається при вимірюванні лінійних розмірів деталей у різних перерізах. Вони виникають через неточність обладнання для обробки, похибки встановлення деталей під час обробки, а також температурні та механічні деформації. Згідно з ДСТУ 2498-94, макрогеометричне відхилення встановлюється як найбільша відстань від певної точки реальної поверхні до ідеальної прилеглої поверхні, що вимірюється по нормалі до останньої. Прилегла поверхня стикається з реальною щонайменше в одній точці і розміщується поза матеріалом деталі так, щоб відстань між найбільш віддаленими точками цих поверхонь була мінімальною.

В основі нормування відхилень форми лежить принцип прилеглих прямих, профілів, площин, поверхонь, прилеглого циліндра і кола. Прилеглою вважається пряма, яка дотикається до реального профілю і розміщується поза матеріалом деталі.

Прилеглим циліндром називається циліндр з найменшим діаметром, прилеглого кола від циліндричності; від круглості (відхилення форми у поперечному перерізі для циліндричних поверхонь); від профілю поздовжнього перерізу для циліндричних поверхонь; від прямолінійності; від площинності для плоских поверхонь.

Відхилення від циліндричності — найбільша відстань від точок форми поверхні від прямого круглого циліндра, тобто не круглість форми у відхилення від круглості — найбільша відстань від точок реального профілю до прилеглого кола, диференційованих відхилень форми фігури, найбільший і найменший діаметри якої (уздовж великої та малої осей) визначається як половина різниці найбільшого $d_{\max}$ і найменшого $d_{\min}$ діаметрів в одному поперечному перерізі (рис. 1.4). Огранювання — відхилення, при якому профіль деталі є багатогранною фігурою з криволінійними гранями.

Величина огранювання Δ визначається як найбільша відстань від точок дійсного профілю до прилеглого кола.



a — овальність; b — огранювання

Рисунок 1.4 — Відхилення форми циліндричних поверхонь в поперечному перерізі

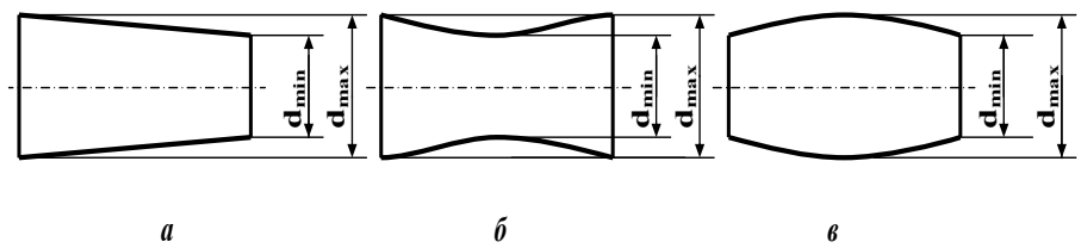
Причиною виникнення овальності є неідеальна форма самої заготовки, також впливають вади опорних поверхонь шпинделя верстата, а ще пружні деформації заготовки (особливо тих, що мають тонкі стінки), котрі виникають під час кріплення у верстаті. Причиною появи граней (ограннювання) вважається зміна миттєвого центру обертання деталі, наприклад, під час без центрового шліфування. Грані можуть бути з парною або непарною кількістю.

Ограннювання з непарною кількістю граней визначається рівністю діаметра по всіх гранях.

Відхилення профілю циліндричної поверхні в поздовжньому розрізі визначається як найбільша відстань від точок фактичного профілю до відповідної сторони прилеглого профілю. Прилеглий профіль у цьому випадку має бочкоподібність, сідлоподібність, конусність (рис. 1.5).

Бочкоподібність, сідлоподібність (корсетність) та вигнутість є наслідком непрямолінійності твірних, конусність — наслідком непаралельності твірних. Конусоподібність виникає через зношення різця, не співпадіння осей шпинделя та пінолі задньої бабки верстата, а також відхилення від паралельності осі центрів та напрямних станини.

Бочкоподібність найчастіше виникає при обробці тонких довгих валів без люнетів через пружні деформації.

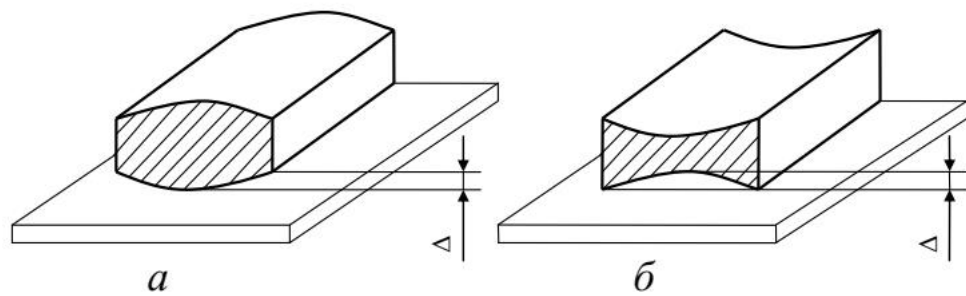


a — конусоподібність; *б* — сідлоподібність; *в* — бочкоподібність

Рисунок 1.5 — Відхилення профілю циліндричної поверхні в подовжньому перерізі

Відхил від прямолінійності на площині — найбільша відстань від точок фактичного профілю до дотичної прямої в межах заданої ділянки.

Відхил від плоскостності — найбільша відстань від точок справжньої поверхні до дотичної площини в будь-якому перерізі по довжині виробу. Окремими типами відхилення від плоскостності є угнутість та випуклість (рис. 1.6).



a — випуклість; *б* — увігнутість

Рисунок 1.6 — Відхилення від площинності

1.5 Хвилястість поверхні

2.5. Хвилястість поверхні

Хвилястість займає позицію посередині між відхиленнями форми та шорсткістю поверхні. Хвилястість поверхні являє собою набір нерівностей (піднесень та заглиблень), що періодично повторюються, утворюючи хвилю, крок якої S_w значно більший за висоту H_w (рис.1.7).

Крок хвилі—це відстань між піками двох сусідніх хвиль, виміряна на профілі поверхні.

Висота хвилі—це відстань між вершиною та западиною. Зазвичай, S_w/H_w 40. Розрізняють поздовжню (в напрямку обробки) та поперечну хвилястість.

Крок хвилі S в реальної деталі орієнтовно відповідає інтервалу 80–104 мкм, а $H_w = 0,03 - 500$ мкм. Поява хвилястості пов'язана з динамічними процесами, які виникають через втрату стабільності системи верстат – пристосування – інструмент – деталь, внаслідок низькочастотних вібрацій верстата, пристосувань, інструменту або невірноважених мас, неоднорідністю властивостей деталі.

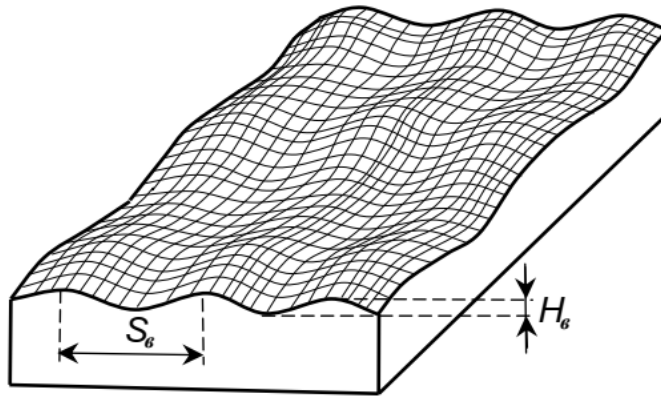


Рисунок 1.7 — Схема хвилястої поверхні

1.6 Шорсткість як геометричний стан поверхні

2.6. Шорсткість як геометричний стан поверхні

Шорсткість поверхні визначається сукупністю незначних нерівностей, які формують рельєф поверхні на визначеній (базовій) довжині l . Іноді сукупність виступів та западин реальної поверхні визначається як мікрорельєф.

Контур перетину реальної поверхні з площиною, яка є перпендикулярною до відповідної ідеальної геометричної поверхні, формує профіль, що характеризує мікрогеометрію поверхні виробу. Графічне відображення реального профілю, яке базується на даних вимірювань шорсткості, має назву профілограма шорсткості. Оскільки через конкретну точку геометричної поверхні можливо провести безліч нормальних перерізів, то шорсткість слід асоціювати з конкретним напрямком.

Шорсткість поверхні, яка піддалася обробці, є результатом пластичної деформації шару поверхні деталі під час утворення стружки, копіювання нерівностей ріжучих кромek інструменту та тертя об заготовку, відриву частинок матеріалу від поверхні, а також інших факторів.

Шорсткість обробленої поверхні у напрямку основного руху під час різання називають поздовжньою, а у напрямку подачі — поперечною шорсткістю.

Домінуючий напрямок слідів механічної обробки поверхні чи слідів тертя прийнято називати напрямком нерівностей.

Шорсткість поверхні – це розмірна характеристика, що визначається за нерівностями профілю (найчастіше, поперечного), який формується в результаті перетину реальної поверхні площиною (зазвичай, у нормальному перерізі). Для виокремлення шорсткості поверхні від інших нерівностей, що мають значніші кроки (відхилення форми та хвилястість), її аналізують в межах обмеженої області, довжина якої зветься базовою довжиною l . Середня лінія профілю є базовою лінією для відліку відхилень профілю, позначена літерою "t".

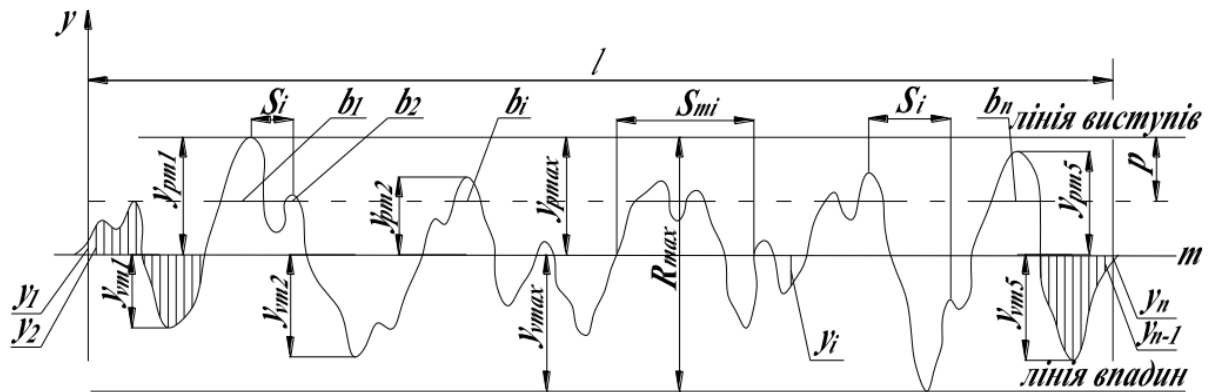


Рисунок 1.8 — Профіль шорсткості, його характеристики і параметри

Середня лінія t – основна лінія, що наближається до номінального профілю та поділяє реальний профіль таким чином, що в межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії є мінімальною.

Для кількісної оцінки та стандартизації шорсткості поверхонь ДСТУ 2413-94 визначає шість параметрів: три висотні (R_a , R_z , R_{max}), два крокові (S_m , S) та один структурний – параметр відносної опорної довжини профілю (t_r). ДСТУ2413-94 також встановлює 14 класів чистоти поверхні: 1-му класу відповідає найбільша шорсткість, а 14-му – найменша. Шорсткість поверхні вимірюють за допомогою спеціального вимірювального обладнання.

Середнє арифметичне відхилення профілю R_a визначається як середнє арифметичне абсолютних величин відхилень профілю від середньої лінії в межах базової довжини.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \text{ або } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (1.1)$$

де n – кількість ділянок базової довжини, на котрих фіксується відхилення профілю y_i від середньої лінії (рис. 1.8). Що більше n , то точніше розраховується R_a . У практичних випадках R_a варіюється в діапазоні від 0,008 до 100 мкм.

Висота нерівностей профілю за десяти точках Rz дорівнює сумі
Середніх абсолютних величин висот п'яти найвищих виступів U_{pi} та глибин

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right), \quad (1.2)$$

де U_{pi} — висота i -го піку найвищого рельєфу профілю;
 U_{vi} — глибина i -тої найглибшої улоговини профілю.

Параметр Rz варіюється в діапазоні від 0,025 мкм до 1600 мкм.

Максимальна висота шорсткостей профілю R_{max} визначає повну висоту профілю, тобто відстань між лінією вершин і лінією западин профілю в межах базової довжини:

$$R_{max} = H_{max} + H_{min} \quad (1.3)$$

Середній крок нерівностей профілю S_m визначає середню величину відстаней між вершинами шорсткостей профілю на базовій довжині:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (1.4)$$

Де S_{mi} — це відрізок серединної лінії, проведеної між двома непарними (парними) точками, що утворюються в місці перетину лінії з контуром профілю.

Середнє значення кроку місцевих виступів профілю S , обчислюється як середнє арифметичне кроків

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (1.5)$$

Параметри S та S_m , у поєднанні з висотними параметрами R_a та R_z , дають змогу визначити не лише висоту нерівностей, але й ухил, який має важливе значення для антифрикційних властивостей поверхонь, що труться. Відносна довжина опорної частини профілю t_p — це відношення

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} = \frac{\eta_p}{l}, \quad (1.6)$$

де p -сума довжин відрізків b_i , виміряних у межах базової довжини, утворених лінією, еквідистантною до середньої лінії профілю, що відтинає матеріал на визначеному рівні p .

Опорна довжина профілю відображає розподіл матеріалу в шарі шорсткості, відіграючи важливу роль у обчисленні площі шорстких тіл (див. рисунок 1.9).

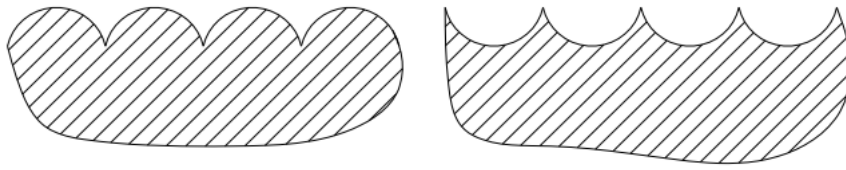


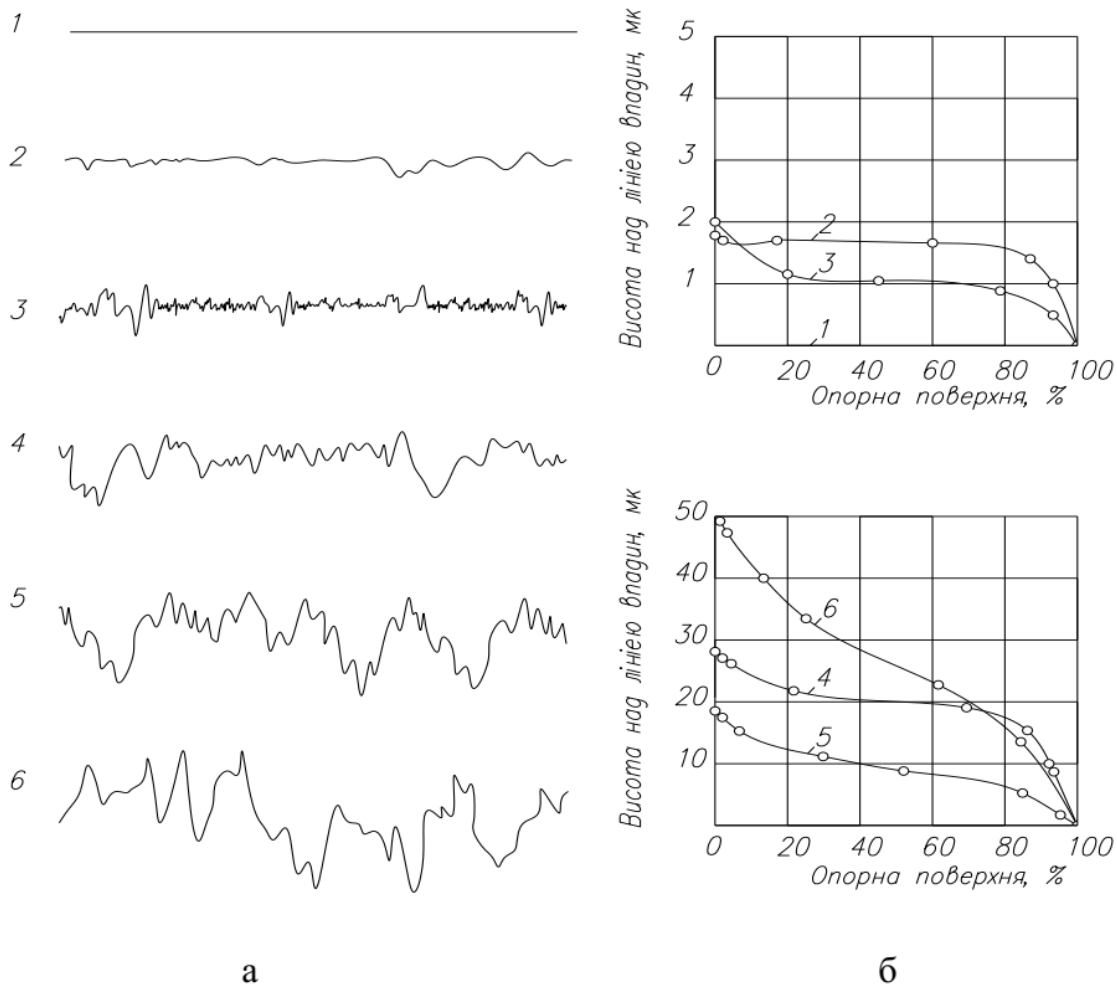
Рисунок 1.9 — Профілі поверхонь, що мають різну відносну опорну довжину профіля tr , але рівні висотні характеристики.

Опорна крива профілю – це графік, що показує залежність опорної довжини профілю від рівня перерізу профілю.

Опорна крива профілю (рис.1.10) описує структуру шорсткості, демонструючи, як збільшується площа опори у вибраному перерізі при зближенні (під час контакту) ідеально гладкого тіла з шорсткою поверхнею. Цей параметр відіграє важливу роль в роботі багатьох деталей машин.

Субмікрошорсткість поверхонь виникає через структуру твердого тіла.

Вона проявляється як манометричні відхилення. Це випадкове розташування виступів кристалографічних площин, зерен, ультрамікротріщин, дислокацій та адсорбованих плівок. Розміри субмікрошорсткості на 2–3 порядки менші за розміри мікронерівностей.



1 — ідеальна поверхня; 2 — поверхня після лаппінгування;
 3 — поверхня після шліфування; 4 — поверхня після фрезерування;
 5 — поверхня після тонкого розточування; 6 — поверхня після свердління

Рисунок 1.10 — Профільні криві (а) і криві несучої поверхні (б) для різних поверхонь

2.7 Висновки за розділом 2

Отже, стан поверхні деталей машин залежить від фізико-механічних, фізико-хімічних та геометричних параметрів.

Ці параметри визначаються характеристиками матеріалу та способом виготовлення деталі, також можуть змінюватися під час обробки поверхні і експлуатації виробу.

Таким чином, якість поверхні – це сукупність властивостей, що набуває поверхня деталі в процесі її виробництва та застосування. Умовно їх можна

поділити на три основні категорії: фізико-механічні, фізико-хімічні та геометричні характеристики. Комплексний аналіз цих показників дає змогу зрозуміти стан поверхневого шару. Саме в такому розподілі ми розглядатимемо якість поверхні.

3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ

Як і вимірювання, контроль передбачає емпіричну оцінку деяких параметрів продукту.

Засоби, методи та алгоритми контролю обираються залежно від виду, фізичних характеристик параметра та ступеня автоматизації технологічного процесу.

Контроль розмірів і якості поверхні - це визначення відповідності заданим розмірам або показникам якості поверхні. Прикладами можуть бути використання граничних калібрів без вимірювання розмірів і параметрів окремих поверхонь, визначення відповідності поверхні, виробу (заготовки) вимогам, зазначеним у робочому кресленні.

Контроль показників якості на поверхні заготовки здійснюється за допомогою універсальних вимірювальних інструментів і спеціальних пристроїв.

Розглянемо їх класифікацію та принцип дії.

3.1 Універсальні вимірювальні прилади

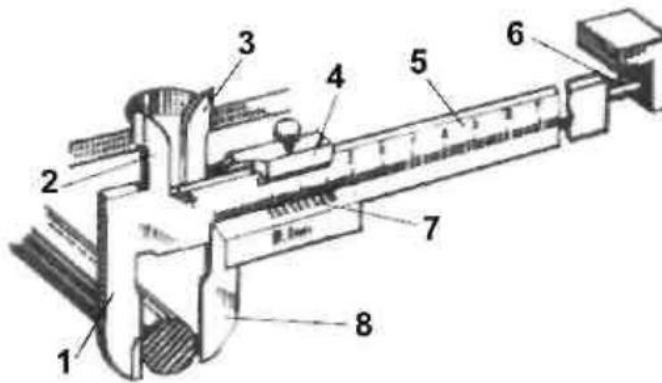
Смугові вимірювальні інструменти поділяються на лінійні та металеві смугові вимірювальні інструменти.

(лінійки, рулетки, ваги) і металеві транспортири. Рулетка використовується для безпосереднього вимірювання лінійних розмірів.

Вимірювання лінійних розмірів за допомогою вимірювальних інструментів та еталонних приладів.

Більшість штангенциркулів виготовляються з корозійностійкої пружинної сталі та хромовані. Стандартні штангенциркулі (ДСТУ

ДСТУ 427:2009) [11]) довжиною від 150 мм до 1000 мм, а також від 150 мм до 1000 мм, 1 мм. Звичайні довжиноміри (штангенциркулі) можуть мати ціну поділки 0,1 мм і 0,2 мм. В основному вони виготовляються зі спеціальних латунних ніжок. Висока точність вимірювання досягається завдяки оптичній лінзі.



1 і 2 — нерухомі губки; 3 і 8 — рухомі губки; 4 — рухома рамка;
5 — штанга з міліметровою шкалою; 6 — глибиномір; 7 — ноніус

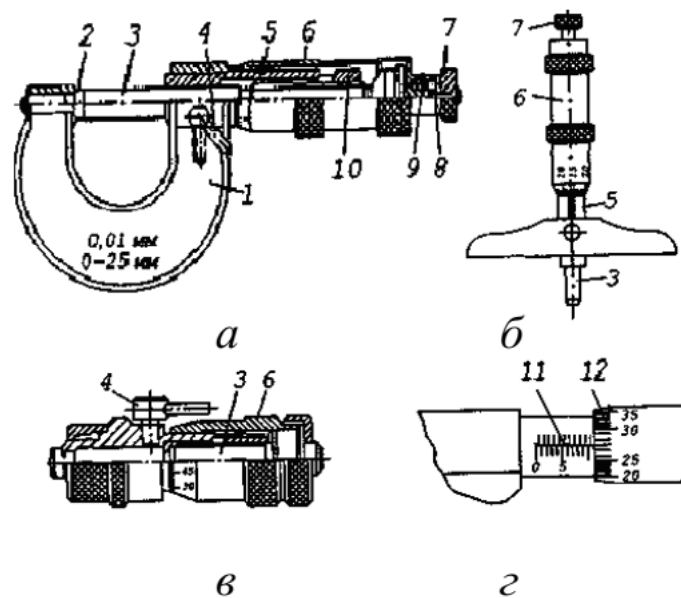
Рисунок 2.1 — Штангенциркуль

Мікрометри (ДСТУ ГОСТ 6507:2009 [12]; мал.2.2) призначені для вимірювання зовнішніх та внутрішніх поверхонь, глибини отворів, різьб, висоти уступів та інших параметрів. Відмінною конструктивною особливістю мікрометрів є наявність точного мікрометричного гвинтового з'єднання з малим кроком (0,5 мм). Цей гвинт перетворює незначні переміщення у більші лінійні переміщення на зовнішній циліндричній поверхні барабана (гайки). Тому, додаткові шкали діляться на менші поділки:

$$i = P/n,$$

де P — крок різьби, мм.

Значення вимірювання отримують шляхом додавання показів основної шкали 11 (рис.2.2г) та допоміжної шкали 12 (рис.2.2 г), остання нанесена вздовж циліндричної поверхні нерухомої гайки 5 (рис.2.2 а) та на передній грані бойка 6. Цей боек міцно закріплений на гвинті 3 і разом з ним може переміщуватися вздовж своєї осі відносно вимірювальної п'яти 2 штангенциркуля 1.



a — мікрометрична скоба;
б — глибиномір; *в* — нутромір; *г* — пристрій відліку

Рисунок 2.2 — Мікрометричні засоби вимірювання

Гладкі мікрометричні штифти (рисунок 2.2а) використовуються для вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь, глибиноміри (рисунок 2.2б) - для вимірювання глибини отворів, а внутрішні мікрометри (Рисунок 2.2с) - для вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь. П'ятка 2 гладкого мікрометра (рисунок 2.2а), яка часто регулюється, служить для точної установки шкали на нуль.

Згідно з ГОСТ 7470-92 [13], визначено наступний діапазон діапазонів вимірювань для гладких мікрометричних штифтів і глибиномірів: 0 мм ... 25 мм; 25 мм ... 50 мм; 50 мм ... 75 мм; 75 мм ... 100 мм; 100 мм ... 200 мм (з двома кінцевими калібрами довжиною 125 мм і 175 мм); 300 мм ... 2000 мм.

Існують також цифрові мікрометричні лінійки. Вони дозволяють звести до мінімуму стомлюваність при виконанні багатьох вимірювань, підвищуючи продуктивність праці і точність вимірювань, що пояснюється зменшенням кількості похибок в результатах вимірювань.

Допуски на мікрометри вказані у відповідних стандартах для кожного типу і в залежності від його класу точності. Наприклад, допуск на похибку гладких мікрометрів від $\pm 0,002$ мм для класу точності 1 і діапазону до 100 мм, а також до $\pm 0,01$ мм для класу точності 2 і діапазону 500....600 мм.

Вимірвальні головки широко використовуються для побудови вимірвальних приладів і контрольно-вимірвальних приладів, які використовують відносний метод для вимірювання.

Вимірвальна головка - це засіб вимірювання з відносно невеликим діапазоном показань шкали і високою чутливістю. Ці пристрої зазвичай складаються з підйомника (корпусу, основи і т.д.), каретки і вимірвальної головки.

Приклад такого пристрою з вимірвальною головкою показано на рис. 2.3. Пристрій складається з основи 1, каретки 2 та направляючої колонки валу 12 з гвинтовою різьбою, опори 11, на якій розміщується вимірвальна головка, причому вимірвальна головка встановлюється на певну висоту над повзунком шляхом переміщення опори 11 і закріплення її в заданому положенні за допомогою затискача 10.

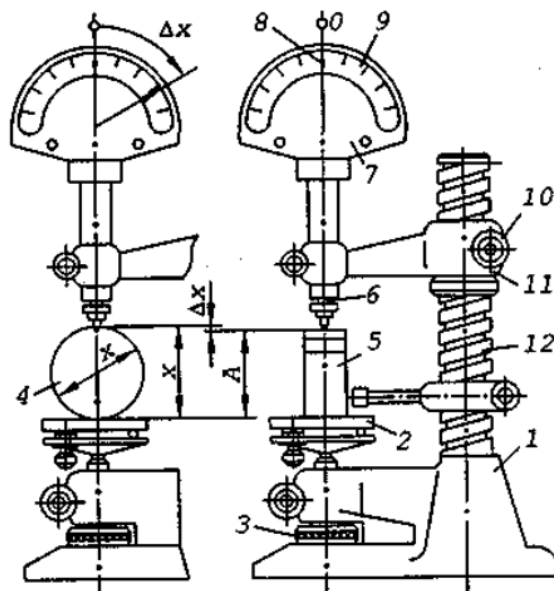


Рисунок 2.3 — Контрольно-вимірвальний пристрій для дослідження відхилень форми поверхонь

Вимірвальна головка використовується для визначення відхилень Δx вимірюваного розміру від розміру A , визначеного за допомогою клемної колодки.

Спочатку встановлюють на предметний столик блок з 5 кінцевих калібрів або еталонний виріб відомого розміру.

Для виробу відомого розміру встановлюють вимірвальну головку на нульову позначку свого калібру 9. Для цього переміщують опору 11 до тих

пiр, поки щуп 6 вимiрювальної головки 7 не торкнеться вимiрювальної головки 7 з верхньою поверхнею клемної вимiрювальної колодки, пiсля чого плавно перемiщують повзунок 2 за допомогою рукоятки 3 гвинтового механiзму, щоб домогтися точного встановлення покажчика 8 вимiрювальної головки вiдносно нульової позначки вимiрювального приладу 9. Пiсля цього замiнюють блок 5 на вирiб 4 розмiру, за показаннями стрiлки на шкалi 9 шукають вiдхилення розмiру виробу вiд заданого розмiру кiнцевого калiбрувального блоку. Щоб отримати той самий розмiр виробу x , в залежностi вiд сигналу вiдхилення (перемiщуючи курсор вправо або влiво вiд нульової позначки на шкалi), додають або вiднимають отримане вiдхилення вiд розмiру A , тобто

$$x = A \pm \Delta x,$$

де x — вимiрюваний розмiр виробу, мм;

A — заданий розмiр блока кiнцевих мiр, мм;

Δx — вiдхилення покажчика вимiрювальної головки вiд нульової позначки шкали, мм.

за умови, що при заданiй жорсткостi конструкцiї столу або або корпусних конструкцiй цих пристроїв досягається висока точнiсть (до $\pm 0,001$ мм) вимiрювання.

3.2. Оптичнi вимiрювачi

Найбiльш популярнi конструкцiї вимiрювальних головок завдяки своїй простотi i надiйностi: Механiчнi, оптичнi та композитнi конструкцiї.

Унiверсальнi оптичнi вимiрювальнi головки широко використовуються завдяки своїй високiй точностi, надiйностi i довговiчностi. До таких пристроїв вiдносяться поздовжнi вимiрювальнi головки, автоматизованi та унiверсальнi мiкроскопи, проектори тощо.

Розмiрнi компаратори використовують для вимiрювання абсолютних розмiрiв зовнiшнiх та внутрiшнiх поверхонь. За конструкцiєю компаратори дiлять на горизонтальнi та вертикальнi. Дiапазон вимiрювання горизонтального компаратора становить 0 мм...200мм, а вертикального - 0 мм...500 мм. цiна подiлки шкали компараторiв – 0,001 мм.

Інструментальні мікроскопи (ГОСТ 8074-82) призначені для вимірювання лінійних та кутових розмірів деталей. За конструкцією вони поділяються на малі - з діапазоном вимірювання 0 мм...75 мм; великі — з діапазоном вимірювання 0 мм...150 мм; бінокулярні — з діапазоном вимірювання 0 мм...150 мм; з екранами проекції та цифровою індикацією результатів вимірювання.

Порядок вимірювання за допомогою інструментальних мікроскопів наступний: за допомогою окуляра мікроскопа наводяться на різні точки поверхні деталі, що розташована на предметному столику, столик повертається з виробом навколо вертикальної осі та за допомогою мікрометричних та оптичних зчитувальних пристроїв визначаються координати вказаних точок. На основі результатів вимірювань обчислюються лінійні та кутові розміри деталі.

Для наведення на точки деталей інструментальні мікроскопи оснащені змінними об'єктивами з різним ступенем збільшення (10, 15, 30 і 50 разів з відповідними полями зору 21, 14, 7 і 4, 2 мм), а для вимірювання кутових розмірів використовується спеціальна кутова окулярна головка.

Принцип роботи інтерференційних вимірювальних систем ґрунтується на хвильовій природі світлових променів. Колір світлових променів залежить від довжини (частоти) їхніх хвиль, які знаходиться в діапазоні від 0,38 мкм до 0,78 мкм. Існують джерела світла, що випромінюють хвилі всіх довжин, а також джерела світла, які випромінюють хвилі однієї довжини - лінійний спектр.

Інтерференцію світла, отриману за допомогою плоско паралельних і клиноподібних пластин, використовують для точного вимірювання розмірів та відхилень від площинності. Інтерференційні смуги, видимі через скляну пластину, повинні бути прямими та паралельними по краях клина. Найчіткіше різниця спостерігається поблизу краю клина. Виникнення інтерференційних смуг (рис.2.4) відбувається за наступною схемою: промінь світла S , який падає на скляну пластину під кутом α , у точці A розщеплюється на два промені S' та S . Промінь S' , що знаходиться у щільнішому середовищі, відбивається від межі середовищ з різною щільністю, при цьому відстає на половину довжини хвилі. Після виходу зі скляної пластини промені S' та S'' інтерферують. Підсилення або послаблення світла під час інтерференції залежить від різниці ходів променів S' та S . Різниця ходу визначається товщиною клина у місці розщеплення променя S .

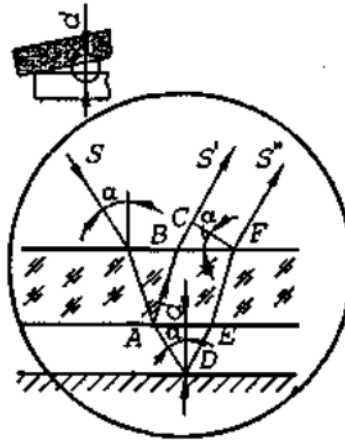


Рисунок 2.4 — Схема виникнення інтерференційних смуг

Вертикальний контактний-інтерференційний вимірювач (рис.2.5).

Основним вузлом інтерференційного вимірювача є світлове джерело 1 (рис.2.5), яке проходить крізь конденсор 2, щілину 3 та через поворотне дзеркало 5 і, відбиваючись від нього, повертається до пластини 6. Решта світлового пучка, який проходить через пластину 6 та компенсатор 7, також повертається до пластини 6. Компенсатор 7 пластини 6 та компенсатор 7 виготовляються з тієї ж товщини і з того ж типу, світлові пучки перехрещуються та інтерферують на нижній поверхні пластини 6. За допомогою окуляра 12 це спостерігають. Головне дзеркало 5 разом з рухомим дзеркалом 8 показує ширину інтерференційних смуг та їх кількість, у певній частині шкали для монохроматичного світла (зазвичай зеленого). В секції шкали з n поділками розташовані k інтерференційних смуг, кількість яких:

$$k = \frac{2ni}{\lambda}.$$

Найбільша допустима похибка вимірювання компаратора визначається як:

$$\Delta_B = \pm \left(0,03 + 1,5n^3 \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right),$$

де Δ_B — похибка вимірювання компаратора, мкм;

n — кількість поділок шкали від нульової риски;

$\Delta\lambda$ — похибка довжини хвилі за атестатом компаратора, мкм;

λ — довжина хвилі променів, яку пропускає фільтр, мкм.

Широко застосовується у машинобудуванні виявлення інтерференції за допомогою стандартних скляних пластин, через його простоту.

Ця методика визначення використовується через відносно низьку вартість.

Отримані дані використовуються для оцінки середніх розмірів та відхилень від паралельності поверхонь лінійних вимірювань, а також нерівностей активних поверхонь різних вимірювальних інструментів.

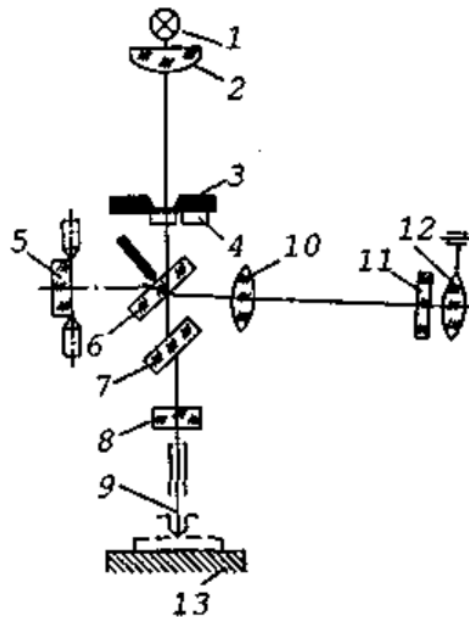
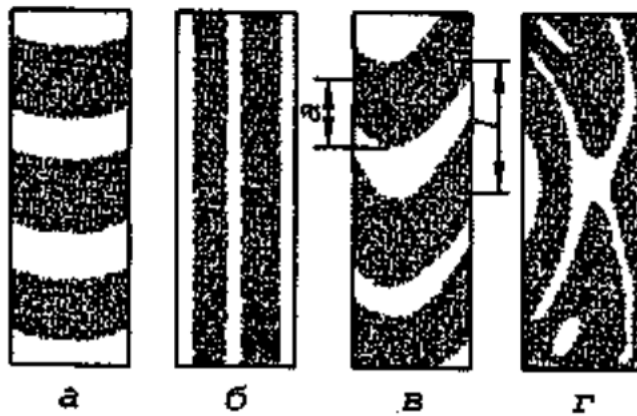


Рисунок 2.5 — Вертикальний контактний інтерференційний компаратор

Цей пристрій демонструє інтерференційні смуги для контролю рівності зразків. Відхилення від рівності визначаються співвідношенням між величиною a інтерференційної смуги та її шириною (рис.2.6).



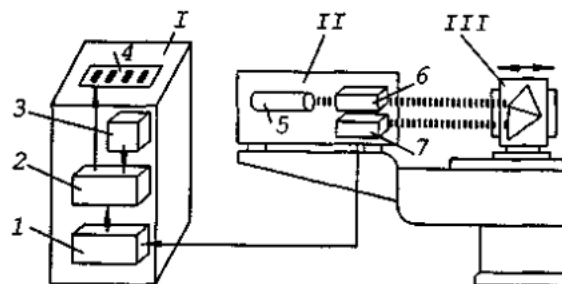
a — кінцева міра з незначним відхиленням від площинності; *б* — пластина, встановлена на довге ребро; *в* і *г* — кінцеві міри зі значними відхиленням від площинності

Рисунок 2.6 — Інтерференційне зображення при контролі площинності зразків:

Застосування лазерних вимірювальних пристроїв значно розширило можливості вимірювання лінійних і кутових розмірів, та спростило методи їх визначення.

Використання лазерів - метод контролю геометрії складних конструктивних елементів (наприклад, кузова автомобіля).

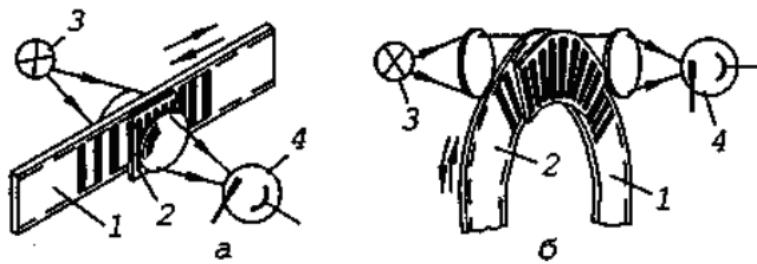
Розглянемо блок-схему абсолютного лазерного калібратора, що розроблений американською компанією "Culter Hammer" (рис.2.7).



I — цифровий блок; *II* — лазерна установка; *III* — відбивач

Рисунок 2.7 — блокова схема лазерного калібратора

Шлюмінатор, закріплений до рухомої частини машини чи іншого механізму, створює інтерференційний малюнок, що змінюється. Цей малюнок, перетворюється на електричні імпульси фотодетектором 7. Цифрові обчислювальні блоки 1 і 2 перетворюють кількість інтерференційних смуг, враховуючи навколишні фактори, з поправками, на лінійні розміри. Через перетворювач 3, результати вимірювань передаються через цифровий перетворювач 4. Діапазон лінійних вимірювань калібратора досягає 0 мм...2500 мм з точністю $\pm 0,75$ мкм. Використання стабілізованих лазерів підвищує точність вимірювань до $\pm 0,002$ мкм.



a — схема з лінійним растром; *б* — схема з круговим растром

Рисунок 2.8 — Схема фотоелектричних ЗВТ:

Це лінійна рейка (рисунок 2.8) закріплюється на рухомих частинах об'єктів, що вимірюються.

При зміні освітленості робочої зони відповідним чином змінюється електричний струм у фотоелементі. Отримані електричні сигнали передаються на механізми підрахунку, реєстрації та керування верстатами, машинами та іншим обладнанням.

Схема інтерференційного фотоелектричного вимірювача відхилень від плоскості представлена на рисунку 2.9. Пучок монохроматичного світла, пройшовши через щілинну діафрагми 1, світлофільтр 2 та об'єктив 3, частково відбивається від напівпрозорої пластини 4, направляється на поверхню А паралельної плоскої пластини і, пройшовши крізь неї, потрапляє на поверхню В досліджуваної деталі.

Світлові промені, що падають на поверхні А і В перпендикулярно, відбиваються у зворотному напрямку та, пройшовши крізь пластину 4, об'єктив 5 і щілинну діафрагму 6, інтерферують і потрапляють на фотодіод. Якщо площини А і В паралельні, різниця ходу інтерферуючих променів

дорівнює нулю і в інтерференційній картині в цій області з'являється темна смуга.

Зміщення столу з виробом і з досліджуваною деталлю при наявності нерівностей на досліджуваній поверхні призводить до утворення повітряних клинів з різними кутами та відповідним зміщенням інтерференційної картини з темними та світлими ділянками.

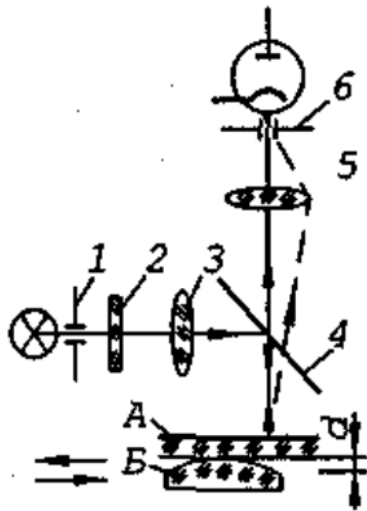


Рисунок — 2.9 Схема інтерференційного фотоелектричного ЗВТ

Вимірювальні прилади на основі струни будуються з використанням струнних частотних перетворювачів, які використовуються для вимірювання та контролю багатьох фізичних величин (лінійні та кутові розміри, температура, тиск). Ці пристрої мають високі характеристики та дозволяють отримувати інформацію про частоту за результатами вимірювань, яку можна передавати з високою точністю та надійністю на великі відстані, легко обробляти комп'ютером і представляти в цифровій формі.

Відхилення форми визначаються як універсальними вимірювальними інструментами, так і спеціальними, для створення яких використовуються розмічальні плити, косинці, призми, рівні, оптичні та механічні вимірювальні головки, натягнуті струни, лазерні джерела світла, кінцеві міри тощо.

Відхилення від прямолінійності та площинності, наприклад, виробів 5 (рис 2.10 а), вимірюються та контролюються з використанням лінійки 2, кінцевих мір довжини 1 і 6, рівня 3, набору щупів, які вставляються між лінійкою та кінцевою мірою 6 та вимірювальною головкою зі штативом 4.

Відхилення від прямолінійності значущих вертикальних ліній і поверхонь знаходяться з використанням вертикальних струнних рівнів у комплекті з оптичними вимірювальними головками, а відхилення від площинності виробів 1 (рис.2.10 б) контролюються з використанням обертового

планарного вимірювача 3 з мірою за допомогою оптичної групи, показаної на рис. 2.10, відбувається вимірювання відстаней.

Вимірювання від контрольованої поверхні деталі 1 до оптичної осі труби 4 відбувається із застосуванням: автоколіматора, дзеркала 2 та компенсатора вимірювання 3. Усі ці елементи встановлені на столі 5.

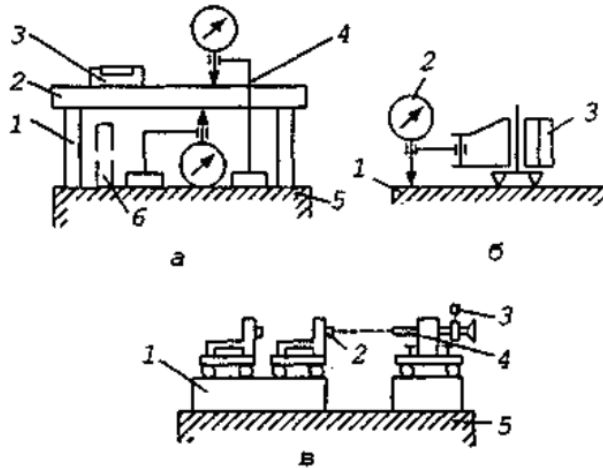


Рисунок 2.10 — Спеціальні ЗВТ для вимірювання відхилень форми виробів

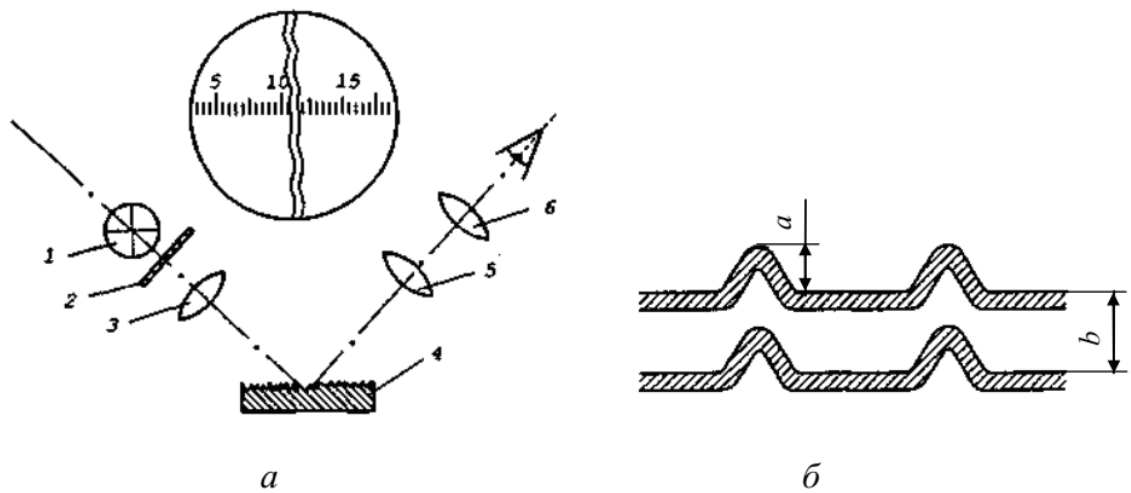
Індикатори точності елементів, які використовуються, в залежності від вказаної точності параметрів, точність вимірювальних головок та інших компонентів пристроїв контролю та вимірювання виділено окремо.

3.3. Вимірювання і контроль параметрів шорсткості поверхні.

Кількісне оцінювання параметрів шорсткості поверхонь продуктів здійснюється без контакту, шляхом використання оптичних вимірювальних засобів (мікроскопи, мікроінтерферометри та ін.), а також за допомогою контактних вимірювальних засобів з вимірювальними головками (профілометри, профілографи, та ін.).

Визначення параметрів шорсткості R_z та R_{max} у діапазоні від 0,1 мкм до 320 мкм, S та S_m — від 0,001 мм до 6,3 мм, що здійснюється за допомогою оптичних вимірювальних засобів, а також за допомогою профілографів і профілометрів з голками. Точність вимірювального обладнання, параметри R_a варіюються від 0,008 мкм до 100 мкм, R_z R_{max} від 0,025 мкм до 250 мкм, S_e S_m від 0,003 мм до 12,5 мм, та від 0 до 100%. (рис.2.11б).

При вимірюванні отримується світлова крива нерівностей поверхні (з тінями від виступів), розміри яких визначаються за допомогою прозорії шкали мікрометра.



a — схема інтерференційного вимірювання; *б* — викривлення інтерференційних смуг

Рисунок 2.11 — Принцип дії інтерферометра

Зображення поверхні разом з інтерференційними смугами спостерігається в окулярі інтерферометра (рис.2.11б), а висота нерівностей її профілю R визначається співвідношенням кривизни інтерференційних смуг та ширини їх інтервалу b , за формулою:

$$R = \frac{a \cdot \lambda}{b \cdot 2},$$

λ , представляє довжину хвилі світлового джерела, виражену в мкм (мікрометри).

У контактних приладах для вимірювання шорсткості поверхні використовуються вертикальні коливання голки з алмазним наконечником, яка переміщається по аналізованій поверхні (див. Рис. 2.12). Такі коливання передаються на коромисло 4, яке коливається на опорі 3 та змінює повітряний зазор (магнітний опір) в обох магнітних ланцюгах диференціального трансформатора 7. Це генерує електричні імпульси в котушках 6, що живляться від джерел електричного струму 2 і 5.

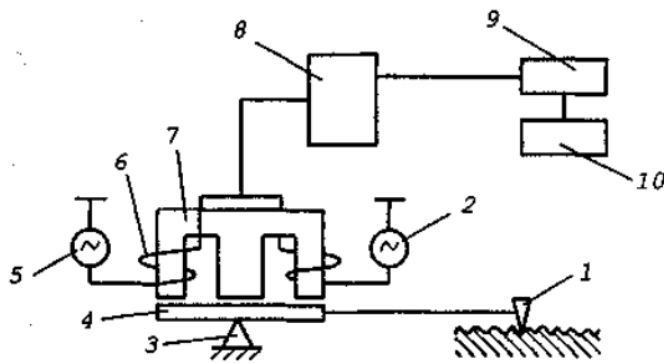


Рисунок 2.12 — Принципова схема індикаторних ЗВТ з індукційним перетворювачем

Індола - мандрівник розподіляє індуктивності, змінюючи відповідно вихідну напругу диференціального трансформатора, амплітуда якої визначає висоту мікро - нерівностей поверхні, що вимірюється, та частоту (залежно від заданої швидкості переміщення вимірювальної головки) - крок. Електричні сигнали підсилюються у блоці 8 і передаються до блоку обробки інформації 9, а потім - до блоку реєстрації чи візуалізації 10.

Інтерферометр занурення — копія, використовується для вимірювання параметрів шорсткості не поверхні, що досліджується, а її відбитка (копії) хімічного та спектрального аналізу.

Методи хімічного аналізу, засновані на хімічних реакціях.

Спектральний аналіз і сцинтиляційна електрика є фізичним методом для якісного визначення. Випромінювання збуджених атомів, наявних у зразку, де виникає розряд, проходить через поліхроматор, обладнаний увігнутою дифракційною решіткою, та розкладається на спектр. Кожен хімічний елемент має свій набір спектральних ліній, інтенсивність яких залежить від концентрації елемента у зразку. При якісному аналізі отриманий спектр інтерпретується з використанням таблиць та атласів елементарних спектрів. Для кількісного аналізу зразка зі спектру вибирається одна або декілька аналітичних ліній кожного проаналізованого елемента.

Спектрорадіографічний аналіз.

Порівняно з оптичними спектрами, характерні рентгенівські спектри випромінювання мають меншу кількість ліній, що спрощує їх розшифровку. Ця перевага зумовлює все ширше використання рентгенівського аналізу в промислових лабораторіях.

Упромисловості, для контролю хімічного складу сталей та сплавів, використовуються рентгенівські флуоресцентні спектрометри (Spark-1-2M, Lab-X3000, ED 2000, MDX 1000), оснащені комп'ютером, який дозволяє автоматизувати процес обробки спектрів та збільшити швидкість.

3.4 Контроль механічних властивостей виробу

Зазвичай, механічні властивості контролюються за допомогою випробувань: одноосового розтягу, стиску, твердості, ударної в'язкості. Форма та розміри зразків для випробувань повинні відповідати вимогам стандарту ГОСТ1497–84 та стандарту ГОСТ9454–78.

Випробування на розтяг проводяться на розривних машинах, які складаються з наступних основних частин: механізм для навантаження (деформації) зразка; механізм для передачі зусилля розтягу; механізм для вимірювання зусилля розтягу. Зазвичай, використовуються машини з руйнуючим зусиллям 20, 40, 50, 300 та 500 кН.

На рисунку 2.13 зображено схему універсальної гідравлічної випробувальної машини, УГІМ-50, обладнаної самописним пристроєм для реєстрації діаграми розтягу $F - \Delta l$, де Δl – подовження зразка під час деформації. Механізм навантаження зразка приводиться в дію гідравлічним приводом. Механізм, який вимірює силу, що спричиняє деформацію зразка, є важільно–маятникового типу.

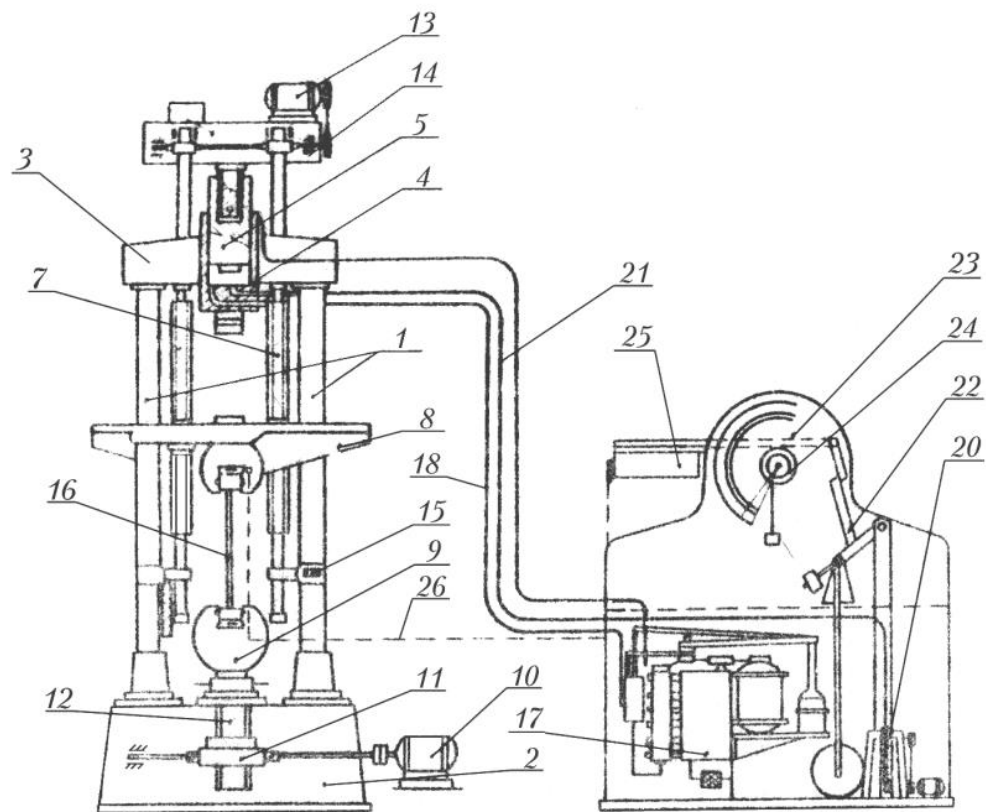


Рисунок 2.13 — Загальний вигляд універсальної гідравлічної випробувальної машини УГИМ-50

Основні компоненти та робота універсальної випробувальної машини УГИМ-50 включають наступне:

Стійки машини, закріплені на фундаментній плиті 2, з'єднані між собою поперечиною 3, в якій розміщено робочий циліндр 4 з рухомим поршнем 5 в середині. Поперечина 8, до якої прикріплено верхню клему вантажозахватного механізму, підвішена до поршня за допомогою траверси 6 на направляючих болтах 7. Нижню клему 9 можна переміщувати від електродвигуна 10 через черв'ячну передачу 11 та гвинтову передачу 12.

Вимірювання статичних навантажень здійснюється за допомогою маятникового силоміра 19. Вимірювальний циліндр маяткової сили 20 з'єднаний через трубопровід 21 з робочим циліндром 4. Під навантаженням на зразок та зі збільшенням тиску масла в циліндрі 20, маятник відхиляється, а шток 22 переміщує рейку 23. Остання повертає шестерню 24 та стрілку шкали.

Зміна моменту сили від ваги маятника при перемиканні з одного діапазону навантаження на інший здійснюється за допомогою двох змінних вантажів.

Межа текучості $\sigma_{0,2}$ визначається як відношення навантаження $F_{0,2}$ до площі початкового поперечного перерізу зразка S_0 :

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0},$$

$F_{0,2}$ – це напруження, при якому залишкова деформація зразка сягає 0,2% від номінальної початкової довжини зразка. Межа міцності σ_B визначається як відношення максимального навантаження $F_{\max}$ до площі початкового поперечного перерізу зразка S_0 :

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{S_0}.$$

Відносне подовження визначається як відношення приросту довжини зразка Δl до моменту руйнування до його початкової номінальної довжини l_0 . Зазвичай, цей коефіцієнт множиться на 100, щоб отримати значення відносного подовження, виражене у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100,$$

де $\Delta l = (l_k - l_0)$ — приріст довжини зразка, мм.

Лінійне стиснення виконується на спеціалізованих пресах або універсальному устаткуванні відповідно до специфікацій ГОСТ 7855-68.

При випробуванні пластичних матеріалів (низьковуглецевої сталі, міді тощо) через значні деформації (здавлювання), можливо визначити лише межу пружності. Крихкі матеріали (наприклад, чавун) руйнуються під час стискання, витримуючи навантаження значно більші, ніж при розтягуванні.

Випробування на стискання проводяться на зразках циліндричної або кубічної форми. Торцеві поверхні за зразків мають бути суворо паралельними.

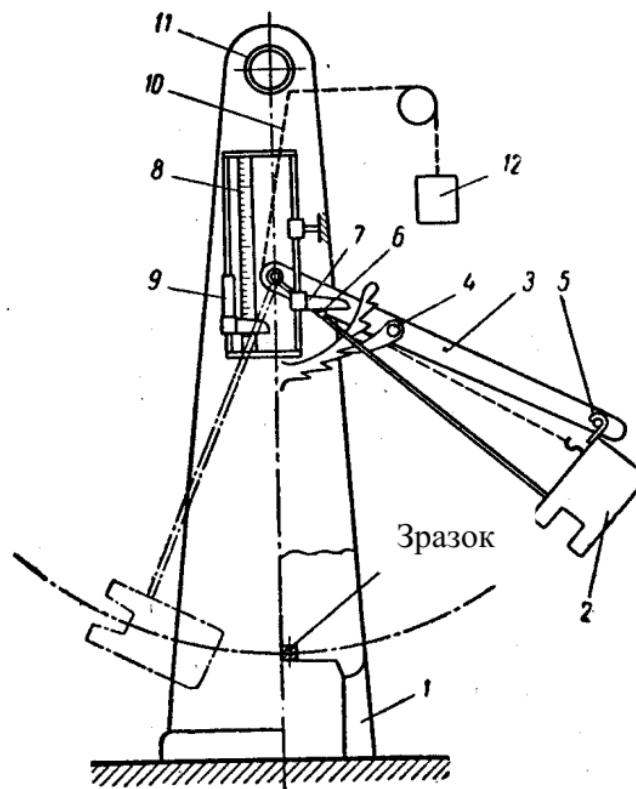
Щоб зменшити тертя на опорних поверхнях, їх покривають специфічним мастильним матеріалом. Під час стискання, які при розтягу, можливо визначити всі характеристики механічних властивостей матеріалу; проте, часто визначається лише межа міцності (наприклад, для виробів із чавуну).

Під час процесу випробування натискання, можна зареєструвати або побудувати діаграму стискання, тобто залежність між силою стискання F і абсолютним скороченням зразка Δh . Оскільки одноосьове стискання відрізняється від розтягу лише знаком, основні формули розрахунків мають схожий вигляд. Умовна діаграма напруження при стисканні будується в

координатах: умовне напруження σ — відносне скорочення (осідання) ε . Випробування на вигин. Цей вид випробувань використовується переважно для визначення механічних властивостей крихких матеріалів. Під час вигину усувається істотний недолік методу випробувань на розтяг: кручення зразка, що призводить до передчасного руйнування. Випробування проводяться на спеціальних або універсальних випробувальних машинах. Випробування на ударну в'язкість. При визначенні в'язкості сталі, найбільш поширеним методом є випробування

$$a_H = \frac{A_H}{F},$$

де a_H — ударна в'язкість, кДж/м².



1 — стійка; 2 — маятник; 3 — підйомна рама; 4 — важіль храпового механізму; 5 — фіксатор маятника; 6 — плече маятника; 7 — планка вимірювального пристрою; 8 — шкала; 9 — покажчик, що переміщається уздовж осі шкали; 10 — трос; 11 — нерухомий блок; 12 — груз

Рисунок 2.14 — Загальний вигляд маятникового копра

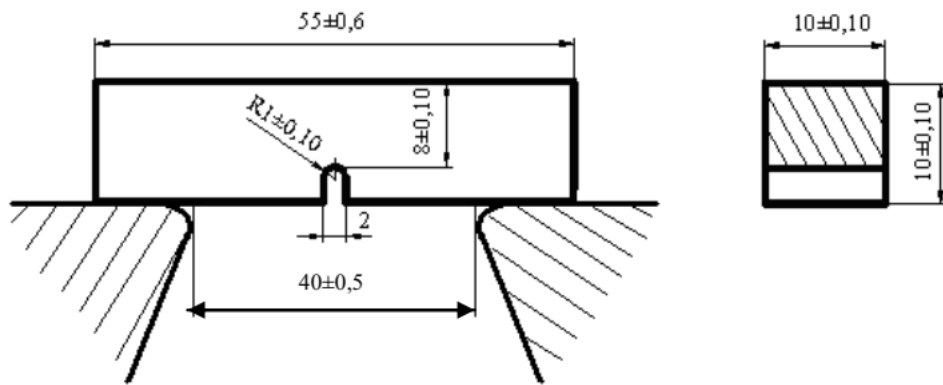
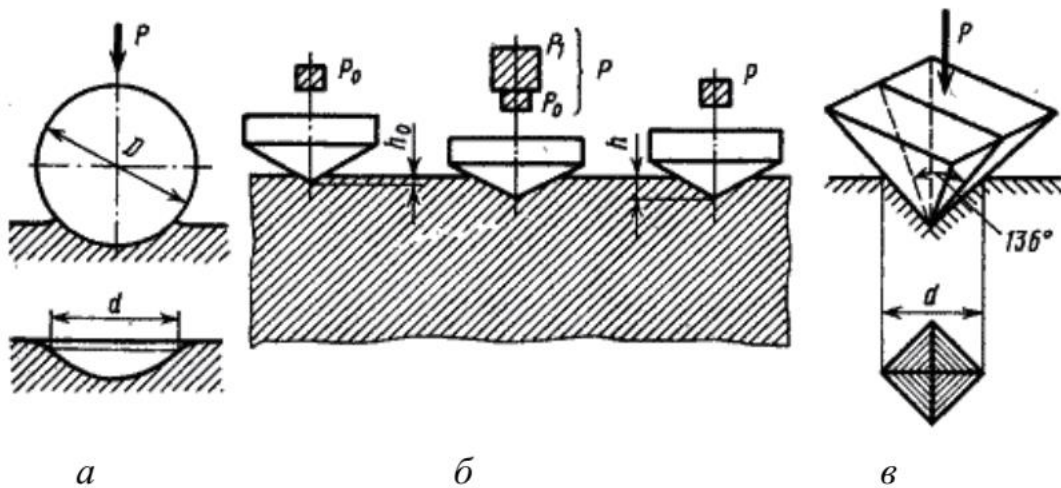


Рисунок 2.15 — Розташування зразка на копрі

Визначення макро – і мікродірки. Твердість визначається через впровадження стандартного тіла (індентора) в поверхню зразка, яке не деформується під час випробування. Твердість оцінюється на основі глибини проникнення індентора (метод Роквелла) або на основі розміру відбитка, отриманого після введення алмазного конуса (метод Брінелля) або піраміди (метод Віккерса). У всіх випадках відбувається пластична деформація матеріалу.



a — по Брінеллю; *б* — по Роквеллу; *в* — по Віккерсу

Рисунок 2.16 — Схеми визначення твердості

При стисненні на індикатор під значним навантаженням, поверхневі шари матеріалу, що знаходяться біля вершини, зазнають пластичної деформації. Після зняття навантаження залишається відбиток.

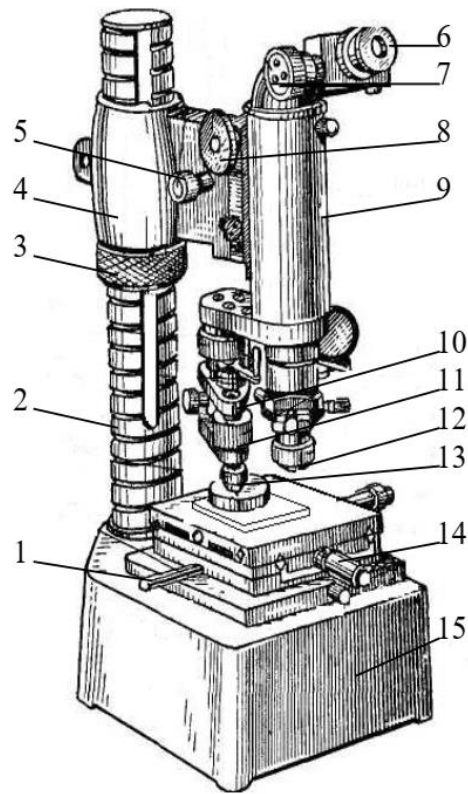
Прилад типу РМТ-3 (Рис. 2.17) має кріплення 1 вертикального мікроскопа з тубусом, який переміщається в гору і вниз за допомогою мікрометричних і мікрометричних гвинтів. Прилад оснащений двома об'єктивами для перегляду мікропластинки при збільшеннях 478 та 135 разів. Окуляр збільшує у 15 разів.

Вимірювання отриманого відбитку проводиться що найменше два-три рази. Числа твердості обчислюються за формулою:

$$HV = 1854 \cdot P/d^2$$

Значення R визначає величину прикладеного навантаження, виражену в Н.

Важливо враховувати, що при дуже малих навантаженнях (менше 20 кгс) можна отримати неточні результати. Прилад дозволяє сфотографувати мікроструктуру зразка, показуючи відбитки.



1 і 14 — гвинти предметного столика; 2 — стійка; 3 — кільцева гайка;
 4 — кронштейн; 5 — механізм мікроподачі; 6 — мікроскоп;
 7 — окулярний мікрометр; 8 — мікрометричний гвинт; 9 — тубус;
 10 і 11 — кронштейни механізму вантаження; 12 — об'єктив; 13 — шток з алмазною
 пірамідою; 15 — станина

Рисунок 2.17 — Схема приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості

3.5 Висновки за розділом 3

Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхні є технічно складним завданням, оскільки, на сьогоднішній день, не існує простих та надійних приладів для вимірювання мікронерівностей поверхонь різних форм і розмірів з високою точністю. Через технічні труднощі, вищезгадані методи зазвичай надають значення параметрів шорсткості з умовними показниками або мають низьку точність. Відповідно, на практиці, шорсткість поверхонь часто визначається за допомогою простіших і економічніших методів вимірювання, наприклад, шляхом порівняння візуально або на дотик

із стандартними зразками (GOST 9378-93[18]), виготовленими зі специфічних матеріалів.

.

4. АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1 Поняття надійності

Надійність – це властивість об'єкта, що зберігає з плином часу, в межах встановлених лімітів, значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в зазначених умовах експлуатації, обслуговування, зберігання та транспортування (ДСТУ2860-94). Серед параметрів, що описують здатність виконувати потрібні функції, включають кінематичні та динамічні, параметри міцності, точності функціонування, продуктивності, швидкості тощо. В теорії надійності розглядаються такі об'єкти: система-ряд взаємодіючих елементів, призначених для виконання певних функцій незалежно. Поняття "елемент" та "система" змінюються в залежності від поставленої задачі. Верстат, наприклад, при встановленні його надійності, вважається системою, що складається з окремих елементів-механізмів, компонентів, систем, тоді як при дослідженні надійності автоматичної лінії, вважається елементом. Надійність характеризується такими основними станами та подіями:

Функціональність - це стан продукту, який дозволяє йому виконувати призначені функції правильно (з параметрами, визначеними в технічній документації).

Працездатність – це стан продукту, який відповідає всім вимогам, не лише основним, але й другорядним. Функціональний продукт обов'язково працездатний.

Відмова – це стан продукту, який не відповідає принаймні одній вимозі технічної документації. Відмови поділяються на ті, що спричиняють поломки, і ті, що їх не спричиняють.

Поломка – це подія, яка полягає в повній або частковій втраті функціональності.

Поломки поділяються на функціональні поломки, при яких виконання його функцій цим елементом припиняється (наприклад, поломка зубів шестерні), і параметричні поломки, при яких деякі параметри об'єкта змінюються в неприйнятних межах (наприклад, втрата точності верстата).

Причини поломок поділяються на випадкові та систематичні, невиявлені помилки виробництва контролем, помилки персоналу з обслуговування тощо. Випадкові фактори, у більшості випадків спричиняють поломки, коли вони діють у несприятливих умовах.

Поступових ушкоджень: вплив навколишнього середовища, часу, температури, корозія, старіння; навантаження і тертя, втома.

З огляду на причини виникнення, несправності можна класифікувати на: конструктивні, викликані недоліками в проектуванні; технологічні, спричинені внаслідок неправильної експлуатації.

Несправності, згідно з їх фізичною природою, можуть бути пов'язані з ослаблення з'єднань). Відповідно, несправності виникають на початку експлуатації, несправності під час нормальної експлуатації та через знос.

Розглянемо властивості продуктів з точки зору проблем надійності.

Показники надійності - довговічність, ремонтпридатність, здатність до зберігання загальний середній час роботи, безвідмовної роботи, середній час роботи до відмови. Надійність: властивість об'єкта безперервно підтримувати робочий стан протягом певного часу.

Довговічність: властивість виробу зберігати свій робочий стан до граничного терміну експлуатації.

Придатність до ремонту – це здатність продукту до попередження та виявлення причин виходу з ладу та пошкоджень, а також до підтримки та відновлення його функціональності через технічне обслуговування та ремонт.

До параметрів ремонтпридатності відносяться ймовірність та середній час відновлення, специфічна та середня праця з технічного обслуговування і ремонту.

Придатність до зберігання - властивість об'єкта зберігати показники надійності, довговічності та ремонтпридатності під час та після зберігання.

Таким чином, надійність характеризується властивостями, які проявляються під час експлуатації продукту та які дозволяють судити про те, як продукт відповідає пред'явленим до нього вимогам. Оскільки процес функціонування машин є одним з основних процесів то надійність відіграє важливу роль при їх експлуатації.

4.2 Аналіз експлуатаційних властивостей деталей машин

Група експлуатаційних властивостей деталей машин включає: довговічність, зносостійкість, стійкість до втоми, жорсткість контакту.

Зносостійкість – експлуатаційна властивість, яка визначає здатність поверхневих шарів деталей протистояти руйнуванню під час ковзання, тертя кочення, а також при мікропереміщеннях через вплив вібрацій. В

результаті зношування деталей машин знижується продуктивність, втрачається точність. Згідно з нормативом ДСТУ 2823-94, зносостійкість – це здатність

що визначається оберненою величиною до швидкості зносу або до інтенсивності зносу.

Зносостійкість визначається складом та структурою матеріалу.

Матеріали з високою зносостійкістю, а також конструктивні рішення, що забезпечують високу зносостійкість, а також загальне покращення умов підвищують надійність виробу.

Зруйнування деталі може настати після 5-10 циклів експлуатації. З меншою кількістю циклів експлуатації, деталь може експлуатуватись довший час.

Після руйнування, на поверхні розлому деталі (рис.3.1), зазвичай виявляються дві різні зони. В одній зоні (А) кристали майже не розрізняються неозброєним оком, а поверхня розлому має згладжені контури. В іншій зоні (В), ознаки недавнього крихкого розлому є очевидними, кристали мають гострі краї.

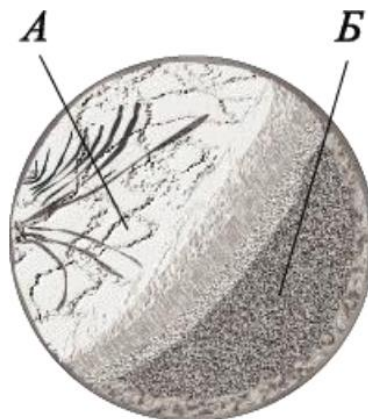


Рисунок 3.1 — Поверхня зламу при втомному руйнуванні [3]

Осередкове руйнування має локальний характер. У зонах підвищеної напруги, через конструктивні, технологічні або структурні фактори, може утворитися мікротріщина. З повторною зміною напруги кристали, розташовані в зоні тріщини, починають руйнуватися, і тріщина проникає всередину тіла.

Прилеглі поверхні в зоні тріщини взаємодіють шляхом контакту, внаслідок чого кристали зношуються, а поверхні набувають вигляду дрібнозернистої структури.

Важливо розуміти, що границя витривалості не є просто характеристикою властивостей матеріалу, наприклад, модуля пружності. Напруження, яке розраховується для зразка, не повністю визначає процес руйнування від втоми. Через утворення тріщини величина напружень та закони їх розподілу у зразку безперервно змінюються, залежно від умов подальшого розвитку тріщини. Ці умови, своєю чергою, залежать від абсолютних розмірів зразка, характеру прикладення зовнішніх сил та якості поверхні деталі. Усе це неминуче впливає на граничну кількість циклів та значення границі витривалості.

Герметичність з'єднань визначає їх здатність утримувати витік газу або рідини. В результаті досліджень було встановлено, що герметичність з'єднань знаходиться поряд з геометрією ущільнення, фізико-механічними властивостями його матеріалу та факторами зовнішнього впливу, також залежить від параметрів шорсткості, хвилястості, макроскопічних відхилень та наклепу контактних поверхонь.

Контактна жорсткість визначає здатність поверхових шарів деталей, що контактують, протистояти дії сил, що прагнуть їх деформувати. Контактна жорсткість суттєво впливає на точність роботи механізмів, точність установки деталей у верстатах та пристроях, точність обробки деталей і, як наслідок, на якість виробів машинобудування.

4.3 Висновки за розділом 4

Отже, надійність виробу базується на надійності компонентів та систем, що його складають, а надійність останніх визначається їх якістю. Таким чином, питання якості та надійності деталей машин є ключовим у машинобудуванні.

Як було зазначено раніше, надійність проявляється у властивостях, які виявляються під час експлуатації виробу; відповідно, ми розглянемо якість поверхні стосовно забезпечення робочих властивостей деталей машин.

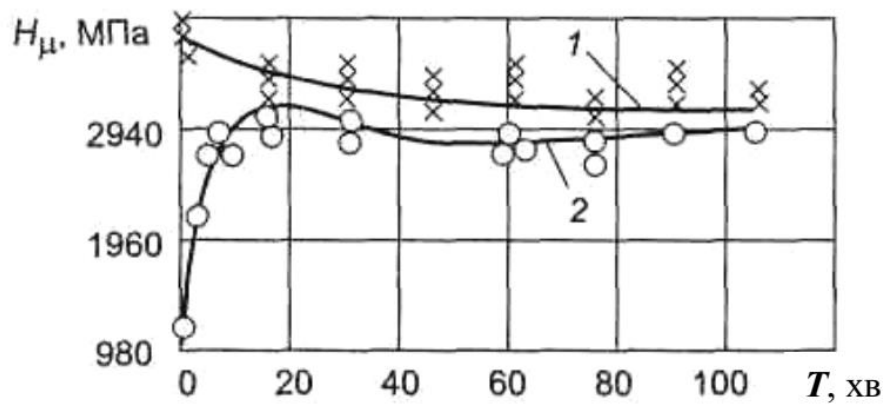
5. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

5.1. Аналіз впливу фізико-механічних властивостей поверхні

Стійкість до зношування, перш за все, визначається якістю поверхні деталей. Фізико-механічні властивості поверхневого шару, як-от твердість і залишкові напруження, глибина та ступінь наклепу, а також структурний стан металу, впливають на процеси тертя та зношування.

У випадках, коли мікротвердість поверхневого шару до початку процесу зношування невелика, а саме зношування відбувається під великими навантаженнями, мікротвердість зростає в процесі припрацювання, і тривалість припрацювання визначається інтенсивністю її збільшення (рис. 4.1).

Якщо, однак, мікротвердість металу поверхневого шару до зношування є достатньо високою, то період притирання залежить від інтенсивності зношування та пластичної деформації нерівностей на поверхні. Одночасно, внаслідок стирання найбільш твердого поверхневого шару, мікротвердість здатна зменшуватись до оптимального значення, при якому несуча здатність поверхні відповідає зовнішньому навантаженню. У цьому випадку досягнення оптимальної мікротвердості безпосередньо непов'язане з періодом притирання і може відбутися як до його завершення, так і в зоні стабільного зносу.



1 і 2 — поверхні з різною початковою мікротвердістю

Рисунок 4.1 — Зміна мікротвердості зразків із сталі 20 в процесі зносу [1]

Ефект позитивного впливу на зносостійкість поверхонь, що піддаються тертю, проявляється до певного початкового ступеня наклепу.

При подальшому збільшенні навантаження зони, що переклепалися і стали крихкими, метал відокремлюється від основної маси, починаючи прискорене зношування. Отже, зв'язок між зносостійкістю та глибиною і ступенем наклепу поверхневого шару не є однаковим: максимальне зниження зношування досягається після обробки з певними (оптимальними) значеннями ступеня (UH) і глибини наклепу (hN).

Для оптимізації поверхневого шару металу під час процесу обробки різанням в особливих зміцнювальних операціях, необхідно проводити ретельно відрегульовану механічну роботу, щоб уникнути появи надмірно загартованих поверхонь. Також принципово важливо розуміти, що наклеп – процес оборотний, тобто, зі збільшенням температури може статися зменшення або навіть повне усунення наклепу на поверхневому шарі металу. З огляду на це, наклеп може бути ефективним за певних умов зносу (наприклад, сухе тертя ковзання на високих швидкостях).

При проведенні зміцнювальної обробки відбувається не тільки загартування (збільшення твердості) поверхневого шару деталі, а й виникнення залишкових напружень. Зокрема, під час обробки різанням пластична деформація сприяє утворенню залишкових напружень стиску. На початковій стадії тертя деталей ці напруження, які є результатом попередньої обробки, є еластичними і звільняються під впливом поточних пластичних деформацій, одночасно на поверхневому шарі внаслідок тертя виникає залишкове

напруження стиску, яке залежить від умов тертя та пластичних властивостей металів, що труться, і не залежить від величини та знака залишкового напруження, створеного попередньою обробкою перед початком тертя. Під час тертя та зносу на поверхневому шарі металу відбувається інтенсивна пластична деформація, яка не може бути створена жодним видом обробки різанням. Природно, що пластична деформація повністю знімає залишкові напруження у поверхневому шарі, як і проявити свій вплив на знос деталей.

Розриви суцільності (дезінтеграція), які спричинили розвиток тріщин від втоми. Як показують результати численних досліджень, при наклепі поверхневого шару металу підвищення стійкості до втоми деталей машин, що працюють в умовах нормальної температури навколишнього середовища, може досягати 25-30%.

При високих температурах нагріву та циклічному навантаженні макрозалишкові напруження, не залежно від їх величини та знаку, практично не впливають на стійкість до втоми. Це пов'язано, перш за все, зі швидкою релаксацією залишкових напружень при нагріванні деталей.

Освіта зон різання під час різних методів механічної обробки за певних умов (інтенсивні режими різання, затуплення різального інструменту та закупорка стружкою високої твердості, недостатнє охолодження тощо) спричиняє структурні зміни у поверхневому шарі металу. При обробці металів, схильних до загартування, може виникнути часткове загартування поверхневого шару металу, а при обробці загартованих металів відбувається відпуск різного ступеня.

Структурні зміни у поверхневому шарі металу під час його механічної обробки є низкою причин зниження якості деталей. У зонах м'якого металу спостерігається знижена зносостійкість. Зазвичай, у зонах відпущеного металу виникають залишкові розтягуючі напруги, що зменшує стійкість деталей до втоми. У той же час, на межах ділянок зі зміненою структурою часто утворюються шліфувальні тріщини, які є зонами утомлювальних пошкоджень.

На стійкість до втоми впливає розмір зерна та межі зерен металу деталі. При міжзернистому руйнуванні межі зерен виконують роль бар'єрів, які перешкоджають поширенню тріщин втоми. Тому, дрібнозерниста структура має кращу опірність втоми, ніж крупнозерниста структура. У крупнозернистому металі тріщина поширюється на більшу відстань (пропорційно розміру зерна), ніж у дрібнозернистому. Проте, якщо термічна обробка, яка призводить до подрібнення зерна, знижує міцність межзерен, то поширенню тріщин через межі зерен полегшується, і переваги

дрібнозернистої структури порівняно з крупнозернистою структурою не спостерігаються.

Корозійна стійкість деталей визначається наступним на гладкій поверхні, після тонкої обробки (шліфування, полірування), утворюється більш щільна та однорідна оксидна плівка, яка захищає метал від корозії. При формуванні плівок на поверхні деталі важливою є відповідність кристалографічної структури металу та плівки. Швидкість корозії максимізується в структурних дефектах, в перехідних областях та на межах зерен.

Розмір зерна має незначний вплив на швидкість корозії. Лише у випадку міжкристалічної корозії збільшення розміру зерна збільшує швидкість корозії, оскільки загальна довжина межзерен, де відбувається локальне руйнування, стає меншою.

Деформація металу під час процесу нагрівання може викликати порушення цілісності плівок і, таким чином, збільшити швидкість корозії.

Найнебезпечнішою формою корозії є корозія під напругою в поєднанні з дією корозійного середовища та зовнішнім або внутрішнім розтягуючим напруженням. Встановлено, що внутрішні напруження розтягування зменшують, а стиснення збільшують корозійну стійкість сплавів під напругою. Причинами виникнення внутрішніх напружень під час механічної обробки є пластична деформація, нагрівання та фазові перетворення, що виникають у поверхневих шарах, а також насичення сталей воднем, що відбувається в кислотних середовищах. Корозія під напругою характеризується утворенням між кристалітних, транскристалітних та змішаних тріщин з розгалуженнями, напрямок яких перпендикулярний до напруження розтягу.

Отже, створення напруження стиснення в поверхневих шарах металів піскоструменевою обробкою або прокаткою з роликами, поверхневим загартуванням з струмами високої частоти або дробоструменевим обробленням, використання захисних покриттів підвищує корозійну стійкість сплавів. При поверхневому гартуванні або дробоструменевою обробкою на поверхні металу виникає стиснення, напруга, що ефективно запобігає корозії під напругою, за умови, що стиснуті шари залишаються неушкодженими та не пошкоджуються внаслідок загальної корозії.

5.2 Аналіз впливу фізико-хімічних властивостей поверхні

Фізико-хімічні властивості поверхні характеризуються наявністю на металевій поверхні різноманітних плівок, що міцно приєднані до базового металу. Працездатність поверхні визначається властивостями матеріалу, з якого виготовлена деталь, і хімічним складом поверхневого шару.

Конструкційні сталі мають високу стійкість до втоми і статичну міцність. Легування сталей з низьким і середнім вмістом вуглецю марганцем, нікелем, хромом, молібденом, ванадієм та іншими елементами призводить до збільшення межі міцності та сприяє циклічній міцності. У той же час поверхневий шар металу має високу активність, тому навколишнє середовище, що є активним на поверхні, впливає менше на процеси деформації та руйнування твердих тіл. Через фізичну адсорбцію поверхнево – активних речовин з навколишнього середовища значно знижується їх стійкість до деформації та руйнування. Ефект від хімічної спорідненості контактних поверхонь збільшує міцність.

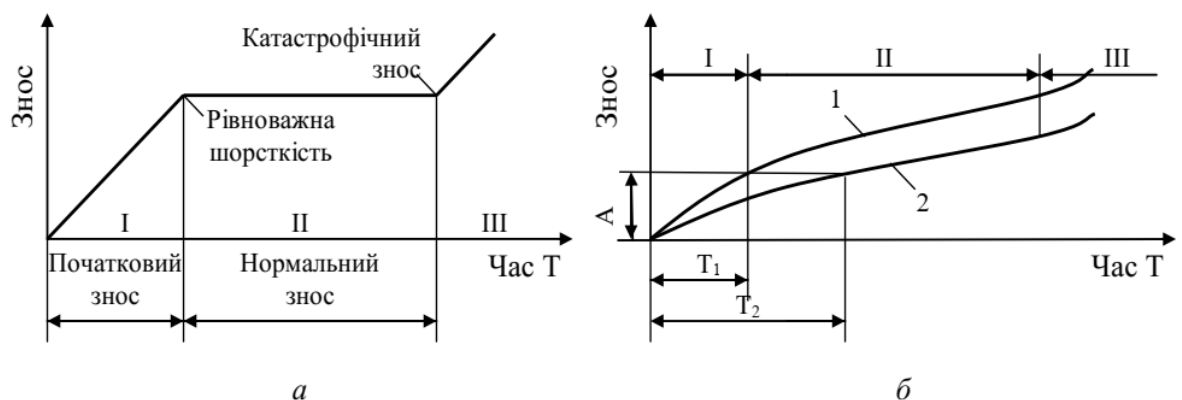
5.3. Аналіз впливу геометричних характеристик поверхні

Зношення і знос компонентів тісно пов'язані з макронерівностями, хвилями, мікронерівностями, а також напрямком обробки (слідами).

Коли контактні поверхні з мікронерівностями рухаються відносно одна одної, спочатку відбувається зсув, руйнування та пластичне зміщення піків нерівностей, оскільки їх контакт відбувається на піках нерівностей. Залежність зносу від тривалості роботи фрикційних поверхонь відображено на графіках (рис.4.2).

Спочатку первинний знос (припрацювання) відбувається відносно швидко (розділ I) протягом проміжку часу T_1 . За умови правильного режиму змащення знос триває повільно (розділ II) через утворення рівномірної шорсткості. Цей часовий період визначає термін служби компонента.

Катастрофічний знос пари характеризується розділом III.



а — загальна схема зносу; б — знос поверхонь з різними параметрами шорсткості

Рисунок 4.2 — Типові графіки зносу в часі

На рисунку 4.2, крива 2 зображує знос поверхонь з початковими мікронерівностями, меншими ніж крива 1. В цьому випадку, величина та час початкового зносу зменшуються, тоді як інтенсивність експлуатаційного зносу залишається тією ж. З меншою шорсткістю контактних поверхонь, термін служби деталей буде більшим ($T_2 > T_1$).

Коефіцієнт тертя пов'язаний з орієнтацією нерівностей та їх висотою. При поєднанні поверхонь з однаковою орієнтацією нерівностей та їх перпендикулярною орієнтацією до руху, коефіцієнт тертя досягає максимального значення. З перпендикулярною орієнтацією нерівностей поверхонь тертя, або з їх хаотичним розташуванням, що спостерігається при суперфінішуванні, коефіцієнт тертя мінімальний.

Як високі та гострі мікро-нерівності, так і достатньо гладкі, під впливом сил тертя прагнуть до певного проміжного значення. Очевидно, що високі та гострі мікро-нерівності згладжуються під впливом напружень, що виникають на виступах.

Причини, що ведуть до руйнування гладких поверхонь, які мають гладкі мікро-нерівності, пов'язані з низькою швидкістю відновлення захисної плівки та її швидким зносом на гладких поверхнях. Саме цим пояснюється неможливість існування поверхонь, які мають високу гладкість, тобто великі плями контакту.

Процес формування рівноважної шорсткості схематично показано на малюнку 4.3. Зліва показано контакт ідеально гладких поверхонь. У процесі тертя мікро-задири, що виникають, поступово згладжуються, а нерівності досягають рівноважної конфігурації.

Дуже високі та гострі виступи, показані у правій частині графіка, поступово згладжуються і також досягають рівноважної шорсткості.

Якщо, в останньому випадку (права частина кривої), перебіг процесу залежатиме від механічних властивостей тіл (твердості, межі).

За умови зниження плинності, коли порушується захисна функція плівки (ліва частина кривої), це стає наслідком молекулярних та атомних особливостей, енергії поверхні, хімічної спорідненості та, переважно, дефіциту газу чи рідини, який виникає через звуження зазору.

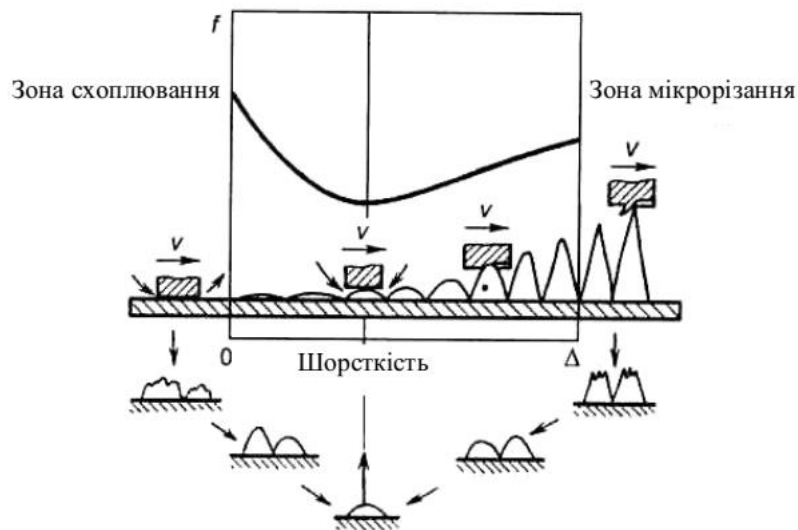


Рисунок 4.3 — Схема формування рівноважної шорсткості

Шорсткість початкова (мікрорельєф технології), що визначається технологією виготовлення компонентів, впливає лише на зношування сполучень, головним чином через процес притирання (running-in). Притирання розуміється як зміна мікрогеометрії поверхонь тертя та фізико-механічних властивостей поверхневого шару матеріалу в початковий період тертя, що зазвичай проявляється в сталих зовнішніх умовах, як зменшення сили тертя, температури та інтенсивності зносу. Рівномірна шорсткість для стабільного процесу відповідає мінімальному значенню сили тертя за інших незмінних умов. У процесі притирання початковий мікрорельєф (технологічний) перетворюється на робочий (малюнок 4.4).

Підвищення початкового зносу протягом періоду притирання, в деяких Розрив захисного шару оксиду на металі, що супроводжується молекулярними зв'язками між зіткненими частинами металу, та виникненням точок адгезії.

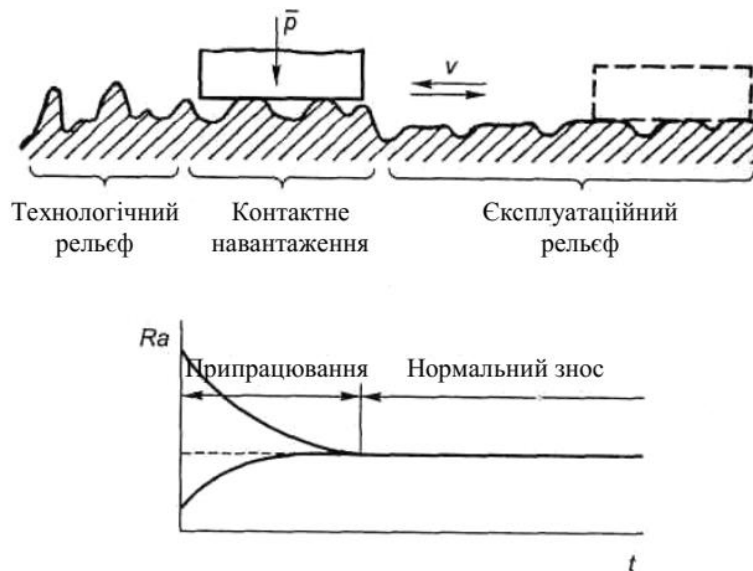
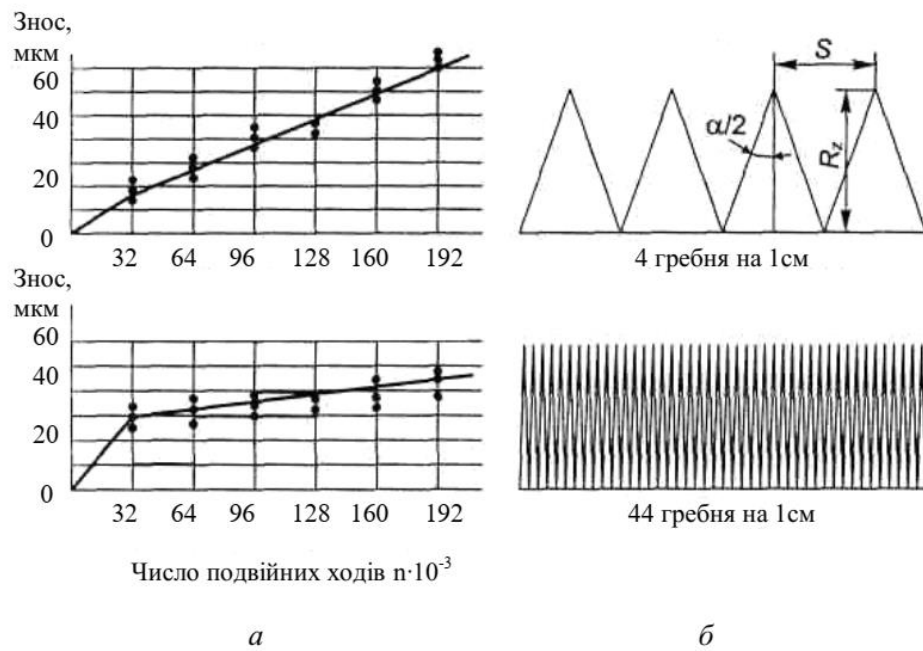


Рисунок 4.4 — Схема трансформації технологічного мікрорельєфу поверхні в експлуатаційний

При дослідженні відмінностей у характеристиках шорсткості поверхні, важливо зазначити, що висота мікрощорсткості поверхні має складний вплив на інтенсивність зношування. При дуже малих значеннях R_z , створюються сприятливі умови для захоплення та інтенсивної молекулярно-механічної взаємодії. Зі збільшенням висоти мікрощорсткості, пропорція молекулярного компонента сил тертя зменшується, але механічний компонент збільшується. У результаті, зі збільшенням R_z , зношування поверхні зростає. При великих значеннях висоти мікрощорсткості та відносно низької твердості з протилежної поверхні, зношування може набувати абразивного характеру. Шорсткість та нерівність поверхні для процесу зношування не обмежуються впливом висоти нерівностей та фактичною площею контакту, але також пов'язані з кроком і формою нерівностей. На рисунку 4.5b, форми показані різниці двох зразків зі схожою висотою та конфігурацією підтримувальних поверхонь, а також на рисунку 4.5a – криві зносу цих зразків. Великими кроками досягло 60 мкм. Крім того, у зразках з



а — криві зносу поверхонь; б — поверхні з різною формою нерівностей при однакових висотних параметрах [1]

Рисунок 4.5 — Знос поверхонь з різною формою мікронерівностей

терміном" оптимальна мікроскопічна геометрія" слід розуміти: оптимальні значення всіх характеристик мікроскопічної геометрії (висота нерівностей, відстань між ними та їх форма (радіус западин, радіус виступів, кут нерівностей тощо)).

Наприклад, розглядається складне явище, яке описує особливості шорсткої поверхні та її вплив на зносостійкість. Щоб врахувати таке явище, доцільно застосовувати формулу

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{\rho \cdot b^{1/\gamma}},$$

де $R_{\max}$ — найбільша висота нерівностей профілю, мкм;

ρ — радіус закруглення вершин нерівностей, мкм;

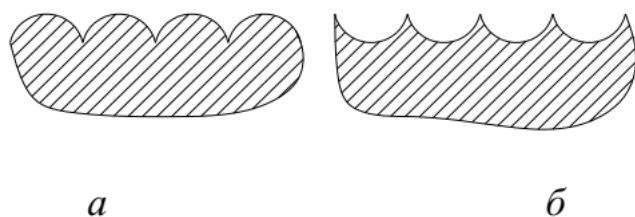
b і γ — параметри кривої опорної поверхні.

Під час процесу зношування, попри значну варіабельність індивідуальних мікрогеометричних особливостей, спостерігається монотонне зменшення

комплексного Δ . Відповідно, нормалізація визначення оптимальних параметрів шорсткості поверхні дозволяє зменшити знос деталей в експлуатації.

Розглядаючи вплив мікрогеометрії на межу втоми деталей машин, необхідно враховувати, що мікрозаглиблення поверхні є концентраторами напружень.

З цієї точки зору, особливо небезпечними є глибокі заглиблення з малим радіусом кривизни дна (рис. 4.6a). Такі заглиблення функціонують як найсильніші концентратори напружень, що значно зменшує межу втоми. Заглиблення мікронерівностей з заокругленою формою дна (рис. 4.6b), навпаки, збільшують межу втоми. Шорсткість поверхні суттєво впливає на



a — западини мікрорельєфу з малим радіусом закруглення дна;

б — западини із заокругленою формою дна

Рисунок 4.6 — Профілі поверхонь, що мають різну форму мікронерівностей:

опірність.

Втомлення значною мірою залежить від шорсткості поверхонь. На поверхні деталі, що знаходиться під дією повторюваних та змінних навантажень, окремі дефекти та нерівності сприяють концентрації напружень, що може перевищити межу міцності металу. У цьому випадку дефекти поверхні та сліди обробки слугують джерелом виникнення субмікроскопічних порушень цілісності поверхневого шару. Експериментальні графіки (рисунок 4.7) вказують на те, що для з'єднання в колекторних підсилювальних машин залежить від висоти неоднорідностей поверхонь, кроку неоднорідностей, довжини профілю підтримки, взаємного розташування слідів обробки та інших факторів.

Наприклад, коли сліди обробки перпендикулярні, жорсткість з'єднання максимальна. Пластична деформація при контакті зменшується зі збільшенням відносної довжини профілю підтримки та зі зменшенням шорсткості. У герметичних з'єднаннях, разом з геометрією прокладки,

фізико-механічними властивостями матеріалу та зовнішніми факторами, залежить і відстань у поверхонь контакту: параметрів шорсткості Ra , хвилястості Wz і макровідхилення H_{max} .

Таблиця 4.1 — Можливості методів обробки поверхонь обертання

Метод обробки	Параметри стану поверхневого шару					
	Обробка зовнішніх поверхонь обертання			Обробка внутрішніх поверхонь обертання		
	Ra , мкм	Wz , мкм	H_{max} , мкм	Ra , мкм	Wz , мкм	H_{max} , мкм
Точіння	0,80-2,50	1,60-4,00	40,00-100,00	0,80-2,00	2,50-6,25	20,00-80,00
Шліфування	0,20-1,25	0,50-4,00	10,00-40,00	0,32-1,60	1,25-6,25	10,00-40,00
Обкатування	0,05-1,00	0,40-2,50	6,00-40,00	0,05-0,32	1,60-5,00	5,00-40,00

Малюнок 4.8 демонструє графічно щільність з'єднання, представлену витоком Q , в залежності від шорсткості поверхні R а для різних методів обробки поверхні (точіння, шліфування, вальцювання) на обертових поверхнях.

На основі аналізу графіків встановлено, що з методами формування поверхні витік зменшується, тобто щільність зростає, в 1,3 - 1,7 разів у порівнянні з алмазним обробленням. Шорсткі методи покращують стан поверхневого шару, що позитивно впливає на роботу машин за аналогічних умов експлуатації.

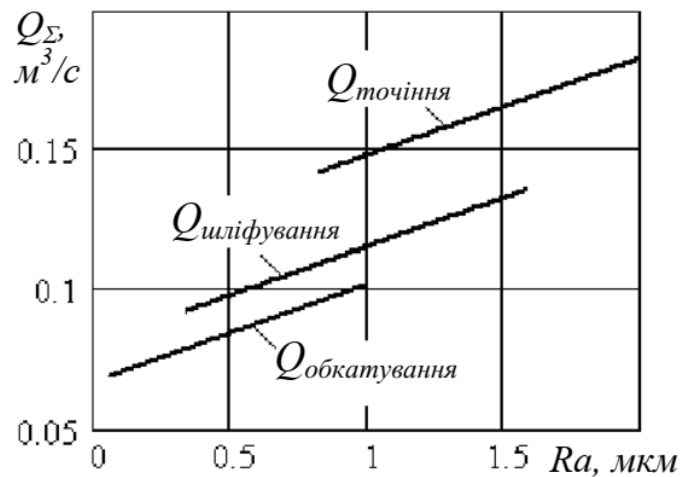


Рисунок 4.8 — Графіки залежності витoku від шорсткості поверхні при різних методах обробки поверхонь [2]

Точність з'єднання, що визначається кресленнями та зазором у з'єднанні, сильно залежить від шорсткості поверхонь контакту.

Як уже згадувалося, на початковому етапі зношування висота нерівностей може зменшитися на 65% – 75%.

У випадку з дрібними деталями та шорсткістю поверхонь $Rz=3\text{--}10$ мкм подвійна висота нерівностей $2 Rz$ дорівнює діапазону допуску виготовлення деталі. Це означає, що в процесі початкового зношування поверхонь надлишковий зазор у з'єднанні може досягти значення допуску виготовлення деталі, і точність з'єднання буде повністю порушена. Замість з'єднання сьомого класу точності, визначеного кресленням, фактично виникає з'єднання восьмого або дев'ятого класу, змінюється характер посадки, і т. д. Щоб запобігти цьому, необхідно у критичних з'єднаннях, від яких вимагається довготривале збереження точності, визначеної проектувальником, досягати мінімальної шорсткості поверхонь тертя при виготовленні деталей. Рекомендовано визначити необхідну шорсткість, виходячи з бажаної точності спроектованого з'єднання, обчисливши за наступними формулами: за умови, що діаметр з'єднання перевищує 50 мм:

$$R_z = (0,10 - 0,15) T;$$

при діаметрі сполучення від 18 до 50 мм:

$$R_z = (0,15 - 0,20) T;$$

при діаметрі сполучення менше 18 мм:

$$R_z = (0,20 - 0,25) T,$$

Сила прес-з'єднання безпосередньо пов'язана з шорсткістю з'єднаних поверхонь. З підвищенням висоти нерівностей поверхні сила прес-з'єднання зменшується. Наприклад, сила прес-з'єднання втулки колісної осі із валом при нерівностях висотою 36,5 мікрометра виявилася на 40% нижчою порівняно з подібним з'єднанням, що має нерівності висотою 18 мікрометрів (хоча напруга в другому з'єднанні була на 15% нижчою).

Шорсткість поверхні також впливає на якість покриття. Параметри нерівностей щодо тонких покриттів залежать від нерівностей основної поверхні. При нанесенні покриття на поверхню з дуже низькими нерівностями може спостерігатись зниження адгезії покриття до металу, що може спричинити його відшарування. Щоб забезпечити якість покриття...

При встановленні стандартів шорсткості поверхонь, які є частинами з'єднання, важливо враховувати, що експлуатаційні характеристики з'єднання залежать не лише від шорсткості кожної з деталей, але й від їхньої комбінованої взаємодії. Наприклад, для покращення контактної жорсткості обидві дотичні поверхні повинні мати приблизно однакову шорсткість. У певних ситуаціях існують вимоги до орієнтації нерівностей поверхні. Наприклад, найменший коефіцієнт тертя та зношування частин досягається, коли напрямок руху не паралельний напрямку нерівностей, особливо якщо цей напрямок хаотичний. Нерівності з хаотичним напрямком виникають під час процесів суперфінішної обробки та хонінгування.

Під час вибору числових значень параметрів шорсткості поверхні слід враховувати, що експлуатаційна шорсткість зазвичай відрізняється від тієї,

що утворюється в процесі технологічної обробки. Вибрана шорсткість зазвичай не повинна сильно відрізнятися від експлуатаційної.

Зносостійкість, втомна міцність, контактна жорсткість, герметичність з'єднання та інші експлуатаційні характеристики компонентів машини суттєво залежать від хімічного складу і структури матеріалу, а також параметрів мікротвердості і шорсткості поверхні, які зрештою визначаються технологією виготовлення.

5.4 Дослідження якості поверхонь деталей машин

У дослідженні були перевірені болти для шатунів діаметром 10 мм, які використовуються в двигуні ЗМЗ-406 (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 — Шатунні болти для дослідження

Шорсткість і профіль поверхні дослідних зразків вимірювали за допомогою профілографа-профілометра TR-200 (див. рисунок 4.10), при цьому дані безпосередньо передавалися на комп'ютер для систематизації. Похибка вимірювання середнього арифметичного значення відхилень профілю R_a не перевищує 10%, з повторюваністю значення, яке не більше 6%, і діапазоном вимірювань від 0,005 до 16 мікрометрів. Також визначалися наступні параметри: висота нерівностей профілю на десяти точках R_z , середній крок нерівностей профілю S_m та відносна довжина опори профілю t_p .

Вимірювання проводили при кімнатній температурі і вологості не більше 90%. Отримані в експерименті дані потім систематизували і обчислювали середні значення параметрів шорсткості (таблиця 4.2).

Інтерфейс профілографа-профілометра TR-200, підключеного до комп'ютера, та визначені характеристики проілюстровані на рисунку 4.11.

Таблиця 4.2 — Результати вимірювання шорсткості

№ п/п	Ra^{cp} , (мкм)	Rz^{cp} , (мкм)	S^{cp} , (мм)	Sm^{cp} , (мм)	t_{50}^{cp} , (%)
1	1,460	6,079	0,049	0,074	63,625
2	0,526	2,382	0,041	0,061	55,967
3	0,376	1,663	0,071	0,101	90,233
4	0,647	2,944	0,041	0,065	68,467
5	0,554	2,671	0,037	0,062	73,333
6	0,398	1,600	0,063	0,036	83,800
7	0,644	2,712	0,040	0,067	45,400
8	0,340	1,528	0,050	0,088	81,700
9	0,530	2,598	0,037	0,056	68,033
10	0,339	1,534	0,050	0,084	75,100



Рисунок 4.10 — Профілограф-профілометр TR-200

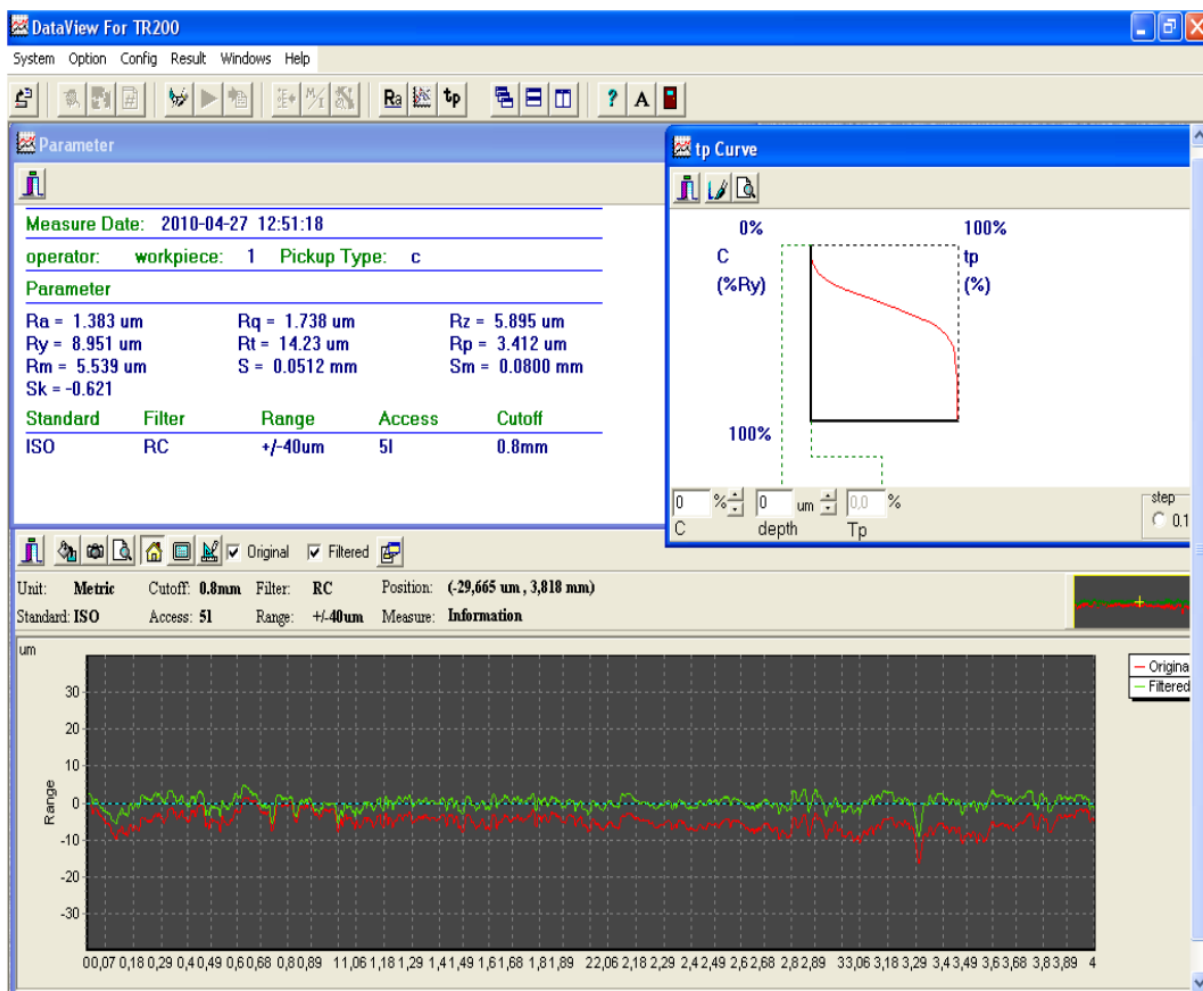


Рисунок 4.11 — Приклад інтерфейсу профілографа-профілометра TR-200, з'єднаного з ПК

Для визначення макродевіацій на поверхні болта використовується точний мікрометр з електронним зчитувальним пристроєм моделі МКС (5) -50, який має похибку вимірювання 0,002 мм. Вимірювання геометричних параметрів здійснюються на трьох поперечних перерізах болта та в двох взаємно перпендикулярних площинах. Схема вимірювання представлена на малюнку 4.13.



Рисунок 4.12 — мікрометр гладкий мод. МКЦ(5)-50

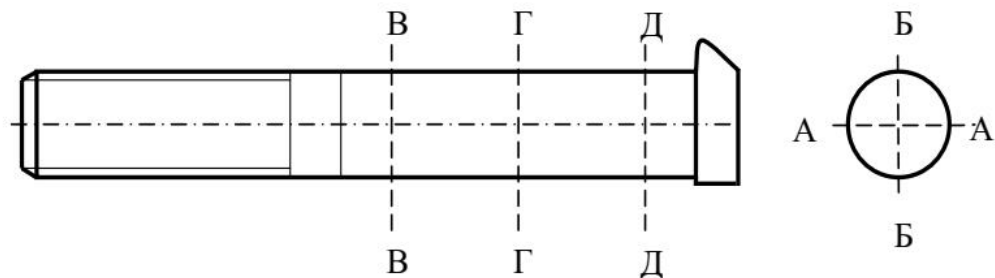


Рисунок 4.13 – Схема вимірювання болтів

Після аналізу отриманих даних ми дійшли точних висновків щодо відхилень форми (таблиця 4.3). Кількісна оцінка цих відхилень визначалася за допомогою наступної формули:

$$\Delta = \frac{d_{r\max} - d_{r\min}}{2},$$

де $d_{r\max}$ — найбільший реальний розмір поверхні;

$d_{r\min}$ — найменший реальний розмір поверхні.

Таблиця 4.3 — Результати вимірювань макрогеометрії болтів

№ п/п	(В-В) ^А	(В-В) ^В	(Г-Г) ^А	(Г-Г) ^В	(Д-Д) ^А	(Д-Д) ^В	Відхилення форми
1	9,979	9,983	9,972	9,978	9,980	9,980	Сідлоподібність $\Delta=0,004$
2	10,000	10,001	9,995	9,979	10,000	10,001	Сідлоподібність $\Delta=0,011$
3	10,124	10,148	10,104	10,133	10,118	10,139	Сідлоподібність $\Delta=0,010$
4	10,103	10,088	10,082	10,085	10,077	10,112	Сідлоподібність $\Delta=0,013$
5	9,980	9,988	9,985	9,988	9,988	9,989	Конусоподібність $\Delta=0,004$
6	10,119	10,141	10,100	10,121	10,138	10,135	Сідлоподібність $\Delta=0,019$
7	9,990	9,990	9,989	9,989	9,986	9,987	Конусоподібність $\Delta=0,002$
8	10,121	10,143	10,106	10,135	10,116	10,136	Сідлоподібність $\Delta=0,008$
9	9,998	9,999	9,992	9,994	10,003	10,002	Сідлоподібність $\Delta=0,003$
10	10,124	10,142	10,000	10,115	10,123	10,137	Сідлоподібність $\Delta=0,062$

Щоб визначити мікротвердість поверхні, використовується мікротвердомір РМТ-3. Інструмент для інденсації — алмазний наконечник у формі піраміди з квадратною основою та кутом вершини 136 ° (індентор Вікерса).

Для оцінки твердості поверхневого шару, навантаження на індентор варіюється (від 50 г до 200 г). Після зняття навантаження вимірюється довжина діагоналі d відбитка, і значення мікротвердості обчислюється за наступною формулою:

$$H = 1854 P/d^2,$$

де P — величина прикладеного навантаження, в гс;

d — діагональ відбитка, мкм.

Отримані дані систематизуються та обробляються за допомогою математичних статистичних методів у середовищі Microsoft Excel.

Середнє значення мікротвердості розраховується для всіх зразків (таблиця 4.4)

Таблиця 4.4 — Результати вимірювання мікротвердості

Зразок, № п/п	Навантаження на індентор, г	Глибина проникнення індентора, мкм	Значення мікротвердості поверхні, кгс/мм ²	H_{cp}
1	200	5,43	256,97	371,80
2	200	3,88	502,3	
3	200	5,38	260,98	
4	200	4,91	313,47	
5	200	4,42	388,1	
6	200	5,32	267,18	
7	200	4,85	322,34	
8	200	4,69	344,31	
9	200	4,41	389,02	
10	200	3,36	673,34	

Після дослідження з'єднувальних стрижневих болтів, описаного вище, деякі з них (2, 4, 5, 7, 8, 9) зазнали поверхневого загартування шляхом іонного бомбардування. Відтак було повторно проведено вимірювання шорсткості поверхні (таблиця 4.5) та мікротвердість (таблиця 4.6).

Таблиця 4.5 — Параметри шорсткості болтів після ІБ

№ п/п	Ra^{cp} , (мкм)	Rz^{cp} , (мкм)	S^{cp} , (мм)	Sm^{cp} , (мм)	t_{50} , (%)
2	0,531	2,520	0,038	0,066	72,033
4	0,742	2,982	0,0505	0,0762	69,800
5	0,581	2,814	0,036	0,056	71,900
7	0,543	2,756	0,036	0,0551	79,433
8	0,411	1,493	0,072	0,1414	54,367
9	0,618	2,727	0,043	0,077	59,633

Таблиця 4.6 — Значення мікротвердості болтів після ІБ

Зразок, №п/п	Значення мікротвердості поверхні, кгс/мм ²		Зміна мікротвердості порівняно з вихідним станом поверхні, %
	Навантаження на індентор 200 г	Навантаження на індентор 50 г	
2	509,14	514,72	+2,47
4	274,15	289,53	-12,54
5	390,88	408,18	+0,72
7	324,44	333,05	+0,65
8	283,69	286,01	-17,66
9	395,57	404,24	+1,68

5.5 Висновки за розділом 5

У результатах дослідження якості поверхні болтів поршневого штока ми отримали дані про стан їхнього покриття. Важливо зазначити, що жоден з вивчених болтів не був раніше використаний.

Аналіз цих результатів показав, що індикатори вказують на значну варіацію даних: у цій вибірці є болти з різним рівнем якості, що певно вплине на їхню надійність.

За допомогою обробки поверхні методом іонного бомбардування вдалося зменшити варіацію розмірів шорсткості, проте для мікротвердості— шар зміцнення занадто тонкий, щоб істотно вплинути на загальну твердість. Тому прогнозується, що болти під номерами 1, 3, 4, 6, 7 та 8 мають нижчі показники міцності й можуть вийти з ладу швидше під час експлуатації порівняно з іншими. Їхня форма, схожа на сідло, також може прискорити пошкодження.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи «Методи та засоби вимірювання характеристик поверхні деталей на машинобудівних підприємствах» були отримані наступні висновки:

1. Якість поверхні компонентів машини визначається фізико-механічними, фізико-хімічними характеристиками та геометрією поверхні. Ці характеристики залежать від властивостей матеріалу і технології виготовлення компонентів, а також можуть змінюватися під час обробки поверхні та в процесі експлуатації виробу.
2. Експлуатаційні властивості машинних компонентів значною мірою залежать від стану їх поверхневого шару. Надійність продукту під час використання тісно пов'язана з такими характеристиками поверхневого шару, як твердість і залишкові напруження, стан металевої структури, наявність захисного шару або спеціального покриття, а також висота та форма нерівностей профілю. Тому важливо досягти оптимального поєднання показників якості поверхні під час виготовлення компонентів.
3. У дослідженні болтів шатунного механізму було вибрано прилади для визначення характеристик поверхні, таких як шорсткість, профіль, макровідхилення та мікротвердість. Шорсткість і профіль поверхні зразків вимірювали за допомогою профілографа-профілометра TR-200, дані з якого напряму передавалися на комп'ютер для систематизації. Було встановлено, що середня похибка вимірювання арифметичного значення абсолютного відхилення профілю R_a не перевищує 10%, з максимальною невизначеністю відтворення 6%, і діапазон вимірювання становить від 0,005 мкм до 16 мкм.

Для визначення макровідхилень поверхні болтів використовували мікрометр із електронним пристроєм для зчитування типу МКС(5)-50 з похибкою вимірювання 0,002 мм. На основі аналізу отриманих даних можна зробити висновки про відхилення форми та дати кількісну оцінку цих відхилень.

Вимірювання мікротвердості поверхні здійснювалося за допомогою мікротвердоміра РМТ-3. Використовувався алмазний індентційний наконечник. Піраміда з основою у формі квадрата має кут на вершині 136 градусів (індентор Віккерса).

Отримані дані були систематизовані та оброблені за допомогою математичних статистичних методів у середовищі Microsoft Excel.

Дослідження болтів шатунів виявило, що початковий стан якості поверхні демонструє значну варіацію значень, що, безсумнівно, вплине на їхню надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Боженко Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні: Посібник. Львів: Світ, 2003. 327 с.

Гаврилук В.І. Стандартизація, якість і сертифікація продукції. Львів: ЛДАУ, 2001. 118 с.

Бивалькевич Л.М., Люлька В.С. Основи надійності і довговічності транспортних машин: навчально-методичний посібник з практичних робіт. Для студентів технологічного факультету. – Чернігів: НУЧК ім. Т.Г. Шевченка, 2019. – 120 с.

Барнік М.А., Афтаназів І.С., Сівак Ш.О. Технологічні методи забезпечення надійності деталей машин. – К.: 2004 – 148 с.

Зенкін М.А., Піпа Б.Ф. Методи підвищення надійності та довговічності деталей та вузлів машин легкої промисловості. К.: КНУДТД, 2004. – 264 с.

Болтянська Н.І. Надійність технологічних систем: Посібник-практикум. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 162 с.

Запара Є.С. Надійність машин і комплексів: конспект лекцій. Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 99 с

Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. 320 с.

Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Кваліметрія: навчальний посібник. Київ : Прінтеко, 2022. 201 с.

Новицький А.В., Ружи́ло З.В., Банний О.О., Бистрий О.М., Сиволапов В.А. Надійність машин та обладнання. Частина 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання. К.: НУБіПУ, 2023. 209 с.

Skoblo T. S., Romaniuk S. P., Sidashenko A. I., Garkusha I. E., Taran V. S., Taran A. V., Demchenko S. V. Study of degradation mechanism of metal-cutting

tools and their hardening by ZrN PVD coatings. Problems atomic sci. and techn. Ser. Plasma Physic. 2018. №. 6. P. 300–303.

Бондаренко С.Г. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навч. посібник. - Львів: Магнолія. - 2006.- 500с.

ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення. Держстандарт України. Київ.

ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.

ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення.

ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. Держстандарт України. Київ.

ДСТУ 2498-94: Основні норми взаємозамінюваності. Допуски форми і розташування поверхонь. Основні терміни і визначення.

ДСТУ 2413-94: Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення.