

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни «Стандартизація, метрологія,
контроль якості продукції» для студентів спеціальності

6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття
денної форми навчання

Бібл. № 5821е

2015

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Стандартизація, метрологія, контроль якості продукції» для студентів спеціальності 6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття денної форми навчання / Укл. В.М. Плєскач – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 50 с.

Укладач: В.М. Плєскач, доц., к.т.н.

Рецензент: О.А. Мітяєв, проф., д.т.н.

Експерт: В.О. Савченко, к.т.н.

Відповідальний за випуск: І.П. Волчок, проф., д.т.н.

Затверджено на засіданні
навчально- методичної
ради фізико- технічного
інституту, протокол № 1
від 30.09.15 р.

Затверджено на засіданні
кафедри композиційних
матеріалів і технологій,
протокол № 2 від 04.09.15 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Універсальні засоби вимірювання лінійних розмірів	5
Лабораторна робота № 2. Визначення похибок вимірювання лінійних розмірів.....	12
Лабораторна робота № 3. Статистичне оброблення результатів вимірювання лінійних розмірів.....	16
Лабораторна робота № 4. Електричні вимірювання та оброблення результатів вимірювання.....	21
Лабораторна робота № 5. Призначення посадок для вузлів тертя.....	27
Лабораторна робота № 6. Призначення посадок для пари «пуансон – матриця».....	35
Лабораторна робота № 7. Оцінка дефектів порошкового виробу.....	40
Література.....	46
Додаток А. Коефіцієнт Стюдента t_p	48
Додаток Б. Верхні (ES) і нижні (EI) граничні відхилення отворів, мкм.....	49
Додаток В. Верхні (es) і нижні (ei) граничні відхилення валів, мкм.....	49

ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Стандартизація, метрологія, контроль якості продукції» для студентів спеціальності 6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях. Вони сприяють їх засвоєнню та набуттю практичних навичок використання правил і рекомендацій дисципліни для проектування окремих вузлів конструкцій та контролю якості продукції. При виконанні лабораторних робіт студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі чинних стандартів та оцінювати результат вимірювання згідно з вимогами метрології.

При виконанні лабораторних робіт студенти також знайомляться з будовою, принципами дії і правильним використанням обладнання та інструментів, що застосовуються для вимірювання; самостійно (або під керівництвом навчального майстра) готують їх до роботи, проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Кожна лабораторна робота (крім лабораторної роботи № 4) розрахована на двогодинне заняття. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань рекомендується проводити шляхом тестування або співбесіди.

Лабораторна робота № 1

УНІВЕРСАЛЬНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією і способами використання універсальних засобів вимірювання лінійних розмірів; оцінити досягну точність вимірювання кожного із засобів вимірювання.

1.2 Загальні відомості

Засобами вимірювання називаються технічні засоби, які призначені для вимірювання і мають нормовані метрологічні характеристики, що відтворюють і зберігають одиниці певної фізичної величини.

Засоби вимірювання мають такі основні складові елементи.

Чутливий елемент засобу вимірювання – частина першого у вимірювальному ланцюгу перетворюючого елемента, який знаходиться під безпосередньою дією вимірюваної величини або у контакті з нею.

Вимірювальний механізм – частина конструкції засобу вимірювання, що складається з елементів, взаємодія яких викликає їх взаємне переміщення пропорційно до вимірюваної величини.

Перетворювальний **елемент** – елемент засобу вимірювання, в якому відбувається одне з низки послідовних перетворень вимірюваної величини.

Відліковий елемент – частина конструкції засобу вимірювання, яка призначена для відліку вимірюваної величини.

Типовим відліковим елементом більшості засобів вимірювання є **шкала**. Шкала (рис. 1.1) обмежується початковим і кінцевим значенням. Між ними розташовуються *позначки шкали* у вигляді рисок або точок. Відстань між осями (центрами) двох сусідніх поділок становить *довжину поділки* шкали. У засобів вимірювання лінійних розмірів шкала, як правило, має рівномірне градуювання, і довжина всіх поділок шкали однакова. Для засобу вимірювання важлива *ціна поділки* шкали – різниця значень величин, які відповідають двом сусіднім позначкам шкали.

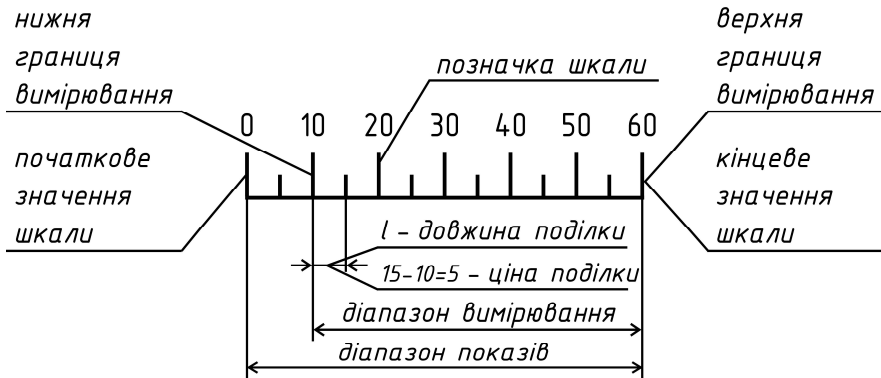


Рисунок 1.1 - Структура шкали засобу вимірювання

Область значень шкали, обмежена її початковим і кінцевим значеннями, називається *діапазоном показів* шкали. У його межах знаходиться *діапазон вимірювання*. *Діапазон вимірювання* – це область значень вимірюваної величини, у межах якої здійснюється вимірювання. Діапазон показів шкали може співпадати з діапазоном вимірювання, якщо нижня границя вимірювання співпадає з початковим значенням шкали. Якщо нижня границя вимірювання співпадає з поділкою шкали M , діапазон вимірювання менше діапазону показів на величину M , оскільки кінцеве значення шкали і верхня границя вимірювання завжди співпадають.

Відлік показів засобу вимірювання виконують згідно з рівнянням:

$$L = M + \sum_{i=1}^k n_k i_k + m_{k+1} i_{k+1}, \quad (1.1)$$

де L – значення відліку; M – різниця між початковим значенням шкали і нижньою границею вимірювання; n – число цілих поділок шкали, починаючи від нижньої границі вимірювання; k – номер останньої цілої поділки шкали; m_{k+1} – частка $(k+1)$ -ої найменшої поділки шкали, оцінена візуально; i_{k+1} – ціна $(k+1)$ -ої найменшої поділки шкали.

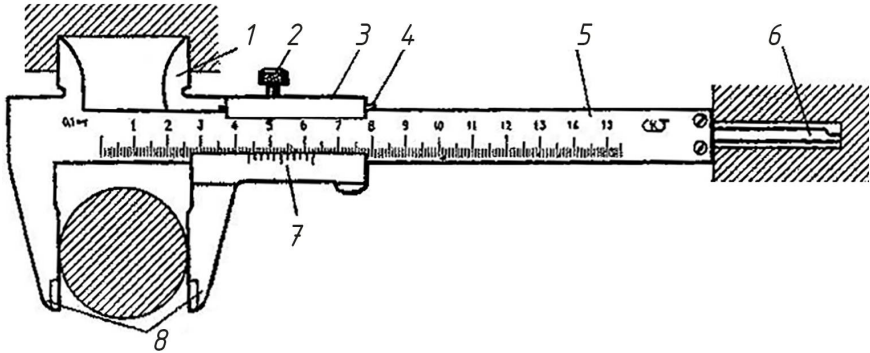
Важливими характеристиками вимірювальних приладів є їх чутливість і точність. *Чутливістю* приладу називають відношення переміщення показника приладу до зміни вимірюваної величини, яка викликала його. Переміщення звичайно вимірюють у поділках рівномірної шкали приладу. *Точність* засобів вимірювання визначається можливою похибкою вимірювання цим приладом. У більшості випадків шкала приладів градується таким чином, щоб ціна найменшої поділки шкали дещо перевищувала максимальну похибку градування. Точність приладу, як правило, вказується у його паспорті або на його шкалі.

За конструктивним виконанням практично всі засоби вимірювання лінійних розмірів відносяться до класу «міри». *Міра* – засіб вимірювання, призначений для відтворення і (або) зберігання фізичної величини заданого розміру. Найпоширенішими універсальними засобами вимірювання лінійних розмірів є вимірювальна лінійка, штангенциркуль та мікрометр.

Лінійка вимірювальна металева становить гнучку сталеву полосу з нанесеною на неї прямою шкалою з ціною поділки 1 мм. Лінійки виготовляють зі шкалою від 0 до 150, від 0 до 500 і від 0 до 1000 мм. Початком шкали є площа торця полоси. Торець розташований перпендикулярно до поздовжнього ребра полоси. Середина нульового штриха шкали співпадає з торцем лінійки. Всі штрихи розташовані на поздовжній стороні лінійки. Кожний 5-й і 10-й штрихи шкали видовжені; біля кожного 10-го штриха розташована цифра, яка показує відстань в сантиметрах від початку шкали до цього штриха.

Штангенциркуль (рис. 1.2) – це металева лінійка з міліметровою основною шкалою. По лінійці рухається обойма з вікном, яке дозволяє бачити основну шкалу. На нижній бік вікна обойми нанесена допоміжна шкала – ноніус. Ноніус дозволяє відлічувати частки поділки основної шкали штангенциркуля. Ноніус штангенциркуля звичайно має ціну поділки 0,1 або 0,05 мм. До обойми прикріплена лінійка глибиноміра. Штангенциркуль має губки для зовнішніх і внутрішніх вимірювань.

При вимірюванні зовнішнього розміру вимірюваний предмет затискається між губками, і його розмір відлічується по основній



- 1 – губки для внутрішніх вимірювань; 2 – затискач; 3 – обойма;
 4 – плоска пружина; 5 – металева лінійка; 6 – лінійка глибиноміра;
 7 – ноніус; 8 – губки для зовнішніх вимірювань

Рисунок 1.2 - Штангенциркуль ШЦ-1

шкалі та ноніусу. Для вимірювання розмірів отворів малої величини можуть використовуватися спеціальні губки на тильному боці обойми (див. рис. 1.2). Його розмір зчитується аналогічно зовнішнім розмірам. Розмір великих отворів може визначатися штангенциркулем зі спеціальними губками, відстань між якими при установці обойми на нуль основної шкали вказується безпосередньо на губках. У цьому випадку до показу основної шкали і ноніуса додається товщина губок.

Порядок відлічування показу штангенциркуля за основною шкалою і шкалою ноніуса:

- число цілих міліметрів знаходять як штрих на основній шкалі, найближчий зліва від нульового штриха ноніуса (на рис. 1.3 – 25 мм);

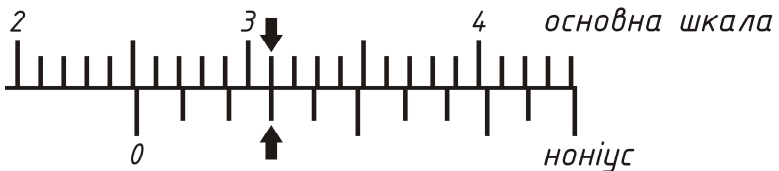


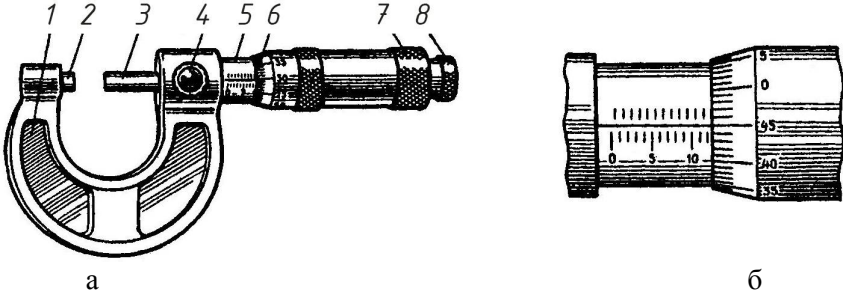
Рисунок 1.3 - Показ штангенциркуля 25,3 мм

- для знаходження частки міліметра на шкалі ноніуса знаходять штрих, найближчий до нульової поділки, який співпадає зі

штрихом основної шкали (третій штрих на рис. 1.3), і його порядковий номер множать на ціну поділки ноніуса (на рис. 1.3 – 0,1 мм);

- повну величину показу штангенциркуля отримують додаванням числа цілих міліметрів і часток міліметра (див. рис. 1.3).

Мікрометр гладкий (рис. 1.4) – це засіб для вимірювання



а – власне мікрометр; б – показ мікрометра 12,45 мм;
1 – скоба; 2 – п'ятка; 3 – мікрометричний гвинт; 4 – стопор; 5 – стебло;

6 – барабан; 7 – корпус тріскачки; 8 – тріскачка

Рисунок 1.4 - Мікрометр гладкий

зовнішніх лінійних розмірів. Його основу становить скоба з перетворювачем, який складається з мікропарі – мікрометричних гвинта та гайки, закріплених усередині стебла.

Мікрометр має дві шкали: на стеблі та на барабані. Ціна поділки шкали стебла дорівнюється 0,5 мм, а шкали барабана – 0,01 мм. На барабані

нанесено 50 поділок. Якщо повернути барабан на одну поділку його шкали, то торець мікрогвинта переміститься у бік п'ятки на 0,01 мм.

Вимірюваний предмет охоплюється торцевими вимірювальними поверхнями мікрогвинта і п'ятки. Щоб приблизити мікрогвинт до п'ятки, барабан (або тріскачку) обертають за годинниковою стрілкою. Для обмеження вимірювального зусилля на останньому етапі вимірювання мікрогвинт обертають через тріскачку. Коли з'являється легкий тріск, обертання мікрогвинта слід припинити і закріпити гвинт стопором. При цьому вимірюваний предмет має рухатися між торцевими вимірювальними поверхнями мікрогвинта і п'ятки з легким тертям.

Порядок відлічування показу гладкого мікрометра:

- по шкалі стебла зчитують відмітку біля штриха, найближчого до торця скосу барабана (12,00 мм на рис. 1.4. б);
- по шкалі барабана зчитують відмітку біля штриха, найближчого до поздовжнього штриха стебла (0.45 мм на рис. 1.4,б);
- якщо поздовжній штрих стебла виявиться між штрихами шкали барабана, на око оцінюють додаткову частку інтервала (ціни поділки);
- повну величину показу мікрометра отримують шляхом складання отриманих значень.

При виборі методів і засобів вимірювання треба враховувати техніко-економічні чинники, оскільки завищення точності вимірювання ускладнює і здорожує контроль. Точність засобів вимірювання повинна відповідати або навіть бути дещо вище точності виробів, що контролюються. Наприклад, грубооброблені поверхні не слід контролювати точними інструментами, оскільки вони будуть швидко зношуватися. Точність контролю визначається також типом виробництва. У масовому та крупносерійному виробництвах можна використовувати калібри, автоматичні засоби контролю і т.п.; натомість в одиничному виробництві доцільно застосовувати універсальні засоби вимірювання.

1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується видів засобів вимірювання, їх конструкції та способів використання.

[2] с. 72-79; [8] с. 55-59; [13] с.24-31; [5] с. 73-78; [14] с. 136-138.

1.4 Контрольні запитання

1. Що називається засобом вимірювання?
2. Назвіть основні складові елементи засобів вимірювання.
3. Яку структуру має шкала засобів вимірювання?
4. Які Ви знаєте універсальні засоби вимірювання лінійних розмірів?
5. Як відлічуються покази при вимірюванні розмірів лінійкою (штангенциркулем, мікрометром)?

1.5 Обладнання, інструменти

1. Лінійка вимірювальна
2. Штангенциркуль з точністю вимірювання 0,1 мм
3. Штангенциркуль з точністю вимірювання 0,05 мм
4. Мікрометр гладкий
5. Міра кінцева розміром L_d

1.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкцію і ознайомитися з порядком використання кожного з засобів вимірювання.
2. Перевірити стан засобів вимірювання та кінцевої міри; у випадку необхідності знежирити вимірювальні поверхні.
3. Перевірити нульову установку засобів вимірювання.
4. Провести вимірювання кінцевої міри наявними засобами вимірювання. Кожним засобом вимірювання здійснити три вимірювання і знайти середню величину розміру L_n .
5. Для кожного засобу вимірювання визначити його абсолютну похибку:

$$\Delta L = L_n - L_d \quad (1.2)$$

6. Порівняти отримані результати і зробити висновки.

1.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику засобів вимірювання, їх складових елементів та основних характеристик.
2. Навести коротку характеристику конструкції, способів використання і точності універсальних засобів вимірювання лінійних розмірів.
3. Записати результати вимірювань і необхідні розрахунки.
4. За результатами експериментів зробити висновок про точність та можливості використання засобів вимірювання лінійних розмірів, які використовувалися у даній лабораторній роботі.

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

2.1 Мета роботи

Ознайомитися зі способами вимірювання, характеристиками точності вимірювання; навчитися визначати основні характеристики похибок при вимірюванні лінійних розмірів.

2.2 Загальні відомості

Вимірювання – це знаходження значень фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, які мають метрологічні характеристики. Метрологічні характеристики засобу вимірювання зберігають одиницю фізичної величини і дозволяють порівняти з нею вимірювану величину. Отримане значення є результат вимірювання.

За способом отримання числових значень вимірюваної величини розрізняють декілька видів вимірювання.

Контактне вимірювання – це вимірювання, при якому чутливий елемент засобу вимірювання має безпосередній механічний контакт з поверхнею об'єкта вимірювання. Наприклад, вимірювання за допомогою штангенциркуля, мікрометра і т.п.

Безконтактне вимірювання – це вимірювання, при якому чутливий елемент засобу вимірювання не має механічного контакту з поверхнею об'єкта вимірювання. Наприклад, вимірювання розмірів за допомогою оптичних інструментальних мікроскопів.

Пряме вимірювання – це вимірювання, при якому значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за результатами вимірювання. Наприклад, вимірювання діаметра вала за допомогою штангенциркуля.

Опосередковане вимірювання – це вимірювання, при якому шукане значення величини визначають перерахунком результатів прямих вимірювань величин, зв'язаних з шуканою величиною відомою залежністю. Наприклад, прямим вимірюванням штангенциркулем неможливо визначити міжцентрову відстань двох отворів. Але можна виміряти діаметри отворів і відстань між

найближчими кромками отворів. Шуканий розмір знаходять складанням відстані між найближчими кромками отворів і радіусів отворів.

Лінійні розміри, як правило, визначають методом безпосередньої оцінки. При цьому величину об'єкта, що вимірюється, визначають по розмірному пристрою, наявному у конструкції застосовуваного засобу вимірювання.

При виконанні вимірювань неминуче виникають похибки різної величини. **Похибкою вимірювання** називається відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини. Дійсним значення вимірюваної величини вважається розмір, отриманий шляхом вимірювання, виконаного з допустимою похибкою, величина якої визначається відповідними стандартами. Дійсне значення вимірюваної величини у міру вдосконалення засобів вимірювання та підвищення точності їх виготовлення наближається до *істинного значення*, яке теоретично вільне від похибок. На практиці істинне значення задається еталонами, кінцевими мірами, калібрами тощо.

У виробничій практиці похибку вимірювання розглядають як сумарну (повну) похибку всього процесу вимірювання, яка складається з декількох складників. Найголовнішими з них є інструментальна похибка, або похибка засобу вимірювання; похибка, яка вноситься в процес вимірювання стандартними мірами і зразками; похибки, які залежать від умов вимірювання (вимірювальне зусилля, температурне розширення (стискання) тощо; суб'єктивні похибки людини, яка виконує вимірювання.

За походженням похибки поділяються на систематичні та випадкові.

Систематична похибка вимірювання – складова похибки, яка залишається постійною або змінюється за відомим законом. Ці похибки можуть бути вивчені та враховані внесенням певних поправок. Наприклад, похибка у налаштуванні положення нульової поділки засобу вимірювання лінійних розмірів.

Випадкова похибка вимірювання – складова похибки, яка змінюється випадково кожного разу при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини. Випадкові похибки виявляються при повторних вимірюваннях. Їх можна вирахувати на базі теорії імовірності та виключити з результатів вимірювання.

У процесі вимірювання визначають абсолютні, відносні та зведені похибки.

Абсолютною похибкою вимірювання ΔL називається різниця між показом засобу вимірювання L_p та істинним значенням вимірюваної величини L_i . На практиці частіше доводиться мати справу не з істинними величинами, а з дійсним значенням вимірюваної величини L_d , визначеної розрахунком або за допомогою точніших зразкових засобів вимірювання. Величина абсолютної похибки визначається за формулою (1.2). Абсолютна похибка характеризує фактичну помилку даного вимірювання і не завжди дає уявлення про достовірність та прийнятність отриманого результату. Наскільки велика отримана похибка краще характеризує відносна похибка вимірювання δ_L .

Відносною похибкою вимірювання називається відношення абсолютної похибки вимірювання ΔL до дійсного значення вимірюваної величини L_d , виражене у відсотках:

$$\delta_L = (\Delta L / L_d) \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Точність вимірювання по всій шкалі засобу вимірювання, пов'язану з його конструктивними особливостями, характеризує зведена похибка вимірювання.

Зведеною похибкою вимірювання називається відношення абсолютної похибки вимірювання ΔL до нормативного значення засобу вимірювання L_N , виражене у відсотках:

$$\gamma = (\Delta L / L_N) \cdot 100\% \quad (2.2)$$

За нормативне значення засобу вимірювання приймають значення, характерне для даного вимірювального приладу. Найчастіше це верхня границя вимірювання, а для приладів з рівномірною шкалою — кінцеве значення шкали.

2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується вимірювання, його видів та характеристик.

[2] с. 83-87; [5] с. 78-80; [6] с. 27-29; [8] с. 54-55; [13] с. 20-22.

2.4 Контрольні запитання

1. Що називається вимірюванням?
2. Які Ви знаєте способи вимірювання?
3. Що називається похибкою вимірювання?
4. Як класифікуються похибки вимірювання?
5. Що характеризує зведена похибка вимірювання?

2.5 Обладнання, інструменти

1. Лінійка вимірювальна
2. Штангенциркуль
3. Мікрометр гладкий
4. Міра кінцева розміром L_d

2.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Підготувати засоби вимірювання до вимірювання.
2. Перевірити стан засобів вимірювання та кінцевої міри; у випадку необхідності знежирити вимірювальні поверхні.
3. Провести вимірювання кінцевої міри різними засобами вимірювання.
4. Для кожного засобу вимірювання розрахувати абсолютну, відносну та зведену похибку вимірювання.
5. За результатами розрахунків заповнити таблицю результатів вимірювань (таблиця 2.1).

2.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику вимірювання, його видів.
2. Дати загальну характеристику похибок вимірювання, їх видів; навести формули для їх розрахунку.
3. За результатами розрахунків заповнити таблицю 2.1.
4. З отриманих величин похибок зробити висновки щодо причин їх виникнення та точності засобів вимірювання

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань

Засіб вимірю- вання	Ціна по- діл- ки, мм	Норма- тивна харак- терис- тика засобу вимі- рювання , L_N , мм	Дійсне значен- ня вимірю- ваної вели- чини, L_d , мм	По- каз засо- бу вимі- рю- ван- ня, L_p , мм	Аб- со- лют- на по- хиб- ка ΔL , мм	Від- нос- на по- хиб- ка, δ_L , %	Зве- де- на по- хи бка γ , %
Лінійка вимірю- вальна							
Штанген цир- куль							
Мікро- метр гладкий							

Лабораторна робота № 3

СТАТИСТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

3.1 Мета роботи

Вивчити методику статистичного оброблення результатів вимірювання; навчитися використовувати результати статистичного оброблення для аналізу ефективності технологічних процесів.

3.2 Загальні відомості

Статистичне вивчення різноманітних явищ використовується

для контролю якості виробів, аналізу точності технологічних процесів, складу речовин і сумішей тощо. Теоретичною основою статистичного оброблення результатів аналізу є теорія імовірності та закон великих чисел. Згідно з ними результат спостережень – сума багатьох слабо взаємозалежних величин – при збільшенні числа спостережень прямує до **нормального розподілу**, тобто до розподілу щільності ймовірностей, яка співпадає з функцією Гаусса. Нормальний розподіл часто зустрічається в природі, зокрема при оцінювання похибок вимірювання лінійних розмірів.

У реальних умовах неможливо охопити статистичним аналізом усю сукупність явищ, що розглядаються (так звану **генеральну сукупність**). Тому на практиці статистичному обробленню піддається **вибіркова сукупність (вибірка)** – частина генеральної сукупності, яка відбиває її основні властивості та призначена для формування змістовних суджень про всю генеральну сукупність. Оброблення результатів вимірювання фізичної величини (і зокрема – лінійних розмірів) включає обчислення наступних статистичних характеристик вимірюваної величини: середнє арифметичного, середнє квадратичного відхилення і довірчого інтервалу результату вимірювання.

Припустимо, що маємо n вимірювань фізичної величини x : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. При малій кількості результатів ($n < 40$) статистичне оброблення їх проводиться у такій послідовності.

Спочатку знаходять **середнє арифметичне** значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.1)$$

Воно є центром нормального розподілу вимірюваних величин і служить точковою оцінкою їх істинного значення.

Далі для кожного вимірювання обчислюють випадкові відхилення результатів вимірювань та їх квадрати:

$$\delta_i = x_i - \bar{x}; \delta_i^2 = (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.2)$$

На підставі отриманих значень обчислюють *середнє квадратичне відхилення* результатів вимірювання:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}. \quad (3.3)$$

Середнє квадратичне відхилення характеризує *збіжність* результатів – ступінь їх концентрації відносно центра нормального розподілу.

Перед подальшими розрахунками треба впевнитися у відсутності (або наявності) серед результатів вимірювання x_i грубих похибок. *Груба похибка* – це результат окремого спостереження, який для даних умов вимірювання різко відрізняється від решти результатів. При статистичному обробленні вона виявляється за допомогою «критерію 3σ ». «Критерій 3σ » ґрунтується на тому, загальна сукупність результатів спостережень з випадковими похибками $|\delta_i| \leq 3\sigma$ становить 99,73% всіх спостережень, і тому похибки $|\delta_i| > 3\sigma$ можна виключити з ряду результатів як незначущі для даної виборки вимірювань.

Якщо такі похибки у даній сукупності результатів (виборці) виявлені, то вони виключаються з неї, а для нової сукупності знову розраховуються середнє арифметичне значення вимірюваної величини і середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання.

Довірчий інтервал результатів вимірювання – це верхня і нижня межі інтервалу, в який похибки δ_i потрапляють із заданою імовірністю P . Величина P називається *довірчою імовірністю*. Довірча імовірність – це ймовірність, яку можна визнати достатньою для судження про достовірність результатів у рамках задачі, що вирішується даним вимірюванням.

Задаючись довірчою імовірністю P , визначають межі довірчого інтервалу:

$$\delta_{di} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (3.4)$$

де t_p – коефіцієнт Стюдента, який залежить від заданої довірчої ймовірності P та кількості вимірювань n у виборці.

Остаточний результат записується у вигляді:

$$x = \bar{X} \pm \delta_{di}. \quad (3.5)$$

Якщо отриманий довірчий інтервал відповідає заданій точності лінійних розмірів виробу (знаходиться у межах визначених конструкторською документацією допусків), то це означає, що технологічний процес виготовлення виробу забезпечує задану точність; якщо ні, то необхідно вжити заходи з удосконалення технологічного процесу.

3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується статистичного оброблення результатів вимірювання та методики його проведення.

[4] с. 61-82; [5] с. 68-72; [13] с. 33-34.

3.4 Контрольні запитання

1. Яке призначення статистичного оброблення результатів аналізу природних явищ?

2. На чому ґрунтується статистичне оброблення результатів аналізу?

3. Які характеристики обчислюються при обробленні результатів вимірювання фізичної величини?

4. Яка послідовність розрахунків при статистичному обробленні результатів вимірювання фізичної величини?

5. Що таке довірчий інтервал результатів вимірювання і як його розраховують?

6. Як уникнути при розрахунках грубої похибки?

3.5 Обладнання, інструменти

1. Зразки (вироби) для вимірювання – 20...30 шт.

2. Штангенциркуль

3.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання застосовуваного засобу вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Підготувати зразки (вироби) і засіб вимірювання до вимірювання. Записати визначений конструктором допуск (граничні відхилення) на лінійний розмір зразка, який передбачається вимірювати.

2. Виміряти лінійний розмір x_i на n зразках. Розрахувати середнє арифметичне значення результатів вимірювання $\bar{X}$ за формулою (3.1) і для кожного вимірювання – випадкові відхилення δ_i та їх квадрати за формулами (3.2). Результати розрахунків записати у таблицю 3.1.

3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання σ_x за формулою (3.3).

4. Проаналізувати випадкові відхилення δ_i , і за допомогою «критерію 3σ » виявити грубі похибки. Якщо такі виявляться, треба вилучити їх з числа випадкових відхилень, повторити розрахунки за п.п. 1...3, і результати їх (другою колонкою) внести у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань і розрахунків

№	X_i , мм	δ_i , мм	δ_i^2 , мм
1			
2			
3			
...			
...			
n			
Σ			
	$\bar{X} =$		$\sigma_x =$

5. Задаючись довірчою імовірністю P , визначають межі довірчого інтервалу δ_{di} за формулою (3.4). Коефіцієнт Стюдента t_p , який залежить від обраної довірчої ймовірності P та кількості вимірювань n , обрати з додатку А.

6. Установити довірчі розміри зразків (формула 3.5), порівняти їх із заданим допуском на лінійний розмір зразка, що вимірювався, і зробити висновок щодо ефективності технологічного процесу виготовлення зразків.

3.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику статистичному методу оброблення результатів вимірювання.

2. Викласти послідовність статистичного оброблення результатів вимірювання з наведенням необхідних формул.

3. Після вимірювання визначеного викладачем лінійного розміру зразків зробити необхідні розрахунки. Розміри зразків x_i , хід і результати розрахунків занести у таблицю 3.1.

4. Навести розрахунок довірчих розмірів зразків

5. За результатами розрахунків зробити висновок щодо ефективності технологічного процесу виготовлення зразків.

Лабораторна робота № 4

ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

4.1 Мета роботи

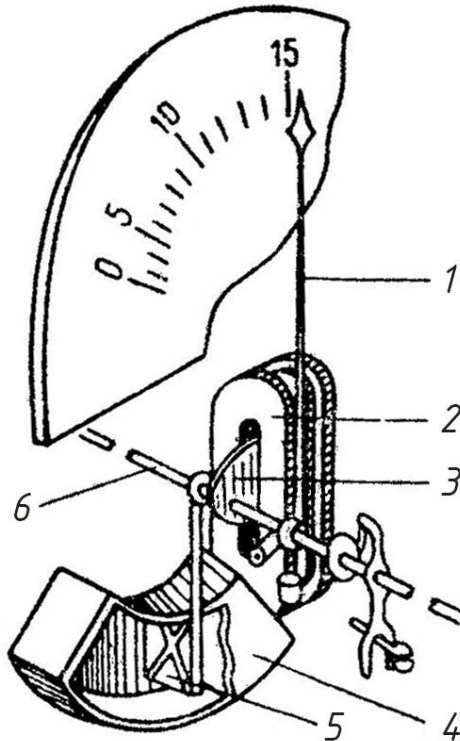
Вивчити особливості вимірювання електричних параметрів, оцінки похибок результатів вимірювання електричних параметрів; ознайомитися з методикою аналізу кореляційної залежності між двома параметрами.

4.2 Загальні відомості

Для вимірювання електричних параметрів використовуються засоби вимірювання, конструкція яких ґрунтується на різноманітних

системах: електростатичній, електромагнітній, електродинамічній, індукційній та інших. Проте для вимірювання сили струму та напруги у мережі змінного струму використовують прилади електромагнітної системи.

У приладах цієї системи (рис. 4.1) струм, що вимірюється,



1 – стрілка; 2 – котушка; 3 – осердя; 4 – закрита коробка;
5 – поршень; 6 – вісь

Рисунок 4.1 - Принципова схема конструкції вимірювального приладу, який працює за електромагнітною схемою

проходячи по котушці 2, створює магнітне поле, в яке втягується осердя 3 з м'якого заліза. Осердя звичайно виготовляється у вигляді тонкого листка, який ексцентрично насаджений на вісь 6. Втягуючись у котушку, воно повертає вісь і закріплену на ній стрілку 1. При

повороті осердя закручується пружинка, яка створює протидійний момент і повертає стрілку у нульове положення після вимкнення приладу.

Як заспокоювач в електромагнітних приладах застосовується повітряний демпфер: поршень 5, який пов'язаний з віссю і рухається з невеликим зазором у закритій коробці 4. Повітря, що витискається через зазори, створює гальмівний момент і заспокоює коливання рухомої системи.

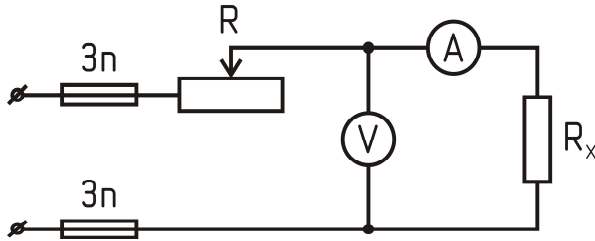
Крутний момент, що повертає вісь і стрілку, пропорційний квадрату сили струму, а момент протидії закрученої пружинки – пропорційний куту відхилення стрілки. У зв'язку з цим шкала приладу нерівномірна і має малу чутливість на своєму початку. Цей недолік виправляють, надаючи осердю відповідну форму.

Перевагами електромагнітних вимірювальних приладів є простота конструкції й дешевизна, витривалість до перевантажень, можливість роботи на змінному струмі; недоліками – нерівномірність шкали, низька чутливість на її початку, чутливість до зовнішніх магнітних полів.

На шкалі кожного електровимірювального приладу вказується його клас точності. Всі електровимірювальні прилади поділяються на вісім класів точності: 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 1,5, 2,5 і 4,0. Цифра визначає головну, найбільшу допустиму зведену похибку, виражену у відсотках (див. формулу (2.2)).

Практичною частиною даної лабораторної роботи є аналіз зміни енергії, яка споживається муфельною нагрівною піччю, залежно від зміни напруги на вході печі. Для цього до лабораторного стенда з вимірювальними приладами (рис. 4.2) підключається піч. При постійному опорі печі R_x зміна напруги на вході викликає зміну сили струму, а отже й енергії, що виділяється в печі. Змінюючи східчасто напругу і силу струму, можна проаналізувати роботу печі на різних режимах.

При вимірюванні з тих чи інших причин можуть виникнути похибки (певний розкид значень). Якщо вимірюються два параметри, між якими існує відома функціональна залежність, то необхідно перевірити, наскільки точно результати вимірювання відповідають теоретичній залежності. Наявність (відсутність) функціональної залежності перевіряється встановленням **кореляційної залежності** між двома чинниками, що вимірювалися. Ступінь залежності



R – реостат; R_x – споживач (піч); A – амперметр; V – вольтметр;
 $Зп$ – запобіжники

Рисунок 4.2 - Схема лабораторного стенда

визначається **коефіцієнтом кореляції r** .

Між напругою і силою струму при проведенні лабораторної роботи існує лінійна залежність типу $y = kx$ (у даному випадку – $U = R_x \cdot I$).

Знаходження коефіцієнта кореляції r за цих умов проводиться у такій послідовності.

Припустимо, зроблено n вимірювань вхідного параметра (аргумента) x_i та вихідного параметра (функції) y_i . Спочатку знаходять середнє арифметичне значення змінних параметрів:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i . \quad (4.1)$$

Далі для кожного вимірювання обчислюють випадкові відхилення результатів вимірювань

$$\delta_{x_i} = x_i - \bar{x} ; \quad \delta_{y_i} = y_i - \bar{y} \quad (4.2)$$

та їх квадрати.

Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{xi} \cdot \delta_{yi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{xi}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \delta_{yi}^2}} \quad (4.3)$$

Значення коефіцієнта кореляції r може змінюватися від -1 до $+1$. При позитивній кореляції зі збільшенням значення параметра x_i значення параметра y_i збільшується, а при від'ємній кореляції — зменшується. Якщо коефіцієнт кореляції близький до одиниці, то між параметрами існує кореляційний зв'язок. Проміжні значення, які наближаються до нуля, указують на слабкий кореляційний зв'язок між x_i та y_i ; тобто поведінка вхідного параметра x_i зовсім або майже не впливає на поведінку вихідного параметра y_i .

4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати до роботи лабораторний стенд.
2. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується електричних засобів вимірювання, статистичного оброблення результатів вимірювання та методики його проведення.

[4] с. 76-82, 176-180; [6] с. 52-58.

4.4 Контрольні запитання

1. Які типи приладів використовуються для вимірювання електричних величин?
2. Яка особливість роботи приладів вимірювання електричних величин електромагнітної системи?
3. Чим визначається клас точності електровимірювальних приладів?
4. Яким чином перевіряється наявність функціональної залежності між величинами, що вимірюються?
5. Чим визначається ступінь функціональної залежності між величинами, що вимірюються?

4.5 Обладнання, інструменти

1. Піч нагрівальна
2. Лабораторний стенд для вимірювань

4.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед підключенням лабораторного стенда до електромережі перевірити правильність підключень вимірювальних приладів та наявність запобіжників.
2. Забороняється проводити будь-які роботи з лабораторним стендом без дозволу викладача або навчального майстра.
3. Не торкатися руками незаізовованих елементів лабораторного стенда.
4. При зміні напруги реостатом торкатися лише ізольованої рукоятки реостата.
5. При виявленні несправності у роботі стенда треба негайно вимкнути його з електричної мережі.
6. Після закінчення вимірювань вимкнути стенд з електричної мережі.

4.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Перевірити правильність підключень вимірювальних приладів та наявність запобіжників у схемі лабораторного стенда і підключити його до електричної мережі.
2. Східчасто змінюючи силу струму на вході печі у межах від 5 до 10 А, провести 8...12 вимірювань сили струму (x_i) і відповідної напруги (y_i). Результати вимірювань записати у таблицю 4.1.
3. Вимкнути стенд з електричної мережі.
4. За формулами (4.1), (4.2) розрахувати дані, необхідні для розрахунку коефіцієнта кореляції, і записати їх у таблицю 4.1.
5. За формулою (4.3) розрахувати коефіцієнт кореляції r і зробити висновок про наявність (відсутність) кореляційного зв'язку між напругою і силою струму.

4.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику засобів вимірювання електричних параметрів.
2. Навести схему лабораторного стенда для вимірювання електричних параметрів і коротко викласти хід вимірювань.

Таблиця 4.1 - Результати вимірювань і розрахунків

№	Сила струму, А, x_i	Напру-га, В, y_i	$\delta_{xi} = x_i - \bar{x}$	$\delta_{yi} = y_i - \bar{y}$	$\delta_{xi} \cdot \delta_{yi}$	δ_{xi}^2	δ_{yi}^2
1							
2							
3							
...							
...							
N							
Σ	$\bar{x} =$	$\bar{y} =$					

3. Провести аналіз наявності (відсутності) функціональної залежності між параметрами, що вимірювалися (напруга, сила струму), для чого за результатами вимірювань провести необхідні розрахунки і записати їх у таблицю 4.1.

4. Навести розрахунок коефіцієнта кореляції r і зробити висновок про наявність (відсутність) кореляційного зв'язку між параметрами, що вимірювалися (напруга, сила струму).

Лабораторна робота № 5

ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ

5.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципами та методикою розрахунків з метою призначення посадок для вузлів тертя.

5.2 Загальні відомості

Найпоширенішим вузлом тертя у машинобудуванні є підшипник ковзання. Він зустрічається у багатьох видах машин,

приладів і конструкцій від різного роду двигунів до вентиляторів, комп'юторних процесорів і т.п.

Працездатність підшипника визначається можливістю вала вільно обертатися у заданому режимі експлуатації. Умови експлуатації визначаються номінальним розміром вала і отвору, навантаженням на підшипник, частотою обертання вала, температурою у зоні тертя, наявністю чи відсутністю змащування та іншим. Ефективну тривалість експлуатації підшипника за заданих умов визначає правильно призначена посадка.

Згідно з ДСТУ 2500-94 [4] **посадкою** називається характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання. Очевидно, що для роботи вузла тертя необхідно забезпечити посадку з зазором. **Посадка з зазором** – це посадка, за якою завжди утворюється зазор у з'єднанні, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір вала або дорівнює йому. У свою чергу **зазор** – це різниця між розмірами отвору і вала до складання, якщо розмір отвору більший за розмір вала. При виборі та розрахунку посадок конструктора цікавлять не лише граничні зазори (найбільший і найменший), але й середній, найімовірніший зазор.

Зазор (або натяг) при сполученні вала і отвору отримують за рахунок **основних відхилень**, тобто одного з двох граничних відхилень верхнього або нижнього), яке визначає розташування поля допуску відносно нульової лінії. З технологічних міркувань посадки вузлів тертя виконуються у **системі отвору**. У системі отвору необхідні зазори утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску основного отвору, нижнє відхилення якого дорівнює нулю. Це означає, що при розрахунках для отворів можна використовувати тільки основні відхилення H , а для валів – від a до h , оскільки вони знаходяться під нульовою лінією.

Посадки типу H/g мають мінімальний гарантований зазор, використовуються з квалітетами від 4-го до 7-го у вузлах тертя з повільним обертанням при малих навантаженнях. Посадки типу H/f характеризуються поміркованим гарантованим зазором. Вони застосовуються у підшипниках ковзання загального призначення при легких і середніх режимах роботи. У посадок типу H/e уже значний гарантований зазор, тому вони застосовуються для вільного обертання при складніших режимах роботи. Посадки типу H/d характеризуються

досить великим гарантованим зазором, який дозволяє компенсувати значні відхилення розташування сполучуваних поверхонь і температурних компенсацій.

Крім взаємного розташування полів допусків для правильної праці вузлів тертя має певне значення призначення класу точності сполучення. Для сполучуваних елементів деталей рекомендується застосовувати квалітети точності від 5-го до 11-го.

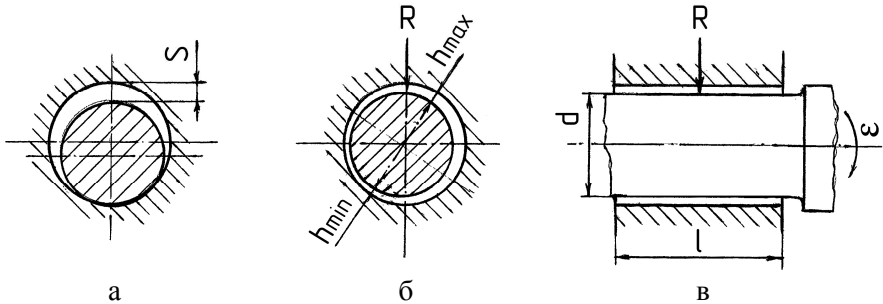
Наприклад, посадка H7/f7 забезпечує добрі умови змащування; її використовують для підшипників ковзання з легкими і середніми навантаженнями. Посадки H8/f8, H8/f9 застосовують для підшипників ковзання двоопорних валів, які працюють при значній частоті обертання. H7/e8, H8/e8 – посадки підвищеної і нормальної точності; застосовуються у підшипниках з рідинним змащуванням при великих швидкостях обертання та незначному тиску. Якщо треба підвищити гарантований зазор, застосовують посадки H8/e9, H9/e9. Посадки H8/d8, H8/d9, H9/d10 призначені для підшипників, які працюють у важких умовах (великі навантаження і швидкості обертання, високі температури). Посадки типу H11/d11 з порівняно великим гарантованим зазором призначаються для підшипників невеликої точності, коли треба компенсувати неточність взаємного розташування сполучуваних поверхонь і забезпечувати рухомість з'єднання в умовах забруднення.

У зв'язку з вищезазначеним у даній лабораторній роботі будуть використовуватися посадки з точністю від 7 до 11-го квалітетів.

Розрахунок посадок для вузлів тертя (підшипників ковзання) з рідинним змащуванням здійснюється на основі гідродинамічної теорії змащування для випадків обертання валів у підшипниках при постійній швидкості обертання і постійному за величиною і напрямком навантаження вала на опори.

Вихідними даними для розрахунку є: радіальне навантаження на підшипник, діаметр вала і довжина підшипника; швидкість обертання вала; динамічна в'язкість мастильної оливи при робочій температурі підшипника, а також параметри шорсткості вала і вкладки.

У стані спокою вал спирається на підшипник (рис. 5.1, а). Під час обертання олива тягнеться за валом, і вал «спливає» наверх (рис. 5.1, б). При цьому вал зміщується у напрямку обертання, і



а – вал у стані покою; б – вал під час обертання; в – розміри вала і підшипника

Рисунок 5.1 - Схема положення вала у з'єднанні «підшипник ковзання – вал»

діаметральний зазор по лінії центрів вала й отвору S поділиться на $h_{\min}$ (товщина шару оливи у місці найбільшого зближення поверхонь) і на $h_{\max} = S - h_{\min}$ (зазор на діаметрально протилежному боці).

Згідно з гідродинамічною теорією змащування між S і h існує така залежність:

$$h \cdot S = \frac{0,52d^2 \omega \mu}{p} \cdot \frac{l}{d+1} \text{ (м}^2\text{)}, \quad (5.1)$$

де h – товщина шару оливи у місці найбільшого зближення вала і вкладня підшипника у робочому стані, м; S – діаметральний зазор по лінії центрів вала і вкладня підшипника у стані спокою, м; d – номінальний діаметр вала, м; l – довжина підшипника, м; ω – кутова швидкість, рад/с; μ – динамічна в'язкість оливи при температурі 50°C , Па·с; p – середній питомий тиск у підшипнику, Па.

Середній питомий тиск у підшипнику знаходиться за формулою

$$p = \frac{R}{d \cdot l}, \quad (5.2)$$

де R – навантаження на вал, Н.

Якщо в умовах для розрахунку задана частота обертання

n , об/хв, то її можна перерахувати у кутову швидкість за співвідношенням

$$\omega = \pi \cdot n / 30 \approx 0,105n \text{ (рад/с)}. \quad (5.3)$$

Значення динамічної в'язкості μ деяких олив при температурі 50°C наведені у таблиці 5.1. Якщо робоча температура підшипника відрізняється від 50°C і становить t град. С, то динамічну в'язкість μ можна знайти за приблизним співвідношенням

$$\mu \approx \mu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^3. \quad (5.4)$$

Таблиця 5.1 - Значення динамічної в'язкості μ для деяких марок оливи індустріальної ГОСТ 20799-88 при температурі 50°C

Марка оливи	Динамічна в'язкість μ , Па·с	Область застосування
И-12А	0,009...0,013	Для підшипників, які працюють зі швидкістю до 1000 рад/с
И-20А	0.015...0,021	Для підшипників з малим і середнім навантаженням і підвищеною швидкістю обертання
И-30А	0,024...0,030	Основне мастило для підшипників середньої потужності
И-40А	0,034...0,047	Основне мастило для підшипників з великим навантаженням і малими швидкостями обертання

Марку оливи обирають, керуючись головним чином її в'язкістю при робочій температурі. При великій окружній швидкості і малому питомому тиску слід використовувати менш в'язку оливу. При зростанні в'язкості погіршується рухомість оливи, що утруднює її циркуляцію та проникнення у малі зазори підшипника.

Коефіцієнт тертя має мінімальне значення, коли співвідношення розмірів, швидкості, тиску та умов змащування такі,

що при русі, який встановився, $h \approx 0,25S$. Тоді з формули (5.1) знаходиться найвигідніший для даних умов зазор

$$S_{\text{найв}} = 2\sqrt{h \cdot S}. \quad (5.5)$$

За знайденим значенням $S_{\text{найв}}$ визначається величина розрахункового зазору $S_{\text{розр}}$ з урахуванням того, що в процесі припрацювання висота гребенців шорсткості на сполучених поверхнях вала і вклядця зменшиться на 0,7 від початкового значення:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{найв}} - 1,4(R_{zD} + R_{zd}), \quad (5.6)$$

де R_{zD} і R_{zd} – параметри шорсткості отвору і вала відповідно.

Параметр шорсткості визначається способом виготовлення отвору і вала. Вважається, що при напівчистовому точінні, свердлінні та зенкеруванні можна отримати параметр $R_z = 50 \dots 25$ мкм; при чистовому точінні та розгортанні, напівчистовому шліфуванні – $R_z = 12,5 \dots 6,5$ мкм; при тонкому точінні та розгортанні, чистовому шліфуванні – $R_z = 3,2 \dots 1,6$ мкм; при тонкому шліфуванні, хонінгуванні, суперфінішуванні – $R_z = 1,6 \dots 0,8$ мкм.

Посадку призначають, виходячи з умови, що розрахунковий зазор $S_{\text{розр}}$ приблизно дорівнюється середній величині $S_{\text{сер.ст}}$ гарантованих стандартних зазорів, які забезпечує обрана посадка:

$$S_{\text{розр}} \approx S_{\text{сер.ст}} = 0,5(S_{\text{max}} + S_{\text{min}}). \quad (5.7)$$

Для визначення S_{max} і S_{min} з таблиць додатків Б і В обирають граничні відхилення для номінального розміру сполучення d згідно з призначеними полями допусків для отвору і вала.

Обрану посадку потрібно перевірити на забезпеченість мінімального шару мастила за найнесприятливіших умов:

$$h_{\min} = \frac{hS}{S_{\max} + 1,4(R_{zD} + R_{zd})}. \quad (5.8)$$

Рідинне тертя зберігається у тому випадку, коли шар мастила у місці найбільшого зближення вала із вкладнем у процесі роботи не матиме розривів, тобто

$$h_{\min} \geq k \cdot (R_{zD} + R_{zd}), \quad (5.9)$$

де k – коефіцієнт запасу надійності за товщиною шару мастила; залежно від умов експлуатації k обирають у межах від 1 до 2.

Якщо ця умова витримується, то посадку обрано правильно, а якщо ні – потрібно обрати іншу посадку і знову виконати розрахункову перевірку.

5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується поняття посадок, умов їх застосування і розрахунку.

[1] с. 13-17; [5] с. 32-45; [9]; [15].

5.4 Контрольні запитання

1. Що називається посадкою?
2. Який тип посадок використовується при проектуванні вузлів тертя?
3. Якими основними відхиленнями забезпечується посадка у системі отвору?
4. Назвіть вихідні дані для розрахунку посадок для вузлів тертя при наявності змащування.
5. Викладіть порядок визначення величини розрахункового зазору посадки.
6. Яка перевірка проводиться після обрання посадки?

5.5 Обладнання, інструменти

1. Єдина система допусків і посадок. Терміни та визначення. Призначення і загальні норми: ДСТУ 2500-94. – [Чинний від 01.07.1995] – К.: Держстандарт України, 1995. – 32 с.

2. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 2789-73. – [Дата введения 01.01.1975] – М.: изд. стандартов, 1975. – 11 с.

3. Довідкова література.

5.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів розрахунку та вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

5.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. З таблиці 5.2 за вказівкою викладача отримати вихідні дані для розрахунків.

Таблиця 5.2 - Вихідні дані для розрахунків

№ №	Номиналь ний діаметр вала d , м	Довжина підшип- ника l , м	Кутова швид- кість ω , рад/с	Мар- ка оливи	Наван тажен ня на вал R , Н	Шорст- кість, мкм	
						вкла- ддя R_{zd} ,	ва- ла R_{zd} ,
1	$70 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	100	И- 12А	14000	6,3	3,2
2	$40 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	100	И- 12А	8000	3,2	1,6
3	$65 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	120	И- 20А	8500	6,3	3,2
4	$80 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	80	И- 30А	11000	10	6,3
5	$20 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	220	И- 12А	1200	3,2	1,6
6	$130 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$	60	И- 40А	50000	10	6,3

2. Провести поетапні розрахунки з метою визначення оптимальної для заданих умов посадки.

3. Провести перевірку на мінімальну товщину шару мастила.

4. Визначити тип оптимальної посадки, її мінімальний і максимальний гарантовані зазори.

5.8 Зміст звіту

1. Дати характеристику понять посадки, посадки с зазором та вибору посадки у системі отвору.
2. Навести вихідні дані для розрахунку посадки.
3. Провести поетапні розрахунки, необхідні для вибору оптимальної посадки.
4. Записати позначення посадки згідно з чинним стандартом, а також її мінімальний і максимальний гарантовані зазори.

Лабораторна робота № 6

ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ ПАРИ «ПУАНСОН – МАТРИЦЯ»

6.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципами та методикою розрахунків з метою призначення посадок для пари «пуансон – матриця».

6.2 Загальні відомості

Формування виробів з порошкових матеріалів здійснюється найчастіше шляхом холодного пресування. При цьому відбувається зворотньо-поступальний рух пуансону відносно матриці. Правильне призначення посадки пари «пуансон – матриця» має забезпечити, з одного боку, виготовлення якісного виробу, з іншого — достатньо тривалий час експлуатації прес-форми, оскільки і матриця, і пуансон в процесі експлуатації зношуються.

Згідно з ДСТУ 2500-94 [4] *посадкою* називається характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання. Очевидно, що для роботи прес-форми необхідно забезпечити посадку з зазором. *Посадка з зазором* — це посадка, за якою завжди утворюється зазор у з'єднанні, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір вала або дорівнює йому. У свою чергу *азор* — це різниця між розмірами отвору і вала до складання, якщо розмір отвору більший за розмір вала.

З технологічних міркувань посадки пари «матриця — пуансон» виконуються у **системі отвору**. У системі отвору необхідні зазори утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску основного отвору, нижнє відхилення якого дорівнює нулю. Це означає, що при розрахунках для отворів можна використовувати тільки основні відхилення H , а для валів — від a до h , оскільки вони знаходяться під нульовою лінією.

При проектуванні прес-форм у залежності від умов пресування пуансон і матриця сполучаються за так званою «ходовою» посадкою або посадкою «руху» 6- — 8-го квалітету. «Ходові» посадки H/f характеризуються поміркованим гарантованим зазором і застосовуються зокрема у сполученнях поршнів з циліндром компресорів та гідравлічних пресів. Посадки «руху» H/g мають найменший у порівнянні з іншими гарантований зазор. Вони застосовуються лише у точних квалітетах від 4-го до 7-го квалітетів для сполучень з повільними зворотньо-поступальними переміщеннями.

Залежно від матеріалу виробу, його складності і точності, а також розміру замовленої партії виробів для прес-форм рекомендуються «ходові» посадки $H7/f7$, $H8/f8$ і посадки «руху» $H6/g5$, $H6/g6$, $H7/g6$.

Вихідними даними для розрахунку діаметрів матриці та пуансону, які визначають посадку даного сполучення, є: ескіз готової деталі, її діаметральні розміри з необхідними допусками; хімічний склад і технологічні характеристики матеріалу деталі; коротка технологічна схема виготовлення деталі (зокрема, характер пресування, чи передбачені припуски на механічне оброблення або калібрування після пресування і т.п.).

Розрахунок номінального **внутрішнього діаметра матриці** D , мм, здійснюється за формулою:

$$D = D_n \pm IT/2 - I_d \pm n_d + K, \quad (6.1)$$

де D_n — номінальний розмір виробу, що пресується, мм; IT — поле допуску на номінальний розмір виробу, мм; I_d — величина пружної післядії, мм; n_d — величина усадки (або розширення) виробу при спіканні, мм; K — припуск на калібрування виробу після його спікання.

Пружна післядія – це збільшення розмірів брикету після випресування його з матриці. Основна частина пружного розширення брикету відбувається практично миттєво, в момент виштовхування брикету з матриці; решта – протягом певного часу до спікання. Величина пружної післядії по діаметру може становити від 2 до 3%. Чим більше ступінь обтиску порошку і чим менше він пластичний, тим більше пружна післядія.

У переважній більшості випадків при спіканні спостерігається зростання густини і зменшення розмірів зформованого брикету за рахунок зменшення об'єму відкритих пор та їх заростання. Це явище називається **усадкою**. Величина усадки залежить від хімічного складу порошкової суміші, форми і розмірів часток порошку, тиску пресування, температури і тривалості спікання та ін. Величина усадки для різних порошків та різних умов пресування і спікання може коливатися у межах від 5 до 12...15%.

У деяких випадках при спіканні спостерігається **зростання** розмірів брикету при виникненні закритої пористості за рахунок утворення невідновлюваних оксидів, фазових перетворень, виділення газів тощо.

Якщо при спіканні розмір брикету зменшується, то у формулі 6.1 перед величиною n_d буде знак «плюс», а якщо збільшується – знак «мінус».

Припуск на калібрування виробу після його спікання K як правило береться у межах 0,05...0,10 мм.

Величина $(D_n \pm IT/2)$ у формулі 6.1 фактично визначає максимальний і мінімальний діаметр матриці, тобто його поле допуску, яке треба узгодити зі стандартним полем допуску для отвору H відповідного квалітету.

Діаметр пунсона залежить від номінального діаметра матриці. Він має бути на певну величину менше, щоб забезпечити зазор між ними. Зазор між сполучуваними деталями прес-форми повинен забезпечувати вихід повітря з пор виробу, що пресується. Проте у такі зазори не повинен просипатися порошок, оскільки це збільшує зношування прес-форми та зменшує точність виготовлення виробу.

На практиці мінімальний зазор між матрицею і пунсоном S_{min} обирається у межах 0,005...0,015 мм. Він відповідає розмірам *нової*

прес-форми. Під час експлуатації зазор збільшується до величини $S_{\max}$, яка залежить від обраного типу посадки та її точності. Одночасно максимальний зазор має бути меншим розміру часток основної фракції порошку, з якого виготовляється виріб. Наприклад, не менше 80% часток порошків залізних та високолегованих сталей і сплавів [11, 12] мають розмір понад 0,056 мм.

Знаючи розмір часток порошку виробу, номінальні розміри діаметру матриці та рекомендовані граничні відхилення, для розміру матриці обирають стандартне поле допуску у межах Н6...Н8. Задавшись орієнтовним максимальним зазором, для пуансона обирають поле допуску з рекомендованих вище посадок таким чином, щоб утворена посадка відповідала запланованим мінімальному і максимальному зазорам.

6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується поняття посадок, умов їх застосування і розрахунку.

[1] с. 13-17; [3] с. 293-295; 354-357; [4] с. 13-14.

6.4 Контрольні запитання

1. Що називається посадкою?
2. Який тип посадок використовується при проектуванні елементів прес-форми?
3. Назвіть вихідні дані для розрахунку посадок для сполучуваних деталей прес-форми.
4. Яку роль відіграє пружна післядія та усадка при розрахунку номінального діаметра матриці?
5. З яких міркувань обирається зазор між сполучуваними деталями прес-форми?
6. Як обирається поле допуску для діаметра пуансона?

6.5 Обладнання, інструменти

1. Єдина система допусків і посадок. Терміни та визначення. Призначення і загальні норми: ДСТУ 2500-94. – [Чинний від 01.07.1995] – К.: Держстандарт України, 1995. – 32 с.

2. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ ГОСТ 2789-73. – [Дата введения 01.01.1975] – М.: изд. стандартов, 1975. – 11 с.

3. Довідкова література.

6.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів розрахунку та вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

6.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. За вказівкою викладача отримати вихідні дані для розрахунків посадки сполучуваних деталями прес-форми.

2. Провести поетапні розрахунки з метою визначення оптимальної для заданих умов посадки.

3. Визначити тип оптимальної посадки.

4. Розрахувати мінімальний і максимальний зазори між матрицею і пуансоном згідно з обраною посадкою:

$$S_{\min} = EI - es; \quad (6.2)$$

$$S_{\max} = ES - ei; \quad (6.3)$$

де ES, es – верхнє відхилення номінального розміру отвору і валу відповідно; EI, ei – нижнє відхилення номінального розміру отвору і валу відповідно.

5. Зробити висновок щодо можливості використання обраної посадки за заданих умов пресування.

6.8 Зміст звіту

1. Дати характеристику понять посадки, посадки с зазором та вибору посадки у системі отвору.

2. Навести вихідні дані для розрахунку посадки.

3. Провести поетапні розрахунки, необхідні для вибору оптимальної посадки.

4. Записати позначення посадки згідно з чинним стандартом, а також її мінімальний і максимальний гарантовані зазори.

Лабораторна робота № 7

ОЦІНКА ДЕФЕКТІВ ПОРОШКОВОГО ВИРОБУ

7.1 Мета роботи

Ознайомитися з видами дефектів порошкових виробів, причинами їх виникнення та засобами запобігання тих чи інших дефектів.

7.2 Загальні відомості

Якість порошкового виробу залежить від його конфігурації, складу і властивості порошків, що складають виріб, та технологічного процесу виготовлення. Найважливішими причинами виникнення дефектів при виробництві порошкових деталей є порушення технології пресування та спікання.

Мета пресування – отримання виробу із заданою щільністю. Під дією зовнішніх сил ущільнення починається з обертання та переміщення часток порошку у найближчі пори. Переміщення часток в об'ємі пресовки відбувається нерівномірно. Спочатку переміщення здійснюється у зоні, яка контактує з елементами прес-форми, а потім поширюється у глиб виробу. По досягненні максимального упакування починається руйнування та подрібнення виступів на поверхні часток, після чого – деформування самих часток. Тобто, найважливішими процесами при пресуванні є подолання тертя між частками порошку та між частками і стінками прес-форми, а також деформування часток. Чим пластичніший метал порошку, тим у більшому ступені ущільнення відбувається за рахунок деформування часток. У виробів з малопластичних металів стадії ковзання і деформування розмежовані чіткіше.

Для отримання якісного виробу важливо при пресуванні отримати рівномірний розподіл щільності по об'єму пресовки. Нерівномірність розподілу щільності по об'єму пресовки пов'язана з наявністю тертя. Щільність падає по висоті брикету у напрямку пресування, особливо, якщо його висота значно перевищує діаметр (поперечний розмір). Причинами нерівномірності можуть бути неякісна підготовка шихти, неправильна конструкція прес-форми, порушення режиму пресування і випресовування виробу. Для зменшення тертя та підвищення рівномірності розподілу щільності по

об'єму брикету у деяких випадках застосовують мастила (наприклад, стеаринову і олеїнову кислоти, полівініловий спирт, гліцерин, парафін та ін.).

Найпоширенішим та найнебезпечнішим видом **браку при пресуванні** є **поперечні та діагональні тріщини**. Головними факторами, які викликають утворення цього виду дефектів є:

- плоска форма часток порошку, їх наклеп і помітне окиснення; введення у шихту завеликої кількості мастила;
- завеликий тиск пресування, особливо для твердих і крихких матеріалів;
- неправильна конструкція прес-форми і пов'язаний з цим перебік у процесі пресуванні та нерівномірному скиданні тиску;
- наявність у виробі тонких стінок або різких переходів за товщиною.

Розшарування – порожнинна тріщина, перпендикулярна напрямку пресування – виникає з-за завищеного тиску пресування і великого пружного деформування матриці. Причиною розшарування може бути пружна післядія, якщо брикет занадто тривалий час після випресування не піддається спіканню.

Брак за розмірами залежить від неправильної конструкції та розмірів прес-форми, неточності дозування порошку, порушення режиму пресування.

Відколи і осипання на торцях виробу, утворення **задирок** пов'язані з поганим обробленням торців пуансонів або зі зношуванням їх торцевих крайок. Осипання граней виробу може виникнути при відсутності у кінці вихідного каналу матриці конусу, що розширюється.

Брак при пресуванні важко виявити на неспечених пресовках. Він найчастіше виявляються лише після спікання (жолоблення або спотворення форми). Брак при пресуванні звичайно становить 2...3% . Браковані вироби до спікання можуть бути роздрібнені, а отриманий порошковий матеріал може бути використаний повторно.

Мета **спікання** – перетворення неміцного брикету, спресованого з порошоків, у міцне спечене тіло з властивостями, які наближаються до властивостей компактного матеріалу. У процесі спікання відбуваються складні процеси, в результаті яких між частками металевих порошоків утворюються зв'язки на атомному рівні.

Зовнішнє спікання проявляється у зміні розмірів тіла, що спікається, зокрема в усадці.

На хід і ефективність спікання впливає багато чинників. Інтенсивність процесу спікання залежить від контактної поверхні часток порошків, і вона тим більше, чим більше ця поверхня. Тобто, зі збільшенням дисперсності порошків процес спікання прискорюється. Щільність спечених виробів зростає з підвищенням температури спікання. Витримка спресованого виробу при постійній температурі спікання викликає спочатку швидке, потім повільне зростання щільності. Максимальна щільність досягається за досить короткий час витримки. Результат спікання суттєво залежить від середовища, в якому проводиться спікання. Більша щільність досягається при спіканні у відновлювальній атмосфері або у вакуумі. У деяких випадках в атмосферу спікання додають спеціальні сполуки (наприклад, пара галогенідів), які активізують процес спікання.

При спіканні деяких сплавів, отримуваних з металевих порошків, може утворюватися рідка фаза. Це відбувається у випадках, коли у склад шихти входять легкоплавкі компоненти або коли при нагріванні утворюються евтектики. Характерною рисою спікання за участю рідкої фази є більша ступінь ущільнення у порівнянні зі спіканням у твердому стані. При вмісті рідкої фази 25...35% (об'ємн.) може бути досягнута теоретична щільність.

При спіканні деяких сплавів можливе утворення рідкої фази, яка «зникає», дифундує у зерна тугоплавкого компонента з утворенням однорідного твердого розчину.

Оскільки при спіканні зменшується кількість і об'єм пор і каналів між частками порошку, то для зменшення ймовірності браку режим спікання має бути організований таким чином, щоб забезпечити надійне газовиділення. Це особливо важливо при спіканні систем з утворенням рідкої фази. Крім того, треба зважати на те, що у складі шихти можуть бути присутніми технологічні речовини (наприклад, мастила), які треба повністю видалити під час спікання.

Після спікання може виявлятися не лише брак, пов'язаний з неправильним режимом спікання, але й з порушенням технологій попередніх операцій. При спіканні найчастіше зустрічаються такі види дефектів.

Приховане розшарування – результат неправильного режиму пресування, який викликав у брикеті утворення невеликих тріщин-розшарувань, невидимих неозброєним оком. При спіканні ці тріщини значно збільшуються і стають видимими. Брак непоправний.

Жолоблення та спотворення форми часто виникає у плоских виробках з тонких порошоків, які дають значну усадку. Виникненню такого браку сприяє погане змішування компонентів, нерівномірна щільність пресовки і занадто швидкий підйом температури при спіканні. Брак може бути виправлений наступним холодним або гарячим обробленням тиском або калібруванням.

Перепад – розтріскування виробів або надмірне закруглення їх структури, яке виникає при значному завищенні температури спікання. Брак не піддається виправленню.

Недопикання – недостатній ступінь спікання, з яким пов'язані зниження щільності, міцності та інших властивостей виробу. Є результатом заниження температури і часу спікання. Брак може бути виправлений повторним спіканням. Проте механічні властивості виробу після цього будуть дещо нижчі, ніж у виробів, спечених без порушення технології.

Окиснення – брак, пов'язаний з порушенням атмосферних умов спікання: присутність у печі кисню або газів, які взаємодіють з матеріалом виробів, що спікаються, підсмоктування повітря і т.п. Характеризується з'явленням на поверхні деталі кольорів мінливості, окалини або корозії. У деяких випадках цей брак може бути виправлений повторним нагріванням у відновлювальній атмосфері.

Кірочка – відшарування у поверхневих шарах виробу. Виникає найчастіше внаслідок розкладання органічних зв'язок, які вводяться у шихту для поліпшення умов пресування порошоків. Для попередження цього браку застосовують повільне і рівномірне нагрівання виробів, ретельний захист їх засипкою або захисною атмосферою. Брак непоправний.

Випотівання – виділення рідкої фази на поверхні виробу, зокрема з-за поганої змочуваності рідкою фазою тугоплавкого складника матеріалу.

Спучення – утворення пухирів на поверхні спеченого виробу. Виникає внаслідок інтенсивного газовиділення при розкладанні органічних добавок у складі суміші або при рідинофазному спіканні, а також з-за місцевого нерівномірного нагрівання порошкового брикету,

в результаті чого плавиться який-небудь один з компонентів шихти. Брак непоправний.

7.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується особливостей процесів пресування і спікання при виготовлення виробів з порошкових матеріалів.

[3] с. 186-190; 209-212; 290-307; 331-332; [4] с. 330-333.

7.4 Контрольні запитання

1. Яка мета пресування?
2. Які можливі причини нерівномірності розподілу щільності по об'єму пресовки?
3. Назвіть найпоширеніші види браку при пресуванні.
4. Яка мета спікання?
5. Які чинники впливають на інтенсивність процесу спікання?
6. Як впливає на щільність виробу утворення рідкої фази при спіканні?
7. Назвіть найпоширеніші види браку при спіканні.

7.5 Обладнання, інструменти

1. Довідкова та методична література.
2. Зразки порошкових виробів.

7.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами виконання процесів пресування і спікання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

7.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. За вказівкою викладача отримати вихідні дані для планування технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.
2. Скласти попередній план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу; визначити основні параметри технологічного процесу.

3. Проаналізувати, які етапи процесу пресування спланованого технологічного процесу можуть призвести до виникнення браку.

4. Намітити заходи щодо усунення причин виникнення браку при пресуванні.

5. Проаналізувати, які етапи процесу спікання спланованого технологічного процесу можуть призвести до виникнення браку.

6. Намітити заходи щодо усунення причин виникнення браку при спіканні.

7. Уточнити план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу, враховуючи намічені заходи усунення причин виникнення браку.

7.8 Зміст звіту

1. Навести вихідні дані для планування технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.

2. Навести дефекти, які можуть виникнути при виготовлення заданого порошкового виробу, та запропоновані засоби їх усунення.

3. Навести уточнений план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.

Література

Основна

1. Анухин В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчёт: Учеб. пособие/ В.И.Анохин – СПб: изд. СПбГТУ, 2001. – 219 с.
2. Ганевский Г.М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении/ Г.М.Ганевский, И.И.Гольдин – М.: Высш. школа, Академия, 1998. – 228 с.
3. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия: Учебник/ С.С.Кипарисов, Г.А.Либенсон – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.
4. Клячко Л.И.Оборудование и оснастка для формирования порошковых материалов/ Л.И.Клячко, А.М.Уманский, В.Н.Бобров. – М.: Металлургия. 1986. – 336 с.
5. Романов А.Б. Выбор посадок и требования точности: Справочник-методич. пособие/ А.Б.Романов, Ю.Н.Устинов – СПб: Политехника, 2008. – 208 с.
6. Цюцюра С.В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: Навч. посібник/ С.В.Цюцюра, В.Д.Цюцюра – К.: Знання, 2006. – 242 с.
7. Шевцов Е.К. Электрические измерения в машиностроении/ Е.К.Шевцов, М.П.Ревун – М.: Машиностроение, 1989. – 168 с.

Додаткова

8. Волчок І.П. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії: Навч. посібник/ І.П.Волчок, В.М.Плескач, І.А.Шестаков, за заг. ред. проф. І.П.Волчка. – Запоріжжя: ЗНТУ, Дике Поле, 2006. – 360 с.
9. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки: ГОСТ 25347-82. - [Дата введения 01.07.1983] – М.: изд. стандартов, 1983. – 24 с.
10. Либенсон Г.А. Оборудование цехов порошковой металлургии: Учеб. пособие/ Г.А.Либенсон, В.С.Панов – М.: Металлургия, 1983. – 264 с.
- 11 Порошки высоколегированных сталей и сплавов. Технические условия: ГОСТ 13084-88. – [Дата введения 01.01.1990] – М.: изд. стандартов, 1989. – 11 с.

12. Порошок железный. Технические условия: ГОСТ 9849-86. – [Дата введения 01.07.1987] – М.: изд. стандартов, 1987. – 8 с.
13. Пустовая О.А. Электрические измерения: Учеб. пособие/ О.А.Пустовая – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 247 с.
14. Топольник В.Г. Метрологія, стандартизація, сертифікація і управління якістю: Навч. посібник./ В.Г.Топольник, М.А.Котляр. – Львів: «Магнолія-2006», 2012. – 212 с.
15. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 2789-73. – [Дата введения 01.01.1975] – М.: изд. стандартов, 1975. – 11 с.

Додаток А
Коефіцієнт Стюдента t_p

n – 1	Довірча імовірність Р		
	0,90	0,95	0,99
1	6,31	12,7	63,70
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,05
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,14	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85
21	1,72	2,08	2,83
22	1,72	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,05	2,76
30	1,70	2,04	2,75

Додаток Б

Верхні (ES) і нижні (EI) граничні відхилення отворів, мкм

Інтервал розмірів, мм	Поля допусків					
	H6	H7	H8	H9	H10	H11
понад 18 до 30	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0
понад 30 до 50	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	100 0	+160 0
понад 50 до 80	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0
понад 80 до 120	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0

Додаток В

Верхні (es) і нижні (ei) граничні відхилення валів, мкм

Інтервал розмірів, мм	Поля допусків						
	g5	g6	e7	f7	d8	e8	f8
понад 18 до 30	-7 -16	-7 -20	-40 -61	-20 -41	-65 -98	-40 -73	-20 -53
понад 30 до 50	-9 -20	-9 -25	-50 -75	-25 -50	-80 -119	-50 -89	-25 -64
понад 50 до 80	-10 -23	-10 -29	-60 -90	-30 -60	-100 -146	-60 -106	-30 -76
понад 80 до 120	-12 -27	-12 -34	-72 -107	-36 -71	-120 -174	-72 -126	-36 -90

Продовження додатка В
Верхні (es) і нижні (ei) граничні відхилення валів, мкм

Інтервал розмірів, мм	Поля допусків				
	d9	e9	f9	d10	d11
понад 18 до 30	-65 -117	-40 -92	-20 -72	-65 -149	-65 -195
понад 30 до 50	-80 -142	-50 -112	-25 -87	-80 -180	-80 -240
понад 50 до 80	-100 -174	-60 -134	-30 -104	-100 -220	-100 -290
понад 80 до 120	-120 -207	-72 -159	-36 -123	-120 -260	-120 -340