

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Матеріали та деталі»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

тема –Загальні положення конструювання деталей машин

Вінниця 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол від
28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст вищої
категорії, викладач-методист Грибанова С.А.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук,
доцент Черниш А.А.

2. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань, к.т.н.,
спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.

План лекції:

1. Поняття машини та деталей машин.
2. Основні вимоги, що ставляться до сучасних машин та їх деталей.
3. Основні напрямки розвитку конструкцій машин та їх розрахунку.
4. Предмет, мета та зміст курсу деталей машин.
5. Основні критерії працездатного стану деталей машин.
6. Міцність деталей машин.
7. Основні види та причини відмови деталей машин.
8. Вимоги до матеріалів деталей машин.

Рекомендована література:

Основна

1. Більченко О.В., Дудка О.І., Лобода П.І. Матеріалознавство. Навчальний посібник, Київ, К.Кондор, 2009 – 152 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є, Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів, Навчальний посібник, Київ, «Либідь», 2002 – 327 с.
3. Животовська К.О, Мамлюк О.В. Авіаційні матеріали та їх обробка. Навчальний посібник, Київ, "Вища освіта", 2003 – 303 с.
4. Гарнець В.М. Матеріалознавство Підручник. Київ, К.Кондор, 2009
5. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство Навчальний посібник, Львів, 2002. – 264 с.
6. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М., Байдула В.О., Товстушко М.М. Деталі машин. Практикум. Навч. посіб. К.: Кондор, 2009. – 278 с.
7. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. — Львів: Афіша, 2003. — 557 с.
8. Коновалюк Д. М. Деталі машин: підручник / Д. М. Коновалюк, Р. М. Ковальчук. - К.: Кондор, 2004. - 584 с

Додаткова

9. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Курсове проектування: Навч. посіб. – 3-тє вид., стереотипне. –Львів: “Новий Світ – 2000”, 2007. 252с.
10. Малащенко В.О., Павлице В.Т. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків. Львів: Видавництво Новий Світ – 2000, 2009. – 136 с.
11. Мархель І.І. Деталі машин. Навчальний посібник. — Видавництво Алєрта, 2016. — 368 с.
12. Дмитро Коновалюк, Рю Ковальчук, В. Байбула, М. Товстушко. Деталі машин. Практикум. – Видавництво Кондор, 2009 – 278с.
13. Анурьев В.І. Довідник конструктора-машинобудівника. - В 3 т. - М.: Машинобудування, 2001. – 859 с.

14. Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін. Деталі машин: Підручник. – К.: Агроосвіта, 2013. – 448 с.

15. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

16. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Навч. посіб. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. — 196 с., 2009. — 208 с.

17. Павлище В.Т., Данило Я.Я. Різьби, різьбові з'єднання та кріпильні деталі: Довідник. — Львів: Інтелект-Захід, 2001. – 239 с.

Текст лекції

1. Поняття машини та деталей машин

Основні та допоміжні процеси на виробництві виконують за допомогою машин. Вони багаторазово підвищують продуктивність. Наприклад, потужність людини беруть $P_{\text{л}} = 0,1$ кВт, коня – $P_{\text{к}} = 1$ к.с. = 0,735 кВт, а потужність машини може перевищувати $P_{\text{м}} > 10^6$ кВт. (**Потужність** – енергетичний параметр машини, який характеризує швидкість виконання роботи).

Машина – штучний механічний пристрій із узгоджено працюючими частинами, що виконує певний доцільний рух для перетворення енергії, матеріалів або інформації. Машини поділяють залежно від виконуваних функцій на:

- 1 – електричні (двигуни, генератори);
- 2 – технологічні або робочі (верстати, вантажопідйомні та транспортуючі машини);
- 3 – обчислювальні машини.

Машина складається з послідовно з'єднаних ланок, які виконують задані рухи, і кожену машину можна назвати механізмом, але не всякий механізм може бути названий машиною. Машини складаються з деталей та вузлів. **Деталі машин** – це складові частини машини, які виготовляють із однорідного матеріалу без використання складальних операцій. **Вузол (складальна одиниця)** – сукупність спільно працюючих деталей, які з'єднані складальними операціями.

Комплекс наукових дисциплін про машини (опір матеріалів, теоретична механіка, теорія механізмів та машин, деталі машин, теорія конструкційних матеріалів та інші) – це **машинознавство**.

Сучасний інженер-механік має володіти основами машинознавства. Він повинен знати:

- 1) вимоги, що ставляться до сучасних машин та їх деталей;
- 2) основні напрямки розвитку їх конструкції;
- 3) загальні принципи будови машини.

2. Основні вимоги, що ставляться до сучасних машин та їх деталей

1. Висока надійність (**надійність** – це властивість виробу виконувати задані функції впродовж потрібного терміну служби без поломок і позапланових ремонтів).
 2. Високі експлуатаційні показники: продуктивність; **ККД**– коефіцієнт корисної дії, що характеризує втрати енергії; точність; безпека обслуговування; ступінь автоматизації та інші.
 3. **Технологічність** (технологічною є конструкція, яку можна виготовити з мінімальними затратами праці та засобів в умовах певного підприємства.)
 4. Економічність (розуміється мінімальна вартість виготовлення та експлуатації виробу).
 5. Транспорتابельність – можливість зручного транспортування машини.
 6. Ергономічність – зручність і безпека експлуатації машини з дотриманням санітарно-гігієнічних норм рівня вібрації та шуму.
 7. Екологічність.
 8. Естетичність.
- Курс деталей машин концентрує увагу студентів на першій вимозі – надійності деталей та вузлів машин.

3. Основні напрямки розвитку конструкцій машин та їх розрахунку

1. Забезпечення потрібного технічного рівня машини згідно з її функціональним призначенням.
 2. Використання модульного принципу конструювання (застосування уніфікованих вузлових конструкцій) поділом конструкції машини на окремі функціонально завершені вузли та блоки.
 3. Проектування технологічних деталей і вузлів під сучасну прогресивну технологію.
 4. Зменшення енергозатрат машини завдяки підвищенню ККД окремих механізмів.
 5. Зниження матеріаломісткості конструкцій удосконаленням процесу проектування, добору сучасних матеріалів і технологій, оптимізація форми та розмірів деталей та вузлів.
 6. Максимальна автоматизація процесів проектування та виготовлення.
- Щоб створити сучасну машину, потрібно знати:
1. Деталі та вузли, з яких складається машина (назва деталі, її призначення, конструктивні варіанти й особливості).
 2. Умови надійної роботи деталей та вузлів, види та причини їх відмов, основні критерії працездатного стану.
 3. Алгоритм розрахунку та послідовність конструювання, включаючи основи автоматизованого проектування.

4. Предмет, мета та зміст курсу деталей машин

Предметом курсу є **типові деталі** машин, тобто деталі загального призначення, які застосовуються в усіх або майже в усіх машинах і виконують при цьому однакові функції.

Мета курсу – висвітлити методи, правила, норми та рекомендації проектування типових деталей машин таким чином, щоб була забезпечена їх працездатність (**Проектування** – процес виконання розрахунків і конструювання (креслень), що закінчується оформленням потрібної технічної документації, тобто проектом. **Працездатність** – властивість деталі виконувати задані функції згідно з вимогами технічної документації).

Зміст (розділи) курсу деталей машин:

- 1 – основи проектування деталей машин;
- 2 – з'єднання типових деталей;
- 3 – механічні передачі обертового руху;
- 4 – деталі, що забезпечують обертовий рух.

Вивченням курсу деталей машин закінчується загально інженерна підготовка майбутніх спеціалістів у галузі технічної механіки. **Механіка** – це наука про рух та взаємодію тіл. **Прикладна механіка** – галузь механіки, що вивчає рух та напружений стан реальних технічних об'єктів і базується на дисциплінах: опір матеріалів, ТММ, деталі машин.

5. Основні критерії працездатного стану деталей машин

Слово „критерії” можна замінити словами „вимоги, умови, характеристики”. Для оцінки працездатності (складової частини надійності) деталі використовують такі критерії.

1. **Міцність** – здатність деталі опиратися навантаженню без поломок і поверхневих ушкоджень.

2. **Жорсткість** – здатність деталі опиратися зміні форми та розмірів під впливом сил.

3. **Зносостійкість** – здатність матеріалу деталі опиратися стиранню поверхні.

4. **Теплостійкість** – здатність деталі працювати у визначеному діапазоні температур.

5. **Вібростійкість** – здатність деталі працювати у заданому діапазоні режимів навантаження без недопустимих коливань.

Без виконання цих критеріїв неможлива нормальна робота деталей та вузлів машин, тому під час проектування залежно від умов роботи деталі проводяться розрахунки за одним або кількома критеріями. Головним критерієм працездатності та розрахунку деталей машин є міцність.

6. Міцність деталей машин

Усі деталі машини повинні бути **рівно міцними**, тобто деталі повинні мати однаковий запас міцності відносно навантажень, що діють на них. Аналіз проблеми міцності повинен містити таке.

1. Аналіз навантаження деталі. Навантаженням (зовнішньою дією) може бути сила, момент сили, температура або комбінація цих параметрів. Слід знати класифікацію сил, щоб розрізняти сили статичну та динамічну, сили зовнішню і внутрішню, сили розрахункову, еквівалентну та граничну. Необхідно розрізняти моменти обертальний, крутіння, згину. Відомості про види навантаження наведені в підручниках опору матеріалів.

2. Аналіз деформацій і напружень, що виникають в деталях від навантаження. Існують чотири види простих деформацій:

розтяг (стиск), згин, крутіння, зсув (зріз). Будь-яку комбінацію цих простих деформацій називають складною деформацією.

Під дією зовнішнього навантаження кожна частина матеріалу деталі опирається цьому навантаженню, всередині деталі виникають внутрішні сили і моменти реакції. Для оцінки розподілу внутрішніх сил і моментів використовують параметр, який називається напруженням. **Напруження** – це відношення внутрішнього силового фактора до геометричної характеристики поперечного перерізу деталі. Кожному виду деформації відповідають свої напруження, що відображено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Відповідність простих деформацій і напружень

Вид деформації	Внутрішній силовий фактор	Геометрична характеристика поперечного перерізу	Вид напруження	Умова міцності
Розтяг (стиск)	Поздовжня сила, F	Площа, A	Нормальне, $\sigma_{P(C)}$	$\sigma_P = F/A \leq [\sigma_P]$
Згин	Згинальний момент, M	Осьовий момент опору, w	Нормальне, $\sigma_{зг}$	$\sigma_{зг} = M/w \leq [\sigma_{зг}]$
Крутіння	Крутний момент, T	Полярний момент опору, w_p	Дотичне, $\tau_{кр}$	$\tau_{кр} = T/w_p \leq [\tau_{кр}]$
Зсув (зріз)	Поперечна сила, F	Площа, A	Дотичне, $\tau_{зр}$	$\tau_{зр} = F/A \leq [\tau_{зр}]$
Зминання	Радіальна сила, F_r	Площа, A	Нормальне, $\sigma_{зм}$	$\sigma_{зм} = F/A \leq [\sigma_{зм}]$

Розрахунок напружень в деталях проводиться за формулами, викладеними у курсах опору матеріалів і деталей машин.

Розмірність напружень – н/мм² (1 н/мм² = 1 МПа = 10 кгс/см²).

3. Теоретична оцінка міцності, а відповідно і працездатності, деталі. (Існують і експериментальні методи оцінки міцності: натурні випробування, моделювання, тензометрування та інші).

Теоретична оцінка міцності проводиться частіше за все за напруженнями або за коефіцієнтами запасу міцності.

Розрахунки на міцність за напруженнями потрібно починати з запису умови міцності (див. табл. 1.1) для небезпечних перерізів (зон) деталі. Розрахункові (робочі, дійсні) напруження у цих перерізах (σ , τ) знаходяться за відповідними формулами. **Допустимі (граничні) напруження** ($[\sigma]$, $[\tau]$) визначають за рекомендаціями (див. табл. 2).

Таблиця 2 – Визначення допустимих напружень

Вид деформації	Допустимі напруження
Розтяг (стиск)	$[\sigma_p] = \sigma_T / 2$
Згин	$[\sigma_{zg}] = \sigma_T / 1,6$
Кручення	$[\tau_{kr}] = 0,6 \sigma_T$
Зсув (зріз)	$[\tau_{zp}] = 0,25 \sigma_T$
Зминання	$[\sigma_{zm}] = 0,8 \sigma_T$
σ_T – межа міцності , механічна характеристика матеріалу, визначається за довідниками	

Розгорнута формула напружень в умові міцності далі використовується або для проектувальних, або для перевірних розрахунків деталі (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика проектувальних і перевірних розрахунків на міцність

Проектувальний розрахунок	Перевірний розрахунок
Задані: навантаження деталі; матеріал деталі	Задані: навантаження; матеріал; розміри деталі
Знайти: мінімальні розміри деталі, які задовольняють умову міцності	Перевірити: виконання умови міцності для існуючої деталі

Розрахунки на міцність за коефіцієнтами запасу міцності також необхідно починати з запису умови міцності, але такого типу

$$S \geq [S],$$

де S – розрахунковий **коефіцієнт запасу міцності**, визначається для кожної деталі за відповідними формулами, які можна стисло подати як відношення $[\sigma] / \sigma_T$;

$[S]$ – допустимий коефіцієнт запасу міцності, вибирається за рекомендаціями нормативних технічних документів, наприклад, для загальних деталей машинобудування $[S] \approx 2-3$, для будівельних споруд $[S] \approx 20$, для ланцюгів і канатів $[S] \approx 40$, а для аерокосмічних деталей $[S] \approx 1,1-1,2$ (інакше – не полетить!).

Розрахунки на міцність за запасами міцності також бувають проектувальні та перевірні.

Для інших критеріїв працездатності(жорсткості, вібростійкості, теплостійкості та ін.) розрахункипроводятьсяаналогічно.

Курс деталей машин вчить правильно вибрати для різних деталей той чи інший критерійпрацездатності, отже, розрахунку. А завдяки якісним розрахункам попереджаються можливі відмови деталей.

7.Основні види та причини відмови деталей машин

1. Пластичні об'ємні і поверхневі деформації, що призводять до зміни форми та розмірів деталей. Ці деформації спостерігаються при перевантаженнях і в'язкому стані матеріалу.

2. Крихкі руйнування у вигляді поломок по перерізу або ушкоджень робочої поверхні. Спостерігаються при перевантаженнях і крихкому стані матеріалу.

3. Ушкодження втомного характеру у вигляді поломок або руйнування робочої поверхні після багатократного (циклічного) навантаження.

4. Недопустимі пружні деформації через недостатню жорсткістьдеталі.

5. Спрацювання тертьових поверхоньчерез недостатню зносостійкістьдеталі.

6. Перегрів деталей і вузлів через їх недостатню теплостійкість.

7. Резонансні коливання деталейчерез недостатню вібростійкість.

8. Вимоги до матеріалів деталей машин

Машинобудівні матеріали повинні мати певний комплекс механічних і технологічних характеристик:

1 – високі та постійні міцність, жорсткість, зносостійкість;

2 – високі технологічні властивості (оброблюваність на верстатах, ливарні властивості, штампованість, зварюваність тощо);

3 – здатність до зміцнення;

4 – антифрикційні або фрикційні властивості;

5 – корозійну стійкість;

6 – демпфірувальну здатність;

та інші.

Антифрикційні матеріали характеризуються низьким і сталим коефіцієнтом тертя ковзання, високою зносостійкістю, гарнимпропрацьовуванням, малим спрацьовуванням спряженої деталі.**Фрикційні матеріали** мають високий і сталий коефіцієнт тертя ковзання, високі зносо- і теплостійкість, гарне пропрацьовування, мале спрацювання спряженої деталі під час роботи насухо або із мастилом.

Для виготовлення деталей машин використовують металеві та неметалеві матеріали.До металевих матеріалів належать чорні метали та їх сплави (сталі і чавуни); сплави кольорових металів (бронзи, латуні, бабіти); легкі сплави (алюмінієві та магнієві); біметали, які складаються з двох і більше шарів; композиційні металеві матеріали.

Композиційні металеві матеріали являють собою композиції з високоміцних волокон (бору, вуглецю, вольфраму, молібдену тощо) і основи з м'яких металів (алюмінію, міді, кобальту та ін.). Міцність таких матеріалів набагато (у 20–100 разів) перевищує міцність звичайних машинобудівних матеріалів.

До неметалевих матеріалів належать пластмаси (текстоліт, капрон та ін.), керамічні матеріали, гума, графіт, шкіра та ін.

Вибір матеріалу деталей – це відповідальне завдання проектування. До уваги беруть такі фактори:

- 1) відповідність властивостей матеріалу головному критерію працездатності деталі;
- 2) вагові та габаритні вимоги до деталей і машин у цілому;
- 3) відповідність технологічних властивостей матеріалу формі та наміченому способу обробки деталі з метою вибору найекономічнішого способу виготовлення деталі при відомому масштабі її виробництва;
- 4) вартість і дефіцитність матеріалу, тому що вартість матеріалу становить значну частину (до 60–70%) вартості машини;
- 5) вимоги естетики.

Наприклад, вали та осі, розміри яких визначаються міцністю і жорсткістю, потрібно виготовляти з матеріалу з високим модулем пружності. У вузлах, працездатність яких визначається зносостійкістю деталей, одна з них повинна мати вищу твердість робочої поверхні, а іншу потрібно виготовляти з антифрикційного матеріалу (в підшипниках і напрямних ковзання, в передачах черв'ячних, гвинт-гайка) або із фрикційного матеріалу (у фрикційних передачах, муфтах).

Теми для додаткового самостійного вивчення

1. Класифікація виробів, класифікація деталей машин.
2. Стадії розроблення конструкторської документації.
3. Якість проекрованої машини та її складових частин.
4. Основні шляхи підвищення надійності деталей машин.
5. Шляхи забезпечення технологічності та економічності деталей машин.
6. Конструктивні способи підвищення міцності та жорсткості.
7. Вплив концентрації напружень на довговічність деталей.
8. Основні відомості про машинобудівні матеріали.
9. Основи оптимального проектування.
10. Загальні правила, принципи і послідовність проектування (конструювання).
11. Випробування деталей машин.
12. Стандартизація та уніфікація деталей машин.