



# ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОБУДУВАННІ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	13 Інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	«Прикладна механіка»
Статус дисципліни	Нормативна/Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/заочна/дистанційна
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	5 кр.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Розклад занять	1,5 пари лекцій на тиждень (всього 54 години лекцій)
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор кафедри ТВЛА Тітов Вячеслав Андрійович vat.kpi@gmail.com
Розміщення курсу	Сайти кафедри ТВЛА, ММІ; АС Кампус; Telegram

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Завдання підвищення експлуатаційної надійності деталей машин набуває все більшого значення у зв'язку зі збільшенням механічного та теплового навантаження сучасних конструкцій.

Високі комплексні вимоги сучасного машинобудування ставлять перед металознавством завдання, які не можуть бути вирішені застосуванням традиційних видів термічної і хіміко-термічної обробки, їх можливості вже в більшій мірі вичерпані.

З численного арсеналу сучасних засобів зміцнення (які не однаково, а іноді в різному напрямку впливають на окремі властивості) не завжди легко вибрати оптимальний вид зміцнення для даного конкретного випадку.

Одним з найбільш ефективних видів зміцнення при різноманітних умовах навантаження є поверхневе пластичне деформування (ППД). Завдяки особливостям впливу ППД дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості високоміцних сталей. Цей вид зміцнення створює реальні можливості застосування високоміцних сталей для деталей з конструктивними і технологічними концентраторами напружень навіть при значних перевантаженнях.

Дуже ефективно ППД в поєднанні з іншими способами зміцнення. Поєднання ППД з іншими способами зміцнення дозволяє використовувати переваги і можливості кожного з них і тим

самим задовольнити різноманітні вимоги: високої міцності, в'язкості, зносостійкості, корозійної стійкості. При цьому можна отримати значно більші показники статичної і циклічної міцності, ніж при застосуванні кожного способу окремо.

Механізми процесів, що протікають при різних видах деформаційного зміцнення, ретельно вивчаються в зв'язку з теоретичним і практичним значенням цього питання для проблеми міцності в цілому, а також з метою управління цими процесами і ефективного використання можливостей кожного з них; на основі нових уявлень про механізми зміцнення створений цілий ряд практичних способів поліпшення властивостей матеріалу.

Мета навчальної дисципліни: формування у здобувачів знань і умінь використовувати отриману і засвоєну інформацію про особливості використання та реалізації технологій ППД, в тому числі і в науково-дослідній діяльності (роботою над дисертацією). Перевага вивчення даної дисципліни полягає в тому, що даючи основні уявлення про загальні закономірності фізико-механічних процесів, характерних для технології виготовлення деталі, вона надає фахівцеві методологію необхідну для розуміння і необхідності застосування перспективних технологій ППД, а також спонукає до пошуку і впровадження технологій майбутнього, що впливають на експлуатаційні характеристики виробів.

Результати навчання: - знати: основні поняття, закономірності і призначення поверхневого пластичного деформування; технологічні та виробничі особливості процесів і обладнання; основні елементи, що впливають на доцільність застосування і вибору процесів і технологій підвищення параметрів якості поверхні деталі; - вміти: використовувати отримані знання для подальшого розширення своїх професійних компетентностей, зокрема у наданні виробам машинобудування та їх елементам спеціальних властивостей та набуття конструктивної геометрії, які не можливо набути традиційними процесами і технологіями; знаходити оптимальні рішення в питаннях застосування ППД поверхні деталі; робити аналітичні висновки з науково-технічних джерел та запроваджувати перспективні (інноваційні) види обробки, які ще не мають широкого розповсюдження.

Дисципліна формує також не тільки навички професійної інженерної діяльності але і науково-дослідної.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для третього рівня вищої освіти пререквізитні та постреквізитні дисципліни не обумовлюються

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Тема	Зміст	Примітка
Введення	Загальні відомості. Політика оцінювання	
Тема плану 1.	Конструктивна міцність деталей із високоміцних сплавів	
Підтема 1.1.	Статична міцність	
Підтема 1.1.	Втомна міцність	
Тема плану 2	Ефективність поверхневого пластичного деформування в залежності від вихідної структури та властивостей сплавів	
Підтема 2.1.	Процеси ППД	
Підтема 2.1.	Матеріал інструменту, параметри процесів ППД, змащення	
Підтема 2.1.	Втомна міцність після ППД в залежності від складу та структури сплаву	
Підтема 2.1.	Залишкові напруження після ППД	
Підтема 2.1.	Пошкоджуваність поверхні після ППД	

Тема плану 3	Механізм зміцнення при поверхневому пластичному деформуванні	
Підтема 3.1.	Зміна тонкої структури сплаву під впливом ППД	
Підтема 3.1.	Вплив ППД на кінематику та механізми втомного руйнування	
Підтема 3.1	Аналіз механізмів зміцнення в цілях впливу на службові властивості деталей	
Тема плану 4	Комбіновані способи збільшення конструктивної міцності деталей	
Підтема 4.1	Об'ємне деформування в поєднанні із ППД	
Підтема 4.1	Хіміко-термічна обробка в поєднанні із ППД	
Підтема 4.1	Ефективність ППД при різних типах концентраторах напружень	

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

- Базова література до курсу:
  1. Конспект лекцій до курсу «Формування поверхневого шару пластичним деформуванням для підвищення ресурсу деталей в машинобудуванні».
  2. Презентації до курсу «Формування поверхневого шару пластичним деформуванням для підвищення ресурсу деталей в машинобудуванні».
- Додаткова література до курсу:
  1. Сулима А. М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов / А. М. Сулима, М. И. Евстигнеев – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
  2. Кудрявцев И. В. Внутреннее напряжение как резерв прочности в машиностроении. – М.: Машгиз, 1951. – 278 с.
  3. Петухов А. Н. Сопротивление усталости деталей ГТД. – М.: Машиностроение, 1993. – 240 с.
  4. Сулима А. Н. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. Н. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Г. Ягодкин.– М.: Машиностроение, 1998. –273 с.
  5. Ящерицын П. И. Технологическая наследственность в машиностроении / П. И. Ящерицын, В. Э. Рыжов, В. И. Аверченков. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
  6. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным деформированием / П. А. Чепан. – Минск: Наука и техника, 1981. – 128 с.
  7. Чепан П. А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей / П. А. Чепан, В. А. Андрияшин. – Минск: Наука и техника, 1988. – 192 с.
  8. Богуслаев В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993.– 333 с.
  9. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин / М. А. Балтер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с., ил.
  10. Конструкторско–технологическое обеспечение качества деталей машин / В. П. Пономарев, А. С. Батов, А. В. Захаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984.–184 с.
  11. Серенсен С. В. Несущая способность и расчеты деталей на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1975.– 488 с.
  12. Карасев Б. Е. Основные направления работ по повышению надежности и ресурса деталей ГТД и агрегатов поверхностным наклепом / Б. Е. Карасев // Научно–

технический сборник “Вопросы авиационной науки и техники”. Серия “Технология авиационного двигателестроения”. М.: НИИД, 1986 - Вып. 1. – 134 с.

13. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Валы ГТД. Часть IV. Монография / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. А. Титов [и др.]. – Запорожье, АО «Мотор Сич», 2014. – 291 с.
14. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник / Л. Г. Одинцов // М.: Машиностроение, 1987. - 148 с.
15. Богуслаев В. А. Формирование поверхностного слоя деталей выглаживанием с ультразвуковым нагружением. Монография / В. А. Богуслаев, В. А. Титов, А. Я. Качан, А. Ф. Луговской [и др.] // АО «Мотор Сич», Запорожье, 2012. – 235 с.
16. Северденко В. П. Обработка металлов давлением с ультразвуком / В. П. Северденко В. В. Клубович, А. В. Степаненко // Минск: Наука и техника, 1973. – 286 с.

#### Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Дисципліна передбачає лише лекційне викладання теоретичного і технологічного матеріалу, однак частково ряд тем і підтем курсу розглядаються детально на практичному рівні, при цьому слухачі мають звітувати на індивідуальні питання та/або завдання, що пропонуються і виконуються під час лекцій, що відображається поточним контролем.

Тема	Зміст	Час /год./
Введення	Загальні відомості. Політика оцінювання	2
Тема плану 1.	Конструктивна міцність деталей із високоміцних сплавів	2
Підтема 1.1.	Статична міцність	3
Підтема 1.1.	Втомна міцність	4
Тема плану 2	Ефективність поверхневого пластичного деформування в залежності від вихідної структури та властивостей сплавів	1
Підтема 2.1.	Процеси ППД	4
Підтема 2.1.	Матеріал інструменту, параметри процесів ППД, змащення	3
Підтема 2.1.	Втомна міцність після ППД в залежності від складу та структури сплаву	4
Підтема 2.1.	Залишкові напруження після ППД	4
Підтема 2.1.	Пошкоджуваність поверхні після ППД	4
½ МКР		1
Тема плану 3	Механізм зміцнення при поверхневому пластичному деформуванні	2
Підтема 3.1.	Зміна тонкої структури сплаву під впливом ППД	4
Підтема 3.1.	Вплив ППД на кінематику та механізми втомного руйнування	4
Підтема 3.1	Аналіз механізмів зміцнення в цілях впливу на службові властивості деталей	2
½ МКР		1

Тема плану 4	Комбіновані способи збільшення конструктивної міцності деталей	2
Підтема 4.1	Об'ємне деформування в поєднанні із ППД	4
Підтема 4.1	Хіміко-термічна обробка в поєднанні із ППД	4
Підтема 4.1	Ефективність ППД при різних типах концентраторах напружень	2
Залік		2

## 6. Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота передбачена за всіма темами плану курсу.

При опануванні курсу (підготовці та опрацюванню матеріалу лекцій) слухачам слід особливу увагу звернути на такі складові самостійної роботи по темам:

- по розділу конструктивна міцність деталей із високоміцних сплавів: - зміна опору крихкому руйнуванню в залежності від складу, структури та механічних властивостей сплавів, залежність процесів втомного та крихкого руйнування при циклічному навантаженні.
- по розділу ефективність поверхневого пластичного деформування в залежності від вихідної структури та властивостей сплавів: принципи оптимізації зміцнення деталей при ППД в залежності від структури та властивостей сплаву, ППД за допомогою ультразвуку, вплив додавання мікро- та нано-порошків пластичних матеріалів в мастило для ППД, способи зменшення адгезійної складової тертя, важкооброблювані сплави
- по розділу механізм зміцнення при поверхневому пластичному деформуванні: зміна амплітудно-залежного внутрішнього тертя сплавів при ППД та інших видів деформаційного зміцнення, позаконтактна деформація, параметри якості поверхневого шару, глибина розповсюдження пластичної деформації, ППД тонкостінних деталей
- по розділу комбіновані способи збільшення конструктивної міцності деталей: поверхнєве загартування з нагрівом токами високої частоти в поєднанні із ППД, вплив ППД на чутливість до концентрації напружень в залежності від статичної міцності матеріалу

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика щодо дедлайнів та перескладання: - у відповідності до загальноуніверситетських вимог, окремі елементи не встановлюються. Перескладання заліку відбувається із дозволу кафедри/деканату за наявності поважних причин (наприклад: лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: - у відповідності до загальноуніверситетських вимог, окремі елементи не встановлюються. Списування, запозичення, шахрайство під час оцінювання тощо - не допускаються.

Політика щодо відвідування: - відвідування занять та присутність на іспиті є обов'язковим компонентом для оцінювання, під час лекцій проводяться експрес-опитування та надаються завдання для виконання під час аудиторних занять (обов'язкові складові РСО), а також за навчальну активність слухача нараховуються додаткові бали (додатково до РСО). За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування та/або інші форс-мажорні ситуації тощо) навчання може відбуватись в on-line формі у відповідності до загальноуніверситетських вимог. Також застосовуються елементи змішаного навчання.

Застосовуються і заохочуються (на підставі мотивованої активності під час навчання) можливо отримання підсумкової оцінки – автоматом (за згодою слухача) і у відповідності до загальноуніверситетських вимог

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: 1) результати експрес-опитування або експрес-тестів за тематикою опанованого матеріалу під час проведення заняття (проводиться 21 опитування по 1 балу за позитивне опитування, сумарно 21 балів max) або - результатів тестів, які враховуються замість результатів експрес опитування (тести проводяться за бажанням слухачів за погодженням (допуском) викладача), зокрема при об'єктивних обставинах недостатньої кількості балів за поточні експрес-опитування, як правило при наборі 3-5 балів за тему плану (в залежності від повноти відповіді у 6 балів max, сумарно 18 балів max); 2) результати розбитої на дві по ½ МКР (кожна з яких оцінюється в залежності від повноти відповіді у 20 балів max, сумарно 40 балів max); 3) додаткові (заохочувальні) бали не можуть перевищувати 20 балів max (поставляються за мотивовану активність під час занять по 1 балу за лекцію та участь у написанні тез, статей тощо, участь у науково-дослідній роботі кафедри тощо, підготовці стартапів тощо до 5 балів за кожну складову).

Семестровий контроль: іспит (в залежності від повноти відповіді у 40 балів max).

Бали поточного і семестрового контролю складаються, але не можуть перевищувати 100 балів.

Якщо слухач під час семестру набрав більше за 60 балів він може претендувати на іспит автоматом за загальноуніверситетськими умовами переведення поточних балів в екзаменаційну оцінку.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

перелік обов'язкових питань, які виносяться на семестровий контроль:

- по розділу конструктивна міцність деталей із високоміцних сплавів: - втомна міцність деталей, статична міцність деталей, крихке руйнування, втомна тріщина та механізми її формування та розповсюдження, високоміцні сплави, сталі, алюмінієві та титанові сплави та їх використання в циклічно навантажених деталях;
- по розділу ефективність поверхневого пластичного деформування в залежності від вихідної структури та властивостей сплавів: процеси ППД, параметри ППД, вплив параметрів ППД на якість деталі та продуктивність процесу, тертя в процесах ППД та вплив мастила;
- по розділу механізм зміцнення при поверхневому пластичному деформуванні: внутрішнього тертя сплавів при ППД та інших видів деформаційного зміцнення, позаконтактна деформація, параметри якості поверхневого шару, глибина розповсюдження пластичної деформації, ППД тонкостінних деталей, ППД деталей складної форми, ППД в авіаційній та військовій промисловості; роль ППД деталей машин для забезпечення їх довговічності;
- по розділу комбіновані способи збільшення конструктивної міцності деталей: поверхневе загартування з нагрівом токами високої частоти в поєднанні із ППД, хіміко-термічна обробка поверхні деталі, лазерне поверхневе зміцнення, лазерне легування та наплавка, іонна імплантація, плазмове нанесення покриття, електроіскрове легування.

В якості питань екзаменаційних білетів/тестів можуть застосовуватись питання з іншим формулюванням та/або їх складові частини;

- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів тощо за відповідною тематикою;

- можливість зарахування статей, виданих в науко-метричних виданнях, з підвищеною складовою оцінювання.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Склав** д.т.н., професор кафедри ТВЛА Вячеслав Тітов

**Ухвалено** кафедрою ТВЛА (протокол № 1 від 28.08.2020 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ММІ (протокол № 1 від 28.08.2020 р.)