



Механічні властивості матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/120 год: 36 год лекцій, 18 год лабораторних занять, 66 год СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=993b2bb7-baad-4c26-ae8c-c934615cdf85</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н., професор, Богомол Ю.І., bohomo1@imz.kpi.ua</i> Лобораторні: <i>Шеремет В.І., v.sheremet@umrs.org.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&ir_own</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та набувають навички експериментально визначати, теоретично аналізувати та прогнозувати фізико-механічні властивості матеріалів в залежності від їх хімічного складу, природи хімічного зв'язку, атомної та мікроструктури.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- експериментально визначати, теоретично аналізувати та прогнозувати фізико-механічні властивості матеріалів в залежності від їх хімічного складу, природи хімічного зв'язку, атомної та мікроструктури, напружено-деформованого стану та оцінювати поведінку матеріалів під дією напружень, при нагріванні та хімічній взаємодії, що дозволить розробляти нові матеріали, визначати оптимальні технологічні параметри їх отримання та виготовляти вироби з заданими фізико-механічними характеристиками і створювати нові та вдосконалювати вже існуючі технології виробництва матеріалів різної природи;
- проводити контроль якості матеріалів та технологій в області матеріалознавства та металургії;

розвиток загальних компетентностей, які полягають у:

- здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями;
- здатності приймати обґрунтовані рішення;
- здатність використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність працювати автономно;

а також розвиток фахових компетентностей, які полягають у:

- Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства;
- Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності;
- Здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань;
- Здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів;
- Здатність дотримуватись професійних і етичних стандартів.

Предмет навчальної дисципліни “Механічні властивості матеріалів” – основні закономірності механічної поведінки матеріалів і вплив на неї різних факторів: атомно-кристалічної будови, структури, методу отримання, виду навантаження, навколишнього середовища, тощо.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен:

- Обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки;

Студент повинен набути досвід:

- прогнозування механічних властивостей матеріалів на основі знання про їх хімічний склад, природу, структуру, методи отримання та умови експлуатації.
- Оцінювати доцільність їх застосування відповідно до умов експлуатації.

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

Дисципліна викладається в шостому семестрі підготовки за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення навчальної дисципліни “Механічні властивості матеріалів”:

- фізика;
- хімія;
- фізична хімія;
- Кристалографія, кристалохімія та мінералогія;
- фізика конденсованого стану;
- металознавство.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Механічні властивості матеріалів» необхідні для поглибленого вивчення таких нормативних дисциплін:

- основи теорії процесів консолідації порошкових та наноструктурованих матеріалів;
- технологія виробництва ПКМ.

А також дисциплін вільного вибору щодо теорії та технології нанесення покриттів і формування їх структури і властивостей, нанотехнології, матеріалів різного призначення.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль (розділ) 1. Загальні поняття із механічних властивостей.

Тема 1.1 Дефекти кристалічної ґратки.

Тема 1.2 Напружений і деформований стан матеріалів.

Тема 1.3 Механічні випробування матеріалів.

Змістовий модуль (розділ) 2. Пружна деформація.

Тема 2.1 Пружні властивості матеріалів.

Тема 2.2 Непружні властивості матеріалів.

Змістовий модуль (розділ) 3. Пластична деформація.

Тема 3.1 Пластичність матеріалів.

Тема 3.2 Деформаційне зміцнення матеріалів.

Змістовий модуль (розділ) 4. Руйнування матеріалів.

Тема 4.1 Критерії руйнування.

Тема 4.2 Механізми руйнування.

Тема 4.3 Втомне руйнування.

Змістовий модуль (розділ) 5. Твердість матеріалів та методики її визначення.

Змістовий модуль (розділ) 6. Механічні властивості композиційних матеріалів.

Змістовий модуль (розділ) 7. Високотемпературні властивості матеріалів.

Тема 7.1 Жароміцність матеріалів.

Тема 7.2 Повзучість.

Змістовий модуль (розділ) 8. Конструкційна міцність матеріалів.

Тема 8.1 Конструкційна міцність матеріалів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Основна механіка руйнування : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. підгот. "Інженерна матеріалознавство" / В.С. Майборода [та ін.] ; Мін-во освіти і науки України, НТУУ "КПІ". - Київ : НТУУ "КПІ", 2010. - 124 с.
2. Богданов В. Л. Основні експериментальні методи механіки деформівного твердого тіла : навчальний посібник / В.Л. Богданов, Я.О. Жук, О.С. Богданова ; Національна академія наук України, Міністерство освіти і науки України, Відділення цілової підготовки Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - Київ : Академперіодика, 2016. - 278 с.
3. Рябічева Л. О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / Л. О. Рябічева ; Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський нац. ун-т ім. В. Даля. - Луганськ : [Вид-во СХУ ім. В. Даля], 2013. - 355 с.
4. Пчелінцев В. О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посібн. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула ; Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, Сумський держ. ун-т. - Суми : Сумський державний університет, 2012. - 246 с.
5. Шкриль О. О. Механіка руйнування : спецкурс : навчальний посібник для студентів галузі знань "Архітектура та будівництво" спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" освітнього рівня "магістр" / О.О. Шкриль ; Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет будівництва і архітектури. - Київ : КНУБА, 2020. - 103 с.

Додаткова література

1. <https://www.scopus.com/>
2. <https://scholar.google.com/>
3. <https://link.springer.com/>
4. <https://www.sciencedirect.com/>
5. <https://www.wiley.com/en-us>
6. <https://webofknowledge.com/>

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань по механічних властивостях керамічних композиційних матеріалів.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Зміст лекційних занять

Лекція 1. Вступ. Предмет розгляду вчення про механічні властивості матеріалів. Історичні відомості. Багаторівневий аналіз механічної поведінки матеріалів. Література: [1]-[3].

Лекція 2. Дефекти кристалічної будови матеріалів. Нульмірні дефекти кристалічної ґратки. Дефекти кристалічної будови матеріалів. Недосконалість будови реальних кристалів. Класифікація дефектів кристалічної будови матеріалів: точкові, лінійні, двомірні, об'ємні. Нульмірні дефекти: вакансії, бівакансії, пари Френкеля, власні та домішкові міжвузельні атоми. Механізми дифузії в твердих тілах. Література: [1], [3].

Лекція 3. Лінійні дефекти кристалічної ґратки. Лінійні дефекти в твердих тілах. Дислокації. Вектор Бюргерса. Крайова дислокація. Гвинтова дислокація. Щільність дислокацій. Література: [1]-[3].

Лекція 4. Дислокаційна структура кристалу. Основні властивості дислокацій. Геометричні характеристики дислокацій. Знак дислокацій. Дислокаційні петлі. Рух дислокацій. Сила, що діє на дислокацію. Дислокаційна структура кристалу. Розмноження дислокацій. Джерело Франка-Ріда. Література: [1]-[3].

Лекція 5. Плоскі та об'ємні дефекти кристалічної ґратки. Плоскі дефекти кристалічної ґратки. Границі субзерен. Явище полігонізації. Плоскі скупчення дислокацій. Двійники. Границі зерен. Зернограничне зміцнення. Формула Холла-Петча. Об'ємні дефекти. Тріщини. Пори. Включення другої фази. Включення інородних тіл. Взаємодія дислокацій з домішковими атомами. Взаємодія дислокацій і пари Френкеля. Література: [1]-[3].

Лекція 6. Напруження та деформації. Напружений та деформований стан матеріалів. Напруження та деформації. Поняття про розтяг і стиск. Епюри поздовжніх сил. Напруження при розтягу (стиску). Визначення напружень на нахилених площадках. Деформації при розтягу (стиску). Закон Гука. Потенціальна енергія деформації. Види напружених та деформованих станів. Література: [1]-[3].

Лекція 7. Механічні випробування матеріалів. Види механічних випробувань. Техніка механічних випробувань. Зразки для механічних випробувань. Первісна діаграма навантаження-подовження. Умовна діаграма напруження - відносна деформація. Механічні характеристики, що визначаються при випробуванні матеріалів на розтяг. Діаграма розтягу. Механічні характеристики матеріалу. Вплив різних факторів на механічні властивості матеріалів. Розрахунок на міцність при розтягу (стиску). Література: [2]-[4].

Тематична контрольна робота №1.

Лекція 8. Пружні властивості матеріалів. Пружні характеристики матеріалів. Визначення пружних властивостей монокристалів та ізотропних полікристалічних матеріалів. Вплив різних факторів на зміну пружних властивостей матеріалів. Література: [1]-[3].

Лекція 9. Непружні властивості матеріалів. Явище гістерезису. Внутрішнє тертя. Пружна пряма і зворотна післядія. Ефект Баушингера. Релаксація напружень. Пружний гістерезис. Пластичний гістерезис. Пружнопластичний гістерезис. Література: [1]-[3].

Лекція 10. Пластичність матеріалів. Пластичність матеріалів. Дислокаційний механізм пластичної деформації. Площини ковзання для різних типів кристалічних ґраток. Макроскопічні сліди ковзання. Сили, що викликають ковзання. Закон Шмідта. Література: [1]-[3].

Лекція 11. Пластична деформація полікристалів. Фізична природа границі пластичності. Локалізація початкової стадії мікродеформації. Вплив швидкості деформування на величину пластичної деформації. Зуб текучості. Опір пластичній деформації. Вплив температури на границю текучості. Вплив далекодіючих напружень. Вплив факторів, що пов'язані з площинними дефектами. Література: [1], [4].

Лекція 12. Деформаційне зміцнення матеріалів. Фізичні причини деформаційного зміцнення. Еволюція дислокаційної структури при деформації. Утворення комірчастої структури. Структурна чутливість кривої деформаційного зміцнення. Література: [1]-[3], [5].

Лекція 13. Критерії руйнування матеріалів. Загальні відомості про руйнування матеріалів. Енергетичний критерій руйнування. Критерій Грифітса. Силовий критерій руйнування. Тріщиностійкість матеріалу. Література: [3]-[5].

Лекція 14. Механізми руйнування матеріалів. Класифікація механізмів руйнування. Крихкий скол. Квазікрихке руйнування. Скол з релаксацією. В'язке руйнування. Міжзереннеруйнування. Література: [1], [3], [7]-[9].

Тематична контрольна робота №2.

Лекція 15. Твердість матеріалів та методики її визначення. Твердість матеріалів. Твердість при вдавлюванні. Вдавлювання кульки. Твердість по Бріннелю. Вдавлювання конуса і піраміди. Мікромеханічні характеристики матеріалів. Вдавлювання кульки і конуса з попереднім навантаженням. Твердість при дряпанні. Твердість по Шору. Твердість при ударному вдавлюванні кульки - динамічна твердість. Література: [1], [4].

Лекція 16. Особливості механічних властивостей композиційних матеріалів. Механічні властивості композиційних матеріалів. Класифікація композиційних матеріалів. Матриця. Армуючий елемент. Методи одержання композиційних матеріалів. Особливості механічних властивостей композиційних матеріалів. Розрахунок міцності композиційних матеріалів. Література: [2]-[4].

Лекція 17. Жароміцність матеріалів. Жароміцність. Випробування матеріалів на жароміцність. Межа тривалої міцності. Повзучість матеріалів. Література: [1], [2].

Лекція 18. Конструкційна міцність матеріалів. Конструкційна міцність матеріалів. Розрахунок міцності конструкції за допустимими напруженнями. Розрахунок міцності конструкції за граничним станом. Розрахунки конструкцій при розтягуванні й стисканні. Розрахунки конструкцій при згині. Література: [3], [5].

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- навчитися визначати механічні характеристики різних типів матеріалів;
- навчитися прогнозувати механічні властивості матеріалів в залежності від структури та напружено-деформованого стану;
- навчитись застосовувати знання про механізми зміцнення для створення нових матеріалів з підвищеними механічними характеристиками;
- навчитися методам контролю властивостей матеріалів.

Зміст лабораторних занять

1. Визначення механічних характеристик матеріалів при випробуваннях на закручування (4 години).

2. *Визначення основних механічних характеристик матеріалів при випробуваннях на розтягування (4 години).*
3. *Дослідження впливу зеренної структури на механічні властивості матеріалів (4 години).*
4. *Дослідження міцності керамічних композиційних матеріалів при випробуванні на згин (4 години).*
5. *Дослідження мікромеханічних характеристик матеріалів (2 години).*

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота здобувачів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в:

- *самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для детального ознайомлення з сучасними тенденціями аналізу механічної поведінки матеріалів – в розрахунку 0,5 години на 1 годину лекційного заняття = 18 годин;*
- *підготовці до виконання лабораторних занять – в розрахунку 1,6 години на 1 годину виконання лабораторного заняття = 29 годин;*
- *підготовці до 2 МКР (6 годин);*
- *підготовці до семестрового контролю – екзамену (13 годин).*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед здобувачем:

- *Відвідування усіх видів занять є бажаним.*
- *Завдання пропущеного практичного заняття здобувач повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.*
- *Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час практичних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.*
- *Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання опрацьованих методик дослідження для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.*
- *Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.*
- *Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.*

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

Поточний контроль:

- *Експрес-опитування на лекційних заняттях – максимум 1 бал, всього 18 балів.*
- *Тестування на лабораторних заняттях – максимум 1 бали, всього 9 балів.*
- *2 модульні контрольні роботи, що проводяться на 9-му і 18-му навчальному тижні. Максимальна оцінка 23 бали.*
- *Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Студенти, які на момент календарного контролю мають*

суму результатів поточного контролю, яка не менше 50% максимально можливої одержують позитивну оцінку, у іншому випадку – негативну. 1-й календарний контроль (лабораторні 1-2; МКР максимальна сума 29 балів); 2-й календарний контроль (лабораторні 1-5, МКР, максимальна сума 45 балів).

- Семестровий контроль: екзамен.

Розподіл між стартовою і екзаменаційною оцінкою, відповідно до положення: 50 балів (стартові бали) і 50 балів (екзаменаційна оцінка).

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 30 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт.

Екзамен проводиться у вигляді письмового опитування; завдання включає 3 теоретичні питання зі списку Додатку А; на підготовку виділяється 1 академічна година.

Відповідь на питання оцінюється за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними недоліками);
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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 питань, які виносяться на семестровий контроль знаходиться в Додатку А.
- Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» при НН ІМЗ ім. Є.О. Патона, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів. Лекційний курс планується таким чином, щоб розглянути механічну поведінку матеріалів з залежності від природи матеріалу, його напружено-деформованого стану та умов випробувань. Лабораторні роботи проводяться у такій послідовності, щоб максимально дати студентам базові навички визначення та аналізу основних механічних характеристик матеріалів та пояснення механічної поведінки матеріалів різної природи на різних структурних рівнях.
- Результати навчання за даним освітнім компонентом, здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (окремі теми, окремі лабораторні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті"
(<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено завідувач кафедри ВТМ та ПМ, д.т.н, професор, Богомол Ю.І.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол №13 від 24.06.2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №8/26 від 25.06.26 року.)

Перелік питань на семестровий контроль

по курсу: **“Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів”**

1. Поняття про механічні властивості і характеристики
2. Багаторівневий аналіз механічної поведінки матеріалів.
3. Теоретична оцінка міцності твердих тіл.
4. Класифікація дефектів кристалічної будови матеріалів
5. Точкові дефекти
6. Лінійні дефекти в кристалах.
7. Крайова дислокація
8. Гвинтова дислокація
9. Основні властивості дислокацій
10. Дислокаційна структура кристалу
11. Розмноження дислокацій
12. Плоскі дефекти кристалічної ґратки
13. Границі субзерен
14. Плоскі скупчення дислокацій
15. Двійники
16. Границі зерен
17. Об'ємні дефекти кристалічної ґратки
18. Напружений та деформований стан матеріалів
19. Напруження при розтягу (стиску).
20. Деформації при розтягу (стиску)
21. Закон Гука
22. Узагальнений Закон Гука.
23. Потенціальна енергія деформації.
24. Види напружених та деформованих станів
25. Види механічних випробувань.
26. Техніка механічних випробувань.
27. Зразки для механічних випробувань.
28. Діаграма розтягу.
29. Діаграма стиснення
30. Вплив різних факторів на механічні властивості матеріалів.
31. Пружні властивості матеріалів.
32. Непружні властивості матеріалів
33. Пружна пряма і зворотна післядія.
34. Ефект Баушингера.
35. Релаксація напружень.
36. Непружні явища при коливаннях
37. Механізм пластичної деформації
38. Пластична деформація ГЦУ матеріалів
39. Пластична деформація ОЦК матеріалів
40. Пластична деформація ГЦК матеріалів
41. Пластична деформація полікристалів.
42. Фізична природа границі пластичності.
43. Вплив швидкості деформування на величину пластичної деформації
44. Зуб текучості
45. Вплив температури на границю текучості
46. Опір пластичній деформації
47. Фізичні причини деформаційного зміцнення
48. Еволюція дислокаційної структури при деформації

49. Структурна чутливість кривої деформаційного зміцнення
50. Загальні відомості про руйнування матеріалів
51. Енергетичний критерій руйнування
52. Силовий критерій руйнування
53. Механізми руйнування матеріалів
54. Крихке руйнування
55. Квазікрихке руйнування
56. В'язке руйнування
57. Міжзеренне руйнування
58. Втомне руйнування
59. Фрактографія
60. Твердість матеріалів
61. Твердість при вдавлюванні
62. Твердість по Бріннелю
63. Твердість по Роквелу
64. Твердість по Вікерсу
65. Твердість при дряпанні
66. Пружний відскок кульки - твердість по Шору
67. Твердість при ударному вдавлюванні кульки - динамічна твердість
68. Твердість при підвищених температурах
69. Класифікація композиційних матеріалів
70. Структура композиційних матеріалів
71. Вимоги до структурних елементів композиційних матеріалів
72. Особливості механічних властивостей композиційних матеріалів
73. Розрахунок міцності композиційних матеріалів
74. Жароміцність
75. Повзучість
76. Низькотемпературна повзучість
77. Високотемпературна повзучість
78. Дифузійна повзучість
79. Конструкційна міцність матеріалів
80. Розрахунок конструкційної міцності за допустимими напруженнями.
81. Розрахунок конструкційної міцності за граничним станом.
82. Методи підвищення конструкційної міцності.