

Лекція № 1. Тема 1. Основні положення. (заняття 1)

Тема лекції: Вступ. Основні положення. Мета та завдання опору матеріалів. Поняття про пружні та пластичні деформації. Основні припущення та гіпотези. Метод перерізів. Напруга.

План:

1. Мета та завдання опору матеріалів.
2. Основні поняття: міцність, жорсткість, стійкість.
3. Методи опору матеріалів.
4. Основні гіпотези та припущення опору матеріалів.
5. Об'єкти опору матеріалів.
6. Сутність методу поперечних перерізів.
7. Внутрішні силові фактори.
8. Нормальна, дотична повна напруга.

Опір матеріалів – наука, що займається створенням основ розрахунку елементів конструкцій та деталей машин на міцність, жорсткість та стійкість.

Міцність – неруйнування під дією заданого навантаження.

Жорсткість – здатність чинити опір деформаціям.

Стійкість – здатність під час експлуатації початкову форму.

Крім перерахованих вимог, до будівель і споруд ставлять ще вимогу економічності їх зведення.

Основне завдання опору матеріалів – розробка методів, що дозволяють підбирати надійні та найбільш економічні розміри поперечних перерізів елементів конструкцій, а також найбільш доцільну їх форму. Часто доводиться розв'язувати обернену задачу – перевіряти достатність прийнятих розмірів існуючих конструкцій, тобто перевіряти їх на міцність, жорсткість та стійкість.

При розв'язанні основного завдання опору матеріалів використовується як дослід так і теорія. Досліди дають можливості вивчити механічні властивості та поведінку матеріалів в умовах його роботи. Теорія дозволяє створити методи розрахунку конструкцій на основі дослідів.

Основні поняття:

- Деформація – зміна розмірів та форми під дією зовнішніх сил;
- Пружна деформація – та, яка зникає після зняття навантаження;

- Пластична (залишкова) деформація – та, яка частково залишається після зняття навантаження;
- Внутрішні сили – виникають внаслідок дії навантаження, чинять опір деформації;
- Пружність – здатність тіл відновляти початкову форму та розміри після зняття навантаження;
- Пластичність - здатність тіл отримувати значні залишкові деформації не руйнуючись;
- Крихкість – властивість матеріалу легко руйнуватися при ударних навантаженнях.

Основні гіпотези та припущення щодо властивостей матеріалу:

1. Гіпотеза про відсутність початкових внутрішніх зусиль.
2. Припущення про однорідність матеріалу.
3. Припущення про безперервність матеріалу.
4. Припущення про ізотропність матеріалу.
5. Припущення про ідеальну пружність матеріалу.
6. Припущення про лінійну деформацію тіл.
7. Припущення про те, що деформації малі в порівнянні з розмірами тіла.
8. Принцип незалежності дії сил.
9. Гіпотеза плоских перерізів.

Основні об'єкти опору матеріалів – брус (прямий та кривий), поперечний переріз, стержень, стояк, колона, пластина, балка, оболонка, масив.

Для визначення внутрішніх зусиль, що виникають в елементі конструкції застосовують метод перерізів. Сутність цього методу полягає в тому, що частини бруса по один бік від поперечного перерізу відкидається та розглядаються умови рівноваги частини бруса по один бік від перерізу. При цьому для врівноваження дії зовнішніх сил до перерізу прикладають внутрішні силові фактори (в загальному випадку б):

N – поздовжня сила, Н

Q_x, Q_y – поперечні сили відносно осі, Н

M_x, M_y – згинальні моменти відносно осі, Н·м

M_k – крутний момент, Н·м

Напруга (механічна напруга) – характеризує інтенсивність внутрішніх сил, які діють в перерізі. Напруга дорівнює відношенню сили на площу, вимірюється в Па.

Нормальна напруга – діє перпендикулярно (по нормалі) до площі поперечного перерізу: — —

Дотична напруга – діє в площі поперечного перерізу: — —

При одночасній дії нормальної та дотичної напруг визначають повну напругу:

Контрольні питання:

1. В чому полягає пряма та обернена задачі опору матеріалів?
2. Дайте поняття міцності, жорсткості та стійкості конструкції.
3. Про що говорить гіпотеза про відсутність початкових внутрішніх зусиль?
4. Чим відрізняються припущення про однорідність, безперервність та ізотропність матеріалу?
5. Що таке ідеальна пружність матеріалу?
6. В чому полягає принцип незалежності дії сил?
7. Дайте означення поняттям: брус (прямий та кривий), поперечний переріз, стержень, стояк, колона, пластина, балка, оболонка, масив.
8. В чому сутність методу перерізів?
9. Які внутрішні зусилля можуть виникнути в перерізі?
10. Що характеризує напруга, як вона визначається?
11. В чому різниця між напругою нормальної та дотичної?
12. Як обчислити повну напругу в перерізі?

Лекція № 2. Тема 2. Розтяг та стиск. (заняття 2)

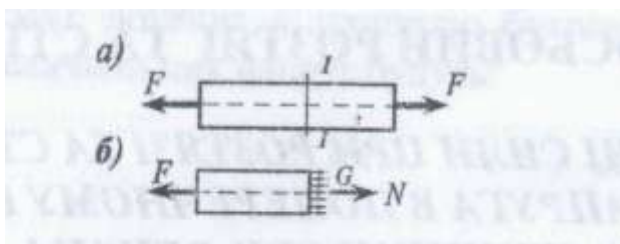
Тема лекції: Поздовжня сила. Побудова епюр поздовжніх сил та нормальних напруг. Гіпотеза плоских перерізів Я. Бернуллі. Нормальні напруги в поперечних перерізах бруса.

План:

1. Поняття деформації розтягу (стиску).
2. Силкові фактори в поперечному перерізі бруса при деформації розтягу (стиску).
3. Правило знаків для поздовжньої сили.
4. Гіпотеза Я.Бернуллі.
5. Побудова епюр поздовжніх сил при деформації розтягу (стиску).
6. Побудова епюр нормальних напруг при деформації розтягу (стиску).
7. Приклад побудови епюр поздовжніх сил та нормальних напруг при деформації розтягу (стиску).

Розглянемо деформацію, що викликана силами, які прикладені вздовж осі бруса – деформація розтягу (стиску).

Для визначення внутрішніх сил в поперечних перерізах бруса застосовується метод перерізів.



N – поздовжня сила в перерізі I-I, $N = F$ – умова рівноваги

Якщо сил декілька:

Правило знаків:

N додатна (зі знаком +), якщо сила F розтягує переріз,

N від'ємна (зі знаком -), якщо сила F стискає переріз.

Гіпотеза Я.Бернуллі говорить про однакову деформацію волокон бруса як зовнішніх так і внутрішніх. На основі гіпотези можна стверджувати, що нормальна напруга в перерізі розподіляється рівномірно:

—

σ – нормальна напруга в перерізі, $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$

N – поздовжня сила (внутрішня) в перерізі, Н

A – площа поперечного перерізу, м^2

Якщо на брус діє декілька зовнішніх сил прийнято будувати епюри.

Епюра – графік розподілу внутрішніх зусиль і напруг, що виникають в конструкції. По цьому графіку можна виявити найбільш небезпечні перерізи для подальшого розрахунку конструкції.

Приклад побудови епюр N та σ при деформації розтягу (стиску):

Контрольні питання:

1. Як прикладені сили при деформації розтягу (стиску)?
2. Які силові фактори діють в поперечному перерізі бруса при деформації розтягу (стиску)?
3. Які поздовжні сили вважаються додатними? Від'ємними?
4. Як за гіпотезою Бернуллі можна знайти нормальну напругу в перерізі?
5. Що таке епюри?
6. Які епюри будують при деформації розтягу (стиску)?
7. Чому відповідають «стрибки» на епюрі поздовжніх сил?
8. Чому відповідають «стрибки» на епюрі нормальних напруг?
9. Як за епюрами визначити небезпечний переріз?

Лекція № 3. Тема 2. Розтяг та стиск. (заняття 3)

Тема лекції: Поздовжня деформація при розтягу (стиску). Закон Гука. Модуль поздовжньої пружності. Визначення переміщень поперечних перерізів. Жорсткість перерізу бруса при розтягу та стиску. Визначення переміщень поперечних перерізів.

План:

1. Закон Гука для деформації розтягу (стиску).
2. Зв'язок між відносною та абсолютною деформацією.
3. Формула визначення переміщень при деформації розтягу (стиску).
4. Жорсткість перерізу.
5. Границі застосування закону Гука.
6. Приклад визначення переміщень при деформації розтягу (стиску).

Закон Гука для деформації розтягу (стиску):

σ – нормальна напруга в перерізі, Па

E – модуль поздовжньої пружності, характеризує ступінь опору матеріалу пружній деформації, Па (для сталі $E = 2 \cdot 10^5$ МПа)

ϵ – відносна деформація, число або %

Δl - абсолютна деформація, м

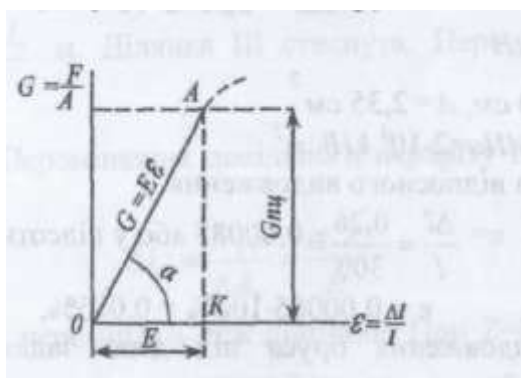
l - початкова довжина, м

$$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}$$

Добуток EA є характеристикою даного перерізу, яка називається жорсткість перерізу бруса при розтягу (стиску).

Якщо брус ступінчастий, то

Закон Гука виконується тільки до певного значення напруги – $\sigma_{пр}$ (границя пропорційності), наприклад для сталі $\sigma_{пр} = 200$ МПа



$$\text{tg } \alpha = E$$

Приклад визначення абсолютної деформації стержня при розтягу (стиску):

Контрольні питання:

1. Запишіть формулу закону Гука для деформації розтягу (стиску) та поясніть її.
2. Що характеризує модуль поздовжньої пружності матеріалу?
3. Як визначити відносну деформацію?
4. В чому вимірюються відносна та абсолютна деформації?
5. Запишіть формулу визначення переміщень при деформації розтягу (стиску).
6. Що показує жорсткість перерізу?
7. Як визначити жорсткість перерізу?
8. До якого значення напруги виконується закон Гука?

Лекція № 4. Тема 2. Розтяг та стиск. (заняття 6)

Тема лекції: Розрахунок найпростіших статично невизначених стержневих систем. Поняття про статично невизначені системи при розтягу (стиску). Рівняння статики і рівняння переміщень.

План:

1. Методи розрахунку на міцність.
2. Метод розрахунку за допустимими напругами.
3. Статично визначені та статично невизначені конструкції.
4. Приклади розрахунку найпростіших статично невизначених конструкцій.

Два методи розрахунку на міцність:

- За допустимими напругами;
- За граничним станом.

Метод розрахунку за допустимими напругами полягає в тому, що робочі напруги не повинні перевищувати допустимі для даного матеріалу:

—

Статично визначеними називаються конструкції, в яких зусилля визначаються з рівнянь рівноваги статики. Коли умови рівноваги недостатньо і для розрахунку потрібні рівняння, що враховують деформації конструкція буде статично невизначена.

Приклади розрахунку найпростішої статично невизначеної конструкції:

Приклад 1. Балка, яку можна вважати абсолютно жорсткою, має шарнірно нерухому опору та підтримується двома стальними стержнями однакового поперечного перерізу. Визначити із розрахунку на міцність площу поперечного перерізу стержнів, якщо матеріал сталь Ст3. $[\sigma] = 160$ МПа. Підібрати профіль кутник рівнополічний.

Контрольні питання:

1. Які існують методи розрахунку на міцність?
2. Основна формула методу розрахунку за допустимими напругами.
3. В чому різниця між статично визначеними та статично невизначеними конструкціями?
4. Що треба враховувати при розрахунку статично невизначених конструкцій.

Лекція № 5. Тема 3. Елементи теорії напруженого стану. (заняття 8)

Тема лекції: Чотири теорії міцності, їх критика та галузь практичного застосування. Теорія найбільших нормальних напруг. Теорія найбільших лінійних деформацій. Теорія найбільших дотичних напруг. Теорія міцності Мора.

План:

1. Обґрунтування необхідності теорії міцності.
2. Принципова різниця між різними теоріями міцності.
3. Теорія найбільших нормальних напруг.
4. Теорія найбільших лінійних деформацій.
5. Теорія найбільших дотичних напруг.
6. Енергетична теорія.
7. Теорія Мора.

Для лінійного напруженого стану ($\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0$) допустимі напруги легко визначаються дослідним шляхом. В лабораторних умовах для різних матеріалів вимірюється $\sigma_{гр}$ (гранична напруга). Для пластичних матеріалів граничною є границя текучості ($\sigma_{гр} = \sigma_T$), для крихких матеріалів граничною являється границя міцності ($\sigma_{гр} = \sigma_B$).

Для плоского, а тим більше для об'ємного напружених станів такі досліди провести складно і їх число дуже велике, при різних співвідношеннях $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Тому виникла необхідність в теорії, яка б замінювала складний напружений стан еквівалентним йому лінійним.

Широко відомі 4 теорії міцності, які відрізняються тим, який фактор складного напруженого стану є визначальним при руйнуванні матеріалу.

Перша теорія міцності (теорія найбільших нормальних напруг):

При перевірці міцності враховують тільки найбільшу з трьох напруг $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:

Якщо - матеріал на розтяг та стиск працює неоднаково, то перевіряють ще й найменшу напругу:

Досліди випробувань на стиск для пластичних і крихких матеріалів цю теорію не підтвердили. Вона добре працює на розтяг для крихких матеріалів.

Першу теорія міцності застосовують при розрахунках конструкцій з крихких матеріалів (камінь, бетон, цегла).

Друга теорія міцності (теорія найбільших лінійних деформацій):

Дана теорія за допомогою еквівалентної напруги будь-який напружений стан зводить до лінійного (розтяг чи стиск)

Друга теорія міцності не працює для пластичних матеріалів, добре показала себе для деяких напружених станів при випробуванні крихких матеріалів.

Третя теорія міцності (теорія найбільших дотичних напруг):

$$\sigma_1 - \sigma_3 \quad \text{або}$$

Недоліком даної теорії є те, що вона не враховує σ_2 , а враховує тільки найбільшу та найменшу напруги.

Третя теорія міцності добре підтверджується дослідями для пластичних матеріалів (її ще називають теорією пластичності). Погано працює для крихких матеріалів.

Четверта теорія міцності (енергетична теорія):

—

- розрахункова

формула для об'ємного напруженого стану;

—

- розрахункова формула для плоского

напруженого стану.

Ця теорія виявилася більш точною для пластичних матеріалів порівняно з третьою.

Теорія Мора:

ν – відношення граничних напруг при розтягу та стиску:

— - для крихких матеріалів;

— - для крихко-пластичних матеріалів;

Для пластичних матеріалів $\nu = 1$.

Теорія Мора – узагальнений вигляд III теорії для крихких матеріалів.

Дає задовільні результати при розрахунку крихких матеріалів.

Приклад задачі:

Перевірити міцність матеріалу по III та енергетичної теоріями міцності.

Контрольні питання:

1. Чому для складного напруженого стану потрібна теорія міцності?
2. В чому різниця між теоріями міцності?
3. Основна формула теорії найбільших нормальних напруг.
4. Основна формула теорії найбільших лінійних деформацій.
5. Основна формула теорії найбільших дотичних напруг.
6. Основна формула енергетичної теорії.
7. Основна формула теорії Мора.

Лекція № 6.

Тема 4. Зсув. Практичні розрахунки на зсув та зминання. (заняття 9)

Тема лекції: Допустимі напруги на зріз та зминання. Приклади розрахунку заклепочних та зварних з'єднань.

План:

1. Розрахункове рівняння на зсув (зріз , сколювання).
2. Розрахункове рівняння на зминання.
3. Послідовність розрахунку заклепкового з'єднання?
4. Приклади розрахунку заклепкового з'єднання.
5. Розрахунок зварного шва встик.
6. Розрахунок зварного шва нахлестом або встик накладками.
7. Розрахунок зварного шва фланговими швами.
8. Приклади розрахунку зварних з'єднань.

Практичні розрахунки на зсув перевіряють міцність деталей для з'єднання, а також дозволяють підібрати їх переріз:

— - розрахункове рівняння на зсув (зріз , сколювання), де

τ – дотична напруга при зсуві, Па

F – сила, яка викликає зсув, Н

A – площа зсуву (A паралельна F), м²

$[\tau]$ – допустима напруга на зсув, МПа

— - розрахункове рівняння на зминання, де

$\sigma_{зм}$ – нормальна напруга при зминанні, Па

F – сила, яка викликає зминання, Н

$A_{зм}$ – площа зминання (A перпендикулярна F), м²

$[\sigma_{зм}]$ – допустима напруга на зминання, МПа

Для сталі $[\sigma_{зм}] = 2-2,5[\sigma_p]$ (допустима напруга на розтяг)

Розрахунок заклепкового з'єднання проводять на зріз та зминання, а також перевіряють послаблений отворами переріз на розтяг.

Для однозрізної заклепки площа зрізу дорівнює: —

— — — — — , де

n – кількість заклепок; d – діаметр заклепок.

Для багатозрізної заклепки:

$$\text{---}, \text{ де}$$

m – кількість площин зрізу для однієї заклепки.

Розрахунок заклепки на зминання:

Розрахункова площа зминання A_z , де d – діаметр заклепки; δ – товщина листа, що з'єднуються (менша з декількох)

Таким чином розрахункове рівняння на зминання: ---

Приклад задачі на розрахунок заклепкового з'єднання:

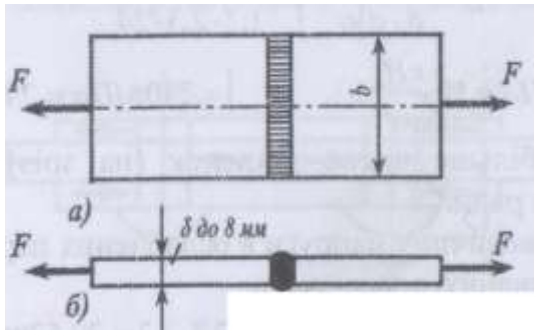
Визначити діаметр заклепок, якщо прикладена сила дорівнює 40кН. Перевірити міцність з'єднання. Допустима напруга на зріз 100 МПа, на зминання 280 МПа, на розтяг для листів 140 МПа.

Розрахунок зварних з'єднань.

При розрахунку зварних швів вважають, що напруги по перерізу шва розподіляються рівномірно. При виборі допустимих напруг велике значення мають спосіб зварювання і товщина захисної обмазки електродів.

Види зварних з'єднань:

1. Встик:



Міцність шва перевіряють на розтяг (стиск):

—

- умовна робоча площа перерізу

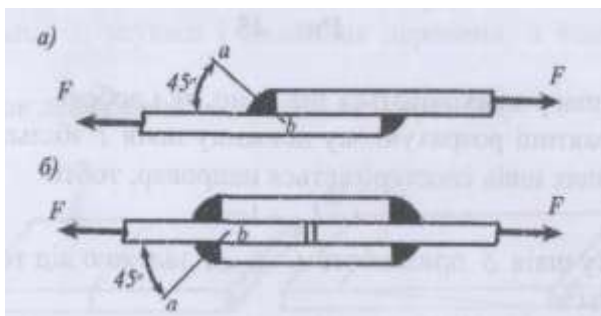
шва;

- довжина шва;

δ – товщина елементів, що зварюються.

2. Наклистом або встик накладками:

В швах виникають як нормальні та і дотичні напруги. Найнебезпечніший переріз а-а. Так як сталь має меншу міцність на зріз ніж на розтяг, то перевіряти шви слід за дотичними напругами.



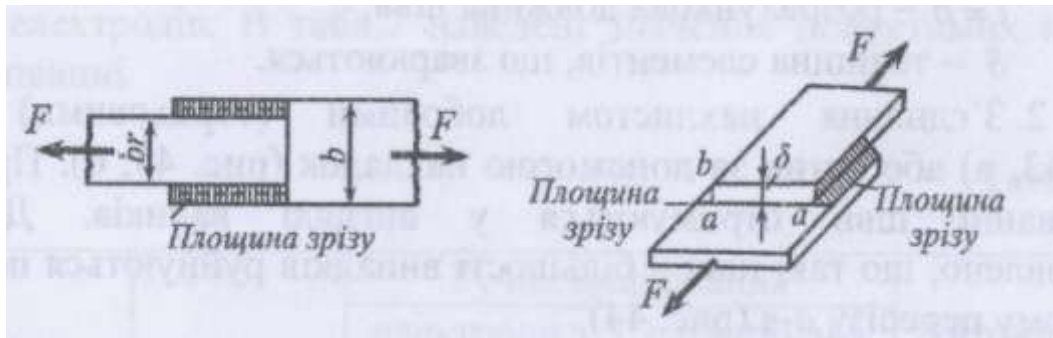
Міцність шва перевіряють на зріз:

—

- площа зрізу шва;

—

3. Фланговими швами:



Шов розташований паралельно сили.

Міцність шва перевіряють на зріз так само як шов нахлестом:

Приклад задачі на розрахунок зварного з'єднання:

Визначити необхідну довжину зварного шва, якщо прикладена сила дорівнює 230 кН. Листи товщиною 10 мм зварені фланговим швом. Допустима напруга на зріз 100 МПа.

Контрольні питання:

1. Які напруги діють в перерізі при деформації зсуву?
2. Які напруги діють в перерізі при деформації зминання?
3. Які розрахунки проводять для заклепкового з'єднання?
4. Які параметри можна підібрати з розрахунку заклепок на зріз?
5. Які параметри можна підібрати з розрахунку заклепок на зминання?
6. На який вид деформації розраховують зварний шов встик?
7. На який вид деформації розраховують зварний шов нахлистом або встик накладками?
8. На який вид деформації розраховують фланговий шов?
9. Як розташована поверхня зрізу при швах нахлистом та фланговому шві?

Лекція № 7.

Тема 5. Геометричні характеристики плоских перерізів. (заняття 11)

Тема лекції: Поняття про геометричні характеристики плоских перерізів бруса та їх зв'язок з різними видами деформацій. Моменти інерції: осьовий (екваторіальний), полярний та відцентровий. Зв'язок між осьовими моментами інерції відносно паралельних осей, одна з яких є центральною.

План:

1. Геометричні характеристики перерізу при різних видах деформацій.
2. Поняття моменту інерції перерізу.
3. Моменти інерції: осьовий, полярний, відцентровий.
4. Головні осі та головні моменти інерції перерізу.
5. Знаходження моменту інерції відносно осі, що паралельна центральній.
6. Приклади знаходження головних моментів інерції перерізів.

Міцність елементів конструкції при деформаціях розтягу (стиску), зсуву (зрізу, сколюванню) визначає площа поперечного перерізу.

Але міцність конструкції при згині, крученні залежить не тільки від розмірів перерізу, а й від напрямку прикладання навантаження. Тому міцність конструкцій при деформаціях згину та кручення визначає інша геометрична характеристика перерізу – момент інерції.

Момент інерції перерізу залежить від форми, розмірів конструкції, а також орієнтації конструкції в просторі відносно прикладеного навантаження.

Момент інерції позначається I та вимірюється в см^4 (м^4 , мм^4).

Моменти інерції:

Осьові (екваторіальні) – відносно осі:

Полярний – відносно полюсу (точки):

Відцентровий – відносно осей x та y :

Осі, що проходять через центр ваги називаються центральними.

Моменти інерції відносно центральних осей називаються центральними моментами інерції.

Головні осі – осі, відносно яких відцентровий момент інерції дорівнює нулю ($I_{xy}=0$). Осі симетрії завжди є головними осями інерції.

Якщо головні осі інерції проходять через центр ваги, вони називаються головними центральними осями інерції, а моменти інерції відносно них є головними центральними моментами інерції (або просто головними моментами інерції).

Головні моменти інерції мають граничні (екстремальні) значення: I_{\max} та I_{\min} .

Якщо переріз має ось симетрії, то одна з головних центральних осей з нею співпадає, а друга перпендикулярна їй та проходить через центр ваги.

Якщо треба знайти момент відносно осі, яка паралельна центральній:

, де

I_x – момент інерції відносно центральної осі, см^4

I_{x1} – момент інерції відносно осі $x1$, що паралельна центральній осі, см^4

a – відстань між осями x та $x1$, см

A – площа перерізу, см^2

Приклад задачі на розрахунок головних моментів інерції:

Визначити головні моменти інерції перерізу, який складається зі стандартних прокатних профілів.

Контрольні питання:

1. Яка геометрична характеристика перерізу визначає його міцність при деформаціях розтягу, зрізу?
2. Яка геометрична характеристика перерізу визначає його міцність при деформаціях згину, кручення?
3. Що таке момент інерції перерізу, від чого він залежить?
4. Що таке осьовий момент інерції перерізу, як він визначається?
5. Що таке полярний момент інерції перерізу, як він визначається?
6. Що таке відцентровий момент інерції перерізу, як він визначається?
7. Які осі називаються центральними?
8. Які осі називаються головними?
9. Які моменти інерції називаються головними?
10. Формула моменту інерції при паралельному переносі осей.

Лекція № 8. Тема 6. Згин прямого бруса. (заняття 14)

Тема лекції: Основні поняття та визначення. Внутрішні силові фактори в поперечному перерізі бруса при прямому згині: поперечна сила, згинальний момент. Диференційні залежності між згинальним моментом, поперечною силою та інтенсивністю розподіленого навантаження (теорема Журавського).

План:

1. Поняття деформації згину.
2. Поперечна сила та згинальний момент в поперечному перерізі при деформації згину. Правило знаків.
3. Правила побудови епюр внутрішніх силових факторів при деформації згину.
4. Приклади побудови епюр внутрішніх силових факторів при деформації згину.

В будівельних конструкціях широко застосовуються елементи, що працюють на згин.

Деформація згину характеризується тим, що в поперечних перерізах балки виникає згинальний момент i , дуже часто, поперечна сила.

Чистий згин – виникає тільки згинальний момент.

Поперечний згин – виникає згинальний момент та поперечна сила.

Задача вивчення згину зводиться до наступних етапів:

- Вивчення внутрішніх сил, що виникають в перерізах балки;
- Установлення закону розподілу внутрішніх сил (напруг) по перерізу – побудова епюр;
- Вивід формул для визначення напруг та підбору перерізів балок;
- Вивчення лінійних та кутових переміщень – прогинів та кутів повороту поперечних перерізів балок.

Для знаходження внутрішніх сил, що діють в перерізах балки застосовується метод перерізів. При цьому методі розглядаючи рівновагу лівої або правої від перерізу частини балки, знаходять поперечну силу та згинальний момент в даному перерізі.

Поперечна сила – це проекція рівнодіючої внутрішніх сил на вісь, що перпендикулярна до осі балки, позначається Q . Поперечна сила дорівнює алгебраїчній сумі проекцій всіх зовнішніх сил, що діють по одну сторону від перерізу, на вісь, перпендикулярну до осі бруса.

Згинальний момент в довільному перерізі – це момент рівнодіючої внутрішніх сил відносно центру ваги цього перерізу, позначається M .

Згинальний момент в довільному перерізі бруса чисельно дорівнює сумі моментів всіх зовнішніх сил, що діють по одну сторону від перерізу, відносно його центру ваги.

Щоб отримати в перерізі один і той же знак Q та M незалежно від того, яку частину балки розглядаємо, прийняті наступні правила знаків:

- Поперечна сила в перерізі додатна, якщо зовнішня сила обертає розглядаємо частину балки відносно перерізу за годинниковою стрілкою;
- Згинальний момент додатний, якщо розтягує нижні волокна.

Для наочного уявлення про закони змінювання поперечної сили та згинального моменту по довжині балки будують епюри Q та M .

Додатні значення Q відкладають вище нульової лінії, а додатні значення моментів – нижче (так прийнято у будівельників), тобто епюру M будують зі сторони розтягнених волокон.

Приклади побудови епюр для різного навантаження балки

Контрольні питання:

1. Які силові фактори виникають в перерізі при деформації згину?
2. Як визначається поперечна сила в перерізі при деформації згину?
3. Як визначається згинальний момент в перерізі при деформації згину?
4. Яка поперечна сила є додатною?
5. Який згинальний момент є додатним?
6. Який вигляд може мати ділянка епюри поперечних сил? В яких випадках?
7. Який вигляд може мати ділянка епюри згинальних моментів? В яких випадках?
8. Коли з'являються «стрибки» на епюрі поперечних сил? Чому вони дорівнюють?
9. Коли з'являються «стрибки» на епюрі згинальних моментів? Чому вони дорівнюють?
10. Про що говорить перетинання епюром поперечних сил нульової лінії?

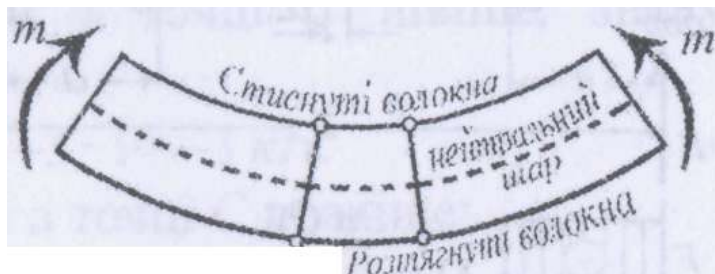
Лекція № 9. Тема 6. Згин прямого бруса. (заняття 16)

Тема лекції: Нормальні напруги при згині. Розрахунки на міцність при згині. Виведення формули для визначення нормальних напруг у поперечному перерізі. Осьові моменти опору перерізів.

План:

1. Нормальні напруги при деформації згину.
2. Розрахункове рівняння на міцність при деформації згину.
3. Поняття моменту опору.
4. Момент опору для прямокутника та круга.
5. Дотичні напруги при деформації згину.
6. Формула Журавського.
7. Статичний момент перерізу.
8. Приклад розрахунку балки на міцність при згині.

Розглянемо балку на двох опорах.



При деформації згину нижні волокна розтягуються, а верхні стискаються. Значить при згині існує нейтральний шар без деформації. Найнебезпечніші перерізи ті, в яких діють максимальний згинальний момент та максимальна поперечна сила. При розрахунку балки на міцність її розміри визначають розглядаючи переріз з максимальним згинальним моментом, а потім виконують перевірку за найбільшими дотичними напругами в перерізі, де діє максимальна поперечна сила.

Умова міцності при згині записується:

—

σ_{\max} – максимальна нормальна напруга, МПа

M_x – максимальний згинальний момент, Н·м

I_x – момент інерції перерізу відносно осі x (горизонтальна вісь), м⁴

u_{\max} – відстань від нейтральної осі перерізу до найбільш віддаленої точки перерізу, м

$[\sigma]$ – допустима напруга, МПа

Величина W_x — являється геометричною характеристикою перерізу і називається моментом опору перерізу, см^3 (м^3).

Виведемо формули моментів опору для простих перерізів.

Прямокутник: $W_x = \frac{bh^3}{12}$

Круг: $W_x = \frac{\pi r^4}{4}$

Таким чином умова міцності перерізу при згині відображає вимогу, щоб найбільші робочі напруги в поперечних перерізах балок не перевищували допустимої напруги для даного матеріалу:

—

Наведена формула розрахунку на міцність дозволяє зробити три види розрахунків:

- 1) Перевірний (порівняння робочих напруг та допустимої);
- 2) Проектний (обчислення необхідного моменту опору, а потім і розмірів перерізу);
- 3) Визначення найбільшого допустимого навантаження на балку.

При великих навантаженнях на балку та у випадках, коли згинальний момент незначний, а поперечна сила велика (при великих зосереджених силах поблизу опор), дотичні напруги можуть бути великими. В цих випадках повинна бути зроблена перевірка міцності по дотичних напругах на основі формули Журавського:

—

τ_{\max} — максимальна дотична напруга, МПа

Q_x — максимальна поперечна сила, Н

S_x — статичний момент відносно осі x частини перерізу, що лежить вище або нижче нейтральної осі, м^3

I_x — момент інерції перерізу відносно осі x (горизонтальна вісь), м^4

b — ширина перерізу на рівні нейтральної осі, м

$[\tau]$ — допустима напруга, МПа

Статичний момент перерізу відносно осі являється його геометричною характеристикою і знаходиться:

A – площа перерізу, для якої знаходиться статичний момент;
 y – відстань від центру ваги площі до нейтральної осі.

Приклад розрахунку балки на міцність при згині:

Контрольні питання:

1. Які напруги виникають в поперечному перерізі балки при деформації згину?
2. Як записується умова міцності перерізу балки при деформації згину?
3. Як визначити момент опору перерізу?
4. Формула моменту опору для прямокутника та круга.
5. В яких випадках дотичні напруги досягають значних величин при деформації згину?
6. Для чого використовується формула Журавського?
7. Запишіть та поясніть формулу Журавського.
8. Як визначається статичний момент перерізу?

Лекція № 10. Тема 6. Згин прямого бруса. (заняття 20)

Тема лекції: Метод Мора та правило Верещагіна для визначення переміщень. Розрахунки на жорсткість при згині. Використання готових формул для визначення переміщень.

План:

1. Метод Мора для визначення переміщень при деформації згину.
2. Правило Верещагіна для розрахунку інтеграла Мора.
3. Приклади знаходження переміщень за методом Мора з використанням правила Верещагіна.
4. Розрахунок балок на жорсткість при згині.
5. Приклад розрахунку балки на згин з умови міцності з використанням готових формул.

Однією з важливих задач вивчення деформації плоского згину є визначення лінійних та кутових переміщень – прогинів та кутів повороту поперечних перерізів балок.

Метод Мора полягає у тому, що по-перше будують епюру згинальних моментів для балки при заданому навантаженні. По-друге, в тому місці балки, де треба знайти переміщення прикладають одиничну силу (якщо визначається лінійне переміщення – прогин) або одиничний момент (якщо визначається кутове переміщення кут повороту перерізу), а задане навантаження не розглядають. Такий стан балки називають одиничним станом, для нього також будують епюру згинальних моментів.

Таким чином ми отримаємо дві епюри згинальних моментів – одну M_F (при заданому навантаженні), а другу – M_1 (при одиничному стані балки).

Наприклад, треба визначити лінійне переміщення на консолі балки. Для цього будемо дві епюри:

Епюра вантажного стану:

Епюра одиничного стану:

Переміщення обчислюють користуючись формулою (інтегралом) Мора:

—————

Підінтегральний вираз буде додатнім, якщо епюри M_F та M_1 знаходяться по одну сторону від осі балки і від'ємним – якщо по різні сторони.

Напрямок переміщення буде співпадати з напрямом одиничної сили (моменту), якщо інтеграл Мора додатній та буде протилежним – якщо від'ємний.

Для практичних розрахунків множити епюри простіше за спеціальними чисельними методами. Одним з таких методів є правило Верещагіна.

За правилом Верещагіна для знаходження переміщення достатньо площу під епюром M_F помножити на ординату епюри M_1 , що береться під центром ваги епюри M_F .

—

Добуток модуля пружності та моменту інерції EI – жорсткість перерізу.
Правило Верещагіна можна проілюструвати так:

У випадках, коли навантаження складне, епюру M_F поділяють на частки, для кожної з яких визначають площу та центр ваги, а потім сумують:

—

i – кількість ділянок епюри M_F

Розрахунок балок на жорсткість при згині.

Балки, в яких поперечний переріз розраховується з умови міцності можуть отримувати значні деформації. В багатьох випадках це недопустимо, так як може порушити нормальну експлуатацію. Наприклад, внаслідок великих прогинів балок між етажного перекриття останні стають хитким, що викликає роз тріскання стелі.

Зрозуміло, що велике значення при розрахунку деяких конструкцій надається саме дотриманню допустимих значень прогинів. Тому балки перекриття та інші конструкції цивільних будівель підбирають за умовою жорсткості, для чого задається найбільший допустимий прогін.

Умова жорсткості може бути виражена формулою:

, де — —

На практиці для спрощення та прискорення розрахунків користуються готовими формулами обчислення прогинів, які подані у додатках підручника (ст.280).

У випадках, коли на балку діє декілька видів навантаження, необхідно використати принцип незалежності дії сил, згідно з яким визначають переміщенні від кожного виду навантажень, а потім додають.

Контрольні питання:

1. Які переміщення виникають при деформації згину?
2. Які два стани розглядаються при використанні методу Мора для знаходження переміщень?
3. Які епюри необхідно побудувати при використанні методу Мора для знаходження переміщень?
4. Яку проблему методу Мора дозволяє вирішувати правило Верещагіна?
5. Як застосувати правило Верещагіна при наявності декількох ділянок на епюрі?
6. Як записати умову жорсткості балки при деформації згину?
7. Як користуватися готовими формулами визначення прогинів від окремих видів навантаження?

Лекція № 11. Тема 7. Кручення. (заняття 23)

Тема лекції: Побудова епюри крутних моментів. Напруга в поперечному перерізі круглого бруса. Кут закручування. Полярний момент опору для круга та кільця.

План:

1. Поняття деформації кручення.
2. Крутний момент. Епюра крутних моментів.
3. Приклади побудови епюри крутних моментів.
4. Розрахункове рівняння на міцність при деформації кручення.
5. Зв'язок крутного моменту з потужністю та швидкістю обертання валу.
6. Розрахунок валу на жорсткість.

Деформація кручення – це деформація, при якій в поперечному перерізі виникає тільки один внутрішній силової фактор – крутний момент M_k . З деформацією кручення працюють: вали механізмів та машин, карданний вал автомобіля, елементи просторових конструкцій, пружини.

Для знаходження внутрішніх сил в перерізах бруса застосовуємо метод перерізів.

Зовнішній момент, який викликає деформацію називається скручуючим моментом. Момент внутрішніх сил, що діє в площині поперечного перерізу бруса називається крутним моментом – M_k . Для трансмісійного вала з декількома шківками будують епюру крутних моментів. Крутний момент вважається додатнім, якщо обертає за напрямом годинникової стрілки, якщо дивитися на переріз з вільного кінця валу.

Приклад побудови епюри крутних моментів:

В поперечному перерізі при крученні виникають тільки дотичні напруги. Розрахунок валів при деформації кручення проводять на міцність та жорсткість.

Для розрахунку на міцність виходячи з методу допустимих напруг маємо таке рівняння:

—

W_p – полярний момент опору перерізу, m^3

Для круглого перерізу (вал) —

При розрахунках валів часто відомі потужність N (у Вт або кВт) та кутова швидкість обертання валу ω (у рад/с) або n (в об/хв.). при цьому — —

З умови міцності можна робити три види розрахунків: проектний (визначають момент опору, а по ньому підбирають переріз), перевірний (перевіряють, щоб робочі напруги не перевищували допустимі для даного матеріалу) та розрахунок визначення допустимого навантаження.

На практиці крім умови міцності до вала ставиться умова жорсткості, яка полягає у тому щоб кут закручування вала на одиниці довжини не перевищував допустимі значення. Допустимий кут закручування для вала складає 0,25-1 град/м.

Розрахункове рівняння з умови жорсткості:

—

φ – кут закручування, рад;

ℓ - довжина валу, м;

G – модуль зсуву для даного матеріалу, МПа;

I_p – полярний момент інерції перерізу, m^4

Контрольні питання:

1. Які силові фактори виникають в поперечному перерізі при деформації кручення?
2. Що називається крутним моментом? Правило значків для крутного моменту.
3. Запишіть та поясніть формулу розрахунку на міцність при деформації кручення.
4. Як визначити полярний момент для круглого перерізу?
5. Зв'язок крутного моменту з потужністю та швидкістю обертання валу.
6. Запишіть та поясніть формулу розрахунку на жорсткість при деформації кручення.

Лекція № 12.

Тема 8. Косий згин та позацентровий стиск (розтяг). (заняття 26)

Тема лекції: Косий згин. Нормальні напруги. Рівняння нульової лінії. Побудова епюр нормальних напруг. Розрахунки на міцність при косому згині та визначення прогинів.

План:

1. Поняття складного опору.
2. Поняття косоного згину.
3. Нормальні напруги при косому згині.
4. Епюра нормальних напруг при косому згині.
5. Розрахунок на міцність при косому згині.
6. Приклад розрахунку балки при косому згині.

На практиці в багатьох випадках конструкції та їх елементи зазнають одночасно не одну з вивчених деформацій, а дві та більше.

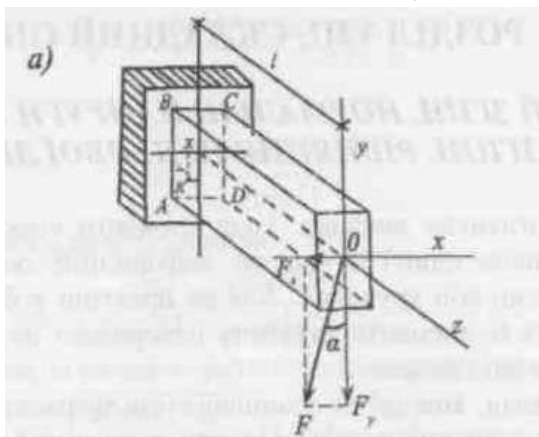
Наприклад, колони та зовнішні стіни будівель, що завантажені позацентрове, зазнають не тільки стиску, але і згині; сходинкові марші також зазнають стиску та згину; вали машин крім кручення зазнають ще згину.

Елементи конструкцій, в яких одночасно виникає дві або більше простих деформацій, знаходяться в стані складного опору.

При розгляді складного опору користуються принципом незалежності дії сил.

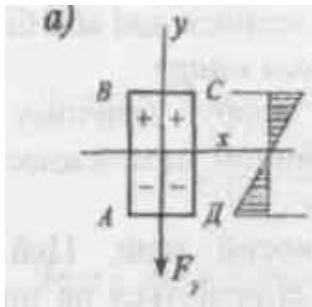
Одним з видів складного опору є косий згин. Цей вид деформації виникає в прогонах та балках, що спираються на похилу площину. Згин називається косим, якщо силова площина не співпадає ні з однією із головних площин бруса.

Розглянемо деформацію косоного згину на простому прикладі. На консоль діє сила F , яка складає кут α до головної осі y :



Розкладемо силу F на складові:

Таким чином ми отримали два простих згини – відносно осей x та y .

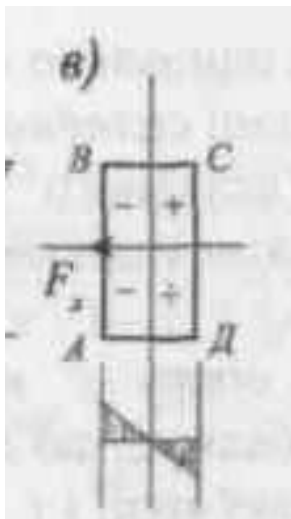


Розглянемо спочатку згин відносно осі x під дією сили

У верхній частині бруса розтяг, у нижньої – стиск.

Епюра нормальних напруг виглядає так:

—



Аналогічно розглянемо згин відносно осі y під дією сили

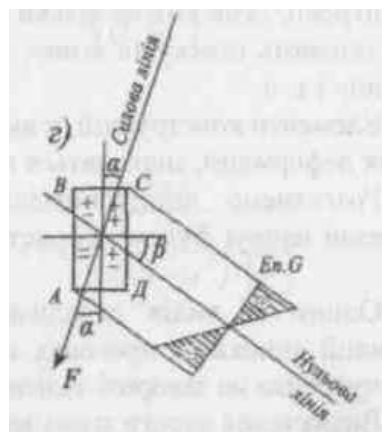
У правій частині бруса розтяг, у лівій – стиск. Епюра нормальних напруг виглядає так:

—

Оскільки ці два згини відбуваються одночасно, тобто під дією сили F , то напруги в точках перерізу алгебраїчно додаються. Це значить, що нейтральна вісь проходить через другий та четвертий квадрант. Точки, які найбільш віддалені від нейтральної осі – C та A , в них виникають найбільші напруги:

— —

Епюра нормальних напруг при косому згині виглядатиме так:



При розрахунках на міцність за допустимими напругами потрібно, щоб виконувалася умова:

$$\frac{M}{W} \leq R$$

Так як у формулу входять два невідомих осьових моменти опору, то на практиці користуються наближеною формулою:

$$W \geq \frac{M}{R}$$

де α - коефіцієнт, що приймається 8-10 для двотаврового перерізу і 6-8 для швелерів, для прямокутного перерізу цей коефіцієнт дорівнює відношенню висоти перерізу до його ширини.

Приклад розрахунку балки при косому згині:

Контрольні питання:

1. Наведіть приклади елементів конструкцій, які знаходяться в стані складного опору.
2. Який згин називається косим?
3. На які складові поділяється деформація косоного згину?
4. Як визначаються нормальні напруги при косому згині?
5. Формула практичного розрахунку на міцність при косому згині.

Лекція № 13.

Тема 9. Стійкість центрально-стиснених стержнів. (заняття 28)

Тема лекції: Формула Ейлера. Границі застосування формули Ейлера. Вплив кінцевих закріплень на величину критичної сили.

План:

1. Поняття стійкої та нестійкої рівноваги.
2. Формула Ейлера.
3. Критичні напруги. Радіус інерції. Гнучкість стержня.
4. Границі застосування формули Ейлера.
5. Формула Ясинького.
6. Методика розрахунку стиснутих стержнів.

Міцність конструкції при деформаціях розтягу (стиску), згину, кручення визначалася величиною діючої напруги, а жорсткість – величиною деформації. Але рівновага деформованого тіла може бути нестійкою.

Якщо після зняття навантаження стержень повертається в початкове положення – такий стан рівноваги називається стійким. Якщо після зняття навантаження стержень залишається деформованим – це нестійка рівновага.

Між стійкою та нестійкою рівновагою стиснутого стержня існує перехідний стан – критичний, стискаюча сила при цьому також називається критичною.

Деформація стержня, що виражається його викривленням під дією стискаючих сил вздовж осі, називається поздовжнім згином.

На практиці критичну силу розглядають як руйнівне навантаження.

Критичну силу центрально-стиснутого стержня знаходять за формулою Ейлера:

E – модуль пружності матеріалу, МПа

I_{min} – менший момент інерції поперечного перерізу стержня, м⁴

μ – коефіцієнт приведення довжини, який залежить від способу закріплення кінців стержня

ℓ - довжина стержня

Розрахункова довжина

, формулу Ейлера можна записати:

Для забезпечення стійкості стержня потрібно, щоб стискаюча сила була менша за критичну, або щоб робочі напруги в поперечних перерізах не перевищували напруг від дії критичної сили.

Напруги в поперечних перерізах стиснутого стержня від дії критичної сили називаються критичними напругами: —

-
- - радіус інерції перерізу;

$$\sigma_{кр} = \frac{E \cdot I}{l^2} \cdot \mu$$

— — - гнучкість стержня

— - критична напруга прямо пропорційна модулю пружності та обернено пропорційна гнучкості стержня.

Формулу Ейлера можна застосовувати тільки коли стержень працює в умовах пружних деформацій, її не можна застосовувати у випадках коли критична напруга більша ніж границя пропорційності.

В межах застосування формули Ейлера гнучкість стержня має бути не менше 100 (). Але будівельні сталі мають гнучкість від 0 до 100. Критичні напруги в перерізах стержнів визначають за формулою Ясинського:

Для сталі Ст3:

Для дерева (хвойні породи):

Стиснені стержні повинні бути перевірені за двома умовами:

А) за умовою міцності

$$\sigma \leq \sigma_{кр}, \text{ де } \sigma = \frac{N}{F}, \text{ (}$$

Б) за умовою стійкості

—

φ – коефіцієнт зменшення основної допустимої напруги при поздовжньому згині (коефіцієнт поздовжнього згину). Залежить від гнучкості стержня та матеріалу стержня.

Контрольні питання:

1. Яка рівновага називається стійкою?
2. Яка рівновага називається нестійкою?
3. Запишіть та поясніть формулу Ейлера.
4. Від чого залежить розрахункова довжина у формулі Ейлера?
5. Що таке критична напруга?
6. Як обчислити радіус інерції?
7. Як визначити гнучкість стержня?
8. Що визначає межі застосування формули Ейлера?
9. За якими рівняннями проводять розрахунок стиснутих стержнів?

Лекція № 14.

Тема 10. Поняття про дію динамічних та повторно-змінних навантажень.
(заняття 32)

Тема лекції: Поняття про дію динамічних та повторно-змінних навантажень.
Динамічний коефіцієнт.

План:

1. Поняття динамічного навантаження.
2. Застосування принципу Даламбера при розрахунках на динамічне навантаження.
3. Умова міцності при динамічному навантаженні.
4. Особливості розрахунку при повторно-змінних навантаженнях.
5. Цикл напруг. Коефіцієнт асиметрії циклу.
6. Опір втомленості. Границя витривалості.

До цього часу ми розраховували елементи конструкцій під дією статичного навантаження. Але наявність прискорення в конструкціях характеризує дію динамічного навантаження.

При різкій зміні швидкості руху елемента, коли має місце явище удару, може виявитися крихкість в таких елементах, які при статичному навантаженні є пластичними. Тому при перевірці міцності деталей, що зазнають динамічних навантажень треба враховувати здатність матеріалу чинити опір таким навантаженням.

Метод розрахунку на динамічне навантаження оснований на принципі Даламбера. Згідно з цим принципом тіло, що рухається, розглядається як таке, що знаходиться в рівновазі, якщо до зовнішніх сил додати силу інерції, яка дорівнює добутку маси тіла на його прискорення і направлена в протилежну сторону від прискорення.

Тому, якщо відомі сили інерції, можна застосувати метод перерізів і, використовуючи рівняння рівноваги, визначити внутрішні зусилля в перерізах тіла. Якщо визначити сили інерції важко, використовують закон збереження енергії.

У всіх випадках, коли діє динамічне навантаження, виникають додаткові сили інерції, що можуть бути дуже великими: так, наприклад, при підніманні вантажу з прискоренням сила інерції значно перевищує вагу самого вантажу. Сили інерції викликають додаткові напруги, які при розрахунках повинні бути враховані. Для спрощення ці додаткові напруги умовно вважають статичними, але викликані силами інерції.

Умова міцності при динамічному навантаженні:

– - динамічний коефіцієнт, який враховує прискорення

При ударі $K_d=2$

Динамічна дія навантаження викликає досить великі напруги в перерізах елементів конструкцій (особливо при ударі) порівняно з такими ж за величиною статичними навантаженнями.

Звідси необхідно зробити висновок, наскільки важливо при монтажі будівельних конструкцій (фундаментів, панелей, плит перекриття) бути обережним при опусканні деталі на вже зібрану частину будівлі, щоб при цьому не відбулося удару.

Опір матеріалів дії навантажень, що систематично змінюють величину та/або знак (повторно-змінні навантаження), суттєво відрізняється від опору тих самих матеріалів статичному та ударному навантаженню.

При циклічних навантаження будова матеріалу не змінюється. Руйнування відбувається внаслідок виникнення та розвитку тріщин, які послаблюють переріз.

Теорія розрахунку матеріалів на втомленість складна і досі достатньо не відпрацьована. Тому розрахунки на опір втомленості здійснюють на підставі експериментальних даних.

Зміну напруги від однієї крайньої величини до другої і навпаки будемо називати циклом напруг.

Відношення найбільшої та найменшої напруг називається коефіцієнт асиметрії циклу: —

Залежно від значення коефіцієнту асиметрії циклу цикли поділяють:

- Подібні (якщо мають однакові коефіцієнти асиметрії);
- Симетричні (коли $\sigma_{\min} = -\sigma_{\max}$);
- Несиметричні;
- Віднульовими (пульсуючими), коли $\sigma_{\min} = 0$

Опір втомленості – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при дії циклічних напруг. Найбільшу напругу, яку матеріал може витримати, не

руйнуючись, практично нескінченну кількість циклів напруг, називають границею витривалості. Границя витривалості визначається σ_r або τ_r , де індекс r відповідає коефіцієнту асиметрії циклу (σ_{-1} , τ_{-1} – при симетричному циклі; σ_0 , τ_0 – при від нульовому).

Границя витривалості залежить від виду деформації, властивостей матеріалу, коефіцієнта асиметрії циклу та інших факторів. Її визначають експериментально, частіше в умовах симетричного циклу.

Контрольні питання:

1. Як розраховуються додаткові напруги при динамічному навантаженні?
2. Від чого залежить динамічний коефіцієнт? Його значення при ударі.
3. Чим відрізняють цикли подібні, симетричні, віднульові?
4. Що таке коефіцієнт асиметрії циклу?
5. Що називається опором втомленості? Як він визначається?
6. Що таке границя витривалості?

Лекція № 15.

Тема 11. Основи розрахунку за граничним станом. (заняття 33)

Тема лекції: Нормативні та розрахункові навантаження. Основні розрахункові формули методу граничного стану. Основи розрахунку за граничним станом.

План:

1. Особливості методу розрахунку за граничним станом.
2. Поняття граничного стану конструкції. Дві групи граничного стану.
3. Нормативний та розрахунковий опір матеріалу.
4. Приклади застосування методу розрахунку за граничним станом.

Для розрахунку саме будівельних конструкцій більш підходить метод розрахунку за граничним станом (метод розрахунку за руйнівними навантаженнями). Цей метод базується на широкому використанні експериментів, узагальненні досвіду будівництва, а також аналізі пластичних властивостей матеріалу.

Суть методу розрахунку за граничним станом в тому, щоб найбільше навантаження, що діє на конструкцію не перевищувало допустимого значення найбільшого навантаження:

— - допустиме навантаження дорівнює
руйнівному поділеному на коефіцієнт запасу міцності.

Під граничним розуміють такий стан конструкцій, після досягнення якого конструкція (основа, будівля, споруда) перестає задовольняти умови експлуатації або вимоги їх зведення. Розрахунок за граничним станом передбачає не допустити настання граничного стану при зведенні будівель і споруд, а також при їх експлуатації.

При розрахунках виділяють дві групи граничного стану:

- 1) Втрата несучої здатності або непридатність до експлуатації (втрата стійкості форми, положення; руйнування; а також стан, при якому треба припинити експлуатацію в результаті текучості матеріалу, повзучості, порушення з'єднань, надмірного розкриття тріщин).
- 2) Непридатність до нормальної експлуатації (недопустимі деформації конструкції в результаті прогинів, осідання, коливання, утворення або розкриття тріщин).

Суть методу розрахунку за граничним станом можна виразити таким чином: розрахунок повинен бути зроблений так, щоб не допустити переходу конструкції або споруди ні в один з граничних станів за весь час експлуатації, а також при їх зведенні.

Для цього величини зусиль, деформацій, переміщень, розкриття тріщин або величини від інших факторів не повинні перевищувати граничних значень, встановлених нормами проектування.

В будівельних нормах даються конкретні характеристики граничного стану для бетонних, залізобетонних, кам'яних, сталевих, дерев'яних конструкцій, а також природної основи будівель і споруд.

Встановлене нормами граничне значення напруг в матеріалі називають нормативним опором R ". Нормативний опір є основною характеристикою опору матеріалу силової дії. В більшості випадків за нормативний опір приймається границя текучості або міцності матеріалу.

При розрахунках конструкцій приймається розрахунковий опір матеріалу R :

—

γ – коефіцієнт надійності матеріалу, враховує мінливість показників міцності матеріалу. Значення цього коефіцієнту встановлюється нормами проектування залежно від властивостей матеріалу та інших факторів.

Контрольні питання:

1. Назвіть галузь застосування методу розрахунку за граничним станом.
2. Який стан називається граничним станом конструкції?
3. В чому полягає сутність розрахунку конструкції за граничним станом?
4. Який опір називається нормативним?
5. Який опір називається розрахунковим?