

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра «Інженерна механіка»

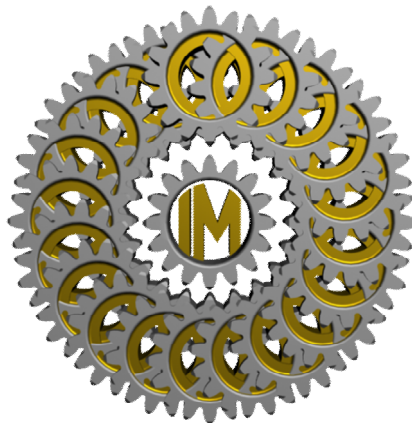
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи

з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»

(для студентів заочної форми навчання напрямку підготовки 6.050503

«Машинобудування»)



КРАСНОАРМІЙСЬК 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра «Інженерна механіка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи

з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»

(для студентів заочної форми навчання напрямку підготовки 6.050503

«Машинобудування»)

Розглянуто на засіданні кафедри

"Інженерна механіка"

" 29 " 01 2014р. Протокол № 6

Затверджено навчально-видавничою

радою ДонНТУ

" 18 " 02 2014р. Протокол № 1

КРАСНОАРМІЙСЬК 2014

УДК 621.7 083.430.2

Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство" (для студентів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» / укладачі: С.О.Вірич, О.І.Повзун, М.О.Бабенко, – Красноармійськ: КП Дон НТУ, 2014. – 56 с.

Методичний посібник містить рекомендації щодо самостійного вивчення основних розділів курсу "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство". Надано стислий зміст теоретичного матеріалу, лабораторні роботи, приклади розв'язання завдань, варіанти індивідуального завдання, порядок його виконання.

Укладачі: С.О. Вірич

О.І. Повзун
М.О. Бабенко

Відповідальний за випуск С.О.Вірич

С.О.Вірич, О.І.Повзун, М.О. Бабенко
Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2014

ЗМІСТ

	С.
Вступ	5
1. Тематичний зміст дисципліни	6
2. Лабораторні роботи	8
2.1. Лабораторна робота № 1	8
2.2. Лабораторна робота № 2	14
2.3. Лабораторна робота № 3	33
3. Зміст індивідуального завдання і рекомендації щодо вибору варіанта	39
3.1. Теоретичне питання 1	39
3.2. Теоретичне питання 2	41
3.3. Задача 1	43
3.4. Задача 2	45
3.5. Задача 3	48
3.6. Задача 4	51
3.7. Вибір теоретичних питань і задач до індивідуального завдання	52
4. Вимоги до виконання та оформлення індивідуального завдання	54
Література	55
Додаток	56

ВСТУП

Знайомство із сучасними способами отримання металів, сплавів та пластмас, знання основних властивостей і методів обробки конструкційних матеріалів необхідне для правильного вибору і використання їх в народному господарстві.

Дисципліна "Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство" дає студентам сучасні відомості про методи виготовлення заготовок в гірничому машинобудуванні та їх обробку, тобто забезпечує технологічну підготовку майбутнього спеціаліста.

При вивченні теоретичної частини курсу слід зосередити свою увагу на з'ясуванні фізико-хімічної сутності процесів виробництва, принципах дії машин, механізмів, агрегатів, установок тощо. Необхідно враховувати техніко-економічні показники, що характеризують роботу обладнання, а також економічну ефективність застосування того чи іншого способу отримання заготовок чи готових виробів.

Дані методичні вказівки допоможуть студентам засвоїти основи технологій виготовлення заготовок деталей машин методами пластичного деформування та набути практичних навиків проектування заготовок деталей гірничих машин.

1. ТЕМАТИЧНИЙ ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Залізовуглецеві сплави

Залізо. Діаграма стану залізо-цементит($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$). Фази в системі $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$. Характеристика окремих точок і ліній діаграми $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$. Діаграма стану залізо – графіт. Структура чавунів.

Тема 2. Фазові перетворення в сталі

Перетворення в сталі при нагріванні. Вплив величини зерна на властивості сталі. Перетворення в сталі при охолодженні. Загартування. Відпуск сталі. Старіння сплавів.

Тема 3. Класифікація сталей

Класифікація сталей. Маркування сталей. Вплив домішок на властивості сталі. Легуючі елементи в сталі. Вплив легуючих елементів на структуру і властивості сталі.

Тема 4. Конструкційні і інструментальні сталі

Конструкційні сталі. Конструкційні будівельні сталі. Вуглецеві сталі звичайної якості. Низьколеговані сталі. Машинобудівні сталі. Вуглецеві якісні сталі. Сталі, що цементуються. Поліпшувані сталі. Високоміцні сталі. Мартенситно старіючі сталі. Пружинно-ресорні сталі. Шарикопідшипникові сталі.

Інструментальні сталі. Основні властивості і чинники, що впливають на них. Сталі для різальних інструментів. Штампові сталі. Сталі для вимірювальних інструментів.

Тема 5. Корозія металів. Сталі і сплави з особливими властивостями

Основні види корозії. Жароміцність і жаростійкість. Попередження корозії. Корозійностійкі сталі. Хромонікелеві корозійностійкі сталі. Жароміцні сталі. Нікелеві і кобальтові сплави. Магнітні сплави.

Тема 6. Металургійне виробництво

Поняття «металургія». Металургійні процеси. Металургійне паливо. Вогнетривкі матеріали. Виробництво чавуну. Доменна піч. Виробництво сталі. Мартенівська піч.

Тема 7. Кольорові метали та сплави

Алюміній. Класифікація алюмінієвих сплавів. Типи сплавів. Мідь. Класифікація мідних сплавів. Антифрикційні сплави. Титан. Сплави титана. Магній. Сплави магнію. Інші металеві матеріали.

Тема 8. Технологія виробництва виробів із пластмас

Пластичні маси. Класифікація. Технологія виробництва виробів із пластмас. Технологія виробництва гумових технічних виробів.

Тема 9.Ливарне виробництво

Сутність ливарного виробництва. Формувальні суміші. Технологія одержання виливків. Ливарні сплави. Спеціальні способи лиття.

Тема 10. Обробка металів тиском

Класифікація методів обробки металів тиском і механічного устаткування. Основні положення обробки металів тиском. Основи прокатного виробництва. Кування, штампування, пресування і волочіння.

Тема 11. Зварювання

Загальні відомості про зварювання. Способи зварювання плавленням. Зварювальні апарати. Ручне дугове зварювання. Електроди і зварювальний присадочний дріт.

Тема 12. Технологія зварювання

Технологія газового зварювання. Газове різання. Способи зварювання тиском. Особливості технології зварювання стали, чавуна і кольорових металів. Контроль зварених з'єднань.

Тема 13. Обробка металів різанням

Загальні відомості про процес різання металів. Фізичні основи різання. Точність виготовлення деталей машин і якість обробленої поверхні.

Тема 14. Металорізальні верстати і методи обробки заготовок

Класифікація металорізальних верстатів. Обробка заготовок на верстатах токарської групи. Обробка заготовок на свердлильних і розточувальних верстатах. Обробка заготовок на фрезерних верстатах. Шліфування. Фізико-хімічні і електрофізичні способи обробки.

2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

2.1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛОХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: на прикладі матеріалів з компактною атомною упаковкою визначити їх кристалохімічні параметри.

Теоретичні відомості

Кристалохімія вивчає зв'язок між геометрією кристалів, їх дійсною атомною будовою і властивостями кристалів.

Найважливішими кристалохімічними параметрами твердих матеріалів є:

1. Число часток у твердому матеріалі N обчислюють за формулою:

$$N = \frac{m}{m_0}, \quad (1)$$

де m - маса матеріалу, кг;

m_0 - молекулярна маса речовини (знаходимо по таблиці Д.І.Менделєєва), а.о.м.

Атомна одиниця маси (а.о.м.) – це 1/12 маси ізотопу вуглецю C^{12} .

Точні вимірювання довели, що атомна одиниця маси становить $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг, тобто $1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг

Відносну молекулярну масу речовини можна визначити шляхом додавання відносних атомних мас елементів, що входять до складу молекули речовини.

2. Концентрація атомів n , м^{-3} :

$$n = \frac{N}{V}, \quad (2)$$

де N - загальна кількість часток у матеріалі;

V - об'єм зразка матеріалу.

3. Концентрація валентних електронів $n_{\text{ЕЛ}}$, м^{-3} :

$$n_{\text{ЕЛ}} = n \cdot B, \quad (3)$$

де B – валентність.

4. Число часток, що приходить на одну елементарну комірку $N_{\text{ком.}}$, обчислюють, враховуючи її форму. Атоми розташовані у вузлах і в середині кожної грані (рис.2.1.1). Кожний атом увузли певної комірки розміщується на 1/8 її частини, тому що він належить одночасно 8 коміркам у просторовій решітці. Тому число атомів, що приходить на одну комірку, дорівнюватиме $1/8 \cdot 8 = 1$.

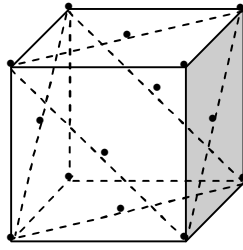


Рисунок 2.1.1. - Гранецентрована (ГЦК) решітка.

Таким чином, до примітивної комірки належить один повний атом. Для ГЦК-решітки, крім вузлових атомів ($1/8 \cdot 8 = 1$), слід враховувати і атоми, що знаходяться на гранях. Атоми на гранях належать певній комірці на $1/2$, тому що належать зразу двом коміркам.

Отже, для гранецентрованої решітки $N_{\text{КОМ(ГЦК)}} = 1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$;
 для об'ємноцентрованої решітки $N_{\text{КОМ(ОЦК)}} = 1/8 \cdot 8 + 1 = 2$ (крім вузлових атомів у решітці є ще один атом, що знаходиться у центрі комірки).

5. Об'єм елементарної комірки $V_{\text{КОМ}}$, м³:

$$V_{\text{КОМ}} = \frac{m_0 N_{\text{КОМ}}}{\rho}, \quad (4)$$

де ρ - густина матеріалу.

6. Параметр решітки (a , b , c) - це відстань від центру одного атома до центру сусіднього атома уздовж осей. Для кубічної решітки $a = b = c$,

$$a = \sqrt[3]{V_{\text{КОМ}}}. \quad (5)$$

7. Ефективний радіус атомів $R_{\text{ЕФ}}$ (м) визначають відповідно до форми елементарної комірки, враховуючи щільну упаковку.

Наприклад, для гранецентрованої комірки:

$$R_{\text{ЕФ}} = \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot a. \quad (6)$$

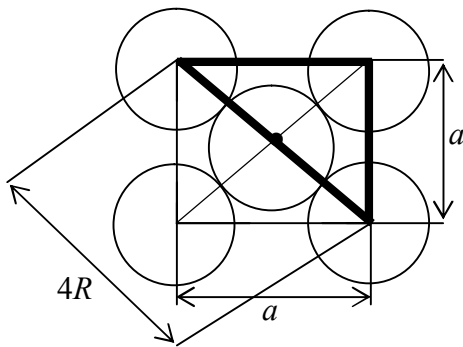


Рисунок 2.1.2.-Грань у гранецентрованій решітці

Цю формулу було виведено, використовуючи теорему Піфагора (рис.2.1.2): $(4R)^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$.

Для об'ємноцентрованої комірки:

$$R_{\text{ЕФ}} = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot a. \quad (7)$$

8. Координаційне число $K_{\text{ч}}$ - число найближчих сусідніх атомів до будь-якого одного атома. Для ГЦК- решітки $K_{\text{ч}} = 12$; для ОЦК - решітки $K_{\text{ч}} = 8$; для примітивного куба $K_{\text{ч}} = 6$.

9. Рентгенівську густину матеріалу ρ для простих речовин обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{m_0 N_{\text{КОМ}}}{V_{\text{КОМ}}}. \quad (8)$$

10. Компактність упаковки q (відношення об'єму, що займають атоми у комірці, до об'єму всієї елементарної комірки):

$$q = \frac{V_{\text{ам}} \cdot N_{\text{КОМ}}}{V_{\text{КОМ}}}, \quad (9)$$

або відношення об'єму всіх N атомів у матеріалі до його об'єму V :

$$q = \frac{N \cdot V_{\text{ам}}}{V}, \quad (10)$$

де $V_{\text{ам}}$ - об'єм одного атома.

Виходячи з припущення, що атоми мають кулясту форму, $V_{\text{ам}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{ЕФ}}^3$.

11. Число атомів N_s , що приходить на поверхню матеріалу S :

$$N_s = \frac{S}{S_0}, \quad (11)$$

де S – площа поверхні всього матеріалу;

S_0 – площа поперечного перерізу атома по діаметру: $S_0 = \pi R_{\text{ЕФ}}^2$.

12. Доля α поверхневих атомів відносно до всіх атомів у матеріалі дорівнює:

$$\alpha = \frac{N}{N_s}; \quad (12)$$

13. Ретикулярна густина σ - це відношення числа часток $N_{\text{ГР}}$, що приходить на одну грань, до площі цієї грані $S_{\text{ГР}}$:

$$\sigma = \frac{N_{\text{ГР}}}{S_{\text{ГР}}}. \quad (13)$$

Для примітивної (ПК) решітки (рис.2.1.3): $N_{\text{ГР}} = \frac{1}{4} \cdot 4 = 1$; $S_{\text{ГР}} = a^2$.

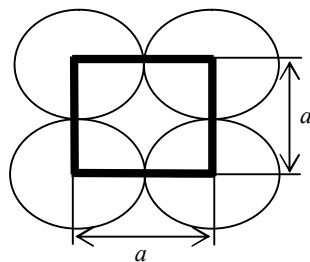


Рисунок 2.1.3. -

Примітивна решітка

Послідовність виконання:

1. Відповідно до геометричної форми зразка матеріалу і його лінійних розмірів (табл.2.1.1) знайти його об'єм (в табл. 2.1.2 наведено формули для визначення площ поверхонь S_i об'ємів V зразків матеріалів правильної геометричної форми).
2. Визначити масу матеріалу за формулою $m = \rho \cdot V$, де ρ - густина матеріалу; V - об'єм зразка матеріалу.
3. Відповідно до типу кристалічної решітки визначити:
 - а) форму елементарної комірки;
 - б) $N_{\text{ком}}$ – число атомів, що приходить на одну комірку;
 - в) $K_{\text{ч}}$ – координаційне число.
4. За формулою (1) визначити число часток N у твердому матеріалі (відповідно до заданого варіанта).
5. За формулою (2) визначити концентрацію атомів n .
6. За формулою (3) обчислити концентрацію валентних електронів $n_{\text{ЕЛ}}$.
7. За формулою (4) визначити об'єм елементарної комірки $V_{\text{ком}}$.
8. За формулою (5) обчислити параметр решітки a .
9. За формулами (6) або (7) визначити ефективний радіус атомів $R_{\text{ЕФ}}$.
10. За формулами (9) і (10) визначити компактність упаковки q .
11. За формулою (11) обчислити число атомів N_s , що приходить на поверхню S матеріалу.
12. За формулою (12) визначити долю поверхневих атомів α відносно всіх атомів у матеріалі.
13. За формулою (13) визначити ретикулярну густину σ .
14. Зробити висновок.

Таблиця 2.1.1. – Вихідні дані для розрахунку кристалохімічних показників

№ варіанта	Порядковий № в таблиці Д.І.Менделєєва	Густина, ρ (кг/м ³)	Зразок матеріалу правильної геометричної форми	Розміри зразка, см
1	21	$2,83 \cdot 10^3$	Куб	$a = 5$
2	39	$4,472 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$a = 2, b = 3, c = 5$
3	22	$4,26 \cdot 10^3$	Куля	$R = 6$
4	40	$6,36 \cdot 10^3$	Циліндр	$D = 8, H = 20$
5	72	$13,25 \cdot 10^3$	Піраміда (основа-квадрат)	$H = 10, a = 2$
6	23	$5,65 \cdot 10^3$	Конус	$D = 9, H = 10$
7	41	$7,96 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$a = 1, b = 3, c = 7$
8	73	$15,6 \cdot 10^3$	Куля	$R = 7$
9	24	$6,72 \cdot 10^3$	Циліндр	$D = 10, H = 25$
10	42	$9,73 \cdot 10^3$	Піраміда (основа-квадрат)	$H = 10, a = 3$
11	74	$17,5 \cdot 10^3$	Конус	$D = 4, H = 10$
12	25	$6,97 \cdot 10^3$	Куб	$a = 5$
13	43	$11,563 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$a = 2, b = 4, c = 8$
14	75	$20,180 \cdot 10^3$	Куля	$R = 4$
15	26	$7,59 \cdot 10^3$	Циліндр	$D = 8, H = 15$
16	44	$11,26 \cdot 10^3$	Піраміда (основа-квадрат)	$H = 10, a = 4$
17	76	$21,8 \cdot 10^3$	Конус	$D = 4, H = 15$
18	27	$8,66 \cdot 10^3$	Куб	$a = 6$
19	45	$11,75 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$a = 3, b = 4, c = 8$
20	77	$21,27 \cdot 10^3$	Куля	$R = 8$
21	28	$8,1 \cdot 10^3$	Циліндр	$D = 6, H = 10$
22	46	$11,3 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$H = 15, a = 2$
23	78	$20,52 \cdot 10^3$	Конус	$D = 9, H = 10$
24	29	$8,961 \cdot 10^3$	Куб	$a = 3$
25	47	$9,86 \cdot 10^3$	Прямокутний паралелепіпед	$a = 2, b = 5, c = 10$
26	79	$18,27 \cdot 10^3$	Циліндр	$D = 7, H = 20$

Таблиця 2.1.2 . - Формули для визначення площ поверхонь S і об'ємів V зразків матеріалу правильної геометричної форми.

Зразок матеріалу правильної геометричної форми	Площа поверхні зразка матеріалу, S	Об'єм зразка матеріалу, V
Куб	$S=6 a^2$	$V= a^3$
Прямокутний паралелепіпед	$S=2ав + 2вс + 2ас$	$V= abc$
Куля	$S= 4\pi R^2$	$V= 4/3 \pi R^3$
Циліндр	$S= 2\pi R^2 + \pi DH$	$V= (\pi D^2/4) H$
Конус	$S= S_{ОСН} + S_{БОК}$	$V= (\pi D^2/12) H$
Піраміда (основа-квадрат)	$S= S_{ОСН} + S_{БОК}$	$V= 1/3 S H$

2.2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: оволодіти методикою визначення показників твердих матеріалів при подовжній деформації, деформації зсуву, вигину, кручення, усебічного розтягу (стиску).

Теоретичні відомості

1. Пружнелінійна подовжня деформація

Нормальну силу F_n , віднесену до площі поверхні матеріалу S , називають механічним напруженням σ . Якщо напруження розподілено рівномірно по перерізу стрижня (рис.2.2.1), то

$$\sigma = F_n / S. (1)$$

Розмірність напруження в системі СІ - $[\sigma] = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$ (Паскаль), тобто напруження виражається в тих же одиницях, що і тиск. В технічних одиницях використовують розмірність $[\sigma] = 1 \text{ кГ/мм}^2$ або кгс/мм^2 , де 1 кГ (або 1 кгс) = 9,8 Н.

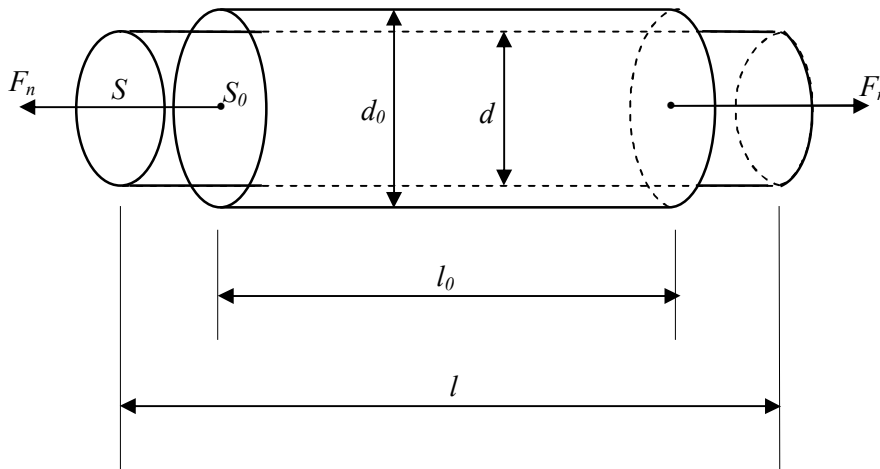


Рисунок 2.2.1. - Деформація подовжнього розтягу пружного циліндра

Відносна деформація подовжнього розтягу або стиску зразка має вигляд:

$$\varepsilon = \Delta l / l_0, \quad (2)$$

де l_0 - початкова довжина зразка, l - довжина зразка після додавання сили розтягу, $\Delta l = l - l_0$ - абсолютна деформація зразка.

Зміна довжини стрижня при деформації супроводжується відповідною зміною поперечних розмірів зразка матеріалу d_0 . Відносна деформація поперечного розтягу або стиску зразка циліндричної форми має вигляд:

$$\varepsilon' = \Delta d / d_0, \quad (3)$$

де $\Delta d = d_0 - d$ - абсолютна поперечна деформація.

Коефіцієнт Пуассона μ – це відношення ε' до ε :

$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{\Delta d / d_0}{\Delta l / l_0}. \quad (4)$$

За законом Гука, чим більш деформовано зразок матеріалу, тим більше виникає механічне напруження:

$$\sigma_n = E \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

де E – модуль пружності або модуль Юнга.

Коефіцієнт пружності α – величина, обернено пропорційна модулю Юнга:

$$\alpha = \frac{1}{E}. \quad (6)$$

Лінійна залежність σ від ε має місце для пружної області деформації. Її показано на рисунку 2.2.2.

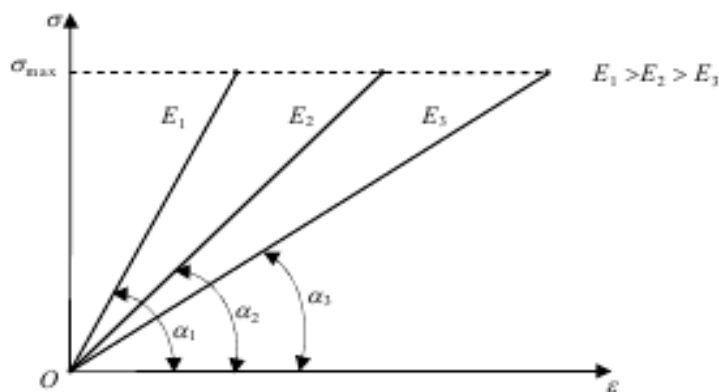


Рисунок 2.2.2. – Залежність напруження σ від відносної деформації ε .

Покуту нахилу α знаходять величинимодулів пружності.

$$\operatorname{tg} \alpha = \sigma / \varepsilon = E. \quad (7)$$

Якщо при границі пружності σ_{\max} матеріал зруйновано, то такий матеріал називають *крихким*. Цю границю іноді називають границею міцності для крихких матеріалів.

Під час деформування матеріалу здійснюється механічна робота A . Елементарна зміна роботи δA дорівнює:

$$\delta A = F_n d\ell. \quad (8)$$

Здійснену роботу визначають за формулою:

$$A = [\text{Вт}]. \quad (9)$$

Ця робота йде на зміну потенційної енергії матеріалу від нуля до W_p [Дж]:

$$A \rightarrow W_p \Rightarrow W_p = E \varepsilon^2 V / 2, \quad (10)$$

де V - об'єм матеріалу, а щільність енергії дорівнює w_p [Дж/м³]:

$$w_p = W_p/V = E\varepsilon^2/2 \quad (11)$$

2. Пружна деформація зсуву

Сила, спрямована по дотичній до площі грані (рис.2.2.3), називається тангенціальною (F_τ). При рівномірному розподілі сили F_τ (по всій поверхні грані площею S у будь-якому перерізі, паралельному їй, виникає тангенціальне напруження): $\tau = \frac{F_\tau}{S}$. (12)

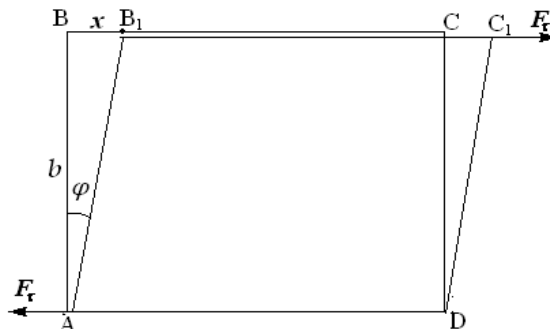


Рисунок 2.2.3. - Деформація зсуву прямокутного паралелепіпеда (у вертикальному перерізі)

Величина BB_1 називається абсолютною деформацією зсуву. З трикутника BB_1A відносна деформація зсуву φ при малих кутах зсуву дорівнює:

$$\varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = x/b \quad (13)$$

Закон Гука для пружної деформації зсуву встановлює зв'язок між τ і φ :

$$\tau = G \cdot \varphi, \quad (14)$$

де G - модуль зсуву.

Потенційна енергія деформованого зразка через модуль зсуву має вигляд:

$$W_p = \frac{G \varphi^2}{2} \cdot V \quad (15)$$

3. Пружна деформація вигину

При дії зовнішніх сил на одnobічно затиснену балку (консоль) виникає викривлення її осі у тій же площині. Тобто виникає плаский вигин, при якому центр ваги переміщується.

На рисунку 2.2.4 зображена вісь балки довжиною l . Переміщення центра ваги перерізу у напрямку, перпендикулярному до осі балки, називається прогином балки в цьому перерізі.

Для консолі найбільший прогин називається стрілою прогину (рис.2.2.4).

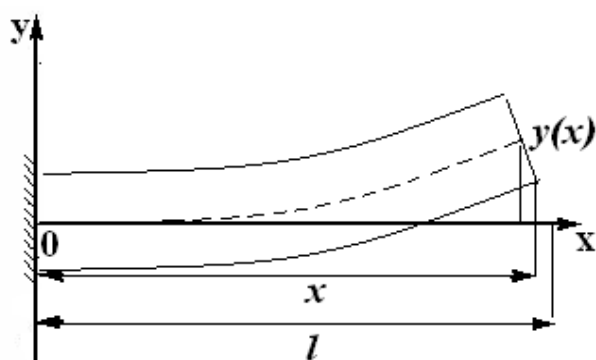


Рисунок 2.2.4. - Прогин однобічножорстко затисненої балки

Радіус кривизни R нейтрального шару (пунктирна лінія) визначають за виразом: $R = \frac{M(x)}{EJ_x}$, (16)

де $M(x)$ - згинаючий момент ($M(x) = P \cdot x$, P -величина навантаження);

J_x - момент інерції балки (для прямокутного перерізу $J_x = bh^3/12$; де b і h - ширина і висота балки відповідно);

E - модуль Юнга.

Під дією сили F і власної ваги балки прогин на кінці балки визначають за формулою:

$$f = -\frac{Fl^3}{3EJ} - \frac{pl^3}{8EJ}, \quad (17)$$

При відсутності зовнішньої сили ($F = 0$)

$$f = -\frac{pl^3}{8EJ} \quad (18)$$

Знак мінус означає, що прогин f направлений в бік, протилежний до осі y , а кут, на який кожний переріз повертається відносно свого початкового положення, називається *кутом повороту перерізу*.

У разі, коли балка спирається на дві опори (рис.2.2.5), виникають опорні реакції, які компенсуються навантаженням P .



Рисунок 2.2.5. - Прогин балки, що спирається на дві опори

Горизонтальна проекція відстані між опорами називається *прольотом* l .

Максимальне значення прогину f_{max} від власної ваги всередині балки визначають за формулою:

$$f_{max} = - \frac{5 P l^3}{192 \cdot E \cdot J} .$$

(19)

По модулю максимальна відносна деформація прогину ε_i дорівнює:

$$\varepsilon_i = \frac{y}{l} = \frac{5}{384} \frac{P l^3}{E J_x}, \quad (20) \varepsilon_i = \left| \frac{f_{max}}{l} \right| = \left| \frac{5 P l^3}{192 E J} \right|. \quad (21)$$

Міцність при вигині визначають за формулою:

$$\sigma_{виг} = 3 F l / 2 b h^2, \quad (22)$$

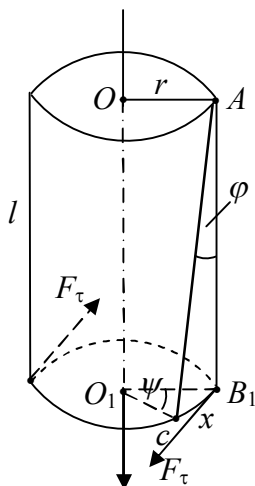
де F - руйнівна сила, Н (кгс);

l - відстань між опорами (розрахунковий проліт), м (см);

b - ширина робочого перерізу, м (см);

h - висота робочого перерізу, м (см).

4. Пружна деформація кручення



Деформація кручення зразка циліндричної форми завдовжки l , радіусом r виникає під дією пари тангенціальних сил F_τ , які прикладені до основи (рис.2.2.6).

Рисунок 2.2.6. – Схема кручення матеріалу циліндричної форми

Під дією сил F_τ точка B_1 переміщується в точку C . В елементі циліндра AB_1C відбувається деформація зсуву. При цьому відносний зсув дорівнює:

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi = \frac{x}{r}, \quad (23)$$

а тангенціальне напруження у нижній основі циліндра становить:

$$\tau = \frac{2 F_\tau}{\pi r^2}. \quad (24)$$

За законом Гука для пружної деформації зсуву ($\tau = G \cdot \varphi$) маємо:

(25)

Величину x визначають з кута кручення φ радіуса вектора навколо осі OO_1 .

З трикутника O_1B_1C для малих кутів $\psi \approx \operatorname{tg} \psi = \frac{x}{r}$, або $x = r \cdot \psi$. (26)

Якщо $M = F_\tau \cdot r$ - момент сили, то закон Гука для пружної деформації кручення має вигляд:

$$M = D \cdot \psi , \quad (27)$$

де ψ - кут кручення або відносна деформація кручення;
 $D = \pi G r^4 / 2l$ - модуль кручення, G - модуль зсуву.

Потенційна енергія кручення дорівнює:

$$W_p = D \psi^2 / 2 . \quad (28)$$

5. Пружна деформація усебічного розтягу(стиску)

Усебічна деформація виникає, коли навантаження, що діє на зразок матеріалу, рівномірно розподілено по всій поверхні. Якщо матеріал об'ємом V_0 під дією зусилля σ на всі грані було деформовано, внаслідок чого зразок придбав новий об'єм V , то абсолютна об'ємна деформація дорівнює:

$$\Delta V = V_0 - V , \quad (29)$$

а відносна об'ємна деформація ε_V :

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V_0} . \quad (30)$$

Закон Гука для усебічної деформації стиску (або розтягу) має вигляд:

$$\sigma = H \cdot \varepsilon_V , \quad (31)$$

де H - модуль усебічного стиску (або розтягу), $\chi = 1/H$ називається коефіцієнтом усебічного стиску (або розтягу):

$$\chi = \pm \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)_T \quad (32)$$

Потенційна енергія матеріалу при пружній усебічній деформації дорівнює:

$$W_p = \frac{H \varepsilon_V^2}{2} \cdot V . \quad (33)$$

Зв'язок між модулем усебічного стиску H , модулем пружності E і коефіцієнтом Пуассона μ :

$$H = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} . \quad (34)$$

6. Непружні деформації. Твердість. Руйнування матеріалів

В результаті статичних випробувань будують дійсну діаграму розтягу в координатах σ - ε (рис.2.2.7):

Характерні точки і ділянки на діаграмі розтягу:

1. $\sigma_{мп}$ - границя пропорційності - максимальне напруження, коли виконується закон Гука (100%).
2. ділянка Oa - ділянка пружної деформації, на якій виконується закон Гука, тобто проявляються пружні властивості.

3. $\sigma_{пр}$ - границя пружності - напруження, при якому залишкове подовження досягає 0,005; 0,02; 0,05% (та ін.) від розрахункової довжини зразка l_0 . Величини 0,005; 0,02; 0,05% та ін. називають "допуском". Відповідно до межі пружності записують як $\sigma_{0,005}$; $\sigma_{0,02}$; $\sigma_{0,05}$ та ін.

4. bc - ділянка текучості, на якій проявляються пластичні властивості матеріалу.

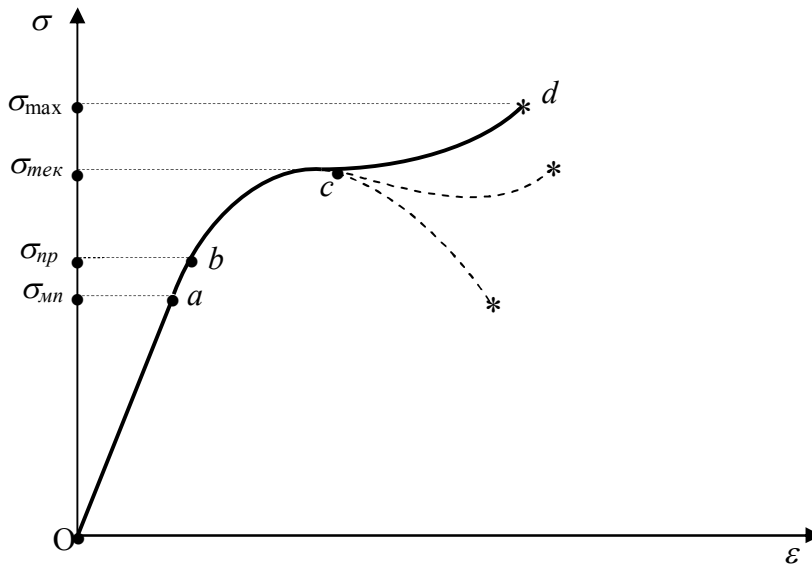


Рисунок 2.2.7. – Діаграма розтягу

5. $\sigma_{тек}$ - фізична границя текучості - мінімальне напруження, при якому зразок деформується без помітного збільшення навантаження. У разі відсутності горизонтального плато при $\sigma_{тек}$, таке мінімальне напруження називають умовною границею текучості - напруження, при якому залишкове подовження досягає 0,2% від розрахункової довжини зразка, тобто $\sigma_{тек} = \sigma_{0,2}$.

6. $\sigma_{маx}$ - границя міцності (або тимчасовий опір) - це відношення граничного навантаження $P_{маx}$ до початкової площі поперечного перерізу S_0 :

$$\sigma_{маx} = \frac{P_{маx}}{S_0} \quad (35)$$

7. Запас міцності $n = \sigma_{маx}/\sigma$, де σ - діюче напруження.

8. Точка d - відповідає моменту руйнування.

9. Дійсний опір розриву - $\sigma_k = P_k/S_k$ - відношення навантаження в момент розриву зразка P_k до площі поперечного перерізу в шийці зразка після розриву S_k .

Відносне подовження зразка визначають за формулою:

$$\delta = \left(\frac{l_k - l_0}{l_0} \right) \cdot 100\%, \quad (36)$$

де l_k - довжина розрахункової частини зразка після розриву.

Відносне звуження зразка обчислюють за виразом:

$$\psi = \left(\frac{S_0 - S_k}{S_0} \right) \cdot 100\%, \quad (37)$$

де S_k - площа поперечного перерізу після розриву.

Твердість по Брінеллю

В поверхню зразка вдавлюють загартовану сталеву кульку діаметром 10, 5 або 2,5 мм при дії навантаження від 5000Н до 30000Н. Після зняття навантаження на поверхні утворюється відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d (рис. 2.2.8).

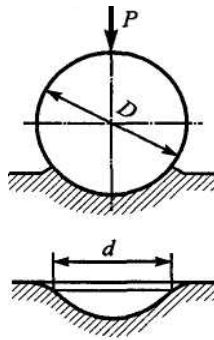


Рисунок 2.2.8. - Схема визначення твердості по Брінеллю.

Діаметр лунки вимірюють лупою, на окулярі якій нанесена шкала з розподілами. Показником твердості матеріалу є число твердості по Брінеллю HB , яке визначають відношенням навантаження P до площі поверхні кулястого відбитка:

$$HB = P/S, \quad (38)$$

де P – зусилля, з яким вдавлюється кулька (індентор) діаметром D ;

S - площа кулястого сегмента, $S = \pi D h$, де h - глибина відбитка.

$$S = \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}) / 2, \text{ або } S = 0,5\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}).$$

Тобто:

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (39)$$

де D – діаметр вдавненої кульки, мм

d – діаметр відбитка – кулястої лунки, мм.

Число твердості по Брінеллю записують в кгс/мм^2 або без одиниць вимірювання.

На практиці при вимірюванні твердості розрахунок по вказаній вище формулі проводять рідко, частіше використовують заздалегідь складені таблиці, визначаючи значення HB залежно від діаметра відбитка і вибраного навантаження. Чим менше діаметр відбитка, тим вище твердість.

Спосіб вимірювання по Брінеллю не є універсальним. Його використовують для матеріалів малої середньої твердості: сталей з твердістю до 450 НВ, кольорових металів з твердістю < 200 НВ і т.п.

Для цих сплавів встановлено кореляційний зв'язок між границею тимчасового опору (в МПа) і числом твердості НВ: $\sigma_{т.о} = 3,4 \text{ НВ}$ – для вуглецевих сталей; $\sigma_{т.о} = 4,5 \text{ НВ}$ – для мідних сплавів; $\sigma_{т.о} = 3,5 \text{ НВ}$ – для алюмінієвих сплавів.

Твердість по Пальді

Твердість по Пальді призначена для орієнтовного визначення твердості матеріалу. Значення твердості визначають динамічним вдавлюванням загартованої сталевий кульки діаметром 10мм. Під дією удару кулька одночасно вдавлюється в досліджувану поверхню і поверхню еталонного зразка, твердість якого відома (рис.2.2.9).

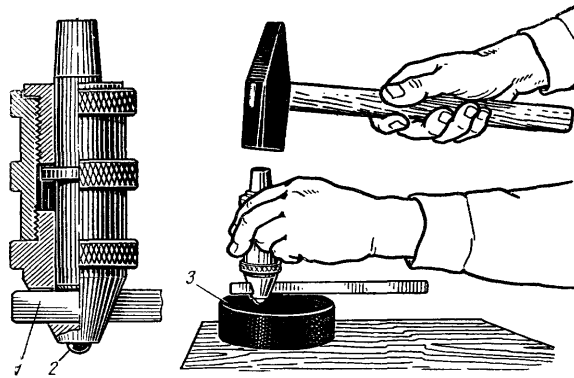


Рисунок 2.2.9.- Молоток Пальді для визначення твердості металів:
1 - еталон; 2 - кулька; 3 - досліджуваний метал

Як еталонний зразок застосовують сталевий стрижень квадратного перерізу 12x12мм довжиною 150мм. Твердість еталона повинна приблизно дорівнювати твердості досліджуваного зразка.

Після проведення випробування на поверхні зразка і еталона утворюються відбитки у вигляді кулястих лунок діаметром відповідно d і d_e .

Величину числа твердості НВП визначають за формулою:

$$НВП = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_e^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} НВ_e \quad (40)$$

де НВП – число твердості по Пальді;

$НВ_e$ – число твердості еталона;

D – діаметр кульки, мм;

d_e – діаметр відбитка – лунки еталона, мм;

d – діаметр відбитка – лунки зразка, мм.

Твердість за допомогою твердоміра Польді (рис.2.2.9) випробуваного металу також визначають за формулою:

$$HV_B = HV_e \cdot \frac{d_e}{d_B}, \quad (41)$$

де HV_e - твердість еталона, kgf/mm^2 (для сталі марки Ст.3 $HV_e = 133 kgf/mm^2$);
 d_B - діаметр відбитка випробуваного металу.

Твердість по Віккерсу

При стандартному методі вимірювання твердості по Віккерсу в поверхню зразка вдавлюють чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136° . Відбиток виходить у вигляді квадрата (рис.2.2.10), діагональ якого вимірюють після зняття навантаження.

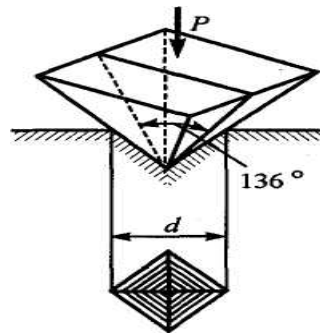


Рисунок 2.2.10. - Схема визначення твердості по Віккерсу.

Число твердості за методом Віккерса обчислюють за формулою: $HV = \frac{P}{S}, (42)$

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (43)$$

де P – прикладене навантаження, Н;

d – середнє арифметичне довжини обох діагоналей відбитка, мм;

α – кут при вершині наконечника – алмазної піраміди ($\alpha=136^\circ$); $S = \frac{d^2}{2 \sin \alpha / 2}$ - площа відбитка.

На практиці число твердості при обраному навантаженні визначають за спеціальними таблицями за величиною діагоналі відбитка.

Метод Віккерса застосовують головним чином для матеріалів, що мають високу твердість, а також для випробування на твердість деталей малих перетинів або тонких поверхневих шарів. Як правило, використовують невеликі навантаження: 10, 30, 50, 100, 200, 500 Н. Чим більш тонкий перетин деталі або застосовувана куля, тим менше обирають навантаження.

Числа твердості по Віккерсу і по Брінеллю для матеріалів, що мають твердість до 450 НВ, практично співпадають.

Твердість по Роквеллу

Цей метод вимірювання твердості найбільш універсальний і якнайменше трудомісткий. Тут не потрібно вимірювати розмір відбитка, оскільки число твердості відлічують безпосередньо по шкалі твердоміра. Число твердості залежить від глибини вдавлення наконечника, як який використовують алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталеву кульку діаметром 1,588 мм (рис. 2.2.11).

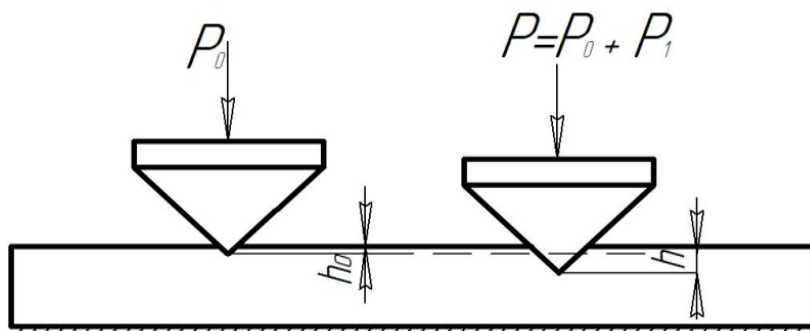


Рисунок 2.2.11. - Схема визначення твердості по Роквеллу.

Навантаження обирають залежно від виду і матеріалу наконечника. Навантаження прикладають послідовно двічі: попереднє – $P_0 = 10 \text{ кгс}$ і загальне P , що дорівнює сумі попереднього і основного навантаження – P_1 .

Твердість по Роквеллу вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості приймають значення осевого переміщення наконечника e , яке визначають за

$$\text{формулою: } e = \frac{h - h_0}{0,002} \quad (44)$$

де h – глибина проникнення наконечника в поверхню зразка під дією відповідного навантаження, мм.

Твердість по Роквеллу позначають цифрами, що визначають рівень твердості, і буквами HR із зазначенням шкали твердості і розраховують за формулами:

$$HR = 100 - e \text{ (при вимірюванні по шкалі A і C);}$$

$$HR = 130 - e \text{ (при вимірюванні по шкалі B).}$$

Таблиця 2.2.1. – Пружні властивості твердих матеріалів (при 18⁰С)

Примітка: ρ – густина, E і G – модулі Юнга і зсуву; μ – коефіцієнт Пуассона; K – модуль

Матеріал	ρ , кг/м ³	E , 10 ¹⁰ Н/м ²	G , 10 ¹⁰ Н/м ²	μ	K , 10 ¹⁰ Н/м ²	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{мп}$, МПа	НВ, МПа
Алюміній	2689	7,05	2,63	0,345	7,58	22	50	150
Бронза (66% Cu)	7650	9,7–10,2	3,3–3,7	0,34–0,40	11,2	210	600	1700
Вісмут	9780	3,19	1,20	0,33	3,13	–	5-20	90
Залізо	7874	19–20	7,7–8,3	0,29	16,9	170	290	800
Золото	19320	7,8	2,7	0,44	21,7	40	150	220
Кадмій	8650	4,9	1,92	0,30	4,16	10	75	200
Константан		16,3	6,11	0,32	15,5	–	–	–
Латунь	8350	9,7–10,2	3,5	0,34–0,40	10,65	150- 350	380-640	850-1050
Мідь	8960	10,5–13,0	3,5–4,9	0,34	13,76	70	215	400
Нікель	8910	20,4	7,9	0,28	16,1	80	400	800
Олово	7290	5,43	2,04	0,33	5,29	–	30	60
Платина	21450	16,8	6,1	0,37	22,8	100	145	470
Свинець	11336	1,62	0,56	0,44	4,6	5	14-18	–
Срібло	10500	8,27	3,03	0,37	10,4	20-30	140-180	500
Сталь (середньоїмі цності)	7800	20–21	7,9–8,1	0,25–0,33	16,8	650-950	800-1100	1970- 2400
Титан	4,505	11,6	4,38	0,32	10,7	100	250	600
Цинк	7,133	9,0	3,6	0,25	6,0	100	125	–
Дуб		1,3	–	–	–	–	–	–
Кварцові нитки		7,3	–	–	–	–	3,9-4,6	–
Червоне дерево		0,88	–	–	–	–	–	–
Гума м'яка		0,00015– 0,0005	0,00005– 0,00015	0,46–0,49	16,8	–	0,02-0,10	–
Сосна		0,9	–	–	–	–	–	–
Скло	2200	5,1–7,1	3,1	0,17–0,32	3,75	–	60 (розтяг), 110 (вигин), 650 (стиск)	–

усебічного стиску; $\sigma_{0,2}$ – границя текучості, $\sigma_{мп}$ – границя міцності, НВ – твердість (по Брінеллю).

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ

Завдання 1

Межа пружності відпущеної сталі $5,72 \cdot 10^8$ Па. Деформація буде пружною чи пластичною, якщо сталевий дріт завдовжки 3,0 м і перерізом $1,2 \text{ мм}^2$ під дією сили, що розтягує, подовжується на 8,0 мм? Під дією якої сили відбувається така деформація? Модуль Юнга для сталі $E = 1,96 \cdot 10^{11}$ Па.

Дано: $\sigma_{\text{пр}} = 5,72 \cdot 10^8$ Па - границя пружності, $l = 3,0$ м - довжина дроту, $\Delta l = 8,0 \text{ мм} = 8 \cdot 10^{-3}$ м - абсолютне подовження дроту, $S = 1,2 \text{ мм}^2 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ - переріз дроту, $E = 1,96 \cdot 10^{11}$ Па - модуль Юнга.

Знайти: Буде деформація пружною або пластичною? Величину сили, що викликає таке подовження.

Розв'язання. Для визначення виду деформації в дроті знайдемо напруження в ньому σ і порівняємо його з границею пружності $\sigma_{\text{пр}}$. Напруження знайдемо за законом Гука:

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Враховуючи, що $\varepsilon = \Delta l / l$, отримуємо:

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Па}}{3 \text{ м}} \approx 5,23 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Порівнюючи отриману величину напруження σ з границею пружності $\sigma_{\text{пр}} = 5,72 \cdot 10^8$ Па, бачимо, що напруження в дроті менше границі пружності ($\sigma < \sigma_{\text{пр}}$). Отже, деформація в дроті пружна.

Знаходимо величину сили, що викликає деформацію дроту:

$$F = \sigma \cdot S = 5,23 \cdot 10^8 \text{ Па} \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \approx 6,27 \cdot 10^2 \text{ Н}.$$

Відповідь. Деформація дроту пружна. Сила, що викликає зазначену деформацію дроту, приблизно дорівнює $6,27 \cdot 10^2$ Н.

Завдання 2

При температурі $t_1 = 150^\circ\text{C}$ площа мідного листа $S_1 = 1 \text{ м}^2$. Обчислити площу мідного S_2 листа при $t_2 = 10^\circ\text{C}$.

Мідний лист охолоджується від температури 150°C до температури 10°C . Площа мідного листа під час охолодження:

$$S = S_0 (1 - \alpha \cdot \Delta t),$$

де α - коефіцієнт лінійного теплового розширення міді;

S_0 - площа мідного листа при $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $\Delta t = t_1 - t_0$.

Завдання 3

Використовуючи кристалічну решітку заліза, визначити об'єм її елементарної комірки при нормальних умовах.

Об'єм елементарної комірки визначаються за формулою:

$$V_{\text{КОМ}} = \frac{m_0 N_{\text{КОМ}}}{\rho},$$

де ρ – пікнометрична густина заліза, кг/м^3 ; m_0 – атомна маса заліза, а.о.м.; $N_{\text{КОМ}}$ – число атомів, що приходиться на одну елементарну комірку.

З таблиць фізичних величин знаходимо:

- пікнометрична густина заліза: $\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

- атомна маса заліза $m_0 = 55,9$ а.о.м.

Щоб перевести атомні одиниці маси в кг (тому що густина вимірюється в кг/м^3), треба помножити на коефіцієнт $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Тоді атомна маса становитиме $m_0 = 55,9 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 92,8 \cdot 10^{-27}$ кг;

- число атомів, що приходиться на одну елементарну комірку $N_{\text{КОМ}}$ розраховують відповідно до форми кристалічної решітки. У заліза при кімнатній температурі – об'ємноцентрована кристалічна (ОЦК) решітка.

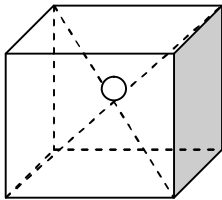


Рисунок 2.2.12. – ОЦК-решітка заліза

Виходячи з того, що елементарна комірка знаходиться в просторовій решітці, атом у вузлі належить цій комірці лише на $1/8$ частину. Інші $7/8$ частин належать ще 7 елементарним коміркам, що знаходяться навколо нього (і ще 1 атом належить цій комірці). Таким чином,

$$N_{\text{КОМ}} = 1/8 \cdot 8 + 1 = 2;$$

$$N_{\text{КОМ}} = 2.$$

Отже:

$$V_{\text{КОМ}} = (92,8 \cdot 10^{-27} \cdot 2) / 7,6 \cdot 10^3 = 24,2 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3.$$

Завдання 4

Для заданої марки сталі- 15X2CH5 - написати її хімічний склад.

Сталь легована. Число на початку марки сталі означає середній вміст вуглецю в сталі в сотих долях відсотка. Число після букви означає середній вміст легованого елемента в цілих відсотках. Якщо після букви немає числа, то вміст легованого елемента – приблизно 1%.

Отже, сталь 15X2CH5Д містить 0,15% вуглецю; 2% хрому; 1% кремнію; 5% нікелю.

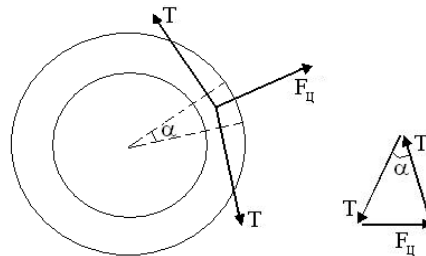
Завдання 5

Сталевий маховик має вигляд масивного кільця із зовнішнім діаметром 40 см і внутрішнім діаметром 30 см. На яку максимальну частоту обертання він розрахований? При якій частоті обертання може статися руйнування маховика?

Дано: $R=D/2=20$ см = 0,2 м - зовнішній радіус маховика, $r=d/2=15$ см = 0,15 м - внутрішній радіус маховика; $\rho=7800$ кг/м³ - густина сталі; $\sigma_{пр}=900$ МПа - границя пружності сталі; $\sigma_{гп}=1100$ МПа - границя пропорційності (границя міцності) сталі.

Знайти: ν_m - максимально допустиму частоту обертання маховика. ν_p - швидкість обертання, при якій може статися руйнування маховика.

Розв'язання. Виділимо уявно елемент маховика, який видно з центру під малим кутом α . На цей елемент діє відцентрова сила інерції $F_{ц}$, яку урівноважують дві сили пружності T . Тут $T=\sigma \cdot S$, де S - переріз обода маховика і σ - напруження.



Дія цих сил призводить до деформації елемента. Об'єм виділеної ділянки $V_x=l_{сеп} \cdot S=\alpha \cdot S \cdot R_{сеп}$, де $l_{сеп}$ і $R_{сеп}=(r+R)/2$ - середні довжина дуги і радіус обода маховика. Відцентрова сила інерції

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 R_{сеп} = \omega^2 R_{сеп} \rho V_x = \alpha \cdot \rho \cdot S \cdot R_{сеп} \omega^2,$$

де $\omega=2\pi\nu$ - циклічна частота обертання маховика, ρ - густина сталі. За умови рівноваги сил маємо $F_{ц}=2T \cdot \sin\alpha/2 \approx T \cdot \alpha$. Тоді залежність напруження в металі від частоти обертання має вигляд:

$$\sigma = \rho \cdot R_{сеп} \nu^2 / (2\pi)^2, \text{ звідки } \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho R_{сеп}^2}}.$$

Допустимою є швидкість обертання, коли напруження не перевищить границю пружності $\sigma_{пр}$:

$$\nu_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{900 \cdot 10^6 \text{ Па}}{7800 \text{ кг/м}^3 \cdot (0,175)^2 \text{ м}^2}} \approx 292 \text{ об./с.}$$

В даному випадку при зменшенні швидкості обертання маховик під дією сил пружності повернеться в початковий стан. Руйнування маховика настане у тому випадку, коли напруження маховика досягне величини руйнівного напруження $\sigma = \sigma_{гп}$ при частоті:

$$\nu_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{гп}}{\rho R_{сеп}^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1100 \cdot 10^6 \text{ Па}}{7800 \text{ кг/м}^3 \cdot (0,175)^2 \text{ м}^2}} \approx 323 \text{ об./с.}$$

Відповідь. Максимально допустима швидкість обертання маховика приблизно дорівнює 292 об./с. Швидкість обертання, при якій може статися руйнування маховика, приблизно становить 323 об./с.

.....

Завданняб

До сталевго стрижня перерізом $2,0 \text{ см}^2$ і завдовжки $0,5 \text{ м}$ підвішений вантаж масою $5,0 \text{ т}$. Який запас міцності має стрижень, якщо границя міцності (руйнівне напруження) при розтягу для сталі становить $1,25 \cdot 10^9 \text{ Па}$? Яке відносне подовження стрижня? Яка енергія пружної деформації стрижня? Масою стрижня зневажити.

Дано: $m = 5,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$ - маса вантажу, $l = 0,5 \text{ м}$ - довжина стрижня, $S = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - переріз стрижня, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння, $\sigma_l = 1,25 \cdot 10^9 \text{ Па}$ - межа міцності сталі, $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ - модуль Юнга.

Знайти: n - запас міцності; ε - відносне подовження; Π - енергію пружної деформації.

Розв'язання. Запас міцності знайдемо за формулою $n = \sigma_l / \sigma$, де $\sigma = F/S$, а $F = mg$. Таким чином:

$$n = \sigma_l S / mg.$$

Відносне подовження знайдемо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma = \frac{mg}{ES}.$$

Знаючи деформуючу силу $F = mg$ і абсолютну деформацію Δl , визначимо енергію пружної деформації Π :

$$\Pi = \frac{F \Delta l}{2}, \text{ де } \Delta l = \varepsilon l = \frac{mgl}{ES}$$

Отже,

$$\Pi = \frac{(mg)^2 l}{2ES}.$$

Підставляючи числові дані, отримаємо:

$$n = \frac{1,25 \cdot 10^9 \text{ Па} \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{5,0 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} \approx 5,1,$$

$$\varepsilon = \frac{5,0 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па} \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} \approx 1,1 \cdot 10^{-3},$$

$$\Pi = \frac{(5,0 \cdot 10^3 \cdot 9,8)^2 (\text{кг} \cdot \text{м/с}^2)^2 \cdot 0,5 \text{ м}}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па} \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} \approx 14 \text{ Дж}.$$

Відповідь. Запас міцності приблизно дорівнює 5; відносне подовження приблизно дорівнює $1,1 \cdot 10^{-3}$; енергія пружної деформації стрижня приблизно дорівнює 14 Дж.

.....

Завдання 7

Сталева і латунна смужки товщиною $h = 0,2$ см кожна скріплені на кінцях так, що при температурі $t_1 = 20^\circ\text{C}$ вони утворюють пласку біметалічну пластинку. Який буде середній радіус вигину біметалічної пластинки при $t_2 = 100^\circ\text{C}$? Температурні коефіцієнти лінійного розширення сталі і латуні дорівнюють $\alpha_c = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$; $\alpha_n = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ відповідно.

Дано: $h = 0,2$ см = $0,002$ м - товщина пласкої біметалічної пластинки при $t_1 = 20^\circ\text{C}$; R - радіус біметалічної пластинки при $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

Знайти: Радіус біметалічної пластинки R .

Розв'язання. У зв'язку з тим, що коефіцієнти лінійного розширення латуні і сталі різні ($\alpha_n > \alpha_c$), то при нагріванні біметалічної пластинки латунь подовжиться більше сталі, і вся пластинка зігнеться.

Якщо при температурі t_1 довжина середньої лінії латунної пластинки дорівнювала l_{1n} , а при температурі t_2 - дорівнюватиме l_{2n} , то приблизно можна записати:

$$l_{2n} \approx l_{1n} (1 + \alpha_n \Delta t),$$

де $\Delta t = t_2 - t_1$ - збільшення температури.

Для сталевої пластинки аналогічно до попереднього виразу одержуємо:

$$l_{2c} \approx l_{1c} (1 + \alpha_c \Delta t),$$

оскільки збільшення температури те саме.

Щоб визначити середній радіус вигину R вважаємо, що кінці пластинок при деформації не зміщуються відносно одне одного, і їх товщина настільки мала, що її зміною при нагріванні можна зневажити в порівнянні зі зміною довжини.

Як видно з рисунку 2.2.13, l_{2n} і l_{2c} зв'язані з радіусом вигину R рівняннями:

$$l_{2n} = \varphi(R + h/2);$$

$$l_{2c} = \varphi(R - h/2),$$

де φ - кут між торцевими поверхнями біметалічної пластинки.

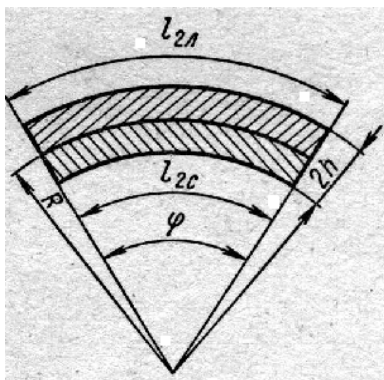


Рисунок 2.2.13 - Вигин біметалічної пластинки

Система рівнянь цілком відповідає умовам задачі і дозволяє визначити необхідну величину.

Вирішуючи спільно останні два рівняння відносно середнього радіуса кривизни R біметалічної пластинки, одержимо:

$$R = \frac{h}{2} \left[\frac{2 + (\alpha_c + \alpha_n) \Delta t}{(\alpha_c - \alpha_n) \Delta t} \right] = \frac{0,002}{2} \left[\frac{2 + (1,2 + 1,9) \cdot 10^{-5} \cdot 80}{(1,2 - 1,9) \cdot 10^{-5} \cdot 80} \right] \approx 5 \text{ м.}$$

Завдання 8

Для довільного сплаву М побудувати криву охолодження (рис.2.2.14,рис.2.2.15).

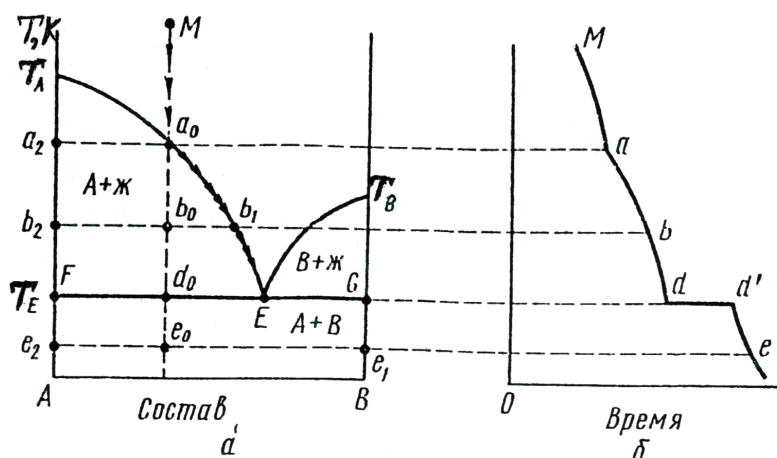
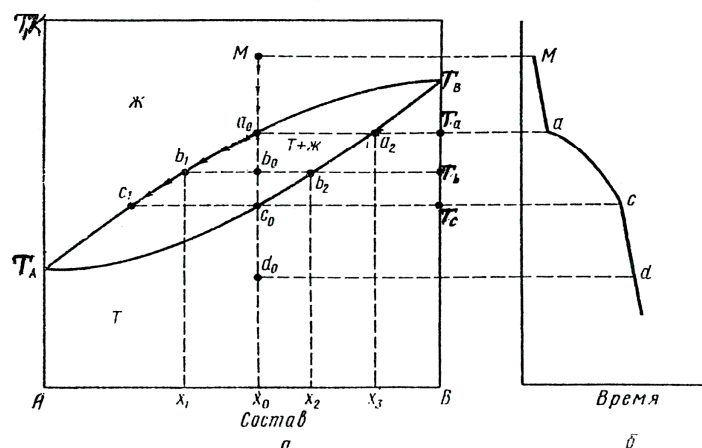


Рисунок 2.2.14. Діаграма стану системи з евтектикою: а - діаграма стану; б - крива охолодження сплаву М.

Рисунок 2.2.15. Діаграма стану системи з необмеженою розчинністю компонентів у твердому стані: а - діаграма стану; б- крива охолодження сплаву М.



Для побудови кривої охолодження сплаву евтектичного типу або твердого розчину необхідно на графік залежності температура – час перенести температури *ліквідусу* і *солідусу*. Точки на графіку, які відповідають цим температурам, треба з'єднати з урахуванням швидкості охолодження сплавів. Якщо температура є температурою фазового перетворення, то при цій температурі треба проводити плато – час фазового перетворення.

Завдання 9

Застосувати правило фаз Гіббса для точки b_0 (рис.2.2.14).

Точка b_0 знаходиться у рідино-твердій області нижче температури *ліквідусу* і вище температури *солідусу*. Правило фаз Гіббса:

$$i = K - f + B,$$

де i – число ступенів свободи для сплаву при даній температурі; K – число компонентів у сплаві $\kappa = 2$ (A, B); f - число фаз у цій області $f=2$ (твердий компонент A та рідина). Число зовнішніх впливів $B=1$ (температура).

$i = 2 - 2 + 1 = 1$ (можна змінювати температуру у визначених межах від температури *ліквідусу* до температури *солідусу*, і число фаз не змінюється, тобто стан системи залишиться незмінним).

Завдання 10

Сталевий вал завдовжки 150 см і діаметром 2 см, обертаючись з частотою обертів 20с^{-1} , передає потужність 4,5 кВт. Який кут закручування валу?

Дано: $l=150\text{ см} = 1,5\text{ м}$ - довжина валу, $d=2\text{ см} = 0,02\text{ м}$ - діаметр валу, $\nu=20\text{ с}^{-1}$ - частота обертів, $N=4,5\text{ кВт} = 4500\text{ Вт}$ - потужність, яку передає вал.

Знайти: ψ - кут закручування валу.

Розв'язання. Передана валом потужність характеризує швидкість здійснення роботи:

$$N = \frac{dA}{dt}.$$

При повороті валу на кут $d\varphi$ здійснюється робота:

$$dA = M d\varphi$$

де M - момент сил, що обертає вал. Тоді:

$$N = \frac{dA}{dt} = M \frac{d\varphi}{dt} = M 2\pi\nu,$$

де ν - частота обертів валу.

Кут закручування валу визначимо за законом Гука для деформації кручення:

$$\Psi = M/D,$$

де $D = \pi G d^4 / (32l)$,

l - довжина валу,

d - діаметр,

$G = 80\text{ ГПа}$ - модуль зсуву сталі.

Таким чином:

$$\psi = \frac{N}{2\pi\nu} \frac{32l}{\pi G d^4} = \frac{4,5 \cdot 10^3 \cdot 32 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 3,14 \cdot 80 \cdot 10^9 \cdot (0,02)^4} = 0,043\text{ рад} \approx 2,5^\circ.$$

Відповідь. Кут закручування приблизно дорівнює $0,043\text{ рад}$. або $2,5^\circ$.

.....

2.2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ВАЖКОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

Мета роботи: оволодіти методикою визначення витрат цементу, піску, щебеню і води на 1 м^3 бетонної суміші.

Теоретичні відомості

Бетон - це штучний кам'яний матеріал, який являє собою затверділу раціонально підбрану суміш мінеральної в'язучої речовини, води, крупного (щебеню або гравію) і дрібного (піску) заповнювачів, а за необхідністю - спеціальних добавок. Суміш із зазначених вище матеріалів до початку її затвердіння називають *бетонною сумішшю*.

Залежно від середньої густини бетони поділяють на: особливо важкі з середньою густиною понад 2600 кг/м^3 , важкі (звичайні) - $2100 - 2600 \text{ кг/м}^3$, полегшені - $1800 - 2100 \text{ кг/м}^3$, легкі - $1200 - 1800 \text{ кг/м}^3$ і особливо легкі - менше 1200 кг/м^3 .

Розрахунок і добір складу важкого цементного бетону

Розрахувати склад бетону - значить визначити витрати всіх його складових на певний його об'єм. Як правило, розрахунок ведуть на 1 м^3 (1000 л) бетону. Дуже часто теоретичний розрахунок складу бетону не гарантує точної відповідності основних його властивостей (рухливості суміші і міцності бетону) вимогам проектного завдання. Тому здобуті розрахунком показники перевіряють на пробних замісах з коригуванням складу бетону. Цю операцію з наступною перевіркою основних властивостей бетонної суміші та бетону називають *добором складу бетону*.

Розрізняють *номінальний* (лабораторний) склад бетону (на сухих заповнювачах) і *виробничий* (польовий), коли заповнювачі перебувають у природному вологому стані.

Для розрахунку складу важкого цементного бетону необхідні такі вихідні дані: марка бетону за міцністю σ_b , легкоукладність бетонної суміші (осадка конуса ОК або жорсткість Ж, характеристика складових (вид і активність цементу $\sigma_{ц}$, насипна густина цементу $\rho_{нц}$, піску $\rho_{нп}$, щебеню або гравію $\rho_{нщ(г)}$, дійсна густина $\rho_{ц}$, $\rho_{п}$, $\rho_{щ(г)}$, пустотність щебеню або гравію $V_{п}$, найбільша крупність щебеню або гравію $D_{найб}$, модуль крупності піску M_k , вологість заповнювачів $W_{п}$, $W_{щ(г)}$).

Для розрахунку складу важкого бетону існує кілька методів. Найбільш простий - метод розрахунку за «абсолютними об'ємами» по проф. Скрамтаєву. В основу цього методу покладено дві умови:

1. Після приготування бетонної суміші, її укладки в форму і ущільнення в ній не буде пор, порожнин, тобто сума абсолютних об'ємів усіх компонентів бетону дорівнює 1 м³ ущільненої суміші, формула (1):

$$Ц/\rho_c + В/\rho_v + П/\rho_p + Щ(\Gamma)/\rho_{щ(\Gamma)} = 1 (1000), \text{ м}^3(\text{л}),$$

де Ц, В, П, Щ(Г) - витрати цементу, води, піску і щебеню (гравію), кг, на 1 м³ бетонної суміші.

2. Цементно -піщаний розчин заповнює пустотиміж зернами крупного заповнювача з деяким розсуванням зерен щебеню (гравію), тобто:

$$Ц/\rho_c + В/\rho_v + П/\rho_p = V_p \cdot \alpha \cdot Щ(\Gamma)/\rho_{щ(\Gamma)},$$

де α - коефіцієнт розсування зерен щебеню (гравію).

Порядок виконання

1. Визначають орієнтовні витрати води, л/м³, за допомогою таблиці 2.3.1, виходячи із заданих легкоукладності бетонної суміші та $D_{\text{найб}}$.

Таблиця 2.3.1. - Орієнтовні витрати води

Легкоукладність бетонної суміші		Витрати води, л, при найбільшій крупності, мм							
		г р а в і ю				щ е б е н ю			
рухливість ОК, см	жорсткість, Ж, с	10	20	40	70	10	20	40	70
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9-12	-	215	200	185	170	230	215	200	185
6-8	-	205	190	175	160	220	205	180	175
3-5	-	195	180	165	150	210	195	180	165
1-2	-	185	170	155	140	200	185	170	155
-	30-50	175	160	145	-	185	170	155	-
-	60-80	170	155	140	-	180	165	150	-
-	90-120	165	150	135	-	175	160	145	-
-	150-200	160	145	130	-	170	155	140	-

Примітка. При витратах цементу більш як 400 кг/м³ витрати води збільшують на 10 л на кожні 100 кг цементу; при застосуванні дрібного піску - на 10 л.

2. Із основного рівняння міцності бетону (за проф.Скрамтаєвим)

$$\sigma_b = A \cdot \sigma_c \cdot (Ц/В - 0,5) \text{ при } Ц/В \leq 2,5,$$

$$\sigma_b = A_1 \cdot \sigma_c \cdot (Ц/В + 0,5) \text{ при } Ц/В \geq 2,5,$$

визначають цементно-водне відношення Ц/В, виходячи із заданої марки бетону, активності цементу і з урахуванням виду та якості складових матеріалів за такими формулами:

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_b}{A \cdot \sigma_c} + 0,5 \\ & = - 0,5, \end{aligned}$$

де А і А₁ - коефіцієнти, що враховують якість матеріалів (табл. 2.3.2) .

Таблиця 2.3.2 - Значення коефіцієнтів А и А₁

Характеристика матеріалів	А	А ₁
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Зниженої якості	0,55	0,37

Примітки:

1. *Високоякісні матеріали: щебінь із щільних гірських порід високої міцності, пісок оптимальної крупності (M_к = 2-2,5), заповнювачі чисті, промиті, фракціоновані, з оптимальним зерновим складом суміші фракцій; портландцемент високої активності, без добавок або з мінімальною кількістю гідралічної добавки в його складі.*

2. *Рядові матеріали: наповнювачі середньої якості, в тому числі гравій, що відповідає вимогам ДСТУ; портландцемент середньої активності або високомарочний шлакопортландцемент.*

3. *Матеріали зниженої якості: крупні заповнювачі низької міцності і дрібні піски ; заповнювачі, що відповідають зниженим вимогам Держстандарту; цементи низької активності.*

3 . Обчислюють витрати цементу, кг, на 1 м³ бетону: Ц = В · (Ц / В).

4 . Приймають коефіцієнт розсування зерен щебеню αв залежності від витрат цементу (табл. 2.3.3).

Таблиця 2.3.3. - Значення коефіцієнта розсування зерен щебеню α

Характеристика бетонної суміші	Витрати цементу, кг/м ³	Значення коефіцієнта α
1	2	3
Жорстка (бетон на крупному або середньому піску)	будь-які	1,05 – 1,10
Жорстка (бетон на дрібному піску)	будь-які	1,10 – 1,20
Рухлива	250	1,30
”	300	1,35
”	350	1,41
”	400	1,48

Примітка. При інших витратах цементу коефіцієнт α знаходять інтерполяцією.

5 . Розв'язуючи спільно рівняння (1) і (2), знаходимо витрати щебеню (гравію) і піску, кг/м³ на 1 м³ бетону:

$$\text{Щ} (\Gamma) = 1/[V_{\text{п}} \cdot \alpha/\rho_{\text{нщ}(\Gamma)} + 1/\rho_{\text{щ}(\Gamma)}],$$

де $V_{\text{п}} = 1 - \rho_{\text{нщ}}/\rho_{\text{щ}}$;

$$\text{П} = [1 - (\text{Щ}/\rho_{\text{ц}} + \text{В}/\rho_{\text{в}} + \text{Щ}/\rho_{\text{щ}})] \cdot \rho_{\text{п}}.$$

6 . Обчислюють середню густину бетонної суміші $\rho_{\text{ос}}$, кг/м³, (проектну):

$$\rho_{\text{ос}} = \text{Ц} + \text{В} + \text{П} + \text{Щ}$$

7 . Виробничий склад бетону (тобто з урахуванням вологості крупного та дрібного заповнювачів) визначають за формулами:

$$\text{Щ}' = \text{Щ} \cdot (1 - W_{\text{щ}}/100), \text{П}' = \text{П} \cdot (1 - W_{\text{п}}/100), \text{В}' = \text{В} - \text{П} \cdot W_{\text{п}}/100 - \text{Щ} \cdot W_{\text{щ}}/100.$$

8.Обчислюють коефіцієнт виходу бетону β , що дорівнює відношенню об'єму бетонної суміші в ущільненому стані (1м³) до суми насипних об'ємів сухих складових, витрачених на її приготування, тобто:

$$\beta = 1/(V_{\text{ц}}+V_{\text{п}} + V_{\text{щ}(\Gamma)}) = 1/(\text{Ц}/\rho_{\text{нц}} + \text{П}/\rho_{\text{нп}} + \text{Щ}(\Gamma)/\rho_{\text{нщ}(\Gamma)}).$$

Значення коефіцієнта виходу бетону β як правило дорівнює 0,55 - 0,75.

Рухливість бетонної суміші

Перед випробуванням (рис.2.3.1) внутрішню поверхню конуса 5 протирають вологою ганчіркою.

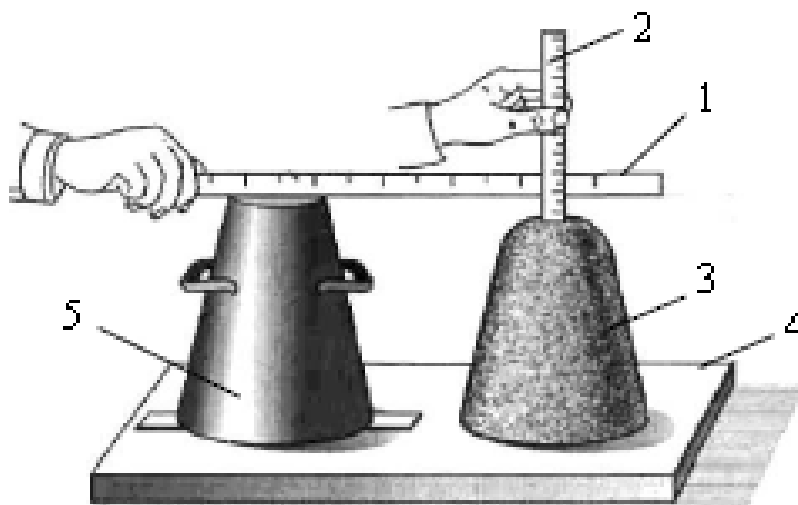


Рисунок 2.3.1. - Вимірювання осадки конуса бетонної суміші:

1 – допоміжна лінійка; 2 – лінійка для вимірювання осадки конуса; 3 – конус бетонної суміші після підйому форми-конуса; 4 – металевий боек; 5 – металевий конус.

Конус встановлюють на металевий боек і заповнюють бетонною сумішшю через лійку в три шари однакової висоти. Кожен шар ущільнюють штикуванням металевим стрижнем 25 разів. Конус під час наповнення щільно притискають до піддону. Після ущільнення бетонної суміші лійку знімають, і надлишок суміші

зрізують врівень із верхніми краями конуса. Потім конус повільно (плавно) піднімають .

Звільнена від форми бетонна суміш під дією власної маси осідає. Зняту форму конуса обережно встановлюють поряд з осілою бетонною сумішшю. На верхню основу форми укладають лінійку 1, від нижнього ребра якої до найвищої точки бетону вимірюють осадку бетонної суміші з точністю до 0,5 см (рис.2.3.1).

Якщо бетонна суміш вийшла менш рухливою, ніж потрібно, то збільшують кількість цементу порціями по 10% від початкової кількості і додають відповідну цементно- водному відношенню кількість води. У разі, коли рухливість суміші вийшла більш за необхідну, додають невеликими порціями пісок і крупний заповнювач, зберігаючи їх відношення постійними. Таким шляхом домагаються потрібної рухливості бетонної суміші. Далі перераховують витрати всіх складових на 1 м³ бетону. Це називається *коригуванням складу бетону за легкоукладністю*.

Середню густину бетонної суміші (фактичну) можна визначити при виготовленні контрольних зразків - кубів, зважуючи порожню форму і форму з ущільненою в ній бетонною сумішшю.

Марка бетону (за міцністю при стиску)

Маркою бетону за міцністю називають середню, округлену в бік зменшення величину границі міцності при стиску, кгс/см² (МПа), стандартних зразків - кубів з ребром 15 см у віці 28 діб, що зберігалися до випробування у нормальних умовах твердіння (температура 20 ± 2°C, вологість - 100 %).

Границю міцності при стиску зразка $\sigma_{ст}$ визначають за формулою:

$$\sigma_{ст} = F \cdot \alpha \cdot K_w / S,$$

де F – руйнівна сила, Н (кгс);

S - середня початкова площа робочого перерізу зразка, м² (см²);

α - масштабний коефіцієнт;

K_w -поправочний коефіцієнт, що враховує вологість бетонного зразка.

Границя міцності бетону при стиску обчислюють як середнє арифметичне границі міцності трьох зразків однієї серії.

Масштабний коефіцієнт α для стандартних зразків - кубів з ребром 150 мм дорівнює 1; при довжині ребра куба 70, 100, 200, 300 мм він дорівнює відповідно 0,85; 0,91; 1,05; 1,10.

Коефіцієнт K_w для важких бетонів приймають таким, що дорівнює одиниці.

Проектні марки важкого бетону 5 (50); 7,5 (75); 10 (100); 15 (150); 20 (200); 25 (250); 30 (300); 35 (350); 40 (400); 45 (450); 50 (500) ; 60 (600); 70 (700) ; 80 (800) МПа (кгс/см²).

Міцність бетону також характеризують класами(Додаток В ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності).

Бетони поділяють на такі класи: СІ; СІ,5; С2; С2,5; С3,5; С5; С7,5; С10; СІ2,5; СІ5; С20; С 22,5; С25; С30; С35; С40; С45; С50; С55; С60. Для переходу від класу бетону С до середньої міцності бетону (в МПа) слід застосовувати формулу:

$$\sigma_{\text{бср}} = C/0,778$$

[С22,5(М 300); С25(М 350); С30(М 400); С35(М 450); С40 (550)] .

Таблиця 2.3.4. - Вихідні дані для розрахунку складу важкого бетону

№ варіанта	ОК, см	$\sigma_{\text{б}}$, кгс/см ²	$\sigma_{\text{ц}}$, кгс/см ²	$\rho_{\text{ц}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{нц}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{п}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{нп}}$, кг/м ³	$M_{\text{к}}$	$\rho_{\text{ш}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{нш}}$, кг/м ³	Д _{найб} , мм
1	1	50	300	3100	1300	2650	1500	1,1	2600	1450	10
2	2	75	400	3100	1300	2650	1550	1,2	2600	1500	20
3	3	100	500	3100	1300	2650	1600	1,3	2600	1550	40
4	4	150	550	3100	1300	2650	1650	1,4	2600	1600	70
5	5	200	600	3100	1300	2650	1500	1,6	2600	1650	10
6	6	250	300	3100	1300	2650	1550	1,7	2600	1450	20
7	7	300	400	3100	1300	2650	1600	1,8	2600	1500	40
8	8	350	500	3100	1300	2650	1650	1,9	2600	1550	70
9	9	400	550	3100	1300	2650	1500	2,1	2600	1600	10
10	10	450	600	3100	1300	2650	1550	2,2	2600	1650	20
11	11	500	400	3100	1300	2650	1600	2,3	2600	1450	40
12	12	600	500	3100	1300	2650	1650	2,4	2600	1500	70
13	1	700	550	3100	1300	2650	1500	2,6	2600	1550	10
14	2	800	600	3100	1300	2650	1550	2,7	2600	1600	20
15	3	50	300	3100	1300	2650	1600	2,8	2600	1650	40
16	4	75	400	3100	1300	2650	1650	2,9	2600	1450	70
17	5	100	500	3100	1300	2650	1500	3,1	2600	1500	10
18	6	150	550	3100	1300	2650	1550	3,2	2600	1550	20
19	7	200	600	3100	1300	2650	1600	3,3	2600	1600	40
20	8	250	300	3100	1300	2650	1650	3,4	2600	1650	70
21	9	300	400	3100	1300	2650	1500	1,1	2600	1450	10
22	10	350	500	3100	1300	2650	1550	1,2	2600	1500	20
23	11	400	550	3100	1300	2650	1600	1,3	2600	1550	40
24	12	450	600	3100	1300	2650	1650	1,4	2600	1600	70
25	1	500	600	3100	1300	2650	1500	1,5	2600	1650	10

8. Після виконання роботи зробити висновок.

3. ЗМІСТ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Відповідно до навчального плану підготовки студент виконує одне індивідуальне завдання, яке містить дватеоретичних питання і чотири задачі. Вибір варіанта наведено в таблиці 3.6.

Теоретичні питання і індивідуального завдання наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. - Перше теоретичне питання індивідуального завдання

№ з/п	Питання
1	Залізо. Діаграма стану залізо-цементит($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$). Фази в системі $\text{Fe - Fe}_3\text{C}$.
2	Характеристика окремих точок і ліній діаграми $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$. Діаграма стану залізо – графіт. Структура чавунів.
3	Перетворення в сталі при нагріванні. Вплив величини зерна на властивості сталі. Перетворення в сталі при охолодженні.
4	Загартування. Відпуск сталі. Старіння сплавів.
5	Класифікація сталей. Маркування сталей.
6	Вплив домішок на властивості сталі. Легуючі елементи в сталі. Вплив легуючих елементів на структуру і властивості сталі.
7	Конструкційні сталі. Конструкційні будівельні сталі. Вуглецеві сталі звичайної якості.
8	Низьколеговані сталі. Машинобудівні сталі. Вуглецеві якісні сталі. Сталі, що цементуються.
9	Поліпшувані сталі. Високоміцні сталі. Мартенситно старіючі сталі. Пружино-ресорні сталі. Шарикопідшипникові сталі.
10	Основні види корозії металу. Жароміцність і жаростійкість. Попередження корозії.
11	Корозійностійкі сталі. Хромонікелеві корозійностійкі сталі. Жароміцні сталі. Нікелеві і кобальтові сплави. Магнітні сплави.
12	Поняття «металургія». Металургійні процеси. Металургійне паливо. Вогнетривкі матеріали.
13	Виробництво чавуну. Доменна піч.
14	Виробництво сталі. Мартенівська піч.
15	Алюміній. Класифікація алюмінієвих сплавів. Типи сплавів.
16	Мідь. Класифікація мідних сплавів. Антифрикційні сплави.
17	Титан. Сплави титана. Магній. Сплави магнію. Інші металеві матеріали.
18	Пластичні маси. Класифікація.
19	Технологія виробництва виробів із пластмас.
20	Технологія виробництва гумових технічних виробів.
21	Сутність ливарного виробництва. Формувальні суміші.

22	Технологія одержання виливків. Ливарні сплави. Спеціальні способи лиття.
23	Класифікація методів обробки металів тиском і механічного устаткування. Основні положення обробки металів тиском.
24	Основи прокатного виробництва. Кування, штампування, пресування і волочіння.
25	Загальні відомості про зварювання. Способи зварювання плавленням.
26	Зварювальні апарати. Ручне дугове зварювання. Електроди і зварювальний присадочний дріт.
27	Технологія газового зварювання.
28	Газове різання.
29	Способи зварювання тиском. Особливості технології зварювання сталі, чавуна і кольорових металів. Контроль зварених з'єднань.
30	Загальні відомості про процес різання металів.
31	Фізичні основи різання. Точність виготовлення деталей машин і якість обробленої поверхні.
32	Класифікація металорізальних верстатів.
33	Обробка заготовок на верстатах токарської групи. Обробка заготовок на свердлильних і розточувальних верстатах.
34	Обробка заготовок на фрезерних верстатах. Шліфування. Фізико-хімічні і електрофізичні способи обробки.

За діаграмою стану залізо-вуглець (рис. 3.1) відповідина теоретичне питання 2 індивідуального завдання, що наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. - Друге теоретичне питання індивідуального завдання

№ п/п	Питання
1	Дати визначення сталі.
2	Дати визначення чавуну.
3	Що таке ліквідус? Укажіть лінію ліквідус на діаграмі залізо-вуглець.
4	Що таке солідус? Укажіть лінію солідус на діаграмі залізо-вуглець.
5	Укажіть точку, що розділяє діаграму залізо-вуглець на сталі і чавуни.
6	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець евтектику і концентрацію вуглецю в ній.
7	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець евтектоїд і концентрацію вуглецю в ньому.
8	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець перитектику і концентрацію вуглецю в ній.
9	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець дистектику, її концентрацію і температуру плавлення з'єднання, що утворилося.
10	Укажіть структуру евтектоїдних сталей.
11	Чим відрізняється α -ферит від δ -фериту?
12	Укажіть структуру доевтектоїдних сталей.
13	Укажіть структуру заевтектоїдних сталей.
14	Укажіть структуру доевтектичних чавунів.
15	Укажіть структуру евтектичних чавунів.
16	Укажіть структуру заевтектичних чавунів.
17	Дати визначення перліту.
18	Дати визначення цементиту. Чим відрізняється первинний цементит від вторинного і третинного.
19	Дати визначення фериту.
20	Дати визначення ледебуриту. Чим відрізняється ледебурит, утворений вище і нижче лінії PSK?
21	Дати визначення аустеніту.
22	Указати твердість усіх фаз діаграми залізо-вуглець.
23	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець лінію перекристалізації чавунів.
24	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець лінію обмеженої розчинності вуглецю в α -залізі.
25	Укажіть лінію початку вторинної кристалізації на діаграмі залізо-вуглець.
26	Укажіть лінію закінчення вторинної кристалізації на діаграмі залізо-вуглець.
27	Укажіть на діаграмі залізо-вуглець лінію обмеженої розчинності вуглецю в δ -залізі.
28	Як поділяються сталі за вмістом вуглецювних?
29	Як поділяються чавуни за вмістом вуглецювних?

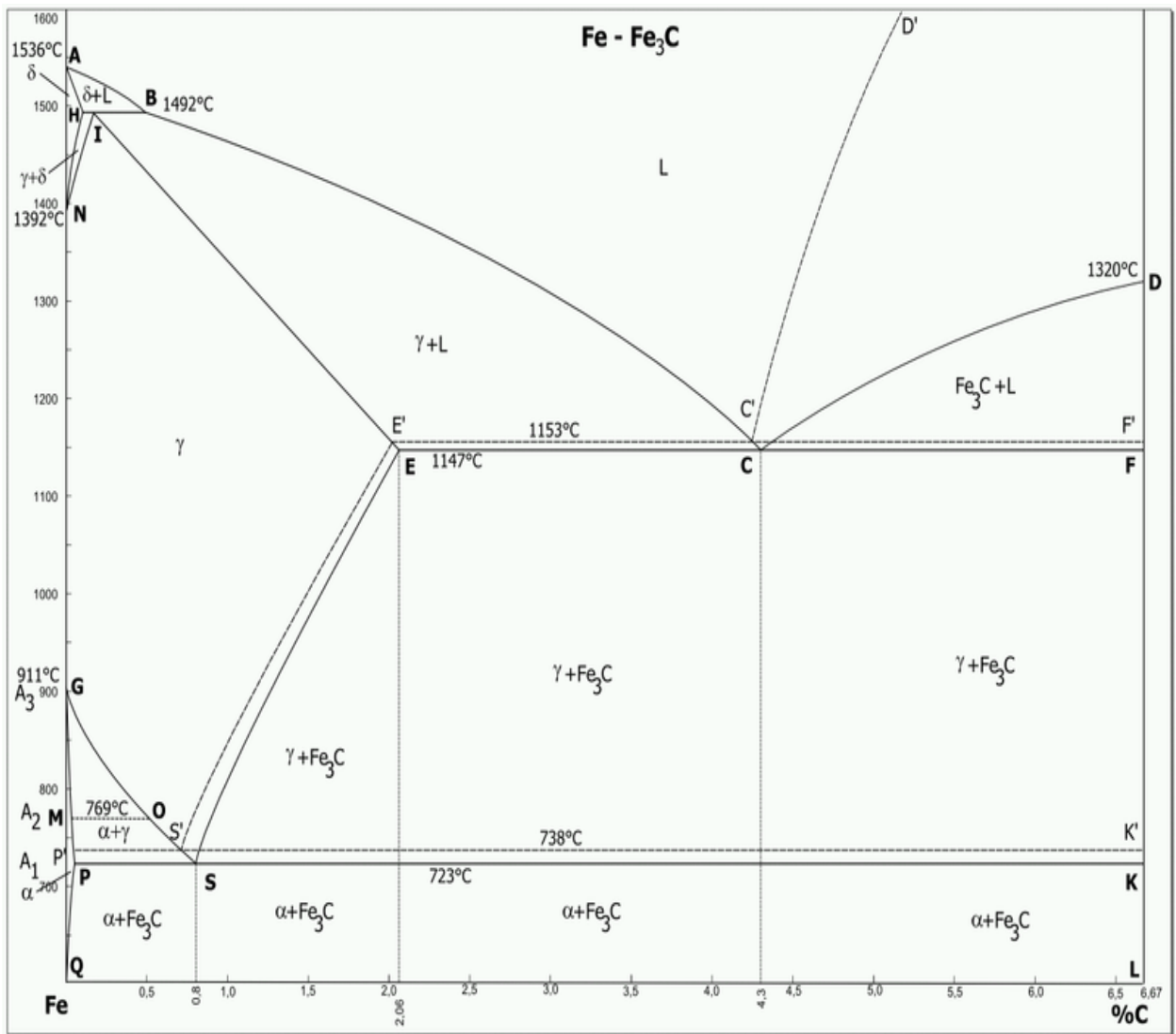


Рисунок 3.1. – Діаграма стану залізо-вуглець

Задача 1

Згідно з Лабораторною роботою № 1 визначити такі кристалохімічні параметри твердих матеріалів:

- 1) об'єм V , м^3 , і масу матеріалу m , кг (табл.3.3., 3.4.);
- 2) число часток у твердому матеріалі N ;
- 3) концентрацію атомів n , м^{-3} ;
- 4) концентрацію валентних електронів $n_{\text{эл}}$, м^{-3} ;
- 5) об'єм елементарної комірки $V_{\text{КОМ}}$, м^3 ;
- 6) параметр решітки a , м;
- 7) ефективний радіус атомів $R_{\text{ЕФ}}$, м;
- 8) компактність упаковки q ;
- 9) число атомів N_s , що приходить на поверхню S матеріалу;
- 10) долю α поверхневих атомів відносно до всіх атомів у матеріалі;
- 11) ретикулярну густину σ .

Таблиця 3.3. – Вихідні дані для розрахунку кристалохімічних показників

№ ва- ріан- та	Хімі- чний еле- мент	Тип кристалі- чної решітки	Атомна маса, а.о.м.	Валент- ність	Густина $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	Зразок матеріалу правильної геометричної форми	Розміри зразка, м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Sc	ОЦК	44,96	3	2,83	Куб	$a = 0,05$
2	Y	ОЦК	88,9	3	4,472	Прямокутний паралелепіпед	$a = 0,02$ $b = 0,03$ $c = 0,05$
3	Ti	ОЦК	47,9	4	4,26	Куля	$R = 0,06$
4	Zr	ОЦК	91,2	4	6,36	Циліндр	$D = 0,08$ $H = 0,2$
5	Hf	ОЦК	178,5	4	13,25	Піраміда (основа-квадрат)	$a = 0,02$ $H = 0,1$
6	V	ОЦК	50,9	5	5,65	Конус	$D = 0,09$ $H = 0,1$
7	Nb	ОЦК	92,9	5	7,96	Куб	$a = 0,05$
8	Ta	ОЦК	180,95	5	15,6	Прямокутний паралелепіпед	$a = 0,02$ $b = 0,03$ $c = 0,05$
9	Cr	ОЦК	52,0	3	6,72	Куля	$R = 0,06$
10	Mo	ОЦК	95,9	6	9,73	Циліндр	$D = 0,08$ $H = 0,2$

№ва ріан та	Хімі чний елем ент	Тип кристалі чної решітки	Атомна маса, а.о.м.	Валент ність	Густина $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	Зразок матеріалу правильної геометричної форми	Розміри зразка, м
1	2	3	4	5	6	7	8
11	W	ОЦК	183,8	6	17,5	Піраміда (основа-квадрат)	$a = 0,02$ $H=0,1$
12	Mn	ОЦК	54,9	2	6,97	Конус	$D=0,09$ $H=0,1$
13	Fe	ОЦК	55,9	3	7,59	Куб	$a= 0,05$
14	Ru	ОЦК	101,1	4	11,26	Прямокутний паралелепіпед	$a=0,02$ $b=0,03$ $c=0,05$
15	Os	ГЦК	190,2	4	21,8	Куля	$R=0,06$
16	Co	ГЦК	58,9	2	8,66	Циліндр	$D=0,08$ $H=0,2$
17	Rh	ГЦК	102,9	3	11,75	Піраміда (основа-квадрат)	$a=0,02$ $H=0,1$
18	Ir	ГЦК	192,2	4	21,27	Конус	$D= 0,09$ $H=0,1$
19	Ni	ГЦК	58,7	2	8,1	Куб	$a= 0,05$
20	Pd	ГЦК	106,4	2	11,3	Прямокутний паралелепіпед	$a= 0,02$ $b=0,03$ $c=0,05$
21	Pt	ГЦК	195,1	4	20,52	Куля	$R=0,06$
22	Cu	ГЦК	63,55	2	8,96	Циліндр	$D=0,08$ $H=0,2$
23	Ag	ГЦК	107,87	1	9,86	Піраміда (основа-квадрат)	$a =0,02$ $H=0,1$
24	Au	ГЦК	196,97	3	18,27	Конус	$D=0,09$ $H=0,1$
25	Cr	ОЦК	52,0	3	6,72	Куб	$a = 0,03$

Таблиця 3.4. - Формули для визначення площ поверхонь S_i об'ємів V матеріалів правильної геометричної форми.

Зразок матеріалу правильної геометричної форми	Площа поверхні зразка матеріалу, S	Об'єм зразка матеріалу, V
Куб	$S=6 a^2$	$V= a^3$
Прямокутний паралелепіпед	$S=2ab + 2bc + 2ac$	$V= abc$
Куля	$S= 4\pi R^2$	$V= 4/3 \pi R^3$
Циліндр	$S= 2\pi R^2 + \pi DH$	$V= (\pi D^2/4) H$
Конус	$S= S_{ОСН} + S_{БОК}$	$V= (\pi D^2/12) H$
Піраміда (основа-квадрат)	$S= S_{ОСН} + S_{БОК}$	$V= 1/3 S H$

Задача 2

1. При розтягу сталевого стрижня завдовжки $\ell=100$ мм і площею поперечного перерізу $S=200$ мм² абсолютна довжина дорівнює $\Delta\ell = 0,0125$ мм при діючому навантаженні $F = 500$ кгс. Визначити відносне подовження ε , величину нормального напруження σ і модуль пружності сталі E .

2. Який діаметр повинен мати сталевий стрижень завдовжки $\ell = 1,2$ м, якщо необхідно утримувати вантаж $F = 4$ тс. Обчислити абсолютне подовження стрижня, якщо напруження, що допускається на розтяг, прийняти $\sigma = 1600$ кгс/см², а модуль пружності $E = 2 \cdot 10^6$ кгс/см².

3. Зразок вуглецевої сталі було випробувано на твердість на пресі Брінелля кулькою $d=10$ мм під навантаженням $P = 3000$ кгс. Отримано три відбитки з діаметрами 1; 2; 3: 5,09; 5,15; 5,12 мм. Визначити границю міцності сталі при розтягу і марку сталі.

4. У польових умовах проведено випробування арматурної сталі на твердість переносним твердоміром Польті. Користуючись еталоном із сталі марки Ст. 3, по арматурі було зроблено 10 ударів молотком через бойок твердоміра. Набуті значення відбитків на металі і на еталоні приведені в таблиці.

Показник	Номери відбитків									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметри відбитків, мм:										
на еталоні	3,6	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7
на металі	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	2,9	3,1	3,0	2,9	3,0

5. Користуючись діаграмою стану залізовуглецевих сплавів обґрунтувати границю між сталлю і чавуном за вмістом вуглецю.

6. Залізовуглецевий сплав містить вуглецю 0,27%. Визначити вміст в ньому перліту і цементиту.

7. За даними мікроструктурного аналізу встановлено, що сталь містить 50% перліту. Визначити властивості і марку сталі.

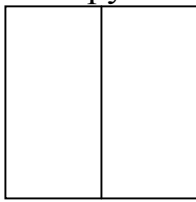
8. Визначити кількість фериту і цементиту в залізовуглецевих сплавах, що містять вуглецю: 0,15%, 0,83%, 1,5%, 2,5%, 4,3%. Вирішити, який сплав може бути використаний для арматури.

9. Для попереднього напруження стрижень арматури зі сталі Ст.5 нагрівається електричним струмом. Визначити необхідне подовження стрижня від первинної довжини $\ell_0 = 2,5$ м до створення в ньому напруження, що дорівнює 85% границі текучості. Модуль пружності арматурної сталі $E = 2 \cdot 10^6$ кгс/см², а границя текучості становить 2600 кгс/см².

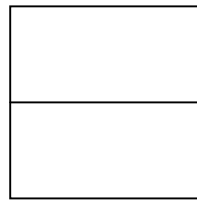
10. Дріт довжиною 1,2 м і перетином 0,4 мм² при навантаженні 120 Н подовжився на 2,0 мм. Знайти модуль пружності.

11. Дерев'яна паля висотою 5,0 м має поперечний переріз 300 см². Визначити абсолютний стиск палі під дією удару силою 500 кН? Модуль пружності дерева (сосна) $E = 11,7 \cdot 10^{10}$ Н/м².

12. При якій кладці цегли (*a* чи *б*), показаних на рисунку, нижня цегла виявиться під більшим напруженням. Чому?

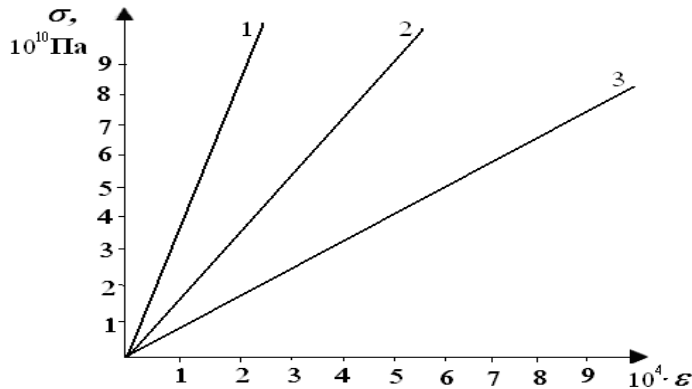


a)



б)

13. На рисунку наведені графіки залежності механічного напруження від його відносної деформації. Визначити модуль пружності для кожного графіка.



14. Штампується срібна монета діаметром 18 мм. Яка буде сила удару по заготівлі, якщо границя текучості металу 25 МПа?

15. Який запас міцності забезпечений на тепловозі в причіпному пристрої, якщо його перетин $S=100 \text{ см}^2$, границя міцності $\sigma_B=500\,000 \text{ кН/м}^2$, а сила тяги тепловоза $F=75 \text{ кН}$.

16. Якої висоти h можна побудувати цегляну стіну при запасі міцності $n=6$, якщо границя міцності цегли $\sigma=6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Густина цегли $\rho=2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

17. Яка відносна поперечна деформація сталевий балки з круглим перетином діаметром 15 см, якщо вона витримує стиск під дією ваги 7 т? Модуль пружності сталі $E=205 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,31$.

18. Знайти твердість сталі по Брінеллю HB , якщо вага навантаження становила 1000 кгс, а діаметр відбитка 3,2 мм при діаметрі кульки, що вдавлюється, 5 мм.

19. Яке рівномірно розподілене навантаження P може витримати гранітна плита, що являє собою правильний шестикутник зі стороною $a=10 \text{ см}$, якщо допустиме напруження на стиск граніту дорівнює $\sigma=450 \text{ Н/см}^2$.

20. Знайти діаметр відбитка в мідній пластині при дослідах на твердість по Брінеллю, якщо діаметр сталевий кульки вдавнення 5 мм, прикладене навантаження 1000 кгс, а твердість міді $HB=100 \text{ кгс/мм}^2$.

21. Сталевий канат, що витримує вагу нерухомай кабін ліфта, має діаметр 9 мм. Який діаметр повинен мати канат, якщо кабіна ліфта може мати прискорення до $8g$?

22. Гумовий джгут довжиною 50 см і діаметром 1 см натягнули так, що його довжина стала на 10 см більше. Знайти діаметр натягнутого джгута, якщо для гуми коефіцієнт Пуассона μ дорівнює 0,5.

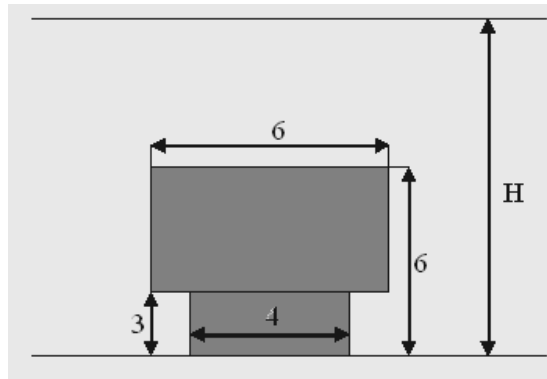
23. Балка довжиною 5 м і перетином 100 см^2 під дією сил по 10 кН, прикладених до її кінців, стиснулась на 1 см. Знайти відносний стиск і механічне напруження.
24. Знайти відносну зміну густини циліндричного мідного стрижня при стиску його тиском 1000 кгс/см^2 . Коефіцієнт Пуассона для міді прийняти рівним 0,34.
25. Знайти енергію пружної деформації сталевго стрижня масою 3,1 кг, що натягнутий так, що його відносне подовження $\varepsilon = 1,0 \cdot 10^{-3}$.
26. Сталевий дріт довжиною 4 м і діаметром 2 мм розтягується силою 980 Н. На скільки зміниться: а) його об'єм, б) його бічна поверхня.
27. Знайти тангенціальне напруження при пружній деформації зсуву кубі зі стороною 4 см, якщо до основ прикладена пара сил по 10^5 Н .
28. Знайти відносну деформацію зсуву для залізного куба зі стороною 5 см, якщо до основ прикласти пару сил по $2 \cdot 10^5 \text{ Н}$.
29. Знайти модуль зсуву для вилівка у формі прямокутного паралелепіпеда зі сторонами $a=b=10 \text{ см}$ і висотою $c=5 \text{ см}$, якщо прикладені тангенціальні сили по 10 кН до основ вилівка, а абсолютний зсув верхньої грані відносно нижньої грані вилівка дорівнює $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.
30. На залізничному вагоні-платформі знаходиться пакет з цеглою масою 600 кг на пласкому піддоні площею $0,8 \text{ м}^2$. Платформа починає рухатися з прискоренням $0,1 \text{ м/с}^2$. Визначити нормальне і тангенціальне напруження пакета на платформу.
31. Визначити величину вигину сталевго листа довжиною 1 м, шириною 50 см і товщиною 10 мм, жорстко затисненого в стіні з одного боку.
32. Знайти величину прогину алюмінієвого листа довжиною 1 м, шириною 0,5 м і товщиною 5 мм під дією власної ваги, якщо лист покласти на опори вздовж його ширини. Обчислити модуль вигину.

Задача 3

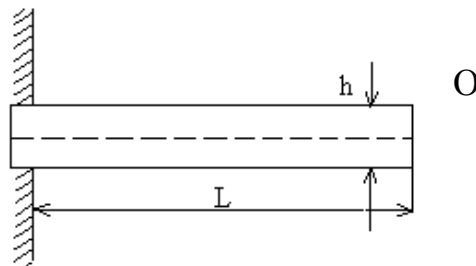
1. Визначити відносний прогин бетонної плити під дією власної ваги. Розміри плити: довжина 6 м, ширина 1,5 м, товщина 15 см. Плита тримається на двох опорах, що підпирають її вздовж ширини по кінцях плити. Модуль пружності бетону 20 ГПа. Густина бетону $\rho=2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
2. Який максимальний вантаж може витримати бетонна плита, що тримається по краях на двох опорах, якщо модуль пружності бетону 20 ГПа, а густина бетону $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Границя міцності бетону дорівнює $5 \cdot 10^7 \text{ Па}$. Розміри плити: довжина 6 м, ширина 1 м, товщина 15 см.
3. Яку роботу необхідно здійснити, щоб сталеву смугу довжиною 2,0 м, шириною 6,0 см і товщиною 2,0 мм зігнути в круглий обруч? Передбачається, що процес відбувається в межах пружної деформації.
4. Сталевий і алюмінієвий листи, що мають довжину 2 м і ширину 0,8 м, поклали на опори, проліт між якими дорівнює довжині листа. Яке співвідношення повинно бути між товщинами цих листів, щоб величина прогину під дією власної ваги кожного з листів була однаковою?
5. Знайти модуль кручення сталевого дроту довжиною 2 м, діаметром 4 мм.
6. Знайти модуль кручення і відносну деформацію сталевого прутка довжиною 1 м і діаметром 5 см, закріпленого одним кінцем, під дією тангенціальної сили 10 кН (яка прикладена до одного кінця прутка).
7. Яка потужність передається сталевому валу довжиною 2 м і діаметром 4 см при частоті обертів 30 с^{-1} і куті закручування $1,4^\circ$?
8. До дроту довжиною 10 см і радіусом 1,0 мм прикладений момент пари сил $M=2,26 \cdot 10^{-7} \text{ Нм}$, у результаті чого дріт був закручений на $10'$. Знайти модуль зсуву.
9. Знайти енергію пружної деформації сталевого стрижня, у якого один кінець затиснутий, а інший закручений на кут $6,0^\circ$. Довжина стрижня 1,0 м, радіус - 10 мм.
10. Знайти найбільшу потужність, яку можна передати за допомогою сталевого вала, що обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю 120 рад./с, якщо його довжина 200 см, радіус 1,5 см і припустимий кут закручування $\psi = 2,5^\circ$.
11. Знайти модуль усебічного стиску куба зі стороною $a=10 \text{ см}$, якщо під дією нормальних однакових сил до всіх граней по 10^6 Н його об'єм зменшився на 0,1 %.
12. Знайти модуль усебічного стиску міді при коефіцієнті Пуассона 0,4.
13. Знайти коефіцієнт усебічного стиску сталі. Коефіцієнт Пуассона дорівнює 0,35.
14. Знайти відносний усебічний стиск бетонного виробу у виді куба товщиною 1 м при коефіцієнті Пуассона 0,25 під дією зовнішніх сил по 10^6 Н . Модуль пружності бетону 20 ГПа.
15. Суцільний мідний циліндр довжиною 65 см поставили на горизонтальну поверхню і зверху приклали вертикальну стискаючу силу 100 Н, що рівномірно розподілена по його перетину. На скільки кубічних сантиметрів змінився при цьому об'єм циліндра?
16. Сталевий дріт діаметром 1 мм натягнутий в горизонтальному положенні між двома затискачами, що знаходяться на відстані 2,0 м один від одного. До середини дроту - в точці O - підвісили вантаж масою 0,25 кг. На скільки сантиметрів опуститься точка O?

17. Гумовий циліндр з висотою h , вагою P і площею основи S поставлений на горизонтальну площину. Знайти енергію пружної деформації циліндра, що виникає під дією його власної ваги. У скільки разів зміниться енергія пружної деформації даного циліндра, якщо на верхню основу поставити другий такий же циліндр?

18. На дні водоймища встановлена бетонна конструкція грибоподібної форми, розміри якої (у метрах) вказані на рисунку. Глибина річки $H = 10$ м. З якою силою давить конструкція на дно річки? Щільність бетону $\rho = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³.



19. Визначити відношення енергій деформації сталевого і пластмасового циліндрів, поставлених поруч один з одним і стиснутих паралельними площинами, якщо $L = 6,0$ м; її товщина $h = 10$ см.



21. Знайти твердість деякого матеріалу при випробуваннях по методу Віккерса, якщо відомо, що кут між гранями алмазної піраміди втискування дорівнює 136° , а під дією навантаження 100 Н діагональ квадратного відбитка становить $0,1$ мм.

22. Знайти площу відбитка на поверхні при випробуваннях по методу Віккерса під дією навантаження в 100 Н, якщо відомо, що твердість титану становить 1600 МПа.

23. При розтягу мідного дроту, поперечний переріз якого дорівнює $1,5$ мм², початок залишкової деформації спостерігався при навантаженні в $4,5$ кг. Яка границя пружності матеріалу дроту?

24. З даху будинку звішується сталевий дріт завдовжки 40 м і діаметром 2 мм. Який найбільший вантаж можна підвісити до цього дроту, щоб він не розірвався? На скільки подовжиться цей дріт, якщо на ній повисне людина вагою 70 кг? Чи спостерігатиметься залишкова деформація, коли людина відпустить дріт? Границю пружності сталі прийняти рівною $2,94 \cdot 10^8$ Н/м².

25. Кільце радіусом 25 см, зроблене зі свинцевого дроту, обертають навколо нерухомої вертикальної осі, що проходить через його центр і перпендикулярно до площини кільця. При якій частоті обертів це кільце може розірватися?
26. Яке напруження біля основи цегляної стіни заввишки 20м? Чи однаковою має бути міцність цегли біля основи стіни і верхньої її частини?
27. До залізного дроту завдовжки 50 см і діаметром 1 мм прив'язана гиря вагою 1кг. З яким найбільшим числом обертів в секунду можна рівномірно обертати у вертикальній площині такий дріт з вантажем, щоб він не розірвався?
28. Який тиск може витримати сталевий балон сферичної форми, якщо його внутрішній радіус 50 см, а товщина стінок 5 мм.
29. Визначити дійсний опір розриву сталі, якщо при навантаженні 10^4 Н площа поперечного перерізу в шийці зразка після розриву становила $0,7 \text{ см}^2$.
30. Який переріз повинен мати мідний стрижень завдовжки 5,0 м, щоб при навантаженні 480 Н він подовжився не більше, ніж на 1,0 мм? Чи витримає стрижень таке напруження, якщо границя міцності міді при розтягу - $2,2 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$. Масу стрижня не враховувати.
31. Який запас міцності має сталевий стрижень перерізом $3,0 \text{ см}^2$, до якого підвішений вантаж масою 7,5 т, якщо руйнівне навантаження для сталі $\sigma_{\text{мп}} = 7,85 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$?
32. З гумового шнура завдовжки 42 см і радіусом 3 мм зроблена рогатка. Хлопчик, стріляючи з рогатки, розтягнув гумовий шнур на 20 см. Знайти, чому дорівнює модуль Юнга для гуми, якщо відомо, що камінь вагою 0,02 кг, пущений з рогатки, полетів із швидкістю 20 м/сек. Зміною перерізу шнура при розтягу зневажити.

Задача 4

Розрахувати склад важкого цементного бетону.

Таблиця 3.5. - Вихідні дані для розрахунку складу важкого цементного бетону

№ варі-анта	ОК, см	σ_b , кгс/см ²	σ_c , кгс/см ²	ρ_c , кг/м ³	$\rho_{нц}$, кг/м ³	ρ_p , кг/м ³	$\rho_{нп}$, кг/м ³	M_k	$\rho_{щ}$, кг/м ³	$\rho_{нщ}$, кг/м ³	$D_{найб}$, мм
1	1	50	300	3100	1300	2650	1500	1,1	2600	1450	10
2	2	75	400	3100	1300	2650	1550	1,2	2600	1500	20
3	3	100	500	3100	1300	2650	1600	1,3	2600	1550	40
4	4	150	550	3100	1300	2650	1650	1,4	2600	1600	70
5	5	200	600	3100	1300	2650	1500	1,6	2600	1650	10
6	6	250	300	3100	1300	2650	1550	1,7	2600	1450	20
7	7	300	400	3100	1300	2650	1600	1,8	2600	1500	40
8	8	350	500	3100	1300	2650	1650	1,9	2600	1550	70
9	9	400	550	3100	1300	2650	1500	2,1	2600	1600	10
10	10	450	600	3100	1300	2650	1550	2,2	2600	1650	20
11	11	500	400	3100	1300	2650	1600	2,3	2600	1450	40
12	12	600	500	3100	1300	2650	1650	2,4	2600	1500	70
13	1	700	550	3100	1300	2650	1500	2,6	2600	1550	10
14	2	800	600	3100	1300	2650	1550	2,7	2600	1600	20
15	3	50	300	3100	1300	2650	1600	2,8	2600	1650	40
16	4	75	400	3100	1300	2650	1650	2,9	2600	1450	70
17	5	100	500	3100	1300	2650	1500	3,1	2600	1500	10
18	6	150	550	3100	1300	2650	1550	3,2	2600	1550	20
19	7	200	600	3100	1300	2650	1600	3,3	2600	1600	40
20	8	250	300	3100	1300	2650	1650	3,4	2600	1650	70
21	9	300	400	3100	1300	2650	1500	1,1	2600	1450	10
22	10	350	500	3100	1300	2650	1550	1,2	2600	1500	20
23	11	400	550	3100	1300	2650	1600	1,3	2600	1550	40
24	12	450	600	3100	1300	2650	1650	1,4	2600	1600	70
25	1	500	600	3100	1300	2650	1500	1,5	2600	1650	10

Для вибору теоретичних питань і задач необхідно використовувати шифр – дві останні цифри залікової книжки. Наприклад, шифр -89. Тоді, відповідно до таблиці Зномери теоретичних питань і задач будуть:

Теоретичне питання 1: номер питання – 21

Теоретичне питання 2: номер питання – 2

Задача 1: номер задачі –14

Задача 2: номер задачі –25

Задача 3: номер задачі –25

Задача 4: номер задачі –14

Таблиця 3.6. - Вибір теоретичних питань і задач до індивідуального завдання

Шифр	№ питання		№ задачі				Шифр	№ питання		№ задачі				Шифр	№ питання		№ задачі			
	1	2	1	2	3	4		1	2	1	2	3	4		1	2	1	2	3	4
01	1	1	1	1	1	1	34	34	5	9	2	2	9	67	33	9	17	3	3	17
02	2	2	2	2	2	2	35	1	6	10	3	3	10	68	34	10	18	4	4	18
03	3	3	3	3	3	3	36	2	7	11	4	4	11	69	1	11	19	5	5	19
04	4	4	4	4	4	4	37	3	8	12	5	5	12	70	2	12	20	6	6	20
05	5	5	5	5	5	5	38	4	9	13	6	6	13	71	3	13	21	7	7	21
06	6	6	6	6	6	6	39	5	10	14	7	7	14	72	4	14	22	8	8	22
07	7	7	7	7	7	7	40	6	11	15	8	8	15	73	5	15	23	9	9	23
08	8	8	8	8	8	8	41	7	12	16	9	9	16	74	6	16	24	10	10	24
09	9	9	9	9	9	9	42	8	13	17	10	10	17	75	7	17	25	11	11	25
10	10	10	10	10	10	10	43	9	14	18	11	11	18	76	8	18	1	12	12	1
11	11	11	11	11	11	11	44	10	15	19	12	12	19	77	9	19	2	13	13	2
12	12	12	12	12	12	12	45	11	16	20	13	13	20	78	10	20	3	14	14	3
13	13	13	13	13	13	13	46	12	17	21	14	14	21	79	11	21	4	15	15	4
14	14	14	14	14	14	14	47	13	18	22	15	15	22	80	12	22	5	16	16	5
15	15	15	15	15	15	15	48	14	19	23	16	16	23	81	13	23	6	17	17	6

16	16	16	16	16	16	16	49	15	20	24	17	17	24	82	14	24	7	18	18	7
17	17	17	17	17	17	17	50	16	21	25	18	18	25	83	15	25	8	19	19	8
18	18	18	18	18	18	18	51	17	22	1	19	19	1	84	16	26	9	20	20	9
19	19	19	19	19	19	19	52	18	23	2	20	20	2	85	17	27	10	21	21	10
20	20	20	20	20	20	20	53	19	24	3	21	21	3	86	18	28	11	22	22	11
21	21	21	21	21	21	21	54	20	25	4	22	22	4	87	19	29	12	23	23	12
22	22	22	22	22	22	22	55	21	26	5	23	23	5	88	20	1	13	24	24	13
23	23	23	23	23	23	23	56	22	27	6	24	24	6	89	21	2	14	25	25	14
24	24	24	24	24	24	24	57	23	28	7	25	25	7	90	22	3	15	26	26	15
25	25	25	25	25	25	25	58	24	29	8	26	26	8	91	23	4	16	27	27	16
26	26	26	1	26	26	1	59	25	1	9	27	27	9	92	24	5	17	28	28	17
27	27	27	2	27	27	2	60	26	2	10	28	28	10	93	25	6	18	29	29	18
28	28	28	3	28	28	3	61	27	3	11	29	29	11	94	26	7	1	30	30	1
29	29	29	4	29	29	4	62	28	4	12	30	30	12	95	27	8	2	31	31	2
30	30	1	5	30	30	5	63	29	5	13	31	31	13	96	28	9	3	32	32	3
31	31	2	6	31	31	6	64	30	6	14	32	32	14	97	29	10	4	1	1	4
32	32	3	7	32	32	7	65	31	7	15	1	1	15	98	30	11	5	2	2	5
33	33	4	8	1	1	8	66	32	8	16	2	2	16	99	31	12	6	3	3	6
														00	32	13	7	4	4	7

4. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Індивідуальне завдання треба виконувати в терміни, встановлені деканатом.

Відповіді на питання індивідуального завдання повинні задовольняти загальним вимогам оформлення студентських робіт [6]:

- конкретність та логічна послідовність у викладенні матеріалу;
- стислість і точність формулювання, що виключають можливість суб'єктивного і неоднозначного тлумачення;
- доказовість і обґрунтованість відповідей;
- єдність термінів у межах роботи та їх відповідність діючим стандартам.

Виконуючи індивідуальне завдання, необхідно, окрім основної літератури, користуватися відомостями про новітні досягнення науки і техніки.

Індивідуальне завдання повинно містити титульний аркуш, вибрані за шифром варіанти питань, відповіді на теоретичні питання і розв'язання задач, перелік використаних джерел, додатки.

Приклад оформлення титульного аркуша наведено в додатку А.

Текст має бути набраний в редакторі Microsoft Word. Параметри завдання: розмір сторінки А4 (210×297 мм) ; поля - лівий, верхній та нижній – 20 мм, правий – 10 мм; інтервал між рядками - полуторний; шрифт –Times New Roman, розмір 14.

Таблиці, схеми та рисунки треба надавати відповідно до загальних вимог [6] і нумерувати в межах відповіді на питання.

Відповідь на кожне питання починати з нової сторінки. Сторінки повинні бути пронумеровані і надійно скріплені.

До індивідуальної роботи додається бланк рецензії встановленої форми.

Індивідуальну роботу буде зараховано тільки після співбесіди студента з викладачем. Незараховану роботу буде повернено студенту для переробки з урахуванням зауважень викладача.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.МозбергР.К. Матеріалознавство. –М.: Вища школа –1991.– 447с.
- 2.ДальскийА.П.,АрутюноваН.А.іін.Технологіяконструкційнихматеріалів. – М.:Машинобудування. –1985. –448с.
- 3.ПрейсГ.А.іін.Технологіяконструкційнихматеріалів. –К.:Вища школа –1991. –390с.
- 4.ХрульовВ.М.,БлазнівГ.М.іін.Основитехнологійполімернихбудівельнихматеріалів. –М.:Вища школа - 1981.-384с.
- 5.СолнцевЮ.П.,ВеселовВ.А. і ін. Металознавство ітехнологіяметалів. – М.:Металургія. –1988. –512с.
6. Методичні вказівки з оформлення та захисту студентських робіт/ Укладачі: О.О.Ісаєнков, Я.О. Ляшок. – Красноармійськ: КФ ДонНТУ, 2003. – 54с.
- 7.БатьякО.Г.Систематехнологіїгалузейнародногогосподарства. –К.:НМКВО. –1991. –212с.
8. Матеріалознавство: Підручник / За ред. проф. С.С. Дяченко. - Харків: ХНАДУ, 2007. - 440 с.

Додаток

Приклад виконання титульного аркуша індивідуального завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра інженерної механіки

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

з дисципліни "ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО"

З ХХХХ 43 43.4 123ІЗ

Виконав _____ І.І.Іванов
ст. групи КЕС – 13з(дата)(підпис)
№ з.к.301123

Перевірив _____ О.І.Повзун
к.т.н., доц. кафедри ІМ (дата)(підпис)

Красноармійськ 2014