



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНЗ «Дніпропетровський професійний технологічний
коледж»

Сергій ГОРДІЄНКО

« 28 » серпня 2026 р.

**КОМПЛЕКСНЕ ІНДИВІДУАЛЬНЕ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ з
дисципліни «Матеріалознавство та термічна обробка металів і зварних з'єднань»**

ВКАЗІВКА ДО ВИКОНАННЯ: Індивідуальне завдання виконується здобувачем автономно та оформлюється у вигляді єдиного інжинірингового звіту (портфолію) у цифровому форматі. Номер варіанта відповідає останній цифрі номера залікової книжки здобувача. Усі графічні побудови (діаграми, термограми, епюри) виконуються з дотриманням масштабу.

БЛОК 1. КРИСТАЛОГРАФІЯ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ (Модуль 1) Завдання 1.1.
Розрахунок параметрів кристалічної ґратки Для заданого металу (див. Таблицю варіантів 1) відомо тип його кристалічної ґратки при кімнатній температурі, атомний радіус r (у нанометрах) та атомну масу A_w (г/моль).

1. Обчисліть параметр елементарної ґратки a (в нм та в см).
2. Визначте об'єм елементарної комірки V_c (у см^3).
3. Розрахуйте теоретичну (рентгенівську) густину металу ρ_T за формулою: $\rho_T = (n \cdot A_w) / (V_c \cdot N_A)$ де $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ — число Авогадро, n — кількість атомів у комірці (базис ґратки).
4. Поясніть фізичну причину розбіжності між розрахованою теоретичною густиною та фактичною макроскопічною густиною реального металу.

Завдання 1.2. Аналіз діаграми деформування Проведено випробування на статичний розтяг циліндричного зразка з початковим діаметром $d_0 = 10$ мм та початковою розрахунковою довжиною $l_0 = 50$ мм. За даними навантажень (Таблиця 1):

1. Визначте початкову площу поперечного перерізу зразка A_0 .
2. Розрахуйте границю плинності (σ_T) та границю міцності (σ_B) у МПа.
3. Розрахуйте відносне видовження після розриву δ (%).
4. Зробіть інженерний висновок щодо типу матеріалу (пластичний чи крихкий) та його придатності для несучих зварних конструкцій.

Таблиця варіантів 1 (до Блоку 1)

Варіант	Метал (ґратка, r , A_w)	Дані розтягу: Плинність (F_T , Δl)	Дані розтягу: Максимум ($F_{\max}$, Δl)	Розрив (F_k , Δl)
1	Залізо α (ОЦК, 0,124 нм, 55,85)	18,5 кН (0,2 мм)	30,0 кН (8,0 мм)	24,0 кН (11,5 мм)
2	Мідь (ГЦК, 0,128 нм, 63,55)	24,0 кН (0,3 мм)	38,0 кН (9,0 мм)	30,0 кН (12,0 мм)

	63,55)			
3	Вольфрам (ОЦК, 0,137 нм, 183,84)	Відсутня	65,0 кН (0,15 мм)	65,0 кН (0,15 мм)
4	Алюміній (ГЦК, 0,143 нм, 26,98)	28,0 кН (0,4 мм)	45,0 кН (10,0 мм)	35,0 кН (14,0 мм)
5	Нікель (ГЦК, 0,125 нм, 58,69)	32,0 кН (0,5 мм)	52,0 кН (11,0 мм)	42,0 кН (15,0 мм)
6	Молібден (ОЦК, 0,136 нм, 95,94)	Відсутня	82,0 кН (0,2 мм)	82,0 кН (0,2 мм)
7	Ванадій (ОЦК, 0,131 нм, 50,94)	20,0 кН (0,25 мм)	33,0 кН (7,5 мм)	26,0 кН (10,5 мм)
8	Срібло (ГЦК, 0,144 нм, 107,87)	35,0 кН (0,6 мм)	58,0 кН (12,0 мм)	48,0 кН (16,5 мм)
9	Хром (ОЦК, 0,125 нм, 52,00)	Відсутня	45,0 кН (0,1 мм)	45,0 кН (0,1 мм)
0	Залізо γ (ГЦК, 0,126 нм, 55,85)	22,0 кН (0,3 мм)	36,0 кН (8,5 мм)	28,0 кН (11,0 мм)

БЛОК 2. ФАЗОВИЙ АНАЛІЗ ТА ДІАГРАМА Fe-C (Модуль 2) Завдання 2.1. Аналіз мікроструктури за правилом відрізків Задано залізовуглецевий сплав із концентрацією вуглецю C₀ (Таблиця 2).

1. Побудуйте в масштабі криву охолодження для цього сплаву від 1600°C до 20°C.
2. Опишіть усі фазові перетворення, що відбуваються при перетині критичних ліній діаграми Fe-C.
3. Застосовуючи правило відрізків (правило важеля), розрахуйте хімічний склад обох фаз та їх масову частку (у відсотках) для розрахункової температури T_{розр}. Формули для розрахунку: $Q1 = [(X2 - X0) / (X2 - X1)] \cdot 100\%$ $Q2 = [(X0 - X1) / (X2 - X1)] \cdot 100\%$

Завдання 2.2. Розшифрування марок матеріалів Для п'яти марок сталей та чавунів (Таблиця 2) вкажіть: клас матеріалу (вуглецева/легована, конструкційна/інструментальна, якісна/високоякісна), орієнтовний хімічний склад у відсотках та типову галузь застосування в машинобудуванні.

Таблиця варіантів 2 (до Блоку 2)

Варіант	Склад C_0, %	T_розр, °C	Марки матеріалів для розшифрування за ДСТУ/EN
1	0,3	760	Ст3пс, 20ХН3А, У8, ВЧ 50, 12Х18Н10Т
2	0,5	750	Сталь 45, 30ХГСА, У10А, КЧ 30-6, 40Х13
3	0,2	800	Ст5сп, 15ХМ, У12, СЧ 20, 09Г2С
4	0,6	740	Сталь 20, 18ХГТ, У7А, ВЧ 40, 14Х17Н2
5	0,4	770	Ст4кп, 40ХН2МА, У9, КЧ 35-10, 15ХСНД
6	0,7	735	Сталь 35, 12ХН3А, У13А, СЧ 25, 20Х13
7	0,25	790	Ст2сп, 35ХГСА, У8А, ВЧ 60, 10ХСНД
8	0,55	745	Сталь 50, 20Х2Н4А, У10, КЧ 37-12, 08Х18Н10
9	0,35	780	Ст6пс, 38Х2МЮА, У11А, СЧ 15, 25ХГСА
0	0,45	755	Сталь 10, 40Х, У7, ВЧ 45, 17Г1С

БЛОК 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ (Модуль 3) Завдання 3.1.
Термічне покращення вала / інструменту Для заданої деталі (Таблиця 3) розробіть наскрізний технологічний процес термічної обробки.

1. Визначте критичні точки A_{c1} та A_{c3} (або A_{cm}) для обраної марки сталі за довідником.
2. Розрахуйте температуру нагрівання під гартування (обґрунтуйте вибір між повним та неповним гартуванням).
3. Оберіть оптимальне охолоджувальне середовище (вода чи мінеральна олива), спираючись на ступінь легування сталі та критичну швидкість гартування ($v_{кр}$).
4. Призначте вид та температуру відпуску, виходячи з експлуатаційних вимог (низький, середній або високий).
5. Побудуйте точний температурно-часовий графік повного циклу термообробки (термограму) в координатах «Температура – Час».
6. Запишіть кінцеву мікроструктуру металу та її орієнтовну твердість (HRC) після завершення всіх операцій.

Таблиця варіантів 3 (до Блоку 3)

Варіант	Марка сталі	Деталь	Умови експлуатації та вимоги до деталі
1	Сталь 45	Колінчастий вал	Динамічні навантаження, крутіння. Висока міцність і в'язкість (покрощення).
2	У10А	Свердло	Робота на зріз. Максимальна твердість (60-62 HRC) та зносостійкість.
3	65Г	Ресора автомобіля	Циклічні навантаження. Максимальна границя пружності та витривалості.
4	40Х	Шатун	Ударні навантаження. Поєднання міцності, пластичності та в'язкості.
5	У12	Напилок	Абразивне зношування. Екстремальна твердість, збереження карбідів.
6	60С2А	Пружина стиснення	Багаторазове стиснення. Надвисокий опір втомі, найвища границя пружності.
7	Сталь 50	Зубчасте колесо	Згинальні напруження.

			Об'ємне гартування для високонавантаженої роботи.
8	У8А	Зубило	Ударне навантаження з різанням. Висока твердість без крихкого відколу.
9	30ХГСА	Вал турбіни	Відповідальна деталь. Виняткова міцність та відмінна ударна в'язкість.
0	ШХ15	Кулька підшипника	Контактна втома. Максимальна твердість, відсутність викришування.

БЛОК 4. ЗВАРЮВАНІСТЬ ТА МЕТАЛУРГІЙНА ЕКСПЕРТИЗА ЗТВ (Модуль 4) Завдання 4.1. Розрахунок параметрів зварювального циклу Для заданої зварної конструкції (Таблиця 4) необхідно виконати інженерний розрахунок технологічності.

1. Випишіть орієнтовний хімічний склад заданої сталі (у масових відсотках).
2. Розрахуйте еквівалент вуглецю (C_{eq}) за формулою Міжнародного інституту зварювання (IIW): $C_{eq} = C + (Mn / 6) + [(Cr + Mo + V) / 5] + [(Ni + Cu) / 15]$
3. Визначте клас зварюваності сталі та оцініть ризик утворення крихкого мартенситу в зоні термічного впливу (ЗТВ).
4. Використовуючи формулу Сеферіана, розрахуйте необхідну температуру попереднього підігріву (T_p) з урахуванням товщини металу S : $T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_{eq} + 0,005 \cdot S - 0,25)}$ (Якщо підкореневий вираз ≤ 0 , підігрів не потрібен).
5. Обґрунтуйте необхідність післязварювальної термічної обробки (PWHT — високого відпуску при 600°C) для зняття залишкових макронапружень у цій конструкції.
6. Підберіть тип зварювальних матеріалів (наприклад, електроди з основним покриттям типу УОНИ-13/55) для запобігання водневому окрихченню.

Таблиця варіантів 4 (до Блоку 4)

Варіант	Марка сталі	Товщина S , мм	Тип конструкції (Експлуатаційне середовище)
1	Сталь 20	25	Елементи трубої арматури високого тиску.
2	09Г2С	18	Рама важкої будівельної техніки (зимові умови).

3	30ХГСА	10	Високонавантажений просторовий вузол шасі.
4	Сталь 45	30	Ремонтне зварювання вала-шестерні промислового редуктора.
5	15ХСНД	20	Пролітна балка мостового крана (динамічні навантаження).
6	12Х1МФ	16	Паропровід високого тиску (жароміцна конструкція).
7	Сталь 35	22	Елементи металофурнітури жорсткої фіксації.
8	40Х	15	Деталі сільськогосподарської техніки (ремонт).
9	17Г1С	24	Магістральний газопровід високого тиску.
0	Ст3сп	35	Опорна колона несучої кроквяної ферми.