

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ЗПО «ДПТК»

Олександр СТРИЛЕЦЬ
« 28 » серпня 2026 р.

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора НМР ЗПО «ДПТК»
Сергій ГОРДІЄНКО

« 28 » серпня 2026 р. я

ХІМІЯ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

З дисципліни ОК8 «ХІМІЯ»

Освітньо-професійна програма «Зварювальне виробництво»

Спеціальність G9 «Прикладна механіка»

Рівень: фаховий молодший бакалавр

ЗМІСТ

- Практична робота 1. Матеріальний баланс перетворення технічної сировини: стехіометрія, надлишок реагентів та вихід продуктів
- Практична робота 2. Розрахунок складу технологічних розчинів і кислотно-основної обробки: розведення, рН та нейтралізація
- Практична робота 3. Кількісний аналіз окисно-відновних перетворень металів та електролітичного осадження покриттів
- Практична робота 4. Матеріальний баланс формування металу зварного шва: склад основного і присадного металів, втрати та легування
- Практична робота 5. Енергетичний баланс дугового зварювання: нагрівання й плавлення сталі, термічний розклад компонентів покриття
- Практична робота 6. Стехіометричний баланс розкиснення зварювальної ванни кремнієм і марганцем та формування оксидів шлаку
- Практична робота 7. Газовий баланс зварювальних процесів: захисні суміші $\text{Ar}-\text{CO}_2$ та киснево-ацетиленове горіння
- Практична робота 8. Матеріальний і хімічний баланс зварювальних матеріалів: електроди, покриття, дріт і флюси
- Практична робота 9. Порівняння корозійних втрат металу шва й основного металу та розрахунок хімічної підготовки і захисного покриття

Як працювати з цим посібником

Кожна робота побудована як навчальна ситуація з 12–20 взаємозв'язаними розрахунками. Умови блоків А, Б і В однакові для всієї групи; змінюються лише дані особистого варіанта (1–30).

Основний блок А включає близько десяти послідовних розрахункових кроків. Блок Б змінює початкові умови або розширює виробничу ситуацію, не вводячи непояснених законів. Блок В вимагає кількісної перевірки або короткого аргументованого висновку. Для всіх студентів обов'язкові А й Б, а перевірки В є частиною оформлення.

Теорія, довідкові значення, рівняння реакцій та формули наведені безпосередньо в методичці. Студентові не потрібно самостійно шукати довідкові дані для виконання основної частини; додаткові пояснення можна брати з рекомендованих підручників.

Числові показники складу зварювальних матеріалів, коефіцієнти переходу металу, ефективність процесів і дані захисних покриттів наведені як умовні навчальні величини. Вони не є чинними нормативами, рекомендованими промисловими режимами або засобами оцінювання безпеки процесів.

Усі розрахунки оформлюються як «формула — підстановка — результат з одиницями». На завершення потрібно перевірити хоча б два незалежні баланси та написати короткий висновок про вплив вихідних умов на результат.

Шаблон звіту студента

ПІБ _____ Група _____ Варіант _____ Практична робота № _____ Дата _____

1. Мета. 2. Вихідні дані з особистого рядка. 3. Рівняння та формули. 4. Розрахунок А. 5. Розрахунок Б. 6. Перевірки В. 7. Таблиця результатів і висновок.

Увага: під час реального очищення металів кислотами, користування газами й виконання зварювальних операцій діють окремі інструкції з охорони праці. Наведені тут вправи є лише паперовими розрахунками.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Матеріальний баланс перетворення технічної сировини: стехіометрія, надлишок реагентів та вихід продуктів

Мета. Відпрацювати повний матеріальний баланс однієї реакції: від складу технічної сировини до потреби в реагентах, об'єму газу, виділення продукту та нейтралізації залишку кислоти.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Лабораторна партія технічного карбонату кальцію з інертними домішками повністю реагує з HCl . Кислота подається з надлишком. CaCl_2 виділяють із заданим коефіцієнтом вилучення, а частину утвореного CO_2 фізично збирають. Залишкову кислоту нейтралізують NaOH . Другу партію обробляють за тими самими умовами.

1. Теоретичні відомості

Хімічне рівняння дає кількісні співвідношення між реагентами та продуктами. Для реакції карбонату кальцію з кислотою одному молу CaCO_3 відповідають два моля HCl , один моль CaCl_2 та один моль CO_2 . Під час розрахунку не можна порівнювати маси речовин без переходу до їхніх молярних мас.

Технічна сировина містить реакційноздатну речовину й інертні домішки. Масову частку чистого CaCO_3 необхідно перетворювати з відсотків у частку одиниці. Лише чиста частина бере участь у стехіометрії; домішки входять до матеріального балансу сировини, але не до рівняння реакції.

Маса чистої HCl , обчислена за реакцією, є теоретичною витратою. Якщо кислоту подають із надлишком, необхідно спочатку збільшити масу чистої HCl на частку надлишку, а вже потім поділити на її масову частку в розчині. Маса води у введеному розчині — різниця мас розчину і кислоти.

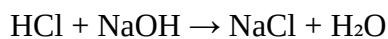
Теоретичний вихід продуктів визначають із кількості CaCO_3 , що вступив у реакцію. Коефіцієнт вилучення солі описує наступну операцію збирання CaCl_2 і не змінює кількість CO_2 , яку передбачає хімічне рівняння. Окремо може бути задана ефективність фізичного збирання газу.

Молярний об'єм 22,4 л/моль застосовуємо лише до газу, приведенного до нормальних умов. Якщо газ не приведено до них, його об'єм треба визначати за іншими даними про температуру та тиск; у цій роботі такі перерахунки не потрібні.

Надлишкова кислота після повного перетворення CaCO_3 є потенційним реагентом нейтралізації. Для рівняння $\text{HCl} + \text{NaOH}$ співвідношення молів дорівнює 1:1. Кількість луку визначають за надлишковою чистою HCl , а не за всією введеною кислотою.

Підсумковий матеріальний баланс розділяє первинну реакцію, фізичне вилучення солі, уловлювання газу та нейтралізацію. Саме це дозволяє встановити, у якому місці виникають відмінності між теоретичною кількістю речовин і кількістю фактично отриманих матеріалів.

2. Хімічні рівняння та припущення



m — грами; p , w , δ , η — частки одиниці; n — молі; V — літри; $V_m = 22,4$ л/моль за н. у. Молярні маси, г/моль: CaCO_3 100,09; HCl 36,46; CO_2 44,01; CaCl_2 110,98; NaOH 40,00.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: спершу виділіть у технічній сировині чисту речовину; далі переведіть її масу в молі та скористайтеся коефіцієнтами хімічного рівняння. Лише після теоретичного балансу додавайте надлишок кислоти, виходи й втрати під час уловлювання. Маси речовин у грамах і маси водних розчинів — різні величини.

$$m(\text{чист.}) = m(\text{зразка}) \cdot p \quad (1.1)$$

Пояснення до формули (1.1). Спочатку визначаємо масу саме реакційноздатного карбонату. p — частка чистого CaCO_3 , яку переводимо з відсотків у десятковий дріб: 92 % $\rightarrow$ 0,92. Ця маса, а не маса технічного зразка, переходить до наступного кроку.

$$m(\text{домішок}) = m(\text{зразка}) \cdot (1 - p) \quad (1.2)$$

Пояснення до формули (1.2). Загальна маса технічного продукту складається з чистої речовини та домішок. Отримане значення допомагає перевірити початковий баланс: маса CaCO_3 плюс маса домішок має дорівнювати масі зразка.

$$n(\text{CaCO}_3) = m(\text{чист.}) / M(\text{CaCO}_3) \quad (1.3)$$

Пояснення до формули (1.3). Кількість речовини n обчислюємо, поділивши масу чистого CaCO_3 на його молярну масу M . Одиниці г/(г/моль) скорочуються до молів; саме в молях зручно застосовувати коефіцієнти рівняння реакції.

$$m(\text{HCl})_{\text{теор}} = 2 \cdot n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{HCl}) \quad (1.4)$$

Пояснення до формули (1.4). Коефіцієнт 2 походить із рівняння $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$: на один моль карбонату потрібно два молі кислоти. Тут ще немає надлишку й води з кислотного розчину.

$$m(\text{HCl})_{\text{подано}} = m(\text{HCl})_{\text{теор}} \cdot (1 + \delta) \quad (1.5)$$

Пояснення до формули (1.5). Надлишок δ додаємо до стехіометричної потреби в чистій HCl ; наприклад, $\delta = 0,10$ означає подачу на 10 % більше кислоти. Надлишок не означає, що за цієї моделі розкладеться більше карбонату, якщо він повністю прореагував.

$$m(\text{розчину HCl}) = m(\text{HCl})_{\text{подано}} / w(\text{HCl}) \quad (1.6)$$

Пояснення до формули (1.6). Робоча кислота є розчином, тому її загальна маса більша за масу чистої HCl . Ділимо масу поданої кислоти на масову частку w ; різниця між масою розчину й чистої кислоти дає масу води в ньому.

$$V(\text{CO}_2)_{\text{теор}} = n(\text{CaCO}_3) \cdot V_m \quad (1.7)$$

Пояснення до формули (1.7). Із реакції випливає співвідношення $n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3)$. Множимо мольну кількість на молярний об'єм $V_m = 22,4$ л/моль тільки для нормальних умов; результат — теоретичний об'єм газу.

$$V(\text{CO}_2)_{\text{зібрано}} = V(\text{CO}_2)_{\text{теор}} \cdot \eta_{\text{газ}} \quad (1.8)$$

Пояснення до формули (1.8). Якщо газ уловлюється не повністю, коефіцієнт $\eta_{\text{газ}}$ показує частку реально зібраного CO_2 . Це фізичне уловлювання після реакції: $\eta_{\text{газ}}$ не змінює стехіометричну масу утвореного газу.

$$m(\text{CaCl}_2)_{\text{факт}} = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCl}_2) \cdot \eta_{\text{сіль}} \quad (1.9)$$

Пояснення до формули (1.9). Маса CaCl_2 походить з кількості карбонату за співвідношенням 1:1. Коефіцієнт $\eta_{\text{сіль}}$ враховує втрати саме під час вилучення солі; він не застосовується до витрати HCl або об'єму газу.

$$m(\text{HCl})_{\text{зал}} = m(\text{HCl})_{\text{подано}} - m(\text{HCl})_{\text{теор}} \quad (1.10)$$

Пояснення до формули (1.10). Після повного перетворення карбонату невитраченою залишається лише подана понад теоретичну потребу HCl . Віднімаємо теоретичну витрату від фактично поданої чистої кислоти, а не від маси її водного розчину.

$$m(\text{NaOH}) = m(\text{HCl})_{\text{зал}} \cdot M(\text{NaOH}) / M(\text{HCl}) \quad (1.11)$$

Пояснення до формули (1.11). За реакцією $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ молярне співвідношення 1:1. Переводимо залишок HCl у молі, а потім — у масу чистої NaOH через співвідношення молярних мас.

$$m(\text{розчину NaOH}) = m(\text{NaOH}) / w(\text{NaOH}) \quad (1.12)$$

Пояснення до формули (1.12). Щоб дістати масу розчину лугу, масу чистої NaOH ділимо на її масову частку. Перед підстановкою відсотки переведіть у частку одиниці; розчин нейтралізатора не можна плутати з чистим лугом.

Позначення часток p , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: m зразка, г = 60; p , % = 92; HCl , % = 12; надл., % = 10; вил. солі, % = 88; збір газу, % = 90; k партії 2 = 1,25; NaOH , % = 10.

1. $m(\text{CaCO}_3, \text{чист.}) = 60,00 \cdot 0,92 = 55,20$ г
2. $n(\text{CaCO}_3) = 55,20 / 100,09 = 0,5515$ моль
3. $m(\text{HCl})_{\text{теор}} = 2 \cdot 0,5515 \cdot 36,46 = 40,22$ г
4. $m(p\text{-ну HCl}) = 40,22 \cdot (1+0,10)/0,12 = 368,64$ г
5. $V(\text{CO}_2)_{\text{зібрано}} = 0,5515 \cdot 22,4 \cdot 0,90 = 11,12$ л

$$6. m(\text{NaOH}) = 4,02 \cdot 40 / 36,46 = 4,41 \text{ г}$$

$$7. m(\text{р-ну HCl на 2 партії}) = 368,64 \cdot (1 + 1,25) = 829,45 \text{ г}$$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
чиста маса CaCO_3 , г	55,200	інертні домішки, г	4,800
$n(\text{CaCO}_3)$, моль	0,5515	HCl теоретично, г	40,216
HCl подано, г	44,237	розчин HCl, г	368,643
вода у розчині, г	324,406	CO_2 теоретично, г	24,272
CO_2 теоретично, л	12,354	CO_2 зібрано, л	11,118
CaCl_2 теоретично, г	61,206	CaCl_2 виділено, г	53,861
HCl у надлишку, г	4,022	NaOH для нейтралізації, г	4,412
розчин NaOH, г	44,120	зразок 2, г	75,000
розчин HCl 2, г	460,804	CO_2 зібрано 2, л	13,898
розчин HCl на дві партії, г	829,448	CO_2 зібрано разом, л	25,016

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок

1. Визначити чисту масу CaCO_3 та інертні домішки.
2. Записати рівняння реакції та розрахувати кількість речовини CaCO_3 .
3. Обчислити теоретичну масу чистої HCl.
4. Врахувати заданий надлишок і визначити масу фактично поданої HCl.
5. Перейти від чистої HCl до маси розчину та маси води в ньому.
6. Знайти теоретичні маси CaCl_2 й CO_2 .
7. Знайти теоретичний об'єм CO_2 за н. у. та об'єм фізично зібраного газу.
8. Визначити масу фактично вилученої солі.
9. Розрахувати невитрачену HCl і потребу в чистій NaOH.
10. Визначити масу робочого розчину NaOH для нейтралізації.

Б. Зміна початкової ситуації

1. Для другої партії, маса якої в k разів більша, знайти чисту масу карбонату та витрату кислого розчину.
2. Обчислити об'єм газу, зібраного з другої партії, і сумарний об'єм з обох партій.
3. Знайти сумарну потребу в розчині HCl на обидві партії.

4. Порівняти витрати кислоти на 1 г чистого карбонату в обох партіях: пояснити, чому питома величина незмінна.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити рівність $n(\text{HCl})_{\text{теор}} = 2n(\text{CaCO}_3)$.
2. Пояснити, чому коефіцієнт вилучення CaCl_2 не можна множити на об'єм CO_2 .

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	m зразка, г	p, %	HCl, %	надл., %	вил. солі, %
1	48	82	8	5	76
2	55	89	11	9	81
3	62	96	14	13	86
4	69	86	8	6	91
5	64	93	11	10	78
6	71	83	14	14	83
7	78	90	8	7	88
8	85	97	11	11	93
9	80	87	14	15	80
10	87	94	8	8	85
11	94	84	11	12	90
12	101	91	14	5	77
13	96	98	8	9	82
14	103	88	11	13	87
15	110	95	14	6	92
16	117	85	8	10	79
17	112	92	11	14	84
18	119	82	14	7	89
19	126	89	8	11	76
20	133	96	11	15	81
21	128	86	14	8	86
22	135	93	8	12	91
23	142	83	11	5	78
24	149	90	14	9	83
25	144	97	8	13	88
26	151	87	11	6	93
27	158	94	14	10	80
28	165	84	8	14	85
29	160	91	11	7	90
30	167	98	14	11	77

Дані — частина 2 із 2

№	збір газу, %	k партії 2	NaOH, %
1	78	1,20	8
2	85	1,27	11
3	92	1,34	14
4	81	1,41	9
5	88	1,48	12
6	95	1,24	15
7	84	1,31	10
8	91	1,38	13
9	80	1,45	8
10	87	1,21	11
11	94	1,28	14
12	83	1,35	9
13	90	1,42	12
14	79	1,49	15
15	86	1,25	10
16	93	1,32	13
17	82	1,39	8
18	89	1,46	11
19	78	1,22	14
20	85	1,29	9
21	92	1,36	12
22	81	1,43	15
23	88	1,50	10
24	95	1,26	13
25	84	1,33	8
26	91	1,40	11
27	80	1,47	14
28	87	1,23	9
29	94	1,30	12
30	83	1,37	15

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
чиста маса CaCO_3 , г	_____	_____
розчин HCl , г	_____	_____
CO_2 зібрано, л	_____	_____
CaCl_2 виділено, г	_____	_____
розчин NaOH , г	_____	_____
розчин HCl на дві партії, г	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення ($\text{мл} \leftrightarrow \text{л}$; $\text{г} \leftrightarrow \text{кг}$; $\text{хв} \leftrightarrow \text{с}$; $\text{м}^2 \leftrightarrow \text{см}^2$).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Чим різняться надлишок реагенту та практичний вихід продукту?
- Чому масу 12%-го розчину HCl не можна підставляти в рівняння замість маси чистої кислоти?
- Яке співвідношення кількостей речовин HCl і NaOH впливає з нейтралізації?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [1, розд. 1, 4; 2, розд. «Стехіометричні закони»; 4]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Розрахунок складу технологічних розчинів і кислотно-основної обробки: розведення, рН та нейтралізація

Тривалість	Зв'язок із курсом	Рівень
90 хвилин	Теми 4–5	Фаховий молодший бакалавр

Мета:

Поєднати розведення концентрованого розчину, перерахунок масової частки в молярність, двоступеневе розведення, обчислення рН і матеріальний баланс нейтралізації.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Готують партію водного розчину HCl із концентрату; густина отриманого розчину задана. Відбирають пробу і розводять її до певного об'єму. Визначають рН розведеної сильної кислоти. Частину цієї проби нейтралізують розчином NaOH з відомими масовою часткою та густиною, а потім розглядають 10%-й надлишок лугу. Розрахунки ідеалізовані, без поправок на активності.

1. Теоретичні відомості

Масова частка показує відношення маси розчиненої речовини до маси всього розчину. Під час розведення чиста маса розчиненої речовини не змінюється: з концентрату її лише переносять у більший об'єм води. Тому спочатку визначають масу чистої HCl у цільовій партії, потім масу концентрату та доданої води.

Густина допомагає перейти від маси розчину до його об'єму. Для обчислення молярної концентрації слід перейти від грамів HCl до молів та поділити на об'єм розчину в літрах. Масову частку у відсотках у формули не підставляють без перетворення.

Після відбирання аліквоти кількість кислоти, що перейшла до мірної колби, залишається тією самою. Під час другого розведення змінюється тільки її концентрація. Цю саму залежність використовують для приготування стандартних розбавлених кислотних розчинів.

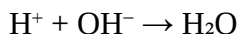
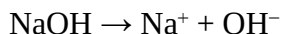
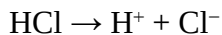
У межах спрощеної навчальної моделі сильна одноосновна кислота HCl дисоціює повністю. Вважають, що молярна концентрація гідроген-іонів дорівнює молярній концентрації розведеної HCl. Звідси $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$. Це наближення не слід без перевірки застосовувати до дуже концентрованих розчинів.

Реакція HCl і NaOH відбувається у молярному співвідношенні 1:1. Стехіометричний об'єм лужного розчину знаходять послідовно через кількість речовини кислоти, масу чистої NaOH, масу розчину й густина. При 10%-му надлишку лугу додають на 10% більше NaOH, ніж потрібно для нейтралізації.

Якщо потрібно оцінити рН після введення надлишкового лугу, знаходять молі зайвих OH^- і ділять на суму об'ємів кислотної проби та доданого лужного розчину. У цій навчальній моделі припускають адитивність об'ємів, температуру 25 °C і $\text{pH} + \text{pOH} = 14$.

Для самоконтролю використовуйте два незалежні баланси: збереження маси HCl під час приготування та розведення, а також рівність кількостей HCl і NaOH у точці еквівалентності.

2. Хімічні рівняння та припущення



Маси — г; об'єми — мл (у концентраційних формулах перетворити в літри); густини — г/мл; С — моль/л; $M(\text{HCl})=36,46$; $M(\text{NaOH})=40,00$ г/моль; для рН у цій задачі $t=25$ °С.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: збережіть масу HCl під час розведення, після цього використайте густину для переходу до об'єму. Молярна концентрація стосується лише об'єму відповідного розчину. Для рН беріть концентрацію після розведення, а для нейтралізації — кількість речовини саме у відібраній пробі.

$$m(\text{HCl}) = m(\text{готового розчину}) \cdot w_{\text{ціль}} \quad (2.1)$$

Пояснення до формули (2.1). Мета — встановити, скільки чистої HCl повинно міститися в готовому робочому розчині. Пам'ятайте: цільова масова частка належить кінцевому розчину, а не вихідному концентрату.

$$m(\text{концентрату}) = m(\text{HCl}) / w_{\text{конц}} \quad (2.2)$$

Пояснення до формули (2.2). У концентраті тільки частка $w_{\text{конц}}$ маси припадає на HCl. Тому для отримання вже знайденої маси чистої кислоти її треба поділити на вміст HCl у концентраті.

$$m(\text{води}) = m(\text{готового розчину}) - m(\text{концентрату}) \quad (2.3)$$

Пояснення до формули (2.3). Під час розведення додають тільки воду, масу HCl вважають незмінною. Маса води — різниця між заданою масою готового розчину та розрахованою масою концентрату.

$$V(\text{готового розчину}) = m(\text{готового розчину}) / \rho \quad (2.4)$$

Пояснення до формули (2.4). Густина ρ пов'язує масу і об'єм. Узгодьте одиниці: за маси в грамах і густини г/мл об'єм одержите в мілілітрах; для молярної концентрації далі потрібні літри.

$$C_0 = (m(\text{HCl})/M(\text{HCl})) / V_{\text{готового(л)}} \quad (2.5)$$

Пояснення до формули (2.5). Молярність — кількість молів HCl у літрі готового розчину. Спочатку переведіть грами HCl у молі, потім поділіть на об'єм саме готового розчину в літрах.

$$C_1 = C_0 \cdot V_{\text{аліквоти}} / V_{\text{колби}} \quad (2.6)$$

Пояснення до формули (2.6). Під час розведення аліквоти молі кислоти зберігаються: $C_0 V_{\text{аліквоти}} = C_1 V_{\text{колби}}$. Обидва об'єми беріть в однакових одиницях; більший кінцевий об'єм означає меншу концентрацію.

$$pH = -\lg C_1 \quad (2.7)$$

Пояснення до формули (2.7). Для сильної одноосновної кислоти HCl в цій навчальній моделі $[H^+] \approx C_1$. Тоді pH є від'ємним десятковим логарифмом числового значення концентрації в моль/л.

$$n(HCl \text{ у пробі}) = C_1 \cdot V_{\text{проби}}(л) \quad (2.8)$$

Пояснення до формули (2.8). Моляри кислоти в окремій пробі дорівнюють концентрації, помноженій на об'єм проби в літрах. Не підставляйте об'єм всієї колби, якщо на нейтралізацію відібрана лише частина.

$$m(NaOH) = n(HCl) \cdot M(NaOH) \quad (2.9)$$

Пояснення до формули (2.9). За рівнянням $HCl + NaOH$ співвідношення молів 1:1: скільки молів HCl у пробі, стільки молів чистої NaOH потрібно. Молярну масу лугу використовуйте після визначення молів.

$$V(NaOH) = m(NaOH) / (w_{NaOH} \cdot \rho_{NaOH}) \quad (2.10)$$

Пояснення до формули (2.10). Густина і масова частка лужного розчину дають масу NaOH в одиниці об'єму. Якщо ρ взято у г/мл, то результат виходить у мл; відстежуйте одиниці при змішуванні.

$$[OH^-]_{\text{надл}} = 0,10 \cdot n(HCl) / (V_{\text{проби}} + 1,10 \cdot V_{NaOH}) \quad (2.11)$$

Пояснення до формули (2.11). Для моделі 10%-го надлишку спочатку знайдіть надлишкові моляри OH^- , а потім поділіть їх на сумарний об'єм проби і доданого розчину. В обох складових знаменника потрібні літри.

$$pH_{\text{надл}} = 14 + \lg[OH^-]_{\text{надл}} \quad (2.12)$$

Пояснення до формули (2.12). За 25 °C у спрощеній моделі $pH + pOH = 14$. Підставляємо знайдену концентрацію надлишкових OH^- ; результат має відповідати лужному середовищу ($pH > 7$).

Позначення часток ρ , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: готовий р-н, $\gamma = 500$; конц. HCl, % = 20; роб. HCl, % = 5; ρ_{HCl} , г/мл = 1,030; аліквота, мл = 10; колба, мл = 250; проба, мл = 60; NaOH, % = 8; ρ_{NaOH} , г/мл = 1,06.

1. $m(HCl) = 500,00 \cdot 0,05 = 25,00$ г
2. $m(\text{концентрату}) = 25,00 / 0,20 = 125,00$ г
3. $V(\text{робочого}) = 500,00 / 1,03 = 485,44$ мл
4. $C_0 = (25,00 / 36,46) / (485,44 / 1000) = 1,413$ моль/л
5. $C_1 = 1,413 \cdot 10 / 250 = 0,0565$ моль/л

$$6. \text{pH} = -\lg(0,0565) = 1,248$$

$$7. V(\text{NaOH}) = 0,1356 / (0,08 \cdot 1,06) = 1,599 \text{ мл}$$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
концентрат HCl, г	125,000	вода для розведення, г	375,000
готовий розчин, мл	485,437	n(HCl) у партії, моль	0,6857
C(HCl) вихідного, моль/л	1,413	C після 2-го розведення, моль/л	0,0565
pH після розведення	1,248	n(HCl) у пробі, моль	0,0034
NaOH чистий, г	0,1356	розчин NaOH, г	1,695
розчин NaOH, мл	1,599	розчин NaOH +10%, мл	1,759
[OH ⁻] після +10%, моль/л	0,0055	pH після +10% NaOH	11,740
NaOH для двох проб, г	0,2712	розчин NaOH для двох проб, мл	3,198

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

- Обчислити масу чистої HCl у заданій партії робочого розчину.
- Визначити масу концентрату та масу доданої води.
- Знайти об'єм готового розчину за його густиною.
- Обчислити молярну концентрацію приготовленої HCl.
- Знайти кількість HCl у відібраній аліквоті.
- Визначити концентрацію після розведення у мірній колбі.
- Обчислити pH нового розведеного розчину.
- Для заданої проби знайти кількість HCl і чисту масу NaOH.
- Перерахувати масу NaOH на масу й об'єм робочого лужного розчину.
- Обчислити об'єм лугу для 10%-го надлишку, концентрацію надлишкового OH⁻ та pH суміші.

Б. Зміна початкової ситуації

- Для другої однакової кислотної проби визначити додаткову потребу в чистій NaOH.
- Розрахувати об'єм розчину NaOH, необхідний для двох проб за стехіометричних умов.
- Скласти короткий баланс: скільки чистої HCl було спочатку та скільки її перейшло у відібрану аліквоту.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити сталість добутку $C \cdot V$ під час другого розведення.
2. Пояснити, чому рН розчину з 10%-м надлишком NaOH не дорівнює 7.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	готовий р-н, г	конц. HCl, %	роб. HCl, %	ρHCl, г/мл	аліквота, мл
1	300	20	3	1,010	5
2	325	25	5	1,018	10
3	350	30	7	1,026	15
4	375	20	4	1,034	20
5	400	25	6	1,042	5
6	425	30	3	1,050	10
7	450	20	5	1,010	15
8	475	25	7	1,018	20
9	500	30	4	1,026	5
10	525	20	6	1,034	10
11	550	25	3	1,042	15
12	575	30	5	1,050	20
13	600	20	7	1,010	5
14	625	25	4	1,018	10
15	650	30	6	1,026	15
16	675	20	3	1,034	20
17	700	25	5	1,042	5
18	725	30	7	1,050	10
19	750	20	4	1,010	15
20	775	25	6	1,018	20
21	800	30	3	1,026	5
22	825	20	5	1,034	10
23	850	25	7	1,042	15
24	875	30	4	1,050	20
25	900	20	6	1,010	5
26	925	25	3	1,018	10
27	950	30	5	1,026	15
28	975	20	7	1,034	20
29	1 000	25	4	1,042	5
30	1 025	30	6	1,050	10

Дані — частина 2 із 2

№	колба, мл	проба, мл	NaOH, %	ρ_{NaOH} , г/мл
1	250	40	5	1,03
2	375	60	6	1,04
3	500	80	7	1,05
4	250	100	8	1,06
5	375	120	9	1,07
6	500	40	5	1,03
7	250	60	6	1,04
8	375	80	7	1,05
9	500	100	8	1,06
10	250	120	9	1,07
11	375	40	5	1,03
12	500	60	6	1,04
13	250	80	7	1,05
14	375	100	8	1,06
15	500	120	9	1,07
16	250	40	5	1,03
17	375	60	6	1,04
18	500	80	7	1,05
19	250	100	8	1,06
20	375	120	9	1,07
21	500	40	5	1,03
22	250	60	6	1,04
23	375	80	7	1,05
24	500	100	8	1,06
25	250	120	9	1,07
26	375	40	5	1,03
27	500	60	6	1,04
28	250	80	7	1,05
29	375	100	8	1,06
30	500	120	9	1,07

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
концентрат HCl, г	_____	_____
вода для розведення, г	_____	_____
C після 2-го розведення, моль/л	_____	_____
pH після розведення	_____	_____
розчин NaOH, мл	_____	_____

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
pH після +10% NaOH	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл ↔ л; г ↔ кг; хв ↔ с; м² ↔ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновки

- Чому при розведенні масова частка зменшується, а маса HCl не змінюється?
- У яких випадках припущення $[H^+] \approx C(HCl)$ є наближенням?
- Що означає точка еквівалентності реакції нейтралізації?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [1, розд. 6; 2, розд. «Розчини»; 3, розд. 8–9]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Кількісний аналіз окисно-відновних перетворень металів та електролітичного осадження покриттів

Мета.:

Навчитися знаходити лімітуючий реагент в ОВР і поєднувати стехіометричний розрахунок з електролітичним осадженням за законом Фарадея.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. У посудині відбувається реакція технічного Zn з водним розчином CuSO_4 . Реагенти можуть бути взяті у нестехіометричному співвідношенні. Після цього окрему сталеву пластину електролітично вкривають міддю з розчину CuSO_4 . Обидва процеси порівнюють за кількістю осадженої міді, але не вважають їх одним технологічним циклом.

1. Теоретичні відомості

Окиснення супроводжується віддаванням електронів, а відновлення — їх прийманням. У реакції Zn з Cu^{2+} цинк виступає відновником, а йони купруму — окисником. Складання електронного балансу дозволяє підтвердити коефіцієнти рівняння.

Для обчислення виходу продукту з двох заданих реагентів необхідно встановити, якого з них замало. Спочатку обчислюють кількість молів чистого Zn та CuSO_4 , а потім порівнюють їх з урахуванням співвідношення 1:1. Менша кількість задає максимально можливий перебіг реакції.

Не можна вважати, що обидва реагенти обов'язково витрачаються повністю. Залишок реагенту знаходять як різницю між початковою кількістю та тією, що вступила в реакцію. Маса осадженої міді та маса ZnSO_4 обчислюються зі спільного кількісного показника перебігу.

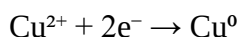
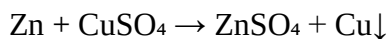
Електролітичне осадження відрізняється від хімічного заміщення тим, що відновлення іонів Cu^{2+} забезпечується електричним струмом. Кількість електрики, яка пройшла через електролізер, дорівнює добутку сили струму на час у секундах.

Закон Фарадея пов'язує заряд із кількістю молів електронів. Для осадження одного моля Cu^{2+} потрібно два молі електронів. Якщо вихід за струмом менший за 100%, на утворення металу припадає лише відповідна частина пропущеного заряду.

За масою осадженої міді, густиною металу і відомою площею можна знайти умовну рівномірну товщину покриття. Це геометрична навчальна модель без врахування крайових ефектів і неоднорідності густини струму. За бажаною товщиною можна провести зворотний розрахунок потрібного часу.

Порівняння двох способів отримання міді в цій роботі слугує перевіркою матеріального та електронного балансів, а не оцінкою переваг конкретних промислових технологій.

2. Хімічні рівняння та припущення



$M(\text{Zn})=65,38$; $M(\text{CuSO}_4)=159,61$; $M(\text{ZnSO}_4)=161,45$; $M(\text{Cu})=63,55$ г/моль; $F=96\,485$ Кл/моль; $\rho_{\text{Cu}}=8,96$ г/см³; $1\text{ м}^2=10\,000\text{ см}^2$; t у законі Фарадея — секунди.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: у хімічній реакції спершу встановіть лімітуючий реагент; в електролізі окремо встановіть заряд і вихід за струмом. Осаджена хімічним способом і електролітично мідь належать до різних етапів. Для товщини шару обов'язково зведіть масу, густину і площу до сумісних одиниць.

$$n(\text{Zn}) = m(\text{Zn техн.}) \cdot p / M(\text{Zn}) \quad (3.1)$$

Пояснення до формули (3.1). Оскільки технічний цинк містить домішки, на реакцію може піти тільки його чиста частина. Масу чистого Zn ділимо на молярну масу: це перший із двох запасів реагентів, які треба порівняти.

$$n(\text{CuSO}_4) = m(\text{розчину}) \cdot w / M(\text{CuSO}_4) \quad (3.2)$$

Пояснення до формули (3.2). Маса розчину CuSO_4 — не маса чистої солі. Помножте на її масову частку, після чого знайдіть молі CuSO_4 ; використовуйте саме задану форму солі в умові.

$$n(\text{реакції}) = \min[n(\text{Zn}); n(\text{CuSO}_4)] \quad (3.3)$$

Пояснення до формули (3.3). За реакцією $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$ реагенти взаємодіють у співвідношенні 1:1. Менша з двох наявних кількостей задає масштаб реакції — це лімітуючий реагент.

$$m(\text{Cu})_{\text{хім}} = n(\text{реакції}) \cdot M(\text{Cu}) \quad (3.4)$$

Пояснення до формули (3.4). Один моль реагенту в масштабі реакції утворює один моль Cu. Помноживши молі реакції на молярну масу міді, одержимо теоретичну масу хімічно виділеної міді.

$$m(\text{залишок}) = [n(\text{початкова}) - n(\text{реакції})] \cdot M \quad (3.5)$$

Пояснення до формули (3.5). Залишок обчислюємо тільки для реагенту, який був у надлишку: від початкової кількості віднімаємо витрачену. Не допускайте від'ємної кількості; для лімітуючого реагенту залишок дорівнює нулю.

$$Q = I \cdot t \cdot 60 \quad (3.6)$$

Пояснення до формули (3.6). Електричний заряд Q визначається як сила струму, помножена на час у секундах. Якщо тривалість задана в хвилинах, множник 60 обов'язковий; кулон = ампер·секунда.

$$m(\text{Cu})_{\text{ел}} = Q \cdot \eta \cdot M(\text{Cu}) / (2F) \quad (3.7)$$

Пояснення до формули (3.7). Для осадження Cu^{2+} потрібні два електрони на атом Cu; тому у законі Фарадея в знаменнику $2F$. η ураховує вихід за струмом: не весь заряд обов'язково витрачається на виділення металу.

$$\delta(\text{мм}) = 10m(\text{Cu})/(\rho_{\text{Cu}} \cdot S \text{см}^2) \quad (3.8)$$

Пояснення до формули (3.8). Об'єм мідного шару — це його маса, поділена на густину. Далі об'єм поділіть на площу S у см^2 , а сантиметри переведіть у міліметри множителем 10.

$$m(\text{Cu})_{\text{ціль}} = \rho_{\text{Cu}} \cdot S \text{см}^2 \cdot \delta_{\text{ціль}}(\text{см}) \quad (3.9)$$

Пояснення до формули (3.9). Щоб наперед задати товщину шару, спочатку знайдіть потрібний об'єм $S \cdot \delta$ (δ виразіть у сантиметрах), а через густину — потрібну масу міді. Не змішуйте мм та см.

$$t_{\text{ціль}} = 2F \cdot m(\text{Cu})_{\text{ціль}}/[I \cdot \eta \cdot M(\text{Cu}) \cdot 60] \quad (3.10)$$

Пояснення до формули (3.10). Обертайте закон Фарадея у зворотний бік: за цільовою масою Cu знайдіть час, необхідний за заданих сили струму і виходу за струмом. Множник 60 переводить секунди у хвилини.

Позначення часток ρ , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: Zn техн., $\gamma = 70$; чистота, $\% = 95$; розчин CuSO_4 , $\gamma = 800$; CuSO_4 , $\% = 10$; струм, $A = 5$; час, $\text{хв} = 40$; η струму, $\% = 90$; площа, $\text{м}^2 = 0,020$; $\delta_{\text{ціль}}$, $\text{мкм} = 25$; η_2 , $\% = 95$.

- $m(\text{Zn чист.}) = 70,0 \cdot 0,95 = 66,50 \text{ г}$
- $n(\text{Zn}) = 66,50/65,38 = 1,0171 \text{ моль}$
- $n(\text{CuSO}_4) = 80,00/159,61 = 0,5012 \text{ моль}$
- $n(\text{реакції}) = \min(1,0171; 0,5012) = 0,5012 \text{ моль}$
- $m(\text{Cu}) = 0,5012 \cdot 63,55 = 31,85 \text{ г}$
- $Q = 5 \cdot 40 \cdot 60 = 12\,000 \text{ Кл}$
- $m(\text{Cu})_{\text{ел}} = Q \cdot 0,90 \cdot 63,55 / (2 \cdot 96485) = 3,557 \text{ г}$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
Zn чистий, г	66,500	$n(\text{Zn})$, моль	1,017
CuSO_4 чистий, г	80,000	$n(\text{CuSO}_4)$, моль	0,5012
n реакції, моль	0,5012	Cu виділиться (теор.), г	31,853
ZnSO_4 утвориться, г	80,922	залишок Zn , г	33,730
залишок CuSO_4 , г	0,0000	заряд Q , Кл	12 000,000
Cu електроліз, г	3,557	витрачено CuSO_4 , г	8,933
товщина осаду, мкм	19,848	маса Cu заданої товщини, г	4,480

Величина	Значення	Величина	Значення
час для заданої товщини, хв	50,384	сумарно Cu (2 процеси), г	35,409
Cu за альтернативного виходу η_2 , г	3,754		

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Скласти електронний баланс і визначити окисник та відновник.
2. Визначити масу чистого Zn і кількість речовини Zn.
3. Знайти масу та кількість речовини CuSO_4 у розчині.
4. Установити лімітуючий реагент і кількість перебігу реакції.
5. Обчислити теоретичну масу хімічно отриманої міді та масу ZnSO_4 .
6. Розрахувати масові залишки обох вихідних реагентів.
7. Для електролізу знайти пропущений електричний заряд.
8. Обчислити масу Cu, осаджену з урахуванням виходу за струмом.
9. Знайти масу CuSO_4 , витраченого на електроліз, і рівномірну товщину мідного шару.
10. Порівняти масу міді, отриманої хімічною реакцією та електролізом.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Для заданої цільової товщини покриття знайти потрібну масу Cu.
2. Визначити тривалість електролізу за незмінних I та η .
3. Припустити інший вихід за струмом η_2 за незмінного заряду Q і обчислити альтернативну масу осадженої Cu.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити, що не може залишитися негативна маса реагенту.
2. Перевірити одиниці Фарадеевого розрахунку й переведення $\text{м}^2 \rightarrow \text{см}^2$.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	Zn техн., г	чистота, %	розчин CuSO ₄ , г	CuSO ₄ , %	струм, А
1	45	85	650	6	3
2	48	90	685	9	4
3	51	95	720	12	5
4	54	86	755	15	6
5	57	91	790	8	7
6	60	96	825	11	8
7	63	87	860	14	3
8	66	92	895	7	4
9	69	97	930	10	5
10	72	88	965	13	6
11	75	93	1 000	6	7
12	78	98	1 035	9	8
13	81	89	1 070	12	3
14	84	94	1 105	15	4
15	87	85	1 140	8	5
16	90	90	1 175	11	6
17	93	95	1 210	14	7
18	96	86	1 245	7	8
19	99	91	1 280	10	3
20	102	96	1 315	13	4
21	105	87	1 350	6	5
22	108	92	1 385	9	6
23	111	97	1 420	12	7
24	114	88	1 455	15	8
25	117	93	1 490	8	3
26	120	98	1 525	11	4
27	123	89	1 560	14	5
28	126	94	1 595	7	6
29	129	85	1 630	10	7
30	132	90	1 665	13	8

Дані — частина 2 із 2

№	час, хв	ηструму, %	площа, м²	δціль, мкм	η ₂ , %
1	25	80	0,015	12	91
2	30	87	0,018	15	92
3	35	94	0,021	18	93
4	40	86	0,024	21	94
5	45	93	0,027	24	95
6	50	85	0,030	27	96

№	час, хв	η струму, %	площа, м ²	δ ціль, мкм	η_2 , %
7	55	92	0,015	30	97
8	25	84	0,018	12	91
9	30	91	0,021	15	92
10	35	83	0,024	18	93
11	40	90	0,027	21	94
12	45	82	0,030	24	95
13	50	89	0,015	27	96
14	55	81	0,018	30	97
15	25	88	0,021	12	91
16	30	80	0,024	15	92
17	35	87	0,027	18	93
18	40	94	0,030	21	94
19	45	86	0,015	24	95
20	50	93	0,018	27	96
21	55	85	0,021	30	97
22	25	92	0,024	12	91
23	30	84	0,027	15	92
24	35	91	0,030	18	93
25	40	83	0,015	21	94
26	45	90	0,018	24	95
27	50	82	0,021	27	96
28	55	89	0,024	30	97
29	25	81	0,027	12	91
30	30	88	0,030	15	92

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
Сu виділиться (теор.), г	_____	_____
залишок Zn, г	_____	_____
залишок CuSO ₄ , г	_____	_____
Сu електроліз, г	_____	_____
товщина осаду, мкм	_____	_____
час для заданої товщини, хв	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.

- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл ↔ л; г ↔ кг; хв ↔ с; м² ↔ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновки

- Чому лімітуючий реагент визначають за кількостями речовин, а не за масами?
- Скільки молів електронів потрібно для осадження одного моля Cu?
- Яке припущення дозволяє обчислювати товщину покриття як однакову по всій поверхні?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [1, розд. 7; 2, розд. «Електрохімія»; 4]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Матеріальний баланс формування металу зварного шва: склад основного і присадного металів, втрати та легування

Мета:

Скласти матеріальний баланс хімічних елементів у металі шва й визначити потрібну кількість феросплаву для досягнення заданої масової частки марганцю.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Метал шва утворюється змішуванням заданих мас основного металу та присадки. До моделі включено три елементи: С, Мп, Si. Утримання Мп і Si після зварювання задані коефіцієнтами; С не втрачається. Для коригування Мп вводять FeMn. Повна маса добавки залишається в шві, але тільки задана частка Мп з неї засвоюється металом. Ці коефіцієнти суто навчальні й не є прогнозом для конкретного електрода.

1. Теоретичні відомості

У ході зварювання метал шва може включати основний метал, електродний дріт та металеві добавки з покриття або флюсу. Частка кожного джерела визначає початковий склад розплаву. У навчальній моделі достатньо двох джерел: основного та присадного металів.

Масова частка елемента є відношенням маси цього елемента до загальної маси відповідного металу. Для суміші потрібно спочатку обчислити абсолютні маси елементів у кожному компоненті, а потім скласти їх. Безпосереднє середнє двох відсотків помилкове, якщо маси компонентів різні.

Під час перебігу реакцій у зварювальній ванні частина елементів може окиснюватися та переходити у шлакову фазу. Для спрощеного задачного балансу ми задаємо коефіцієнти утримання Мп і Si. Розрахункова маса цих елементів після втрат дорівнює початковій масі, помноженій на коефіцієнт.

Легування феросплавом відрізняється від простого додавання чистого металу. Феромарганець містить Мп і Fe. В умові задають масову частку Мп у феросплаві та частку його засвоєння. Коли феросплав додають до ванни, змінюються і абсолютна маса Мп, і загальна маса шва, тому розрахунок виконують через рівняння матеріального балансу.

Потрібну масу добавки визначають із рівності: масова частка Мп після введення добавки повинна дорівнювати заданій цільовій частці. При розв'язуванні важливо, щоб частка Мп у засвоєній частині феросплаву була більшою за цільову; інакше поставлену мету лише цією добавкою досягти неможливо.

Додавання феромарганцю одночасно розбавляє масові частки С та Si у збільшеній масі металу. Цей ефект перевіряємо окремо. Контрольним прикладом служить зміна співвідношення основного й присадного металів: за іншої частки присадки склад змінюється навіть без нових хімічних реакцій.

Розрахунок не визначає реального кінцевого складу промислового шва: для цього потрібні дані про кисень, шлак, перенос металу, випаровування та інші взаємодії. Він навчає читати хімічний склад і складати прозорий масовий баланс.

2. Хімічні рівняння та припущення

$m(\text{металу шва до добавки}) = m(\text{основного}) + m(\text{присадки})$

$$m(\text{Mn після втрат}) = [m_o \cdot w_o(\text{Mn}) + m_p \cdot w_p(\text{Mn})] \cdot \eta_{\text{Mn}}$$

Маси — кг, частки елементів і коефіцієнти — частки одиниці, у висновку склад наводять у %. Частка Mn у феромарганці, утримання Mn/Si та його засвоєння задаються індивідуальним варіантом.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: концентрацію кожного елемента спершу переведіть у його масу в кожній складовій шва. Після цього врахуйте задане вигорання, а тоді введіть феросплав як додаткову масу. У кінцевому розрахунку знаменник уже інший: маса шва після введення добавки.

$$m_o = m_{\text{основн}} + m_{\text{присадки}} \quad (4.1)$$

Пояснення до формули (4.1). Спочатку встановлюємо базову масу зварного шва як суму двох металевих складових. У цій моделі втрати маси основного і присадного металів не враховують до введення добавки.

$$m(\text{C}) = m_o \cdot w_o(\text{C}) + m_p \cdot w_p(\text{C}) \quad (4.2)$$

Пояснення до формули (4.2). Масу вуглецю в кожній складовій знаходимо як маса·частка C. Додаємо ці маси, бо саме маса елемента, а не арифметичне середнє відсотків, зберігається під час змішування.

$$m(\text{Mn})_{\text{вхід}} = m_o \cdot w_o(\text{Mn}) + m_p \cdot w_p(\text{Mn}) \quad (4.3)$$

Пояснення до формули (4.3). Аналогічно обчислюємо масу Mn, яка надійшла від основного й присадного металів. Це початкова кількість марганцю ДО його можливого вигорання.

$$m(\text{Mn})_{\text{залиш}} = m(\text{Mn})_{\text{вхід}} \cdot \eta_{\text{Mn}} \quad (4.4)$$

Пояснення до формули (4.4). Коефіцієнт η_{Mn} у цій моделі — частка початкового марганцю, що залишається в металі шва. Якщо $\eta = 0,90$, то 10 % початкової маси елемента втрачено.

$$m(\text{Si})_{\text{залиш}} = [m_o \cdot w_o(\text{Si}) + m_p \cdot w_p(\text{Si})] \cdot \eta_{\text{Si}} \quad (4.5)$$

Пояснення до формули (4.5). Кремній надходить з обох металів, але залишається тільки частка η_{Si} його початкової маси. Ніколи не застосовуйте η_{Mn} замість η_{Si} : у моделі кожен елемент має свою частку збереження.

$$w(\text{X})_{\text{до}} = m(\text{X})_{\text{залиш}} / m_o \quad (4.6)$$

Пояснення до формули (4.6). Масова частка елемента — відношення маси цього елемента, що залишився, до початкової базової маси шва. Для подання у відсотках помножте результат на 100.

$$x(\text{FeMn}) = [w_{\text{Mn, ціль}} \cdot m_o - m(\text{Mn})_{\text{залиш}}] / [w_{\text{Mn, FeMn}} \cdot \eta_{\text{засвоєння}} - w_{\text{Mn, ціль}}] \quad (4.7)$$

Пояснення до формули (4.7). Це рівняння матеріального балансу для визначення невідомої добавки x феросплаву. В чисельнику — дефіцит Mn до цільового вмісту, а у знаменнику враховано внесення Mn і одночасне збільшення загальної маси шва.

$$m_{\text{шва,після}} = m_0 + x \quad (4.8)$$

Пояснення до формули (4.8). Після введення добавки загальна маса металу шва збільшується на її масу x за прийнятою моделлю. Використайте саме нову масу для кінцевих концентрацій.

$$w_{Mn, \text{після}} = [m(Mn)_{\text{залиш}} + x \cdot w_{Mn, FeMn} \cdot \eta_{\text{засвоєння}}] / (m_0 + x) \quad (4.9)$$

Пояснення до формули (4.9). У чисельнику — Mn , що залишився після вигорання, плюс реально засвоєний Mn із феросплаву. Поділіть на нову масу шва й перевірте, чи отримано задану цільову концентрацію.

$$w_{C, \text{після}} = m(C) / (m_0 + x) \quad (4.10)$$

Пояснення до формули (4.10). У навчальній моделі маса вуглецю від феросплаву не додається. Оскільки загальна маса зросла, масова частка C дещо зменшиться: це ефект розбавлення.

$$w_{Si, \text{після}} = m(Si)_{\text{залиш}} / (m_0 + x) \quad (4.11)$$

Пояснення до формули (4.11). Так само частка Si після введення добавки зменшується через більшу загальну масу, якщо феросплав у моделі не приносить додаткового кремнію.

Позначення часток r , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: осн. метал, кг = 3,20; присадка, кг = 1,90; $C_{\text{осн.}}$, % = 0,200; $S_{\text{прис.}}$, % = 0,100; $Mn_{\text{осн.}}$, % = 0,750; $Mn_{\text{прис.}}$, % = 1,000; $Si_{\text{осн.}}$, % = 0,270; $Si_{\text{прис.}}$, % = 0,440; η_{Mn} , % = 81; η_{Si} , % = 73; Mn у $FeMn$, % = 78; засв. Mn , % = 77; Mn ціль, % = 0,983.

1. $m_0 = 3,20 + 1,90 = 5,100$ кг
2. $m(C) = 3,20 \cdot 0,0020 + 1,90 \cdot 0,0010 = 0,00830$ кг
3. $m(Mn)_{\text{вхід}} = 0,04300$ кг
4. $m(Mn)_{\text{залиш}} = 0,04300 \cdot 0,81 = 0,03483$ кг
5. $w(Mn)_{\text{до}} = 100 \cdot 0,03483 / 5,10 = 0,6829\%$
6. $x(FeMn) = [w_{\text{ціль}} \cdot m_0 - m_{Mn}] / [w_{FeMn} \cdot \eta - w_{\text{ціль}}] = 0,02590$ кг
7. $w(Mn)_{\text{після}} = 0,9830\%$ (порівняти з 0,9830%)

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
змішаний метал, кг	5,100	частка основного металу, %	62,745
вуглець до легування, кг	0,0083	С без добавки, %	0,1627
Mn на вході, кг	0,0430	Mn після втрат, кг	0,0348
Mn до легування, %	0,6829	Si на вході, кг	0,0170
Si після втрат, кг	0,0124	Si до легування, %	0,2433
втрата Mn, кг	0,0082	втрата Si, кг	0,0046
феромарганець додати, кг	0,0259	Mn із феросплаву перейде, кг	0,0156
підсумкова маса шва, кг	5,126	Mn після додавання, %	0,9830
С після додавання, %	0,1619	Si після додавання, %	0,2421
Mn при +20% присадки (без FeMn), %	0,6918		

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Визначити масу металу шва до легування та частку участі основного металу.
2. Обчислити початкові маси С, Mn та Si у кожному джерелі й сумарно.
3. Застосувати задані коефіцієнти утримання Mn і Si.
4. Розрахувати масові частки С, Mn, Si до введення добавки.
5. Визначити фактичні абсолютні втрати Mn та Si.
6. Установити, на скільки відсоткових пунктів треба підвищити Mn.
7. За точним балансом визначити масу FeMn, потрібну для заданої цілі.
8. Знайти масу Mn, яка перейде в метал із феросплаву, та нову загальну масу шва.
9. Обчислити масові частки Mn, С та Si після додавання FeMn.
10. Перевірити підстановкою, чи дорівнює кінцевий Mn цільовій частці.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Збільшити масу присадного металу на 20%, основний метал залишити без змін.
2. Без феросплаву розрахувати нову масову частку Mn за попереднім коефіцієнтом утримання.

3. Порівняти нову частку Мп з початковою та пояснити вплив зміни частки присадного металу.
4. Пояснити, що станеться з відсотками С і Si після збільшення загальної маси за рахунок FeMn.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити, що сумарна маса введеного Мп дорівнює залишковому Мп плюс втрати.
2. Пояснити, чому не можна додати до середньої масової частки Мп відсоток Мп у феросплаві.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 3

№	осн. метал, кг	присадка, кг	Сосн., %	Сприс., %	Мпосн., %
1	2,00	1,00	0,150	0,060	0,650
2	2,20	1,15	0,175	0,080	0,750
3	2,40	1,30	0,200	0,100	0,850
4	2,60	1,45	0,225	0,120	0,950
5	2,80	1,60	0,150	0,060	1,050
6	3,00	1,75	0,175	0,080	0,650
7	3,20	1,90	0,200	0,100	0,750
8	3,40	1,00	0,225	0,120	0,850
9	3,60	1,15	0,150	0,060	0,950
10	2,00	1,30	0,175	0,080	1,050
11	2,20	1,45	0,200	0,100	0,650
12	2,40	1,60	0,225	0,120	0,750
13	2,60	1,75	0,150	0,060	0,850
14	2,80	1,90	0,175	0,080	0,950
15	3,00	1,00	0,200	0,100	1,050
16	3,20	1,15	0,225	0,120	0,650
17	3,40	1,30	0,150	0,060	0,750
18	3,60	1,45	0,175	0,080	0,850
19	2,00	1,60	0,200	0,100	0,950
20	2,20	1,75	0,225	0,120	1,050
21	2,40	1,90	0,150	0,060	0,650
22	2,60	1,00	0,175	0,080	0,750
23	2,80	1,15	0,200	0,100	0,850
24	3,00	1,30	0,225	0,120	0,950
25	3,20	1,45	0,150	0,060	1,050
26	3,40	1,60	0,175	0,080	0,650
27	3,60	1,75	0,200	0,100	0,750

№	осн. метал, кг	присадка, кг	Сосн., %	Сприс., %	Мпосн., %
28	2,00	1,90	0,225	0,120	0,850
29	2,20	1,00	0,150	0,060	0,950
30	2,40	1,15	0,175	0,080	1,050

Дані — частина 2 із 3

№	Мпприс., %	Siосн., %	Siприс., %	ηMn, %	ηSi, %
1	1,000	0,150	0,350	78	70
2	1,110	0,210	0,440	81	73
3	1,220	0,270	0,530	84	76
4	1,330	0,330	0,620	87	79
5	1,440	0,150	0,710	90	82
6	1,550	0,210	0,350	78	70
7	1,000	0,270	0,440	81	73
8	1,110	0,330	0,530	84	76
9	1,220	0,150	0,620	87	79
10	1,330	0,210	0,710	90	82
11	1,440	0,270	0,350	78	70
12	1,550	0,330	0,440	81	73
13	1,000	0,150	0,530	84	76
14	1,110	0,210	0,620	87	79
15	1,220	0,270	0,710	90	82
16	1,330	0,330	0,350	78	70
17	1,440	0,150	0,440	81	73
18	1,550	0,210	0,530	84	76
19	1,000	0,270	0,620	87	79
20	1,110	0,330	0,710	90	82
21	1,220	0,150	0,350	78	70
22	1,330	0,210	0,440	81	73
23	1,440	0,270	0,530	84	76
24	1,550	0,330	0,620	87	79
25	1,000	0,150	0,710	90	82
26	1,110	0,210	0,350	78	70
27	1,220	0,270	0,440	81	73
28	1,330	0,330	0,530	84	76
29	1,440	0,150	0,620	87	79
30	1,550	0,210	0,710	90	82

Дані — частина 3 із 3

№	Mn у FeMn, %	засв. Mn, %	Mn ціль, %
1	72	65	0,798
2	75	67	0,958

№	Mn у FeMn, %	засв. Mn, %	Mn ціль, %
3	78	69	1,123
4	81	71	1,295
5	72	73	1,273
6	75	75	1,016
7	78	77	0,983
8	81	66	1,114
9	72	68	1,083
10	75	70	1,294
11	78	72	1,052
12	81	74	1,217
13	72	76	0,965
14	75	65	1,133
15	78	67	1,283
16	81	69	0,997
17	72	71	0,962
18	75	73	1,133
19	78	75	1,146
20	81	77	1,319
21	72	66	0,903
22	75	68	0,988
23	78	70	1,158
24	81	72	1,334
25	72	74	1,131
26	75	76	0,872
27	78	65	1,032
28	81	67	1,260
29	72	69	1,160
30	75	71	1,341

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
Mn до легування, %	_____	_____
Si до легування, %	_____	_____
феромарганець додати, кг	_____	_____
Mn після додавання, %	_____	_____
C після додавання, %	_____	_____
Mn при +20% присадки (без FeMn), %	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл $\leftrightarrow$ л; г $\leftrightarrow$ кг; хв $\leftrightarrow$ с; м² $\leftrightarrow$ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Чому просте середнє арифметичне відсотків Мп основного й присадного металів зазвичай помилкове?
- Як додавання феросплаву змінює знаменник формули масової частки?
- Чим навчальний коефіцієнт утримання відрізняється від реального прогнозу складу шва?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [3, розд. про склад сплавів; 5, розд. 8, с. 404–414]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Енергетичний баланс дугового зварювання: нагрівання й плавлення сталі, термічний розклад компонентів покриття

Мета:

Зв'язати електричну енергію з корисною теплотою, нагріванням і плавленням металу та ендотермічним розкладом карбонатного компонента у спрощеному балансі.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Задані напруга, струм, тривалість та корисний тепловий ККД дуги. Частина корисної енергії витрачається на нагрівання і плавлення сталі, а частина — на умовний повний розклад CaCO_3 , введеного в зону нагрівання разом із матеріалом покриття/флюсу. Не моделюються геометрія ванни, випромінювання, частковий розклад і перенос тепла; наведені коефіцієнти використовують тільки для навчання.

1. Теоретичні відомості

Електрична дуга перетворює електричну енергію на теплоту. Якщо струм і напруга прийняті сталими, енергію за відомий час знаходять добутком U , I і t . Для переведення джоулів у кілоджоулі потрібно поділити результат на 1000.

Не вся електрична енергія нагріває метал і речовини поблизу ванни. У навчальній моделі корисну частку задаємо коефіцієнтом η . Решта енергії становить об'єднану статтю втрат, без розкладання на окремі механізми теплопередачі.

Для нагрівання одного кілограма сталі потрібна теплота, пропорційна її питомій теплоємності та зміні температури. Додаткова теплота плавлення враховує фазовий перехід. Сума цих двох складових є заданою мінімальною питомою енергією за спрощеними умовами.

Ендотермічний розклад карбонату кальцію потребує підведення тепла. Для стехіометричного розрахунку використовують молярну масу CaCO_3 та заданий молярний тепловий ефект розкладу. Одночасно утворюється еквімольна кількість CO_2 , кількість і об'єм якого можна визначити.

Тепловий баланс у цій задачі складається з корисної теплоти дуги, теплоти розкладу CaCO_3 та теплоти, що залишається для нагрівання й плавлення металу. Із залишку визначають найбільшу теоретичну масу металу за обраних ідеалізованих припущень.

Порівняння корисної енергії з потребою заданої маси металу дозволяє виявити розрахунковий дефіцит. Якщо корисної енергії замало, можна обчислити лише теоретичну добавку часу за незмінних U , I і η ; це не рекомендація змінювати реальний режим зварювання.

Такий підхід формує зв'язок між хімічним рівнянням і тепловим балансом, не вимагаючи від студента диференціальних рівнянь теплопровідності чи детального термодинамічного моделювання.

2. Хімічні рівняння та припущення

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$; $\Delta H = +178$ кДж/моль (задано для вправи)

U — В, I — А, t — хв, E й Q — кДж; c — кДж/(кг·К); ΔT — К; λ — кДж/кг; m — кг;
 $M(\text{CaCO}_3) = 100,09$ г/моль; $V_m(\text{CO}_2) = 22,4$ л/моль за н. у.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: розділіть підведену електроенергію, корисне тепло, втрати та окремі теплові потреби. Перевіряйте одиниці: $В \cdot А \cdot с = \text{Дж}$, тоді як теплоємність і теплота плавлення можуть бути задані в кДж. Це модель сумарного балансу, а не розподілу температур усередині виробу.

$$E_{\text{дуги}} = U \cdot I \cdot t \cdot 60 / 1000 \quad (5.1)$$

Пояснення до формули (5.1). Добуток напруги і сили струму дає електричну потужність у ватах. Множник 60 переводить хвилини в секунди, а поділ на 1000 — джоулі в кілоджоулі.

$$Q_{\text{кор}} = E_{\text{дуги}} \cdot \eta \quad (5.2)$$

Пояснення до формули (5.2). Не вся електроенергія дуги переходить у метал. Коефіцієнт η — задана частка корисного тепла в цій навчальній моделі; його потрібно брати як десятковий дріб.

$$Q_{\text{втрат}} = E_{\text{дуги}} - Q_{\text{кор}} \quad (5.3)$$

Пояснення до формули (5.3). Втрати — різниця між підведеною енергією та корисним теплом. Перевірка: $Q_{\text{кор}} + Q_{\text{втрат}} = E_{\text{дуги}}$.

$$q_{\text{нагр}} = c \cdot \Delta T \quad (5.4)$$

Пояснення до формули (5.4). $c \cdot \Delta T$ — питома теплота нагрівання одного кілограма сталі на задану різницю температур. Використовуйте узгоджені одиниці c і ΔT ; без переходу до плавлення.

$$q_{\text{нагр+плавл}} = c \cdot \Delta T + \lambda \quad (5.5)$$

Пояснення до формули (5.5). До теплоти нагрівання додаємо питому теплоту плавлення λ . Отримуємо теплоту, потрібну для нагрівання й повного плавлення одиниці маси за спрощеної моделі.

$$Q_{\text{металу}} = m \cdot (c \cdot \Delta T + \lambda) \quad (5.6)$$

Пояснення до формули (5.6). Коли відома маса металу m , множимо питому потребу на цю масу. Цей результат слід порівняти з наявною корисною енергією, а не з усією електроенергією дуги.

$$n(\text{CaCO}_3) = 1000 \cdot m(\text{CaCO}_3, \text{кг}) / M(\text{CaCO}_3) \quad (5.7)$$

Пояснення до формули (5.7). Під час розкладання CaCO_3 потрібна кількість речовини в молях. Множник 1000 переводить кілограми у грами, щоб поділити їх на M у г/моль.

$$Q_{\text{розкл}} = 178 \cdot n(\text{CaCO}_3) \quad (5.8)$$

Пояснення до формули (5.8). Число 178 кДж/моль — навчальне значення ентальпії розкладання, задане в умові. Помноживши його на молі, знаходимо енергію, витрачену на окремий ендотермічний процес.

$$V(\text{CO}_2) = 22,4 \cdot n(\text{CaCO}_3) \quad (5.9)$$

Пояснення до формули (5.9). Один моль CaCO_3 дає один моль CO_2 . Теоретичний об'єм газу визначаємо лише за нормальних умов, використовуючи 22,4 л/моль.

$$Q_{\text{зал}} = Q_{\text{кор}} - Q_{\text{розкл}} \quad (5.10)$$

Пояснення до формули (5.10). Енергія, доступна для металу, зменшується на теплоту розкладання. Якщо різниця від'ємна, заданої корисної енергії не вистачає навіть без урахування потреби металу.

$$m_{\text{тах}} = Q_{\text{зал}} / (c \cdot \Delta T + \lambda) \quad (5.11)$$

Пояснення до формули (5.11). Максимальна маса плавлення — енергія, що залишилася, поділена на питому потребу. Це верхня межа спрощеної моделі, а не прогноз фактичної продуктивності зварювальної установки.

$$\Delta Q = Q_{\text{зал}} - Q_{\text{металу}} \quad (5.12)$$

Пояснення до формули (5.12). Баланс ΔQ показує резерв або дефіцит енергії після заданого плавлення. Додатне значення означає резерв; від'ємне — нестачу.

$$t_{\text{дод}} = \max(0; -\Delta Q) \cdot 1000 / (60 \cdot U \cdot I \cdot \eta) \quad (5.13)$$

Пояснення до формули (5.13). Додатковий час потрібен тільки за нестачі тепла; тому використовується $\max(0; -\Delta Q)$. Після переведення кДж у джоулі ділимо на корисну потужність дуги й переводимо секунди в хвилини.

Позначення часток p , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: $U, B = 26$; $I, A = 210$; $t, \text{хв} = 8$; $\eta_{\text{тепл.}}, \% = 78$; сталь, $\text{кг} = 0,95$; $c, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) = 0,520$; $\Delta T, \text{К} = 1\,480$; $\lambda, \text{кДж}/\text{кг} = 270$; $\text{CaCO}_3, \text{кг} = 0,100$.

- $E = 26 \cdot 210 \cdot 8 \cdot 60 / 1000 = 2\,620,80 \text{ кДж}$
- $Q_{\text{кор}} = 2\,620,80 \cdot 0,78 = 2\,044,22 \text{ кДж}$
- $q_{\text{металу}} = 0,520 \cdot 1\,480 + 270 = 1\,039,60 \text{ кДж}/\text{кг}$
- $n(\text{CaCO}_3) = 100,0 / 100,09 = 0,999 \text{ моль}$
- $Q_{\text{розкл}} = 0,999 \cdot 178 = 177,84 \text{ кДж}$
- $Q_{\text{зал}} = 2\,044,22 - 177,84 = 1\,866,38 \text{ кДж}$
- $m_{\text{тах}} = 1\,866,38 / 1\,039,60 = 1,795 \text{ кг}$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
енергія дуги, кДж	2 620,800	корисна енергія, кДж	2 044,224
втрати тепла, кДж	576,576	нагрівання 1 кг, кДж	769,600

Величина	Значення	Величина	Значення
нагрів+плавлення 1 кг, кДж	1 039,600	Q для заданої маси, кДж	987,620
n(CaCO ₃), моль	0,9991	Q розкладу CaCO ₃ , кДж	177,840
CO ₂ при розкладі, г	43,970	CO ₂ за н.у., л	22,380
енергія після розкладу, кДж	1 866,384	енергетичний залишок/дефіцит, кДж	878,764
максимальна теор. маса металу, кг	1,795	енергія процесу хімії, %	8,700
потрібний додатковий час при дефіциті, хв	0,0000		

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Визначити час в секундах і електричну енергію дуги.
2. Розрахувати корисну теплову енергію та сукупні теплові втрати.
3. Знайти питому теплоту нагрівання одного кілограма сталі.
4. Додати питому теплоту плавлення та отримати повну питому потребу.
5. Визначити теплоту нагрівання та плавлення заданої маси сталі.
6. Перевести масу CaCO₃ у кількість речовини.
7. За заданим тепловим ефектом розрахувати теплоту розкладу карбонату.
8. За стехіометрією визначити масу й теоретичний об'єм CO₂.
9. Обчислити теплоту, що залишається після умовного розкладу карбонату.
10. Розрахувати максимальну теоретичну масу сталі, що може нагрітися й розплавитися, та порівняти її з потрібною масою.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Обчислити енергетичний залишок або дефіцит для заданої маси.
2. Визначити відсоток корисної теплоти, що припав на розклад CaCO₃.
3. Якщо виник дефіцит, знайти лише навчальну величину додаткового часу за незмінних умов.
4. Пояснити, чому енергетичний розрахунок не встановлює реальний режим зварювання.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити тотожність $E_{\text{дуги}} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{втрат}}$.

2. Перевірити тотожність $Q_{\text{кор}} = Q_{\text{розкл}} + Q_{\text{зал}}$.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	U, В	I, А	t, хв	$\eta_{\text{тепл.}}$, %	сталь, кг
1	22	160	6	66	0,65
2	23	175	7	69	0,74
3	24	190	8	72	0,83
4	25	205	9	75	0,92
5	26	220	10	78	1,01
6	27	235	11	81	1,10
7	28	250	12	84	1,19
8	29	265	6	68	1,28
9	30	160	7	71	0,65
10	22	175	8	74	0,74
11	23	190	9	77	0,83
12	24	205	10	80	0,92
13	25	220	11	83	1,01
14	26	235	12	67	1,10
15	27	250	6	70	1,19
16	28	265	7	73	1,28
17	29	160	8	76	0,65
18	30	175	9	79	0,74
19	22	190	10	82	0,83
20	23	205	11	66	0,92
21	24	220	12	69	1,01
22	25	235	6	72	1,10
23	26	250	7	75	1,19
24	27	265	8	78	1,28
25	28	160	9	81	0,65
26	29	175	10	84	0,74
27	30	190	11	68	0,83
28	22	205	12	71	0,92
29	23	220	6	74	1,01
30	24	235	7	77	1,10

Дані — частина 2 із 2

№	c, кДж/(кг·К)	ΔT , К	λ , кДж/кг	CaCO ₃ , кг
1	0,500	1 470	250	0,070
2	0,525	1 485	260	0,085

№	c, кДж/(кг·К)	ΔT, К	λ, кДж/кг	CaCO ₃ , кг
3	0,550	1 500	270	0,100
4	0,500	1 515	280	0,115
5	0,525	1 530	290	0,130
6	0,550	1 470	250	0,145
7	0,500	1 485	260	0,160
8	0,525	1 500	270	0,175
9	0,550	1 515	280	0,070
10	0,500	1 530	290	0,085
11	0,525	1 470	250	0,100
12	0,550	1 485	260	0,115
13	0,500	1 500	270	0,130
14	0,525	1 515	280	0,145
15	0,550	1 530	290	0,160
16	0,500	1 470	250	0,175
17	0,525	1 485	260	0,070
18	0,550	1 500	270	0,085
19	0,500	1 515	280	0,100
20	0,525	1 530	290	0,115
21	0,550	1 470	250	0,130
22	0,500	1 485	260	0,145
23	0,525	1 500	270	0,160
24	0,550	1 515	280	0,175
25	0,500	1 530	290	0,070
26	0,525	1 470	250	0,085
27	0,550	1 485	260	0,100
28	0,500	1 500	270	0,115
29	0,525	1 515	280	0,130
30	0,550	1 530	290	0,145

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
енергія дуги, кДж	_____	_____
корисна енергія, кДж	_____	_____
Q розкладу CaCO ₃ , кДж	_____	_____
CO ₂ за н.у., л	_____	_____
максимальна теор. маса металу, кг	_____	_____
енергетичний залишок/дефіцит, кДж	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл ↔ л; г ↔ кг; хв ↔ с; м² ↔ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Чим різняться теплота нагрівання і теплота плавлення?
- Який знак теплового ефекту має ендотермічний розклад CaCO₃?
- Чому від'ємний ΔQ не можна автоматично усувати збільшенням реального зварювального струму?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [2, розд. «Термохімія»; 5, розд. 2–3, с. 40–70, 152–159]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Стехіометричний баланс розкиснення зварювальної ванни кремнієм і марганцем та формування оксидів шлаку

Мета:

Скласти розширений стехіометричний баланс розкиснення частини FeO кремнієм і марганцем, обчислити витрати феросплавів та склад умовного шлаку.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. У зварювальній зоні задана маса FeO, із якої потрібно відновити встановлену частку. Частину FeO відновлює кремній, решту — марганець. Втрати/використання розкиснювачів задані коефіцієнтами; FeO, що не підлягає відновленню за умовою, залишається. Утворені SiO₂ і MnO переходять у задану базову масу умовного шлаку.

1. Теоретичні відомості

Розкисненням називають хімічне зв'язування кисню металевих розплавів за участю елементів, що мають відповідну спорідненість до кисню. Під час навчального розрахунку кисень умовно представлений у складі FeO. Насправді кисень у ванні може перебувати в кількох формах, тому проста модель не є точним описом реальної системи.

Реакція кремнію з FeO має співвідношення 2:1 за кількостями FeO і Si; реакція марганцю має співвідношення 1:1. Помилка у коефіцієнтах призводить до суттєвого завищення або заниження необхідного розкиснювача.

Насамперед потрібно відрізнити загальну масу FeO від маси, яку заплановано відновити. Останню розподіляють між двома реакційними гілками. Для кожної гілки окремо переходять від мас FeO до молів, обчислюють стехіометричну масу Si чи Mn і маси продуктів.

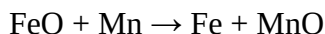
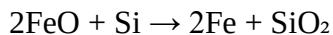
Феросиліцій та феромарганець містять не тільки активний елемент. Тому маса феросплаву більша за теоретичну масу чистого розкиснювача. Додатковий заданий коефіцієнт використання визначає частку елемента, що реально бере участь у записаній реакції. Для потреби у феросплаві теоретичну масу поділяють на добуток вмісту та коефіцієнта використання.

У реакціях утворюються SiO₂ і MnO та відновлюється Fe. За стехіометрією можна розрахувати маси цих речовин, а також перевірити баланс атомів Fe, Si, Mn і O у кожній гілці. Для обчислення умовного шлаку маси утворених оксидів додають до заданої базової маси.

Підвищення заданої частки відновлення FeO без зміни співвідношення гілок призводить до пропорційного збільшення потреби у Si та Mn і мас продуктів. Наприкінці студент перераховує феросплави для збільшення частки видаленого FeO на 10 відсоткових пунктів (але не вище 95%).

Реальна ефективність розкиснення визначається температурою, активністю речовин, обміном між фазами та швидкістю взаємодій. Ці складні чинники у практичній замінені прямими заданими навчальними коефіцієнтами.

2. Хімічні рівняння та припущення



Усі маси FeO, феросплавів і продуктів — г; базова маса шлаку в таблиці задається в кг і має бути перетворена в г. М: FeO 71,845; Fe 55,845; Si 28,085; Mn 54,938; SiO₂ 60,085; MnO 70,937 г/моль.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: спершу встановіть масу FeO для розкиснення, потім розподіліть її між двома реакціями. Коефіцієнти рівнянь визначають потребу в чистих Si і Mn; вміст елемента у феросплаві та його засвоєння враховуються вже після стехіометрії. Оксиди продуктів переходять до спрощеного балансу шлаку.

$$m(\text{FeO})_{\text{відн}} = m(\text{FeO})_{\text{вх}} \cdot \alpha \quad (6.1)$$

Пояснення до формули (6.1). Спочатку відокремлюємо ту частину FeO, яку треба відновити, від усієї маси оксиду, що надійшла у ванну. α — задана цільова частка розкиснення.

$$m(\text{FeO})_{\text{Si}} = m(\text{FeO})_{\text{відн}} \cdot f_{\text{Si}} \quad (6.2)$$

Пояснення до формули (6.2). У моделі розподіляємо масу відновлюваного FeO між реакціями з кремнієм і марганцем. f_{Si} — частка FeO, що припадає на реакцію з Si.

$$m(\text{FeO})_{\text{Mn}} = m(\text{FeO})_{\text{відн}} \cdot (1 - f_{\text{Si}}) \quad (6.3)$$

Пояснення до формули (6.3). Решта відновлюваного FeO припадає на реакцію з Mn. Сума мас двох частин повинна дорівнювати загальній масі FeO, обраній для відновлення.

$$n_{\text{Si}} = n(\text{FeO})_{\text{Si}} / 2 \quad (6.4)$$

Пояснення до формули (6.4). За рівнянням $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$ на два моля FeO припадає один моль Si. Саме тому кількість FeO для кремнієвого каналу ділимо на два.

$$n_{\text{Mn}} = n(\text{FeO})_{\text{Mn}} \quad (6.5)$$

Пояснення до формули (6.5). За рівнянням $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$ молярне співвідношення 1:1. Потрібна кількість Mn дорівнює молям FeO для марганцевого каналу.

$$m(\text{FeSi}) = n_{\text{Si}} \cdot M(\text{Si}) / (w_{\text{Si}} \text{ у FeSi} \cdot \eta_{\text{Si}}) \quad (6.6)$$

Пояснення до формули (6.6). У феросиліції тільки частка w_{Si} припадає на Si, і лише частка η_{Si} цього Si бере участь у реакції. Тому розраховану масу чистого Si ділимо на добуток цих часток.

$$m(\text{FeMn}) = n_{\text{Mn}} \cdot M(\text{Mn}) / (w_{\text{Mn}} \text{ у FeMn} \cdot \eta_{\text{Mn}}) \quad (6.7)$$

Пояснення до формули (6.7). Аналогічно визначаємо потрібну масу феромарганцю. Не плутайте вміст Mn у сплаві з часткою його фактичного використання для розкиснення.

$$m(\text{SiO}_2) = n_{\text{Si}} \cdot M(\text{SiO}_2) \quad (6.8)$$

Пояснення до формули (6.8). Кожен моль Si після реакції дає моль SiO_2 ; маса утвореного оксиду визначається множенням на $M(\text{SiO}_2)$.

$$m(\text{MnO}) = n_{\text{Mn}} \cdot M(\text{MnO}) \quad (6.9)$$

Пояснення до формули (6.9). Кожен моль Mn дає моль MnO ; продукт надходить у шлакову фазу за прийнятою моделлю.

$$m(\text{Fe})_{\text{відновл}} = [n(\text{FeO})_{\text{Si}} + n(\text{FeO})_{\text{Mn}}] \cdot M(\text{Fe}) \quad (6.10)$$

Пояснення до формули (6.10). У двох реакціях кожен моль FeO після відновлення дає один моль Fe. Обидва канали додаємо, а вже тоді множимо на молярну масу заліза.

$$m(\text{шлаку}) = m(\text{база}) + m(\text{SiO}_2) + m(\text{MnO}) \quad (6.11)$$

Пояснення до формули (6.11). До початкової маси шлакоутворювальної основи додаємо оксиди, що виникли внаслідок розкиснення. У реальному процесі склад складніший, але тут застосовуємо лише компоненти з умови.

$$w(\text{SiO}_2)_{\text{у шлаку}} = m(\text{SiO}_2) / m(\text{шлаку}) \quad (6.12)$$

Пояснення до формули (6.12). Масова частка SiO_2 показує, яку частину модельного шлаку він становить. Зверніть увагу: знаменник — повна маса шлаку, а не тільки сумарна маса новоутворених оксидів.

Позначення часток p , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: FeO , г = 180; відновити, % = 75; через Si, % = 60; Si у FeSi , % = 75; Mn у FeMn , % = 80; η_{Si} , % = 80; η_{Mn} , % = 75; шлакова база, кг = 0,50.

1. $m(\text{FeO})_{\text{відн}} = 180 \cdot 0,75 = 135,00$ г
2. $m(\text{FeO})_{\text{Si}} = 135,00 \cdot 0,60 = 81,00$ г
3. $n(\text{FeO})_{\text{Si}} = 81,00 / 71,845 = 1,1274$ моль
4. $m(\text{Si})_{\text{теор}} = 1,1274 \cdot 28,085 = 15,83$ г
5. $m(\text{FeSi}) = 15,83 / (0,75 \cdot 0,80) = 26,39$ г
6. $m(\text{FeMn}) = 41,29 / (0,80 \cdot 0,75) = 68,82$ г
7. $m(\text{шлаку}) = 500 + 33,87 + 53,32 = 587,19$ г

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
FeO видалити, г	135,000	FeO на Si, г	81,000
FeO на Mn, г	54,000	$n(\text{FeO})_{\text{Si}}$ -гілка, моль	1,127

Величина	Значення	Величина	Значення
n(FeO) Мп-гілка, моль	0,7516	Si чистий, г	15,832
Mn чистий, г	41,292	FeSi потрібно, г	26,386
FeMn потрібно, г	68,821	SiO ₂ , г	33,871
MnO, г	53,318	відновлене Fe, г	104,935
залишковий FeO, г	45,000	новий шлак, г	587,188
SiO ₂ в шлаку, %	5,768	MnO в шлаку, %	9,080
FeSi при +10 в.п., г	29,905	FeMn при +10 в.п., г	77,997
зростання потреби FeSi+FeMn, г	12,694		

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

- Обчислити задану масу FeO, яку потрібно відновити, та початковий залишок.
- Розподілити масу FeO між кремнієвою і марганцевою гілками.
- Обчислити кількості FeO у молях для кожної гілки.
- Урівняти обидві реакції та визначити теоретичні кількості Si і Mn.
- Обчислити теоретичні маси чистих розкиснювачів.
- Перерахувати маси на FeSi і FeMn з урахуванням складу та використання.
- Обчислити маси SiO₂ і MnO, що можуть утворитися.
- Визначити масу відновленого заліза за обома реакціями.
- Знайти умовну підсумкову масу шлаку.
- Обчислити масові частки SiO₂ й MnO у шлаку; перевірити, що їхня сума не більша за 100%.

Б. Зміна початкової ситуації

- Підвищити частку відновлення FeO на 10 відсоткових пунктів, але не більш як до 95%.
- За незмінного співвідношення гілок перерахувати потребу у FeSi та FeMn.
- Знайти приріст сумарної маси двох феросплавів.
- Пояснити, як зміняться маси продуктів окиснення у шлаку.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

- Перевірити масовий баланс FeO: початковий = відновлений + залишковий.
- Перевірити молярні коефіцієнти двох реакцій.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	FeO, г	відновити, %	через Si, %	Si у FeSi, %	Mn у FeMn, %
1	100	50	35	65	68
2	105	55	42	68	72
3	110	60	49	71	76
4	115	65	56	74	80
5	120	70	63	77	84
6	125	75	40	80	71
7	130	80	47	67	75
8	135	85	54	70	79
9	140	54	61	73	83
10	145	59	38	76	70
11	150	64	45	79	74
12	155	69	52	66	78
13	160	74	59	69	82
14	165	79	36	72	69
15	170	84	43	75	73
16	175	53	50	78	77
17	180	58	57	65	81
18	185	63	64	68	68
19	190	68	41	71	72
20	195	73	48	74	76
21	200	78	55	77	80
22	205	83	62	80	84
23	210	52	39	67	71
24	215	57	46	70	75
25	220	62	53	73	79
26	225	67	60	76	83
27	230	72	37	79	70
28	235	77	44	66	74
29	240	82	51	69	78
30	245	51	58	72	82

Дані — частина 2 із 2

№	η Si, %	η Mn, %	шлакова база, кг
1	68	65	0,35
2	71	70	0,39
3	74	75	0,43

№	$\eta\text{Si, \%}$	$\eta\text{Mn, \%}$	шлакова база, кг
4	77	80	0,47
5	80	85	0,51
6	83	67	0,55
7	86	72	0,59
8	69	77	0,63
9	72	82	0,67
10	75	87	0,35
11	78	69	0,39
12	81	74	0,43
13	84	79	0,47
14	87	84	0,51
15	70	66	0,55
16	73	71	0,59
17	76	76	0,63
18	79	81	0,67
19	82	86	0,35
20	85	68	0,39
21	68	73	0,43
22	71	78	0,47
23	74	83	0,51
24	77	65	0,55
25	80	70	0,59
26	83	75	0,63
27	86	80	0,67
28	69	85	0,35
29	72	67	0,39
30	75	72	0,43

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
FeO видалити, г	_____	_____
FeSi потрібно, г	_____	_____
FeMn потрібно, г	_____	_____
SiO ₂ , г	_____	_____
MnO, г	_____	_____
SiO ₂ в шлаку, %	_____	_____
зростання потреби FeSi+FeMn, г	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл $\leftrightarrow$ л; г $\leftrightarrow$ кг; хв $\leftrightarrow$ с; м² $\leftrightarrow$ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Чому для розрахунку Si використовують половину кількості FeO в його гілці?
- Як впливає вміст активного елемента у феросплаві на його розрахункову витрату?
- Чому шлаковий баланс у вправі не є прогнозом фактичного складу реального шлаку?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [5, розд. 5 і 7, с. 269–316, 355–399]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Газовий баланс зварювальних процесів: захисні суміші Ar–CO₂ та киснево-ацетиленове горіння

Мета:

Застосувати об'ємні частки і стехіометрію горіння для незалежних розрахунків двох газових операцій: захисної газової суміші та повного згоряння ацетилену.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Для умовної операції дугового зварювання задаються витрата й об'ємний склад суміші Ar/CO₂. Розраховують суміш із додатковим продуванням і резервом постачання. Окремо для газового процесу задано витрату C₂H₂, її час і надлишок O₂ для повного згоряння. Усі об'єми наведені за однакових умов; кількість речовини для перерахунку мас використовує $V_m = 24,5$ л/моль за прийнятої навчальної температури й тиску.

1. Теоретичні відомості

Захисні гази ізолюють зварювальну зону від неконтрольованої взаємодії з атмосферним повітрям. Аргон переважно інертний, тоді як CO₂ в умовах дуги може брати участь у реакціях газової та металевої фаз. У цій практичній вивчають лише кількісний склад і матеріальний баланс заданої суміші.

Об'ємна частка компонента суміші визначає частину загального об'єму, яка припадає на компонент за однакових температури й тиску. Якщо суміш має 82% Ar за об'ємом, решта 18% припадає на CO₂. Для маси кожного газу потрібно перейти від об'єму до молів та помножити на молярну масу.

Найперше враховують час фактичної газоподачі: час зварювання разом із додатковим часом продування, якщо він заданий умовою. Резерв постачання додають лише після знаходження технологічного об'єму суміші. Тоді об'єми Ar та CO₂ розраховують із загального закупуваного об'єму.

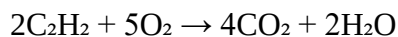
Кількість навчальних балонів визначають округленням потреби в газі до наступного цілого числа за заданою корисною місткістю в літрах, приведених до тих самих умов. За цією цифрою не можна визначати реальні тиски заправлення, правила зберігання або безпечні режими роботи з газами.

Повне згоряння ацетилену описують урівняним рівнянням реакції. На один моль ацетилену потрібно 2,5 моля кисню; за однакових умов таке саме співвідношення діє і для об'ємів газів. Кількість утворених CO₂ та H₂O задають відповідні коефіцієнти рівняння.

Надлишок кисню є додатковою кількістю понад теоретичну витрату. Продукти горіння за рівнянням визначають із фактично згорілого ацетилену, а не з надлишкової кількості кисню. Умовний об'єм водяної пари розраховують лише до її конденсації, коли її стан відповідає обраному газовому порівнянню.

Матеріальні баланси двох операцій потрібно оформлювати окремо: захисна суміш не є паливом, а стехіометрія повного згоряння ацетилену не визначає режим реального полум'я чи процес газового різання.

2. Хімічні рівняння та припущення



q — л/хв; t — хв; V — л за однакових T і p ; $M(\text{Ar})=39,948$, $M(\text{CO}_2)=44,01$ г/моль; $V_m=24,5$ л/моль — навчальне округлення для температури близько 25°C за атмосферного тиску; балони в таблиці задані в корисних літрах газу, а не в геометричних літрах балона.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: не змішуйте два процеси. Спочатку знайдіть обсяг і склад інертно-активної захисної газової суміші, потім окремо за рівнянням реакції — витрату кисню для повного горіння ацетилену. Для об'ємних співвідношень газів умови температури й тиску мають бути однаковими.

$$t_{\text{газ}} = t_{\text{звар}} + t_{\text{продування}} \quad (7.1)$$

Пояснення до формули (7.1). До загального часу подачі газу входять власне зварювання і задане продування. Оскільки обидва процеси витрачають суміш, обидва інтервали враховують у балансі.

$$V_{\text{суміш}} = q_{\text{суміш}} \cdot t_{\text{газ}} \quad (7.2)$$

Пояснення до формули (7.2). Витрата q у л/хв, помножена на тривалість у хвиликах, дає об'єм газової суміші в літрах. Не використовуйте час горіння пального замість часу подачі захисного газу.

$$V_{\text{замовл}} = V_{\text{суміш}} \cdot (1+r) \quad (7.3)$$

Пояснення до формули (7.3). Резерв r — додаткова частка від розрахункової потреби в захисному газі. Застосовуємо його до сумарного об'єму, після чого розкладаємо цей об'єм на компоненти.

$$V(\text{Ar}) = x_{\text{Ar}} \cdot V_{\text{замовл}} \quad (7.4)$$

Пояснення до формули (7.4). Аргон займає частку x_{Ar} від усієї суміші. Якщо вказано 82 %, то $x_{\text{Ar}} = 0,82$ за умови об'ємного складу.

$$V(\text{CO}_2) = (1-x_{\text{Ar}}) \cdot V_{\text{замовл}} \quad (7.5)$$

Пояснення до формули (7.5). Об'ємна частка CO_2 — доповнення до частки Ar до одиниці. Перевірка: об'єми Ar і CO_2 в сумі повинні дорівнювати об'єму замовленої суміші.

$$n(\text{газу}) = V(\text{газу})/24,5 \quad (7.6)$$

Пояснення до формули (7.6). Для переведення об'єму окремого газу в молі застосовуємо заданий молярний об'єм 24,5 л/моль за умов цієї задачі. Його не слід змішувати з 22,4 л/моль для нормальних умов.

$$m(\text{газу}) = n(\text{газу}) \cdot M(\text{газу}) \quad (7.7)$$

Пояснення до формули (7.7). Маса компонента дорівнює кількості молів, помноженій на його молярну масу. Цей крок дає матеріальний баланс суміші у масових одиницях.

$$N_{\text{балонів}} = \lceil V_{\text{потреби}}/V_{\text{корисний на балон}} \rceil \quad (7.8)$$

Пояснення до формули (7.8). Ділимо загальну потребу в газі на корисну місткість одного балона; кількість балонів округлюємо вгору до цілого, бо частини балона закупити як окрему одиницю не можна.

$$V(C_2H_2) = q_{\text{пал}} \cdot t_{\text{пал}} \quad (7.9)$$

Пояснення до формули (7.9). Об'єм ацетилену залежить від його заданої витрати та тривалості окремої газової операції. Не додавайте до нього об'єм захисної суміші, оскільки це різні процеси.

$$V(O_2)_{\text{теор}} = 2,5 \cdot V(C_2H_2) \quad (7.10)$$

Пояснення до формули (7.10). За рівнянням повного горіння $2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$ потрібно 2,5 об'єму O_2 на один об'єм ацетилену за однакових температури й тиску.

$$V(O_2)_{\text{подано}} = V(O_2)_{\text{теор}} \cdot (1 + \delta) \quad (7.11)$$

Пояснення до формули (7.11). Заданий надлишок кисню δ додають до його теоретичної потреби. Не плутайте цей об'єм із витратою кисню на технологічне різання металу, яка може мати іншу модель.

$$V(CO_2)_{\text{горіння}} = 2 \cdot V(C_2H_2) \quad (7.12)$$

Пояснення до формули (7.12). Зі стехіометрії видно, що один об'єм ацетилену дає два об'єми CO_2 . Об'єми всіх газів порівнюйте лише за однакових температури й тиску.

$$V(H_2O)_{\text{умовн}} = V(C_2H_2) \quad (7.13)$$

Пояснення до формули (7.13). Пара води утворюється в молярній кількості, що дорівнює ацетилену. Умовний об'єм водяної пари розраховано за припущення, що вода не конденсується; це не об'єм рідкої води.

Позначення часток p , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: захист, л/хв = 16; звар., хв = 45; продув., хв = 5; Ar, % = 82; резерв, % = 12; балон суміші, л = 12 000; C_2H_2 , л/хв = 3,5; газова оп., хв = 30; надл. O_2 , % = 10; балон O_2 , л = 7 000.

1. $t_{\text{газ}} = 45 + 5 = 50$ хв
2. $V_{\text{суміш}} = 16 \cdot 50 = 800,00$ л
3. $V_{\text{зам}} = 800,00 \cdot (1 + 0,12) = 896,00$ л
4. $V(\text{Ar}) = 896,00 \cdot 0,82 = 734,72$ л
5. $V(C_2H_2) = 3,5 \cdot 30 = 105,00$ л
6. $V(O_2)_{\text{теор}} = 2,5 \cdot 105,00 = 262,50$ л
7. $V(O_2)_{\text{подано}} = 262,50 \cdot (1 + 0,10) = 288,75$ л

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
час із продуванням, хв	50,000	суміш для роботи, л	800,000
суміш із резервом, л	896,000	Ar із резервом, л	734,720
CO ₂ із резервом, л	161,280	n(Ar) при 24,5 л/моль, моль	29,989
n(CO ₂) при 24,5 л/моль, моль	6,583	Ar, кг	1,198
CO ₂ , кг	0,2897	балонів суміші, шт	1,000
C ₂ H ₂ витрачено, л	105,000	n(C ₂ H ₂), моль	4,286
O ₂ теоретично, л	262,500	O ₂ з надлишком, л	288,750
CO ₂ горіння, л	210,000	H ₂ O у парі теор., л	105,000
залишок надлишкового O ₂ , л	26,250	балонів O ₂ , шт	1,000

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Визначити сумарний час подавання захисної газової суміші.
2. Обчислити об'єм суміші без резерву.
3. Додати заданий резерв і знайти закуповувану потребу.
4. За об'ємною часткою розрахувати потрібні об'єми Ar та CO₂.
5. Перевести об'єми компонентів у молі та маси за заданого V_м.
6. Розрахувати кількість умовних балонів суміші, округливши результат угору.
7. Для окремого газового процесу розрахувати використаний об'єм ацетилену.
8. Урівняти повне згоряння C₂H₂ і визначити теоретичний об'єм O₂.
9. Врахувати надлишок кисню та обчислити фактичний об'єм поданого O₂.
10. Розрахувати теоретичні об'єми CO₂ і водяної пари за однакових умов.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Визначити незреагований залишок O₂, який пояснюється його заданим надлишком.
2. Обчислити кількість умовних балонів кисню за заданою корисною місткістю.
3. Порівняти об'єм CO₂ в захисній суміші й у продуктах горіння: пояснити, чому це різні матеріальні потоки.
4. Виконати контроль рівності об'ємних часток захисної суміші: $xAr + xCO_2 = 1$.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Пояснити, чому надлишок O_2 не змінює стехіометричну кількість CO_2 із заданого ацетилену.
2. Пояснити, чому навчальний розрахунок газопотреби не визначає безпечний робочий режим.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 2

№	захист, л/хв	звар., хв	продув., хв	Ar, %	резерв, %
1	13	32	4	75	8
2	14	37	5	78	10
3	15	42	6	81	12
4	16	47	7	84	14
5	17	52	8	87	16
6	18	57	4	90	18
7	19	62	5	77	8
8	20	67	6	80	10
9	21	32	7	83	12
10	13	37	8	86	14
11	14	42	4	89	16
12	15	47	5	76	18
13	16	52	6	79	8
14	17	57	7	82	10
15	18	62	8	85	12
16	19	67	4	88	14
17	20	32	5	75	16
18	21	37	6	78	18
19	13	42	7	81	8
20	14	47	8	84	10
21	15	52	4	87	12
22	16	57	5	90	14
23	17	62	6	77	16
24	18	67	7	80	18
25	19	32	8	83	8
26	20	37	4	86	10
27	21	42	5	89	12
28	13	47	6	76	14
29	14	52	7	79	16
30	15	57	8	82	18

Дані — частина 2 із 2

№	балон суміші, л	C ₂ H ₂ , л/хв	газова оп., хв	надл. O ₂ , %	балон O ₂ , л
1	11 000	2,0	28	8	6 000
2	12 500	2,5	32	10	7 000
3	14 000	3,0	36	12	8 000
4	15 500	3,5	40	14	9 000
5	17 000	4,0	44	16	10 000
6	18 500	2,0	48	18	6 000
7	11 000	2,5	28	8	7 000
8	12 500	3,0	32	10	8 000
9	14 000	3,5	36	12	9 000
10	15 500	4,0	40	14	10 000
11	17 000	2,0	44	16	6 000
12	18 500	2,5	48	18	7 000
13	11 000	3,0	28	8	8 000
14	12 500	3,5	32	10	9 000
15	14 000	4,0	36	12	10 000
16	15 500	2,0	40	14	6 000
17	17 000	2,5	44	16	7 000
18	18 500	3,0	48	18	8 000
19	11 000	3,5	28	8	9 000
20	12 500	4,0	32	10	10 000
21	14 000	2,0	36	12	6 000
22	15 500	2,5	40	14	7 000
23	17 000	3,0	44	16	8 000
24	18 500	3,5	48	18	9 000
25	11 000	4,0	28	8	10 000
26	12 500	2,0	32	10	6 000
27	14 000	2,5	36	12	7 000
28	15 500	3,0	40	14	8 000
29	17 000	3,5	44	16	9 000
30	18 500	4,0	48	18	10 000

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
суміш із резервом, л	_____	_____
Ar із резервом, л	_____	_____
CO ₂ із резервом, л	_____	_____
балонів суміші, шт	_____	_____
O ₂ з надлишком, л	_____	_____

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
CO ₂ горіння, л	_____	_____
балонів O ₂ , шт	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл ↔ л; г ↔ кг; хв ↔ с; м² ↔ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Який зміст має об'ємна частка в газовій суміші?
- Чому при однакових умовах відношення об'ємів газів дорівнює відношенню їх кількостей речовини?
- Чому місткість балона в цій справі задається як корисна кількість приведенного газу?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [1, розд. про гази й розрахунки об'ємів; 5, розд. 4, 6, с. 219–263, 320–354]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Матеріальний і хімічний баланс зварювальних матеріалів: електроди, покриття, дріт і флюси

Мета:

Розрахувати матеріальні потоки покритих електродів і альтернативного варіанта з дротом та флюсом, виділити компоненти покриття і виконати хімічний баланс розкладу карбонату.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Для заданої цільової маси наплавленого металу розглядають дві незалежні альтернативи. Перша — покриті електроди із заданими масою, часткою металевго стрижня, коефіцієнтом переходу та рецептурою покриття. Друга — дріт із заданим коефіцієнтом переходу та флюс із заданою питомою витратою. Визначені склади й коефіцієнти створені лише для задач.

1. Теоретичні відомості

Покритий електрод складається з металевго стрижня й неметалевго покриття. Стрижень переносить метал у зону зварювання, а компоненти покриття можуть сприяти газошлаковому захисту, стабілізації дуги, розкисненню та легуванню. Для розрахунку важливо розрізнати масу всього електрода, металевго стрижня та покриття.

Коефіцієнт переходу металу пов'язує масу використаного металевго стрижня з масою металу, який фактично наплавляється. Тому для заданої потрібної маси наплавлення спочатку визначають кількість електродів теоретично, а потім округлюють її до наступного цілого числа. Після округлення фактична маса всіх витрачених електродів дещо зростає.

Масу покриття розраховують за часткою від загальної маси всіх електродів. За навчальною рецептурою визначають маси рутилу TiO_2 , карбонату кальцію CaCO_3 , феросплаву та решти компонентів. Частки рецептури мають сумуватися до 100%; окремо перевіряють цю умову.

Наявність CaCO_3 у покритті дозволяє розглянути просту термічну реакцію розкладу. Умовно вважаємо, що весь карбонат розклався, а об'єм CO_2 приведено до нормальних умов. У реальній реакційній зоні склад газу й ступінь розкладу залежатимуть від температури, часу та інших процесів.

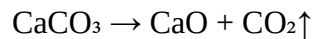
Феросплав у покритті містить активний компонент Mn і решту металу. Якщо задана масова частка Mn та його засвоєння, можна оцінити внесок цієї добавки в абсолютну масу Mn , що переходить у метал шва. Цей розрахунок не є повним прогнозом кінцевого хімічного складу шва.

Для альтернативи з механізованим зварюванням окремо знаходять необхідну масу дроту за його коефіцієнтом переходу й масу флюсу за заданою питомою витратою на одиницю

витраченого дроту. За рецептурою флюсу розраховують масу окремого компонента, наприклад CaF_2 .

У порівнянні альтернатив зіставляють лише масу необхідних навчальних матеріалів. За цими даними не можна робити висновок про якість шва, швидкість реального процесу або економічну перевагу того чи іншого способу.

2. Хімічні рівняння та припущення



$m(\text{наплавленого}) = m(\text{металевого стрижня}) \cdot \eta_{\text{переходу}}$

Цільова маса — кг; маса одного електрода — г; коефіцієнти та склад — частки одиниці; для $m(\text{CaCO}_3)$ у молярних формулах $\text{кг} \rightarrow \text{г}$; $M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \text{ г/моль}$; $V_m = 22,4 \text{ л/моль}$ за н. у.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: розділіть масу електрода на стрижень і покриття. Від стрижня переходьте до наплавленого металу через коефіцієнт переходу; від покриття — до мас його компонентів. Показники для механізованого зварювання дротом і флюсом розраховуйте окремо, не підсумовуйте альтернативні сценарії.

$$m_{\text{стрижня, один}} = m_{\text{електрода}} \cdot w_{\text{стрижня}} \quad (8.1)$$

Пояснення до формули (8.1). Спочатку відокремлюємо металевий стрижень від покриття одного електрода. Частка $w_{\text{стрижня}}$ — частка маси саме стрижня в загальній масі виробу.

$$m_{\text{наплавл, один}} = m_{\text{стрижня, один}} \cdot \eta_{\text{переходу}} \quad (8.2)$$

Пояснення до формули (8.2). Не весь метал стрижня переходить у наплавлений метал. Заданий коефіцієнт $\eta_{\text{переходу}}$ показує, скільки корисного металу дає один електрод.

$$N = \lceil m_{\text{наплавл, ціль}} / m_{\text{наплавл, один}} \rceil \quad (8.3)$$

Пояснення до формули (8.3). Поділіть загальну потребу в наплавленому металі на внесок одного електрода. Отримане число округлюйте вгору: неповний останній електрод усе одно треба передбачити в закупівлі.

$$m_{\text{електродів}} = N \cdot m_{\text{електрода}} \quad (8.4)$$

Пояснення до формули (8.4). Загальну масу закуплених покритих електродів обчислюємо за їх реальною цілою кількістю. Через округлення вона може перевищувати теоретичний мінімум.

$$m_{\text{покриття}} = m_{\text{електродів}} \cdot (1 - w_{\text{стрижня}}) \quad (8.5)$$

Пояснення до формули (8.5). Покриття становить ту частину загальної маси електродів, що не припадає на стрижень. Не плутайте масу покриття з масою шлаку після зварювання.

$$m(\text{компонента покриття}) = m_{\text{покриття}} \cdot w_{\text{компонента}} \quad (8.6)$$

Пояснення до формули (8.6). Маса окремого компонента дорівнює загальній масі покриття, помноженій на його задану масову частку. Сума часток усіх компонентів повинна дорівнювати одиниці.

$$n(\text{CaCO}_3) = 1000 \cdot m(\text{CaCO}_3, \text{кг}) / M(\text{CaCO}_3) \quad (8.7)$$

Пояснення до формули (8.7). Розрахунок газоутворення починається з кількості моль карбонату в покритті. Якщо його масу задано в кг, множник 1000 переводить її в грами.

$$V(\text{CO}_2) = 22,4 \cdot n(\text{CaCO}_3) \quad (8.8)$$

Пояснення до формули (8.8). У модельній реакції розкладання один моль CaCO_3 дає один моль CO_2 . Використовуємо молярний об'єм за нормальних умов; це теоретичне значення без реальних втрат.

$$m_{\text{Mn,перехід}} = m_{\text{FeMn}} \cdot w_{\text{Mn у FeMn}} \cdot \eta_{\text{Mn}} \quad (8.9)$$

Пояснення до формули (8.9). Феромарганець містить тільки частку w_{Mn} марганцю; з неї в метал переходить частка η_{Mn} . Отримуємо масу реально засвоєного легувального елемента.

$$m_{\text{дроту}} = m_{\text{наплавл,ціль}} / \eta_{\text{дроту}} \quad (8.10)$$

Пояснення до формули (8.10). Для альтернативного механізованого зварювання дротом маса закупленого дроту більша за масу наплавленого металу через втрати, уже враховані коефіцієнтом $\eta_{\text{дроту}}$.

$$m_{\text{флюсу}} = m_{\text{дроту}} \cdot k_{\text{флюсу}} \quad (8.11)$$

Пояснення до формули (8.11). Коефіцієнт $k_{\text{флюсу}}$ задано в кг флюсу на 1 кг дроту — тому множимо саме масу дроту. Якщо у виробничій нормі база інша, потрібна інша формула; тут дотримуємося умови.

$$m(\text{CaF}_2) = m_{\text{флюсу}} \cdot w(\text{CaF}_2) \quad (8.12)$$

Пояснення до формули (8.12). Частка CaF_2 у флюсі задає масу цього компонента. Не підсумовуйте його з масою CaCO_3 електродного покриття: це різні способи зварювання.

Позначення часток r , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: наплавити, кг = 3,50; електрод, г = 90; стрижень, % = 72; перехід, % = 82; TiO_2 , % = 42; CaCO_3 , % = 15; FeMn, % = 7; Mn у FeMn, % = 75; засв. Mn, % = 70; $\eta_{\text{дроту}}$, % = 92; флюс/дріт = 1,00; CaF_2 у флюсі, % = 14.

1. $m(\text{стрижня одного}) = 90 \cdot 0,72 = 64,80 \text{ г}$
2. $m(\text{наплавл. одного}) = 64,80 \cdot 0,82 = 53,14 \text{ г}$
3. $N = [3,50 \cdot 1000 / 53,14] = 66 \text{ шт}$
4. $m(\text{електродів}) = 66 \cdot 90 / 1000 = 5,940 \text{ кг}$
5. $m(\text{покриття}) = 5,940 \cdot (1 - 0,72) = 1,6632 \text{ кг}$
6. $n(\text{CaCO}_3) = 249,48 / 100,09 = 2,493 \text{ моль}$
7. $V(\text{CO}_2) = n \cdot 22,4 = 55,833 \text{ л}$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
теоретично електродів, шт (до округлення)	65,869	цілих електродів, шт	66,000
маса електродів, кг	5,940	маса стрижнів, кг	4,277
маса покриття, кг	1,663	фактичне наплавлення, кг	3,507
надлишок наплавлення, кг	0,0070	рутил TiO_2 , кг	0,6985
CaCO_3 у покритті, кг	0,2495	феросплав у покритті, кг	0,1164
інші компоненти, кг	0,5988	CO_2 від CaCO_3 , г	109,697
CO_2 від CaCO_3 , л	55,833	Mn перейде з покриття, кг	0,0611
дріт для альтернативи, кг	3,804	флюс для альтернативи, кг	3,804
CaF_2 у флюсі, кг	0,5326	дріт+флюс, кг	7,609

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Визначити масу металевго стрижня одного електрода й теоретичну масу наплавлення з нього.
2. Обчислити потрібну кількість електродів і округлити її в більший бік.
3. Після округлення визначити фактичну масу витрачених електродів і металевих стрижнів.
4. Знайти загальну масу покриття та реальну масу наплавленого металу.
5. Розрахувати перевищення реального наплавлення над цільовою масою.
6. За рецептурою обчислити маси TiO_2 , CaCO_3 , феросплаву та решти компонентів у покритті.
7. Для заданого повного розкладу CaCO_3 знайти кількість речовини, масу й теоретичний об'єм CO_2 .
8. Обчислити масу Mn, що умовно переходить у метал із феросплаву покриття.
9. Для незалежного варіанта з дротом визначити масу потрібного дроту.
10. Знайти витрату флюсу і масу CaF_2 у ньому.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Визначити сумарну масу дроту й флюсу для альтернативного способу.
2. Порівняти її з масою всіх покритих електродів, не враховуючи обладнання й технологічні витрати.

3. Пояснити, як округлення N впливає на потребу в покритті та кількість CO₂.
4. Перевірити, що сума часток усіх компонентів електродного покриття дорівнює 1.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Пояснити, чому коефіцієнт переходу металевого стрижня не можна застосовувати до всього покритого електрода.
2. Визначити, які компоненти у вправі враховані як газоутворювальні, шлакоутворювальні або легувальні.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 3

№	наплавити, кг	електрод, г	стрижень, %	перехід, %	TiO ₂ , %
1	2,60	70	62	75	32
2	2,71	75	64	78	35
3	2,82	80	66	81	38
4	2,93	85	68	84	41
5	3,04	90	70	87	44
6	3,15	95	72	90	32
7	3,26	100	74	77	35
8	3,37	105	76	80	38
9	3,48	70	62	83	41
10	3,59	75	64	86	44
11	3,70	80	66	89	32
12	3,81	85	68	76	35
13	3,92	90	70	79	38
14	4,03	95	72	82	41
15	4,14	100	74	85	44
16	4,25	105	76	88	32
17	4,36	70	62	75	35
18	4,47	75	64	78	38
19	4,58	80	66	81	41
20	4,69	85	68	84	44
21	4,80	90	70	87	32
22	4,91	95	72	90	35
23	5,02	100	74	77	38
24	5,13	105	76	80	41
25	5,24	70	62	83	44
26	5,35	75	64	86	32
27	5,46	80	66	89	35
28	5,57	85	68	76	38

№	наплавити, кг	електрод, г	стрижень, %	перехід, %	TiO ₂ , %
29	5,68	90	70	79	41
30	5,79	95	72	82	44

Дані — частина 2 із 3

№	CaCO ₃ , %	FeMn, %	Mn у FeMn, %	засв. Mn, %	ηдроту, %
1	10	5	70	65	88
2	12	6	73	68	89
3	14	7	76	71	90
4	16	8	79	74	91
5	18	9	82	77	92
6	10	5	70	80	93
7	12	6	73	65	94
8	14	7	76	68	88
9	16	8	79	71	89
10	18	9	82	74	90
11	10	5	70	77	91
12	12	6	73	80	92
13	14	7	76	65	93
14	16	8	79	68	94
15	18	9	82	71	88
16	10	5	70	74	89
17	12	6	73	77	90
18	14	7	76	80	91
19	16	8	79	65	92
20	18	9	82	68	93
21	10	5	70	71	94
22	12	6	73	74	88
23	14	7	76	77	89
24	16	8	79	80	90
25	18	9	82	65	91
26	10	5	70	68	92
27	12	6	73	71	93
28	14	7	76	74	94
29	16	8	79	77	88
30	18	9	82	80	89

Дані — частина 3 із 3

№	флюс/дріт	CaF ₂ у флюсі, %
1	0,82	11
2	0,88	13

№	флюс/дріт	CaF ₂ у флюсі, %
3	0,94	15
4	1,00	17
5	1,06	19
6	1,12	21
7	1,18	11
8	1,24	13
9	0,82	15
10	0,88	17
11	0,94	19
12	1,00	21
13	1,06	11
14	1,12	13
15	1,18	15
16	1,24	17
17	0,82	19
18	0,88	21
19	0,94	11
20	1,00	13
21	1,06	15
22	1,12	17
23	1,18	19
24	1,24	21
25	0,82	11
26	0,88	13
27	0,94	15
28	1,00	17
29	1,06	19
30	1,12	21

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
цілих електродів, шт	_____	_____
маса покриття, кг	_____	_____
CaCO ₃ у покритті, кг	_____	_____
CO ₂ від CaCO ₃ , л	_____	_____
дріт для альтернативи, кг	_____	_____
флюс для альтернативи, кг	_____	_____
CaF ₂ у флюсі, кг	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл $\leftrightarrow$ л; г $\leftrightarrow$ кг; хв $\leftrightarrow$ с; м² $\leftrightarrow$ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Яка різниця між масою покритого електрода та масою його металевго стрижня?
- Що описує коефіцієнт переходу металу?
- Чому не можна за масовою витратою матеріалів самостійно порівнювати якість двох способів зварювання?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [5, розд. 6–7, с. 326–399; розд. 8, с. 404–414]

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

Порівняння корозійних втрат металу шва й основного металу та розрахунок хімічної підготовки і захисного покриття

Мета:

За виміряною втратою маси визначити питомі корозійні втрати зварного зразка, а потім розрахувати матеріальні потреби для очищення та нанесення захисного покриття на задану конструкцію.

Єдина виробнича/навчальна ситуація. НАВЧАЛЬНА МОДЕЛЬ. Після однакового часу випробування зразки металу шва і основного металу втратили задані маси. Обидва мають однакову відкриту площу. Для умовної зварної конструкції задано можливе зменшення середньої швидкості корозії після захисту, витрату очищувального розчину, склад концентрату та вимоги до органічної захисної плівки. Це матеріальний розрахунок; він не замінює корозійних випробувань і не встановлює термін безпечної експлуатації.

1. Теоретичні відомості

Корозія — це руйнування металів унаслідок їхньої хімічної або електрохімічної взаємодії із середовищем. Зварне з'єднання неоднорідне за структурою та складом, а тому корозійна поведінка металу шва, зони термічного впливу й основного металу може відрізнятися.

Простий гравіметричний показник швидкості корозії розраховують як втрату маси на одиницю відкритої площі та одиницю часу. Якщо порівнюють два зразки однакової площі та тривалості випробування, відношення показників дорівнює відношенню їх масових втрат.

Для ілюстрації рівномірного стоншення можна перерахувати питому втрату маси в умовне зменшення товщини металу за заданою густиною. Це припущення не описує локальну точкову, щілинну або міжкристалітну корозію. Тому отримані умовні міліметри за рік не є прогнозом реальної глибини найбільш небезпечного пошкодження.

Протикорозійний захист часто потребує підготовки поверхні. У задачі кількість робочого очищувального розчину задається його питомою витратою на квадратний метр. Із масової частки чистої HCl у робочому розчині та концентраті можна обчислити потребу в концентраті й доданій воді.

Захисна фарбова плівка має задану суху товщину і густина. Об'єм сухої плівки одержують множенням площі на товщину з правильним перетворенням одиниць. Маса сухої плівки є добутком цього об'єму та густини.

Рідка фарба містить леткі компоненти, тому маса сухого залишку менша за закуплену масу. Додатково частина фарби втрачається під час нанесення. Для закупівлі необхідно врахувати одночасно частку сухого залишку та задану частку технологічних втрат.

Задану ефективність зниження корозійного показника можна використати для навчального порівняння «до» і «після», але в конкретному середовищі результат потрібно підтверджувати окремими випробуваннями. Матеріальний баланс хімічних засобів не встановлює технологічного регламенту кислотного очищення.

2. Хімічні рівняння та припущення

Умовний показник: $v = \Delta m / (S \cdot t)$

Масовий баланс розчину: $m_{\text{конц}} \cdot w_{\text{конц}} = m_{\text{роб}} \cdot w_{\text{роб}}$

Маси зразків — г; площа зразка — м²; t — доби; v — г/(м²·добу); ρсталі = 7850 кг/м³ для умовного перерахунку товщини; конструкція — м²; очищувальний розчин і фарба — кг; густина сухої плівки — кг/л; товщина — мкм.

3. Формули для самостійного розрахунку

Як читати та застосовувати формули. Порядок роботи з формулами: спочатку порівняйте масові швидкості корозії однакової розмірності. Розчини для очищення рахуються через масовий баланс концентрату і води; захисне покриття — через геометричний об'єм сухої плівки, її густину, сухий залишок фарби й втрати нанесення.

$$v_{\text{шва}} = \Delta m_{\text{шва}} / (S_{\text{зразка}} \cdot t) \quad (9.1)$$

Пояснення до формули (9.1). Середня питома масова швидкість корозії — втрата маси шва, поділена на площу досліджуваної поверхні та час випробування. Це усереднений навчальний показник, а не прогноз локальної глибини ямок.

$$v_{\text{основн}} = \Delta m_{\text{основн}} / (S_{\text{зразка}} \cdot t) \quad (9.2)$$

Пояснення до формули (9.2). Аналогічно визначаємо швидкість корозії основного металу за тими самими одиницями. Лише після цього можна коректно зіставляти обидві поверхні.

$$R = v_{\text{шва}} / v_{\text{основн}} \quad (9.3)$$

Пояснення до формули (9.3). Безрозмірне відношення R показує, у скільки разів питома швидкість шва відрізняється від основного металу. Значення понад 1 означає більшу питому втрату шва в цих дослідних умовах.

$$h_{\text{умовн}}(\text{мм/рік}) = 365 \cdot v_{\text{шва}} / \rho_{\text{сталі}} \quad (9.4)$$

Пояснення до формули (9.4). Перерахунок у мм/рік можливий лише за припущення рівномірного зменшення товщини та заданої густини. Не використовуйте це як оцінку швидкості точкової чи міжкристалітної корозії.

$$v_{\text{після}} = v_{\text{шва}} \cdot (1 - \eta_{\text{захисту}}) \quad (9.5)$$

Пояснення до формули (9.5). Задана ефективність ηзахисту зменшує швидкість у моделі на відповідну частку. Це навчальне припущення; у реальності ефективність залежить від стану покриття та умов експлуатації.

$$m_{\text{розчину}} = S_{\text{констр}} \cdot \rho_{\text{пит}} \quad (9.6)$$

Пояснення до формули (9.6). Питома витрата ρпит задає масу робочого розчину, необхідну на одиницю площі. Помножте її на площу всієї конструкції та дотримуйтеся одиниць.

$$m_{\text{концентрату}} = m_{\text{розчину}} \cdot w_{\text{роб}} / w_{\text{конц}} \quad (9.7)$$

Пояснення до формули (9.7). Масу концентрату знаходимо з балансу активної речовини: скільки її потрібно в робочому розчині, стільки має надійти з концентрату. Відсотки переведіть у частки одиниці.

$$m_{\text{води}} = m_{\text{розчину}} - m_{\text{концентрату}} \quad (9.8)$$

Пояснення до формули (9.8). За відсутності інших добавок решту маси робочого розчину становить вода. Перевірте: маса концентрату плюс вода дорівнює загальній масі.

$$V_{\text{сухої плівки}}(\text{л}) = 0,001 \cdot S_{\text{констр}} \cdot h(\text{мкм}) \quad (9.9)$$

Пояснення до формули (9.9). Об'єм сухої плівки дорівнює площі, помноженій на товщину. Множник 0,001 одночасно переводить м²·мкм у літри; отриманий об'єм — саме об'єм сухого шару.

$$m_{\text{сухої плівки}} = V \cdot \rho_{\text{покриття}} \quad (9.10)$$

Пояснення до формули (9.10). Маса сухого покриття дорівнює об'єму в літрах, помноженому на задану густину в кг/л. Це потреба в сухому матеріалі без розчинників.

$$m_{\text{фарби без втрат}} = m_{\text{сухої}} / w_{\text{сухого}} \quad (9.11)$$

Пояснення до формули (9.11). Масова частка сухого залишку переводить необхідну масу сухої плівки в масу фарби без урахування втрат під час нанесення.

$$m_{\text{фарби закуп}} = m_{\text{сухої}} / [w_{\text{сухого}} \cdot (1 - f_{\text{втрат}})] \quad (9.12)$$

Пояснення до формули (9.12). Лише частина (1 – f_{втрат}) закупленої фарби фактично утворює покриття. Тому потрібну масу сухого матеріалу ділимо одночасно на сухий залишок і на частку фарби, що потрапляє на поверхню.

Позначення часток ρ , w , η , α , f , δ у формулах: значення в одиницях, а не у відсотках. Кожна формула наведена окремим рядком; нумерація діє в межах практичної роботи.

4. Організація обчислень та розв'язаний приклад

Повністю розібраний зразок

Наведені нижче ключові кроки демонструють спосіб підстановки чисел і роботи з одиницями. Під час виконання власного варіанта розгорніть їх у всі кроки блоків А–В: для кожного проміжного результату запишіть, звідки він отриманий і в якому наступному обчисленні використовується.

Вихідні дані прикладу: зразок, м² = 0,080; витримка, діб = 14; втрата шва, γ = 14,0; втрата основи, γ = 8,0; зниження, % = 80; конструкція, м² = 24; р-н, кг/м² = 0,50; робоча НСІ, % = 6; конц. НСІ, % = 20; товщина, мкм = 100; ρ плівки, кг/л = 1,40; сухий залишок, % = 60; втрати фарби, % = 15.

1. $v(\text{шов}) = 14,0 / (0,080 \cdot 14) = 12,500 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$
2. $v(\text{основа}) = 8,0 / (0,080 \cdot 14) = 7,143 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$
3. $\eta_{\text{умовн}} = 365 \cdot 12,500 / 7850 = 0,5812 \text{ мм/рік}$
4. $m(\text{р-ну}) = 24 \cdot 0,50 = 12,000 \text{ кг}$
5. $m(\text{конц.}) = 12,000 \cdot 0,06 / 0,20 = 3,600 \text{ кг}$
6. $V(\text{сухої}) = 0,001 \cdot 24 \cdot 100 = 2,400 \text{ л}$
7. $m(\text{фарби}) = 3,360 / (0,60 \cdot (1 - 0,15)) = 6,588 \text{ кг}$

Перевірочний підсумок повного прикладу

Величина	Значення	Величина	Значення
швидкість корозії шва, г/(м ² ·добу)	12,500	швидкість корозії основного металу, г/(м ² ·добу)	7,143

Величина	Значення	Величина	Значення
співвідношення швидкостей	1,750	умовна рівномірна втрата товщини, мм/рік	0,5812
швидкість після умовного захисту, г/(м ² ·добу)	2,500	зниження швидкості, г/(м ² ·добу)	10,000
очисний розчин, кг	12,000	концентрат HCl, кг	3,600
вода для очищення, кг	8,400	об'єм сухої плівки, л	2,400
маса сухої плівки, кг	3,360	фарба без технологічних втрат, кг	5,600
фарба до закупівлі, кг	6,588	втрата фарби, кг	0,9882
маса активних сухих речовин після нанесення, кг	3,360	фарба для другої аналогічної конструкції, кг	6,588
фарба на 2 конструкції, кг	13,176		

5. СПІЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВСІХ 30 СТУДЕНТІВ

Обов'язково: блок А — повний наскрізний розрахунок за особистими числовими даними; блок Б — перерахунок або друга взаємопов'язана виробнича ситуація; блок В — перевірки, які треба вписати до звіту.

А. Основний комплексний розрахунок (47 хв)

1. Обчислити гравіметричну швидкість корозії зразка металу шва.
2. Аналогічно визначити показник для зразка основного металу.
3. Розрахувати відношення показників і прокоментувати спостережену різницю.
4. Перевести швидкість корозії шва в умовну рівномірну втрату товщини за рік.
5. За заданим коефіцієнтом зменшення оцінити умовний показник після захисту.
6. Для заданої площі конструкції розрахувати масу робочого очищувального розчину.
7. Знайти необхідні маси концентрату HCl і доданої води.
8. Визначити об'єм сухої захисної плівки.
9. Обчислити масу сухої плівки та мінімальну масу фарби без втрат.
10. Врахувати технологічні втрати й знайти загальну масу фарби до закупівлі.

Б. Зміна початкової ситуації (14 хв)

1. Обчислити масу втраченої під час нанесення фарби.
2. Для двох однакових конструкцій знайти загальну масу фарби.

3. Пояснити, як зміниться потреба у фарбі за подвоєння сухої товщини при незмінних решті даних.
4. Порівняти швидкості корозії шва до та після умовного захисту; не робити висновку про термін експлуатації.

В. Обов'язкові перевірки та висновок

1. Перевірити матеріальний баланс концентрат + вода = робочий розчин.
2. Перевірити, що $m_{\text{фарби}} \cdot (1 - f_{\text{втрата}}) \cdot w_{\text{сухого}} = m_{\text{сухої плівки}}$.

30 індивідуальних варіантів вихідних даних

Знайдіть у кожній із таблиць рядок зі своїм номером у журналі. Усі частки, наведені у %, перед підстановкою в формули поділіть на 100. Таблиці з однаковим номером рядка становлять ЄДИНИЙ набір даних.

Дані — частина 1 із 3

№	зразок, м²	витримка, діб	втрата шва, г	втрата основи, г	зниження, %
1	0,055	8	4,0	3,0	68
2	0,064	11	5,7	4,1	73
3	0,073	14	7,4	5,2	78
4	0,082	17	9,1	6,3	83
5	0,091	20	10,8	7,4	88
6	0,100	23	12,5	8,5	72
7	0,109	26	14,2	9,6	77
8	0,118	8	15,9	3,0	82
9	0,055	11	17,6	4,1	87
10	0,064	14	4,0	5,2	71
11	0,073	17	5,7	6,3	76
12	0,082	20	7,4	7,4	81
13	0,091	23	9,1	8,5	86
14	0,100	26	10,8	9,6	70
15	0,109	8	12,5	3,0	75
16	0,118	11	14,2	4,1	80
17	0,055	14	15,9	5,2	85
18	0,064	17	17,6	6,3	69
19	0,073	20	4,0	7,4	74
20	0,082	23	5,7	8,5	79
21	0,091	26	7,4	9,6	84
22	0,100	8	9,1	3,0	68
23	0,109	11	10,8	4,1	73
24	0,118	14	12,5	5,2	78
25	0,055	17	14,2	6,3	83
26	0,064	20	15,9	7,4	88
27	0,073	23	17,6	8,5	72
28	0,082	26	4,0	9,6	77

№	зразок, м²	витримка, діб	втрата шва, г	втрата основи, г	зниження, %
29	0,091	8	5,7	3,0	82
30	0,100	11	7,4	4,1	87

Дані — частина 2 із 3

№	конструкція, м²	р-н, кг/м²	робоча НСІ, %	конц. НСІ, %	товщина, мкм
1	12	0,35	4	20	65
2	15	0,42	5	20	77
3	18	0,49	6	20	89
4	21	0,56	7	20	101
5	24	0,63	8	20	113
6	27	0,70	4	20	125
7	30	0,35	5	20	137
8	33	0,42	6	20	149
9	36	0,49	7	20	65
10	39	0,56	8	20	77
11	12	0,63	4	20	89
12	15	0,70	5	20	101
13	18	0,35	6	20	113
14	21	0,42	7	20	125
15	24	0,49	8	20	137
16	27	0,56	4	20	149
17	30	0,63	5	20	65
18	33	0,70	6	20	77
19	36	0,35	7	20	89
20	39	0,42	8	20	101
21	12	0,49	4	20	113
22	15	0,56	5	20	125
23	18	0,63	6	20	137
24	21	0,70	7	20	149
25	24	0,35	8	20	65
26	27	0,42	4	20	77
27	30	0,49	5	20	89
28	33	0,56	6	20	101
29	36	0,63	7	20	113
30	39	0,70	8	20	125

Дані — частина 3 із 3

№	рпівки, кг/л	сухий залишок, %	втрати фарби, %
1	1,25	52	10
2	1,30	54	12

№	рплівки, кг/л	сухий залишок, %	втрати фарби, %
3	1,35	56	14
4	1,40	58	16
5	1,45	60	18
6	1,25	62	20
7	1,30	64	10
8	1,35	66	12
9	1,40	52	14
10	1,45	54	16
11	1,25	56	18
12	1,30	58	20
13	1,35	60	10
14	1,40	62	12
15	1,45	64	14
16	1,25	66	16
17	1,30	52	18
18	1,35	54	20
19	1,40	56	10
20	1,45	58	12
21	1,25	60	14
22	1,30	62	16
23	1,35	64	18
24	1,40	66	20
25	1,45	52	10
26	1,25	54	12
27	1,30	56	14
28	1,35	58	16
29	1,40	60	18
30	1,45	62	20

6. Таблиця результатів для звіту

Перепишіть цю таблицю в зошит або доповніть у Word. Результати А і Б подавайте окремо; одиниці вимірювання не пропускайте.

Контрольна величина	Мій результат	Одиниця / коментар
швидкість корозії шва, г/(м ² ·добу)	_____	_____
швидкість корозії основного металу, г/(м ² ·добу)	_____	_____
концентрат HCl, кг	_____	_____
вода для очищення, кг	_____	_____
маса сухої плівки, кг	_____	_____
фарба до закупівлі, кг	_____	_____

7. Типові помилки та правила перевірки

- Не переводити відсотки в частки одиниці перед підстановкою у формули.
- Плутати масу чистої речовини з масою розчину або суміші; двічі враховувати втрати чи надлишок.
- Перемножувати величини з різними одиницями без переведення (мл $\leftrightarrow$ л; г $\leftrightarrow$ кг; хв $\leftrightarrow$ с; м² $\leftrightarrow$ см²).
- Не перевіряти матеріальний баланс або пропускати перевірку кінцевого результату підстановкою у вихідну формулу.

8. Контрольні питання і висновок

- Які обмеження має масовий показник корозії при точковому пошкодженні металу?
- Чому потребу в фарбі потрібно враховувати і за сухим залишком, і за втратами нанесення?
- Чому навчальна оцінка зменшення корозії не є гарантією ресурсу зварної конструкції?

Шаблон висновку: «За варіантом № __ встановлено ..., розраховано ..., перевірено Найбільше на результат впливає Наведений розрахунок виконаний для навчальної моделі та не є виробничим нормативом».

Опорні джерела: [6, розд. 2, 9–11, с. 17–30, 114–156; 1, розд. 7]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Назарко І. С., Вічко О. І. Загальна хімія: навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019.
2. Хоботова Е. Б. Загальна та неорганічна хімія. Частина 1. Загальна хімія: підручник. Харків: ХНАДУ, 2023.
3. Власенко та співавт. Хімія. Частина 1. Загальна хімія: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025.
4. Булавін та співавт. Практикум з основ загальної хімії. Харків: НТУ «ХПІ». (Файл наданий у бібліотеці дисципліни; повні вихідні дані див. у виданні.)
5. Коперсак В. М. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 539 с.
6. Білоусова Н. А., Погребова І. С., Лінючев О. Г. Корозія та захист від корозії: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024.

Навчальні числові дані в таблицях 30 варіантів сформовані спеціально для цього практикуму. Формули й загальні закономірності подано за зазначеними навчальними джерелами в обсязі, достатньому для розрахункових вправ фахового молодшого бакалавра.