

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт
з дисципліни "Методи отримання металів та сплавів"
для студентів спеціальності G8 "Матеріалознавство"
за освітньою програмою "Композиційні та порошкові
матеріали, покриття" денної форми навчання

2025

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни "Методи отримання металів та сплавів" для студентів спеціальності G8 "Матеріалознавство" за освітньою програмою "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укл.: О.А. Мітяєв, І.М. Сохрякова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 31 с.

Укладачі: Олександр МІТЯЄВ, д.т.н., проф.
Ірина СОХРЯКОВА, магістр., зав.лаб.

Рецензент: Іван АКІМОВ, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: І.М. Сохрякова, магістр., зав. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 1
від «11» вересня 2025 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні
матеріали, хімія та технології"
Протокол № 2
від «25» серпня 2025 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота № 1. Розрахунок шкідливих викидів доменної печі.....	5
Практична робота № 2. Аналіз енергоємності різних способів виробництва сталі.....	10
Практична робота № 3. Визначення питомої міцності та економічності сплавів.....	16
Практична робота № 4. Методи підготовки рудної сировини до перероблення.....	23
Рекомендована література.....	31

ВСТУП

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Методи отримання металів та сплавів» для студентів спеціальності G8 "Матеріалознавство" за освітньою програмою «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» спрямовані на підготовку фахівців, здатних ефективно виконувати професійну діяльність, та набуття ними компетентностей, що дозволяють вирішувати складні спеціалізовані та практичні задачі.

Матеріали, що наведено у методичних вказівках, не є науковою працею, а являє собою відомі факти з відкритих джерел, що викладено укладачами у певній послідовності з метою формування у пошукачів вищої освіти навичок до розв'язання складних спеціалізованих і практичних завдань, що пов'язані з отриманнями металів та сплавів.

При складанні методичних вказівок до практичних робіт авторський колектив використовував технічну інформацію, що викладено у джерелах [1–8].

Практична робота № 1 РОЗРАХУНОК ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Мета роботи

Ознайомитися з впливом доменного виробництва на екологію, навчитися виконувати розрахунки шкідливих викидів газів при обранні технології доменного виробництва.

Загальні відомості

Доменна піч застосовується для виготовлення чавуну (переробного, ливарного і дзеркального) та феросплавів (феромарганцю та феросиліцію). Відновником заліза, марганцю, кремнію та інших елементів у доменній печі є кокс, який має склад:

- 80...88% вуглецю,
- 0,5...1,8% сірки,
- 0,02...0,2% фосфору,
- 8...12% золи,
- 2...5% вологи.

Витрати коксу при варінні основного продукту доменної печі – переробного чавуну – коливаються від 400 до 500 кг/т чавуну в залежності від температури дуття, кількості допоміжних видів палива (вугільний пил, природний газ) та інших факторів.

Внаслідок горіння коксу та окислювально-відновлювальних реакцій, що відбуваються у печі, утворюється доменний (колошниковий) газ наступного складу (мас. %):

- 12...20 CO₂,
- 20...30 CO,
- 1...8 H₂,
- до 0,5 CH₄,
- 0,6...0,8 NO₂,
- 50...58 N₂.

Фізичне та хімічне тепло доменного газу використовується у повітряних нагрівачах (кауперах), де він допалюється разом з природним чи коксувальним газом та викидається в атмосферу. В

атмосферу попадає практично весь вуглець коксу у вигляді вуглекислого газу CO_2 та 10...20 % сірки, яка потрапляє в піч разом з коксом та рудою, у вигляді SO_2 (решта сірки розподіляється між металом та шлаком). Крім цього при спалюванні 1т коксу одержується близько 10 кг NO_2 .

На відміну від сірки та азоту вуглекислий газ не відноситься до токсичних хімічних сполук. Його вміст в атмосфері становить 0,03%. Вуглекислий газ пропускає від Сонця до Землі видиме сонячне проміння та затримує частину відбитого від Землі інфрачервоного випромінювання. Завдяки створеному ним так званому "парниковому ефекту" підтримується стабільний клімат на Землі.

За останні 25 років у зв'язку з роботою електростанцій, автотранспорту, металургійних заводів та інших, вміст CO_2 в атмосфері підвищився на 10 %. Розрахунки показують, що подальше збільшення концентрації CO_2 призведе до підвищення середньорічних температур (до потепління клімату), розтоплення льодовиків Антарктиди та Гренландії, підвищення рівня світового океану на 6...8 м та затопленню значної частини суші.

Викинуті в атмосферу оксиди азоту та сірки вступають у реакцію з водою, утворюють азотну та сірчану кислоти, які у вигляді "кислотних дощів" випадають на Землю. Оксиди азоту та сірки є токсичними газами, їх гранично допустимі концентрації (ГДК) у повітрі не повинні перевищувати 0,085 та 0,05 мг/м³ відповідно. Зрошення "кислотними дощами" землі призводить до закислення ґрунтів та зниження їх врожайності, до загибелі тварин і рослин у водоймах, до прискореного руйнування будинків тощо.

Завдання на підготовку до практичної роботи

Повторити теоретичний матеріал, що стосується питань отримання чавуну та феросплавів. Особливу увагу звернути на матеріали та технологічний процес, що застосовуються, а також вплив процесу на навколишнє середовище.

Порядок виконання практичної роботи

1. За вказівками викладача кожній підгрупі одержати індивідуальне завдання згідно з табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Індивідуальні завдання

№№ завдан-ня	Продуктивність доменної печі Q, т / доб	Вміст сірки в коксі, S, %	№№ завдан-ня	Продуктивність доменної печі Q, т / доб	Вміст сірки в коксі. S, %
1	2000	0,4	14	8000	1,2
2	4000	0,4	15	10000	1,2
3	6000	0,4	16	2000	1,6
4	8000	0,4	17	4000	1,6
5	10000	0,4	18	6000	1,6
6	2000	0,8	19	8000	1,6
7	4000	0,8	20	10000	1,6
8	6000	0,8	21	2000	2,0
9	8000	0,8	22	4000	2,0
10	10000	0,8	23	6000	2,0
11	2000	1,2	24	8000	2,0
12	4000	1,2			
13	6000	1,2			

2. Визначити кількість вуглекислого газу, діоксидів сірки та азоту, які утворюються протягом доби, m_i , т/доб:

$$m_{CO_2} = 0,0312QPC;$$

$$m_{SO_2} = 0,02QPS\eta_s;$$

$$m_{NO_2} = QPN,$$

де Q – добова продуктивність печі, т/доб.;

P – витрати коксу на 1 т виплавленого чавуну, т/т (у цій практичній роботі приймається $P = 0,5$ т/т);

C – вміст вуглецю в коксі, % (приймається $C = 85$ %);

S – вміст сірки в коксі, %;

η_s – частка сірки, яка згоряє в доменній печі (приймається $\eta_s = 0,15$);

N – кількість діоксиду азоту NO_2 , який виникає при згорянні 1 т коксу (приймається $N = 0,01$)

У формулах для визначення кількості вуглекислого газу та діоксиду сірки вже враховані атомні маси відповідних елементів та їх співвідношення.

3. Визначити об'єм вуглекислого газу, який утворюється протягом доби:

$$V_{\text{CO}_2} = 10^3 \frac{m_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}}, \text{ м}^3/\text{доб},$$

де ρ – густина вуглекислого газу, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\rho_{\text{CO}_2} = 1,98 \text{ кг}/\text{м}^3$).

4. Визначити добовий об'єм повітря, забруднений оксидами сірки та азоту до гранично допустимої концентрації (ГДК):

$$V = 10^9 \frac{m_i}{\Pi}, \text{ м}^3/\text{доб},$$

де m_i – маса діоксидів, що утворюються протягом доби, $\text{т}/\text{доб}$;
 Π – гранично допустима концентрація відповідного газу (приймається $\Pi_{\text{SO}_2} = 0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$; $\Pi_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ мг}/\text{м}^3$).

5. Порівняти результати викидів шкідливих газів, визначені різними підгрупами, та зробити відповідні висновки.

Обладнання, матеріали, інструмент

1. Калькулятор.

Вказівки з техніки безпеки

1. Перед ознайомленням з умовами доменного виробництва обов'язково прослухати інструктаж з техніки безпеки безпосередньо в цеху та усвідомити всі необхідні вимоги до цього виробництва.

2. При екскурсії по території цеху кожному студенту потрібно мати індивідуальні засоби захисту.

Зміст звіту

1. Назвати шкідливі гази, які входять у викиди доменної печі та причини їх утворення.
2. Записати вихідні дані індивідуального завдання.
3. Виконати розрахунки по визначенню маси викидів та об'ємів повітря, забруднених ними.
4. За даними декількох підгруп побудувати графіки залежності викидів шкідливих газів від продуктивності доменної печі та вмісту сірки у коксі.
5. Аналізуючи графіки, зробити висновки про вплив продуктивності доменної печі на величину шкідливих викидів та дати рекомендації щодо їх зниження.

Контрольні запитання

1. Для чого використовується доменна піч?
2. Що таке чавун?
3. Яке паливо використовується при отриманні чавуну та феросплавів?
4. Які продукти утворюються внаслідок доменного процесу?
5. Як вони впливають на навколишнє середовище?
6. Назвіть шляхи зменшення високотоксичних викидів?

Практична робота № 2

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЄМНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Мета роботи

Проаналізувати енергоємність способів виробництва сталі у залежності від технологічного процесу та складу вихідної шихти.

Загальні відомості

Металургія – один з найбільш енергоємних процесів. Тому сумарні витрати енергії і ступінь її використання на одиницю продукції можуть слугувати характеристикою основних економічних витрат на виробництво чавуну, сталі та інших металів.

Сумарні витрати енергії є інтегральними показниками, які відбивають витрати енергії як власне у технологічному процесі виробництва металу, так і на всіх попередніх стадіях виробництва, включаючи видобуток, переробку та транспортування енергоресурсів (природний газ, вугілля та ін.) та сировини (руда, флюси, рідкий чавун, вогнетриви та ін).

Основні способи виробництва сталі:

- у кисневих конвертерах,
- мартенівських,
- електродугових печах.

Ці способи відрізняються і за енергоємністю (тобто за витратами на виробництво), і за якістю готової продукції. В той же час навіть у межах одного способу виробництва сталі зміни складу шихти дозволяють змінити як витрати на готову продукцію так і якість виплавленої сталі.

При виконанні цієї практичної роботи постає можливість виявити, які технологічні процеси є сучаснішими та економічнішими для виробництва сталі необхідної якості.

Киснево–конвертерний процес – це варіння сталі з рідкого чавуну в конвертері з основною футерівкою шляхом продування киснем зверху через водоохолоджувану фурму.

Цей метод має ряд переваг:

- висока продуктивність виробництва (до 400...500 т/год.);
- низькі капітальні витрати на будівництво конвертерного цеху;
- процес зручний для автоматизації виробництва.

У кисневих конвертерах можна переробляти рідкий чавун будь-якого складу. Завдяки використанню чистого кисню теплоти окислення вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, які містяться у чавуні, з надлишком вистачає для нагрівання сталі до температури, необхідної для перебігу основних фізико-хімічних процесів варіння. Надлишок тепла дозволяє переробити у конвертері значну кількість металобрухту (до 25...30 % від маси чавуну).

Мартенівський процес ведуть на поду полуменевої регенеративної відбивної печі. Піч наповнюють шихтою (рідкий чавун, металобрухт, руда, феросплави та ін.), яка під дією факелу палива, що згоряє, поступово плавиться. Після розплавлення у ванну додають різноманітні добавки, щоб отримати метал потрібного хімічного складу та температури.

Варіння триває 6...8 годин. За цей час можна відкоригувати хімічний склад сталі. Тому в мартенівських печах виплавляють сталь будь-якого хімічного складу (у тому числі й леговані). Але продуктивність мартенівських печей становить 40...80 т/год, тобто в 6...10 разів нижче, ніж у кисневих конвертерах, їхнє будівництво й експлуатація вимагають великих капітальних витрат. Тому нові мартенівські печі зараз не будуються.

У залежності від співвідношення вихідних компонентів у шихті мартенівської печі розрізняють: скрап-рудний процес; скрап-процеси.

Скрап-рудний процес використовується тоді, коли до складу заводу входять доменний, мартенівський і прокатні цехи. Це дозволяє поставляти доменний чавун у мартенівський цех у рідкому стані. Шихта при скрап-рудному процесі складається на 50...70 % з рідкого чавуну, а решта скрап (відходи власного металургійного виробництва) і металобрухт. Вміст вуглецю в металі при скрап-рудному процесі регулюється введенням у завалку більшої чи меншої кількості залізної руди. Найчастіше витрати залізної руди становлять 12...16 % від маси металевої шихти. Зі збільшенням витрат руди вміст вуглецю в розплаві зменшується. Мартенівський скрап-рудний процес

здійснюється у великих печах (до 500 т) із застосуванням кисню для інтенсифікації фізико – хімічних процесів варіння сталі.

При скрап–процесі в складі шихти переважає скрап. Невелика кількість чавуну надходить до завалки у твердому стані. Співвідношення між кількістю скрапу, що завалюється, і чавуну визначається складом чавуну і скрапу, окислювальною здатністю печі і маркою сталі, що виготовляється. Кількість вуглецю у сталі залежить від кількості чавуну в шихті. Якщо чавуну немає чи дуже мало, необхідну кількість вуглецю вводять з карбонізаторами (вугілля, кокс, електродний бій та ін.). Скрап–процес реалізується в печах середнього тоннажу (150...200 т) без застосування кисню.

В електродугових печах джерелом тепла є дуга, що горить між електродами й металевою завалкою печі або між електродами. Регулюючи електричні параметри дуги, можна істотно впливати на хід процесу сталеваріння. Як шихту завантажують металобрухт, у тому числі й з легованих відходів. При необхідності окислювання надлишкового вуглецю й інших домішок у піч присаджують залізну руду або подають кисень. В той же час у печі можна створити ізольовану інертну чи відновлювальну атмосферу при варінні високолегованих сталей високої якості. Електродугові печі мають продуктивність 80...120 т/год.

В електропечах можна варити сталь і сплави будь–якого складу з мінімальним вмістом шкідливих домішок, неметалевих включень. Тому високолеговані, інструментальні, нержавіючі, жаростійкі і жароміцні сталі і сплави відповідального призначення варять лише в електричних печах.

Зараз у сталеплавильному виробництві у зв'язку з широким використанням недостатньо добре розсортованого металобрухту виникла проблема забруднення металу небажаними легуючими елементами (зокрема міддю). Для виробництва вуглецевих сталей високої чистоти в шихту електродугових печей додають до 80% металізованих окатишів, отриманих прямим відновленням із залізної руди.

У практичній роботі аналізується сім технологічних процесів:

1. Киснево–конвертерний, в якому вся шихта складається з рідкого чавуну;
2. Киснево–паливний, у шихті якого 50% рідкого чавуну і 50% твердого металобрухту;

3. Киснево–паливний, в якому вся шихта складається з твердого металобрухту;

4. Мартенівський скрап–рудний процес при долі металобрухту 45 %;

5. Мартенівський скрап–процес, в якому використовується 100% металобрухту;

6. Електродуговий процес, в якому використовується 100 % металобрухту;

7. Електродуговий процес, у шихті якого 25 % металобрухту і 75 % металізованих окатишів.

Склад шихти, витрати електроенергії й інших допоміжних матеріалів для кожного технологічного процесу, а також питома енергоємність виробництва кожного компоненту подані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад шихти для виробництва 1 т вуглецевої сталі і питома енергоємність компонентів.

Компоненти шихти і матеріали, що витрачаються	Питома енергоємність \mathcal{E} , МДж/од	Витрати матеріалів т, од., за варіантами технічних процесів						
		1	2	3	4	5	6	7
Чавун, кг	23,8	1280	605	-	597	-	-	-
Металобрухт, кг	0,2	-	495	1093	489	1080	1064	300
Металізовані окатиші, кг	14,0	-	-	-	-	-	-	900
Феросплави, кг	62,7	15	15	15	15	15	15	15
Кокс, кг	40,4	-	-	-	-	30	6	-
Антрацит, кг	31,0	-	14	85	-	-	-	-
Мазут, кг	41,0	-	-	-	20	50	-	-
Природний газ, м ³	37,6	-	11	37	50	130	-	-
Електроди, кг	186,0	-	-	-	-	-	4,7	7,0
Кисень, м ³	5,8	52	82	115	40	-	25	12
Вогнетриви, кг	16,5	5	6	10	11	15	12,3	16,5
Вапно, кг	5,4	80	70	70	10	10	70	70
Електроенергія, кВт/год	11,25	-	-	-	-	-	540	665

Завдання на підготовку до практичної роботи

При підготовці до практичної роботи повторити теоретичний курс, що стосується процесів виробництва сталі.

Порядок виконання практичної роботи

1. Групу поділити на підгрупи по 3...4 студента. Кожній підгрупі за указівкою викладача проаналізувати один з зазначених вище технологічних процесів виробництва сталі.

2. Після одержання завдання технологічного процесу з таблиці 1 вписати кількість m_i компонентів шихти й інших матеріалів необхідних для виробництва 1т вуглецевої сталі. Для кожного компоненту вписати питому енергоємність його виробництва \mathcal{E}_i .

3. Визначити витрати первинної енергії на виробництво 1т вуглецевої сталі за заданою технологією, підсумовуючи енергетичні витрати по кожному компоненту:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i m_i .$$

4. За даними різних підгруп порівняти витрати первинної енергії на виробництво 1т вуглецевої сталі різними технологічними процесами.

Обладнання, матеріали, інструмент

1. Калькулятор.

Вказівки з техніки безпеки

1. Перед ознайомленням з умовами доменного виробництва обов'язково прослухати інструктаж з техніки безпеки безпосередньо в цеху та усвідомити всі необхідні вимоги до цього виробництва.

2. При екскурсії по території цеху кожному студенту потрібно мати індивідуальні засоби захисту.

Зміст звіту

1. Коротко описати основні способи виробництва сталі: киснево–конвертерний, мартенівський і електродуговий; їх особливості, переваги і недоліки, область застосування.

2. Описати технологічні особливості аналізованого (за завданням викладача) технологічного процесу виробництва сталі.

3. Для технологічного процесу, що вивчається, записати у вигляді таблиці кількість кожного з компонентів m_i , що витрачаються, і питому енергоємність їх виробництва \mathcal{E}_i . Записати розрахунки енергетичних витрат на виробництво 1 т сталі за заданим варіантом технологічного процесу.

4. За даними різних підгруп порівняти енергетичні витрати на виробництво 1 т сталі по усіх варіантах технологічних процесів виробництва сталі.

5. Навести висновки по виконаній роботі, визначивши кращий і гірший серед розглянутих способів виробництва сталі за показниками: енергетичні витрати (витрати на виробництво); продуктивність; якість отриманої сталі.

6. Відзначити переваги і недоліки технологій, що передбачають використання у шихті значних кількостей металобрухту.

Контрольні запитання

1. Які енергоресурси використовуються при виробництві сталі?
2. Назвіть основні способи виробництва сталі.
3. В чому суть киснево–конвертерного процесу?
4. Який процес називається киснево–паливним?
5. Дайте характеристику мартенівського процесу.
6. Що таке скрап–рудний та скрап–процес?
7. Як виробляють сталі в електродугових печах?
8. Які сталі дозволяє виробляти кожен із способів?

Практична робота № 3 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ МІЦНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ СПЛАВІВ

Мета роботи

Набути практичні навички по визначенню питомої міцності групи сплавів; обрати оптимальний сплав за техніко–економічним показниками.

Загальні відомості

Механічні властивості відносяться до числа основних характеристик, які визначають надійність та довговічність деталей механізмів та машин. У процесі роботи деталі машин підлягають різним видам навантажень.

Для того, щоб визначити працездатність сплавів у різних умовах навантаження проводять випробування на розтягання, стиск, вигин, кручення і т.д. При цьому під дією прикладених до випробуваного зразка навантажень у металі виникають напруги σ , що дорівнюють відношенню навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Напруги викликають пружну, тобто зникаючу після зняття навантаження, і пластичну (залишкову) деформації. Пластична деформація в машинах і спорудженнях неприпустима.

Здатність сплаву опиратися деформації і руйнуванню характеризує його міцність, здатність деформуватися без руйнування – його пластичність.

Для визначення характеристик міцності і пластичності матеріалу проводять випробування на розтягання (рис. 3.1).

Зразок розтягується до руйнування. Під час випробування визначають максимальне навантаження P_b (Н), що витримав зразок перед руйнуванням. Тоді **основна характеристика міцності – границя міцності** (тимчасовий опір) – визначається як:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \text{ МПа,}$$

де F_0 - поперечний переріз зразка до випробування, м².

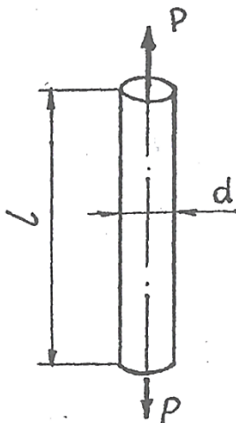


Рисунок 3.1 – Схема випробування зразка на розтягання

За результатами вимірів довжини зразків до і після випробування на розтягання визначають один з показників пластичності – відносне подовження:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

де l_0 – довжина зразка до розриву, мм;

l_k – довжина зразка після розриву, мм.

Твердістю називається властивість поверхневого шару матеріалу опиратися впровадженню в нього іншого, більш твердого тіла (індентора) визначеної форми і розмірів. Чим вища твердість, тим, як правило, вищий опір матеріалу зношуванню.

Найбільш часто для визначення твердості застосовують **метод Брінелля** (рис. 3.2). У результаті вдавнення кульки діаметром D у поверхню зразка утвориться сферичний відбиток (лунка).

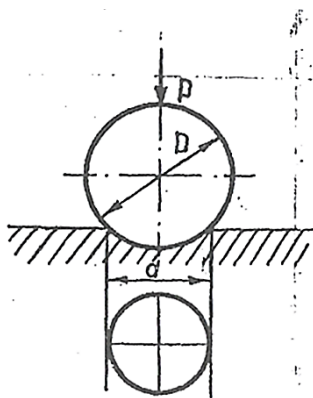


Рисунок 3.2 – Схема визначення твердості за методом Брінелля

Діаметр відбитка вимірюють за допомогою спеціального приладу (лупи Брінелля), на окулярі якого нанесена вимірювальна шкала. Число твердості за Брінеллем HB , визначається відношенням навантаження $P(N)$, що діє на кульку, до площі отриманого відбитка, m :

$$HB = 0,102 \cdot \frac{P}{F} = 0,204 \cdot \frac{P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Щоб не вдаватися до тривалих обчислень, на практиці користуються стандартною таблицею для визначення твердості в залежності від P , D і d .

В умовах експлуатації багато деталей і конструкцій можуть крихко руйнуватися під дією ударних навантажень. Оскільки статичні випробування на розтягування не відбивають цілком опір матеріалів крихкому руйнуванню при ударних навантаженнях, застосовують динамічні випробування на ударний вигин (на ударну в'язкість).

Ударна в'язкість КС (рис. 3.3) являє собою питому роботу, витрачену на деформацію і руйнування зразка, і визначається відношенням роботи ударного руйнування шляхом вигину K (Дж), до площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу (руйнування) F , (m^2).

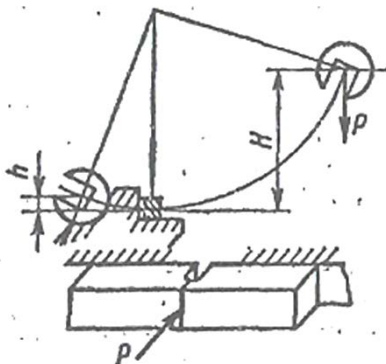


Рисунок 3.2 – Схема визначення ударної в'язкості: P – вага маятника; H та h – висота підйому маятника до і після удару

У залежності від форми надрізу (U, V, T – подібний, у вигляді тріщини) при позначенні ударної в'язкості вводиться третій індекс: KCU, KCV, KCT.

При розрахунках на міцність для визначення розмірів поперечного перерізу конструкції використовують величину максимально припустимої напруги:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{K},$$

де K – коефіцієнт запасу міцності (звичайно $K = 2 \dots 5$).

Цим досягається те, що максимально діюча в конструкції напруга не буде перевершувати напругу, при якій починається пластична деформація конструкції.

Поперечний переріз деталі, а отже, і її маса, будуть тим менше, чим вища границя міцності $\sigma_{\text{в}}$.

Крім того, маса деталі залежить також від щільності сплаву, з якого вона виготовлена. У ряді випадків, наприклад, при виробництві ракет, літаків та іншого, маса деталей визначає винятково важливу роль. У цих випадках при виборі матеріалу конструкції істотну роль

відіграє його питома міцність, що являє собою відношення границі міцності до щільності $\frac{\sigma_B}{\gamma}$

При виборі матеріалу деталей машин враховується не тільки міцність, щільність, але і вартість матеріалу, що йде на виготовлення конструкції. Тому в практичній роботі ставиться завдання вибрати матеріал, що забезпечує найменшу масу і вартість деталі.

Завдання на підготовку до практичної роботи

При підготовці до практичної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується визначення механічних властивостей матеріалів.

Порядок виконання практичної роботи

1. Одержати індивідуальне завдання за табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Індивідуальне завдання

Варіант	Умови завдання				№ сплаву, який забезпечує	
	P, МН	l, мм	d, мм, не більше	Матеріали до розрах. за табл. 2	Мінімальну вартість деталі	Мінімальну масу деталі
1	0,20	500	40	6, 7, 8, 9, 10		
2	0,32	600	40	1, 3, 4, 8, 11		
3	0,15	700	35	2, 4, 6, 7, 10		
4	0,25	800	35	1, 3, 6, 8, 12		
5	0,45	900	50	2, 4, 6, 8, 10		
6	0,55	1000	50	2, 3, 5, 6, 9		
7	0,50	1100	55	1, 3, 5, 7, 8,		
8	0,60	1200	55	1, 3, 6, 10, 12		

2. Для заданих матеріалів, використовуючи дані табл. 3.2, при коефіцієнті запасу міцності $K = 2$ визначити розрахунковий діаметр стержня:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot \sigma_{дон}}}, \text{ м.}$$

Таблиця 3.2 – Властивості сплавів

№ матеріалу	Матеріал	Границя міцності, σ_B , МПа	Густина, γ , г/см ³	Питома міцність σ_B/γ	Вартість, СМ, у.г.о./т
1	Сталь вуглецева	550	7,8	70,5	180
2	Сталь низьколегована	650	7,8	83,3	290
3	Сталь термозміцнень	1000	7,8	128,2	320
4	Сталь мартенситостаріюча	2000	7,8	256,4	5200
5	Чавун домений (відливок)	150	7,2	20,8	140
6	Чавун сірий (відливок)	250	7,2	34,7	400
7	Чавун високоміцний	600	7,2	83,3	460
8	Алюмінієвий сплав	400	2,7	148,1	1200
9	Алюмінієвий композиційний матеріал	1100	2,6	423,0	2600
10	Магнієвий сплав	350	1,7	205,9	2700
11	Магнієвий композиційний сплав	1200	2,2	545,5	6100
12	Титановий сплав	1500	4,5	333,3	6400

3. Виходячи з обмежень за діаметром стержня, вибрати з матеріалів завдання матеріали, придатні для виготовлення стержня.

4. Визначити масу і вартість стержнів з матеріалів, обраних у п.3.

5. Указати матеріали, що забезпечують мінімальну вартість і масу стержнів.

6. Порівняти розподіл аналізованих стержнів за масою з питомою міцністю їх матеріалів.

Вказівки з техніки безпеки

1. При роботі на механічному обладнанні знаходитись на безпечній відстані від рухомих частин машин.
2. При вимірюванні твердості особливу увагу звертати на правильність розташування зразків та уникати знаходження рук поблизу індентора твердоміру.
3. При роботі на маятниковому копрі впевнитись у справності захисної огорожі та встановлювати зразки на копер лише за допомогою спеціального пристрою.

Зміст звіту

1. Дати коротку характеристику міцності, пластичності, твердості й ударної в'язкості й описати, як їх визначають.
2. Відповідно до отриманого завдання навести розрахунки розмірів, маси і вартості стержнів із заданих матеріалів.
3. Побудувати графічну залежність маси стержня від питомої міцності матеріалу.
4. Зробити висновки з роботи, проаналізувати залежність маси стержня від питомої міцності і вибрати матеріали, що забезпечують найменшу вартість і масу стержня.

Контрольні запитання

1. Які показники механічних властивостей визначають під час випробувань на розтяг?
2. За якими формулами визначаються показники міцності та пластичності?
3. В яких одиницях вимірюються показники міцності та пластичності?
4. Для чого використовують величину максимально припустимої напруги $\sigma_{\text{доп}}$?
5. З яких міркувань призначається коефіцієнт запасу міцності?
6. Що таке питома міцність?
7. В яких випадках враховується питома міцність?

Практична робота № 4

МЕТОДИ ПІДГОТОВЛЕННЯ РУДНОЇ СИРОВИНИ ДО ПЕРЕРОБЛЕННЯ

Мета роботи

Ознайомитись з основними видами та характеристиками процесів підготування рудної сировини до подальшого перероблення.

Загальні відомості

Кожний вид сировини перш ніж з нього почнуть виготовляти продукцію потребує відповідного підготування. Так, тверду мінеральну сировину насамперед подрібнюють, потім отримані куски сортують за розмірами та збагачують, а в разі потреби укрупнюють (агломерують або грудкують).

Подрібненням називають розділення великих кусків твердої сировини на менші або на порошок.

Подрібнюють сировину для того, щоб збільшити поверхню взаємодії реагуючих речовин (складових сировини). За таких умов час перетворення сировини на продукцію зменшується.

Мінеральну сировину подрібнюють:

- розколенням,
- розбиванням,
- розтиранням.

Розколенням і розбиванням подрібнюють тверді та крихкі речовини, розтиранням – пластичні.

Подрібнення проводять на:

- дробарках,
- млинах,
- різачках,
- різальних машинах.

Дробарки використовують для отримання великих (300 – 100 мм), середніх (50 – 10 мм) і малих (10 – 2 мм) кусків.

Конструкції дробарок різні. Схему дробильних вальців, на яких подрібнюють тверду мінеральну сировину зображено на рис. 4.1, де 1 – вальці, 2 – сировина.

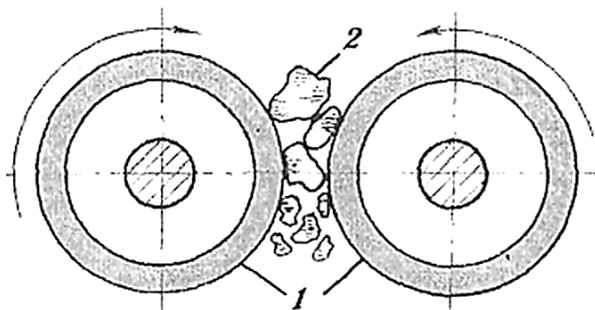


Рисунок 4.1 – Схема дробильних вальців

Для подрібнення твердої мінеральної сировини найчастіше використовують **кульові млини**. У кульових млинах (рис. 4.2) сировина подрібнюється за допомогою металевих куль 2, які разом з сировиною 3 засипають в обертовий пристрій 1 млина. Пристрій обертається, кулі падають від одної стінки до іншої, подрібнюючи та розмелюючи сировину.

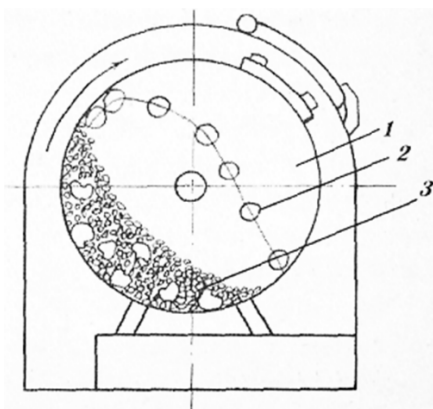


Рисунок 4.2 – Схема кульового млина

При подрібненні сировина може бути сухою та мокрою.

При мокрому подрібненні до сировини додають рідину, найчастіше воду. Пульпа містить до 70 % твердої речовини, решта

рідина. Мокре подрібнення екологічно чисте, оскільки дрібні частини не викидаються її повітря і не забруднюють довокілля.

Сортуванням називають розділення подрібненої сировини на окремі фракції за допомогою решіт і сит.

Фракцією (від лат. «fraction – розламування») називають певного розміру частинки твердої сировини.

Фракції великих за розміром кусків отримують розділенням подрібненої сировини на решетах, малих на ситах. У першому випадку кажуть решетування, у другому – просіювання або ситування.

Для нормального ходу технологічного процесу необхідно, щоб поверхня кусків реагуючих речовин (складових сировини) була оптимальною. Так, у процесі виробництва чавуну оптимальну поверхню мають куски руди розміром 10 – 80 мм. Якщо розмір кусків менший від 10 мм, то вони виносяться з печі разом із доменним газом; якщо розмір перевищує 80 мм, то продовжується час перебування сировини в печі, а це значно впливає на продуктивність печі та собівартість чавуну.

Збагаченням називають очищення сировини від речовин, непотрібних для отримання запланованої продукції.

Тверді речовини збагачують:

- промиванням водою,
- гравітацією,
- магнітацією,
- флотацією.

Промиванням водою збагачують, наприклад, залізну руду, внаслідок чого вимивається глина. Гравітаційне збагачення ґрунтується на різній швидкості падіння кусків мінералів у воді або повітрі, оскільки вони мають різну густину.

Магнітацією збагачують руди, до складу яких входять мінерали, які мають магнітні властивості. Суть цього способу збагачення полягає в тому, що подрібнену руду (куски розміром до 0,1 мм) подають у пристрій, в якому є магнітне поле. Під дією магнітного поля куски руди, що мають магнітні властивості притягуються, інші опадають. У промисловості використовують магнітні сепаратори (лат. «separator» – відокремлювач) стрічкового та обертового типів. Сировина може бути сухою або мокрою.

Найперспективнішим є **обертовий сепаратор** (рис. 4.3), яким збагачують мокру сировину, оскільки менше забруднюється довокілля.

Подрібнену сировину у вигляді пульпи 3 подають на поверхню обертового барабана 1. При обертанні барабана немагнітні куски 4 осипаються, магнітні 5, затримуються до виходу з поля дії електромагніта 2.

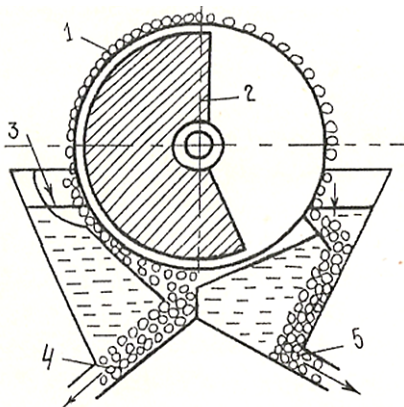


Рисунок 4.3 – Схема обертового магнітного сепаратора

Флотаційне збагачення (англ. «floatations, буквально – плавання) – універсальний і найдосконаліший спосіб яким збагачують майже всі мінерали. Суть цього способу полягає у різних поверхневих властивостях складових мінералів. Одні складові краще змочуються водою і повністю занурюються в неї, інші – гірше і спливають на поверхню. Для прискорення процесу розділення використовують спеціальні речовини, які називають флотореагентами, наприклад ялицева олія при збагаченні мідної руди.

Збагачення проводять у флотаційних машинах (рис. 4.4). Для прикладу розглянемо збагачення мідної руди. Подрібнену руду (куски розміром до 0,1 мм) разом із водою і флотореагентом, якого додають 50 – 300 г на 1 тону руди, подають у флотаційну машину через отвір 1. Пульпу (подрібнена руда, вода, та флотореагент) продувають повітрям через дно машини 2, виготовлене з пористого матеріалу. Бульбашки повітря підхоплюють змочені флотореагентом куски руди, що містять мідь і виносять їх на поверхню 3. Куски, які не мають потрібного елемента міді (порода), осідають на дно, звідки їх випускають отвором 4.

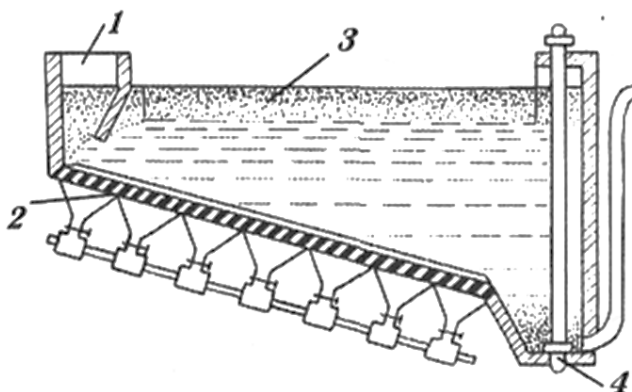
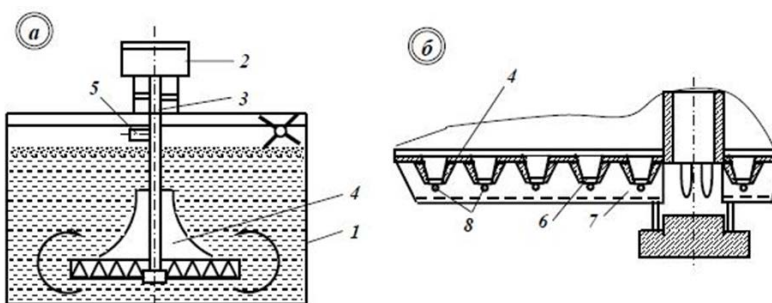


Рисунок 4.4 – Схема флотаційної машини

Запатентовано універсальну флотаційну машину, у якій пристрій, за допомогою якого подають повітря, вібрує (рис. 4.5). Цей захід дав змогу збільшити швидкість флотації у 5 – 8 разів, зменшити витрати енергії у 6 – 8 разів, повітря – у 2 – 3 рази, а вміст міді в концентраті збільшити вдвічі.



1 – корпус камери; 2 – електромагнітний вібратор; 3 – порожня штанга; 4 – імпелер; 5 – штуцер; 6 – конусні отвори; 7 – радіальні труби; 8 – отвори.

Рисунок 4.5 – Схема флотаційної машини з вібраційним аератором: а – розріз; б – вібраційний аератор

Суміші рідинних речовин збагачують випаровуванням розчинника, виморожуванням, виведенням домішок в осад тощо.

Суміші газових речовин розділяють на складові послідовною конденсацією газів при їх стисненні та пониженні температури і за допомогою мембран.

Агломерацією (від лат. «agglomerо» – нагромаджую, приєдную) називають спікання дрібних, порошкових речовин, непридатних, для використання у грудки оптимального розміру. Під час спікання сировину продувають повітрям, завдяки чому продукція стає пористою, її називають *агломератом*.

При агломерації залізних руд до складу шихти входять подрібнена залізна руда, кокс, флюс (вапняк) та вода. Отриману масу опікають за температури 1500°C на агломераційному стрічковому конвеєрі. Під час спікання шихта очищається від сірки (на 85 – 90 %) й арсену; частково відновлюється залізо.

Отриману продукцію називають *офлюсованим агломератом*. Використання офлюсованого агломерату для виробництва чавуну спрощує ведення технологічного процесу, підвищує продуктивність доменної печі.

Грудкуванням називають виготовлення грудок з подрібненої руди, пилу, невеликої кількості глини або вапняку та води з наступним висушуванням та випалюванням.

Подрібнену руду, пил і глину або вапняк, які виконують роль зв'язки, перемішують, зволожують водою та подають в обертвий пристрій, який називають гранулятором. У процесі обертання гранулятора шихта пересипається з одного місця на інше, злипається, утворюючи грудки діаметром 20 – 30 мм. Отримані грудки висушують за температури 200 – 400°C і випалюють в печах за температури 1200 – 1400°C для надання їм міцності. Грудки випалюють у відновній атмосфері, яка частково відновлює оксиди заліза. Використання грудок при виробництві чавуну збільшує продуктивність доменної печі.

Якість сировини зумовлюється сукупністю її фізичних, механічних, хімічних і технологічних властивостей.

Вибір і якість сировини визначають режим роботи та продуктивність обладнання, впливають на якість і собівартість продукції.

Так, для виробництва чавуну використовують руди з різним вмістом заліза. У разі великого вмісту заліза з руді зменшуються затрати на підготовлення руди до перероблення та витрата палива

(коксу або природного чи іншого газу), зростає продуктивність доменної печі і навпаки, якщо вміст заліза малий, то збільшуються затрати на підготовлення руди та витрати палива і зменшується продуктивність печі. При використанні руд з великим вмістом домішок (фосфор, сірка та інші) і породи, збільшуються витрати палива, флюсу, зменшується продуктивність печі та погіршується якість чавуну.

Для виготовлення якісної продукції необхідно дотримуватися таких вимог:

- якісна сировина та паливо;
 - досконале обладнання (агрегати, верстати, печі, апарати тощо);
 - відповідна новітня технологія.
- Усі ці вимоги взаємопов'язані.

Порядок виконання практичної роботи

1. Ознайомитись з принципом дії обладнання, що задіяно в процесах подрібнення вихідної сировини.
2. Ознайомитись з обладнанням, що використовують при збагаченні сировини та технологічною схемою його роботи.
3. Вивчити з якою метою проводиться агломерація та грудкування. Скласти схеми технологічних процесів та навести їх у звіті.

Зміст звіту

1. Дати відповіді на контрольні запитання.
2. Навести схеми технологічних процесів пов'язаних з агломерацією та грудкуванням.
3. Зробити висновки по роботі, проаналізувати зв'язок основних етапів підготування вихідної сировини з кінцевою якістю продукції.

Контрольні запитання

1. З якою метою проводять подрібнення сировини та яке обладнання при цьому використовують?
2. Яким чином і для чого проводять сортування сировини?

3. Яку мету переслідують процеси збагачення сировини?
Назвіть їхні різновиди та коротко охарактеризуйте кожен з них.
4. Для чого проводять процеси агломерації та грудкування?
Коротко охарактеризуйте їхню сутність.
5. Якими основними факторами визначається якість продукції?

Рекомендована література

1. Єгоров С.Г. Фізико-хімічні процеси виробництва кольорової металургії : Підручник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний, Р.М. Воляр // Під ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 202 с.
2. Єгоров С.Г. Конструкції агрегатів кольорової металургії : Підручник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний, Р.М. Воляр // Під ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 230 с.
3. Єгоров С.Г. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : Навч. посібник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний // За ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – 292 с.
4. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали : Підручник / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. – Запоріжжя : «ВАЛПІС–ПОЛІГРАФ», 2010. – 536 с.
5. Volchok I.P. Material Science and Technology of Structural Materials / I.P. Volchok, S.B. Belikov, V.V. Gazha // Under editor-ship of I.P. Volchok, Professor, D.Sc. (Engineering) – Zaporizhzhya : ZNTU; Dike Pole, 2009 – 284 p.
6. Богуслаєв В.О. та ін. Авіаційно-космічні матеріали та технології : Підручник / В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, Н.Є. Калініна, В.Ф. Мозговий, В.Т. Калінін. – Запоріжжя : Видавництво ВАТ «Мотор Січ», 2009. – 383 с.
7. Дурягіна З.А. Сплави з особливими властивостями : Навч. посібник / З.А. Дурягіна, О.Я. Лизун, В.Л. Пілошенко. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 236 с.
8. Волчок І.П. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії : Навч. посібник / І.П. Волчок, В.М. Плєскач, І.А. Шестаков // За заг. ред. д.т.н., проф. Волчка І.П. – Запоріжжя : ЗНТУ; Дике Поле, 2006. – 360 с.