


**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ:

**методичні рекомендації
до виконання практичних робіт**

Запоріжжя 2024



УДК 669(072)
072

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 3 від «22» листопада 2024 р.)

Укладачі:

Синегін Є. В., канд. техн. наук, доцент,
Малій Х. В., канд. техн. наук., доцент,

О72 Основи металургійних технологій: методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад.: Є. В. Синегін, Х. В. Малій. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 37 с.

У методичних рекомендаціях наведено теоретичні відомості та завдання до практичних робіт, які виконуються в процесі вивчення дисципліни. Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 136 Металургія.

УДК 669(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП	4
Правила виконання практичних робіт	4
Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання	4
Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА 1	
Конструкція доменних печей і характеристика обладнання доменного цеху	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА 2	
Техніко-економічні показники доменного виробництва	11
ПРАКТИЧНА РОБОТА 3	
Сталеплавильні агрегати, їх будова та принцип роботи	15
ПРАКТИЧНА РОБОТА 4	
Параметри процесу безперервного розливання	24
ПРАКТИЧНА РОБОТА 5	
Параметри деформації в процесі прокатки	29
ПРАКТИЧНА РОБОТА 6	
Силкові параметри в процесі прокатки	31
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35



ВСТУП

Основи металургійних технологій – обов'язковий курс металургійної підготовки, який дозволить ознайомитись з основними технологіями і агрегатами металургійного виробництва та процесами, що у них відбуваються. Курс дає уявлення про весь технологічний ланцюжок виробництва сталі та його ключові етапи.

Практична складова має важливе значення для формування професійних навичок майбутніх металургів. Вона дозволяє здобувачам вищої освіти не лише отримати теоретичні знання, але й застосовувати їх у реальних умовах виробництва. Практична частина курсу націлена на ознайомлення та засвоєння з основним обладнанням переділів металургії та елементарними розрахунками в технологічних процесах металургійного виробництва.

Правила виконання практичних робіт

1. Практичні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.

2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажується в систему Moodle в розділі відповідного курсу.

3. Оцінка за практичну роботу виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків та висновків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свою роботу та підвищити оцінку.

Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання

Звіт повинен містити найменування даної роботи, ПІБ здобувача освіти та його групу, виконані розрахунки, за потреби висновки і практичні рекомендації.

Практичні роботи здобувачами виконуються в ручному режимі або з викосританням за допомогою обчислювальної техніки. Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за виконання кожної практичної роботи – 5 балів.

Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, приймав(ла) активну участь у виконанні завдання, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття)
4	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття), але припустив(ла)ся незначних помилок
3	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, повністю виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали відповідно до методичних рекомендацій в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
2-1	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, частково або з суттєвими помилками виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутня на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

Конструкція доменних печей і характеристика обладнання доменного цеху

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією домни і обладнанням доменного цеху; сформуванати розуміння про переділ металургійного виробництва.

Теоретичні відомості

Доменна піч (домна) - це вертикальний плавильний агрегат шахтного типу, який дозволяє виплавити з залізної руди чавун за допомогою нагрівання в умовах відновлювальної реакції (рис. 1.1). Робота доменної печі проходить без зупинки, завантаження вихідної сировини відбувається постійно.

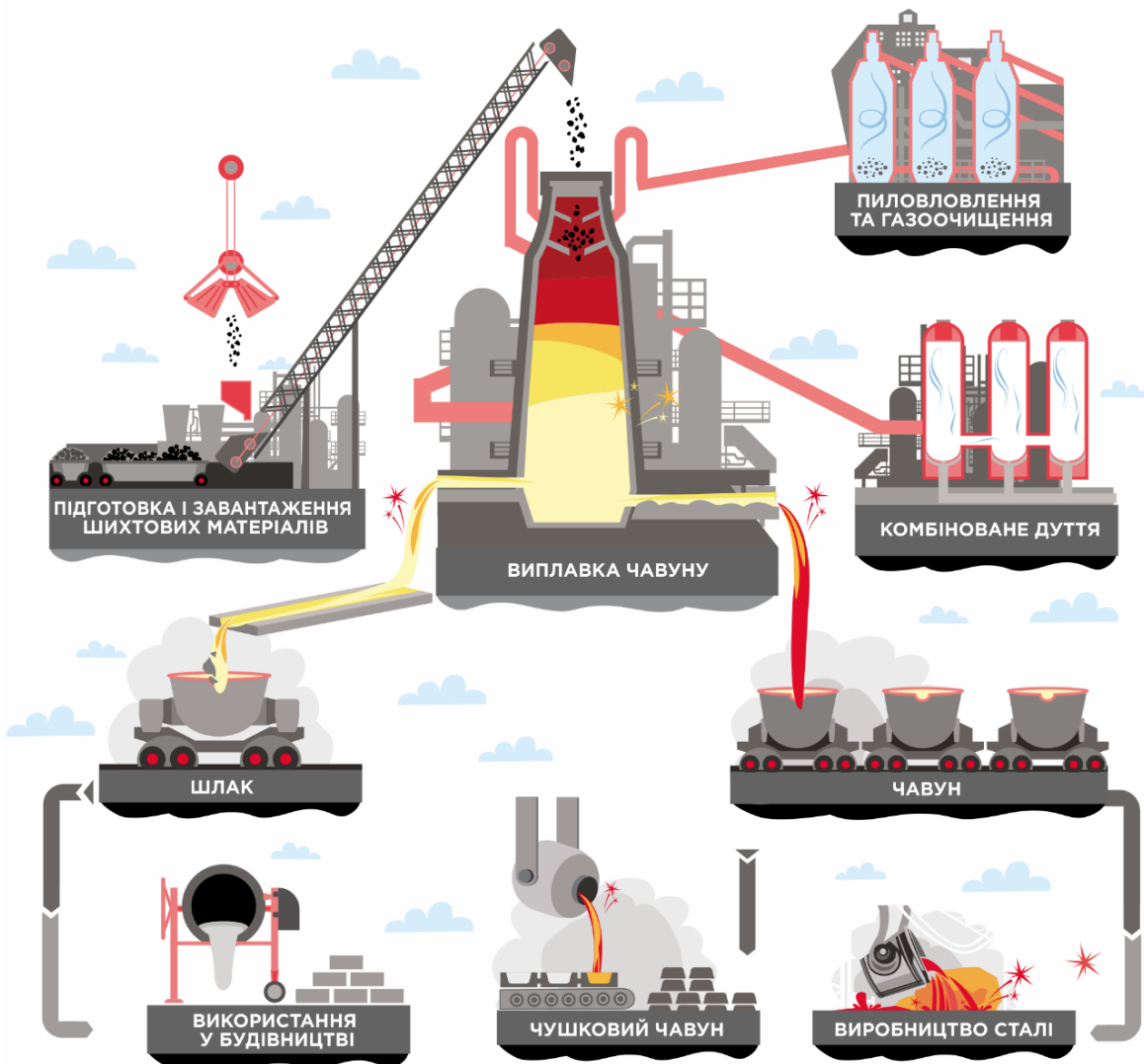


Рисунок 1.1 - Схема доменного виробництва [1]

недостатня, матеріали переходять в нижню частину печі слабо відновленими, а щоб забезпечити високу газопроникність стовпа шихти протягом усього плавильного процесу, шахта розширюється зверху вниз [2].

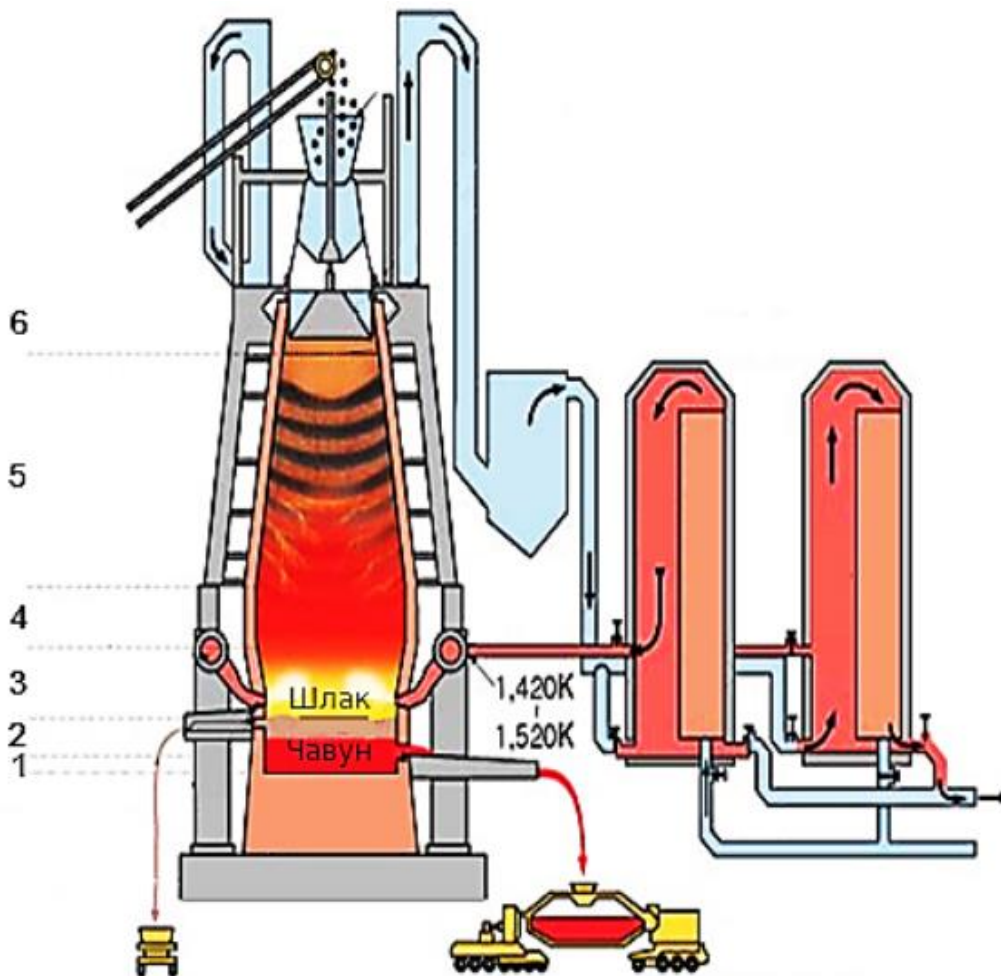



Рисунок 1.2 – Конструкція доменної печі і основні елементи: 1 – під, 2 – горн, 3 – запличики, 4 – розпар, 5 – шахта, 6 – колошник [4]

Розпар. Циліндрична частина печі, що має найбільший діаметр й забезпечує плавний перехід шахти в запличики. У профілі домни розпар розташований відповідно до початку етапу шлакоутворення. За рахунок його широких габаритів знижується швидкість руху газів в зоні шлакоутворення і попереджається підвисання шихти, бо в момент переходу залізородних матеріалів у тістоподібні маси знижується проникність шару шихти й зростає гідродинамічний опір [2].

Запличики. Ця частина печі має форму перегорнутого усіченого конуса. Це дозволяє направити газові потоки з зони горіння до «рудного гребеня» й уповільнює темп руху шихтового стовпа вниз [2].

Горно. Воно уявляє собою нижню циліндричну частину домни й складається з двох частин: фурменної зони та металоприймача. У фурменній зоні знаходяться фурменні отвори та прилади, за допомогою



яких в домну під тиском подається нагріте повітряне дуття. А в металоприймачі, що збирає рідкий чавун та шлак, розташовані отвори для їх випуску [2].

Під. Це подина металоприймача. З огляду на масогабаритні параметри та принцип роботи доменної печі, під є одним з її найбільш відповідальних елементів. Він відчуває значний гідростатичний тиск і температурні напруження й тому виконується з вуглецевого та високоглиноземистого матеріалу й має особливий вид охолодження [2].

Фундамент. Доменна піч є унікальною спорудою, що має колосальну масу. Іноді на 1 м³ її корисного об'єму може сягати 12...15 тонн вагового навантаження, створюваного конструкцією самої печі, завантаженою шихтою та розплавом. Щоб передати таке навантаження на ґрунт рівномірно, мінімізувати осадку та термічне старіння, фундамент доменної печі зводиться двошаровим: нижня частина є масивною підшовою, верхня – пень. Підшова виконується з бетону марки не нижче 400 та гравійного наповнювача. Консольні частини її армуються сталлю. Пень виконується з вогнетривких матеріалів і завантажуються у циліндричний кожух, поверх якого створюється стакан з шамотного вогнетриву [2].

шихтовій двір, повітряні нагрівачі (каупера) і інші пристрої для подачі гарячого дуття, чавуно- і шлаковозні ковши, ливарний двір з розливними машинами і ін [3].

Завантаження шихти проводиться через спеціальний засипний апарат, розташований у верхній частині – в колошнику. Сирі матеріали (шихта) подаються на колошник по похилому мосту двома скіповими підйомниками. При цьому рудну частину шихти і кокс завантажують роздільно. Шихта спочатку потрапляє на малий конус засипного апарату, який для забезпечення більш рівномірного завантаження шихти у великий конус, повертається навкруги осі. Механізм опускання малого і великого конусів влаштований так, що вони опускаються не одночасно, щоб запобігти викиду доменних газів і шихтового пилу в атмосферу. При опусканні великого конуса шихта потрапляє в піч і поступово опускається вниз [3].

Роботу печі забезпечують спеціальні ділянки доменного цеху:

Доменна піч працює на принципі протитечії: зверху вниз – потік шихтових матеріалів, а від низу до верху – потік газів, які утворилися в результаті того, що згорає паливо [3].

В нижній частині печі (між заплечиками і фурмою) знаходяться фурмені пристрої, через які вдуває в піч нагріте повітря або суміш повітря, збагачена киснем (до 30-35%); іноді для економії коксу використовують газоподібне (природний газ), рідке (мазут) або пилоподібне паливо (колошниковий пил) [3].

Дійшовши до рівня фурм, кокс згорає в струмені підігрітого до 1100-1300°C повітря, що подається в піч через фурми під тиском (1,5-2,0 атм).

Процес горіння палива йде з виділенням великої кількості тепла. Паливо, що утворюється при тому, що згорає, виділяє гази, які підіймаються назустріч шихтовим матеріалам, що спускаються в низ печі, нагрівають їх, відновлюють і розплавляють їх. Таким чином, здійснюється принцип протитечії, що природно, дозволяє більш повно використовувати тепло [3].

При нормальній роботі доменної печі у всіх її зонах встановлюються певні температури і відбуваються різні фізико-хімічні процеси, при яких утворюються продукти доменного виробництва – чавун, шлак, гази. В результаті горіння коксу утворюються гази, які проходячи навкруги шихтових матеріалів нагрівають їх і відновлюють залізо і деякі інші елементи з їх оксидів, а потім відводяться через колошник, пилоочисне обладнання, а потім – в повітрянагрівальний пристрій. Шкідливі викиди доменної плавки направляються в димову трубу [3].

Відновлене залізо, опускаючись в печі, науглерожується, плавиться і перетворюється на чавун, в якому розчиняються інші відновлені елементи: кремній, марганець, сірка, фосфор і інші невідновлені оксиди порожньої породи руди, золи палива і флюсу, які розплавляються і утворюють шлак [3].

Завдання:

1. ознайомитися з теоретичним матеріалом;
2. описати схему структури доменного цеху (рис. 1.3).

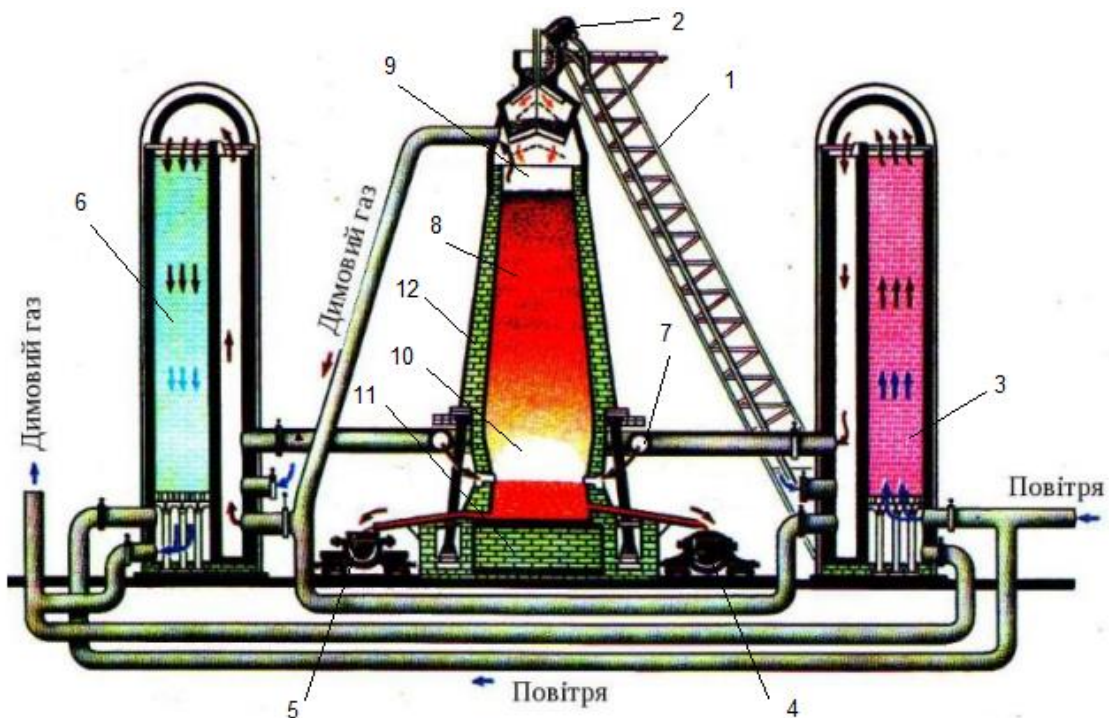


Рисунок 1.3 - Структура доменного цеху



ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

Техніко-економічні показники доменного виробництва

Мета роботи – ознайомлення з техніко-економічними показниками доменного виробництва; набути навичок розрахунку основних техніко-економічних показників доменного виробництва.

Теоретичні відомості

Техніко-економічні показники доменного виробництва використовуються для оцінки ефективності роботи доменних печей і їх внеску в металургійний процес. Вони дозволяють виявити сильні й слабкі сторони виробництва, оптимізувати витрати й підвищити продуктивність.

Найважливішими показниками роботи доменної печі є [3]:

– коефіцієнт використання корисного об'єму КВКО, який розраховується за формулою:

$$\text{КВКО} = V_{\text{кор}} / P, \text{ м}^3\text{доб} / \text{т чавуну}$$

де $V_{\text{кор}}$ – корисний об'єм доменної печі, м^3 ;

P – добова продуктивність доменної печі (т/добу).

Чим менше цей показник за абсолютним значенням, тим інтенсивніше протікає процес плавки. Під інтенсифікацією доменного процесу розуміють збільшення швидкості його протікання. Мірою інтенсивності роботи доменної печі є кількість чавуну, яка отримується за одиницю часу в розрахунку на одиницю корисного об'єму доменної печі. Тому корисний об'єм, що необхідний на виплавку однієї тони чавуну, характеризує коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі – КВКО [3].

– витрати палива на 1 т виплавленого чавуну, які коливаються від 0,45 до 1,35 (1,35 – на старих металургійних заводах).

– витрати шихти і ступінь її використання (цей показник визначається матеріальним балансом печі).


– питомі витрати коку на тону чавуну:

$$K_0 = K / P, \text{ т коксу} / \text{т чавуну}$$

де K – витрата сухого коксу, т/добу;

P – добова продуктивність доменної печі (т/добу).

– індекс інтенсивності горіння коксу (на кращих печах цей показник досягає 28-30 т / м^2 добу:


$$I_k = K / S_r, \text{ т/м}^2 \text{ доб.},$$

де K – витрата сухого коксу, т/добу; S_r – площа горну, м^2 .

– індекс об'ємної інтенсивності горіння коксу (цей показник змінюється в межах від 0,880 до 1,100):

$$I_v = K / V_{\text{кор}}, \text{ т/м}^3 \text{ доб.},$$

де K – витрата сухого коксу, т/добу;

$V_{\text{кор}}$ – корисний об'єм доменної печі, м^3 .

– індекс об'ємної інтенсивності горіння вуглецю коксу, природного газу, мазуту, пиловидного вугілля (звичайно індекс досягає значення 0,850 – 1,000 т/м³добу):

$$I_c = K_c / V_{\text{кор}}, \text{ т/м}^3 \text{ доб.},$$

де K_c – кількість вуглецю коксу і вуглецемістких домішок, т/добу;

$V_{\text{кор}}$ – корисний об'єм доменної печі, м^3 .

– кількість дуття за 1 хвилину, яка приходить на 1 м^3 корисного об'єму печі (звичайно вона складає 1,7 – 2,4 $\text{м}^3/\text{м}^3\text{хв.}$)

Оптимізація цих показників дозволяє зменшити витрати і підвищити рентабельність доменного виробництва.

Завдання:

1. ознайомитися з теоретичним матеріалом;
2. розв'язати задачі відповідно до вихідних даних за номером варіанту (номер варіанту відповідає номеру студента за списком групи).

Задача 1: визначити коефіцієнт використання корисного об'єму КВКО відповідно вихідних даних за табл. 2.1.

Задача 2: визначити продуктивність доменної печі P відповідно вихідних даних за табл. 2.2.

Задача 3: визначити корисний об'єм доменної печі $V_{\text{кор}}$ відповідно вихідних даних за табл. 2.3.

Задача 4: визначити коефіцієнт використання корисного об'єму КВКО відповідно вихідних даних за табл. 2.4.

Задача 5: визначити питомі витрати коксу на тону чавуну K_0 відповідно вихідних даних за табл. 2.5.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розв'язання задачі 1

Варіант	корисний об'єм доменної печі $V_{\text{кор}}$, м ³	витрата сухого коксу K , т/добу	питомі витрати коксу на тону чавуну K_0 , т коксу / т чавуну
1	2500	2400	0,55
2	2550	2500	0,58
3	2600	2600	0,6
4	2650	2700	0,63
5	2700	2800	0,67
6	2750	2400	0,7
7	2800	2500	0,55
8	2850	2600	0,58
9	2900	2700	0,6
10	2950	2800	0,63

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розв'язання задачі 2

Варіант	корисний об'єм доменної печі $V_{\text{кор}}$, м ³	питомі витрати коксу на тону чавуну K_0 , т коксу / т чавуну	індекс об'ємної інтенсивності горіння коксу I_v , т/м ³ доб.
1	1600	0,55	0,880
2	1700	0,58	0,900
3	1800	0,6	0,950
4	1900	0,63	0,880
5	2000	0,67	0,900
6	2100	0,7	0,950
7	2200	0,55	0,880
8	2300	0,58	0,900
9	2400	0,6	0,950
10	2500	0,63	0,880

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розв'язання задачі 3

Варіант	індекс об'ємної інтенсивності горіння коксу I_v , т/м ³ доб.	продуктивність доменної печі P , т/добу	питомі витрати коксу на тону чавуну K_0 , т коксу / т чавуну
1	0,880	3000	0,55
2	0,900	3500	0,58
3	0,950	4000	0,6
4	0,880	4500	0,63
5	0,900	5000	0,67
6	0,950	5500	0,7
7	0,880	6000	0,55
8	0,900	6500	0,58
9	0,950	7000	0,6
10	0,880	7500	0,63

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розв'язання задачі 4

Варіант	корисний об'єм доменної печі $V_{кор}$, м ³	індекс об'ємної інтенсивності горіння коксу I_v , т/м ³ доб.	питомі витрати коксу на тону чавуну K_0 , т коксу / т чавуну
1	2500	0,880	0,55
2	2550	0,900	0,58
3	2600	0,950	0,6
4	2650	0,880	0,63
5	2700	0,900	0,67
6	2750	0,950	0,7
7	2800	0,880	0,55
8	2850	0,900	0,58
9	2900	0,950	0,6
10	2950	0,880	0,63

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для розв'язання задачі 5

Варіант	корисний об'єм доменної печі $V_{\text{кор}}$, м ³	індекс об'ємної інтенсивності горіння коксу I_v , т/м ³ доб.	продуктивність доменної печі P , т/добу
1	2000	0,880	3000
2	2500	0,900	3500
3	3000	0,950	4000
4	2650	0,880	4500
5	3500	0,900	5000
6	4000	0,950	5500
7	4500	0,880	6000
8	5000	0,900	6500
9	4500	0,950	7000
10	5000	0,880	7500

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

Сталеплавильні агрегати, їх будова та принцип роботи

Мета роботи – ознайомитися та засвоїти основні види та конструкції сталеплавильних агрегатів та принцип їх роботи; сформулювати розуміння про переділ металургійного виробництва.

Теоретичні відомості

Сталеплавильні агрегати для виплавки сталі розділені на кілька основних типів залежно від їх конструкції, принципу дії та використаних матеріалів (рис. 3.1).

Кисневий конвертер. Сталь готується у спеціальній ємності – конвертері (від латинського *convertere* – змінювати, перетворювати). Це сталева посудина грушоподібної форми, зсередини викладена вогнетривкою цеглою (рис. 3.2). Її місткість – від 50 до 400 т [1].

Конвертер – досить рухлива посудина. Вона може повертатися навколо горизонтальної осі на 360 градусів. Для завантаження інгредієнтів конвертер нахилиють, через горловину засипають брухт і заливають гарячий (1250–1400 °С) чавун. Потім конвертер повертають у вертикальний стан, вводять водоохолодну фурму і через неї подають кисень [1].



Рисунок 3.1 – Класифікації сталеплавильних агрегатів [1]

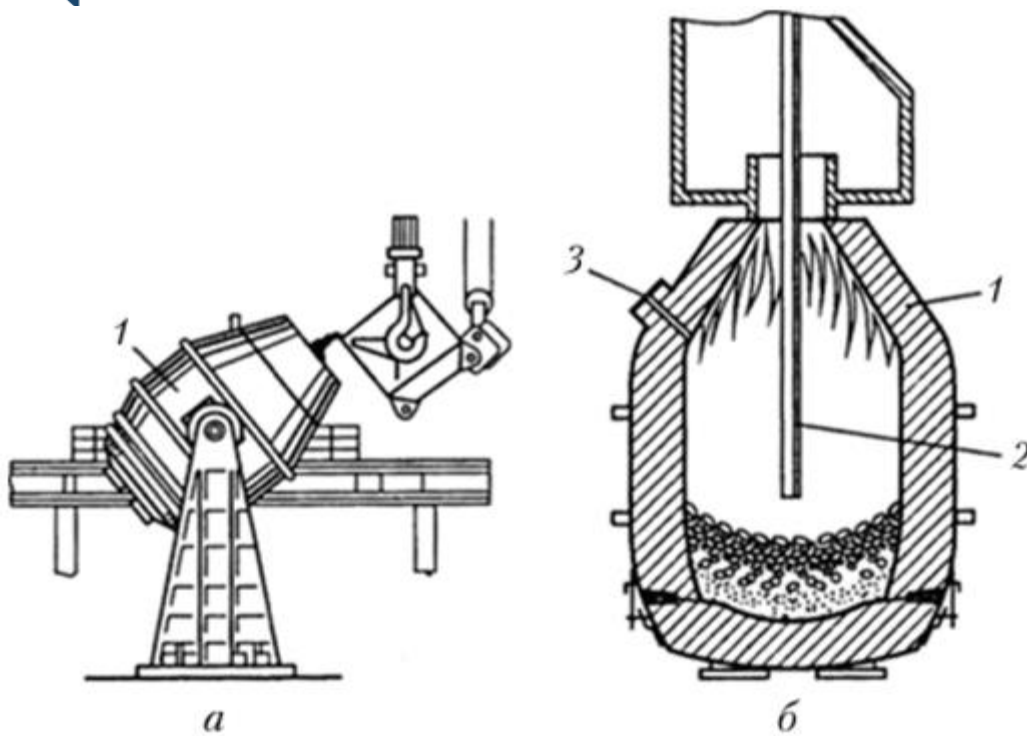


Рисунок 3.2 - Кисневий конвертер: а - заливка чавуну; б - продування киснем; 1 - корпус конвертера; 2 - водоохолоджувана фурма для подачі кисню; 3 - вихідний отвір для сталі [5]

Струмінь кисню перемішує та окиснює рідкий метал. Під час хімічної реакції виділяється тепло, що підігріває вміст конвертера до потрібної температури. Паливо для нагрівання не використовують. Домішки кремнію і марганцю сполучаються з киснем і згорають. Коли температура підвищується, згоряє і зайвий вуглець. Залізо інтенсивно окиснюється. Оксид заліза розчиняється у шлаку і металі, збагачуючи метал киснем [1].

Плавка триває пів години – годину. Щойно вміст вуглецю доходить до потрібного рівня, продування завершують. Конвертер знову нахиляють і через лютку випускають сталь у ківш. Потім нахиляють в інший бік і через горловину зливають шлак у спеціальну чашу, встановлену в шлаковозі під конвертером.

Принцип роботи кисневого конвертера:

1. Завантаження чавуну і металевому лому: у конвертер завантажуються рідкий чавун, який нагрітий до високої дуже температури; до нього додається металевий лом для охолодження та регулювання температури, останній процес займає велику кількість тепла.

2. Подача кисню: у центрі верхньої частини конвертера знаходиться спеціальна трубка — фурма, через яку під великим тиском (до 10–15 атмосфер) подається чистий кисень; фурма опускається ближче до поверхні металевому металу.

3. Окислення домішок: кисень реагує з домішками в чавуні (вуглець, сірка, фосфор) і окислює їх; під час реакції виділяється велика кількість тепла, яка підтримує процес плавлення без додаткового зовнішнього нагрівання.

4. Утворення шлаку: продукти окислення піднімаються на поверхню у вигляді шлаку; вапно, додане в конвертер, реагує з оксидами та готує сформувати шлаковий шар, який спливає на поверхню розплавленого металу.

5. Контроль складу сталі: під час процесу виконуються аналізи відповідності сталі, що дозволяє точно регулювати вміст вуглецю та інших елементів у кінцевому продукті.

6. Злив готової сталі: після завершення виробництва сталь зливається з конвертера через спеціальний отвір у нижній частині або через боковий випуск; шлак, що утворився на поверхні, видаляється окремо.

Бессемерівський та Томасівський конвертера. Бессемерівський конвертор — апарат для переробки рідкого чавуну в литу сталь способом продування крізь нього стисненого повітря, а також для одержання тим же способом деяких кольорових металів з їхніх сульфідів [6, 7].

Процес Бессемера був першим дешевим промисловим процесом для масового виробництва сталі з розплавленого чавуну до розробки мартенівської печі (рис. 3.3).

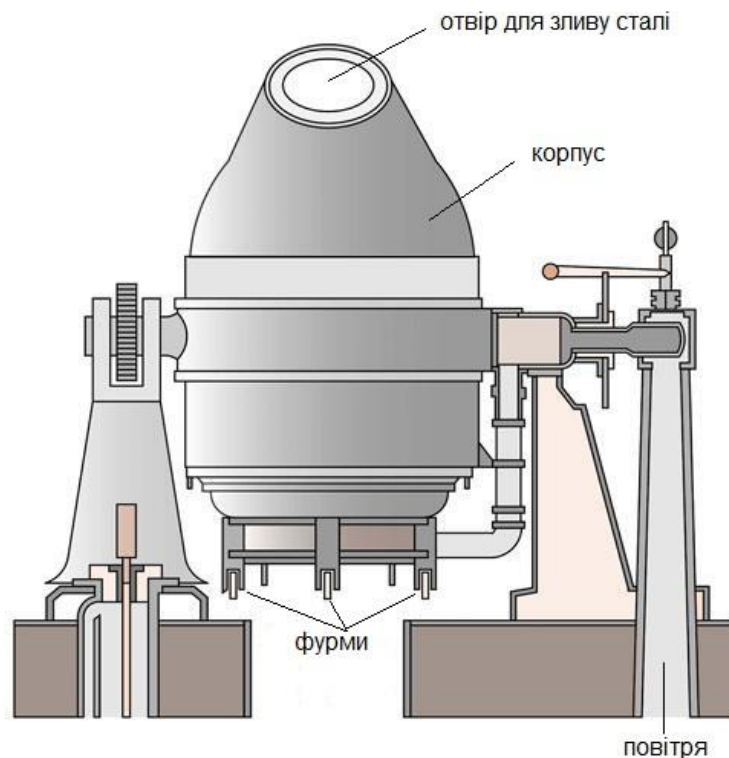



Рисунок 3.3 – Схема Бессемерівського конвертера



Томасівський конвертер має таку саму будову, як і бесемерівський, але є трохи більшим за розміром. Найголовніша відзнака між конвертерами полягає у тому, що на відміну від бесемерівського конвертера з його кислую динасовою футеровкою, томасівський конвертер має основну футеровку, наприклад з обпаленого доломіту [8].

Мартенівська піч. Мартенівський процес протікає на поду робочого простору відбивної печі за рахунок тепла, одержуваного від факела, і полягає у переробці чавуну і металевого брухту, які закладаються в робочий простір печі (рис. 3.4). Переважна частина тепла надходить до мартенівської ванни з робочого простору печі в результаті тепловіддачі від факела та елементів кладки. Але, через те, що для виплавки сталі необхідно підтримувати температуру до 1700°C, у робочому просторі її отримують шляхом спалювання в струмені повітря газоподібного або рідкого палива. Це дозволяє компенсувати недолік теплової енергії хімічних реакцій і фізичного тепла шихтових матеріалів. Основний вид теплопередачі в робочому просторі мартена є випромінювання від факела. Кладка частково поглинає теплову енергію та інтенсивно відбиває її від склепіння печі на поверхню нагріву. У потоці нагрітого повітря відбувається згорання палива, що подається через головку. Відходячи димові гази нагрівають насадку регенератора, яка в свою чергу нагріває холодне повітря, що подається у піч. А реверсивний напрямок повітряних потоків, що створюється перекидними клапанами, забезпечує регенерацію тепла. Надлишковий вміст кисню обумовлює в мартені окисну газову атмосферу, завдяки чому метал протягом плавки піддається прямому і непрямому впливу окислювального середовища. Після утворення шлакового шару на поверхні розплаву тепло передається металу через нього [9].

Принцип роботи мартенівської печі:

1. Завантаження шихти: шихта (суміш вихідних матеріалів) складається з чавуну, сталевого лому та залізної руди, а також добавок, таких як вапно, яке ускладнює утворення шлаку; вона завантажується в спеціальний відсік печі.

2. Спалювання палива: для нагрівання використовується природний газ або мазут, який подається в топку печі; при спалюванні палива утворюється висока температура, яка передається шихті.

3. Принцип рекуперації тепла: мартенівська піч використовує рекуператори — пристрої, що утилізують теплоту відхідних газів для попереднього підігріву повітря і палива перед їх подачею в піч; це дозволяє значно економити енергію та отримувати температуру горіння.

4. Процес плавлення: шихта починає плавитися під дією високих температур, що сягають 1600-1700°C; під час плавлення відбувається окислення домішок, таких як вуглець, кремній, марганець, фосфор та сірка; вони перетворюються на шлак, який збирається на поверхні розплаву і видаляється.

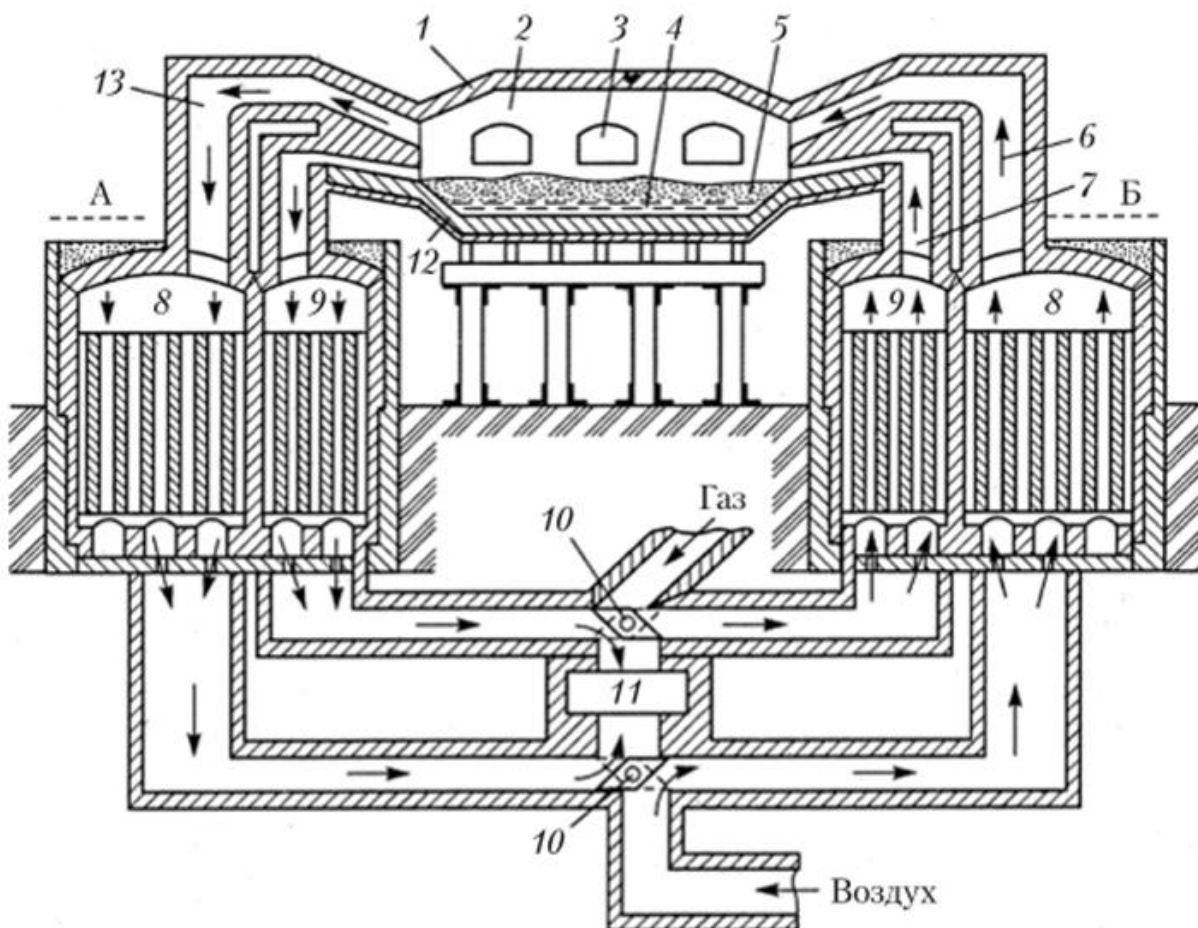


Рисунок 3.4 - Мартенівська піч [9]: 1 - склепіння печі; 2 - робочий простір печі; 3 - завалочні вікна; 4 - метал; 5 - шлак; 6,7 - повітряні і газові канали в головці печі; 8, 9 - повітряні і газові регенератори; 10 - перекидні пристрої; 11 - димохід; 12 - під печі; 13 - головка печі; А-Б - рівень робочого майданчика

5. Дегазація та очищення сталі: у процесі плавлення відбувається видалення газів та інших домішок; додаткові реагенти можуть вводитися для поліпшення якості сталі, наприклад, для зниження вмісту вуглецю або сірки.

6. Злив готової сталі: після завершення процесу сталь зливається з печі для подальшого лиття або прокатки.

Дугові електропечі. Електродугова піч або дугова піч — промислова електрична піч, де метали або інші матеріали плавлять теплом електричної дуги.

За непрямого нагрівання (рис. 3.5, а) електричні дуги 1 горять між електродами 2 на деякій відстані від металу, а за прямого (рис. 3.5, б) — між електродами і металом 3, що нагрівається, і він є однією з ділянок електричного ланцюга. Для виробництва сталі в промислових умовах переважно використовують печі прямого нагріву [10].

У печах змішаного нагріву (рис. 3.5, в) дуги горять під шаром твердої шихти 4, що оточує електроди. Шихта нагрівається теплом, що виділяється в дузі і безпосередньо в самій шихті за проходження через неї електричного струму. Застосовуються такі печі переважно для виробництва феросплавів і чавуну [10].

В установках плазмового нагріву (рис. 3.5, г) тепло переноситься іонізованим потоком газу (аргон), що подається під тиском в плазмотрон 5. У такому випадку можливе нагрівання до 20000°C. Плазмові печі використовують для виплавки спеціальних сталей, сплавів і чистих металів [10].

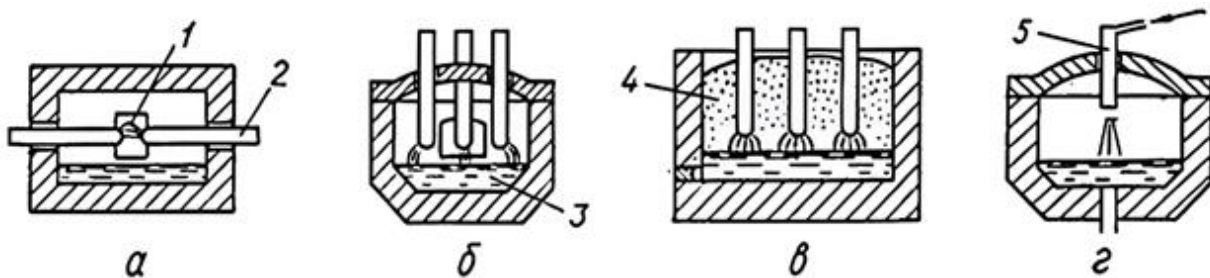


Рисунок 3.5 - Схеми дугових електропечей: а – непрямого нагріву; б – прямого нагріву (ДСП); в – змішаного нагріву; г – плазмового нагріву: 1 – дуга; 2 – електроди; 3 – метал; 4 – шихта; 5 – плазмотрон

Принцип роботи дугової електричної печі:

1. Завантаження шихти: основний матеріал для дугової печі — металобрухт, але також може використовуватися чавун та інші домішки; шихта завантажується в піч через люк, який закривається після завантаження.

2. Подача електричного струму: у верхній частині печі розміщені великі електроди (зазвичай графітові), через які подається потужний електричний струм; коли електроди опускаються до металу, між ними і металом виникає електрична дуга; ця дуга створює температуру, достатню для плавлення металу (близько 3000°C).

3. Процес плавлення: електрична дуга плавить метал, під час чого утворюється розплавлена сталевана ванна; у процесі плавлення можуть додаватися інші легуючі елементи (наприклад, хром, нікель) для отримання сталі з певними властивостями.

4. Додавання шлакоутворюючих матеріалів: вапно та інші речовини додаються для утворення шлаку, який видаляє небажані домішки з розплавленого металу (наприклад, сірку та фосфор); шлак спливає на поверхню і може бути видалений.

5. Дегазація та очищення: під час плавлення можна використовувати технологію вакуумної дегазації або інертних газів для видалення газів (таких як водень і азот), що покращує якість сталі.

6. Злив сталі: після досягнення необхідного складу і температури, сталь зливається з печі в спеціальний ківш для подальшого лиття або обробки.

Індукційні печі. Індукційна піч - це електрична піч, яка виробляє тепло шляхом індукційного нагрівання металу.

За способом підведення тепла при індукційному нагріванні розрізняють індукційні печі прямого і опосередкованого нагрівання:

Індукційна електропіч опосередкованого нагрівання — індукційна електропіч, в якій індукційне нагрівання здійснюється шляхом генерування тепла в проміжному тілі (наприклад, тигелі, муфелі) з подальшим передаванням тепла завантаженню.

Індукційна електропіч безпосереднього нагрівання — індукційна електропіч, в якій індукційне нагрівання здійснюється шляхом генерування тепла в завантаженні.

3 варіантів конструктивного виконання в промисловості застосовують в основному індукційні тигельні печі (рис. 3.6) й індукційні каналні печі (рис. 3.7).

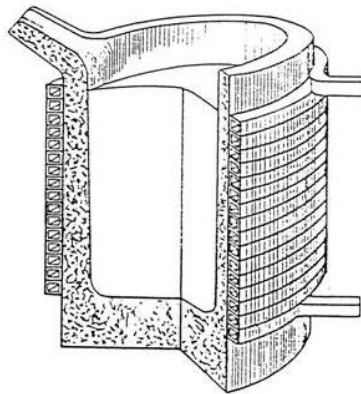


Рисунок 3.6 - Тигельна індукційна піч

Тигельні печі складаються з індуктора, який охоплює тигель, виготовлений з вогнетривкого матеріалу. Для зниження втрат енергії на розсіювання магнітного потоку навколо індуктора встановлюються пакети з трансформаторної сталі. На індуктор подається змінна напруга промислової, середньої або високої частоти. Змінна електромагнітна хвиля попадає в метал, що перебуває в тиглі, нагріває, розплавляє й доводить метал до потрібної температури.

Канальні печі за конструкцією й схемою заміщення аналогічні силовому трансформатору, у якого індуктор є первинною обмоткою, а в якості вторинної обмотки виступає один виток розплавленого металу 1, що перебуває в каналі 3 з вогнетривкого матеріалу 2. Як і у трансформаторі, є виконаний із трансформаторної сталі 5 магнітопровід. Футерівка 2 захищає індуктор 4 від розплавленого металу. Індуктор

виготовляють з міді (частіше із труб), він має інтенсивне примусове охолодження. Метал нагрівається в каналі й під дією електромагнітних сил викидається у ванну 1, де перебуває розплавлений метал. Для електроживлення каналних печей використовують промислову частоту.

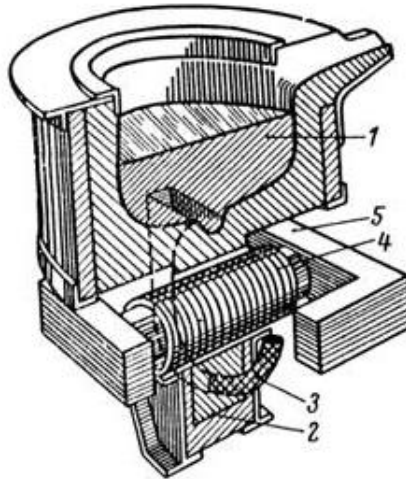


Рисунок 3.7 – Канальна піч: 1 – розплавлений метал; 2 – футерівка; 3 – канал; 4 – індуктор; 5 – магнітопровід

Принцип роботи індукційної печі:


1. Електромагнітна індукція: в основі роботи індукційної печі лежить явище електромагнітної індукції; метал, який потрібно розплавити, поміщається в тигель (контейнер), навколо якого обмотаний індуктор; коли через індуктор проходить змінний електричний струм, він створює змінне магнітне поле; це поле індукує електричні струми в металі, які називаються вихровими струмами.

2. Нагрівання металу: вихрові струми, що утворюються в металі, зустрічаються з опором, що призводить до виділення тепла в самому металі; це призводить до нагрівання і розплавлення металу без використання зовнішнього джерела тепла.

3. Плавлення: метал поступово нагрівається і переходить у рідкий стан; під час процесу можна додати легуючі елементи для створення сплавів з певними властивостями.

4. Додатковий контроль температури: оператор може точно регулювати температуру шляхом зміни частоти та сили струму, що проходить через індуктор; це дає можливість досягти необхідної температури плавання і уникнути перегріву.

5. Процес очищення: завдяки індукційному нагріванню процес плавлення проходить без контакту з продуктами згоряння, що мінімізує забруднення металу; для видалення домішок до розплавленого металу можуть додаватися шлакоутворюючі матеріали, які поглинають небажані елементи.



6. Злив розплаву: після досягнення необхідного складу і температури, розплавлений метал зливається з тигля для подальшої обробки.

Завдання:

1. ознайомитися з теоретичним матеріалом;
2. описати переваги та недоліки сталеплавильних агрегатів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

Параметри процесу безперервного розливання

Мета роботи – ознайомитися та навчитися визначати основні параметри процесу безперервного розливання сталі.

Теоретичні відомості

Якість металу для розливання на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) є критично важливою, оскільки від цього залежить ефективність процесу та якість готової продукції. Основні вимоги до якості металу для МБЛЗ:

1. Хімічний склад: метал повинен мати контрольований хімічний склад, щоб уникнути утворення дефектів, таких як тріщини, пористість або неоднорідність структури (наприклад, вуглець, сірка, фосфор та інші домішки мають бути в межах допустимих норм).

2. Чистота металу: метал повинен бути максимально очищеним від неметалевих включень, таких як оксиди, сульфідів та нітриди; це зменшує ризик утворення внутрішніх дефектів.

3. Температура розливання: метал повинен мати відповідну температуру, щоб забезпечити плавний розлив без передчасного затвердіння або перегріву, що може призвести до структурних дефектів.

4. Рідинотекучість: висока рідинотекучість металу забезпечує рівномірне наповнення кристалізатора і зменшує ризик утворення пустот і поверхневих дефектів.

5. Однорідність розплаву: необхідно забезпечити рівномірний розподіл температури та хімічного складу металу в ковші, щоб уникнути сегрегації під час затвердіння.

6. Газовий склад: концентрація розчинених газів, таких як кисень, азот або водень, повинна бути мінімальною; це знижує ймовірність утворення газових пор.

7. Стійкість до утворення тріщин: метал має мати низьку схильність до утворення гарячих тріщин під час охолодження в зоні кристалізації.

До параметрів, які є важливими при розливанні сталі на МБЛЗ, відносять [11]:

- характеристика сталі певної марки;
- температура у сталерозливному, проміжному ковшах та кристалізаторі МБЛЗ;
- швидкісний режим та інші.

Розплав, який використовують при розливанні на МБЛЗ, повинен бути високої якості, тобто вміст в них сірки і фосфору має бути в межах мінімальних значень для конкретної марки сталі. Зазвичай цю інформацію можна переглянути в довідниках або за результатами хімічного аналізу перед розливанням металу.

При безперервному розливанні сталі дуже важлива підтримка оптимального рівня температури металу, що розливається. Рівень температури металу значно впливає на якість безперервного лиття та може стати причиною порушення стабільності розливки заготовок.

Як було вище зазначено, неконтрольоване підвищення температури на ліквідусом (деформована пряма на фазовій діаграмі, що визначає температуру, вище якої речовина, зокрема сплав, перебуває повністю в рідкому стані) є причиною структурних дефектів. Надмірна температура також може стати причиною проривів у заготовці та формуванню на поверхні заготовки тріщин. Аби уникнути таких дефектів, при збільшеній температурі металу корегують швидкість розливки [12].

Необхідна температура металу в проміжному ковші розраховується виходячи з температури ліквідусу для кожної марки сталі [13].

Для визначення температури ліквідусу (t_L) сталей використовують два простих методи – або по діаграмі стану системи Fe - C, або в наближенні адитивного впливу домішок, що містяться в сталі, на температуру плавлення чистого заліза:

$$t_L = t_{нлFe} - \frac{\sum a_{L(i)}}{i} [\%i],$$

де $a_{L(i)}$ – коефіцієнти, що показують, на скільки градусів змінюється температура ліквідусу сталі при додаванні 1% i -го компонента.

Значення $a_{L(i)}$ для основних компонентів сталей, знайдені по діаграмах стану подвійних систем Fe- i , приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти $a_{L(i)}$, що характеризують зниження температури ліквідусу при введенні 1% i -го компонента

Компонент	C	S	Mn	Si	P	Cu	Ni
$a_L, ^\circ\text{C}$	73	30	3	12	30	7	3,5
Компонент	Cr	Mo	W	Al	V	Ti	Co
$a_L, ^\circ\text{C}$	1	3	1	3	2	20	1,5

Визначення температур ліквідусу сталей по діаграмі стану системи Fe - C дає помилку $10 \div 40$ °C. Цей метод рекомендується для низьколегованих вуглецевих сталей.

Для високолегованих марок сталей для визначення температури ліквідусу рекомендується рівняння:

$$t_L = t_{нлFe} - \frac{\sum \Delta t_{L(i)}}{i},$$

де $\Delta t_{L(i)}$ зміна температури ліквідусу відповідно до діаграми стану бінарної системи Fe - i при концентрації компонента i, яка дорівнює його вмісту в сталі.

Розрахунок температури ліквідусу сталі, може бути зроблений також по формулі:

$$t_L = 1534 - \Delta t = \\ = 1534 - K_1 \times [\%C] - K_2 \times [\%Mn + \%Si + \%P + \%S + \%Cr + \%Ni + \%Cu + \%...]$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти для різних хімічних елементів у сталі;
 $\%C$; $\%Mn$; $\%Si$; $\%P$; $\%S$; $\%Cr$; $\%Ni$; $\%Cu$ – вміст хімічних елементів у сталі.

Значення коефіцієнтів для різних хімічних елементів у сталі, що дозволяють розрахувати температури ліквідусу представлені в таблицях:

Коефіцієнт K_1 при різному вмісті вуглецю в сталі для розрахунку температури ліквідусу:

Вміст вуглецю в сталі, %	0,06 ÷ 0,10	0,11 ÷ 0,50	0,51 ÷ 0,60
K_1	86	88	86

Коефіцієнти K_2 різних хімічних елементів у сталі для розрахунку температури ліквідусу:

Хімічний елемент	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
K_2	5	8	30	25	1,5	4,0
Хімічний елемент	H	N	O	As	Sn	Cu
K_2	1300	90	80	14	10	5
Хімічний елемент	Co	Nb	Mo	Al	Cu	V
K_2	2,25*	7,9*	1,2	3,4	5,0	2

Температура металу в сталерозливному ковші, проміжному ковші та кристалізаторі є критично важливою при безперервному литті заготовок, оскільки вони впливають на якість продукції, стабільність процесу та

тривалість роботи обладнання. Для досягнення стабільності на практиці використовують датчики температури, системи автоматичного контролю та математичне моделювання теплових процесів. При теоретичних розрахунках рекомендовано враховувати:

- втрату тепла переливанні металу з ковша в ківш та в кристалізатор - 25 ÷ 35 °С (конкретне значення залежить від різних факторів, наприклад, виду футерування, кількості плавки та інше);
- перепад температур в кристалізаторі треба регулюванні і діапазоні 10 ÷ 15 °С.

Рівномірна температура на кожному етапі запобігає дефектам, таким як внутрішня пористість або неоднорідність структури, сприяє плавному розливу, що мінімізує зупинки обладнання.

Швидкість розливання металу в машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) є ключовим параметром, що впливає на якість продукції та ефективність процесу. Вона залежить від ряду факторів: типу і розмір заготовки, фізико-хімічних властивостей металу, процесу затвердіння, стану обладнання, системи охолодження та інше.

Швидкість розливання можна розрахувати:

$$v = k^v (1 + b / a) / b ,$$

де k^v – коефіцієнт, що залежить від марки сталі і призначення готової продукції; при розливанні сталі на прямокутні заготовки з великим відношенням сторін (сляби) $k^v = 0.18 \dots 0.30$; при розливанні сталі на квадратні чи близькі до них типи заготовок (блюм, сорт) $k^v = 0.11 \dots 0.14$;

a – товщина заготовки, м;

b – ширина заготовки, м.

При розливанні сталі на блюми з вуглецевої і легованої сталі варто вибрати коефіцієнт із мінімальним значенням, звичайної якості – максимальне значення.

При одиничних плавках рекомендуються наступні швидкості розливання [14]:

для сортових заготовок

$a \times b, \text{мм}^2$	80×80	100×100	125×125	150×150	200×200
$v, \text{м/хв.}$	2,75 – 3,5	2,2 – 2,8	1,8 – 2,3	1,5 – 1,9	1,1 – 1,4

для блюмів

$a \times b, \text{мм}^2$	250×250	250×320	250×360	300×400	300×450
$v, \text{м/хв.}$	0,9 – 1,12	0,8 – 1,1	0,75 – 0,95	0,65 – 0,8	0,6 – 0,78

для слябової продукції

$a \times b, \text{мм}^2$	150× (700 – 1500)	200× (700 – 2000)	250× (1000 – 2800)	300× (700 – 1600)
$v, \text{м/хв.}$	1,6 – 1,8	1,5 – 1,8	1,3 – 1,6	1,1 – 1,4

Завдання:

1. ознайомитися з теоретичним метаріалом;
2. відповідно до варіанту за списком у журналі, що відповідають вихідним даним (табл. 4.2), розрахувати значення параметрів безперервного лиття: температуру ліквідусу сталі, температуру сталі у кристалізаторі, температуру сталі у проміжному ковші МБЛЗ, температура сталі у сталерозливному ковші, мінімальну, максимальну та середню швидкість безперервного розливання сталі на заготовки заданого перетину.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку параметрів безперервного лиття

Варіант	Склад сталі, %	Поперечний перетин безперервно литої заготовки, мм ²
1	1,3% C; 0,15% Cr; 0,1% Mo; 0,25% V; 0,45% Si; 0,40% Mn; 0,5% Ni; 0,025% P	250×250
2	0,55% C; 3,25% Cr; 1,4 % Mo; 0,25% V; 0,35% Si; 0,70% Mn	250×320
3	2,47% C; 4,2% Cr; 3,8 % Mo; 9,0% V; 2,0% Co; 0,55% Si; 0,40% Mn	150×750
4	0,35% C; 0,66% Si; 0,94% Mn; 21% Ni; 25% Cr	300×450
5	0,5% C; 8,5% Cr; 1,3 % Mo; 0,36% V; 0,95% Co; 0,74% Ni	200×1000
6	0,9% C; 2,25% Cr; 1,3 % Mo; 9,10% V; 0,5% Mn	80×80
7	0,95% C; 1,3% Cr; 0,25 % Mo; 0,25% Si; 0,40% Mn; 4,0% Ni	250×1500
8	1,0% C; 4,0% Cr; 5,5 % Mo; 1,5% V; 0,8% Si	125×125
9	0,12% C; 0,95% Si; 0,65% Mn; 0,65% Ni; 0,75% Cr; 0,025% S; 0,025% P; 0,6% Cu	300×400
10	1,6% C; 11,5% Cr; 0,6 % Mo; 0,3% V; 0,35% Si; 0,30% Mn	300×1600



ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

Параметри деформації в процесі прокатки

Мета роботи – ознайомитися та навчитися визначати основні деформаційні параметри процесу прокатки.

Теоретичні відомості

Деформація при прокатці характеризується зміною форми й розмірів металу під впливом прокатних валків. При повздовжній прокатці зазор між валками встановлюється менший за товщину заготовки. Повздовжня прокатка викликає у заготовки зменшення товщини h , збільшення довжини l і ширини b . Основні величини, які описують деформацію при прокатці:

Показники деформації		Товщина h	Довжина l	Ширина b
		обтиснення	розширення	подовження (витягнення)
абсолютна деформація		$\Delta h = h_{i-1} - h_i$	$\Delta l = l_i - l_{i-1}$	$\Delta b = b_i - b_{i-1}$
відносна деформація	умовна деформація	$\varepsilon_i = (h_{i-1} - h_i)/h_{i-1}$	$\nu_i = (l_i - l_{i-1})/l_{i-1}$	$\delta_i = (b_i - b_{i-1})/b_i$
	коефіцієнт деформації	$\gamma = h_{i-1}/h_i$	$\mu = l_i/l_{i-1}$	$\beta = b_i/b_{i-1}$

де h_{i-1} , h_i – значення товщини до та після деформації відповідно, мм,
 l_{i-1} , l_i – значення довжини до та після деформації відповідно, мм,
 b_{i-1} , b_i – значення ширини до та після деформації відповідно, мм.

Завдання:

1. ознайомитися з теоретичним матеріалом;
2. відповідно до варіанту за списком у журналі, що відповідають вихідним даним (табл. 5.1), розрахувати коефіцієнти деформації при повздовжньому прокатуванні для кожного проходу; визначити кінцеві показники деформації, одержані в результаті декількох проходів, маючи на увазі, що заготовка одержала кінцеву деформацію ніби за один прохід.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для визначення величин деформації

Варіант	Початкові розміри, мм		Кількість проходів				
			1	2	3	4	5
1	hi, мм	690	670	652	637	624	614
	bi, мм	420	423	425,5	428	432	435
	li, мм	1500					
2	hi, мм	720	702	687	674	664	658
	bi, мм	460	462,5	467	469	472,5	474
	li, мм	1500					
3	hi, мм	660	648	638	631	626	622
	bi, мм	400	401,2	402,4	403,6	404,8	406
	li, мм	2000					
4	hi, мм	750	738	729	722	717	713
	bi, мм	480	484	488	489,5	491	492,5
	li, мм	2000					
5	hi, мм	700	685	673	663	656	652
	bi, мм	430	432,3	435	437,3	439,2	440,5
	li, мм	1000					
6	hi, мм	680	670	662	656	652	649
	bi, мм	410	411,3	413	414,9	415,2	417
	li, мм	1000					
7	hi, мм	670	662	656	652	650	649
	bi, мм	400	401,6	402,2	403,8	404,4	405
	li, мм	1500					
8	hi, мм	690	676	664	654	647	643
	bi, мм	420	422	424,2	427,5	429,2	431,5
	li, мм	1500					
9	hi, мм	750	725	702	683	668	657
	bi, мм	420	423,5	429	432,5	435	439,5
	li, мм	2000					
10	hi, мм	720	698	678	661	647	640
	bi, мм	460	463,5	469,3	473,5	476,5	480,5
	li, мм	2000					



ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

Силові параметри в процесі прокатки

Мета роботи – ознайомитися та навчитися визначати основні силові параметри процесу прокатки в умовах холодної та гарячої деформації.

Теоретичні відомості

Розрахунок силових характеристик прокатки виконується для визначення основних параметрів процесу, таких як зусилля деформації, момент прокатки, потужність приводу та коефіцієнт тертя. Ці параметри дозволяють оцінити ефективність роботи прокатного стану та забезпечити якість отриманого металопрокату. Розрахунок силових характеристик представити у вигляді, що наводиться нижче.

Визначають величини абсолютного Δh та відносного ε обтиснення штаби (полоси):

$$\Delta h = h_0 - h_1; \quad \varepsilon = \Delta h / h_0;$$

де h_0 - вихідна товщина заготовлі в даному проході, мм,
 h_1 - кінцева товщина заготовки у цьому проході, мм.

Визначають довжину дуги контакту L і середнє значення товщини штаби (полоси) в осередку деформації h_{cp} :

$$L = \sqrt{R\Delta h + \Delta h^2 / 4};$$

$$h_{cp} = 0,5(h_0 + h_1),$$

де R - радіус робочих валків прокатного стану, мм.

Проводимо розрахунок кута захвату α_0 [14]:

$$\alpha_0 = \arccos[1 - \Delta h / (2R)].$$

З урахуванням деформаційних та кінематичних характеристик, на основі формули А.І. Целікова визначають середньоінтегральне значення швидкості деформації U_c [15]:

$$U_c = V_1 \varepsilon / L,$$

де V_1 - швидкість прокатки, що відповідає швидкості переміщення металу в перерізі на виході з осередку деформації, м/с,

після чого на основі методики Л.В. Андріюка [16] проводять розрахунок середньоінтегрального значення подвоєного опору зсуву металу полоси, що прокатується $2K_c$:

- для гарячої прокатки

$$2K_c = 1,155\sigma_{T_0} (6,67\varepsilon)^{a_1} U_c^{a_2} (t/1000)^{a_3}$$

- для холодної прокатки

$$2K_c = 1,155 \left[\sigma_0 + a_1\varepsilon_0 + a_2\varepsilon_0^2 + a_3\varepsilon_0^3 + (2/3)(1-\varepsilon_0)(a_1 + 2a_2\varepsilon_0 + 3a_3\varepsilon_0^2) \cdot \varepsilon + (8/15)(1-\varepsilon_0)^2(3a_3\varepsilon_0)\varepsilon^2 + (15/75)(1-\varepsilon_0)^3 a_3\varepsilon^3 \right]$$

де σ_{T_0} , a_1 , a_2 , a_3 – коефіцієнти, що характеризують рівень механічних властивостей матеріалу полоси та їх залежність від ступеня, швидкості та температури деформації.

Переходячи до визначення безпосередньо основних енергосилових параметрів процесу прокатки, проводять розрахунок коефіцієнта напруженого стану n_{σ_1} , що характеризує вплив зовнішніх зон та контактного тертя:

- для гарячої прокатки

$$n_{\sigma_1} = 1 + 1,5(1 - L/h_{cp})^3 \text{ при } L/h_{cp} \leq 1$$

$$n_{\sigma_1} = 1 + 0,2(L/h_{cp} - 1) \text{ при } 1 < L/h_{cp} \leq 2,5;$$

$$n_{\sigma_1} = 1 + 0,5 \cdot f \cdot (L/h_{cp} - 1) \text{ при } 2,5 < L/h_{cp}.$$

$$n_{\sigma_2} = 1 - 0,5 \left(\frac{\sigma_0}{2K_c} + \frac{\sigma_1}{2K_c} \right)$$

- для холодної прокатки

$$n_{\sigma} = \frac{1}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{f}{\delta - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{(\delta-2)} - 1 \right] + \xi_1 \frac{f}{\delta + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{(\delta+2)} - 1 \right] \right\}$$

де ξ_0, ξ_1 – коефіцієнти, що враховують вплив, відповідно, заднього та переднього натягіння полоси:

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{2K_c} = 1 - \frac{S_0 2K_c}{2K_c} = 1 - S_0 \quad ; \quad \xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{2K_c} = 1 - \frac{S_1 2K_c}{2K_c} = 1 - S_1 ;$$

$\delta = 2f \cdot L_0 / \Delta h$ - коефіцієнт, що характеризує граничні умови в осередку деформації;

h_H - товщина полоси у нейтральному перерізі,

$$h_H = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta-1} \cdot h_1^{\delta+1}} .$$

Розраховуємо середньоінтегральне значення нормальних контактних напружень:

- для гарячої прокатки

$$P_{\varphi} = 2K_c n_{\sigma_1} n_{\sigma_2} ,$$

- для холодної прокатки

$$P_{\varphi} = 2K_c n_{\sigma} .$$

На основі отриманих результатів перераховуємо величину сили прокатки:

$$P = P_{\varphi} b \cdot L .$$

Завдання:


1. ознайомитися з теоретичним матеріалом;
2. відповідно до варіанту за списком у журналі, що відповідають вихідним даним (табл. 6.1), провести розрахунок силових характеристик процесів гарячої та холодної прокатки.

Таблиця 6.1 - Вихідні дані для визначення величин силових характеристик

Варіант	тип прокатки	h ₀ , мм	B, мм	R, мм	S1=S0	матеріал	$\sigma_{то}$, Н/мм ²	a ₁	a ₂	a ₃	t, °C	ε , %	ε_0 , %	f
1	гаряча	10	1500	350	0,4	15Г	86,7	0,126	0,188	-2,74	1100	30	-	0,25
2	холодна	1,5	350	150	0,1	08кп	294,4	1346,5	-1561,9	629,2	-	10	0	0,09
3	гаряча	12	1000	450	0,5	45	87,4	0,143	0,173	-3,05	1000	20	-	0,25
4	холодна	2	250	200	0,2	45	434,8	2481,1	-3457,1	1741	-	15	0	0,09
5	гаряча	15	1500	350	0,6	40X	85,7	0,130	0,170	-3,62	900	30	-	0,25
6	холодна	2,5	350	150	0,3	12Г2А	459,4	2893,5	-4565,1	2735	-	10	0	0,09
7	гаряча	18	1000	450	0,4	65Г	73,2	0,166	0,222	-3,02	1100	20	-	0,25
8	холодна	3	250	200	0,1	65Г	380,2	1388,9	-989,6	329,4	-	15	0	0,09
9	гаряча	25	1500	350	0,5	У7А	74,2	0,159	0,197	-2,87	1000	30	-	0,25
10	холодна	3,5	350	250	0,2	У8А	412,4	2480,9	-3244,2	1694	-	10	0	0,09

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Металургійна кухня : Metinvest Media. 01.01.2024. URL: <https://metinvest.media/ua/page/metalurgyna-kuhnya-2024> (дата звернення: 20.06.2024).
2. Доменна піч: що це таке і як вона працює : Metinvest-SMC. 26.01.2021. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-cto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/> (дата звернення: 20.06.2024).
3. Методичні вказівки до практичних занять здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми 073 «Менеджмент» з дисципліни «Розміщення продуктивних сил та ТПГ (Частина 2)» / укладач Г. І. Карімов. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. 52 с.
4. Смірнов О. М., Семенко А. Ю., Скоробагатько Ю. П., Горюк М. С. Основи металургії: виробництво чавуну : підручник. Одеса : Олді+, 2023. 192 с. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/630>
5. Бузило В. І., Сердюк В. П., Яворський А. В., Гайдай О. А. Матеріалознавство : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с .
6. Александров Ю. М. Конвертор. *Українська радянська енциклопедія* / за ред. М. П. Бажан. Вид. 2-ге. Київ : Головна редакція УРЕ, 1980. Т. 5. С. 349.
7. Бессемерівський конвертер : Вікіпедія : Вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бессемерівський_конвертер (дата звернення: 20.06.2024).
8. Томасівський процес : Вікіпедія : Вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Томасівський_процес (дата звернення: 20.06.2024).
9. Мартенівська піч : Metinvest-SMC. 19.04.2021. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/martenivska-pich/> (дата звернення: 20.06.2024).
10. Електросталеплавильні печі та установки спеціальної електрометалургії : Конструкція електрометалургійних агрегатів : веб-сайт. URL: <https://kema.at.ua/book1.html> (дата звернення: 20.06.2024).
11. Воденнікова О. С. Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 157 с.
12. Горяінова Т. В., Табія А. А., Федоров Р. М., Пашенко А. В., Куберський С. В. Дослідження причин виникнення деформаційних тріщин при виробництві безперервно литих слябів. *Науковий портал Донбасу*. 2007. № 2.
13. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Безперервне розливання сталі» (для студ. спец. 6.090400 "Металургія чорних металів" 4,5 курсу всіх форм навч.) / уклад.: С. В. Куберський, Д. Ю. Кузнецов. Алчевськ : ДонДТУ, 2009.

- 
14. Іванова Л. Х., Хричиков В. Є. Литникові системи та їх розрахунки : навч. посібник. Дніпропетровськ : «ДніпроVAL», 2011. 504 с.
 15. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія повздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
 16. Максименко О. П., Лясота С. М., Романюк Р. Я. Теорія процесів прокатного, трубного, ковальсько-штампувального та волочильного виробництв : навчальний посібник для студентів металургійних спеціальностей вищих навчальних закладів. Дніпродзержинськ : Дніпродзержинський державний технічний університет, 2009. 207 с.



Навчально-методичне видання

**Євген Володимирович Синегін
Христина Василівна Малій**

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
методичні рекомендації
до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції