

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**А. М. Власенко**

**ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА ЗВАРЮВАННЯ**  
**МОДУЛЬНИЙ КУРС**

**Навчальний посібник**

Вінниця  
ВНТУ  
2013

УДК 621.7  
ББК 34.2  
В 58

Рецензенти:

**І. Г. Грабар**, доктор технічних наук, професор (ЖНАЕУ)  
**В. Г. Каплун**, доктор технічних наук, професор (ХНУ)  
**І. І. Назаренко**, доктор технічних наук, професор (КНУБА)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки “Будівництво”. Лист № 1/11-10327 від 08 листопада 2011 р.

**Власенко, А. М.**

В 58 Технологія металів та зварювання. Модульний курс : навчальний посібник / А. М. Власенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 250 с.

ISBN 978-966-641-512-0

Навчальний посібник присвячений висвітленню основних відомостей про металургійне виробництво чорних і кольорових металів, кристалізацію і будову металів і сплавів. Розглянуті основи теорії термічної обробки сталі, виготовлення заготовок і деталей в ливарному виробництві, обробки металів тиском і різанням, електрофізичної обробки металів і зварного виробництва.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які вивчають інженерні спеціальності у будівництві, сільському господарстві та інших галузях, може бути корисний для студентів коледжів і технікумів, учнів професійно-технічних училищ, які опановують робітничі професії.

УДК 621.7  
ББК 34.2

ISBN 978-966-641-512-0

© А. Власенко, 2013

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	5
<b>Частина 1 МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ</b> .....	6
<i>Змістовий модуль 1</i>	
<b>1 ВИРОБНИЦТВО ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ</b> .....	6
1.1 Виплавка чавуну ( <i>Навчальний елемент 1</i> ).....	6
1.2 Виплавка сталі ( <i>Навчальний елемент 2</i> ).....	12
1.3 Розливання сталі ( <i>Навчальний елемент 3</i> ).....	17
1.4 Способи підвищення якості сталі ( <i>Навчальний елемент 4</i> ).....	21
1.5 Виробництво кольорових металів ( <i>Навчальний елемент 5</i> ).....	24
<i>Тести першого модуля</i> .....	28
<b>Частина 2 ОСНОВИ МЕТАЛОЗНАВСТВА</b> .....	29
<i>Змістовий модуль 2</i>	
<b>2 СТРУКТУРА МЕТАЛІВ</b> .....	29
2.1 Атомно-кристалічна будова металів ( <i>Навчальний елемент 6</i> ).....	29
2.2 Дефекти кристалічної будови ( <i>Навчальний елемент 7</i> ).....	33
2.3 Методи дослідження структури металів ( <i>Навчальний елемент 8</i> ).....	37
2.4 Плавлення та кристалізація металів ( <i>Навчальний елемент 9</i> ).....	40
<b>3 МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ</b> .....	44
3.1 Будова та характеристика сплавів ( <i>Навчальний елемент 10</i> ).....	44
3.2 Діаграма стану подвійних сплавів ( <i>Навчальний елемент 11</i> ).....	47
3.3 Компоненти і фази у сплавах залізо з вуглецем ( <i>Навчальний елемент 12</i> ).....	51
3.4 Діаграма стану залізо – цементит ( <i>Навчальний елемент 13</i> ).....	54
<b>4 ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ</b> .....	59
4.1 Алотропічні перетворення ( <i>Навчальний елемент 14</i> ).....	59
4.2 Термічна обробка сталі ( <i>Навчальний елемент 15</i> ).....	62
4.3 Хіміко-термічна обробка ( <i>Навчальний елемент 16</i> ).....	67
<b>5 СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ</b> .....	70
5.1 Вуглецеві сталі ( <i>Навчальний елемент 17</i> ).....	70
5.2 Леговані сталі ( <i>Навчальний елемент 18</i> ).....	73
5.3 Спеціальні сталі ( <i>Навчальний елемент 19</i> ).....	76
5.4 Чавуни ( <i>Навчальний елемент 20</i> ).....	81
<b>6 КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ, ТВЕРДІ СПЛАВИ ТА КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ</b> .....	85
6.1 Кольорові метали та їх сплави ( <i>Навчальний елемент 21</i> ).....	85
6.2 Металокерамічні сплави ( <i>Навчальний елемент 22</i> ).....	89
6.3 Корозія металів ( <i>Навчальний елемент 23</i> ).....	91
<i>Тести другого модуля</i> .....	95
<b>Частина 3. СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ</b> .....	101
<i>Змістовий модуль 3</i>	
<b>7 ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ</b> .....	101
7.1 Основні властивості металів ( <i>Навчальний елемент 24</i> ).....	101
7.2 Технічні проби металів ( <i>Навчальний елемент 25</i> ).....	107
<b>8 ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ</b> .....	111
8.1 Суть обробки металів тиском ( <i>Навчальний елемент 26</i> ).....	111
8.2 Прокатування ( <i>Навчальний елемент 27</i> ).....	113
8.3 Суть волочіння ( <i>Навчальний елемент 28</i> ).....	116

8.4 Пресування (Навчальний елемент 29).....	118
8.5 Суть кування (Навчальний елемент 30).....	119
8.6 Штампування (Навчальний елемент 31).....	123
8.7 Виробництво сталевих труб (Навчальний елемент 32).....	126
<b>9 ОСНОВИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	129
9.1 Сутність ливарного виробництва (Навчальний елемент 33).....	129
9.2 Лиття в одноразових піщаних формах (Навчальний елемент 34).....	131
9.3 Спеціальні види лиття (Навчальний елемент 35).....	135
<b>10 ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ</b> .....	139
10.1 Основні поняття і визначення (Навчальний елемент 36).....	139
10.2 Точіння (Навчальний елемент 37).....	142
10.3 Свердління (Навчальний елемент 38).....	146
10.4 Фрезерування (Навчальний елемент 39).....	148
10.5 Стругання, довбання та протягування (Навчальний елемент 40).....	151
10.6 Шліфування (Навчальний елемент 41).....	153
<b>11 СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ</b> .....	156
11.1 Обробка металів поверхневим деформуванням (Навчальний елемент 42).....	156
11.2 Електрофізичні методи обробки (Навчальний елемент 43).....	158
Тести третього модуля.....	161
<b>Частина 4. ЗВАРЮВАННЯ</b> .....	165
<i>Змістовий модуль 4</i>	
<b>12 СУТЬ ЗВАРЮВАННЯ</b> .....	165
12.1 Загальні відомості про зварювання (Навчальний елемент 44).....	165
12.2 Сталеві покриті електроди (Навчальний елемент 45).....	171
12.3 Джерела живлення зварювальної дуги (Навчальний елемент 46).....	175
12.4 Техніка ручного дугового зварювання (Навчальний елемент 47).....	178
<b>13 ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ</b> .....	183
13.1 Зварні з'єднання і шви (Навчальний елемент 48).....	183
13.2 Режими ручного дугового зварювання (Навчальний елемент 49).....	188
13.3 Позначення швів на кресленні (Навчальний елемент 50).....	191
<b>14 ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ МЕТАЛІВ</b> .....	196
14.1 Суть газового зварювання (Навчальний елемент 51).....	196
14.2 Обладнання газового зварювання (Навчальний елемент 52).....	200
14.3 Термічне різання металів (Навчальний елемент 53).....	203
14.4 Будова та робота кисневого редуктора (Навчальний елемент 54).....	206
14.5 Будова та робота ацетиленового генератора (Навчальний елемент 55).....	208
<b>15 ДЕФОРМАЦІЇ ТА ДЕФЕКТИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ</b> .....	212
15.1 Виникнення деформації та способи їх зменшення (Навчальний елемент 56).....	212
15.2 Дефекти швів при зварюванні плавленням (Навчальний елемент 57).....	215
15.3 Види контролю зварних з'єднань (Навчальний елемент 58).....	218
<b>16 З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	222
16.1 Підготовка деталей до зварювання (Навчальний елемент 59).....	222
16.2 Особливості виконання зварювання (Навчальний елемент 60).....	225
16.3 Паяння металу (Навчальний елемент 61).....	230
16.4 Безпека праці при зварювальних роботах (Навчальний елемент 62).....	235
Тести четвертого модуля.....	240
<b>Література</b> .....	245
<b>Глосарій</b> .....	246

## ВСТУП

Посібник за своїм змістом відповідає навчальній програмі курсу “Металознавство і зварювання в будівництві” для студентів будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів України III і IV рівнів акредитації. Посібник покликаний сформувати у майбутнього спеціаліста достатні знання основ металознавства, технології їх виробництва, мати уявлення про сучасні способи виготовлення заготовок, а відтак і готових виробів – деталей з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Навчальний посібник підготовлений з урахуванням багаторічного виробничого та педагогічного досвіду автора й специфіки модульного викладання. Автором використований і так званий лакунарний метод, коли викладання матеріалу не є абсолютно точним, але відрізняється більшою наочністю. Це, на погляд автора, повинно сприяти кращому розумінню і засвоєнню основ технології металів і зварювання.

В основу посібника покладені концептуальні підходи та керівні принципи модульної методології Міжнародної організації праці (МОП), які можуть органічно функціонувати в дистанційній освіті. Відповідно до цієї методології навчальний матеріал для вивчення дисципліни зібраний у спеціальні дидактичні розділи, які отримали назву “навчальні елементи”. З методичного і педагогічного погляду це спеціально розроблені навчальні розділи, що включають текстовий та ілюстративний матеріал, спрямований на засвоєння вмінь та знань. Навчальний елемент вміщує нетрадиційно упорядковану текстову та ілюстративну інформацію стосовно однієї конкретної теми і містить у собі все те, що викладач розповів би студентам на лекції для досягнення поставленої мети навчання.

Цілі навчального елемента сформульовані коротко, точно і визначають суть навчання. Це своєрідний схематичний план змісту навчального елемента. Від повноти поставлення цілей залежить правильний розподіл навчального матеріалу на кроки та побудова контрольних запитань самоперевірки вивченого.

Зміст навчального матеріалу викладений короткими текстами (кроками), які в логічній послідовності розкривають суть потрібних студенту знань. Для розміщення і пошуку інформації в електронному вигляді кожний крок навчального елемента нумерується і ця нумерація є наскрізною. У випадках, коли крок, так би мовити, подрібнюється, інформація записується після двокрапки з риски, у стовпець, з маленької літери.

Іншою мовою, навчальний елемент розроблений таким чином, щоб студенти при переході на дистанційне навчання могли самостійно вчитися у власному темпі. Щоб досягти цього, тексти і ілюстрації навчальних елементів виконані таким чином, щоб скласти собою повну й правильну послідовність ілюстрованої інформації.

# Частина 1 МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

## Змістовий модуль 1

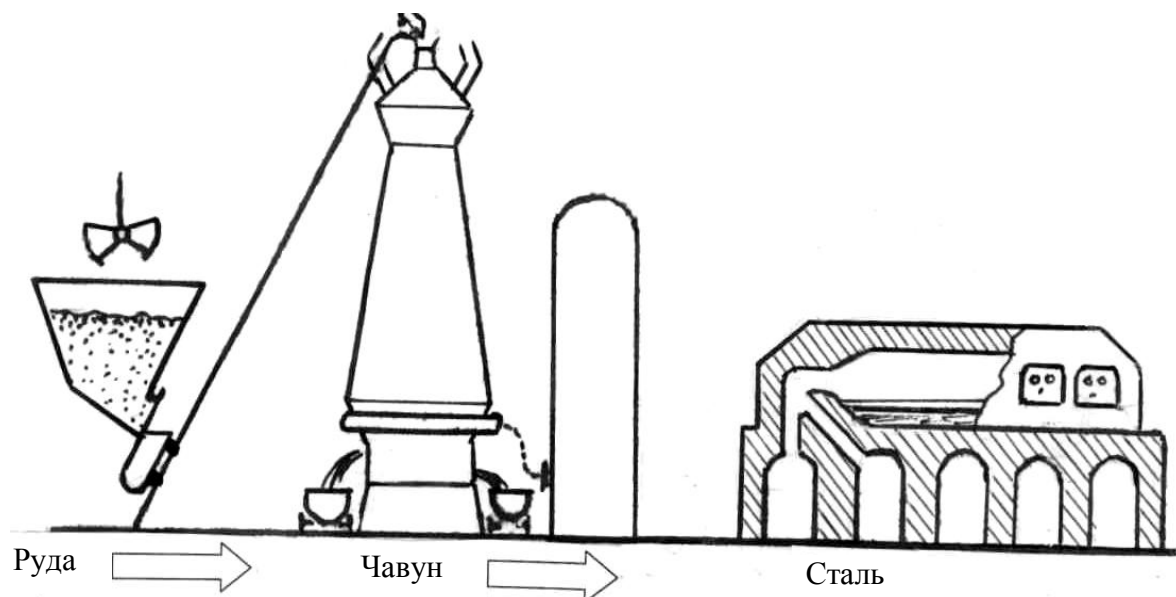
### 1 ВИПЛАВКА ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

#### 1.1 Виплавка чавуну (Навчальний елемент 1)

##### Цілі

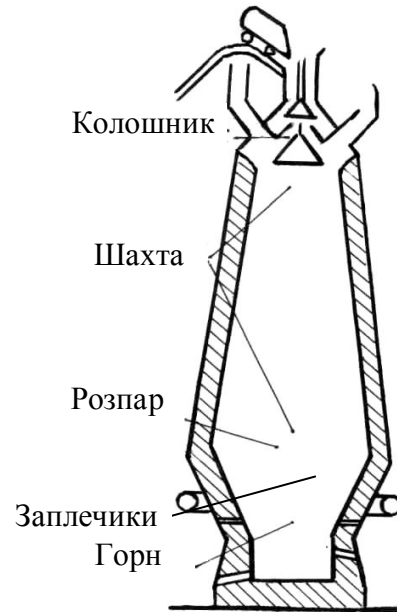
Закінчивши вивчення даного навчального елемента, студент повинен знати:

- ознаки, за якими розділяють сплави із заліза;
  - поняття про вихідні матеріали для виробництва чавуну;
  - загальні принципи будови та роботи доменної печі;
  - основи доменного процесу;
  - основні продукти доменного виробництва.
1. Metalli (*metals*) поділяють на дві групи – чорні (*ferrous*) і кольорові (*nonferrous*). До чорних металів відносять залізо (*iron*) і сплави на його основі – сталі (*steels*) та чавуни (*cast iron*). Чорні метали складають близько 95% від загального виробництва металів. Залізо є одним із найбільш поширених елементів на землі, воно займає четверте місце (після кисню, кремнію і алюмінію).
  2. Спочатку залізо добували безпосередньо із руди (*ore*) відновленням у горнах (*blast*). Потім із збільшенням висоти горнів залізо насичувалось вуглецем, від чого виплавлений сплав ставав крихким, але з добрими ливарними властивостями. Такий сплав дістав назву чавуну. З XIII століття чавун почали переробляти на сталь – сплав, з меншим ніж у чавуні вмістом вуглецю, а тому з більшою пластичністю та міцністю. Така двостадійна схема виробництва – виплавка чавуну в доменній печі (*blast furnace*) та переробка його на сталь – і тепер є основною.

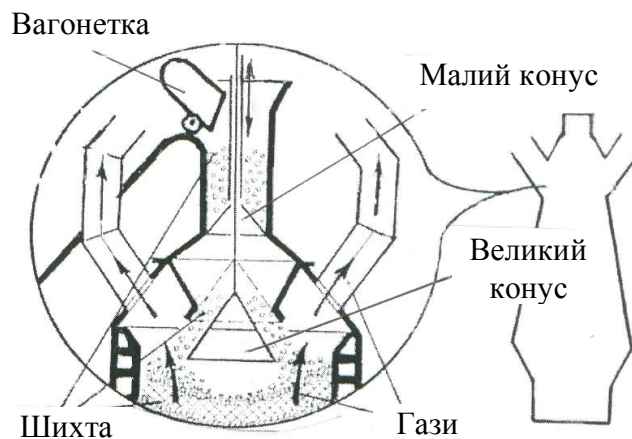


3. Основний матеріал для одержання чавуну – залізна руда, яка є сполукою заліза з киснем ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$ ). Рудою називають гірські породи, які містять у собі метали в такій кількості, яка забезпечує їх економічно доцільну переробку. До складу залізної руди входять також оксиди кремнію, марганцю, фосфору, сірки, кальцію, магнію та інших елементів, які називають порожньою породою, тому що в них немає заліза. Використовують у промисловості залізні руди, які містять не менше 25% заліза. Добувають залізну руду відкритим способом за допомогою вибухівки. Великі поклади залізної руди в Україні розташовані біля Кривого Рогу.
4. Залізну руду до завантаження в доменну піч подрібнюють і збагачують, відокремлюючи, по можливості, порожню породу. Найпростішим способом збагачення є промивка руди водою, яка виносить порожню породу. Магнітна руда збагачується шляхом впливу магнітного поля, коли оксиди заліза, які мають магнітні властивості, притягуються електромагнітом і відокремлюються від пустої породи, яка не здатна намагнічуватися. Ефективним методом збагачення є отримання агломерату шляхом спікання порошкоподібної руди та рудного пилу з домішками вапняку.
5. Для розплавлення залізної руди в доменній печі необхідна висока температура, яка утворюється за рахунок спалювання палива. Основним видом палива при виплавці чавуну є кокс (*coke*). Його отримують шляхом сухої перегонки вугілля при температурі до 1000 °C без доступу повітря. Крім того, частина вуглецю коксу безпосередньо бере участь в реакції відновлення заліза.
6. Для горіння палива потрібен кисень, його отримують з повітря, яке нагнітається в доменну піч.
7. Порожня порода руди, а також зола палива плавляться при дуже високій температурі (1800 °C більше). В піч вводять речовини, які при порівняно низьких температурах утворюють з пустою породою руди і золою палива легкоплавкі хімічні сполуки – флюси (*gumboils*). Сплавляючись з пустою породою, флюси перетворюються на шлаки (*slags*). Залізні руди, які добувають в Україні, мають переважно кислу пусту породу, і тому використовують як флюси-вапняки.
8. Залізна руда, паливо (кокс) і флюси утворюють шихту (*mine*), яку в певному порядку завантажують у доменну піч, де проходить перетворення залізної руди в чавун.

9. Доменна піч – це висока (близько 30 м.) вертикальна шахта із сталевих листів, яка зсередини викладена вогнетривкою цеглою. Більшість діючих доменних печей мають корисний об'єм 1300...23000 м<sup>3</sup>, тобто об'єм, зайнятий завантаженими в піч матеріалами і продуктами плавлення. У таких печах за добу виплавляється до 2000 т чавуну. Робочий простір печі, який залежно від геометричної конфігурації і технічного призначення, ділиться на 5 частин: колошник, шахта, розпар, заплечики, горн.



10. Колошник, який розташований у верхній частині печі, призначений для прийому шихтових матеріалів і відведення газів. Над колошником розташований завантажувальний пристрій, який складається з приймальної воронки, малого конуса, розподільного пристрою і великого конуса. Шихта подається в колошник вагонетками скіповим підйомником. Малий і великий конуси опускаються не одночасно, щоб не допустити викидання доменних газів із печі в атмосферу. Гази виводяться газовивідними трубами і використовуються як газоподібне паливо.

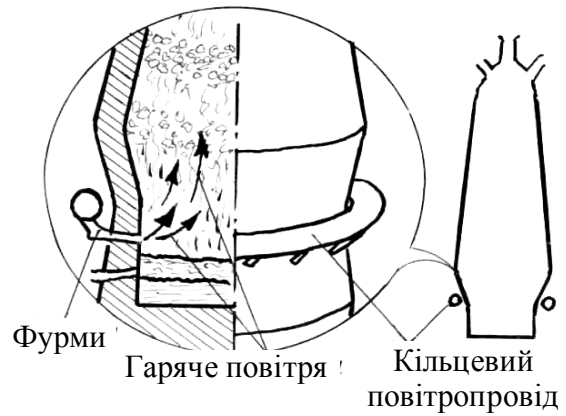


11. У шахті, яка має форму зрізаного конуса, що розширюється донизу, розміщується основна маса шихти. Така форма шахти забезпечує опускання шихти в міру її плавлення у нижню частину печі і рівномірний розподіл газів. В шахті відбувається висушування руд і відтворення (відновлення) заліза. В розпарі починається плавлення металу і утворення шлаку. В заплечиках утворюється чавун і шлак.

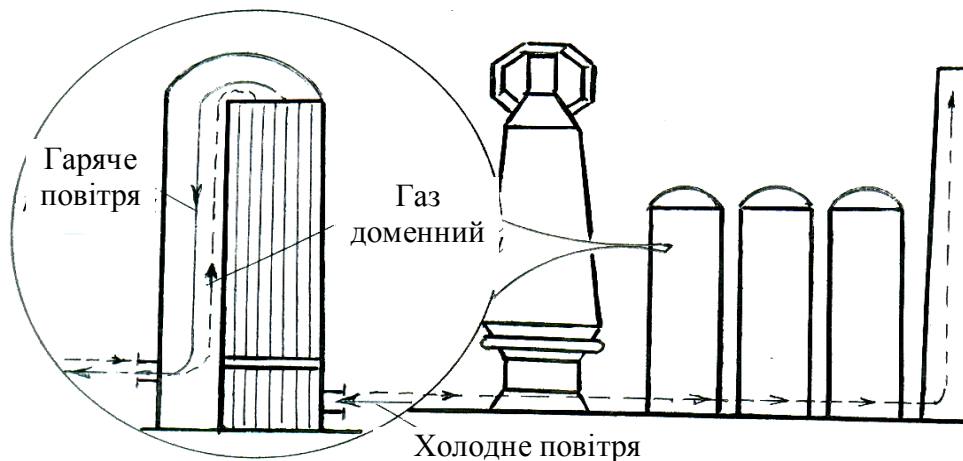




12. Найважливіша частина доменної печі – горн (*bugle*), який знаходиться у нижній її частині. У верхній частині горна розміщені фурми, через які із кільцевого повітропроводу вдувається повітря, необхідне для горіння палива в доменній печі.



13. Для зменшення втрат тепла і економії коксу повітря нагрівають у повітрянагрівачах, що знаходяться біля кожної домни у кількості трьох-чотирьох, і які працюють по черзі. Продукти горіння газу проходять вертикальними каналами насадки, нагрівають її і виходять в димову трубу. Поки один повітрянагрівач віддає тепло, другий – нагрівається до температури 1200 °С і потім нагріте повітря вдувається в доменну піч.



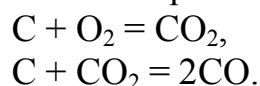
14. Дно горна називається подом печі, у верхній частині горна на поверхні розплавленого чавуну накопичується розплавлений шлак, який утворюється з порожньої породи і попелу палива. Біля дна горна знаходиться впускний отвір для випуску чавуну, що називається чавунною льоткою, а дещо вище – впускний отвір для шлаку, що називається шлаковою льоткою.



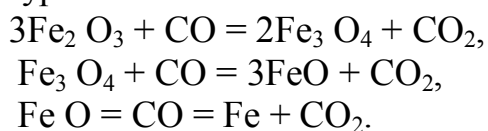
15. В доменній печі спостерігаються два рухи, що мають протилежні напрямки: знизу вверх рухаються газоподібні продукти горіння, а назустріч їм опускається зверху вниз руда, паливо і флюси. В міру плавлення шарів шихти, які розташовані нижче, і згорання палива, шихта опускається в зону більш високих температур, а в простір, що звільнився, зверху завантажується наступна її порція. У зоні шихти при температурі 400-800 °С окис вуглецю, який одержують від неповного згорання палива, хімічно взаємодіє з залізною рудою, відокремлює від неї кисень, в результаті чого утворюється чисте залізо, що опускаючись вниз, попадає в розпар і заплечики, де нагрівається до температури 1000 – 1200 °С і насичується вуглецем з оксиду вуглецю. Одночасно залізо розчиняє в собі домішки (кремній, марганець, фосфор і сірку), які містяться в порожній породі і коксі. В результаті науглецьовування заліза утворюється чавун. Із нижньої частини заплечиків при температурі 1200 – 1700 °С він стікає в горно.



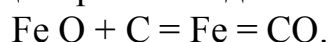
16. Фізико-хімічні процеси, які виникають в доменній печі, зводяться до того, що гаряче повітря контактується з розпеченим коксом і спричиняє його горіння за реакцією:



Реакція непрямого відновлення заліза відбувається при температурі 570 °...950 °С:



Реакція прямого відновлення заліза відбувається при 950...1000 °С



17. Доменна піч поглинає велику кількість шихтових матеріалів та повітря. Так, для виробництва кожних 100 т чавуну необхідно в середньому подати в піч 190 т залізної руди, 95 т коксу, 50 т вапна і близько 350 т повітря. В результаті крім 100 т чавуну отримуємо близько 80 т шлаку і 500 т доменного газу (*domain gas*).

18. Основним продуктом роботи домни є чавун, що поділяється на ливарні, переробні і спеціальні доменні феросплави (*ferro-alloy*). Ливарний чавун використовують для виробництва виливків. Він має хороші ливарні властивості, добре обробляється різанням. В зломі цей метал має сірий відтінок, тому його називають сірим чавуном (*grey castiron*).
19. Переробний чавун використовують для перероблення на сталь. Він має велику твердість і крихкість, що ускладнює його обробку. В зломі перероблений чавун має білий відтінок, тому його називають білим чавуном (*white castiron*).
20. Доменні феросплави вводять в склад шихти при виробництві сталі, а також при виливанні чавунних виробів. Феросиліцій містить, крім заліза і вуглецю, 9 – 13 % кремнію. У феромарганець входять крім заліза і вуглецю, 75 % марганцю.
21. В результаті доменного процесу утворюється шлак, який після випускання з горна охолоджують водою. Його використовують у будівництві для виготовлення шлакобетону, шлакової цегли, цементу тощо.
22. Доменний газ, що утворюється при згорянні палива, піднімається по шахті, віддає частину свого тепла залізній руді і випускається через відводи. Його використовують для підігрівання повітря, яке подається в домну і як паливо з промисловою метою.

#### *Контрольні запитання*

1. На які дві групи поділяють метали?
2. Що собою являє залізна руда?
3. Як виконується збагачення руди?
4. Як отримують кокс?
5. Назвіть основні частини доменної печі.
6. Який склад має шихта для отримання чавуну?
7. Яка роль кисню в отриманні чавуну?
8. Як працює доменна піч?
9. Яка будова колошника?
10. Що таке шихта?
11. За допомогою якого пристрою підігрівають повітря перед подачею в домну?
12. Яким чином подається в домну шихта?
13. Що ще крім чавуну отримують з доменної печі?

## 1.2 Виробництво сталі (Навчальний елемент 2)

### Цілі

Після вивчення даного навчального елемента студент повинен вміти визначати:

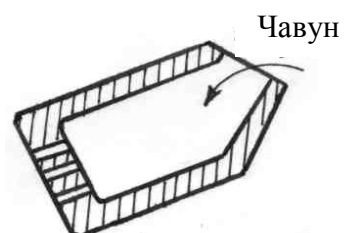
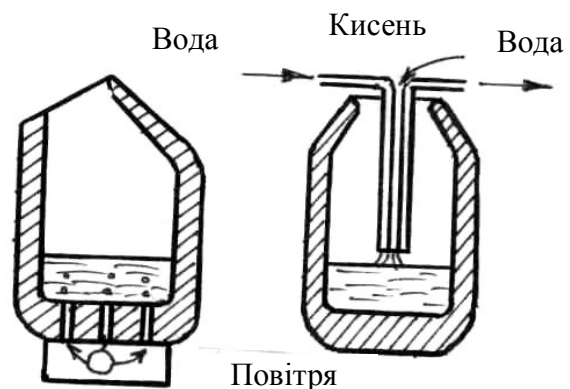
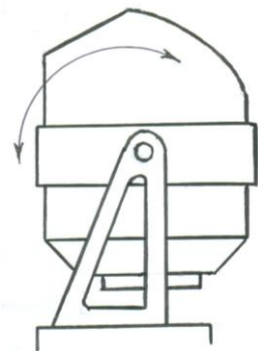
- суть процесу виробництва сталі;
- основні способи перетворення чавуну на сталь;
- загальні види печей для виплавки сталі;
- суть виробництва сталі безпосередньо з руди.

1. Сталь – це сплав заліза з вуглецем, у якому масова частка вуглецю не перевищує 2,14 %. В сталі, крім вуглецю, менше і звичайних домішок (кремнію, марганцю, фосфору і сірки), що пов'язано з особливостями технології її виробництва. Суть будь-якої металургійної переробки чавуну на сталь – зменшення вмісту вуглецю і домішок шляхом їх вибіркового окислення і переведення в шлак та газу в процесі плавлення.

2. Сталь виплавляють з переробного чавуну і сталевому лому в конверторах (*converters*), мартенівських (*marten*) і електричних печах, переваги серед яких мають киснево-конверторні і електроплавильні способи. Тому вони поступово і витісняють мартенівський процес, який потребує багато природного газу.

3. Виплавка сталі в конверторах полягає в продуванні стисненим повітрям, або киснем розплавленого чавуну, що знаходиться у конверторі. Кисень окислює вуглець та інші домішки, які є в чавуні, перетворюючи його на сталь. Конвертор складається зі сталевого кожуха, викладеного зсередини вогнетривкою цеглою і може знаходитись:

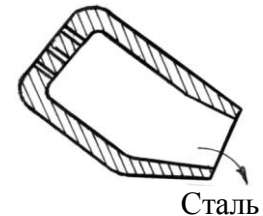
- у похилому положенні; при цьому заливають конвертор чавуном через горловину;



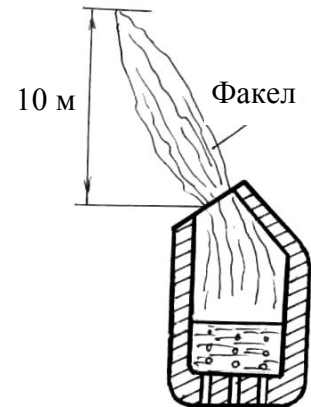
- вертикально, і після заливання чавуном конвертор продувають;



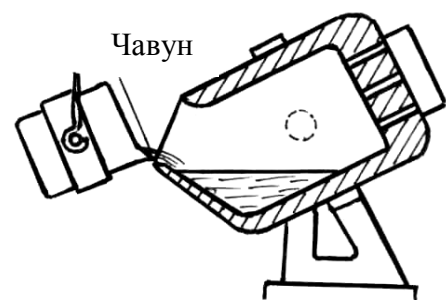
- у похилому положенні, в кінці плавки для випуску сталі.



4. Якщо перероблюваний чавун містить багато кремнію, то конвертування проводять за бесемерівським способом. У цьому випадку як вогнетривкий матеріал застосовують динасову цеглу. Під дією кисню окислюється кремній і марганець, які містять в собі чавун, і потім вони переходять в шлак. Після цього вигорає вуглець, утворюючи окис вуглецю, який виходячи із горловини конвертора і попадаючи в зовнішнє повітря, горить білим довгим полум'ям, утворюючи факел довжиною до 10 м. Коли полум'я спадає це служить ознакою згорання майже всього вуглецю, що міститься в чавуні. Одночасно з'являється бурий дим, який дає можливість судити про посилене згорання (окислення) заліза і про закінчення процесу.



5. Одержаний в результаті бесемерівського процесу метал майже не вміщує вуглецю. Для того, щоб отримати метал необхідної якості, треба підвищити вміст вуглецю. З цією метою конвертор переводять знову у горизонтальне положення і завантажують його багатим вуглецем, чавуном або феромарганцем. В останньому випадку марганець виконує роль розкислювача, бо кисень, що знаходиться в металі, з'єднується з марганцем і перетворює його на шлак. Присутність в сталі окису заліза робить її крихкою. Тому в процесі виробництва сталь розкислюють, тобто в оксидів заліза забирають кисень. Для цього в кінці плавки у конвертор вводять певну кількість феромарганцю, феросиліцію та алюмінію. Для підвищення вмісту вуглецю у сталі до неї додають деяку кількість рідкого чавуну.

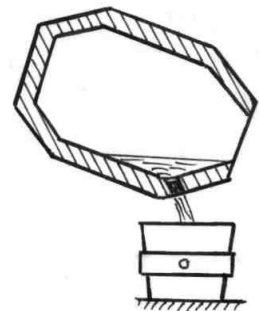


6. При великому вмісті в чавуні фосфору і сірки конвертування проводять за томасівським способом. Відмінною особливістю томасівського процесу від бесемерівського є заміна кислої футерівки конвертора основною. Основна футерівка робиться звичайно із магнезитової цегли (або доломітової), завдяки чому під час плавки в конвертор можна засипати гашене вапно, яке перетворює фосфор на шлак і тим самим очищає метал від цієї шкідливої домішки. Конвертор, який використовують при томасівському способі, має таку ж конструкцію, як і конвертор Бесемера.
7. Фосфор є основним паливом в томасівському способі. Він вигорає в кінці процесу, після вигорання кремнію, марганцю і вуглецю, і утворює фосфористу кислоту, яка перетворюється на шлак за допомогою вапна.

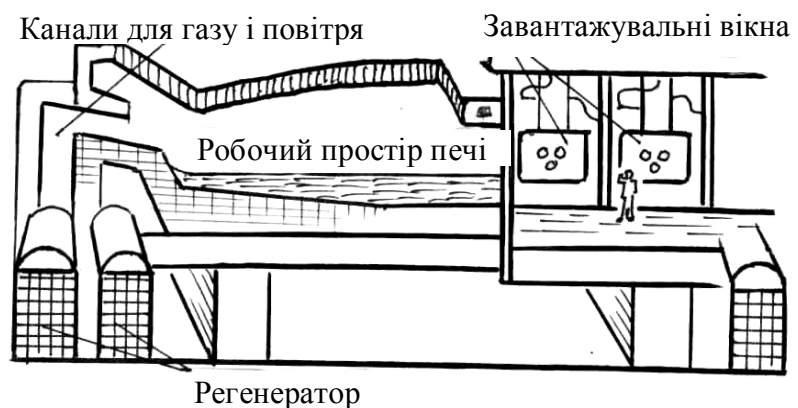
8. Після закінчення дуття шлак зливають, щоб при наступному насиченні металу вуглецем фосфор не відновлювався і не переходив знову в метал. Насичення вуглецем і розкислення проводиться подібно бесемерівському процесу.



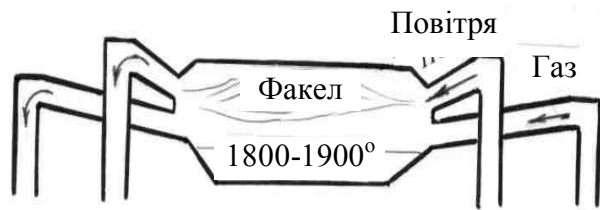
9. Продування триває не більше 15 хв., готову сталь випускають через отвір, який під час продування закритий глиняною пробкою. Для випуску конвертор переводять у похиле положення. Перевага кисневого конвертування полягає в тому, що якість виплавленої сталі наближається до якості мартенівської сталі. При кисневому дутті в конверторах можна перероблювати чавун будь - якого складу за рахунок сталевих лому та інших твердих домішок.



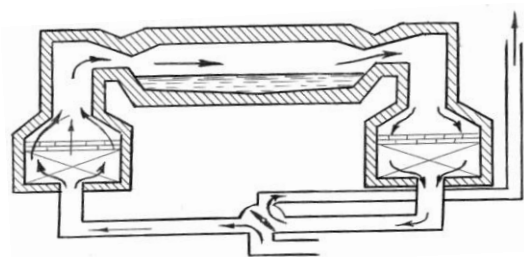
10. Виплавка сталі у мартенівських печах (запроваджена – французами П. і Е. Мартенами в 1865р.) відрізняється від конверторної виплавки більш високою температурою в плавильному просторі печі, що дозволяє перероблювати не лише чавун, але й сталеві відходи і лом.



11. Для мартенівської печі паливом служать газ і мазут. В паливний простір, викладений вогнетривкою цеглою, через вікна завантажують шихту. По каналах підводять повітря і газ, який при горінні розплавляє шихту. Температура у плавильному просторі доходить до 1800 – 1900 °С.

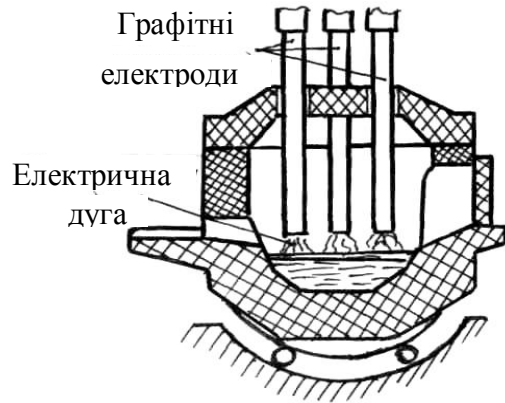


12. По каналах з іншої сторони продукти горіння палива відводять із плавильного простору в регенератори, в цегляній кладці якого продукти віддають тепло. З генератора продукти горіння через димову трубу виходять в атмосферу. При повороті кранів на газоходах, напрямом відвідних газів змінюється на зворотний і проводиться нагрів наступного регенератора. В той же час інший регенератор віддає зібране тепло повітрю і газу, які спрямовуються в піч. Потік газів змінює напрямом через кожні 10 – 15 хв.

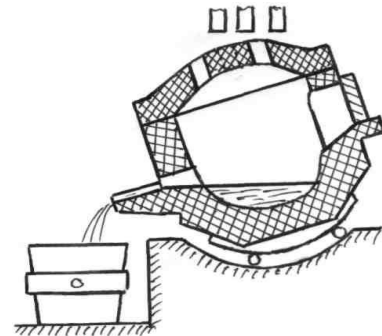


13. Україна помітно відстає від світових технологій щодо мартенівського виробництва. Якщо Японія припинила виробництво мартенівської сталі ще в 1977 р., а частка мартенівської сталі в США в 1990 р. впала до 3,6 %, то в Україні вона становить 52 %. Особливо помітне відставання України від темпів світового розвитку в галузі електроенергетики.
14. Залежно від шихти, що переробляється, розрізняють два основних види мартенівського процесу. Якщо шихта складається з 65 – 80 % сталевого лому і 20 – 35 % чушкового чавуну, то застосовують скрап-процес. Слово "скрап" означає лом, цей процес розповсюджується на заводах, де немає доменних печей.
15. Якщо плавку проводять на металургійному заводі, де є доменна піч, то шихта складається із розплавленого чавуну (85 – 90 %) і певної кількості сталевого лому та залізної руди. Процес плавки в цьому випадку називається рудним.
16. Виплавка сталі в електричних печах – найбільш досконалий спосіб порівняно з конверторним і мартенівським. В плавильному просторі електричної печі підтримується висока температура (близько 2000 °С), що дає можливість вводити в сталь тугоплавкі метали. Застосування розкислювачів дозволяє видаляти, майже цілком, фосфор і сірку, тим самим одержувати сталь високої якості.

17. Електричні плавильні печі поділяються на дугові та індукційні. Дугова плавильна піч складається із сталевого кожуха, викладеного зсередини вогнетривкою цеглою. Зверху через спеціальні отвори вводять графітові електроди. Шихту завантажують через завантажувальне вікно. При проходженні електричного струму між електродами і шихтою виникає електрична дуга, створює високу температуру, в результаті якої плавиться шихта.



18. Готову сталь випускають через жолоб, нахилиючи піч, що здійснюється за допомогою поворотного пристрою. Місткість дугових печей змінюється в межах 0,5 – 180 т, а тривалість однієї плавки триває 3 – 6 год.



19. В індукційній плавильній печі тепло утворюється струмами високої частоти, які проходять по “обмотці” – водоохолоджувальній мідній трубці, розташованій навколо вогнетривкого тигля. При цьому метал нагрівається в тиглі й плавиться. Місткість індуктивних печей – від 10 кг до 10 т, тривалість однієї плавки від 30 хв. до 2 год. 30 хв. Індукційні печі застосовуються для отримання спеціальних сталей (нержавіючої, стійкої проти спрацювання, жаростійкої тощо).



20. Останнім часом в промислових масштабах здійснюють виробництво сталі безпосередньо із руди. Сировиною для одержання заліза є концентрат з 70% Fe в вигляді гранульованих та обпалених окатишів, які подають у шахтну піч прямого відновлення заліза. Знизу в піч подається газ-відновник (чадний газ) з температурою близько 1000 °С, який утворюється при взаємодії природного і колошникового газів:  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ . В результаті реакції відновлення ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CO} = 2\text{Fe} + 2\text{CO}_2$ ) вміст заліза в окатишах підвищується до 90...95 %. Далі окатиші поступають в електропіч, плавляться, метал очищається від домішок, до нього додають необхідні концентрати і дістають леговану сталь.



### Контрольні запитання

1. В чому полягає суть переробки чавуну на сталь?
2. Яким способом виплавляють сталь? В чому перевага кожного із способів?
3. З якою метою застосовують кисень у виробництві сталі?
4. Чим відрізняється томасівський спосіб виплавки сталі від бесемерівського?
5. Яка будова мартенівської печі?
6. В чому суть виплавки сталі в конверторах?
7. В чому суть виплавки сталі в електричних печах?
8. За рахунок чого утворюється тепло в індукційній плавильній печі?
9. В чому суть виробництва сталі безпосередньо з руди?
10. Як працює мартенівська піч?

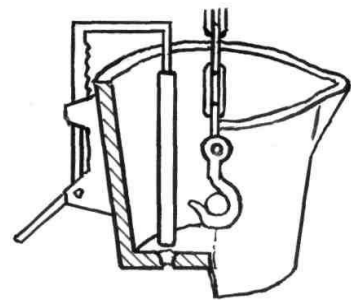
### 1.3 Розливання сталі (Навчальний елемент 3)

#### Цілі

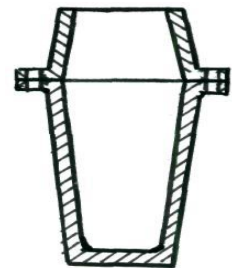
Закінчивши вивчення даного навчального елемента, студент повинен мати уявлення про:

- Ознаки, за якими розділяють три види сталі;
- способи розливання сталі;
- суть кристалізації і будову сталевих злитків;
- безперервне розливання сталі.

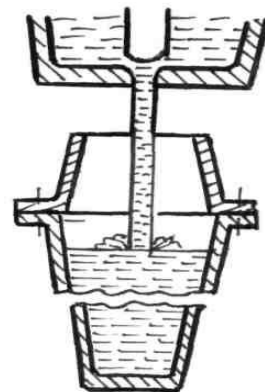
1. Розливання сталі після її плавлення має важливе значення у виробництві цього металу. Виплавлену у плавильній печі сталь випускають у розливний ківш і мостовим краном переносять до місця розливання у злитки.



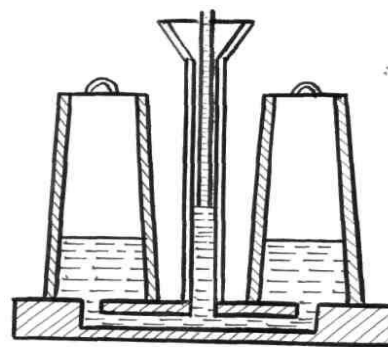
2. Сталь розливають у спеціальні форми – виливниці, чавунні форми для одержання великих зливків (*bullion*) різного перерізу (квадрат, прямокутник, багатокутник або круг). Маса злитків для прокатки становить більше 10 т, а для поковок досягає 350...400 т. У виливницях розплавлений метал остигає.



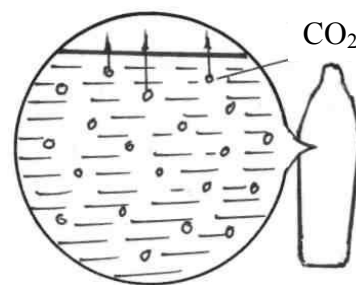
3. При застиганні рідкої сталі в виливниці будова її отримується неоднорідною. Залежно від способу виплавки сталі поділяють на спокійні, напівспокійні і киплячі. Всі вони мало відрізняються статичною міцністю, проте мають різні пластичні властивості, які найбільші в спокійній сталі й найменші в киплячій. Спокійна сталь (*calm steel*) виділяє мало газів і не „кипить”, тому зливочок утворюється щільним. Розлив у цьому випадку ведуть, заповнюючи виливниці зверху.



4. Киплячою сталь (*boiling steel*) називають не повністю розкислену у печі. Її розкислення продовжується у виливниці за рахунок взаємодії оксиду заліза  $FeO$  з вуглецем. Одержаний при цьому оксид вуглецю  $CO_2$  виділяється зі сталі, що створює враження кипіння рідкого металу. Виділення газів відбувається і при затвердінні зливки, тому в ньому утворюється велика кількість розосереджених газових пузирів. Кипляча сталь найдешевша, вона має велику пластичність. Для киплячої сталі застосовують сифонний спосіб розливання, при якому одночасно заповнюють кілька виливниць знизу. Виливниці без дна встановлюються на чавунну основу. Сталь розливають у центральний ливник, звідки по каналах в основі вона надходить у виливниці знизу, що забезпечує плавне, без розбризкування, їх заповнення.

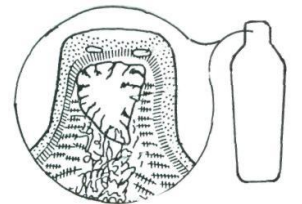
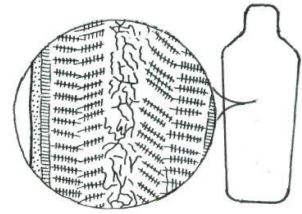
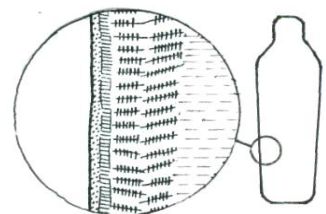
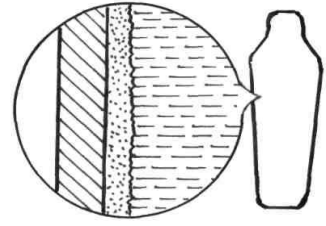


5. Напівспокійну сталь (*semiquiet steel*) добувають при розкислюванні феромарганцем і недостатній кількості феросиліцію або алюмінію. У цьому випадку злиток не має концентрованої усадочної раковини. Така сталь за якістю і цінністю є проміжною між киплячою і спокійною.



6. При заливанні у форму великої маси металу затвердіння не може відбуватися одночасно у всьому об'ємі зливки, воно розпочинається в тих місцях, від яких найбільш швидко відводиться тепло – біля стінок і дна форми, а потім поширюється всередину форми. Тому в злитку спостерігаються зони (шари) з різною будовою кристалів (зерен):

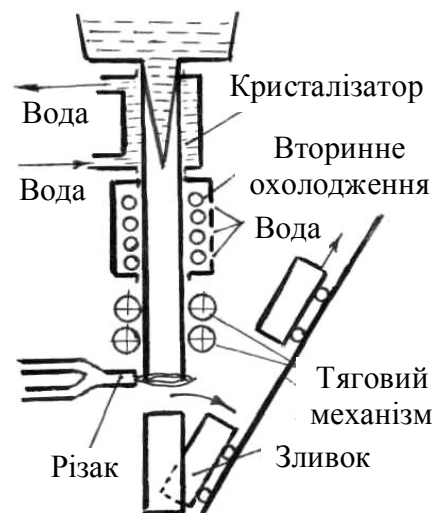
- зовнішній шар зливка складається з дрібних неорієнтованих зерен, бо сталь охолоджують відносно швидко. Кристали утворюються при дотиканні розплавленого металу з відносно холодними стінками виливниці; він значно переохолоджується і виникає багато центрів кристалізації. Ця зона поширюється на невелику глибину;
- після утворення першої зони умови тепло відведення змінюються, швидкість охолодження металу зменшується. Ріст кристалів набуває направленого характеру – вони ростуть від стінок форми до центра, в напрямі протилежному до відведення тепла, утворюється зона стовпчастих кристалів;
- у центрі зливка утворюється зона рівновісних кристалів. Температура металу, що застигає, встигає майже повністю вирівнятися в різних точках і рідина перетворюється ніби в кашоподібний стан;
- у верхній частині зливка, через усадку і нерівномірне охолодження, утворюється усадочна раковина.



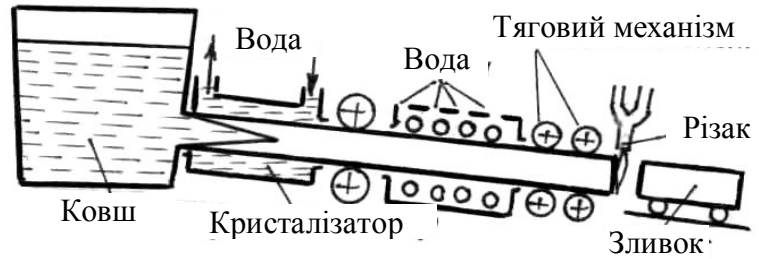
7. Верхню частину зливка де знаходиться усадочна раковина, яка називається додатком (*exhibit*), відрізають і направляють на переплавлення.



8. Спосіб безперервного розливання сталі – найбільш продуктивний і економічний. Першою у промисловості була застосована установка безперервного лиття заготовок вертикального типу. Рідка сталь з ковша безперервним струменем надходить в охолоджувальний водою кристалізатор. У кристалізаторі сталь твердне і утворюється зливоч, який безперервно витягується вниз роликми, що обертаються. Кінцево затвердлий вилочок направляється до возиків з газорізаками. Опускаючись разом з возиками, зливки потрібної довжини відрізають і подають на склад.

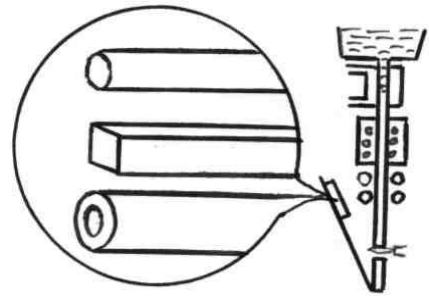


9. Поряд із способом вертикального розливання широко застосовують: радіальні, криволінійні, горизонтальні. Суть



способу безперервного розливання сталі горизонтального типу досить проста: рідка сталь із ковша надходить у наскрізну охолоджувану водою виливницю - кристалізатор. До початку розливання в кристалізатор заводять штучне дно (затравку). Рідкий метал при зіткненні з холодною затравкою і стінками кристалізатора починає тверднути, затравка разом із затверділим на ній металом повільно витягується із кристалізатора і тягне за собою утворювану таким чином заготовку (зливку). Її інтенсивно охолоджують струменем води. Далі все відбувається як і при вертикальному розливанні.

10. При безперервному розливанні відпадає необхідність мати виливницю, а зливки виходять зручними для транспортування і перероблення. При безперервному розливанні сталі дістають злитки від квадратних або круглих різних розмірів до пустотілих у вигляді товстостінних труб. На злитках відсутні усадочні раковини, що забезпечує вихід придатного металу до 98 % від маси виплавленого. Поверхня таких виливок відзначається високою якістю, а метал – однорідною будовою.



#### *Контрольні запитання*

1. В чому різниця між спокійною і киплячою сталлю?
2. Що таке розкислювання сталі?
3. В чому полягає будова сталевого зливка?
4. В чому суть безперервного розливання сталі?
5. Які переваги має безперервне розливання сталі?
6. В чому полягає суть сифонного розливання сталі?
7. Які способи розливання сталі ви знаєте?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Атаманюк В. В. Практикум з технології конструкційних матеріалів / Атаманюк В. В. – Вінниця : ДОВ “Вінниця”, 2004. – 167 с.
2. Власенко А. М. Матеріалознавство для студентів теплоенергетичних спеціальностей : [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 101 с.
3. Власенко А. М. Робоча професія. Ч 1. Технологія металів: [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 111 с.
4. Власенко А. М. Матеріалознавство. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 52 с
5. Власенко А. М. Основи зварювання / Власенко А. М. – Вінниця : ВЕТУ, 2007. – 106 с.
6. Геллер Ю. А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи: [учеб. псоб. для вузов. – 6-е изд., перераб и допол.] / Геллер Ю. А. – М. : Металлургия; 1989. – 456 с.
7. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / [Чернега Д. Ф., Богушевський В. С., Готвянський Ю. Я. та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – К. : Вища школа, 2006. – 503 с.
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / Попович В. В.. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
9. Пахолук А. П. Основи матеріалознавство і конструкційні матеріали: [підруч. для студ. вищ. навч. зал.] / А. П. Пахолук, О. А. Пахолук. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
10. Самохоцький О. І. Металознавство : [підручник] / О. І. Самохоцький, М. Н. Кунявський. – К. : Машинобудівна література, 1955. – 424 с..
11. Савуляк В. І. Ручне електродугове зварювання : [навчальний посібник] / В. І. Савуляк, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 130 с.
12. Технология металлов и сварка / [Полухин П. И., Гринберг Б. Г., Жадан В. Т. и др.] ; под ред. П. И. Полухина ] Учебник для ВУЗов. – М. : Высшая школа, 1977. – 464 с.
13. Металознавство: / [Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н.]. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – К. : ІВЦ “Видавництво Політехніка”, 2008. – 384 с.
14. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / [навч. посібник для учнів проф. навч. зал.] / Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О., Лопатьмо К. Г. – К. : Либідь, 2002. – 328 с.

Навчальне видання

**Власенко Анатолій Миколайович**

# **ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА ЗВАРЮВАННЯ**

## **МОДУЛЬНИЙ КУРС**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Коректор З. Поліщук

Оригінал-макет підготовлено А. М. Власенком

Підписано до друку 25.04.2013 р.

Формат 29,7x42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 14,38.

Наклад 300 (1-й запуск – 100) прим. Зам. № 2013-023.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-87-36.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

Серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-87-38.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.