

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

2397

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ДИСЦИПЛІНИ “ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ
“МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол №13 від 16.06.11

Дніпропетровськ УДХТУ 2012

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Металургія чорних металів” для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання / Укл.: Трофименко В.В., Клименко О.П., Овчаренко В.І. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2012. – 36 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання
Методичні вказівки
з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство”
до виконання лабораторного практикуму
з розділу “Металургія чорних металів”
для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО Віталій Васильович
КЛИМЕНКО Олександр Павлович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович

Авторська редакція

Підписано до друку 13.12.12. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,59. Облік.-вид. арк. 1,65. Тираж 80 прим. Замовлення №79.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Металургією називають науку про добування металів з природних сполук (руд) та галузь промисловості, яка виробляє метали.

Металами називають речовини, які мають кристалічну будову, специфічний металевий блиск, добру пластичність, високу електро- та теплопровідність. Зі 106 елементів таблиці Менделєєва, 76 є металами. Найпоширеніші в природі метали – це алюміній (8,8%) і залізо (4,6%).

У машинобудуванні хімічно чисті метали майже не застосовують з огляду на відсутність необхідних механічних і технологічних властивостей. Якщо, наприклад, до даного рідкого металу додати або залишити в ньому деяку кількість хімічних елементів, то після кристалізації отримаємо нову речовину з певним комплексом властивостей, яка називається сплавом цього металу. Окремі властивості металевих сплавів можна додатково поліпшувати, використовуючи відповідну термічну та хіміко-термічну обробки. Кількість сплавів у сучасній техніці невпинно зростає, що розкриває нові можливості у створенні вискоєфективного обладнання хімічної промисловості. Досить нагадати, що лише на основі заліза створено більше як 10000 сплавів. Металеві матеріали поділяють на дві групи – *чорні* та *кольорові*.

До **чорних** металевих матеріалів належать залізо і сплави на його основі – *сталі* та *чавуни*. Ці сплави займають важливе місце в хімічному машинобудуванні завдяки порівняно невисокій вартості, добрим технологічним і механічним властивостям. Недоліками залізобуглецевих матеріалів є висока густина та низька корозійна тривкість. З огляду на це в розвинутих державах світу спостерігається стійка тенденція до широкого використання металевих сплавів на основі титану, алюмінію та магнію.

Існує 7 основних способів одержання металів та сплавів:

- **пірометалургійний** – один із найдавніших способів, який ґрунтується на тому, що потрібна для здійснення процесу виплавки металу теплота забезпечується згорянням палива. Він поки що є основним для виробництва заліза і його сплавів, міді та інших металів;
- **електрометалургійний** – спосіб, при якому одержання металів здійснюється в дугових, індукційних та інших електричних печах або з допомогою електролізу із розплавів і водяних розчинів хімічних сполук (наприклад, одержання алюмінію із глинозему Al_2O_3);
- **гідрометалургійний** – полягає у вилуговуванні металів із руд різними розчинниками й подальшому виділенні їх з розчину.
- **хіміко-металургійний** – об'єднує хімічні та пірометалургійні процеси. Титан, наприклад, одержують хімічним відновленням тетрахлориду $TiCl_4$ магнієм і подальшою плавкою в електродугових печах.
- **порошкова металургія** – поєднує процеси, унаслідок яких виготовляють порошки металів і неметалевих сполук, з яких пресуванням і подальшим спіканням виготовляють вироби.
- **плазмовий спосіб** – полягає в тому, що за температури $10000^\circ C$ оксиди металу перетворюються на плазму, де атоми металу іонізуються, а атоми

кисню залишаються нейтральними. З отриманої суміші за допомогою магнітного поля вилучають іони металу. Цей спосіб використовують для отримання вольфраму, молібдену, синтезу карбїду титана тощо.

– великі можливості відкриває *космічна металурґія*. Оскільки в космосі не діють сили тяжіння, то плавлення металів і отримання сплавів проводять без тиглів в електромагнітному полі. За умов космосу компоненти сплавів добре перемішуються, гази розчиняються в розплавах, а після кристалізації отримані сплави мають вигляд “губки”. Такі пористі сплави дуже перспективні не тільки для літако- та ракетобудування, а також для хімічного машинобудування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ

Мета роботи: ознайомитися з вихідними матеріалами доменного виробництва та їх підготовкою до доменного процесу; вивчити сутність технології виплавки чавуну, будову доменної печі та призначення продуктів доменного виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1. ЧАВУНИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ХІМІЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Металурґія чавуну вивчає процес виробництва чавуну з залізних руд.

Чавунами називають залізовуглецеві сплави, які містять вуглецю 2,14-6,67%. Вони твердіють з утворенням евтектики, що визначає їх основні механічні і технологічні властивості.

Чавуни - це найбільш поширені сплави для фасонного лиття. Приблизно три чверті всіх виливків отримують з чавунів. Це зумовлено, по-перше, тим, що чавун – один з самих дешевих ливарних матеріалів, а, по-друге, його чудовими ливарними властивостями. Цей конструкційний матеріал є не тільки одним з основних ливарних матеріалів сучасності; прогнозування вказує на те, що він відіграватиме цю роль і в майбутньому.

Ливарні властивості сплавів оцінюють *рідкотекучістю* (здатністю розплаву вільно текти в ливарній формі, повністю заповнюючи її й точно відтворюючи всі її контури), *величиною усадки* (зменшення об’єму металу при охолодженні й кристалізації), а також схильністю до утворення пористості, ліквіації, гарячих та холодних тріщин.

Від ливарних властивостей залежить не тільки можливість отримання складної виливки, але й її конструктивна міцність, тому що багато дефектів структури (пористість, ліквіаційна неоднорідність, мікротріщини) є ефективними концентраторами напружень. У чавунів більш низька, ніж у сталей, температура плавлення, висока рідкотекучість, мала усадка, менша

схильність до утворення усадочних тріщин, що дозволяє відливати деталі складної форми.

Високоміцні чавуни за деякими службовими властивостями стоять поряд з багатьма кованими сталями, в той час як використання чавунів на заміну кованих сталей завжди вигідне з економічної точки зору через отримання деталі з розплаву, минаючи операції обробки тиском.

Крім традиційного використання в металургії та машинобудуванні (виливниці, станини верстатів та ін.) чавун все ширше використовують для деталей машин, які повинні мати високу конструкційну міцність, підвищену твердість, зносостійкість, високу циклічну в'язкість, тобто здатність гасити вібрацію (колінчасті вали та шестерні з високоміцного та ковкого чавунів, а також гільзи, поршні й поршневі кільця з сірого чавуну з перлітною основою).

Універсальність властивостей чавунів зумовлена можливістю широко змінювати хімічний склад сплаву, умови твердіння й охолодження, а також термічну обробку.

Промислові чавуни - це багатокомпонентні високовуглецеві сплави на основі заліза, які містять 2,0...4,5%С, 1,0...3,5%Si, 0,5...1,0%Mn, до 0,3%P та 0,2%S.

1.2. ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

Матеріали для виплавки чавуну

Чавун виплавляють пірометалургійним способом в доменних печах відновленням з руди заліза, наступним насиченням його вуглецем та іншими домішками. Такий процес виробництва чавуну з руди має назву **доменний**.

Для виплавлення чавуну в доменних печах використовують наступні **вихідні матеріали**: залізні, марганцеві й комплексні **руди, паливо і флюси**.

Руди. Для виробництва чавуну використовують руди наступних основних типів. **Залізні руди**.

Магнітний залізняк або магнетит містить 45-70% Fe у вигляді оксиду Fe_3O_4 і має магнітні властивості. Руда має темний колір, високу густину та ускладнено відновлюється.

Червоний залізняк або гематит містить 50-60% Fe у вигляді безводного оксиду Fe_2O_3 . Червоний залізняк містить мало шкідливих домішок: сірки й фосфору; в порівнянні з магнітним залізнякам він легше відновлюється. Через це червоні залізняка належать до кращих залізних руд.

Бурий залізняк містить водний оксид заліза $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$. Пуста порода звичайно забруднена сіркою й фосфором. Вміст Fe в руді біля 30%. Через добру відновлюваність використання небагатих руд бурого залізняка доцільне з економічної точки зору.

Шпатовий залізняк або сидерит містить 30-40% Fe у вигляді карбонату $FeCO_3$. Руда характеризується доброю відновлюваністю й низьким вмістом сірки й фосфору.

Марганцеві руди складаються з оксидів марганцю й пустої породи, яка найчастіше являє собою глинистий пісок. Такі руди містять 28-54% Mn. Їх використовують для підвищення вмісту марганцю в чавунах та при виплавленні спеціальних чавунів.

Комплексні руди крім заліза містять й інші метали (хром, нікель, ванадій), які відновлюються у доменному процесі та поліпшують властивості чавуну.

Основні складові **пустої** породи - це кремнезем (Si_2O_3), глинозем (Al_2O_3) та ін.

Паливо. Основним видом палива, яке використовується при виплавленні чавуну, є **кокс**. Кокс виробляють сухою перегонкою при 1000-1200°C за відсутності повітря деяких сортів кам'яного вугілля, які мають назву тих, що коксуються. При видаленні летких речовин в спеціальних коксових печах відбувається спікання, тривалість якого становить 15-20 годин. Перед коксуванням вугілля проходить підготовку, яка полягає в його подрібненні в щоккових дробарках до розміру зерна 2-3 мм, збагаченні й змішуванні. Спечена пориста маса коксу при видаленні газів розтріскується й розпадається на шматки. Газ, що виділяється, направляють в хімічну дільницю, де з нього виділяють такі цінні хімічні продукти, як бензол, аміак, смоли. Після цього коксовий газ використовують як паливо.

В доменному виробництві використовують кокс у вигляді міцних шматків розміром від 25 до 100-200 мм світло-сірого кольору з пористістю біля 50%. Хімічний склад коксу залежить від родовищ вугілля: вуглецю 80-90%, сірки 0,5-2,0%, фосфору до 0,04%, золи 8,0-12,06%, вологи до 5%, летких 0,7-1,2%. Середня теплота згоряння коксу становить 29,3 мДж/кг (7000 ккал/кг).

Флюси. Доменні флюси використовують для видалення пустої породи і золи палива з доменної печі у вигляді легкоплавкого сплаву – шлаку. Як флюси використовують звичайний вапняк CaCO_3 . Флюси з основними складовими пустої породи - глиноземом і кремнеземом - утворюють легкоплавкі хімічні сполуки.

1.3. ПІДГОТОВКА СИРОВИНИ ДО ПЛАВКИ

Виробництво чавуну потребує певної підготовки вихідних матеріалів як за якістю, так і за розміром шматків.

Найпростішою є підготовка коксу, від якого відокремлюють дріб'язок. Флюси подрібнюють в спеціальних дробарках і сортирують за розміром кусків на спеціальних грохотах.

Спеціальна підготовка руди дає можливість підвищити продуктивність доменної печі і зменшити витрати палива. Основними операціями підготовки руд є **подрібнення, сортування, збагачення, випал й спікання.**

Метою збагачення руд є видалення пустої породи і підвищення вмісту заліза не менш 60%. Збагачення отримує все більше розповсюдження, що пояснюється необхідністю використання бідних руд. Для збагачення залізних руд використовують **промивання і магнітну сепарацію.**

Промивання водою дозволяє відокремити від залізної руди частину піщано-глинистої пустої породи. **Магнітна сепарація** полягає в тому, що подрібнену руду вміщують в магнітне поле. Магніт притягує частки руди, які містять оксиди заліза й мають магнітні властивості, відокремлюючи їх від пустої породи.

В результаті збагачення отримують **концентрати** - продукти з підвищеним вмістом заліза.

Процес спікання руд дрібних фракцій, концентрату, колошникового пилу, звороту агломерату (відходів) має назву **агломерація**. Ці матеріали змішують з подрібненим твердим паливом (кокситом), зволожують і подають в агломераційну машину, в якій температура в шарі шихти досягає 1300-1600°C. В результаті відновлення оксидів заліза в присутності кремнезему утворюється **фаяліт** Fe₂SiO₄ за реакцією:



В зоні горіння фаяліт, що має температуру плавлення 1209°C, плавиться й змочує зерна шихти, через що при охолодженні утворюється тверда пориста маса - **агломерат**, який має високу пористість (до 50%) й добру відновлюваність. Крім того, в процесі спікання майже повністю випалюється сірка, яка видаляється у вигляді сірчаного газу. В металургії звичайно використовують **офлюсований агломерат**, для чого в шихту додатково вводять вапняк.

Перспективним напрямком є виробництво **окатишів**, через те що тонкоподрібнені концентрати мають знижену газопроникність. Їх спікання на агломераційних машинах є малопродуктивним та економічно недоцільним. Ефективним способом згрудкування таких концентратів є **обкатаність**.

Шихта складається з тонкоподрібненого концентрату (розмір фракції менше 0,5 мм), вапняку (флюс) й звороту (відбраковані окатиші). Для кращого обкатання шихту зволожують до 8-10% і додають невелику кількість зв'язуючого (бентонітова глина). Сирі окатиші діаметром 20-30 мм отримують у спеціальних барабанах, що обертаються, в конусних або тарілчастих грануляторах. Далі їх підсушують при 200-400°C й випалюють при 1300-1400°C, в результаті чого вони набувають високої міцності.

Після охолодження окатиші сортирують на грохоті і фракції менше 10 мм повертають на переробку (зворот).

В останні роки використовують металізовані окатиші (після часткового відновлення в них оксидів заліза).

1.4. БУДОВА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ І ТЕХНОЛОГІЯ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Доменна піч працює безперервно 5-10 років. Для цього за необхідністю до неї завантажують окремими порціями (колошами) шихтові матеріали, періодично випускають чавун і шлак, безперервно видаляють доменні гази.

Доменна піч (рис. 1.1) – це вертикальна піч шахтного типу, що складається з двох зрізаних конусів, які стикаються своїми основами.

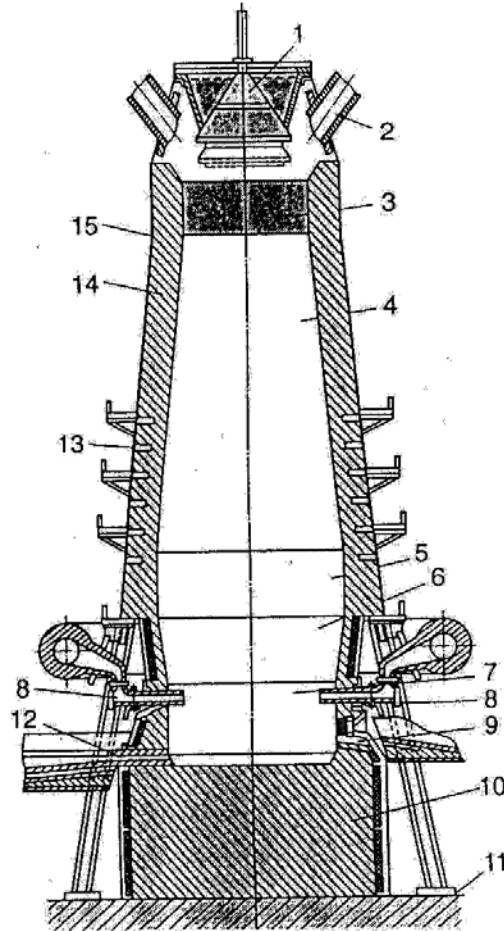


Рис. 1.1. Доменна піч

Доменна піч складається з *засипного апарата 1*, *газовідвідних труб 2* та *колошника 3*, *шахти 4*, *розпару 5*, *заплечиків 6*, *горна 7* і *фундаменту 11*. Дно горна 10 називається *подом*, або *лещаддю*. На самому дні горна є отвір, який називають *чавунною льоткою 12*. Вище від чавунної льотки, але з протилежного боку, є *шлакова льотка 9*. Льотки призначені для випускання через них з печі чавуну та шлаку. Льотки за допомогою спеціального пристрою забивають вогнетривкою глиною, а коли треба випускати чавун або шлак з печі, в них знову пробивають отвори діаметром 50...60 мм. На верхній частині горна є *отвори 8*, які називають *фурменними*. Вони необхідні для розміщення в них мідних або чавунних фурм, які сполучені з кільцеподібною трубою та *кауперами* (повітропідігрівниками).

Верхню частину печі, призначену для завантаження, називають **колошником**. Частину печі, що розширюється, від колошника до найширшої частини конуса називають **шахтою**, а найширшу частину – **розпаром**. Конусну частину печі між розпаром і горном називають **заплечиками**, а **горном** – нижню циліндричну частину доменної печі. Зовнішні стіни кладки печі закриті листовою сталлю - кожухом 15. Внутрішні стінки мають кладку з вогнетривкої шамотної цегли 14 і охолоджуються водою за допомогою спеціальних

холодильників 13. Таку вогнетривку кладку називають *футерівкою*. Вона повинна бути особливо якісною на ділянках горна й заплечиків, де досягається найвища температура.

Повітропідігрівник 10 (рис. 1.2) будують з вогнетривкої цегли і зовні покривають сталевим кожухом. Це звичайна башта діаметром 6... 10 м і заввишки до 60 м з вертикальною камерою горіння та *насадкою* 11. Насадка нагрівається, коли крізь неї проходять розжарені гази, що утворюються від спалювання колошничкового газу в камері згоряння. Гази, які подаються з колошника, проходять *газоочищення* 9, нагрівають насадку каупера і виходять через *димову трубу* 12. При нагріванні насадки до потрібної температури, подавання колошничкового газу припиняють і через розжарену, насадку в зворотному напрямку нагнітають повітря, яке нагрівається і під тиском надходить у доменну піч. Піч обслуговують три-чотири повітропідігрівники, які працюють по черзі.

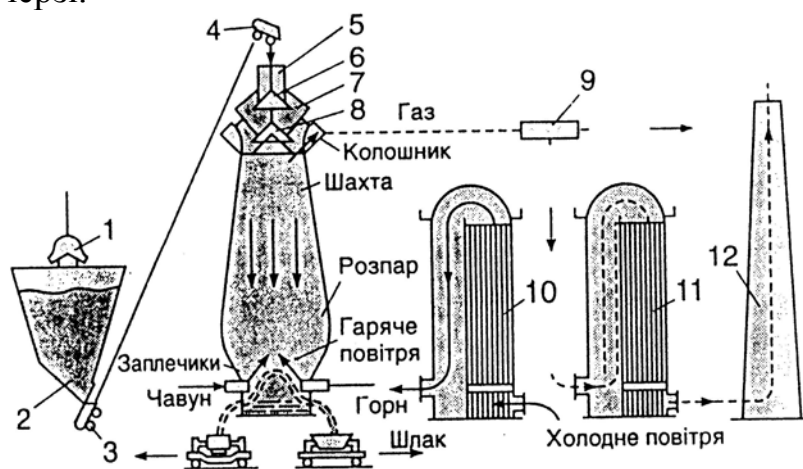


Рис. 1.2. Доменний процес

Для виплавлення чавуну залізну руду, паливо та флюси завантажують у доменну піч у певному співвідношенні. Таку суміш називають *шихтою*. Шихту завантажують порціями. Всі операції завантажування механізовані та автоматизовані, і шихта надходить через приймальну лійку 5 малого конуса 6, лійку 7 великого конуса 8 порціями по 4...8 т у міру плавлення руди та випускання чавуну. Шихту спочатку подають у вагон-терези 1, потім через лійку 2 - у скіпові вагонетки 3, які рейками нахиленого підйомника піднімаються до верхньої точки 4 засипного апарата.

Доменні печі мають підйомні та завантажувальні механізми, повітродувні машини, мостові крани, прийомні бункери, ковші, нагромаджувачі (міксери), машини для забивання та розкривання льоток, прилади для контролювання та автоматизованої виплавки.

Виплавка чавуну (рис. 1.3) має такі стадії: горіння вуглецю палива, розкладання компонентів шихти, відновлення заліза з його оксидів, вуглецювання відновленого заліза та утворення чавуну і шлаків. Чавун і шлак, які утворилися в печі, випускають через льотки: чавун - через 1,5...2 год, шлак - через 1 год. Чавун виливають у спеціальний ківш місткістю 60...100 т для

вивезення його з доменного цеху на дальшу переробку. Більшу частину чавуну зливають у ковші місткістю 600...2500 т для його стабілізації за хімічним складом і температурою, часткового вигорання з нього сірки.

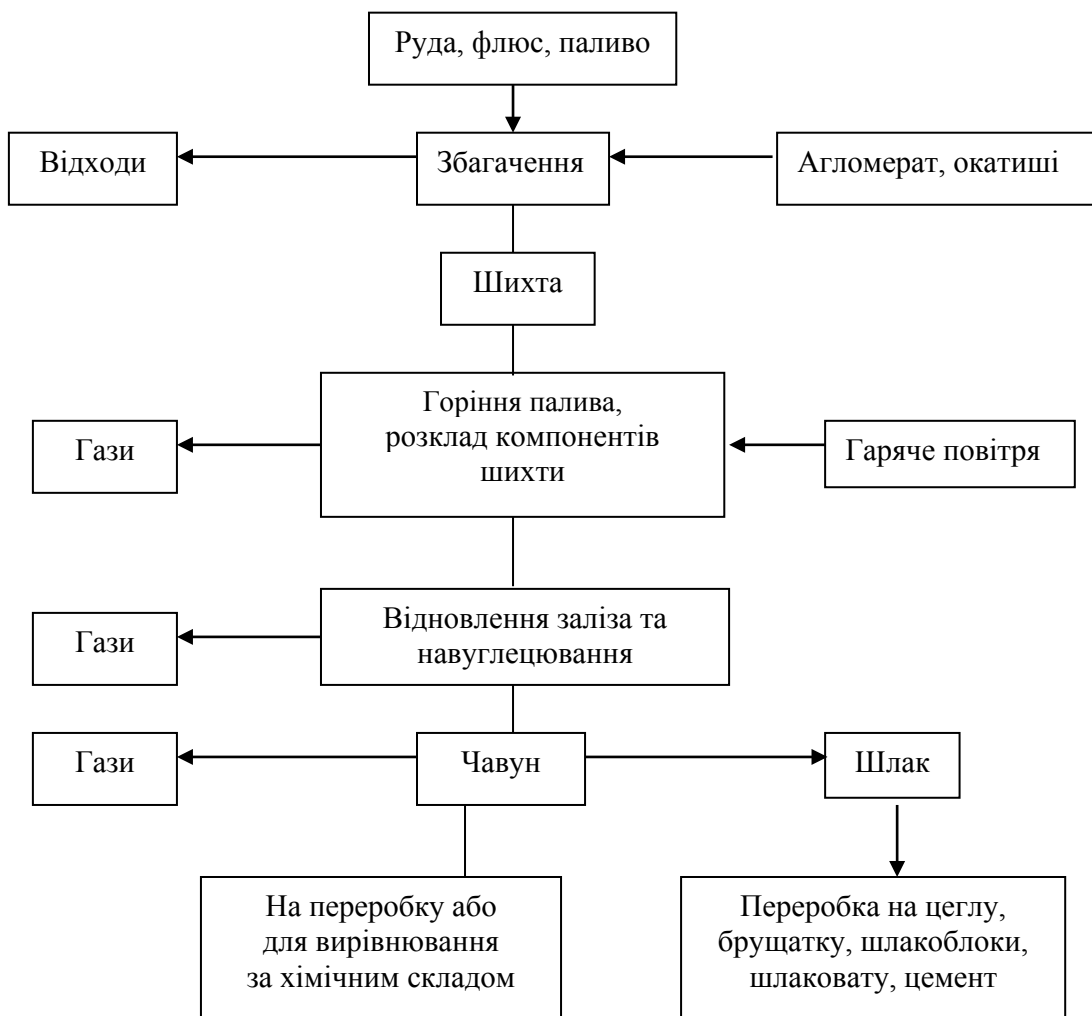


Рис.1.3. Схема технологічного процесу виплавки чавуну

1.5. ДОМЕННИЙ ПРОЦЕС

Як і всі шахтні печі, доменна піч працює за принципом *протитечії*: зверху донизу рухається потік шихтових матеріалів, а знизу доверху - потік газів, які утворюються при згоранні палива.

Відновлення заліза з руди відбувається при дії на неї:

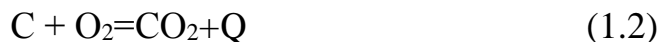
⇒ оксиду вуглецю (непряме відновлення);

⇒ твердого вуглецю (пряме відновлення);

⇒ частково водню, який утворюється при розпаді вологи дуття.

При завантаженні на колошник сирі шихтові матеріали потрапляють в зону низьких температур 200-300°C. При опусканні матеріалів температура підвищується й досягає максимуму на рівні фурм 1900-2100°C, а в горні знижується до 1450°C.

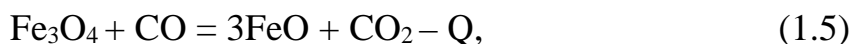
На рівні фурм розжарений кокс згорає в струмені нагрітого повітря з виділенням великої кількості тепла:



Утворений вуглекислий газ реагує з твердим вуглецем коксу й відновлюється до оксиду вуглецю. Ця реакція йде з поглинанням тепла:



Зустрічаючи руду, **оксид вуглецю відновлює оксиди заліза**, перетворюючись на вуглекислий газ:



Відновлення заліза оксидом вуглецю має назву **непрямого або побічного відновлення**. Сумарний тепловий ефект побічного відновлення позитивний. Цей процес відбувається в нижній частині шахти доменної печі при *відносно низьких температурах*.

Реакція **прямого відновлення** твердим вуглецем коксу



відбувається зі значним поглинанням тепла *при більш високих температурах* в зоні розпару й верхній частині заплечиків.

Зазвичай в доменних печах газами, тобто побічним шляхом, відновлюється 60-70% заліза, а твердим вуглецем, тобто прямим відновленням, - 30-40% заліза.

Після завершення процесу відновлення при температурі 1300-1400°C залізо знаходиться в твердому стані й має вигляд губчатої пористої маси.

При взаємодії заліза з CO або безпосередньо з вуглецем утворюється карбід заліза - *цементит*, який добре розчиняється в залізі й поступово науглецьовує його:



В результаті утворюється сплав заліза с вуглецем, який має значно більш низьку температуру плавлення. У високотемпературних зонах доменної печі (розпарі, заплечиках) такий сплав переходить в рідкий стан й стікає до горна.

Водночас з відновленням і обвуглецюванням заліза відбувається відновлення оксидів марганцю, фосфору і деяких інших елементів та їх розчинення в металі.

1.6. ПРОДУКТИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА

Продуктами доменної плавки є **чавун, шлак і доменний газ**.

ЧАВУН - залізовуглецевий сплав, який складається із заліза (до 92%) і вуглецю (2,14...6,67%), домішок силіцію до 4,3%, мангану до 2%, сірки до 0,07% і фосфору до 1,2%.

В залежності від хімічного складу і призначення чавуни розділяють на **переробні, ливарні і спеціальні (феросплави)**.

Чавун, який в основному переробляють на сталь називають **переробним**. (80-90% загального виробництва чавуну). За ДСТУ 3133-95 його випускають марок П1, П2 - для сталеплавильного і ПЛ1, ПЛ2 – для ливарного виробництва, ПФ1, ПФ2, ПФ3 (фосфористий), ПВК1, ПВК2, ПВК3 (високоякісний) із вмістом сірки не більше 0,010% і фосфору не більше 0,015% і відзначається масова частка титану, алюмінію та арсену. У переробному чавуні, виплавленому з руди, що містить мідь, в документі про якість вказують густину міді. Переробний чавун марок П1, П2, ПЛ1 і ПЛ2 виготовляють із вмістом сірки не більше 0,06%.

З **сірого** чавуну, який має ливарні властивості, виготовляють виливки, тому його називають **ливарним** (8-17%). За ДСТУ 3132-95 залежно від вмісту силіцію і призначення, чавун виготовляють марок Л1...Л6 (ливарний) і ЛР1...ЛР7 (ливарний рафінований магнієм).

Ливарний чавун марок Л1...Л6 виготовляють з вмістом сірки не більше 0,06%. За вимогою споживачів забезпечуються й інші показники якості різних видів чавунів.

Спеціальні чавуни або доменні феросплави виплавляють в обсязі лише 2-3% об'єму виробництва чавуну:

- феросиліцій (9-13% Si);
- бідний феромарганець (10-15% Mn);
- багатий феромарганець (70-75% Mn) та ін.

Феросплави використовують для розкислення і легування сталі.

Хімічний склад чавуну залежить від призначення деталі. Вуглець, який входить до складу чавуну, може бути у вільному стані у вигляді частинок графіту, вкраплених між зернами заліза, та в хімічно зв'язаному стані у вигляді карбіду заліза Fe₃C (цементиту).

Якщо чавун заливають у піщані форми, то його структура набирає вигляду сірого чавуну, а під час швидкого охолодження (лиття в металеві форми), якщо знижений вміст силіцію чи підвищений вміст мангану, утворюється структура білого чавуну. Білий чавун спеціальною обробкою можна перетворити на ковкий. Різновидом білого чавуну є відбілений чавун, який утворюється під час швидкого охолодження виливка. Виливки з цього чавуну (валки прокатних станів, вагонні колеса) мають твердий поверхневий

шар з м'якою основною масою, тобто структура білого чавуну поступово переходить у сірий.

Чавуни, що містять спеціальні леговані домішки (нікель, молібден, хром) або звичайні домішки (силіцій, манган), але в більшій кількості, ніж звичайно, називають *легованими*. Легуючі складові вводять для одержання виливків із спеціальними властивостями (підвищеною міцністю, ударною в'язкістю, електроопором, кислотостійкістю).

За призначенням виливки поділяють на звичайні машинобудівельні з сірого чавуну, підвищеної в'язкості з ковкого чавуну, поверхневої твердості з відбіленого чавуну, поліпшеними властивостями з легованих та модифікованих чавунів. Виливки, які виготовляють з чавуну, не повинні мати дефектів (раковин, тріщин тощо).

За ДСТУ 2891-94 чавуни бувають білі, сірі, половинчасті, відбілені, ковкі, антифрикційні, леговані, модифіковані, зносостійкі, жаростійкі, жароміцні, корозійностійкі тощо. Половинчастий чавун (структурно-половинчастий пістрявий чавун), у якого після твердіння структура має дві складові: білу (ледебуритно-карбідно-перлітну) та сіру (перлітно-феритно-графітну). Такий чавун (відбілений) одержують залежно від швидкості охолодження. Антифрикційні - це чавуни з низьким коефіцієнтом тертя. Залежно від вмісту легованих елементів, чавуни бувають мікролеговані (не більше 0,1%), низьколеговані (не більше 3%), середньолеговані (від 3 до 10%) та високолеговані (понад 10%). Зносостійкий чавун здатний чинити опір зношуванню за різних умов. Жаростійкий (окалиностійкий) чавун протидіє руйнуванню в процесі взаємодії з газами за температур до 1100°C, корозієстійкий, який не руйнується внаслідок хімічних чи електрохімічних впливів у корозійних середовищах.

Шлак. Хімічний склад шлаків, які виробляють при виплавленні переробного і ливарного чавунів у коксових доменних печах, приблизно наступний: 33-40% SiO₂, 42-48%(CaO+MgO). 10-20% Al₂O₃.

Важливіша характеристика доменного шлаку - його основність, яка являє собою відношення суми кислотних оксидів до суми основних:

$$\frac{(CaO + MnO)}{(SiO_2 + Al_2O_3)}. \quad (1.10)$$

Основність шлаків при виплавленні різних чавунів коливається в межах 0,9-1,4. Чим вище основність, тим легше відбувається десульфурація чавуну.

В середньому на 1 т чавуну отримують 0,6 т шлаку, який має вагоме значення в народному господарстві. Шлак використовують як сировину при виробництві цементу, цегли та інших будівельних матеріалів, а також з нього виливають бруцатку для вимощування доріг і виробляють шлакову вату, яка використовується як ізоляційний матеріал.

Доменний (колошниковий) газ. При виході з доменної печі колошниковий газ містить на 1 м³ газу 30-60 г пилу, який складається з пилоподібної руди і стертого на порошок палива і флюсів. Після попереднього очищення від пилу колошниковий газ використовують для отоплення кауперів

(повітрянагрівників) і коксових печей, а також для інших потреб металургійного виробництва.

1.7. ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Техніко-економічними показниками виробництва чавуну є:

- ⇒ продуктивність печі;
- ⇒ витрати коксу;
- ⇒ собівартість чавуну;
- ⇒ КВКО (коефіцієнт використання корисного об'єму).

Продуктивність печі характеризується добовою виплавою чавуну в тоннах. Найбільша продуктивність відповідає виплавці переробних чавунів, на 15-20% менше - при виплавці ливарних чавунів і в 2-3 рази менше - при виплавці феросплавів.

Другий важливий показник - *питомі витрати коксу на 1 тонну виплавленого чавуну*: $K = A/P$ (A - кількість коксу, витраченого за добу; P - продуктивність печі). Витрати коксу на виплавлення 1 т переробного чавуну становить 0,8-1,1 т, ливарного - 1,1-1,3 т, феросплавів - 1,5-2,5 т.

Собівартість включає до себе наступні основні позиції: вартість сирих матеріалів, вартість природного газу і коксу, витрати щодо переробки, витрати на заробітну платню.

Основним показником роботи доменних печей є КВКО, величина якого визначається відношенням корисного об'єму печі V_k до продуктивності печі P :

$$\text{КВКО} = M/P, \quad [\text{м}^3/\text{т}]. \quad (1.11)$$

Чим менше КВКО, тим краще працює піч. Сучасні добре оснащені печі мають найкращі показники в межах 0,43-0,65.

1.8. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА

1. *Поліпшення підготовки сирих матеріалів*: сортування коксу і руди за розміром кусків, збагачення залізної руди, використання офлюсованого агломерату.
2. *Використання кисневого дуття*, при якому підвищується концентрація CO , прискорюються процеси відновлення, зменшується об'єм газів і підвищується температура печі, знижується вміст сірки.
3. *Підвищення тиску газу під колошником*, яке призводить до підвищення продуктивності печі і зниження витрат палива.
4. *Механізація та автоматизація доменного виробництва*: механізація трудомістких процесів, автоматичний контроль (тиску, температури, вологості та ін.).

Головні напрямки удосконалення доменного виробництва - збільшення потужності печей, поліпшення їх конструкції та якості шихтових матеріалів,

застосування самоплавкого офлюсованого агломерату, зволоженого повітря та повітря, збагаченого киснем, природного газу, підвищення температури дуття.

1.9. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Зразки: залізної руди, коксу, агломерату, окатишів, білого та сірого чавунів; переріз доменної печі місткістю 3000 м³ (плакат); схематичне зображення стрічкової агломераційної машини (плакат); схема технологічного процесу виробництва окатишів (плакат); поперечний переріз доменного цеху (плакат).

1.10. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Перелічить й опишіть зовнішній вигляд зразків матеріалів для доменної плавки чавуну.
2. Охарактеризуйте схему технологічного процесу агломерації та виготовлення залізородних окатишів.
3. Накресліть схему доменної печі й вкажіть техніко-економічні показники її роботи.
4. Охарактеризуйте продукти доменної плавки і способи інтенсифікації доменного процесу.

1.11. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про шихту та підготовку вихідних матеріалів для доменної плавки.
4. Описати конструкцію доменної печі і фізико-хімічні основи доменного процесу, а також продукти доменної плавки.
5. Охарактеризувати техніко-економічні показники й перспективи доменного виробництва чавуну.

1.12. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які вихідні матеріали потрібні для виробництва чавуну?
2. Підготовка сировини до доменної плавки.
3. Яке призначення флюсів?
4. Яке паливо використовують для виплавлення чавуну?
5. Яка будова доменної печі (схема) і принцип її роботи.
6. Сутність технологічного процесу виплавки чавуну (схема).
7. Як класифікують чавуни?
8. Продукти доменного виробництва та їх використання.
9. Шляхи підвищення продуктивності доменних печей.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Мета роботи: Ознайомитись з сутністю технологій переробки чавуну на сталь, а також з основними способами виробництва і розливу сталі.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

СТАЛЬ – це сплав заліза з вуглецем, у якому масова частка вуглецю не перевищує 2,14%. Крім заліза і вуглецю у сталі завжди є марганець (до 0,8%), кремній (до 0,4%), фосфор та сірка, що пов'язане з особливостями технології її виробництва.

Саме цей сплав є найпоширенішим конструкційним матеріалом у хімічному машинобудуванні. Зі сталі виробляють найрізноманітніші деталі, які мають широкий круг властивостей. Низьковуглецеву сталь можна прокатувати в лист завтовшки менше міліметра й використовувати для вузлів обладнання хімічних виробництв. З середньовуглецевих сталей виготовляють найвідповідальніші деталі, які добре працюють при знакозмінних навантаженнях: вали (в тому числі колінчасті, розподільні, шліцові та ін.), зубчасті колеса, шатуни і т.д. Високівуглецеві конструкційні сталі - це прекрасний матеріал для різноманітних пружних елементів, тому що після відповідної термічної обробки така сталь набуває високу границю пружності. На відміну від чавуну, сталь використовують і для різних інструментів. Додаючи в сталь інші елементи (тобто проводячи *легування* сталі) можна надати їй і особливих властивостей - зробити її нержавіючою, жароміцною, кислотостійкою, окалиностійкою і т.д., що значно розширює використання цього найважливішого конструкційного та інструментального матеріалу сучасності.

2.1. СУТЬ ПРОЦЕСУ

Виробництво сталі є другою металургійною переробкою (перша - це переробка залізної руди на чавун). Переробний чавун, виплавлений в доменній печі, поступає в міксерну дільницю й звідти - в сталеплавильний цех.

Основними *вихідними матеріалами* для виробництва сталі є: **чавун, сталевий брухт і флюси.**

Мета другої металургійної переробки - зниження вмісту вуглецю й домішок, які окрихчують Fe-C сплав. Тому **сутністю** цього процесу є **зниження вмісту вуглецю й домішок в сплаві шляхом їх окислення.**

Існують *різні* способи виробництва сталі, які відрізняються технологічними особливостями, джерелами енергії та обладнанням, що використовуються. В той же час *загальним* для всіх способів є те, що сам процес плавки можна умовно поділити на **два** великих **етапи:**

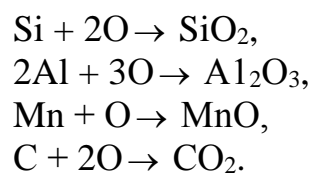
- ⇒ процес окислення вуглецю й домішок (Si, Mn, S і т.д.), утворення оксидів цих елементів і видалення їх у шлак;
- ⇒ розкислення сталі, для чого в розплав вводять елементи, в яких спорідненість до кисню більша, ніж у заліза.

Давайте розглянемо більш детально ці процеси, їх сутність і особливості.

I етап - окислення. Окислювальний етап має два періоди: первинного і вторинного окислення.

Первинне окислення відбувається при взаємодії елементів розплаву з киснем. При цьому спочатку йде окислення елементів з найбільшою спорідненістю - Al і Si. Поки ці елементи не окисляться, вуглець не окисляється. Основними реакціями первинного окислення є:

O ₂ (повітря)
↓
SiO ₂ , FeO, Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ (шлак)
р о з п л а в

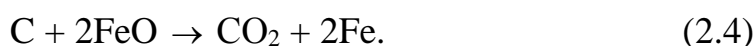
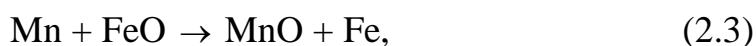
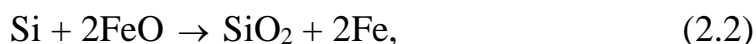


Водночас йдуть реакції окислення заліза:

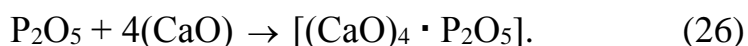


Оксиди, що утворюються, реагують з введеними в піч флюсами (вапно CaO, плавииковий шпат CaF та ін.) й утворюють шлак, який спливає на поверхню розплавленого металу. Утворена шлакова плівка ізолює розплавлений метал від газоподібного кисню. Тому подальше окислення за рахунок взаємодії з киснем стає неможливим (див. схему).

Вторинне окислення відбувається при взаємодії елементів з оксидами заліза на межі метал-шлак:

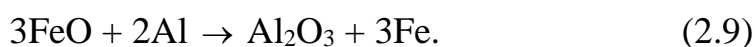
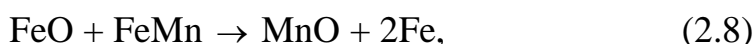


Велике значення мають реакції окислення домішок сірки й фосфору:



Після закінчення основних реакцій окислення і шлакоутворення між сталлю й шлаком встановлюється *реакційна рівновага*. Однак при цьому в сталі ще є розчиненою велика кількість оксиду заліза FeO, яка негативно впливає на властивості сталі. Для видалення розчиненого кисню в розплав додають елементи, які мають спорідненість до кисню більшу, ніж залізо. Наступає другий етап - розкислення сталі.

II етап - розкислення сталі. Як правило, розкислення відбувається в ковші, куди додають розкислювачі: феромарганець, (FeMn), феросиліцій (FeSi) і алюміній. Основні реакції розкислення:



За ступенем розкислення розрізняють такі групи сталі:

- **киплячі (кп)** - їх розкисляють FeMn в печі;
- **напівспокійні (пс)** - їх розкисляють FeMn і FeSi в печі й ковші;
- **спокійні (сп)** - їх розкисляють FeMn, FeSi і Al в печі та в ковші.

Ступінь розкислення має вагомий вплив на механічні властивості сталі. Киплячі сталі мають більшу пластичність (таку сталь виплавляють тільки низьковуглецевою і її можна піддавати холодній обробці тиском), однак недоліком таких сталей є їх схильність до старіння в процесі експлуатації, яке призводить до підвищення крихкості сталі. Підвищена кількість O₂, розчиненого в киплячих сталях, з часом завдяки дифузійним процесам, які повільно відбуваються в твердому стані, виділяється по межах зерен у вигляді оксидів. Властивості сталі при цьому значно змінюються: підвищуються міцність, крихкість і температурний поріг холодноламкості, а пластичність знижується. Спокійні сталі менш пластичні, але мають більш стабільні властивості.

За період плавки шлак можуть видаляти кілька разів (особливо при виробництві сталі в електропечах). Періодично беруть проби й роблять експрес аналіз хімічного складу сталі щодо основних елементів. Коли сталь, що виплавляється, буде відповідати заданому хімічному складу, сталь випускають й зливають шлак.

2.2. СУЧАСНІ СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Існує декілька способів виробництва сталі, які виникали за різних часів і мають свої технологічні особливості. Сталь можна виплавити в **конвертерах, в мартенівських та електричних печах.**

ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ

Конвертерний процес є найбільш продуктивним способом виробництва сталі і поступово витісняє мартенівський спосіб, який був найпоширенішим ще деякий час тому.

В основі конвертерних процесів лежить *обробка рідкого чавуну газоподібними окислювачами (O_2) без підведення зовні додаткового тепла*. Процес виплавки здійснюється тільки за рахунок теплоти екзотермічних реакцій окислення домішок з врахуванням тепла рідкого чавуну.

Кисневий конвертер (рис. 2.1) являє собою посудину грушоподібної форми, виконаний зі сталюгого листа і футерований всередині основною вогнетривкою цеглою. Робоче положення конвертера вертикальне. Кисень подається в нього під тиском 1...1,5 МПа за допомогою водоохолоджуваної фурми, яку вводять до конвертера через горловину. Фурму розташовують над рівнем рідкого металу на відстані 0,7...3,0 м.

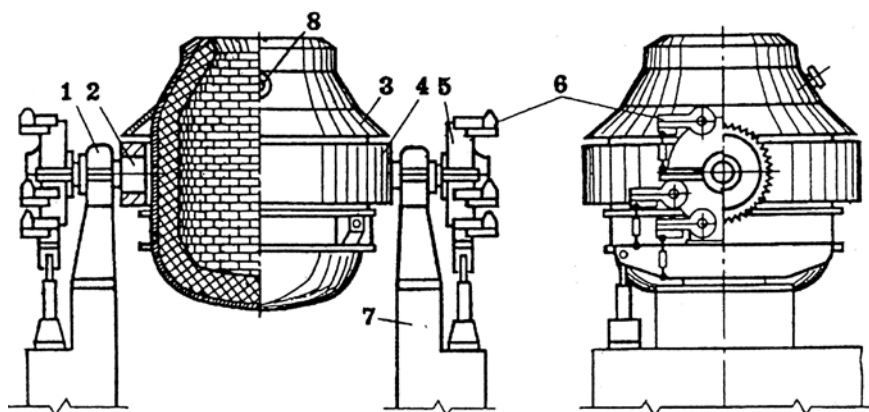


Рис. 2.1. Кисневий конвертер:

- 1 - опорний підшипник; 2 - цапфа; 3 - кожух; 4 - опорне кільце;
5 - колесо ведене; 6 – електродвигун; 7 – опорна станина;
8 – отвір для виливання сталі

На рис. 2.2 показана схематична послідовність технологічних операцій виплавки сталі в конвертері.

Переваги киснево-конвертерного виробництва сталі:

- порівняно низькі капіталовкладення на спорудження киснево-конвертерних цехів;
- висока продуктивність;
- отримана сталь не поступається за якістю мартенівській;
- можна переробляти значну кількість (до 25%) скрапу;
- не потрібно палива.

Недоліки:

- значні витрати металу на вигар;
- труднощі, пов'язані з витоплюванням сталей, що містять легкоокисливі елементи;

– процес вимагає значної кількості (до 80%) рідкого чавуну.

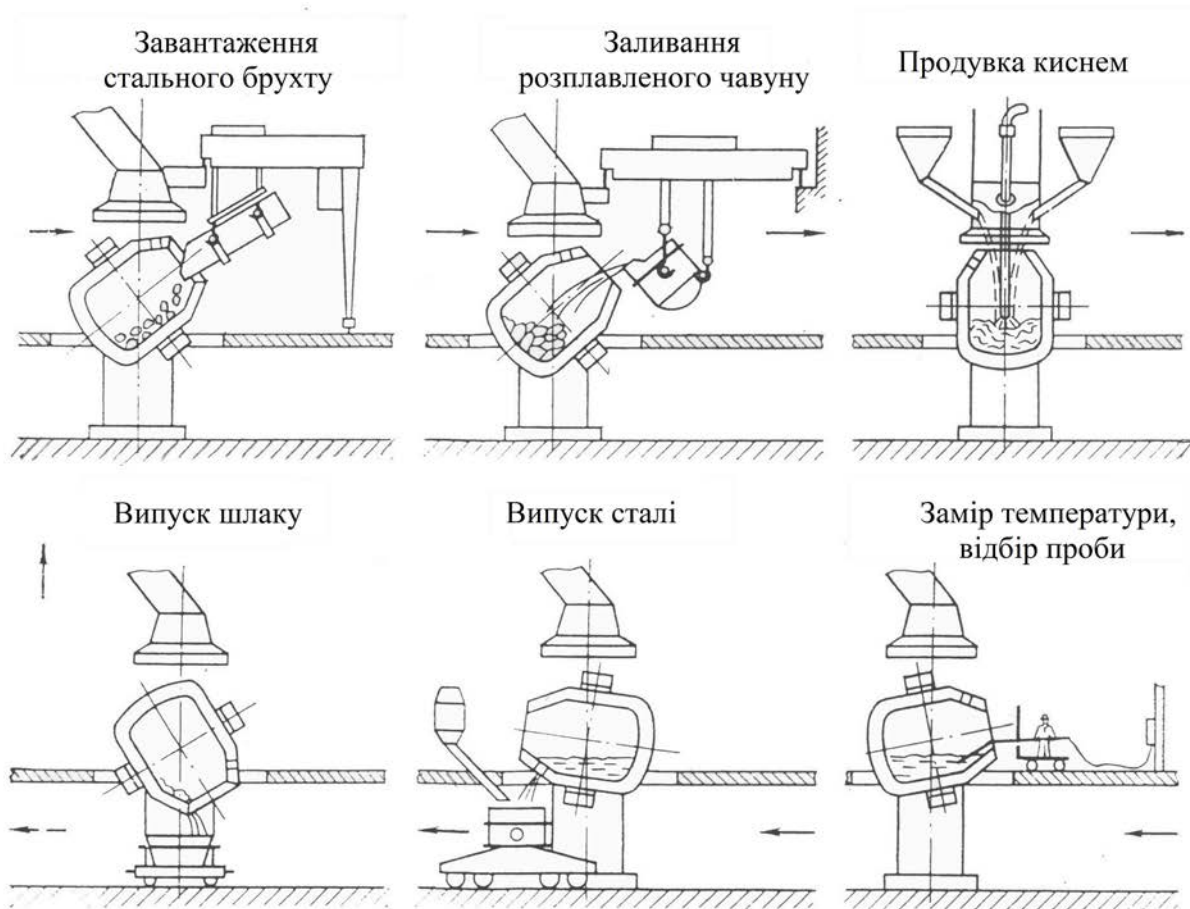


Рис. 2.2. Технологічна схема виробництва сталі в кисневому конверторі

Техніко-економічні показники киснево-конвертерного виробництва сталі:

- *продуктивність* великотоннажних конвертерів на 250...400 т сягає 400-500 т сталі за годину, що істотно перевищує цю характеристику мартенівських чи електросталеплавильних печей;
- *витрата кисню* коливається в межах 47...57м³ на тонну витопленої сталі;
- *вихід рідкої сталі* відносно маси металу в шихті становить 89...92%.

Світова тенденція свідчить про те, що розвиток цього способу дозволив у ряді розвинутих країн повністю (Японія) або в основному (США, Германія, Великобританія) замінити мартенівські печі кисневими конвертерами. У вітчизняній металургії також послідовно відбувається витіснення мартенівського процесу киснево-конвертерним.

ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В МАРТЕНІВСЬКИХ ПЕЧАХ

Це найстаріший з відомих способів виплавки сталі, особливістю якого є те, що в мартенівській печі можна виплавити будь-яку сталь за хімічним складом.

Мартенівська піч (рис. 2.3) являє собою *полуменеву регенеративну піч*, в робочому просторі якої спалюють газоподібне або рідке паливо. *Висока температура* (1600-1800°C), необхідна для виробництва сталі, забезпечується за рахунок *регенерації тепла газів, що відходять*.

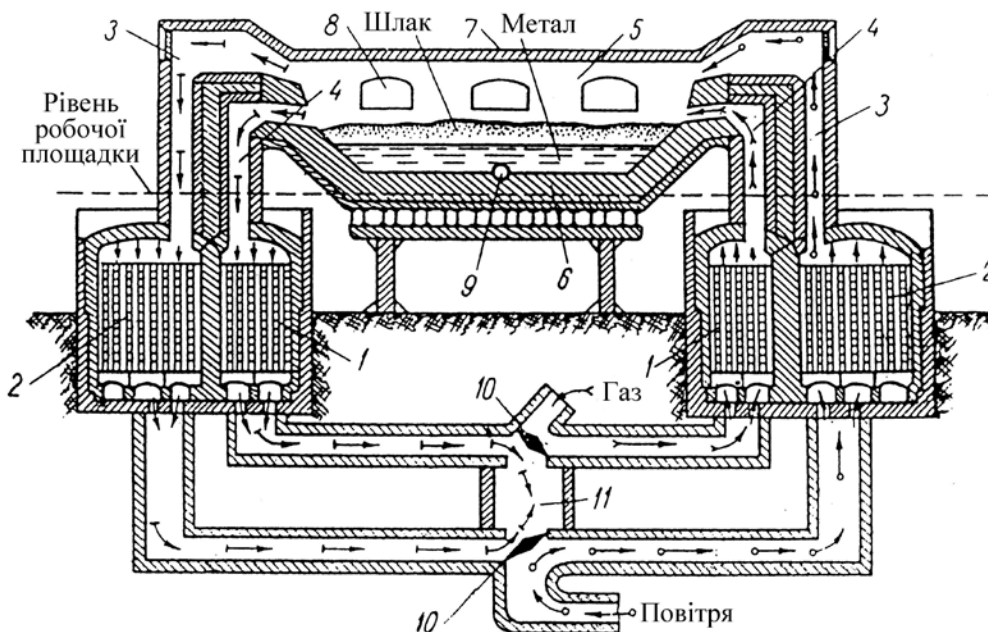


Рис. 2.3. Схема будови мартенівської печі:

- 1 - газіві регенератори; 2 - повітряні регенератори; 3 - повітряні канали;
 4 - газіві канали; 5 - робочий простір печі; 6 - під печі; 7 - склепіння печі;
 8 - завалочні вікна; 9 - отвір для випуску сталі; 10 - поворотна заслінка;
 11 - димова труба

Будова мартенівської печі. Робочий простір обмежений передньою стінкою з завалочними вікнами, задньою стінкою з випускним отвором для випуску сталі, знизу подом і зверху - склепінням. В обох торцевих стінках замуровані головки з двома отворами, які каналами з'єднуються з регенераторними камерами, в яких нагрівають газ і повітря. На виході з отворів головки газ змішується з повітрям й інтенсивно згоряє. Температура при цьому досягає 2000°C і є достатньою для плавлення металевго скрапу (стальний лом), а також для випалювання вуглецю й шкідливих домішок. Паливо подають позмінне: спочатку через правий регенератор, а гази виходять через лівий, нагріваючи його кладку до 1200-1400°C. Через кожні 15-20 хвилин поворотні заслінки повертають на 90° і напрямку газу, повітря й продуктів згоряння змінюється на протилежний - факел горить справа, а гази виходять через правий канал і нагрівають кладку правого регенератора.

Місткість мартенівських печей - від 5 до 900 тонн.

Процеси мартенівської плавки. Залежно від хімічного складу шихти футерівка мартенівських печей може бути *основною* або *кислою*.

В печах з основною футерівкою можна переробляти чавуни з великим вмістом сірки й фосфору. Для видалення сірки й фосфору додають вапняковий флюс.

У печах з кислотою футерівкою можна переробляти чавуни (рідкий або чушковий) з малим вмістом сірки й фосфору, а також сталений брухт. Цей процес використовують значно рідше основного.

Звичайно мартенівську плавку проводять одним з двох способів: скрап-процесом або скрап-рудним процесом.

Скрап-процес передбачає використання твердих шихтових матеріалів і проводиться на чушковому чавуні. Цей процес використовують на тих заводах, де немає доменних печей і рідкий чавун не виробляють. У нашому місті прикладом такого підприємства може бути Нижньодніпровський трубний завод (завод ім. К.Лібкнехта), який випускає залізничні колеса і труби. Вихідними матеріалами такого процесу є сталений брухт (скрап) - 60-70%, чушковий переробний чавун (30-40%) та вапно в кількості 8-12% від загальної маси металевих шихти.

Процес плавки складається з кількох періодів: заправки печі, завалки шихтових матеріалів, плавлення шихти, кипіння, розкислення, випуску продуктів плавки. Тривалість плавки в середньому становить 8 годин, а повний цикл з врахуванням усіх періодів - біля 12 годин.

Скрап-рудний процес використовують на металургійних підприємствах, де є доменне виробництво. До складу шихти в такому випадку входять: сталений брухт (20-40%) і рідкий чавун (60-80%). Підвищена кількість чавуну в такому випадку надає процесу свої особливості: внаслідок підвищеної кількості домішок окислювальні процеси форсують, *додаючи в завалку тверді окислювачі* - залізну руду або агломерат, що й зумовило назву процесу.

Скрап-рудним процесом звичайно виплавляють тільки вуглецеві сталі масового використання, а скрап-процесом вуглецеві і леговані сталі.

Разом з тим, скрап-рудний процес більш економічний ніж скрап-процес. На рис. 2.4 схематично показана послідовність технологічних операцій виплавки сталі в мартенівській печі.

ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ В ЕЛЕКТРОПЕЧАХ

Електроплавка - найбільш досконалий спосіб виробництва сталі і має певні переваги в порівнянні з конвертерним і мартенівським способами.

Основні переваги виробництва сталі в електропечах такі:

- можливість одержання високоякісних сталей і тугоплавких сплавів з мінімальним вмістом газових, неметалевих і шкідливих домішок;
- можливість швидкої зміни температури в широких межах і точного регулювання;
- простота будови печей і обслуговування.

Безперервний розвиток техніки, а також створення нових галузей промисловості викликають потребу у високоякісних сталях і сплавах, які переважно виплавляють в електричних печах.

Для виплавки сталі використовують електричні печі двох типів: *дугові* та *індукційні*.

Місткість дугових печей становить 0,5-360 тонн, а індукційних - від кількох кілограмів до 90 тонн. Середня тривалість процесу виплавки сталі 6 годин.

Дугова піч. Дугова піч складається з сталюгого кожуха 1 (рис. 2.5) викладеного вогнетривкою футерівкою 2, арочного склепіння 3, складеного з фасонної вогнетривкої цегли, трьох вугільних електродів 4 діаметром 200-300 мм, механізму регулювання довжини дуги в міру згоряння електродів і механізму нахилення печі під час виливання сталі.

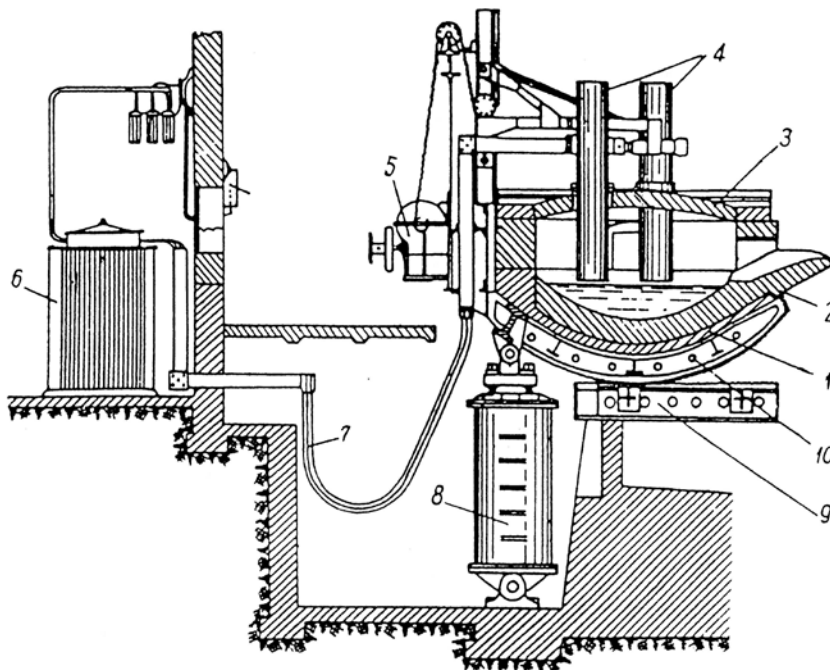


Рис. 2.5. Схема будови дугової електропечі:

- 1 - сталювий кожух; 2 - вогнетривка футерівка; 3 - склепіння;
- 4 - вугільні електроди; 5 - механізм піднімання та опускання електродів;
- 6 - трансформатор; 7 - кабель; 8 - механізм нахилення печі;
- 9 - напрямні балки фундаменту; 10 - опорні сегменти

Печі працюють на трифазному струмі; для зниження напруги використовують трифазні трансформатори. Витрати електроенергії на виплавку 1 т сталі становлять 600-800 кВт/год.

Вихідними матеріалами для виплавки сталі в дугових печах є шихта, до складу якої входять брухт (до 90%), чавун, флюс і залізна руда.

Процес плавки в дугових печах складається з трьох періодів.

У першому періоді відбувається плавка (робоча температура становить біля 3500°C) і окислення домішок за рахунок кисню руди. Утворені оксиди з'єднуються з вапняком, який додається до шихти як флюс, і переходять в шлак.

У другому періоді відбувається науглецювання до заданого рівня; одночасно відбувається видалення і переведення в шлак сірки. Після цього сталь остаточно розкисляють феросплавами (феромарганцем і феросиліцієм).

У третьому періоді плавки в піч додають легуючі феросплави (FeCr, FeW, FeV та ін.), доводять вміст легуючих елементів до заданої норми та одержують леговані сталі.

На рис. 2.6 схематично показано послідовність технологічних операцій виплавки сталі в дуговій електропечі.

Індукційна піч. Плавка відбувається у *вогнетривкому тиглі* 1 (рис. 2.7) за рахунок *тепла вихрових струмів*, які виникають в металі при проходженні в індукторі струмів високої частоти.

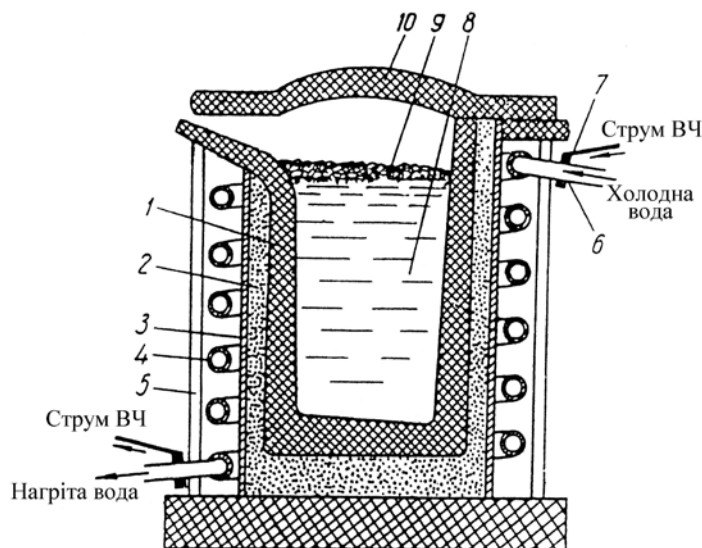


Рис. 2.7. Схема будови індукційної електропечі:

- 1 - тигель; 2 - теплоізоляція; 3 - сталевий кожух; 4 - індуктор-обмотка;
- 5 - каркас; 6 - трубка, що підводить охолоджувальну воду;
- 7 - кабель високої частоти; 8 - метал; 9 - шлак; 10 - кришка

Обмотка індуктора виконується з мідної трубки, всередині якої циркулює вода, а по стінках проходить струм високої частоти. Під час плавки сталь перемішується за рахунок електромагнітних сил вихрових струмів.

В індукційних печах виплавляють високоякісні високолеговані сталі, які містять менше кисню, азоту, водню, шкідливих і неметалевих домішок. Особливо високоякісні сталі можна виплавляти у вакуумі.

2.3. РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ ТА ОТРИМАННЯ ЗЛИТКІВ

Виплавлену сталь жолобом випускають у розливні підігріті ковші (схему ковша наведено на рис. 2.8), які мостовим краном транспортують до місця розливу. Ковш складається зі сталюого зварного кожуха, який має форму зрізаного конуса, футерованого вогнетривкою цеглою. В днищі ковша є спеціально вставлений розливний стакан з вогнетривкого матеріалу для випуску металу зі стопорним механізмом.

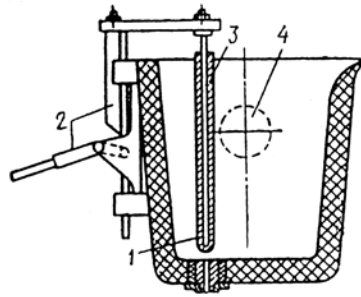


Рис. 2.8. Схема сталерозливного ковша:
 1 - стакан для випуску сталі; 2 - важільний механізм стопора;
 3 - стопор; 4 - цапфа для підйому ковша

З ковша рідку сталь розливають в металеві форми - *виливниці* вилиті, як правило, з чавуну. Форма *перерізу* виливниці залежить від *наступної обробки тиском*, якому буде піддаватися отриманий *сталевий злиток*: в *сортовій прокатці* звичайно використовують злитки *квадратного* перерізу, а в *листовій - прямокутного*, для *кування* використовують злитки *багатогранного* або *круглого* перерізу. Стінки виливниць роблять з нахилом до вертикальної осі, через що злиток отримує форму *зрізаного конуса* або *піраміди*, що полегшує видалення злитків з виливниць. Маса злитків коливається в дуже широких межах - від 10 кг до 300 т і більше.

Розлив сталі у виливниці проводять *зверху* або *сифоном*.

При розливі *зверху* (схему наведено на рис. 2.9, а) кожен виливницю заповнюють окремо. Так звичайно отримують великі злитки.

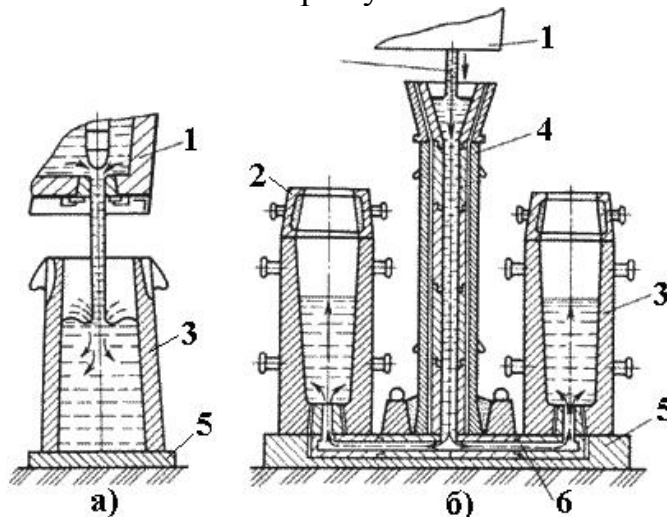


Рис. 2.9. Схема розливу сталі у виливниці:
 а - зверху; б - сифоном; 1 - сталерозливний ковш; 2 - виливниці;
 3 - піддон; 4 - центрова; 5 - прибуткова надставка; 6 - сифонна цегла

При *сифонному* розливі (схему наведено на рис. 2.9, б) сталь з ковша надходить до *центрної проводки* й через систему *сифонних проводок* - одночасно в усі виливниці, установлені на *піддоні* (2-60-100). Розлив *сифоном* поліпшує якість поверхні злитків, але потребує більш високої температури металу, збільшує втрати металу на ливники та ускладнює підготовку до розливу.

При затвердінні сталі її об'єм зменшується приблизно на 3%, що призводить до утворення усадочної раковини та усадочної пористості.

При розливанні спокійної сталі порожнини повинні бути виведені з тіла зливка в його *прибуткову частину*, яку при подальшій переробці відрізають і передають на переплав.

Об'єм прибуткової частини зливка спокійної сталі становить 12-20%, істотно знижуючи вихід гідного металу. При розливі киплячої сталі прибутки не потрібні: усадочні раковини не утворюються через те, що пухирчики CO, що виділяються в металі, повністю компенсують усадку.

Більш досконалим в порівнянні з розливом на зливки є *безперервне лиття*, яке дозволяє зменшити відходи й підвищити якість металу. Це зумовлене тим, що вся рідка сталь твердіє у вигляді одного безперервного зливка потрібного профілю й необмеженої довжини. Такий злиток, розрізаний на мірні довжини, потім використовується в прокатних цехах при виробництві листа або сортового прокату.

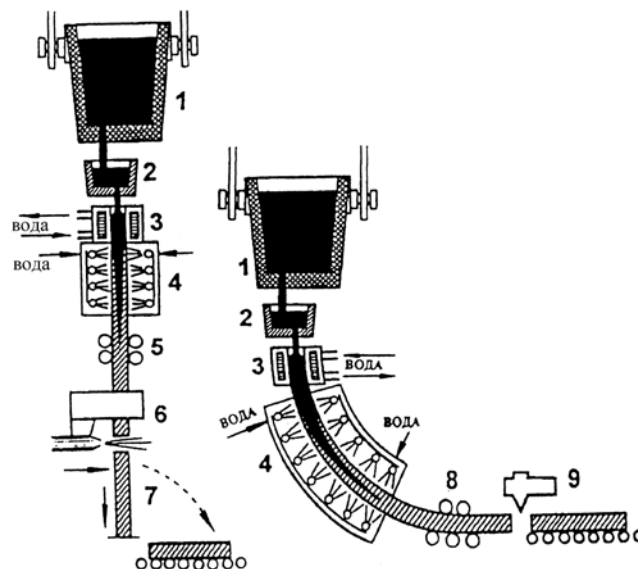


Рис. 2.10. Схема установки безперервного лиття заготовок вертикального типу та з подальшим згином зливка:

- 1 - ковш для розливання сталі; 2 - розливний проміжний пристрій;
- 3 - кристалізатор; 4 - водяна форсунка; 5 - тяговий валок;
- 6 - ацетиленокисневий різак; 7 - злиток; 8 - приймальні валки;
- 9 - ножиці для різки зливка

Сталь з розливного ковша надходить в попередньо підігрітий проміжний ковш, а звідти - в порожнину інтенсивно охолоджуваного кризного мідного кристалізатора і потім в зону вторинного охолодження.

Просування зливка крізь установку здійснюється за допомогою тягучих валків, за якими стоїть газокисневий різак. Недоліком вертикальної установки є її велика висота - до 45 м, що має технологічні та економічні складнощі. Зараз використовують похилі установки (рис. 2.10), їх недолік - складність видалення зливка з кристалізатора при аварії. В той же час провідні держави світу та насамперед, Японія, Росія та деякі інші, наполегливо працюють над

вирішенням цієї проблеми, бо продуктивність цього способу дуже велика. Крім того, безперервний розлив дає можливість зекономити якнайменше 25% металу і, крім того, дає змогу отримувати злитки потрібних розмірів без застосування важких прокатних станів (блюмінгів і слябінгів).

2.4. СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТАЛІ

ПОЗАПІЧНІ СПОСОБИ РАФІНУВАННЯ СТАЛІ

Позапічне рафінування сталі дає змогу додатково підвищити якість сталі, зменшити вміст шкідливих домішок, неметалевих включень і т.д. Основними методами **позапічного рафінування** сталі в сучасній металургії є:

- обробка рідкого металу рідким шлаком у ковші;
- продувка сталі інертними газами;
- вакуумування.

Для **позапічного рафінування** рідким шлаком у ковші використовують двокомпонентний вапняково-глиноземний шлак, який містить 55% CaO і 45% Al₂O₃. Шлак виплавляють в електродуговій печі з футерівкою з графіту. Через порівняно невисоку температуру плавлення (1450°C) такий шлак має достатньо високу рухливість в рідкому стані, активний і має добру десульфуруючу здатність. Порцію шлаку з температурою біля 1650°C в кількості 5-6% від маси сталі заливають у розливний ковш, який подають до жолоба сталеплавильного агрегату й випускають сталь, нагріту до певної температури. Струмінь рідкої сталі падає з великої висоти на шар шлаку в ковші, розбризкується на безліч крапель й інтенсивно перемішується зі шлаком. Поверхня взаємодії металу і шлаку значно зростає, що сприяє інтенсивному видаленню шкідливих домішок.

При **продуванні інертними газами** з металу видаляють розчинені гази й неметалеві складові, а також вирівнюють температуру й хімічний склад сталі перед розлиттям. Звичайно для продувки використовують аргон під тиском 0,2-0,5 МПа. Продувку виконують або через пористі вогнетривкі вставки в днищі ковша, або через футеровану фурму, яку опускають зверху в ковш з металом. При спливанні позирків аргону до них переходять водень і азот, розчинені в сталі, й таким чином видаляються з металу; в результаті вміст цих газів у сталі зменшується. **Вакуумну позапічну обробку** сталі проводять з метою видалення розчинених в ній газів і зменшення вмісту неметалевих складових. Вакуумування здійснюють, вміщуючи ковш або виливницю в вакуумну камеру. Азот і водень переходять в газову фазу, їх концентрація в металі падає. Концентрація кисню в металі знижується внаслідок більш глибокого розкислення металу вуглецем в умовах вакууму.

РАФІНУВАЛЬНІ ПЕРЕПЛАВКИ

Електрошлакову переплавку (ЕШП) виконують так. Сталь для переплавки надходить в установку у вигляді електрода 6 (рис. 2.11, а). Розплавлений шлак 5 (суміш 60...65% CaF₂, 25...30% Al₂O₃, CaO та інші

добавки) має великий електроопір, тому при проходженні електричного струму в ньому генерується теплота, достатня для розплавлення електрода. Краплі металу проходять крізь шар шлаку 5, збираються у ванні 4, тверднуть в охолоджуваній водою виливниці 2 й утворюють зливочку 3. При цьому кристалізація металу проходить послідовно в напрямку знизу вгору, що сприяє видаленню газових та неметалевих складових і тим самим створенню щільної й однорідної структури зливочку. У кінці переплавки піддон 1 опускають і затверділий зливочку витягують із виливниці. Сучасні установки ЕШП дозволяють виготовляти зливочки різного перерізу масою до 40 т.

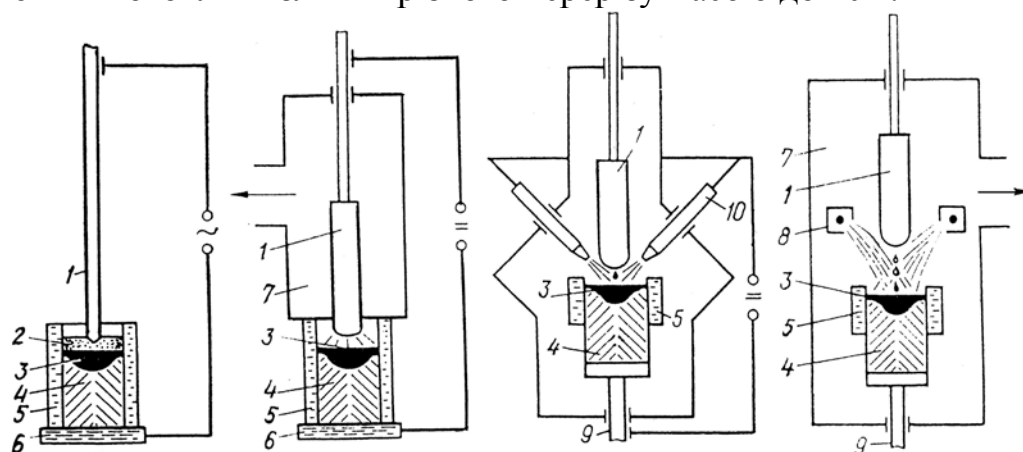


Рис.2.11. Схема рафінувальних переплавок:

- а - електрошлакова переплавка (ЕШП); б - вакуумно-дугова переплавка (ВДП);
 в - плазмово-дугова переплавка (ПДП); г - електронно-променева переплавка
 (ЕПП); 1 – заготовка (електрод); 2 – розплавлений шлак; 3 – металева ванна;
 4 – зливочку; 5 – кристалізатор; 6 – охолоджуваний водою піддон;
 7 – вакуумна камера; 8 – електронна гармата;
 9 – пристрій для витягання зливочку; 10 – плазмотрон

Вакуумно-дугову переплавку (ВДП) проводять у вакуумних дугових печах з електроподогревом, що переплавляється (рис. 2.11, б). При цьому зливочку 3 утворюється, як і при ЕШП, в охолодженій водою виливниці 2. У корпусі 7 печі підтримується вакуум близько 1,5 Па, що сприяє доброму очищенню металу від газів, а направлена кристалізація забезпечує видалення неметалевих складових, утворення щільної структури й виключає утворення усадочної раковини. Місткість печей для ВДП досягає 60 т.

Плазмово-дугову переплавку (ПДП) застосовують для добування сталі й сплавів особливо високої чистоти. Джерелом теплоти в установці є плазмова дуга з температурою 10000 - 15000°C (рис. 2.11, в). Вихідний матеріал для виготовлення зливочку може надходити у вигляді електрода, інших подрібнених відходів металообробної промисловості. Метал плавиться й твердне в охолоджуваному водою кристалізаторі, а зливочку витягується вниз. Завдяки високій температурі з металу інтенсивно випаровується сірка й фосфор, а також видаляються неметалеві складові.

Електронно-променеву переплавку (ЕПП) здійснюють за рахунок теплоти, яка утворюється в результаті опромінення металу потоком електронів.

Переplавка проводиться у вакуумних установках при залишковому тиску 0,001 Па (рис. 2.11, г). Глибокий вакуум і сприятливі умови тверднення забезпечують одержання особливо чистого металу. Тому ЕПП застосовують для добування сталей особливо високої чистоти, сплавів зі спеціальними властивостями, а також чистих тугоплавких металів (W, Mo, Nb та ін.)

2.5. КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ

Добуті сталі класифікують за такими ознаками.

1. За способом виробництва:

а) за типом плавильного агрегату (конверторна, мартенівська, електросталь);

б) за технологією виплавки (основна, або кисла, оброблена вакуумом, оброблена синтетичними шлаками).

2. За характером твердіння у виливницях: спокійна, напівспокійна, кипляча.

3. За хімічним складом: вуглецева й легована. У свою чергу, вони поділяються на низько- (до 0,30%), середньо- (0,30...0,50%С) і високовуглецеві (С > 0,50%); низько-, середньо- та високолеговані (відповідно за сумою легуючих елементів до 3, 5, 10% і більше), додаток А.

4. За якістю: сталі звичайної якості, високоякісні та особливо високоякісні. Відрізняються вони вмістом шкідливих домішок (в основному S і P), неметалевих складових, газів та домішок кольорових металів. Високоякісні сталі позначають буквою А, а особливо високоякісні - буквою Ш у кінці марки.

5. За властивостями: конструкційні, інструментальні та сталі зі спеціальними фізичними властивостями, додаток Б.

6. За областю застосування: для гарячої обробки тиском, для холодної механічної обробки (точінням, фрезуванням), для холодного волочіння, для зварювальних та наплавочних робіт.

Зупинимося на класифікації сталей за хімічним складом, додаток Б.

Вуглецеві сталі. Є конструкційні та інструментальні вуглецеві сталі.

Конструкційні сталі містять до 0,6% С. Їх поділяють на сталі звичайної якості та якісні. Виготовляють такі марки сталей звичайної якості (ГОСТ 380-88) Ст0, Ст1кп, Ст1сп, Ст1пс, Ст2пс, Ст2кн, С2сп, ..., Ст6пс, Ст6сп. Сталь із більшим номером марки має більші міцність і твердість, але меншу пластичність. Із сталей звичайної якості роблять рядовий прокат (прутки, балки, швелери), а також листи, труби. Ці сталі широко застосовують у будівництві для зварних, клепаних та болтових конструкцій.

Сталі якісні конструкційні (ГОСТ 1050-88) відрізняються меншим вмістом сірки та фосфору (< 0,04%), обмеженим вмістом інших елементів, неметалевих складових. Вони призначені для виготовлення виробів, які піддають термічній обробці, тому стандарт регламентує їх хімічний склад. Маркують ці сталі числом, яке вказує на вміст у них вуглецю (у сотих частках процента) – 0,8; 10; 15, ..., 60. У марці також вказується ступінь розкислення сталі (крім сталі спокійної) – 10кп, 10пс, 10.

Інструментальні вуглецеві сталі виплавляють у мартенівських та електричних печах, їх хімічний склад визначається ГОСТ 1435-90. Ці сталі поділяють на якісні й високоякісні. Якісні сталі позначають літерою У і цифрою, яка вказує на вміст у них вуглецю (у десятих частках процента). Наприклад, У8 (0,8% С), У12 (1,2% С). Високоякісні сталі, крім того, у кінці марки мають літеру А (У8А, У12А).

Леговані сталі. Легованими називають сталі, до складу яких входять спеціально введені (легуючі) елементи: Cr, Ni, Mo, Ti, V та ін. У марках сталі вони позначаються такими літерами: В - W, Г - Mn, М - Mo, Н - Ni, С - Si, Т - Ti, Х - Cr та ін., додаток В. Число на початку марки конструкційної сталі вказує на вміст у ній вуглецю (у сотих частках відсотка), цифри після букв - середній вміст позначеного цими буквами елемента (у відсотках). Наприклад, марка 12Х2Н4В позначає сталь такого складу 0,12% С, 2% Cr, 4% Ni та близько 1% W. При маркуванні інструментальних та деяких спеціальних сталей іноді не притримуються цього правила. Наприклад, Х12М позначає сталь, що містить близько 1,5% С, 12% Cr, майже 1% Mo.

До конструкційних легованих сталей належать сталі, які використовують для виготовлення деталей машин, ресор та пружин, шарико- та роликопідшипників, а також сталі з особливими властивостями (жароміцні, окалиностійкі, корозійностійкі та ін.).

Інструментальні сталі призначені для виготовлення різального, штампового та вимірювального інструменту. Ці сталі повинні мати високу твердість, стійкість проти зношування, у ряді випадків - високу теплостійкість, їх легують головним чином карбідотворюючими елементами - Cr, W, V, Mn.

Деякі леговані сталі виділені в окремі групи: Ш - шарикопідшипникові (ШХ9, ШХ15); Р - швидкорізальні (Р6, Р18); А - підвищеної оброблюваності різанням (А30, АС14). Сталі, які знаходяться на стадії досліджень, позначають буквами ЕВ та умовним номером, наприклад, ЕВ953, а пробні - буквами ЕП та умовним номером (ЕП54).

Особливе місце займають швидкорізальні сталі. Вони містять до 18% W, 4,5% Cr, 2,5% V, 8% Со та інші елементи. Після термічної обробки твердість швидкорізальної сталі досягає 62...64 НRC, а її різальні властивості зберігаються при температурі до 600...650°C. Тому інструменти з цієї сталі можуть працювати з швидкістю різання в 3-4 рази більшою, ніж інструменти із вуглецевих сталей. З цього матеріалу виготовляють свердла, зенкери, різці, фрези, протяжки. Найбільш поширені швидкорізальні сталі марок Р9, Р9К5, Р9М4, Р18Ф2К8М.

З штампових сталей виробляють інструменти для холодного та гарячого деформування металів. При холодному деформуванні в багатьох випадках користуються інструментами із сталей, призначених для виготовлення різального інструменту (У10, У12, Х12М, Х6Ф4М). Сталі для інструментів гарячого деформування повинні мати більшу міцність, окалиностійкість, теплопровідність. Тому при їх виготовленні застосовують комплексно леговані сталі з більшим вмістом легуючих елементів (5ХНМ, 4Х5В2ФС, 2Х6В8М2К8).

Сталі для вимірювальних інструментів повинні характеризуватися високою твердістю, стійкістю проти зношування, стабільними розмірами протягом часу експлуатації. Ці вимоги задовольняють маловуглецеві сталі, які піддають цементуванню (15, 20), загартовувані високовуглецеві сталі (Х, ХГ), а також сталі, які піддають азотуванню (38ХМЮА).

2.6. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Модель кисневого конвертора, схема мартенівської печі (плакат), схема дугової електропечі (плакат), піддон із ливниковими каналами для сифонної розливки, піддон з ізложницями для розливки зверху, ізложниці, що поширюються до верху, циліндричні товстостінні і тонкостінні, без утеплення і з утепленням, термометр, ножовочне полотно, парафін.

2.7. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Наведіть класифікацію сталі за способом виробництва.
2. Перелічіть, які шихтові матеріали використовують у сталеплавильному виробництві.
3. Наведіть основні реакції і процеси сталеплавильного виробництва.
4. Накресліть схеми сучасних промислових агрегатів для виплавлення сталі та охарактеризуйте принцип їх роботи.
5. Опишіть способи розливання сталі у виливниці зверху, сифоном, безперервного розливання. Укажіть переваги і недоліки.
6. Наведіть способи підвищення якості сталі: позапічні та рафінувальні переплавки.

2.8. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про послідовність проходження реакції у сталеплавильній ванні.
4. Описати принцип роботи та елементи конструкції кисневого конвертора, мартенівської печі та електродугової печі.
5. Навести способи і устаткування, яке використовують для розливання сталі.
6. Проаналізувати способи підвищення якості сталі.
7. Навести класифікацію сталі за хімічним складом і призначенням.

2.9. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

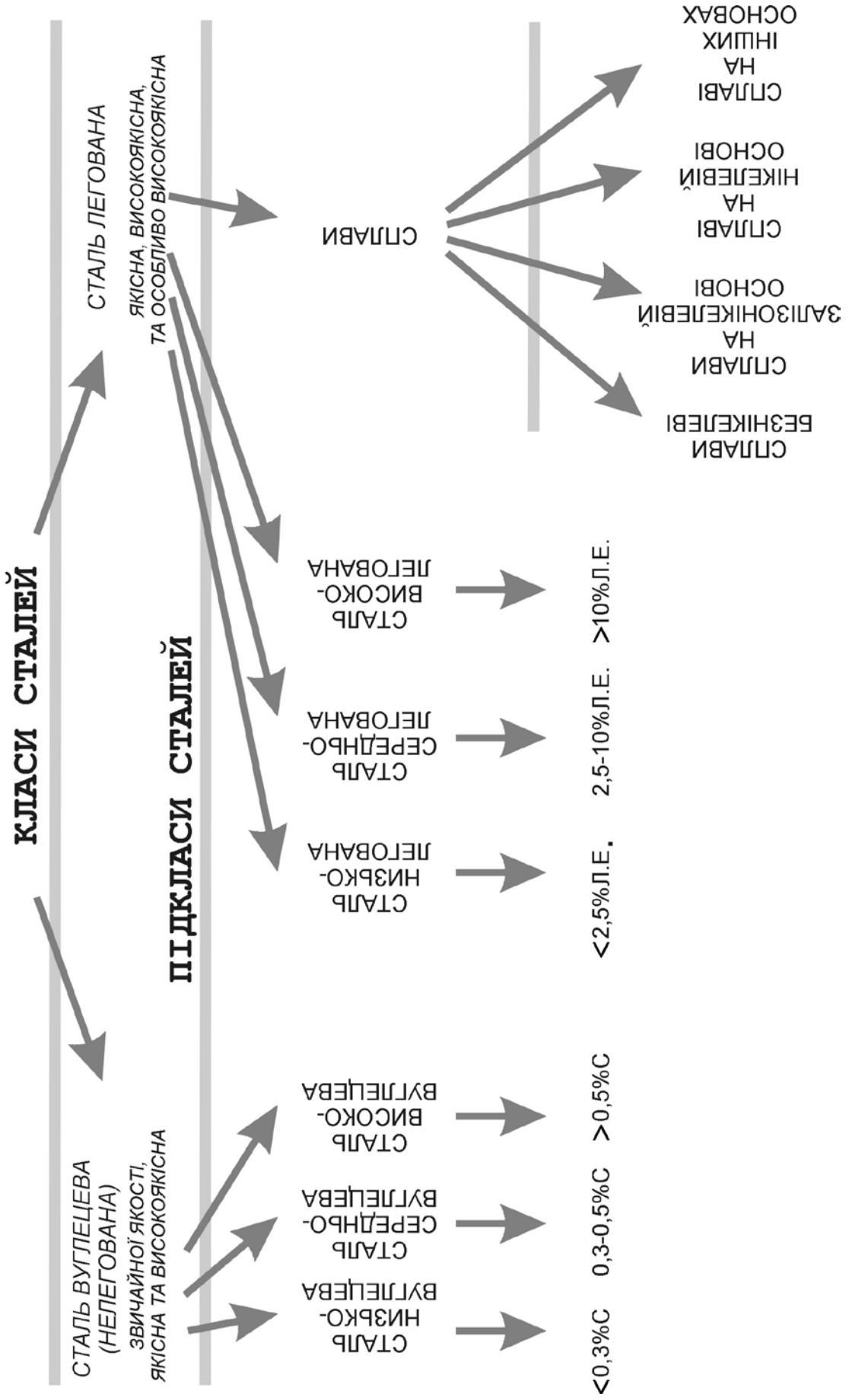
1. Сутність переробки чавуну на сталь та її основні етапи.
2. Сучасні способи виробництва сталі - їх особливості, переваги і недоліки.

3. Способи розливання сталі.
4. Призначення і види позапічної обробки сталі та рафінувальних переплавок.
5. За якими ознаками класифікують добути сталі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

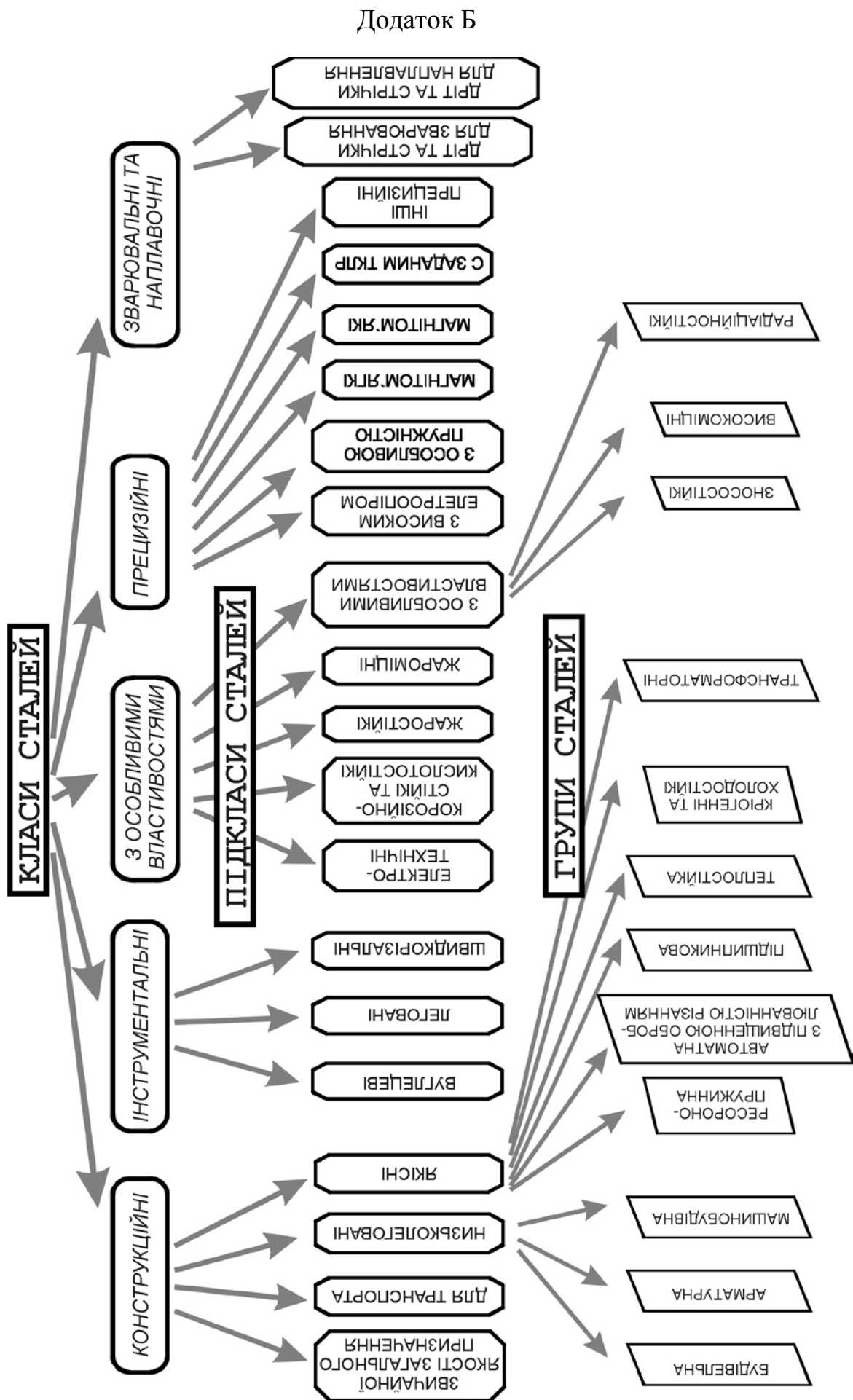
1. Начала металлургии: Учебник для вузов / В.И.Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников, С.В. Грачев, Е.Л. Фурман, В.Б. Ляшков. – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 392 с.
2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін.. – К.: Вища шк., 2006. – 503 с.
3. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецкий, О.І. Некоз та ін.. 2-ге вид., перераб. і допов. – К.: Вища шк., 2002. – 374 с.
5. Энциклопедический словарь по металлургии: Справочное издание ЭБ1 в 2-х т. / Н.П. Лякишев и др. – М.: “Интермет Инжиниринг”, 2000. – 800 с.
6. Технология конструкционных материалов: Уч-к для студ. маш. специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др. – 5-е изд., - М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ ЗА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ



Додаток А

КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ ЗА ВЛАСТИВОСТЯМИ ТА ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ



Додаток В

Умовні позначення основних елементів,
що входять в склад металів і сплавів

Елемент	Позначення хімічного елемента	Прийняте позначення в марках металів і сплавів		Елемент	Позначення хімічного елемента	Прийняте позначення в марках металів і сплавів	
		чорних	кольоро- вих			чорних	кольоро- вих
Азот	N	А	-	Ніобій	Nb	Б	-
Алюміній	Al	Ю	А	Олово	Sn	-	О
Барій	Ba	-	-	Свинець	Pb	-	С
Берилій	Be	-	Б	Селен	Se	Е	-
Бор	B	Р	-	Сірка	S	-	-
Ванадій	V	Ф	-	Срібло	Ag	-	Ср
Вольфрам	W	В	-	Сурма	Sc	-	С
Залізо	Fe	-	Ж	Телур	Te	-	-
Кадмій	Cd	-	-	Титан	Ti	Т	Т
Кремній	Si	С	К	Вуглець	C	У	-
Магній	Mg	-	Мг	Фосфор	P	П	Ф
Марганець	Mn	Г	Мц	Хром	Cr	Х	-
Мідь	Cu	Д	М	Церій	Ce	-	-
Молібден	Mo	М	-	Цинк	Zn	-	Ц
Миш'як	As	-	Мш	Цирконій	Zr	Ц	-
Нікель	Ni	Н	Н				

