**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

 М.М. Можаровський

**ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ ПО ДИСЦИПЛІНІ**

**«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

**ЧАСТИНА 1**

«**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**»
(для студентів за напрямком підготовки **0902 „Інженерна механіка** **»**)

ЖИТОМИР – ЖДТУ – 2019

**Лекція №1**

**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**Змістовний модуль 1. Основи металургійного виробництва**

 **Тема 1. Основи металургійного виробництва чорних металів**

**План лекції**

* 1. Роль металів і чорної металургії в розвитку економіки країни
	2. Склад металургійного виробництва
	3. Матеріали металургійного виробництва
	4. Способи відновлення металів з руд

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

З 107 елементів періодичної ситеми елементів Д.І. Мендєлєєва промисловість використовує 74 елементи – металів і кілька неметалів, одержаних на підприємствах металургії.

Металургія – галузь науки або галузь промисловості про промислові способи способи отримання металів і металевих сплавів.

* 1. **Роль металів і чорної металургії в розвитку економіки країни**

Метали є основою економіки країни Україна. У природі дуже рідко метали зустрічаються в чистому виді. До них відносяться золото, срібло,мідь. Інші метали перебувають у вигляді хімічних сполук – руд , які прийнято називати корисними копалинами. На зорі розвитку людського суспільства люди навчились одержувати і обробляти такі метали як мідь, залізо, срібло, золото, олово і свинець. В міру розвитку культури число, використовуємих людиною металів збільшувалося: до початку ХІХ ст. воно вже становило 20, а до кінця – 50.

З металів особливе місце займає залізо: у загальному виробництві металів понад 90% припадає на залізо і його сплави. Широке застосування чорних металів у різних областях техніки пояснюється високими фізичними, механічними і технологічними властивостями. Разом з тим їхні руди широко поширені в природі, а виробництво чавуну і сталі залишається порівняно дешевим і простим технологічним процесом.

Обсяг виробництва чорних металів в значній мірі визначає рівень технічного розвитку тієї чи іншої країни. Сучасне машинобудування є основним споживачем вироблених металургійною промисловістю металів. У будь – якій галузі машинобудування з чорних металів виготовляють переважну кількість деталей, вузлів та приладів. Значна частка чорних металів використовується також у промисловому і цивільному будівництві.

Велике значення в сучасній техніці мають і кольорові метали, які набули широкого застосування в усіх галузях народного господарства. Це обумовлено їхніми специфічними властивостями, яких невистачає в чорних металів. Чисті метали мають недостатній комплекс властивостей, тому в техніці вони застосовуються рідко в якості конструкційних матеріалів. Основне місце серед металевих матеріалів займають сплави.

* 1. **Склад металургійного виробництва**

Металургійне виробництво – це галузь промисловості, яка охоплює різні процеси одержання металів із руд, або інших матеріалів, а також процеси, що сприяють поліпшенню властивотей металів і сплавів. Введення в розплав в певних кількостях легуючих елементів дозволяє змінювати склад і структуру сплавів, поліпшувати їхні механічні властивості, одержувати задані фізико – хімічні властивості.

Металургійне виробництво – це складний комплекс виробництва. Він базується на родовищах руд

Металургійне виробництво ключає:

­ шахти й кар′єри по видобутку руд, що містять метал і родовища кам′яного вугілля;

­ гірничо – збагачувальні комбінати, де збагачують руди, підготовляюи їх до плавки;

­ коксохімічні заводи, де здійснюють підготовку вугілля, його коксування й добування зних корисних хімічних продуктів;

­ енергетичні цехи для одержання стисненого повітря (для дуття доменних печей), кисню, очищенняметалургійних газів; доменні цехи для виплавки чавуну й феросплавів або цехи для виробництва залізорудних металізованих окатишів;

­ заводи для виробництва феросплавів;

­ сталеплавильні цехи (конверторні, мартенівські, електроплавильні) для виробництва сталі; прокатні цехи, у яких злитки сталі переробляють у сортовий прокат: балки, рейки, прутки, дріт, лист.

* 1. **Матеріали металургійного виробництва**

**1.Паливо.** У металургійному виробництвібагато процесів відбувається з використанням теплоти, яка виділяється при горінні палива.

У металургії застосовують кам′яновугільний кокс; у мартенівському виробництві – газоподібне (доменний, коксувальний, світильний, нафтовий гази, а в останні роки – природний газ) і рідке (мазут) паливо.

**2.Вогнетривкі матеріали** застосовують для футерування плавильних і нагрівальних печей, а також іншого устаткування, яке нагрівається до високих температур. Ці матеріали мають високу вогнетривкість, достатню механічну міцність при високих температурах, високу термічну стійкість, а також чинять опір хімічному впливу розплавленого металу, шлаку й димових газів.

За хімічними властивостями вогнтривкі матеріали поділяють на кислі, основні й нейтральні.

*Кислі вогнетривкі матеріали* містять не менше 90% кремнезему (SiO2) і мають яскраво виявлені кислотні властивості. До кислих вогнетривких матеріалів належать вироби, виготовлені з природних кварцевих матеріалів, які називаються *динасовими*. Вогнетривкість динасу залежно від вмісту кремнезему досягає 17300С і вище.

*Основні вогнетривкі матеріали* мають чітко виявлені основні властивості. Складаються ці вогнтривкі матеріали переважно з окису магнію MgO і окису кальцію СaO (магнезит, хромомагнезит, доломіт та ін.). Перелічені матеріали після випалювання мають високу вогнетривкість (доломіт – 1800…19500С, магнезит і хромомагнезит – не нижче 20000С).

До *нейтральних вогнетривких матеріалів* належать глиноземисті матераали (шамот, вогнетривка глина) і вогнетривкі матеріали з вмістом карбону (графітові і вугільні вогнетриви), а також хромітові вогнетривкі матеріали (порошок хромистого залізняку і хромітова цегла). Вогнетривкість шамотних виробів – 1630…17700С, хромітових – 18000С, графітових – понад 20000С.

* 1. **Способи добування металів з руд**

Існує кілька способів добування металів з руд: **пірометалургійний, гідрометалургійний, електрометалургійний та ін.**

**Пірометалургійним** *або вогневим,* способом метали відновлюють з руд при високих температурах і в розплавленому стані відокремлюють від пустої породи. Цей спосіб найбільш поширений. Його використовують для виплавляння чавуну, сталі і багатьох кольоривих металів і сплавів.

**Гідрометалургійний** спосіб полягає у вилуговуванні з руд і подальшому їх осажуванні з розчинів електролізом або іншими методами. Цей спосіб застосовують при вилученні міді з окислених і бідних руд, а також при добуванні благородних металів.

**Електрометалургійним** метали добувають з руди або металевої шихти, розплавляючи їх в електричних печах. Електроліз металів можна проводити при добуванні алюмінію, міді та інших металів.

**ПІДСУМОК**

Після опрацювання цієї лекції студент повинен розуміти значення металургії та металургійної промисловості для України, знати склад металургійного виробництва, вихідні матеріали, що використовуються для металургії, способи добування металів з руд, продукцію металургії.

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. В чому полягає сутність металургійного виробництва, визначення поняття металургії?
2. Який склад металургійного виробництва?
3. Які вогнетривкі матеріали використовують в металургійному виробництві? Їх призначення.
4. Що таке руди? Назвіть їх основні види.
5. Які вихідні матеріали металургійного виробництва?
6. Які способи добування металів із руд ви знаєте?
7. Яку продукцію металургії ви знаєте?

**ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

1. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник /М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с. [***http://www.twirpx.com/file/116772/***](http://www.twirpx.com/file/116772/)
2. Технология конструкционніх материалов: Учебник для студентов машиностроительніх специальномтей вузов /А.М. Дальский, Т.М. Барсуков, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. . [***http://www.twirpx.com/file/118961/***](http://www.twirpx.com/file/118961/)
3. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП,2004, - 179 с. [***http://www.twirpx.com/file/29814/***](http://www.twirpx.com/file/29814/)

**ГЛОСАРІЙ, ПЕРСОНАЛІЙ**

**Металургія, металургійне виробництво** – це галузь промисловості, яка охоплює різні процеси одержання металів з руд або інших матеріалів, а також процеси, що сприяють поліпшенню властивостей металів і сплавів.

**Вогнетрив, вогнетривкий матеріал** – матеріал (сировина, виріб), який має вогнетривкість не менше 15800С (ДСТУ 2632-94).

**Пірометалургія** – галузь металургії, що охоплює процеси одержання і очищення металу (сплаву) або сполук металу в інтервалі температур, що забезпечують спікання, випалювання, плавлення, сублімацію, випаровування, а також тривання необхідних хімічних реакцій (ДСТУ 3790-98).

**Гідрометалургія** – галузь металургії, що охоплює різні способи вилучення металів із руд, концентратів та відходів різних виробництв за допомогою розчинів (найчастіше водних) хімічних реагентів з подальшим виділенням металів або їхніх сполук з цих розчинів (ДСТУ 3790-98).

**Електрометалургія** – галузь металургії, яка охоплює процеси одержання, рафінування і обробки і сплавів із руд та концентратів за допомогою електричної енергії (ДСТУ 3790-98).

**Лекція №2**

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

**Змістовний модуль 1. ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Тема 2. Доменний процес. Виробництво чавуну**

**План лекції**

* 1. Вихідні матеріали для виплавки чавуну
	2. Підготовка сировинних матеріалів для плавки
	3. Будова доменної печі
	4. Будова повітронагрівачів
	5. Доменний процес
	6. Продукти доменної плавки. Показники роботи доменної печі і шляхи підвищення продуктивності доменних печей

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ

Чавун виплавляють у доменних печах відновленням з руди заліза з наступним насиченням його вуглецем та іншими домішками.

2.1 Вихідні матеріали для виробництва чавуну

Для виплавляння чавуну в доменних печах використовують залізні, марганцеві і комплексні руди, паливо і флюси.

1. **Руди.** *У залізних рудах* залізо перебуває у вигляді безводного оксиду Fe2O3(червоний залізняк, в якому до 65% заліза), водних оксидів Fe2O3∙3H2O(бурий залізняк, що містить до 60% заліза), магнітного оксиду Fe3O4 (магнітний залізняк, в якому заліза міститься 50…70%) або у вигляді вуглезалізної солі FeCO3 (шпатовий залізняк, в якому заліза 30…45%). У руді є також пуста порода, основні складові якої – глинозем, кремнезем та ін. Залізні руди містять і деяку кількість шкідливих домішок – сірчисті, фосфористі, миш′яковисті сполуки.

*Марганцеві руди* складаються з оксидів марганцю і пустої породи. Вміст марганцю в них досягає 57%. Застосовують ці руди для підвищення марганцю в чавунах, що виплавляються, а також для вироблення спеціальних чавунів.

*Комплексні руди*, крім заліза, містять у собі і інші метали (хром, нікель, ванадій), які відновлюються в доменному процесі і полпшують властивості чавуну.

1. **Паливо** в доменній печі виконує дві важливі функції: при згорянні виділяє багато тепла; вуглець палива безпосередньо бере участь в реакціях відновлення руди.

В наш час, у доменному виробництві близько 98% чавуну виплавляють на кам′яновугільному коксі, а решту – на деревному вугіллі. Деревне вугілля використовують тільки при потребі виплавити чистий від сірки чавун для виготовлення високоякісної сталі.

1. **Флюси** в доменному виробництві застосовують для сплавляння в шлак пустої породи руди, золи палива і видалення їх з доменної печі. В якості флюсів використовують звичайний вапняк CaCO3 і доломітовий вапняк CaCO3∙MgCO3. З такими складовими пустої породи, як кремнезем і глинозем, а також з золою палива вони утворюють легкоплавкі хімічні сполуки.

**2.2 Підготовка сировинних матеріалів до плавки**

Виробництво чавуну потребує певної підготовки сировинних матеріалів як за якістю, так і і за величиною їх кусків, розміри яких залежно від фізико – хімічних властивостей матеріалів мають бути 30…80 мм.

Найпростішою є підготовка коксу, від якого лише відсівається дрібняк. Флюси подрібнюють в щокових або валкових дробарках і сортують за величиною кусків на спеціальних грохотах.

Підготовка залізних руд полягає в їх подрібненні, сортуванні (за розміром кусків на грохотах), усереднені і агломерації. Бідні руди спочатку збагачують, а потім окусковують методом спікання.

**Усереднення** руд є операцією, за допомогою якої залізна руда, що надходить у піч, вирівнюється за якістю і складом.

**Збагачення** залізних руд здійснюється зменшенням вмісту в них пустої породи. В результаті збагачення дістають концентрати – продукти з підвищеним вмістом заліза.

**Агломерування** являє собою процес окусковування рудного дрібняку і концентратів за допомогою спікання їх у великі пористі куски, що називаються *агломератом*. Спікання руд проводять різними способами. Найбільш поширене спікання рудного дрібняку відбувається на машинах безперервної дії. Цим способом рудний рібняк і концентрати змішують з пиловидним паливом, зволожують і подають на конвеєрну стрічку, що складається з коробок з гратчастим дном. Під час руху конвеєрної стрічки суміш у коробках запалюється газовим пальником. Щоб підтрмати горіння, крізь запалену суміш просмоктується повітря. Паливо, що є в суміші, при згорянні дає температуру до 1300…15000С. Внаслідок цього руда спікається і утворює міцний пористий агломерат. При спіканні в агломерат вводять і флюси, які застоссовуються при доменному плавленні.

**2.3 Будова доменної печі**

**Доменна піч** є піччю шахтного типу (рис. 2.1). Внутрішній обрис стін, які обмежують робочий простір доменної печі, називають її ***профілем***. Верхня частина 3 печі називається ***колошником***. У колошнику є засипний апарат 1, до якого підводять газовідвідні труби 2. Засипний апарат призначено для завантаження в піч сировинних матеріалів, що подються на колошник за допомогою похилого скіпового підйомника, а газовідводи – для відведення колошникового (доменного) газу.



Рисунок 2.1 – Розріз доменної печі

Нижче колошника розміщено шахту 4. Це найбільша за об′ємом частина печі, яка має форму зрізаного конуса, що розширюється донизу. Така форма дає змогу сировинним матеріалам опускатись до низу печі і одночасно розпушуватись. У шахті відбувається підготовка сировинних матеріалів до плавки, відновлення заліза та інших елементів з оксидів руди, навуглецьовування заліза і плавлення утвореного сплаву (чавуну).

У нижній частині шахта закінчується розпаром 5. Тут плавляться і перетворюються на шлак порода руди, флюси і зола палива.

Під розпаром містяться заплечики 6, які мають форму зрізаного конуса, що розширюється догори. Тут об′єм завантажених у піч сировинних матеріалів різко зменується, оскільки утворюються рідкі продукти плавення. У твердому стані залишається тільки паливо і частина флюсу. У заплечиках закінчується процес шлакоутворення.

Нижня частина доменної печі називається горном 7. У верхній частині його по обводу розміщено фурми 8, через які в піч вдувається повітря, попередньо нагріте в повітронагрівниках. Нижче фурмених отворів є шлаковальотка 9 для випускання шлаку. Дно горна називається подом 10. Під спирається на фундамент 11 печі. На рівні поду є чавунна льотка 12, через яку випускають рідкий чавун. Отже, верхня частина горна призначена для спалювання в ній палива, а нижня для збирання чавуну і шлаку.

Відстань від осі чавунної льотки до граничного рівня засипання сировинних матеріалів на колошнику називається *корисною висотою печі*, а відповідний об′єм робочого простору – *корисним об′ємом печі.*

Для кладки доменної печі застосовують вогнетривку шамотну цеглу 14, а також вуглецеві вогнетриви. Кладка печі вміщена в стальний кожух 15 і охолоджується водою за допомогою спеціальних холодильників 13.

В нашій країні працюють домни – гіганти об′ємом печі 5000 м3.

**2.4 Будова повітронагрівачів**

Для зменшення витрат палива і збільшення продуктивності доменної печі повітря (дуття), що подається до неї, спочатку нагрівається в спеціальних повітрянагрвачах. На рис.2.2 показано схему найбільш поширеного повітронагрівача. Він являє собою башту діаметром 6…9 м заввишки до 40 м, яка закінчується сферичним куполом. Кожух 5 повітронагрівача виготовляється з листової сталі і обкладається зсередини шамотною цеглою 4. У середині повітронагрівач поділений вертикальною стінкою на камеру згоряння 3 і простір з вогнетривкою насадкою 2, яка має ряд каналів. У камеру згоряння крізь пальник 6 подаються очищений колошниковий газ і потрібна для його спалювання кількість повітря. Газоподібна суміш згоряє в камері і частково під куполом повітронагрівача. Газоподібна суміш згоряє в камері і частково під куполом повітронагрівача. Продукти згоряння прохдять крізь насадку донизу, нагрівають її до 1100…12000С і видаляються каналом 8 у димову трубу. Насадка нагрівається протягом *2 годин*, після чого подачу газу і повітря в камеру припиняють, перекривають канал 8 шибером і від турбоповітропродувки каналом 7 подають холодне повітря, призначене для нагрівання.



Рисунок 2.2 Схема повітронагрівача

Холодне повітря проходить знизу вгору каналами розжареної насадки, нагрівається за рахунок її тепла до 1000…11000С і через трубопровід подається до фурм доменної печі під тиском 0,25…0,3 Мпа (2,5…3,0 атм). Повітря нагрівається протягом *1 години*, післі чого повітронагрівач знову переключається для нагрівання газом.

Для безперебійного забезпечення доменної печі гарячим дуттям потрібно, щоб одночасно прцювали три повітронагрівача (два на газі, один – дутті). Тепер існує устаткування для підвищення температури дуття до 1200…12500С. На 1 т чавуну, що виплавляється витрачається 3000…4000 м3 підігрітого повітря.

**2.5 Доменний процес**

**Рух сировинних матеріалів і газів у доменній печі.** У доменній печі відбувається зустрічний рух двох потоків: згори донизу – потік сировинних матеріалів (шихти) і знизу вгору – потік газів, які утворюються в результаті згоряння палива. Гарячі гази, проходячи навколо сировинних матеріалів, підігрівають їх і відновлюють залізо та деякі інші елементи з їх сполук, а потім відводяться через колошник. Відновлене залізо навуглецьовується, плавиться і перетворюється на чавун, в якому розчиняються інші відновлені елементи: кремній, марганець і фосфор. Частково в чавуні розчиняються і сірчисті сполуки. Невідновлені оксиди пустої породи руди, золи палива і флюсу розплавляються і утворюють шлак.

**Відновлення заліза з руди.** Завдяки кисню повітря, який вдувається крізь фурми доменної печі, відбувається спалювання вуглецю палива за реакцією:

$C+O\_{2}=CO\_{2}+Q$**.**

Температура в горні доменної печі в зоні фурм досягає 18000С в міру наближення до колошника поступово знижується до 150…2000С (температура відхідних газів). Під час руху димових газів угору вуглекислий газ $CO\_{2}$натрапляє на вільний вуглець розжареного палива і при температурі 10000С утворює окис вуглецю за реакцією:

$$CO\_{2}+C=2CO-Q.$$

Відновлення заліза з руди відбувається від дії на неї окису вуглецю (непряме відновлення) і частково водню, що утворюється від розкладання вологи дуття. Окис вуглецю є сильним відновником і тому, потрапляючи на оксиди заліза, ще в верхніх горизонтах печі, де температура невисока, починається відновлення. З підвищенням температури, в нижчих зонах печі, відновні реакції посилюються і відбуваються в наступній послідовності:

$$3Fe\_{2}O\_{3}+CO=2Fe\_{3}O\_{4}+CO\_{2}+Q;$$

$$Fe\_{3}O\_{4}+CO=3FeO+CO\_{2}-Q;$$

$$FeO+CO=Fe+CO\_{2}+Q.$$

Вуглекислота, щоутворилася в результаті непрямого відновлення, виноситься з колошниковим газом.

Пряме відновлення заліза з руди відбуваєтьсяза допомогою твердого вуглецю і проходить особливо активно в більш низьких і гарячих зонах доменної печі (при температурі 950…1000оС). передусім за реакцією:

$$2CO\rightarrow CO\_{2}+C+Q,$$

що відбувається при низьких і помірних температурах, утворюється твердий вуглець. У вигляді сажі він осідає в порах і тріщинах руди або агломерату, а при температурі, вищій за 950оС (при опусканні сировинних матеріалів у нижню зону печі), відновлює залізо за реакцією:

$$FeO+C=Fe+CO-Q.$$

* **Відновлення кремнію**. Кремній міститься в пустій породі руди в вигляді кремнезему. Відновлюється кремній за допомогою твердого вуглецю при температурі 1450оС за реакцією:

$$SiO\_{2}+2C=Si+2CO-Q.$$

Отже, при відновлені кремнію поглинається тепло.

**Відновлення марганцю** з його вищих оксидів до закису відбувається, під дією окису вуглецю при помірних температурах 500…900оС за реакціями:

$$2MnO\_{2}+CO=Mn\_{2}O\_{3}+CO\_{2}+Q;$$

$$3Mn\_{2}O\_{3}+CO=2Mn\_{3}O\_{4}+Q;$$

$$Mn\_{3}O\_{4}+CO=3MnO+CO-Q.$$

Відновлення марганцю з окису проходить за рахунок твердого вуглецю при високих температурах (таких, що перевищують 1100оС) за реакцією:

$$MnO+C=Mn+CO-Q.$$

**Відновлення фосфору.** Фосфор, що надходить до плавки разом з матеріалами шихти, є шкідливою домішкою. При високих температурах (близько 1500оС) фосфорно-кальцієва сіль розпадається за реакцією:

$$\left(CaO\_{3}\right)\_{2}∙P\_{2}O\_{5}+3SiO\_{2}+5C+2P=3CaO∙SiO\_{2}+5CO+2P-Q.$$

Відновлений фосфор майже весь переходить у чавун і тільки незначна його частина – шлак. Вміст фосфору в переробних чавунах допускається до 0,07%.

**Видалення сірки.** Сірка надходить до плавки також з шихтовими матеріалами. Частина сірки окислюється при згорянні палива в зоні фурм. У верхній частині доменної печі сірка переходить у газ SO2. Залізо з FeS відновлюється за допомогою вапна і твердого вуглецю за реакцією:

$$FeS+CaO+C=Fe+CO+CaS-Q.$$

Таким чином, при достатній кількості вапна і високій температурі в горні більша частина сірки, що є шкідливою домішкою, видаляється з металу і переходить в шлак. Деяка її частина переходить у чавун у вигляді сірчистого заліза. Вміст сірки в чавунах допускається в межах 0,03…0,05%. У доменній печі можуть відновлюватись також хром, титан, кобальт, ванадій та інші елементи в разі наявності їх у шихті.

**Навуглецьовування заліза і утворення чавуну.** Відновлене в доменній печі залізо являє собою твердий і пористий продукт – так зване губчасте залізо. Внаслідок взаємодії з окислом вуглецю губчасте залізо навуглецьовується і утворюється карбід заліза (цементит):

$3Fe+2CO=Fe\_{3}C+CO\_{2}$**.**

Утворення цементиту можливе також внаслідок взаємодії губчастого заліза з твердим вуглецем у зоні високих температур:

$$3Fe+C=Fe\_{3}C.$$

Вуглець, потрапляючи в метал, знижує температуру його плавлення. Тому навуглецьоване залізо в інтервалі температур 1150…1200оС переходить у рідкий стан і краплинами стікає до горна печі. На шляху переміщення краплинок заліза відбувається додаткове насичення його вуглецем і розчинення вньому відновлених марганцю, кремннію, фосфору та інших елементів. У результаті на поді доменної печі збирається рідкий чавун.

**Шлакоутворення** в доменній печі відбувається в дві стадії. Первинний шлак (найбільш легкоплавкий) утворюється при температурі близько 1200оС і являє собою евтектику з глинозему, кремнезему і вапна. У другій стадії процесу шлакоутворення первинний шлак, стікаючи до горна доменної печі і попутно відігріваючись потоком висхідних гарячих газів, поступово змінює свій хімічний склад до заданого внаслідок розчинення в ньому золи коксу, флюсів і решток пустої породи залізної руди.

Вибір відповідного процесу шлакоутворення і хімічного складу шлаку істотно впливає на якість чавуну, що виплавляється. Склад шихти вибирають залежно від складу останнього.

* 1. **Продукти доменної плавки**

Продуктами доменної плавки є чавун, шлак і колошниковий газ.

1. **Чавун** випускають з доменної печі 6…10 раз на добу. У ковшах рідкий чавун подається до сталеплавильного цеху для переробки на сталь, або на розливальну машину для виливання чушок. Залежно від хімічного складу і призначення чавуни поділяють на переробні, ливарні і феросплави.

*Переробний чавун* застосовується для виробництва сталі. Залежно від способу переробки на сталь його поділяють на мартенівський бесемерівський і томасівський.

*Ливарний чавун* застосовується для виготовлення литва і є найважливішим конструкційним матеріалом.

*Феросплавами* називаються напівпродукти металургійного виробництва – сплави заліза з кремнієм, марганцем, хромом і ін. елементами, що використовуються при виплавці сталі (для розкислення і легування рідкого металу скріплення шкідливих домішок, доведення необхідної структури та властивостей). До феросплавів належать феромарганець (70…80%Mn) і феросиліцій (9…13%Si), що застосовуються як розкислювачі при плавленні сталі, а також інші феросплави, які використовуються для легування сталей.

Хімічний склад виплавлюваних чавунів регламентується Державними стандартами (ГОСТ та ДСТУ).

1. **Доменний шлак** випускають з печі через шлакову льотку по окремому жолобу в шлаковивізні ковші. У середньому на 1 т чавуну, що виплавляється, утворюється 0,6 т шлаку. Він є цінним для народного господарства. Його використовують як сировину для виробництва цементу, цегли, щебінки та інших будівельних матеріалів; з нього виливають бруківку для доріг і виготовляють шлакову вату, яку використовують як теплоізоляційний матеріал.
2. **Колошниковий газ.** При виплавленні 1 т чавуну утворюється в середньому 3000 м3 колошникового (доменного) газу. При виході з доменної печі 1 м3 газу міститься 30…60 *г* пилу, що складається з руди, палива і флюсів. Після попереднього очищення від пилу колошниковий газ використовують для опалення повітронагрівників і коксових печей, а також для потреб металургійного виробництва. Колошниковий пил використовують для агломерації.

**2.7 Показники роботи доменної печі і шляхи підвищення продуктивності доменних печей**

**2.7.1 Показники роботи доменної печі**

*Продуктивність печі* характеризується добовою виплавкою чавуну в тоннах. Найбільша продуктивність буває при виплавлянні переробних чавунів, на 15…20% менша – при виплавлянні ливарних чавунів і в 2…3 рази менша – при виплавлянні феросплавів.

*Коефіцієнт використання корисного об′єму печі.* Одним з головних показників роботи печі є коефіцієнт використання її корисного об′єму (КВКО). Величина його визначається відношенням корисного об′єму печі *V, м3,* до добової її продуктивності *Т, т:*

$КВКО={V}/{T }$*м3/т.*

КВКО доменної печі для різних печей і сортів чавуну, що виплавляються, змінюється в межах 0,43…0,65 *м3/т.* Чим менша абсолютна величина КВКО тим краще працює доменна піч.

*Витрати палива*. Дуже важливил показником роботи доменної печі є витрати палива на 1 т виплавленого чавуну. Витрата коксу на виплавляння 1 т чавуну становить: для переробних чавунів – 0,8…0,9 т, для ливарних – 0,9…1,1 т, для феросплавів = 1,2…2,0 т.

2.7.2 Шляхи підвищення продуктивності доменних печей

*Підготовка сировинних матеріалів*. Важливим засобом підвищення продуктивності доменних печей є поліпшення підготовки сировинних матеріалів до плавки: старанне сортування залізної руди і коксу за розмірами кусків; збагачення і усереднення залізної руди; приготування офлюсованого агломерату.

*Застосування кисню.* Кисень у доменних печах використовують для збагачення повітряного дуття і для рафінування рідкого чавуну безпосередньо в горні доменної печі. Кисневе дуття підвищує концентрацію окису вуглецю і прискорює відновні процеси, зменшує об′єм колшникових газів і сприяє утворенню високої температури в печі. Продування рідкого чавуну киснем безпосередньо в доменній печі дає змогу підвищити температуру чавуну приблизно на 50оС і зменшити вміст сірки.

*Підвищення тиску газу під колошником досягають* установлюючи в газопроводі особливий перепускний клапан, який залишає для проходженя газів дуже вузькі отвори. Прицьому тиск газів досягає 0,18 *Мпа* (1,8 *атм*). Досвід роботи доменних печей із застосуванням підвищеного тиску газів під колошником показав, що продуктивність збільшується, а витрата палива знижується.

*Механізація і автоматизація доменного виробництва.* Механізація трудомістких процесів, автоматичний контроль, регулювання і керування роботою доменної печі сприяють збільшенню її продуктивності. На сучасних доменних печах прилади і регулятори забезпечують автоматичне завантаження шихти, автоматично контролюють і регулюють тиск, температуру і вологість дуття, тиск газу на колошнику.

**ПІДСУМОК**

Після опрацювання цієї лекції студент повинен знати: які вихідні матеріали застосовують для виплавляння чавуну; як готують сировинні матеріали до плавки; будову доменної печі та повітронагрівачів; стність доменного процесу; показники роботи доменної печі і шляхи підвищення її продуктивності.

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Що відносять до сирих матеріалів металургійного виробництва чавуну?
2. Які залізні руди ви знаєте? Їх назва, склад, характеристика.
3. Яке паливо використовують в доменній плавці?
4. Як готують залізну руду до доменної плавки?
5. Що є залізо рудною сировиною в сучасному доменному процесі?
6. Що входить до складу шихти в доменній плавці?
7. В чому полягає суть доменної плавки?
8. Які основні процеси відбуваються в доменній печі?
9. Які продукти доменної плавки ви знаєте? Їх характеристика і використання.
10. Назвіть показники роботи доменних печей.

**ДОДАТКОВІ НАВЧАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Навчальні фільми:

Металургія чавуна і сталі: <http://db.tt/ufL2nPfT>

Устрій і робота доменної печі: <http://db.tt/Q707zmww>

**ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

1. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник /М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с. [***http://www.twirpx.com/file/116772/***](http://www.twirpx.com/file/116772/)
2. Технология конструкционніх материалов: Учебник для студентов машиностроительніх специальномтей вузов /А.М. Дальский, Т.М. Барсуков, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. . [***http://www.twirpx.com/file/118961/***](http://www.twirpx.com/file/118961/)
3. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП,2004, - 179 с. [***http://www.twirpx.com/file/29814/***](http://www.twirpx.com/file/29814/)

**ГЛОСАРІЙ, ПЕРСОНАЛІЙ**

 **Збагачення.** Сукупність процесів обробки мінеральної сировини, добутої з надр, внаслідок яких відбувається відділення корисних мінералів від інших частин (домішок) (ДСТУ 2684-94)

**Агломерування** – термічний процес здобування відносно крупних грудок (агломерату) спіканням аглоруди, концентрату та відходів металургійної промисловості (ДСТУ 2684-94)

**Доменна піч** – велика металургійна вертикально розташована піч для виплавки чавуну з залізорудної сировини.

**Лекція №3**

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

**Змістовний модуль 1. Основи металургійного виробництва**

**Тема 3. Виробництво сталі**

**План лекції**

* 1. Суть двоступінчатого процесу виплавки сталі
	2. Основні способи виплавки сталі
	3. Киснево-конверторне виробництво сталі
		1. Будова кисневого конвертора
		2. Технологія плавки
		3. Поведінка складових чавуну при продуванні
	4. Мартенівське виробництво сталі
	5. Виробництво сталі в електропечах

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ

Традиційно в світовій металургійного виробництва набула технологія, що основана на використанні двоступінчастого процесу:

1. виплавка чавуну в доменних печах;
2. переробка доменного чавуну в сталь.

Переважна більшість світового виробництва сталі здійснюється саме за цією технологією. Вона передбачає наявність на металургійних заводах доменних цехів і використання як шихтового матеріалу рідкого переробного чавуну. У випадках, коли на металургійних заводах доменних цехів немає, то сталеплавильне виробництво використовує переробний чавун у вигляді чавунних виливок – чушок.

В чавуні значно більше вуглецю (біля 4%), а також марганцю, кремнію та інших домішок, ніж повинно бути в сталі. Тому виплавка стал – переробка чавуну в сталь – полягає в прведенні окислювальних процесів для видалення надлишку вуглецю та інших елементів. Для забезпечення якості сталі при плавці необхідно по можливості повніше видаляти з металу шкідливі домішки – сірку, фосфор, кисень, азот, неметалеві включення.

Другою головною складовою металошихти є металевий брухт (стальний, а в деяких випадках, і чавунний).

Співвідношення між кількістю переробного чавуну й кількістю брухту, що витрачається на виробництво сталі, для різних процесів різне. В середньому в нашій країні на виробництво 1 т сталі витрачається 610 кг чавуну і 485 кг брухту. У сталеплавильному виробництві як складові металошихти використовуються також феросплави – для розкислення і легування сталі.

Як додаткові матеріали (флюси) використовуються:

* вапняк;
* вапно – свіжовипалене з вмістом 85…90% CaO;
* боксит (20…60%Al2O3; 3…20%SiO2; 15…45%Fe2O3);
* плавиковий шпат (90…95%CaF2);
* марганцева руда;
* пісок (~95% SiO2; бій шамотної цегли, так званий «шамотний бій»(~65% SiO2 і ~30% Al2O3)).

Як окислювачі застосовують кисень, стиснуте повітря, залізну руду, окалину, агломерат, залізорудні брикети.

* 1. **Основні способи виплавки сталі**

В сучасному сталеплавильному виробництві найбільшого поширення набули такі способи виплавки сталі:

* киснево-конверторний (більше 55% від всієї сталі, що виплавляється);
* мартенівський (~20%);
* електроплавильний (~25%).
	1. **Киснево-конверторне виробництво сталі**

**3.3.1** Будова кисневого конвертора

**Кисневий конвертор** – це посудина грушоподібної форми, яка встновлюється на опорних станинах за допомогою ццапф і може повертатися для здійснення технологічних операцій (рис. 3.1).

Корпус (кожух) конвертора зварений з листової сталі товщиною до 110 мм. Розташування горловини в конверторах симетричне, що дозволяє вводити кисневу фурму суворо по осі конвертора і забеспечувати тим самим рівномірне зношування футерівки.

Футерівка конвертора зазвичай двошарова загальною товщиною 700…1000 мм. Перший зовнішній (арматурний) шар товщиною 110…250 мм виготовлений з магнезитової або магнезито-хромітової цегли. Він не потребує заміни протягом багатьох років. Внутрішній або робочий шар зношується під час роботи і його замінюють при ремонтах футерівки. Його виготовляють з високовогнетривкої (35…37%MgO, 45…65%CaO), смолодоломітомагнезитової (50…80%MgO, 12…45%CaO) цегли. Її стійкість складає 800…900 плавок.



Рисунок 3.1 Схема кисневого кисневого конвертора

1 – кожух; 2 – арматурний шар футерівки; 3 – вогнетривка набивка; 4 – робочий шар футерівки; 5 – горловина; 6 – фурма для вдування кисню; 7 – метал; 8 – льотка для зливання сталі.

Гарячий ремонт футерівки 3…6 разів на добу, шляхом нанесення на зношені ділянки футерівки вогнетривкої маси за допомогою сопла (струменем стиснутого повітря) спеціальної установки (трокрет-машини) дозволяє призупинити зношування робочого шару футерівки і досягти її стійкості в кілька тисяч плавок.

Основна футерівка дозволяє завантажувати в конвертор вапно з утворенням основного шлаку, що збезпечує пове видалення з металу шкідливих домішок – сірки і фосфору.

Ємність існуючих у нас конвекторів (за масою рідкої сталі) складає 400…550 т. Внутрішній робочий простір конвертора на 350 т має розміри: висота 9,9 м, діаметр 7,0 м, діаметр горловини 4,0 м, глибина ванни рідкого металу 1,8 м; питомий об′єм (об′єм робочої порожнини, що приходиться на 1 т рідкої сталі, м3/т) становить 0,92, що запобігає викидам металу при інтенсивній продувці.

**Шихтові матеріали**, основним шихтовим матеріалом киснево-конверторного процесу є рідкий переробний чавун із початковою температурою 1300…1450оС. другою складовою шихти є стальний брухт, кількість якого складає 25…27% від маси шихти. Розміри кусків брухту не повинні бути більшими 0,2×0,3×1,0 м, а пакетів брухту не більші 0,7×1×2 м. Основні шлакоутворюючі матеріали – це вапно і плавиковий шпат, інколи використовують також окалину, залізну руду, боксит, агломерат та ін.

*Киснева фурма.* Кисень подають в конвертор через вертикально розташовану водоохолоджувану фурму, яку вводять у порожнину конвертора через горловину суворо по його осі. Тиск кисню становить 1,0…1,6 *Мпа*. Над ванною рідкого металу в спокійному стані фурма знаходиться в межах 0,8…3,3 м. Фурма внизу має мідну головку з кількома соплами (3…7), через які подається кисень в кількості від 2,5 до 5…7 *м*3/(*т∙хв*).Головка фурми знаходиться в зоні найбільш високих температур (до 2600оС), тому її виготовляють із міді, яка завдяки високій теплопровідності забезпечує швидше відведення і передачу воді тепла. Воду для охолдження фурми подають під тиском 0,8…1,2 *Мпа*. Температура води на виході з фурми <40оС. Стійкість головок фурм становить 50…250 плавок.

**3.3.2 Технологія плавки**

*Хід плавки.* Плавку починають із завантаження в конвертор брухту через горловину завантажувальними машинами або кранами, які перекидають лотки які перекидають лотки з бухтом у нахилений конвертор (рис.т3.2,а).

Потім із заливального ковша заливають розплавлений чавун (рис. 3.2,б). Після цього конвертор повертають у вертикальне положення. В порожнину конвертора вводять фурму і включають подачу кисню (рис. 3.2,в). Потім завантажують (рис. 3.2,г) першу порцію (1/2…2/3) шлакоутворюючих матеріалів (вапно з плавиковим шпатом і інколи з додаванням руди, окалини, бокситу).

****

Рисунок 3. Технологічні операції конверторної плавки

Решту шлакоутворюючих матеріалів вводять кількома порціями протягом першої третини тривалості продувки.

Продувка в залежності від інтенсивності подачі кисню триває від 12 до 20 хв. і повинна закінчитись на заданому для виплавюємої марки сталі вмісті вуглецю. На цей момент метал повинен бути нагрітий до необхідної температури (1580…1650оС), а вміст сірки і фосфору в ньому не повинен перевищувати меж, допустимих для даної марки сталі.

Момент закінчення продування визначають за кількістю витраченого кисню, тривалістю продування. Закінчивши продування, із порожнини конвертора виводять кисневу фурму, а конвертор повертають у горизонтальне положення. Через горловину конвертора відбирають проби металу й шлаку і вимірюють температуру метелу термопарою занурення.

У відібраній пробі металу експресним методом визначають вміст вуглецю та інших елементів. За результатами аналізу металу і його температури приймається рішення про випуск плавки або про проведення операцій коректування, які повинні забезпечити заданий хімічний склад і температуру.

Після досягнення необхідних параметрів металу конвертор нахиляють, випускаючи сталь у ківш через льотку (рис. 3.2,д) і одночасно в ківш вводять розкислювачі і легуючі домішки. В ковші зливають також невелику кількість шлаку (товщиною 200…300 мм) для попередження швидкого охолодження металу. Шлак, що залишився, здивають у шлакову чашу через горловину (рис. 3.2, е). загальна тривалість плавки в конверторах місткістю від 50 до 400 т складає 30…55 хв.

*Режим дуття.* Важливими параметрами режиму дуття є тиск, інтенсивність подачі кисню, кількість кисневих струменів, висота розташування фурми, глибина проникнення струменів кисню у ванну, чистота кисню.

Для достатнього заглиблення кисневих струменів у ванну та повного засвоєння металом кисню потрібна висока кінетична енергія струменів, тому розміри сопел розраховують так, щоб швидкість стрменя на виході з них складала 450…500 м/с. Тиск кисню перед фурмою повинен бути при цьому 1,2…1,6 Мпа. Питомі витрати кисню становлять 47…57 м3 на 1 т сталі (до 2000 м3/хв). Схема взаємодії кисневого струменя з ванною й циркуляція ванни показані на рис. 3.3. На початку продувки фурма знаходиться над ванною. В середині продувки, коли інтенсивність окислення вуглецю значно зростає, велика кількість бульбашок оксиду вуглецю пінить верхню частину ванни й фурма виявляється зануреною в утворену газо-шлако-металеву емульсію; рівень ванни може досягти горловини конвертора.



Рисунок 3.3 – Схема взаємодії струменя з ванною:

1 – бульбашки СО; 2 – шлак; 3 – бризки шлаку й металу; 4 – фурма; 5 – струмінь кисню

Для продування потрібно використовувати кисень чистотою не менше 99,5% для збезпечення мінімального вмісту азоту в сталі (у межах 0,002…0,004% N).

* + 1. Поведінка складових чавуну при продуванні

**Реакції окислення.** Окислення заліза, вуглецю, марганцю й кремнію відбуваються за рахунок: газоподібного кисню $\left\{О\right\}$; кисню, розчиненого в металі $\left[О\right]$, окису заліза $\left(FeO\right)$.

Тут і в подальшому приймається стандартне позначення:

* $\left[С\right]$, $\left[Si\right]$ тощо – компонент, розчинений у металі;
* $\left(FeO\right)$,$ \left(CaO\right)$ тощо – у шлаку;
* $\left\{О\right\}$, $\left\{СО\right\}$ - знаходиться в газовій фазі.

При вдуванні кисню в метал спершу окислюється залізо, це пов′язано з тим, що його концентрація в багато разів більша концентрацій інших елементів:

$$\left[Fe\right]+1/2\left\{O\_{2}\right\}=FeO.$$

Окис заліза частково розчиняється в металі $FeO\rightarrow \left[FeO\right]$ і частково – в шлаці $FeO\rightarrow \left(FeO\right)$.

Газоподібним киснем окислюється лише незначна кількість домішок:

$$\left[C\right]+1/2\left\{O\_{2}\right\}=\left\{CO\right\}+Q;$$

$$\left[Mn\right]+1/2\left\{O\_{2}\right\}=\left(MnO\right)+Q;$$

$$\left[Si\right]+\left\{O\_{2}\right\}=\left(SiO\_{2}\right)+Q.$$

Більша частина домішок окислюється за рахунок кисню шлаку (FeO) і кисню, яким збагатився метал при розчиненні вньому оксиду заліза:

$$\left[FeO\right]\rightarrow \left[Fe\right]+\left[O\right].$$

Окислення киснем, що міститься в оксидах заліза шлаку:

$$\left[C\right]+\left(FeO\right)=\left[Fe\right]+\left\{CO\right\}-Q;$$

$$\left[Mn\right]+\left[O\right]=\left(MnO\right)+Q;$$

$$\left[Si\right]+2\left(FeO\right)=\left(SiO\_{2}\right)+2\left[Fe\right]+Q.$$

Окислення киснем, розчиненим у металі:

$$\left[C\right]+\left[O\right]=\left\{CO\right\}+Q;$$

$$\left[Mn\right]+\left[O\right]=\left(MnO\right)+Q;$$

$$\left[Si\right]+2\left[O\right]=\left(SiO\_{2}\right)+Q.$$

**Фосфор** видаляється з металу в шлак за реакцією:

$$2\left[P\right]+5\left(FeO\right)+3\left(CaO\right)= \left(3CaO∙P\_{2}O\_{5}\right)+5\left[Fe\right]+Q,$$

для успішного протікання якої потрібні підвищена основність (CaO) і окисленість (FeO) шлаку та невисока температура (реакція екзотермічна). Найбільш повно протікає реакція видалення фосфору на ранніх стадіях продувки, коли швидко формується основний залізистий шлак і температура порівняно невисока. У шлак переходить до 95…98% фосфору шихти, в кінці плавки сталь містить 0,002…0,004% Р.

Сірка видаляється в кисневому конверторі протягом всієї плавки і, головним чином, шляхом переходу її з металу в шлак за реакцією:

$$\left[FeS\right]+\left(CaO\right)=\left(CaS\right)+\left(FeO\right).$$

Але ця реакція має обмежений розвиток внаслідок того, що шлак в киснево-конверторному процесі окислений (7…20% FeO), і це перешкджає ошлакуванню сірки. За цією реакцією видаляється 30…40% S. Тому для виплавки високоякісних сталей вміст сірки в чавуні не повинен бути вищим 0,035% (при виплавці рядових марок сталі – 0,06%).

**Шлакоутворення і вимоги до шлаку**

Головні джерела шлакоутворення: вапно (CaO), що завантажується в конвертор; продукти окислення складових чавуну (SiO2, MnO, FeO, P2O5); продукти розчинення футерівки (CaO, MgO); шлак, що надходить із чавуном (SiO2, CaO, MnO, FeO, Al2O3, MnS); оксиди заліза з іржі стального брухту; флюси (CaF2, Al2O3, SiO2, Fe2O3).

Шлаковий режим повинен передусім забезпечити достатньо повне видалення фосфору і сірки з металу. З цією метою основність шлаку (CaO/SiO2) повинна бути 2,5…3,7, а в′язкість невелика, оскільки в густих шлаках сповільнюються процеси дифузії компонентів, що беруть участь в реакціях усунення фосфору й сірки з розплаву. Розрідженню шлаку сприяє плавиковий шпат (CaF2), витрати якого складають 0,15…0,3% (інколи до 1%). Склад кінцевого шлаку такий: 43…50% CaO; 14…22% SiO2; 7…20% FeO; 2…6% Fe2O3; 7…14% MnO; 3…7% AL2O3; 1,5…4% MgO; 0,5…4% P2O5; <3% CaF2; <1% CaS. Кількість шлаку становить 10…17% від маси сталі.

**Тепловий режим**

Сталь при випуску з конвертора повинна бути нагріта до температури 1600…1650оС, тоді як чавун, що заливається в конвертор, має температуру 1250…1400оС. Джерелом тепла для нагрівання сталі і шлаку, а також для поповнення витрат тепла з відхідними газами і через кожух конвертора є тепло, що виділяється при окисленні домішок чавуну. Розрахунки теплового балансу і практика показують, що загальна кількість тепла, що виділяється при окисленні домішок чавуну при будь – якому його складі, значно перевищує потреби в теплі для нагрівання сталі й шлаку і для компенсації тепловтрат. У зв′язку з цим при киснево-конверторній плавці обов′язковим є застосування охолджувальних домішок. Зазвичай, як охолоджувачі застосовується стальний брухт. Надлишкове тепло процесу використовується при цьому на його нагрівання і розплавлення. Витрати брухту становлять 25…27% від маси металевої шихти. Перевагою брухту перед іншими охолоджувачами (залізна руда, агломерат, вапняк тощо) є і те, що він знижує собівартість сталі, тому що містить менше домішок, які окислюються при продуванні.

**Втрати металу при продуванні**

Втрати металу складаються із втрат у вигляді неминучого угару домішок, з оксидами заліза шлаку, з викидами і виносом крапель металу з відхідними газами, у вигляді краплин в шлаку, з димом. Неминучий угар складає 5…6% від маси чавуну.

Втрати з димом зумовлені наявністю в диму дрібнодисперсних частинок оксидів заліза і становлять 1,0…1,5% від маси металу.

Втрати металу з викидами і виносом крапель становить біля 1%. Втрати заліза, що знаходиться в шлаку у вигляді оксидів FeO і Fe2O3 становлять 1…1,25% від маси металу. Зі шлаком втрачається 0,3…0,5% заліза у вигляді дрібних крапель, які заплутуються в шлаці.

Вихід рідкої сталі при киснево-конверторному процесі з урахуванням усіх витрат складає 89…92% від маси металевої шихти.

**Розкислення сталі**

*Розкисленням* називають технологічну операцію, при якій розчинений у металі кисень переводиться в нерозчинні у металі сполуки. Після операції розкислення сталь називається розкисленою або спокійною. Якщо операцію розкислення не проводити, то в сталі при її поступовому охолодженні буде протікати реакція $\left[O\right]+\left[C\right]=\left\{CO\right\}$. Бульбашки оксиду вуглецю, які утворюються при цьому, будуть виділятись з виливка, що кристалізується, створюється ефект кипіння. Тому таку сталь називають *киплячою.*

Присутній у киплячій сталі погіршує міцність, пластичність і в′язкість сталі. Значно підвищується «поріг холодноламкості», тобто мінімальна температура, при якій метал майже катастрофічно втрачає сої механічні властивості, особливо пластичність («поріг холодноламкості» киплячої сталі становить близько 0оС, а спокійної – мінус 40оС). Тому розкислення сталі є бов′язковою завершальною операцією при виготовленні більшості марок сталі.

Для киснево-конверторної сталі застосовують так зване глибинне (осаджуюче) розкислення, яке полягає в тому, що розчинений в металі кисень переводять в нерозчинний оксид введенням у товщу металу елемента – розкислювача. Цей елемент повинен мати більшу спорідненість із киснем ніж залізо. Оксиди, що утворюються при окисленні цих елементів, мають меншу густину, ніж сталь; вони спливають «осаджуючись» у шарі шлаку.

Найчастіше сталь розкислюють марганцем (феромарганцем), кремнієм (феросиліцієм) і алюмінієм. Ці розкислювачі вводять в ківш на струмінь сталі, яка випускається з конвертора після наповнення ковша на 1/4…1/3 об′єму, в такій послідовності:

спочатку феромарганець $\left[Mn\right]+\left[O\right]=\left(MnO\right)$;

потім феросиліцій $\left[Si\right]+2\left[O\right]=\left(SiO\_{2}\right)$;

і в останню чергу алюміній $2\left[Al\right]+3\left[O\right]=\left(Al\_{2}O\_{3}\right)$.

Оброблена таким чином сталь і буде «спокійною». Оброблена лише феромаргаецем сталь залишається «киплячою». Вона найдешевша. Сталь, розкислена феромарганцем і феросиліцієм, називається «напівспокійною». За якістю і вартістю вона є проміжною між спокійною і киплячою сталями.

**Виплавка легованих сталей**

Виплавка легованих сталей в кисневих конверторах пов′язана зі значними труднощами, оскільки більшість легуючих елементів не можна вводити в конвертор через небезпеку їх повного або часткового окислення (кремній, марганець, алюміній, хром, ванадій, титан). Не викликає труднощів легування тими елементами, в яких хімічна спорідненість з киснем менша ніж у заліза (нікель, мідь, молібден). Решту ж елементів вводять у вигляді феросплавів у ківш під час випуску сталі з конвертора. При виробництві низколегованих сталей із загальним вмістом легуючих елементів не більше 2…3% феросплави вводять у твердому стані. При виробництві більш легованих сталей легуючі домішки заливають в ківш, розплавивши їх попередньо в електричній печі. Це дозволяє вводити в сталь велику кількість легуючих компонентів без її охолодження.

* 1. **Мартенівське виробництво сталі**

Виробництво сталі в мартенівських печах на вітчизняних металургійних заводах становить біля 60% (світове виробництво - <20%). **Мартенівська піч** за будовою та принципом роботи є полуменевою регенеративною піччю (рис. 3.4). В її плавильному просторі спалюється газоподібне або рідке паливо (мазут). Паливо та повітря, проходячи через насадки регенераторів 1 та 2, де вони нагріваються до температури 1000…1200оС, по вертикальних каналах 3 і 4 подаються в «головку» печі 9 і з неї в робочий простір печі 5. При згорянні палива утворюється факел з температурою 1800…1900оС. проходячи головку, розташовану з протилежного боку печі, розжарені до температури 1500…1550оС продукти згоряння попадають в іншу пару насадок регенераторів і по системі відвідних каналів (боровів) надходять у витяжну трубу.

При такій роботі насадки регенераторів правої сторони поступово охолоджуються, а насадки регенераторів лівої сторони нагріваються. В момент, коли регенератори, через які проходить в піч паливо і повітря, вже не в змозі їх нагрівати до потрібної температури, а регенератори, через які виходить з печі дим, перегріваються, відбувається зміна напрямку руху газів, для чого передбачаються перекидні клапани 10. Операція «перекидання клапанів» здійснюється періодично з охолодженням насадки регенераторів, через які надходять в піч повітря й паливо. В якості палива для мартенівських печей застосовується природний газ, мазут і змішаний газ (суміш коксового й доменного газу). Змішаний газ використовується лише на зоводах з повним металургійним циклом, тобто ті що мають доменне і коксохімічне виробництво.

Це паливо має порівняно невисоку теплоту згоряння і мартенівські печі в цьому випадку мають регенератори для газу і повітря (за схемою рис. 3.4).



Рисунок 3. 4 – Схема мартенівської печі

1,2 – паливні і повітряні регенератори; 3,4 – вертикальні канали для подачі палива і повітря; 5 – робочий простір печі; 6 – під печі; 7 – склепіння печі; 8 – завантажувальні вікна; 9 – головка печі; 10 – перекидні клапани.

Основна ж маса сталі виплавляється в печах, які працюють на восококалорійних паливах – природному газі й мазуті. В цих випадках достатньо мати лише одну пару регенераторів – для повітря, що значно спрощує конструкцію й експлуатацію печей.

Для візуального спостереження за ходом плавки внутрішній простір печі повинен бути добре освітлений, що забезпечується світимістю факела полум′я. Факел природного газу дає мало світла, тому для підсвічування одночасно з газом в піч вводять до 30…40% мазуту.

Маса плавки мартенівських печей на металургійних заводах становить 300…500 т з розмірами ванни до 120 м2. На деяких заводах працюють печі до 900 т. Тривалість плавки в малих і середніх печах 3…6 год., у крупних – до 12 год. До зупинки на капітальний ремонт мартенівькі печі відають 400…600 плавок.

**Різновиди мартенівського процесу**

В залежності від складу шихти мартенівський процес поділяється на:

1. *Скрап-процес* – процес, при якому основною складовою частиною шихти є стальний скрап (брухт). Зазвичай він використовується на заводах, де немає доменних печей і які розташовані в крупних промислових районах із значними запасами металобрухту. Крім брухту до складу шихти входить 25…45% чушкового доменного чавуну.
2. *Скрап*-*рудний* – процес, при якому основна маса шихти (55…75%) – рідкий доменний переробний чавун. Решта складових шихти – скрап і залізна руда. Якщо металева шихта на 100% складається з рідкого чавуну, а в піч у твердому стані завантажують лише залізну руду, процес називають *рудним.*

В залежності від матеріалу футерівки печі і складу шлаку мартенівський процес може бути *основним* і *кислим*.

**3.5 Виробництво сталі в електричних печах**

Для виплавки сталі застосовують дугові та індукційні електропечі. Основні переваги електропечей полягають у можливостях: швидко нагріти метал, що дозволяє вводити в піч велику кількість легуючих домішок; мати в печі відновлювальну атмосферу і безокислювальні шлаки, що обумовлює невеликий угар легуючих елементів; плавно і точно регулювати температуру металу; більш повно, ніж в інших печах розкислювати метал, одержуючи його з низьким вмістом неметалевих включень; виробляти сталь з низьким вмістом сірки і фосфору.

Основну масу електросталі виплавляють у дугових електричних печах.

**Виплавка сталі в дугових електричних печах**

Дугові електропечі випускаються місткістю від 0,5 до 200 т. розробляються печі на 300 і 400 т.

Принципова схема будови дугової електричної печі показана на рис. 3.5. Корпус печі має форму циліндра зі сферичним або плоским днищем. Зовні він має захисний кожух із стального листа товщиною 10…40 мм, внутрішня поверхня футерована основними або кислими вогнетривами. Вугільні або графітизовані електроди пропускаються через отвори в склепінні печі. В стінці корпусу є робоче вікно, через яке зливають шлак, завантажують фересплави, відбирають проби металу. Готову сталь випускають через льотку і зливний жолоб. Піч опирається на сектори 10 і має привід для нахилу в бік робочого вікна або жолоба.

Нагрівання й розплавлення здійснюється електричними дугами, що утворюються між кжним електродом і шихтою. Трьохфазний струм підводять до електродів із допомогою гнучких кабелів і мідних шин. Робоча напруга від 100…200 В в малих печах, і до 400…600 В в крупних печах. Сила струму досягає десятків тисяч ампер.

Шихту завантажують в піч зверху, для чого склепіння піднімають і відводять в бік; в деяких конструкціях висувають з-під склепіння корпус печі. Електросталь виплавляють переважно в основних печах. При цьому є кілька різновидів плавки: плавка з повним окисленням (плавка на «свіжій» шихті), плавка без окислення (плавка методом переплаву); спрощені методи плавки сталі в печах великої місткості (80…300 т).



Рисунок 3.5 – Схема дугової електропечі:

1 – корпус печі; 2 – знімне склепіння; 3 – електроди; 4 – електродотримачі; 5 – робоче вікно; 6 – заслінка вікна; 7 – жолоб для випуску металу; 8 шар шлаку; 9 – метал; 10 – сектор для нахилу печі.

**Виплавка сталі в індукційніх печах**

В індукційних печах виплавляють найбільш якісні корозійностійкі, жароміцні та інші стаі й сплави. Місткість печей складає від кількох десятків кілограм до 60 т. Схема індукційної печі приводиться на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Схема індукційної печі:

1 – тигель з вогнетривких матеріалів; 2 – водоохолоджувальний індуктор; 3 – жолоб для випуску сталі; 4 – ківш; 5 – метал; 6 – вихрові сурми.

Плавку ведуть у тиглі, футерованому основними або кислими вогнетривами. Навкруги тигля розташований спіральний багатовитковий індуктор, виготовлений з мідної труби, по якій циркулює охолоджувальна вода.

За характером струму, що живить індуктор, розрізняють високочастотні печі (10…1000 кГц), печі, що працюють на підвищеній (500…10000 Гц) та промисловій (50…60 Гц) частотах.

При пропусканні струму через індуктор у металі, що знаходиться в тиглі, індукуються потужні вихрові струми, що викликають нагрівання й розплавлення металу.

Під дією електромагнітного поля індуктора при плавці відбувається інтенсивна циркуляція рідкого металу, що сприяє прискоренню хімічних реакцій, одержання однорідного за хімічним складом металу, швидкому спливанню металевих включень, вирівнюванню температури.

**Розливання сталі у виливниці**

Виливниці виготовляють із чавуну наступного хімічного складу: 3,3…4,0%C; 0,9…2,2%Si; 0,4…1,0%Mn; <0,2P i <0,12S.

Форма поперечного перерізу виливниць може бути квадратною, прямокутною, круглою, багатогранною. Виливки квадратного перерізу використовуються для виробництва сортового прокату; виливки прямокутного перерізу з відношенням їх ширини А до товщини В менше 1,5 – для виробництва як сортового так і листового прокату; плоскі виливки з відношенням А/В = 1,5…3,0 – для прокатки листа. Виливки круглого перерізу йдуть на виготовлення труб, коліс тощо. В багатогранній виливниці відливають відливають виливки для ковальських поковок.

За формою поздовжнього перерізу виливниці бувають двох типів: із розширенням доверху для розливання спокійної сталі і з розширенням донизу для киплячої сталі.

Виливниці, що розширюються донизу, виготовляють наскрізними (без дна), а з розширенням доверху – як із дном, так і без дна (для виливків спокійної сталі масою більше 9 т). Товщину стінок виливниць приймають рівною приблизно 20% від величини поперечного розміру виливка. Стійкість виливниць становить 60…100 розливань.

Застосовують два основні способи розливання сталі у виливниці: розливання зверху і розливання знизу (сифоном).

При розливанні зверху (рис. 3.7) сталь безпосередньо з ковша 1 надходить у виливниці 2, які встановлені на чавунних плитах – піддонах 3. Після заповнення кожної виливниці стопор закриває випускний отвір у ковші, ківш транспортують до наступної виливниці, відкривають стопор і після заповнення нової виливниці цикл повторюють.

При розливанні знизу (сифонному розливанні), основаному на принципі сполучених посудин, сталлю заповнюють одночасно від двох до кількох десятків виливниць. Рідка сталь з ковша 1 (рис. 3.8) надходить в установлений на піддоні 5 футерований з середини стояк 2, а з нього футерованими каналами 4 у виливниці 3. Канали для підводу металу до виливниц у піддоні і стояку створюються за допомогою спеціальної, так званої, сифонної цегли.



Рисунок 3.7 – Схема розливання сталі зверху

Для зменшення додаткової частини виливка на виливницях установлюють утеплені надставки 6. Крізь один центральний ливник залежно від величини виливків одночасно заливають від двох до 60…100 виливниць. Після заливання всіх установлених на піддоні виливниць стопор ковша закиває випускний отвір, і ківш транспортується до наступного піддона і т.д.



Рисунок 3.8 – Схема розливання сталі знизу

*Перевагами розливання зверху є:*

* простота обладнання і невелика вартість розливання;
* відсутність відходів металу;
* температура металу перед розливанням може бути меншою, ніж при сифонному розливанні.

*Недоліки розливання зверху:*

* утворення плівок на поверхні нижньої частини виливка як наслідок розбрискування металу при ударі струменя в дно виливниці. Застиглі на стінках виливниці й окислені з поверхні бризки металу не розчиняються в рідкій сталі, що піднімається, утворюючи дефект поверхні – плівки, які не зварюються з металом при прокатуванні. Для запобігання цього поверхню виливків приходиться піддавати зачистці;
* велика тривалість розливання;
* через часті відкривання й закривання погіршуються умови роботи стопорного механізму ковша, а через велику тривалість розливання знижується стійкість футерівки ковша.

*Сифонне розливання має наступні переваги перед розливанням зверху:*

* одночасне відливання кількох виливків скорочує тривалість розливання і дозволяє розливати в дрібні виливки плавку великої маси;
* поверхня виливка виходить чистою, оскільки метал у виливницях піднімається спокійно без розбрискування;
* підвищується стійкість футерівки ковша і покращуються умови роботи стопора внаслідок меншої тривалості розливання й зменшення числа відкривань і закривань стопора;
* під час розливання можна слідкувати за поведінкою металу, який піднімається у вилиниці, й у відповідності з цим регулювати швидкість розливання.

*Недоліки сифонного розливання:*

* складність і підвищена вартість розливання, зумовлені значними витратами на сифонну цеглу й збирання піддонів і стояків;
* додаткові витрати металу на ливники (0,7…2,5% від маси сталі, що розливається);
* необхідність нагрівання металу в печі до більш високої температури в зв′язку з його додатковим охолодженням у каналах сифонної цегли.

Прибуткові надставки встановлюють при розливанні спокійної сталі на виливницях, що розширюються доверху. Вони футеруються теплоізоляційними матеріалами для уповільнення охолодження верха виливка, що сприяє виведенню сюди усадочної раковини. В подальшому ту частину виливка, де розташована усадочна раковина, відрізають при прокатуванні і переплавляють.

Величину усадки, яка визначається природою сталі, зменшити неможливо. Тому для того, щоб звести до мінімуму втрати металу, пов′язані з видаленням частини виливка, де розташована усадочна раковина; усадочну раковину концентрують у верхній (головній) частині виливка і зменшують либину її проникнення у виливок.

Для цього застосовують прибуткові надставки. Вони при розливанні заповнюються рідким металом, поверхню якого покривають теплоізолювальними матеріалами (азбестом, коксо-шлаковою сумішшю, спеціальними розігрівальними сумішами, які складаються з алюмінію, феросиліцію, дрібного коксу або деревинного вугілля, шамоту, бокситу тощо).

Метал у прибутковій надставці, довго залишаючись рідким, живить виливок виливниці при його кристалізації і застигає останнім. Тут і формується усадочна раковина. При застосуванні вказаних заходів величина голвної частини, яка обрізається від виливків спокійної сталі, складає 12…16%, а для дрібних виливків і легованих сталейидосягає 20%.

В виливках киплячої сталі концентрована усадочна раковина не утворюється, вона компенсується численними бульбашками, наповненими СО, який утворюється при «кипінні» сталі у виливниці. У зв′язку з відсутністю усадочної раковини нема необхідності застосовувати виливниці, які розширюються доверху.

Киплячу сталь розливають у наскрізні виливниці, що розширюються донизу. Це спрощує процес звільнення вливка з виливниці – виливницю просто знімають із твердого виливка.

**Безперервне розливання сталі**

Безперервне розливання сталі почали широко використовувати за останні 25…30 років. Суть способу полягає в тому, що рідку сталь безперервно заливають у водоохолоджувану виливницю без дна – кристалізатор, з нижньої частини якого витягують затвердівший з периферії виливок із рідкою серцевиною.

Далі виливок рухається через зону вторинного охолодження, де повністю твердне, після чого його розрізають на куски визначеної довжини.

Розливання ведуть до повного переливання металу з сталерозливального ковша або ж розливають без перерви метал з кількох ковшів різних плавок (розливання методом «плавка на плавку»). Схема безперервного розливання й кристалізації виливка показано на рис. 3.9.

Кристалізатор 1 виготовлений з міді. В його порожнистих стінках циркулює вода. Метал, що заливається в кристалізатор, при контакті з його стінками переохолоджується і затвердіває у вигляді кірки, товщина якої збільшується донизу виливка і на виході з кристалізатора досягає 10…25 мм.



Рисунок 3.9 – Схема безперервного розливання і кристалізації виливка:

1 – кристалізатор; 2 – рідкий метал; 3 – твердий метал; 4 – опорні ролики; 5 – форсунки для подачі розпиленої води на зливок; 6 – тягові валики

В зоні вторинного охолодження на поверхню виливка, що повільно рухається донизу, подають розпилену воду. Опорні ролики 4 попереджують можливе випучення кірки під дією стовпа рідкої сталі. Глибина лунки рідкої сталі залежить від швидкості витягання виливка і дорівнює для виливка перерізом 30…1200 мм:

* 17,2 м при швидкості витягання 0,6 м/хв і
* 34,4 м при швидкості витягання 1,2 м/хв.

На машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) виливають заготовки квадратного перерізу розміром до 350×350 мм, круглі діаметром до 540 мм, прямокутні товщиною 70…350 мм і шириною до 2600 мм.

*Переваги безперервного розливання перед розливанням у виливниці:*

1. суттєво підвищується вихід придатного металу (на 10…15%) внаслідок того, що при беперервному литті утворюється тільки одна усадочна раковина в кінці розливання плавки;
2. відпадає необхідність в обтискних прокатних станах (блюмінгах і слябінгах), на яких виготовляється попередня заготовка із виливка для наступних операцій прокатки сортового і листового профілів;
3. підвищується якість металу внаслідок зменшення хімічної неоднорідності через швидке охолодження виливків;
4. зменшуються витрати ручної праці і покращуються умови праці;
5. створюються умови для автоматизації процесу розливання.

**ПІДСУМОК**

Студент повинен знати: сутність процесу виплавки сталі; основні способи виплавки сталі; киснево-конверторне виробництво сталі, будову кисневого конвертора та технологію виплавки в ньому; поведінку.

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. В чому полягає суть двоступінчатого способу виробництва сталі?
2. Назвіть основні способи виплавки сталі.
3. Яка будова кисневого конвертора та основні процеси, що вньому відбуваються?
4. Поясніть сутність мартенівської плавки.
5. Назвіть типи електричних сталеплавильних печей.
6. В чому полягає сутність виплавки сталі в індукційних печах?
7. В чому полягає сутність виплавки сталі в дугових печах?
8. Сутність і мета розкислення сталі. Назвіть основні реакції при розкисленні.
9. Які способи розливання сталі і їх схеми ви знаєте?
10. Яка схема машини для безперервного розливання сталі?

**ДОДАТКОВІ НАВЧАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Навчальний фільм

Металургія чавуна і сталі: <http://db.tt/utPfT>

**ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

1. Общая металлургия. /В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев – 6-изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002 – 768 с. <http://www.twirpx.com/file/441629/>
2. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник /М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с. <http://www.twirpx.com/file/116772/>
3. Технология конструкционніх материалов: Учебник для студентов машиностроительніх специальномтей вузов /А.М. Дальский, Т.М. Барсуков, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. . <http://www.twirpx.com/file/118961/>
4. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП,2004, - 179 с. <http://www.twirpx.com/file/29814/>

**ГЛОСАРІЙ, ПЕРСОНАЛІЙ**

**Кисневий конвертор** (oxygen converter) – це посудина грушоподібної форми, яка призначена для одержання сталі з розплавленого чавуну продувкою його киснем, (встановлюється на опорних станинах за допомогою цапф і може повертатись для здійснення технологічних операцій).

**Мартенівська піч** (open hearth furnace) – полуменева металургійна піч для переробки чавуну та металобрухту в сталь необхідного складу та якості. Вперше збудована французьким інженером та металургом П′єром Мартеном у 1864 році.

**П′єр-Еміль Мартен** (фр. *Pierre-Emile Martin*) (18 серпня 1824, Бурж, департамент Шер, - 25 травня 1015, Фуршамбо, департамент Н′євр) – французький металлург.

**Лекція №4**

ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

**Змістовний модуль 1. Основи металургійного виробництва**

**Тема 4. Виробництво кольорових металів**

**План лекції**

4.1 Виробництво міді

4.1.1 Сировинні матеріали для виробництва міді

4.1.2 Пірометалургійний метод виробництва міді

4.2 Виробництво алюмінію

4.2.1 Сировинні матеріали для виробництва алюмінію

4.2.2 Електролітичне одержання алюмінію

4.2.3 Рафінування алюмінію

4.3 Виробництво магнію

4.3.1 Сировина для виробництва магнію

4.3.2 Електро літичне одержання магнію

4.4 Виробництво титану

4.4.1 Технологічна схема виробництва титану

4.4.2 Виплавка титанових сплавів

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

4.1 Виробництво міді

4.1.1 Сировинні матеріали для виробництва міді

Для виробництва міді використовують мідні руди з вмістом міді 1…6%. В рудах мідь знаходиться в вигляді сірчистих сполук (Cu2S, CuS, CuFeS2), оксидів (Cu2O, CuO), гідрокарбонатів [CuCO3∙Cu(OH)2, 2CuCO3∙Cu(OH)2].

Пуста порода складається з піриту FeS2, кварцу SiO2, карбонатів магнію і кальцію (MgCO3, CaCO3), оксидів різних металів (Al2O3, CaO, MgO, FeO).

Руди поділяються на сульфідні і окислені. В сульфідних рудах міститься: 1…6%Cu; 1…6%Zn; 8…40%Fe; 9…46%S; 5…55%SiO2; 2…12%Al2O3; 0,3…4,0%CaO; 0,3…1,5%MgO.

А в окислених рудах міститься: ≈2,0%Cu; ≈1,0%Fe; 0,1…0,2%S; 60…68%SiO2; 10…16%Al2O3; 0,3…0,7%CaO; 0,3…0,7%MgO.

Найбільше промислове значення мають сульфідні руди, із яких виготовляють ≈80% міді. Основним методом одержання міді є пірометалургійний метод. Ним добувають більше 90% відсотків міді.

4.1.2 Пірометалургійний метод виробництва міді

Технологічний процес виробництва міді пірометалургійним методом включає такі основні етапи: збагачення мідних руд (виробництво концентрату); плавлення концентрату з одержанням напівпродукту – ***штейну***; виплавку зі штейну чорної міді, її рафінування, тобто очистку від домішок.

*Збагачення мідних руд* проводять методом флотації, суть якого полягає в різному змочуванні водою частинок пустої породи й мінералу, що містить мідь. Пуста порода змочується водою й осідає на дно флотаційної машини, а частки корисного мінералу не змочуються, прилипають до бульбашок повітря і піднімаються на поверхню, утворюючи шар піни. З піни фільтрують частки руди, сушать і отримують рудний концентрат з вмісто: міді – 10…35%; сірки – 40…50%; заліза – 30…35% і пустої породи, головними складовими якої є SiO2, Al2O3 i CaO.

Бідний концентрат з вмістом міді 8…25% піддають ***випалюванню***, а багатий концентрат (25…35%Cu) плавлять без випалювання. Випалюють концентрат у печах різної конструкції. Джерелом тепла є горіння сірки сульфідів Cu2S, CuS, що забезпечує температуру в печах до 850оС. Сірчистий газ SO2, який утворюється при горінні, використовується для виробництва сірчаної кислоти.

***Плавлення на штейн.*** Виплавлений або багатий «сирий» концентрат плавлять на штейн переважно в полуменевих печах, які працюють на пилоподібному, рідкому або газоподібному паливі. Такі печі мають довжину до 40м, ширину до 10 м, площу полу до 250 м2 і вміщують 100 т і більше шихтових матеріалів. В робочому просторі печі температура досягає 1500…1600оС. В результаті плавки в печі поступово накопичується штейн – сплав, який складається в основному з сульфіду міді Cu2S і сульфіду заліза FeS. Він містить : 20…60%Cu; 10…60%Fe i 20…25%S. Крім штейну в печах утворюється шлак, який складається з SiO2, FeO, CaO, Al2O3. В розплавленому стані (Тпл=950…1050оС) штейн подається на конвертування для переобки в чорнову мідь. Рідкий шлак випускають зпечі у відвал.

***Конвертування штейну*** здійснюється в горизонтальних циліндричних конверторах довжиною 6…10 м і діаметром 3…4 м. По твірній поверхні конвертора розташовані фурми для вдування повітря. Заливання штейну в конвертор, завантаження флюсу й розливання продуктів плавки здійснюється через горловину, розташовану в середній частині корпусу конвертора.

Продувка штейну повітрям триває до 30 год. Витрати повітря до 800 *м3*/*хв*. В результаті плавлення в конверторі утворюється чорнова мідь з вмістом міді 98,4…99,4% (решта – домішки Fe, Ni, Pb, Sn, Ag, Au та ін.) і конверторний шлак, який містить: 22…30%SiO2; 45…70%FeO; біля3%Al2O3 i 1,5…2,5%Cu. Мідь розливають у сталеві виливниці на виливки і подають на рафінування.

***Рафінування міді*** – це її очистка від домішок.

Після рафінування чистота міді становить 99,5…99,95.

4.2 Виробництво алюмінію

За розміром виробництва алюміній зараз займає друге місце після заліза і перше серед усіх кольорових металів це широко розповсюджений у природі метал (8,8% за масою). Маючи високу хімічну спорідненість з киснем, алюміній у чистому вигляді в природі не зустрічається, з тієї ж причини він не може бути відновлений з його оксиду Al2O3 таким елементос, як карбон. Тому алюміній став відомим людству порівняно недавно. Лише в 1825 р. були одержані зразки відносно чистого алюмінію, а сучасний промисловий спосіб виробництва алюмінію був розроблений в 1886 р.

4.2.1 Сировинні матеріали для виробництва алюмінію

Найважливішими алюмінієвими рудами є боксити, нефеліни, алуніти. Основна руда – боксити, складні гірничі породи, які містять до 40 хімічних елементів. Основним показником, що визначає якість алюмінієвих руд, є вміст оксиду алюмінію – глинозему Al2O3. В бокситах вміст глинозему складає 30…70%, кремнезему SiO2 – 0,5…20% (чим нижчий, тим вища якість бокситів), оксиду заліза – 2…50%, оксиду титану – 0,01…10%.

В меншій мірі при виробництві алюмінію використовують нефеліни (K,Na)2O∙Al2O3∙2SiO2 і алуніти K2SO4∙Al2(SO4)3∙4Al(OH)3. В цих рудах вміст глинозему невеликий (20…30%).

Іншим необхідним компонентом при виробництві алюмінію є криоліт (Na3AlF6). У природі вчистому вигляді він майже не зустрічається. Як правило, його виготовляють штучно з вихідної сировини – плавикового шпату (флюориту) CaF2. Після збагачення отримують концентрат з необхідним для виробництва кріоліту властивостями і вмістом CaF2 не менше 95%.

Сучасне виробництво алюмінію складається з трьох основних процесів:

- одержання глинозему Al2O3 з бокситів;

- одержання кріоліту з плавикового шпату;

- одержання металевого алюмінію шляхом електролізу розплавленого глинозему.

4.2.2 Електролітичне одержання алюмінію

Алюміній одержують електролізом глинозему, розчиненому в розплавленому кріоліті в *електролізері –* ванні, схема якого приводиться на рис.4.1.



Рисунок 4.1 – Схема електролізера для виробництва алюмінію:

1 – кожух; 2 – футерівка з шамоту; 3 – футерівка з вуглецевих блоків; 4 – катодний стальний стержень; 5 – катодна шина; 6 – сталеві штирі для підведення струму до анода; 7 – кожух анода; 8 – анодна масса(напіврідка); 9 – зона спікання анодної маси; 10 – твердий анод; 11 – глинозем; 12 – розплавлений електроліт; 13 – шар застиглого електроліту; 14 – розплавлений алюміній

Ванна має стальний кожух футерований вогнетривким шаром і вуглецевими блоками. До блоків поду (дна) ванни підведені катодні шини і, таким чином, сам корпус ванни служить катодним пристроєм установки. Анодний пристрій складається з вугільного електрода, нижняя частина якого занурена в електроліт (розплав), який складається з глинозему (8…10%) і кріоліту. Електроліт нагрівається до температури 930…950оС теплом, що виділяється при проходженні електричного струму між анодом і катодом. При електролізі анод поступово згоряє і його переміщують вниз. Для беперервного нарощування електрода в його кожух подається напіврідка анодна масса, яка складається з молотого коксу (вугілля) і кам′яновугільної смолі. З опусканням вниз вона спікається й коксується. Струм подається постійний, напруга 4…4,5 В, сила струму біля 75 кА.

При електролізі в розплавленому електроліті відбувається дисоціація молекул кріоліту й глинозему:

$$Na\_{3}AlF\_{6}\rightarrow 3Na^{+}+AlF\_{6}^{3-};$$

$$Al\_{2}O\_{3}\rightarrow Al^{3+}+AlO\_{3}^{3-}.$$

На котоді розряжаються тільки катіони алюмінію: $Al^{3+}+3e\rightarrow Al$ і, таким чином, для одержання металевого алюмінію практично витрачається лише глинозем його періодично довантажують у ванну.

Розплавлений алюміній поступово накопичується на дні ванни і періодично видаляється за допомогою сифонів і вакуумних ковшів. Одержаний електролізом первинний алюміній містить домішки (залізо, кремній, частки глинозему, тощо), які погіршують його властивості.

4.2.3 Рафінування алюмінію

Первинний алюміній рафінують, продуваючи його при температурі 700…750оС газоподібним хлором протягом 10…15 хв. Хлористий алюміній AlCl3, виділяючись із металу встані пари, забезпечення очищення металу від газів і домішок. Цьому сприяє також відстоювання розплавленого алюмінію в ковші або в електричній печі при 690…750оС протягом 30…45 хв. Після такої очистки чистота алюмінію становить 99,85%.

Після електролітичного рафінування одержують алюміній чистотою 99,999%.

4.3 Виробництво магнію

4.3.1 Сировина для виробництва магнію

Для вироьництва магнію викорисеовують:

1. ***Карналіт -*** подвійний хлорид магнію й кальцію Mg Cl2∙KCl∙6H2O.
2. ***Магнезит*** – карбонат магнію MgCO3.
3. ***Доломіт*** – подвійний карбонат магнію й кальцію MgCO3∙CaCO3.
4. ***Бішофіт*** – хлорид магнію MgCl2∙6H2O.
	* 1. Електролітичне одержання магнію

Процес електролізу ведуть із росплавених солей магнію. Основною складовою електроліту є хлористий магній.

Його одержують хлоруванням оксиду магнію в присутності вуглецю при 800…900оС:

$$MgO+C+Cl\_{2}=MgCl\_{2}+CO.$$

Розплавлений хлористий магній подається на електроліз, який проводять в електролізерах з шамотною футерівкою, в верхній частині якого є діафрагми – перегородки, що розділяють анодний і катодний простори (рис. 4.2) для запобігання взаємодії хлору і магнію, які спливають, а також короткого замикання катода й анода розплавеним магнієм.



Рисунок 4.2 – Схема магнієвого електролізера:

1 – графітовий електрод; 2 – сталеві катоди; 3 – діафрагма-перегородка

Одержаний електролізом магній рафінують переплавкою його йз флюсами, до складу яких входять MgCl2, KCl та інші компоненти.

* 1. Виробництво титану

4.4.1 Технологічна схема виробництва титану

До основних промислових мінералів для одержання титану відносяться ***рутил*** (більше 90% TiO2) і ***ільменіт*** TiO2∙FeO (60% TiO2).

Найбільше розповсюдження одержав магнієтермічний спосіб виробництва титану, який протікає за наступною схемою: титанова руда →збагачення→плавка на титановий шлак→одержання чотирихлористого титану→відновлення титану магнієм.

Збагачення титанових руд здійснюється електромагнітним та іншими способами з одержанням концентрату з вмістом до 50% TiO2 і біля 35% Fe2O3 і FeO.

Плавку на ***титановий шлак*** проводять в електродугових печах. Шихтою є пресовані брикети з подрібненого концентрату, вугілля і скріплювача. В результаті одержують титановий шлак з вмістом TiO2 до 80%. Його подрібнюють, піддають магнітній сепарації, змішують з дрібним коксом і скріплювачем, потім пресують у брикети, які випалюють при 700…800оС і піддають хлоруванню в електричних печах при температурі 800…850оС. При цьому утворюється ***чотирихлористий титан*** за реакцією:

$$TiO\_{2}+2C+2Cl\_{2}=TiCl\_{4}+2CO.$$

$TiCl\_{4}$ в пароподібному стані очищають від твердих часток, охолджують у конденсаторах і одержують рідкий чотирихлористий титан.

Далі проводять процес відновлення титану магнієм за реакцією:

$$TiCl\_{4}+2Mg=2MgCl\_{2}+Ti+Q.$$

Ця реакція супроводжується виділенням великої кількості тепла і в реакторі підтримується необхідна температура 800…900оС. Частки відновленого титану злипаються в пористу масу (*титанова губка)*, просочену магнієм і хлористим магнієм.

Рафінування титанової губки проводять методом вакуумної дистиляції при температурі 950…1000оС і вакуумі 0,133 Па. Очищену губку переплавляють в компактні виливки у вакуумних дугових електропечах із мідним водоохолоджуваним тиглем. Електрична дуга горить між електродом, виготовленим пресуванням подрібненої титанової губки і ванною розплавленого металу. Титановий електрод сам плавиться і тому його називають витратним.

Розплавлений метал поступово заповнює мідну водоохолоджувану виливницю, затвердіває і утворює виливок. Схема процесу аналогічна зображеній на рис. 4.1. Для забезпечення високої якості виливків плавку повторюють двічі. При повторній плавці витратним електродом є виливок, одержаний при першій плавці.

* + 1. Виплавка титанових сплавів

Титанові сплави виплавляють в електричних дугових печах. Шихтовими матеріалами є титанова губка і легуючі елементи. Із шихти прсуванням при температурі 280…330оС виготовляють витратний електрод. Плавку ведуть у вакуумі або атмосфері аргону в печах, аналогічних тим, що застосовуються для переплавлення титанової губки.

**ПІДСУМОК**

Студент повинен знати після проходження даної теми сутність пірометалургійного методу виробництва міді та сировинні матеріали для виробництва міді; спосіб електролітичного одержання алюмінію та його рафінування; спосіб електролітичного одержання алюмінію та його рафінування; електролітичне одержання магнію; виробництво титану та його технологічна схема.

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Назвіть мідні руди, їх характеристику та підготовку до плавки.
2. Наведіть загальну схему технологічного процесу виробництва міді.
3. Які сировинні матеріали для виробництва алюмінію ви знаєте?
4. В чому полягає суть процесу виробництва алюмінію?
5. Наведіть загальну схему технологічного процесу виробництва алюмінію.
6. Схема і принцип дії електролізера для виробництва алюмінію.
7. Що таке рафінування алюмінію?
8. Суть і схема виробництва магнію.
9. Які сировинні матеріали для виробництва магнію ви знаєте?
10. Які сировинні матеріали для виробництва титану ви знаєте?
11. Наведіть технологічну схему виробництва титану.

**ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ**

1. Клименко В.М., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця,2005. – 97 с. <http://www.twirpx.com/file/629549/>
2. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А.Сологуб, І.О.Рожецький, О.І.Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с. <http://www.twirpx.com/file/116772/>
3. Технология конструкционніх материалов: Учебник для студентов машиностроительніх специальномтей вузов /А.М. Дальский, Т.М. Барсуков, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского – 5-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. . <http://www.twirpx.com/file/118961/>
4. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП,2004, - 179 с. <http://www.twirpx.com/file/298141/>

**ГЛОСАРІЙ, ПЕРСОНАЛІЙ**

**Рафінування міді** – це її очистка від домішок.

**Виробництво алюмінію** складається з трьох основних процесів: одержання глинозему Al2O3 з бокситів, одержання кріоліту з плавикового шпату й одержання металевого алюмінію шляхом електролізу розплавленого глинозему.

**Електроліз** – це окисно-відновні реакції, що відбуваються на електродах при пропусканні електричного струму крізь розчин або розплав електроліту.

**Катод** – негативно заряжений електрод, **анод** – позитивно заряжений. *Катіони* (позитивні іони) рухаються до катоду, а *аніони* (негативні іони) рухаються до аноду. На ктоді відбувається процес відновлення. На аноді – окислення.