

(ТВОМ,ТКМ)
Вступ. Металургійне
виробництво

Рекомендована література

1. <http://pmitkm.teset.sumdu.edu.ua/studentu/navchanny.html>
2. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов. -М: Машиностроение, 1977, 664 с.
3. Прейс Г.А. и др. Технология конструкционных материалов. -К: Высшая школа, 1984, 358 с.
4. Технологія конструкційних матеріалів / [Сологуб М.А. Рожнецький І.О., НекозО.І. і др.], под ред. М.А. Сологуб – [2 вид.,перероб і доп.] – К. : Вища школа, 2002. – 374 с.
5. Хілчевський В.В., Кондратюк С.Є. і др. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Посібник. Київ – Либідь, 2002, 328 с.
6. Юскаев В.Б. Технология конструкционные материалов и материаловедение. Ч.1. Технология конструкционных материалов. Программа, методические указания, задания к контрольным работа и примеры их выполнения /Учебное пособие. -Сумы: СумГУ, 2001. -145 с.
7. <http://lec-tkm.ru/>

- Основною метою дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» є підготовка студентів до проектування технологічних конструкцій деталей машин.

Для досягнення поставленої мети на основі вивчення фізико-механічних основ технологічних методів отримання заготовок і їх обробки повинні вміти:

- - обирати раціональні технологічні методи формоутворення заготовок і їх механічної обробки;
- - розробляти креслення технологічних заготовок з урахуванням вибраних процесів їх виготовлення і механічної обробки;
- - вносити зміни в конструкцію деталей, що забезпечують підвищення їх технологічності.

Основні етапи виготовлення машин

1 етап. Отримання матеріалу для

виготовлення заготовок. Матеріал для виготовлення заготовок деталей машин отримують за технологією, що залежить від його природи. Так, чорні метали отримують в металургійний спосіб, відновлюючи їх з залізних руд тощо.



Рис. Лита заготовка поршня

2 етап. *Виготовлення заготовок.*

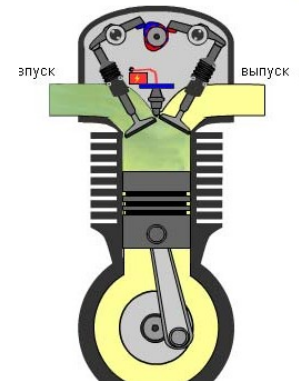
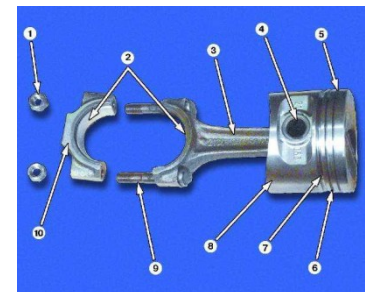
Заготовка — це напівфабрикат що по формі і розмірах близький до деталі. Заготовка більше деталі на величину певного шару металу (припуску), щоб після мех. обробки набути потрібну точність та шорсткість поверхні.



Рис. Механічно оброблена заготовка поршня

3 етап. Обробка заготовок .

Для обробки заготовок найчастіше застосовують механічну обробку різанням, обробку пластичним деформуванням, електрофізичні та електрохімічні способи обробки, за потребою термічній і хіміко-термічній обробці.



4 етап. *Складання вузлів і машин*

заключний етап у виробництві машин, складання деталі з'єднують між собою у вузли, а вузли з'єднуються у машини.

Рис. Складений шатуно-поршневий вузол, двигун



Способи отримання заготовок

• **Литво** – це отримання виробів шляхом заповнення рідким матеріалом порожнини форми, що має конфігурацію потрібної заготівки.

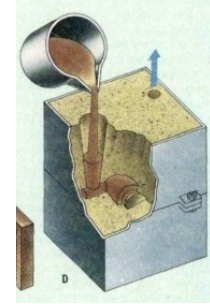


Рис. Лиття в піщано-глинясту форму

• **Обробка тиском** – технологічні процеси, які засновані на пластичному формозміненні металу.

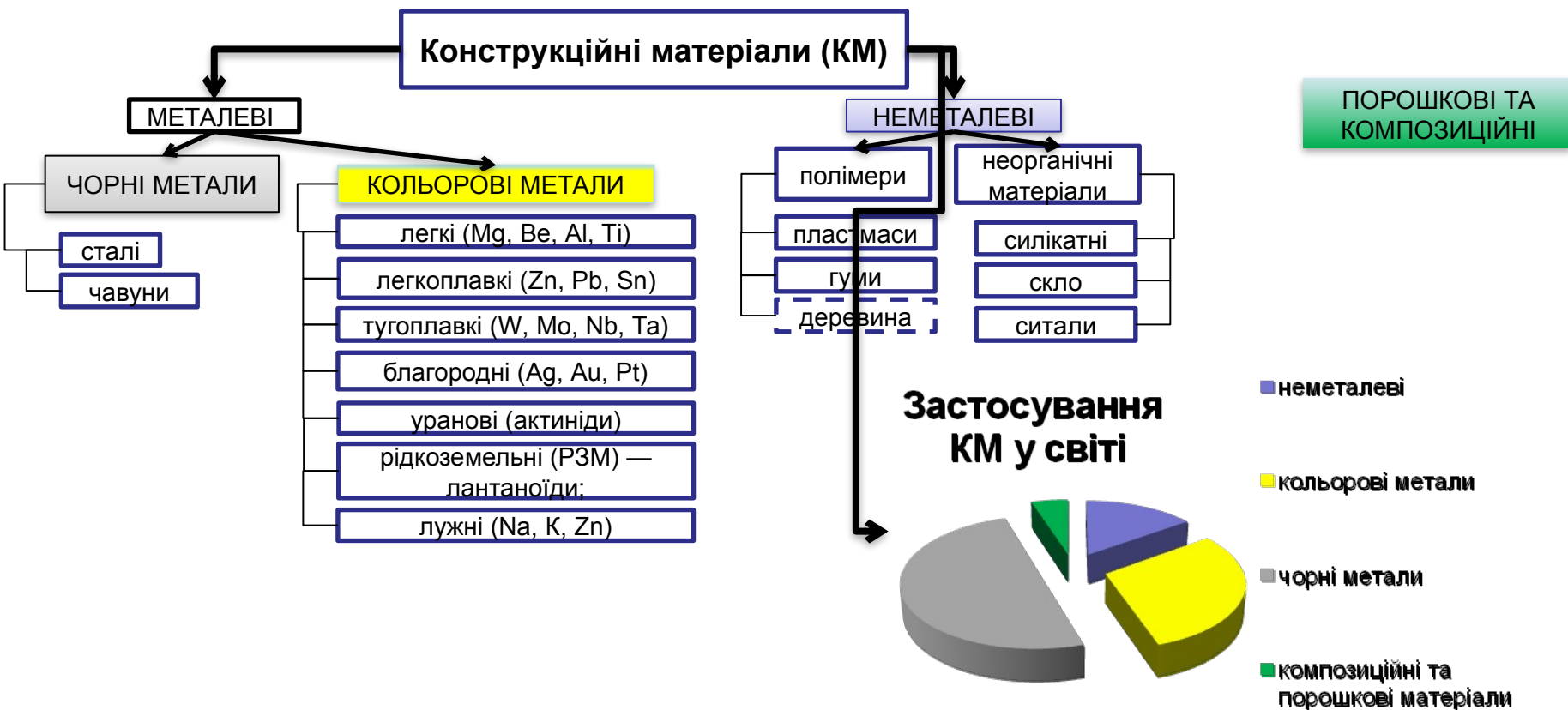


Рис. Штампувальний прес

• **Зварювання** – технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань з металів і сплавів в результаті утворення атомно-молекулярних зв'язків між частинками заготовок, що сполучаються.



Рис. Зварювання



- Конструкційні матеріали (КМ) - це матеріали, з яких виготовляються деталі конструкцій (машин і споруд), що сприймають силове навантаження. Визначальними параметрами конструкційних матеріалів є механічні властивості, що відрізняє їх від інших технічних матеріалів (оптичних, ізоляційних, мастильних, лакофарбових, декоративних, абразивних та ін.).
- Основою конструкційних матеріалів є металеві сплави на основі заліза (чавуни і сталі), міді (бронзи і латуні), алюмінію, титану.

Основні фізичні, механічні, експлуатаційні і технологічні властивості металів.

Механічні властивості

- Твердість;
- Пластичність;
- Ударна в'язкість;
- Межа витривалості тощо.

Фізичні властивості

- Температура плавлення,
- Щільність,
- Коефіцієнти лінійного й об'ємного розширення
- Електропровідність і теплопровідність

Хімічні властивості

- Хімічна активність,
- Здатність до хімічної взаємодії з агресивними середовищами
- Антикорозійні властивості.

Експлуатаційні (службові) властивості

- Холодостійкість,
- Жароміцність,
- Антифрикційність,
- Здатність до припрацювання

Металургія

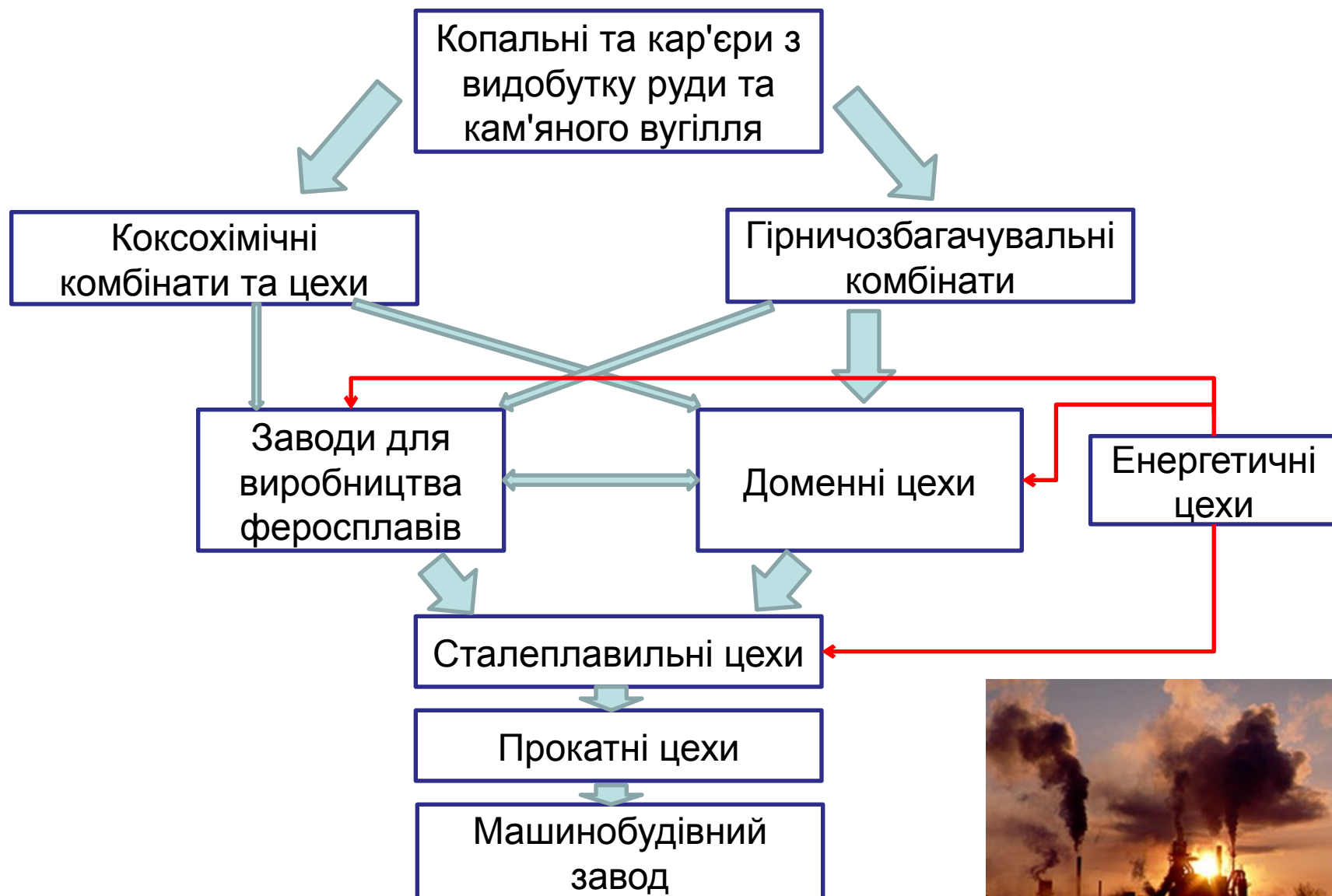
Україна на 4 (8) місці за потужністю підприємств чорної металургії

У більшості сталь отримують за **двоступінчастою схемою**, що складається з доменної виплавки чавуна і різних способів його переробки на сталь.

1) При доменному плавленні з руди одержують чавун — сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором.

2) *Переробку чавуна в сталь проводять у конвертерах, мартенівських і електричних печах. У цих агрегатах відбувається вибіркове окислювання домішок чавуну і перехід їх у шлак і газу.*

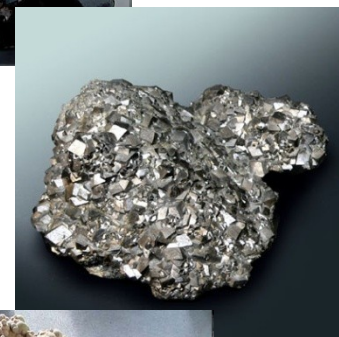
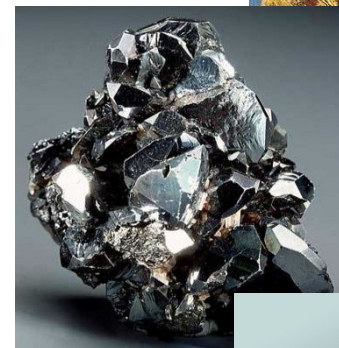
Структура металургійного виробництва



Вхідні матеріали для виробництва чавуну: сировина, паливо, флюси, вогнетривкі матеріали

Вхідні матеріали. Сировина

- **Залізні руди** — містять залізо у вигляді оксидів або солей. Зазвичай комплексні (є крім заліза ще хімічні сполуки, елементи).
 - *Бурий залізняк* (лимоніт) ,
 - *Червоний залізняк* (гематит),
 - *Магнітний залізняк* (магнетит),
 - *Шпатовий залізняк* (сидерит)
- Порожня порода залізних руд містить кварц, кальцит, CaCO_3 , глину, польові шпати, сульфіді тощо.
- Підготовка сировини полягає в її збагаченні (щоб було не менше 55% заліза) магнітним, гравітаційним способами і флотацією.
- Руди перед використанням подрібнюють (30...80мм), рудний пил спікають разом з коксом (агломерація).



Вхідні матеріали виробництва чавуну.

Флюси

— речовини, які сплавляють пусту породу, золу палива, виводять шкідливі домішки. Застосовують з цією метою вапняк або доломіт.



Рис. Вапняк



Рис. Доломіт

Паливо

• Основне паливо для доменних печей — кам'яновугільний кокс, який іще служить відновником. Вартість коксу складає 40...50% собівартості чавуну. Кокс отримують в коксових печах спіканням в пористий продукт вугілля окремих сортів без доступу кисню при 1000 °С протягом 15 годин. Містить кокс до 90 %С.

• Лише 15% коксу можна замінити іншими видами палива.



Рис. Працює коксова піч, кокс

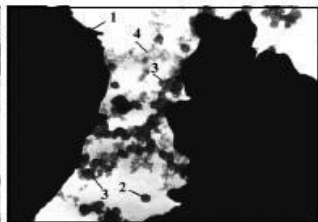
Вхідні матеріали виробництва чавуну.



Рис. На аглофабриці спікають пилоподібну руду і отримують шматки агломерату для домни



Фрагмент вуглемасляного агломерату, $\times 125$: білі зерна — вугільні частинки; темна речовина — масляновугільна суміш.



Фрагмент вуглелатексного агломерату, $\times 20000$: 1 — вугільні частинки; 2 — латексна глобула; 3 — ланцюжок глобул; 4 — емульгатор.

• **Вогнетривкі матеріали** за хімічним складом є

- Кислі — на основі кремнезему SiO_2 , (динасові, кварцеглинясті)
- Оснóвні — з вмістом основних окислів CaO , MgO (магнезитові, доломітові)
- Нейтральні — на основі Al_2O_3 , Cr_2O_3 (хромомagneзитові, шамотні)

• **Шихта** - суміш вихідних матеріалів у певному співвідношенні. Завантажують шихту в доменну піч окремими порціями — **колошами**.

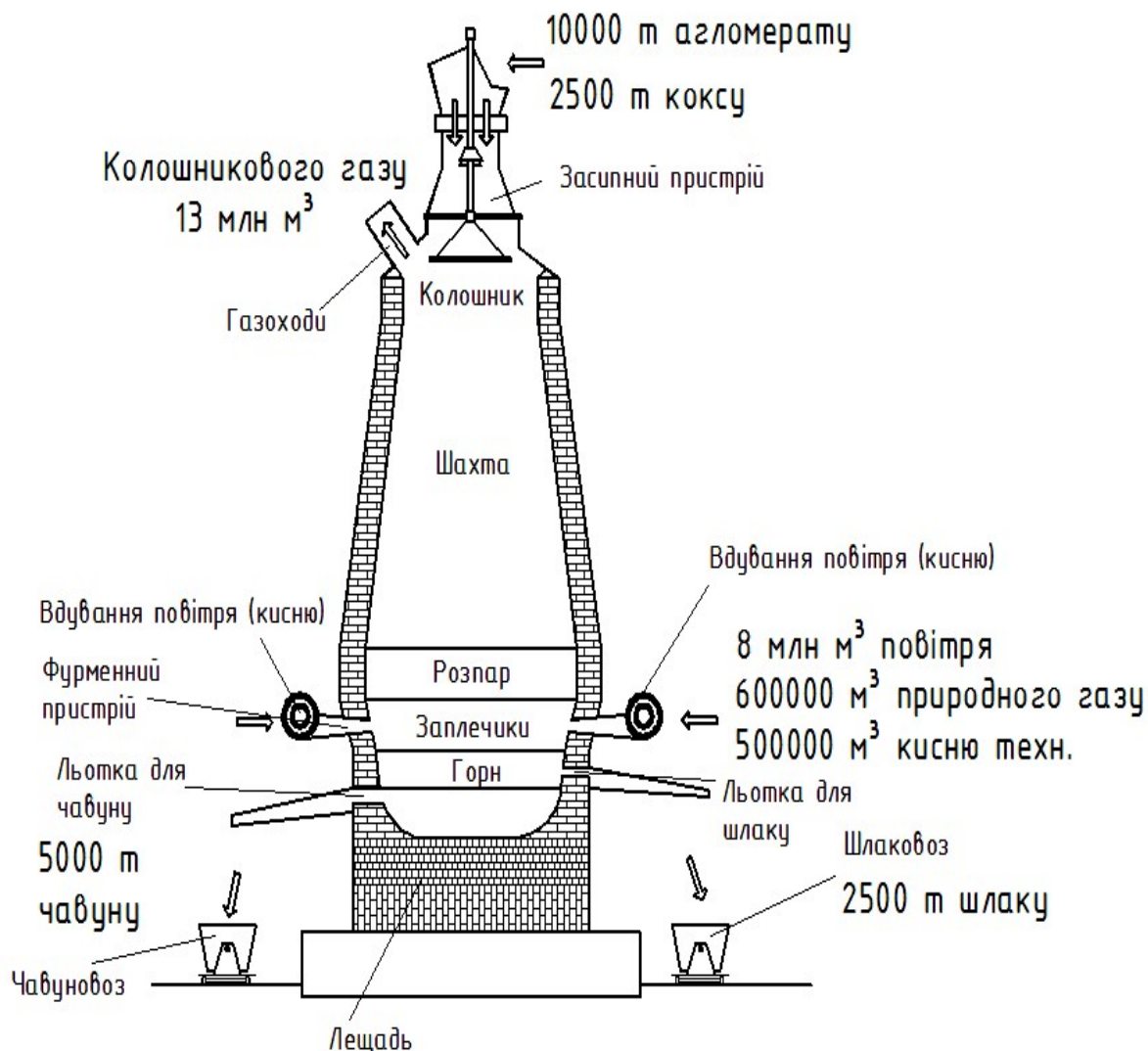
• **Агломерат** - дрібна або пилоподібна руда, концентрат, інші матеріали, що спеклися в грудки (шматочки).

• **Окатиші** - продукт переробки дуже дрібних шматків корисних копалин у грудки (котуни)

Виробництво чавуну

Будова доменної печі

Доменна піч конструктивно виконана у вигляді шахтної



Час безперервної роботи доменної печі називається

компанією і становить 6...8 років.

Доменна піч працює за принципом зустрічних потоків:

згори рухається потік сировинних матеріалів, а знизу догори — гази, утворені від згоряння палива.

Основні фізико-хімічні процеси в домні.

Горіння палива.

в зоні фурм до 1800°C

Відновлення заліза

Оксидом вуглецю з оксидів заліза у верхній частині шахти при $400\ldots 500^{\circ}\text{C}$ - „губчасте залізо”,

Відновлення домішок

Відновлення кремнію (при 1450°C)
Відновлення марганцю ($500\ldots 1450^{\circ}\text{C}$)
Відновлення сірки
Відновлення фосфору

*Навуглецювання заліза
і утворення чавуну.*

$400\ldots 1200^{\circ}\text{C}$ - насичення губчастого заліза вуглецем – знижується його температура плавлення і переходить в рідкий стан, розчиняє відновлені домішки і стікає до горна доменної печі

Утворення шлаку.

З вапняку при температурі близько 900°C утворюються оксид кальцію і діоксиду вуглецю. Шлак стікає в горн. Хімічний склад шлаку визначає якість 14 виплавленого чавуну.

Продукція доменного виробництва

1. Чавун

основна продукція. Його випускають із печі через кожні 3...4 години в спеціальні ковші.

Переробний білий чавун

для переробки на сталь, отримують при швидкому охолодженні. вуглець перебуває у Fe_3C (цементит білого кольору), твердий, низької пластичності. шляхом відпалювання одержують ковкий чавун.

Ливарний (сірий) чавун

одержуємо за повільного охолодження. Майже весь вуглець перебуває у вигляді графіту. Із сірого чавуну одержують модифікований (високоміцний).

Спеціальні чавуни

це леговані чавуни

2. феросплави

Феросплави мають підвищений вміст (більше як 10%) одного або кількох елементів (Si, Mn, інших). використовують для розкислення сталі, її легування.

3. шлак

Шлак випускають із печі через кожні 1,5...2 години в спеціальні ковші-шлаковози. На 1 т чавуну утворюється 0,6т шлаку.

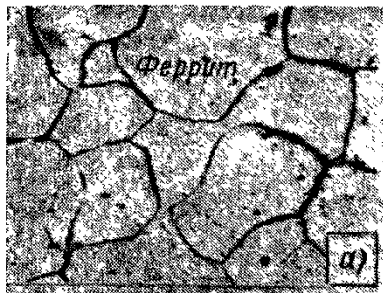
4. доменний газ

—Доменний газ. Доменного газу утворюється близько 3000м³ на 1т чавуну.¹⁵ Після очищення використовується як паливо нагріву повітря в повітронагрівниках.

Отримання сталі

Сталь — сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором, у якому вуглецю менше 2,14%.

Є вуглецеві і легovanі сталі.



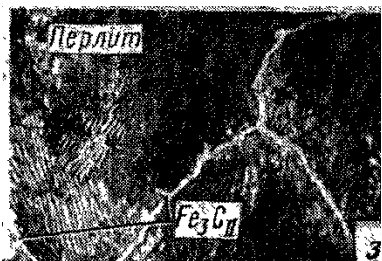
0,06%С



0,3%С



0,8%С



1,3%С

Основна відмінність від чавуну – немає вуглецю у вільному стані – С може бути розчиненим у залізі, або утворювати хімічну сполуку с залізом Fe_3C (цементит)

Сутність отримання сталі з чавуну

• Для одержання сталі з чавуна видаляють надлишок вуглецю, кремнію, марганцю, сірки і фосфору шляхом окислення.

• Окислювачем є елементарний кисень, і кисень, розчинений у металі, - в сполуці з залізом.

Вхідні матеріали для виробництва сталі

- переробний (рідкий або твердий) чавун (білий),
- скрап (стальний та чавунний брукхт, лам, стружка),
- металізовані окатиші, руда, розкислювачі, легуючі елементи,
- флюси, паливо.

Отримання сталі

Сталь отримують трьома способами: киснево-конвертерним, мартенівським, електрометалургійним.

кисневий конвертер

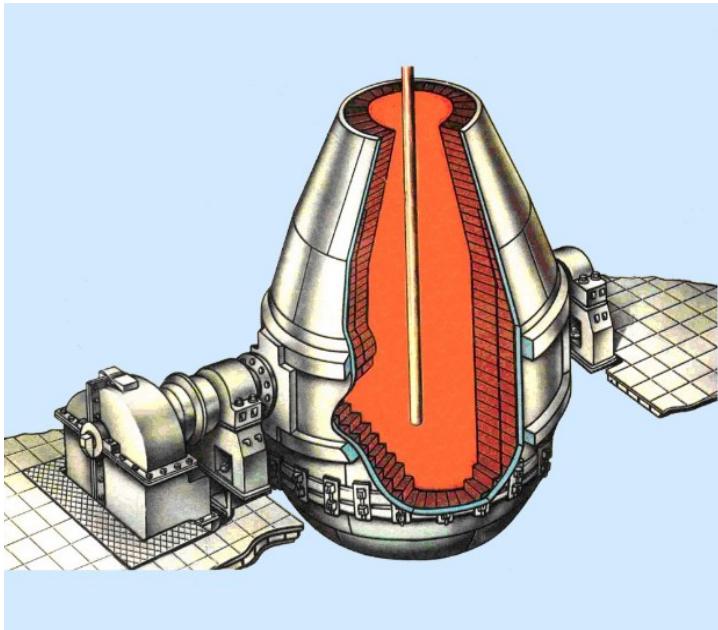
В ньому виплавляють з рідкого чавуну **вуглецеві і низьколеговані сталі**.

Сировина для виплавляння сталі є:

1. *рідкий* чавун
2. скрап (частково залізна руда), вапно, розкислювачі, легуючі елементи.

Скрапу використовують 25...30%.

Джерелом тепла є енергія хімічних реакцій окислення домішок – для цього продувають рідкий чавун киснем через фурму.



Об'єм конвертерів становить 100...400т.

Разом з іншими операціями плавлення триває 45...50 хв.

Етапи роботи конвертера



Заливка чугуна



Продувка



Рис. Зливання
шлаку



Випуск стали

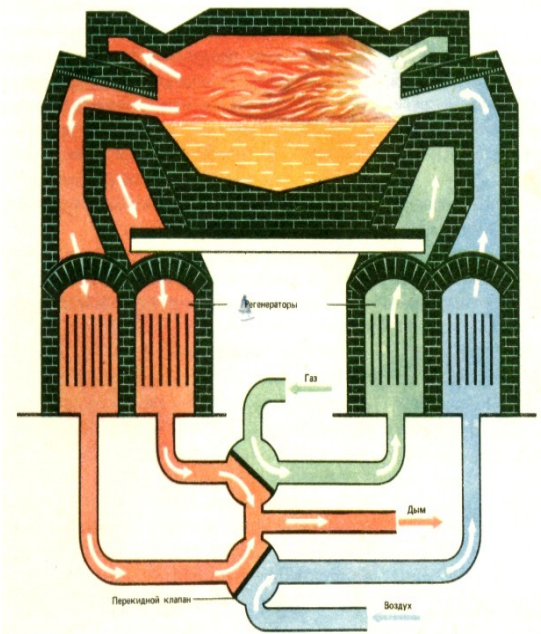


Слив шлака

Отримання сталі

Мартенівська піч

виплавляють вуглецеві та леговані сталі якісні і високоякісні.



В мартенівській печі сталь виплавляють з:

- твердого або рідкого чавуну
- сталевого і чавунного скрапу, залізної руди
- окалини, феросплавів і флюсів.

Використовується паливо тверде, рідке, газоподібне, змішане.

Мартенівські печі є основні і кислі.

Якщо для одержання сталі використовують тільки тверду шихту (твердий чавун, скрап), то такий процес називають *скрап-процесом*. Такий процес, наприклад, має місце при одержанні сталі в мартенівських і електричних печах.

Якщо для одержання сталі використовують рідкий чавун (до 75%), то такий процес називають *скрап-рудним процесом*.

Мартенівська піч

При мартенівському способі найчастіше застосовують скрап-рудний процес (50...75% рідкого чавуну, решта - скрап і залізна руда.



Рис. Працює мартенівська піч



Рис. Метал на хім аналіз

Технологічний процес виплавляння сталі в мартенівській печі при скрап-рудному процесі включає такі операції:

- заправлення подини і відкосів;
- завантаження і прогрівання твердих матеріалів;
- заливання шихти;
- кипіння розплавленої ванни;
- розкислення;
- легування;
- випускання сталі і шлаку.

Тривалість плавлення 8...12 годин.

Отримання сталі

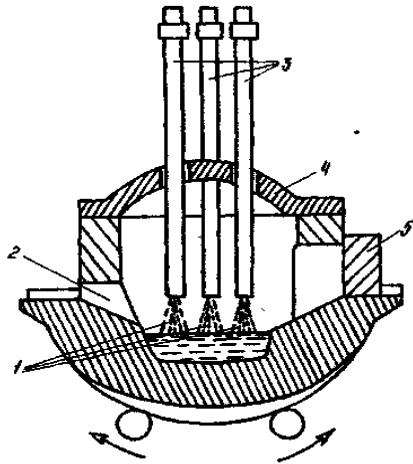
Електричні печі

Металургійні електричні печі можуть бути електродуговими та індукційними.

Плавлення в дугових печах

Застосовують однофазні, трифазні печі прямого нагрівання місткістю 2,5...200 т.

Склад шихти: сталевий брухт (біля 90%), чавун (5...10%) - для забезпечення кипіння сталі після розплавлення шихти, залізна руда й окалина для окислення домішок, флюси.



Етапи роботи дугової печі:

1. заправка печі;
2. завантаження шихти;
3. плавлення;
4. окислювальний період;
5. відновлювальний період;
6. випуск сталі.

•Триває плавлення 2...4 год.



Електричні печі

Плавлення в індукційних печах

Виплавляють високоякісні високолеговані жаростійкі, жароміцні сталі, конструкційні, вуглецеві сталі з мінімальним вмістом вуглецю, сплави з особливими властивостями.

Місткість печей від 5 кг до 25 т.

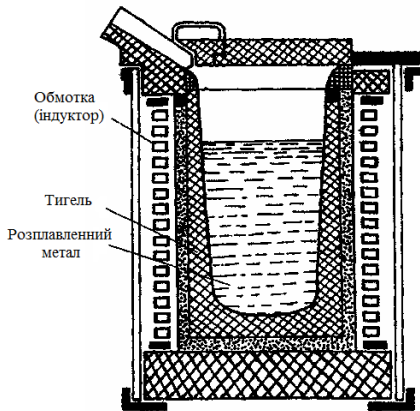
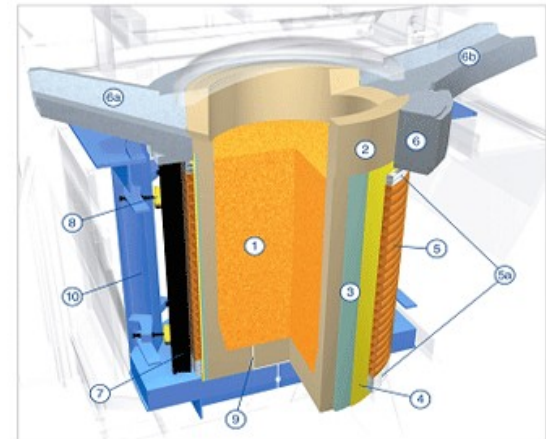


Рис. Схема
індукційної печі

Вхідні матеріали тільки чисті, ретельно добрані. Шихта розплавляється від вихрових струмів, що виникають в індукторі при пропусканні через нього струму високої частоти. Наприкінці плавлення до сталі додають розкислювачі і легувальні елементи.

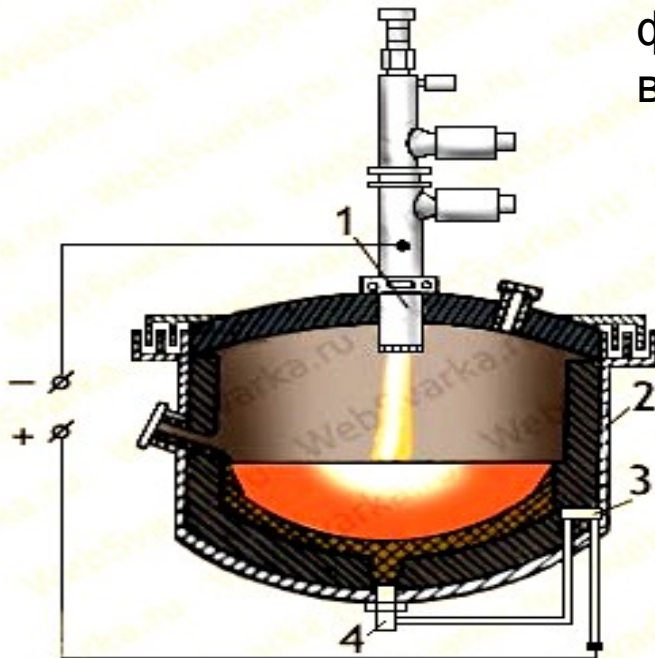
Плавлення в індукційних печах зазвичай йде у вакуумі.



Електричні печі

Плазмова піч для плавлення металу (сталі)

За формою ванни і матеріалам, вживаним для футеровки, плазмово-дугова піч не відрізняється від звичної дугової електропечі.



1 - плазмотрон; 2 - камера печі; 3 - соленоїд для перемішування рідкого металу; 4 - подовий електрод - анод;

Заздалегідь відкачана камера печі заповнюється газом, що витікає з плазмотрона (частіше аргоном).

Переваги:

- виключається забруднення металу небажаними домішками, наприклад вуглицем з електродів;
- будь-яка суміш газів, що дозволяє підтримувати в печі будь-яку атмосферу - окислювальну, відновну або нейтральну;
- можна досягти високих і легко регульованих температур.

Підвищення техніко-економічних показників роботи металургійного обладнання

- З метою підвищення продуктивності отримання сталі все частіше застосовують «дуплекс-процес»
- Дуплекс-процес – отримання сталі з чавуну спочатку у одні з печей і доведення сталі до потрібного хімічного складу в одній з електричних печей.
- Наприклад: конвертерна піч – електродугова піч. При такому способі сталь остаточно розкислюється, рафінується та легується саме в електродуговій печі

Технологія прямого відновлення заліза з руд

Безкоксова металургія базується на прямому відновленні заліза (нізко- і високотемпературному) з оксидів поза доменною піччю (немає забруднення навколишнього середовища, коксу, витрат на обслуговування доменної печі).

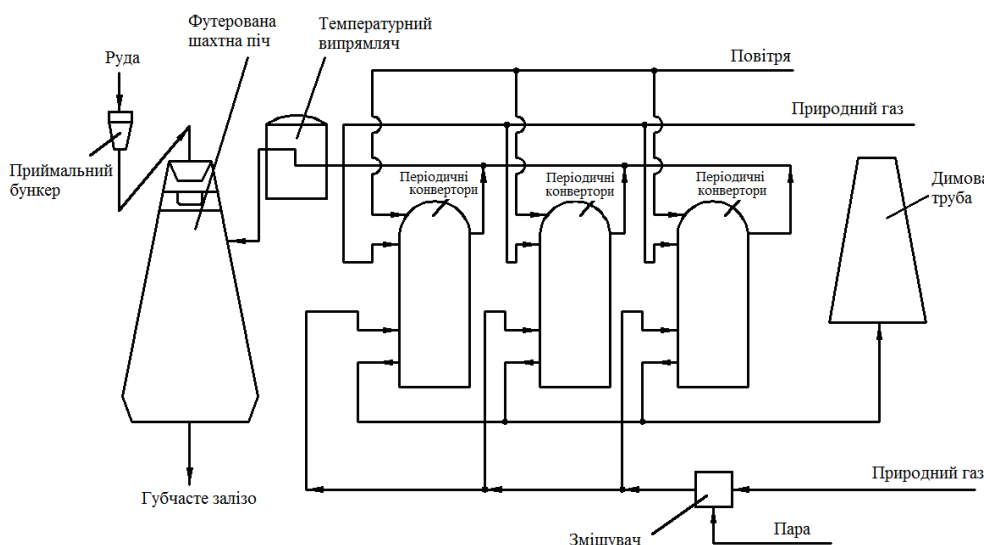


Рис. Схема низькотемпературного процесу прямого відновлення заліза з руд

- Відновлюваний газ отримують шляхом обробки природного газу паром.

- Продукцією прямого відновлення є металізовані матеріали, продукти прямого відновлення, губчасте залізо і т.д.

- За призначенням їх ділять на шихту для доменного (70... 85 % Fe) або сталеплавильного (90...98 % Fe) виробництва і початковий продукт для виробництва залізного порошку (99 % Fe).

Способи підвищення якості сталі.

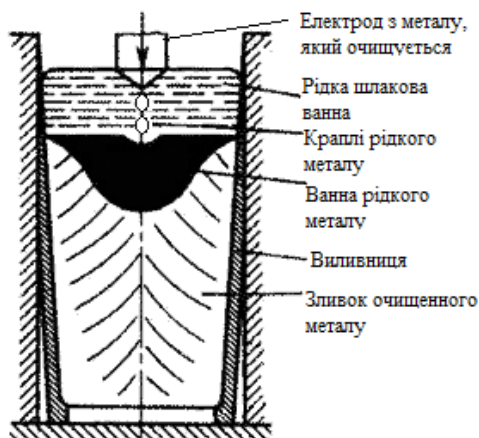
Підвищують якість сталі шляхом зменшення в металі неметалічних вкраплень (сполуки з домішками), газів (кисень, водень) шкідливих домішок (сірка, фосфор)



Способи підвищення якості сталі:

- Електрошлаковим переплавленням
- Вакуумно-дуговим переплавленням
- Плазмовим переплавленням
- Електронно-променевим переплавленням
- Вакуумуванням
- Рафінуванням синтетичним шлаком

Електрошлакове переплавлення.



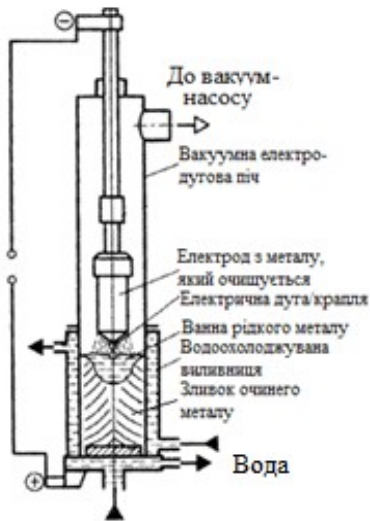
Струм проходить через розплавлений шлак що має підвищений електричний опір. Температура досягає 2000°C .

Електрод 1 зі сталі що переплавляється, плавиться і краплями просочуючись крізь шлак очищується від домішок.

У кристалізаторі сталь утворює зливоч перетину що визначається формою кристалізатору.

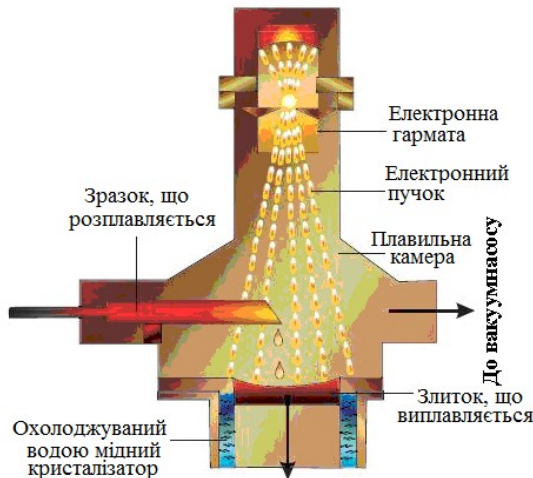
Способи підвищення якості сталі.

Вакуумно-дугове переплавлення.



- Створення вакууму у печах електродугового нагрівання.
- Зниження розчинності газів в сталі при зниженні тиску й унеможливленні хімічної взаємодії металу з футеровкою печі бо процес ВДП проходить у водоохолоджуваних мідних виливницях.
- Завдячуючи спрямованому відводу тепла виливки ВДП мають підвищені механічні властивості, рівномірний хімічний склад.

Електронно-променеве переплавлення



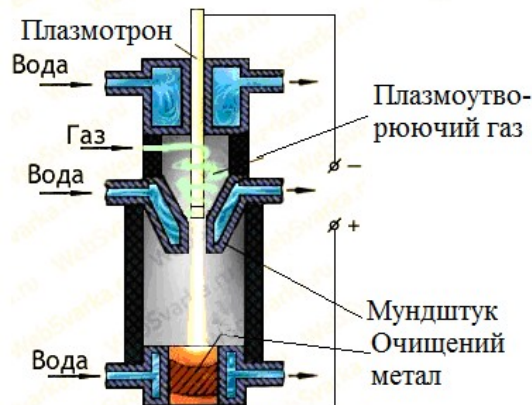
• Для отримання особливо чистих металів і сплавів танталу, ніобію, молибдену, цирконію, титану, а також для виплавлення складнолегованої сталі.

• Створюється вакуум (порядку 10^{-10} МПа), плавлення йде за рахунок тепла, що виділяється при зіткненні променя електронів з поверхнею металу. Метал плавиться, стікає до кристалізатору, де утворюється зливоч.

• Отримують і рафінують тугоплавкі метали і сплави на їх основі. Сумарний вміст домішок в очищених матеріалах складає $10^{-3} \dots 10^{-4} \%$ мас.

Способи підвищення якості сталі.

Плазмове переплавлення металу (сталі)



- Стрижень з матеріалу, що переробляється, оплавляється факелом плазми. Анодом - поверхня ванни рідкого металу в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі.

- У контакті з контрольованою газовою атмосферою камери метал рафінується, кристалізується у кристалізаторі, витягується з нього.

- Немає перемішування металу.

- Гнучке точне регулювання температури металу за рахунок зміни геометричних і електричних параметрів плазмової дуги що дозволяє окремо змінювати швидкість плавлення і витягання зливка.

- Отримання високої якості зливка, з постійною щільністю, однорідністю, направленою кристалізацією його уздовж вертикальної вісі.

- Є замкнута система рециркуляції і регенерації робочого газу

- Параметри енерговитрати аналогічні електропечам.

Способи підвищення якості сталі.

Вакуумування (вакуумне дегазування сталі).

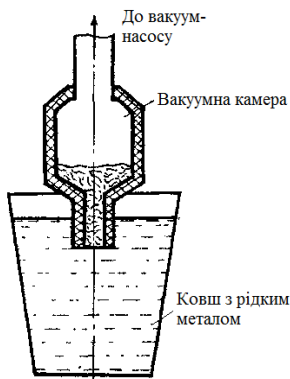


Рис. Схема порційного вакуумування (періодично).

- При створенні вакууму зменшується розчинність газів, деяких елементів, які виводяться на поверхню і відсмоктуються.
- Вакуумування проводять у ковші, у вакуумних камерах, при розливанні.
- Є об'ємне, порційне, циркулярне вакуумування.

Рафінування синтетичним шлаком.

• До ковша перед випусканням у нього сталі заливають розплавлений шлак (найчастіше вапняно-глиноземний) і виливають сталь потужним струменем. Між металом і шлаком, завдячуючи миттєвому збільшенню поверхні доторкання відбувається активна взаємодія.

- Можливе шляхом вдування через трубку у вигляді порошку.
- Рідкий метал в потоці інертного газу (аргону) через фурму вводять подрібнені десульфатори і розкислювачі.

• В результаті такої обробки можна одержати метал із змістом сірки і кисню менше 0,005 % мас.



Способи розливання сталі

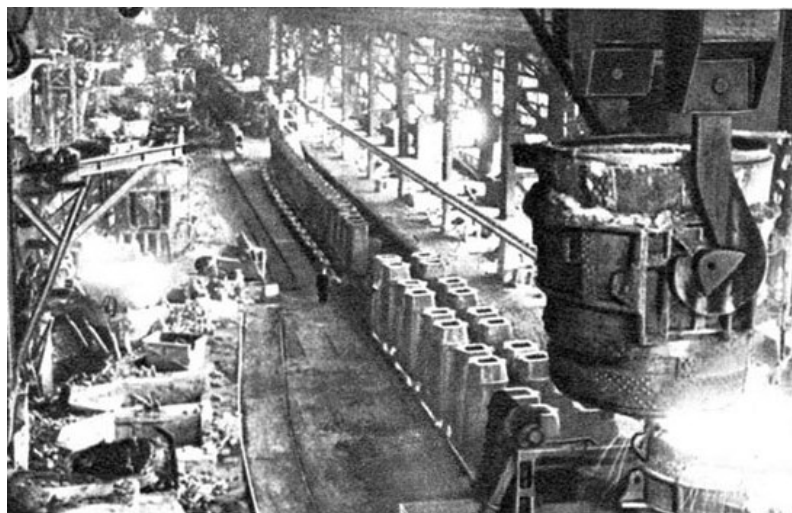
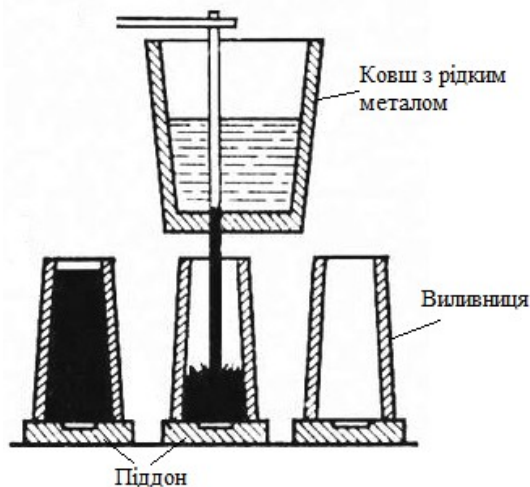
У виливниці зверху, у виливниці знизу - сифоном, безперервне

У виливниці зверху

Найпростіший спосіб—немає витрат на ливники, температура сталі, що заливається, може бути нижчою ніж при сифоновій заливці.

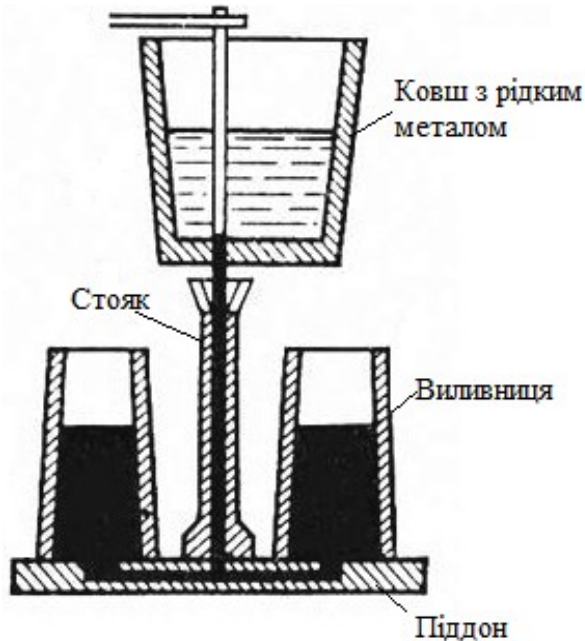
Недоліки:

- Великий парк виливниць
- Бризки металу застигають на стінках виливниці і погіршують поверхню зливка – отже велика витрата металу



Способи розливання сталі

Сифонове розливання



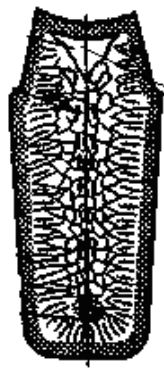
Заповнюють одночасно декілька виливниць (від 2 до 60), використовуючи принцип посудин, що сполучаються. Використовується для дорогих легованих і високоякісних сталей

Забезпечує повільне, без розбризкування заповнення виливниць, можна розливати велику масу металу одночасно на декілька дрібних злитків.

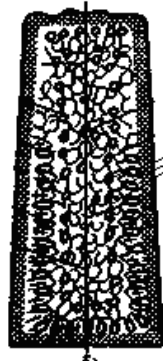
Недоліки – трудомісткість, витрата металу на ливники, перегрів металу.



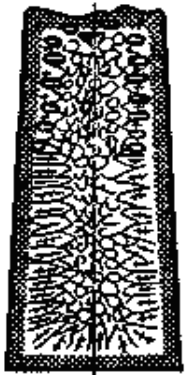
Зливки сталі різного ступеня розкислення



Зконцентрована
усадкова
раковина



Розконцент-
рована
усадкова
раковина



- Спокійна сталь
- Кипляча сталь
- Напівспокійна сталь

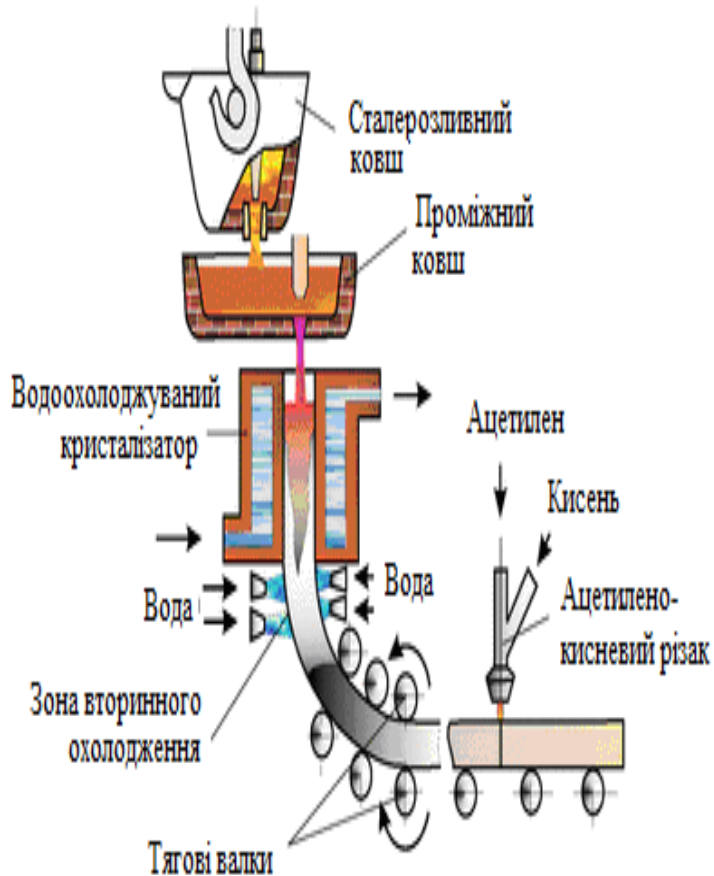
Способи розливання сталі

Безперервне розливання сталі

Сталь безперервно подають у водоохолоджувальну виливницю без дна — кристалізатор, з нижньої частини якого витягується тверднучий виливок.

Переваги:

- Відсутні усадкові раковини
- Щільна будова
- Дрібнозерниста структура
- Якісна поверхня



- ККД 96...98% від маси сталі.
- Не потрібні блюмінги і слябінги
- Зменшується хімічна неоднорідність
- Покращуються умови праці



Отримання кольорових металів

Отримання алюмінію

- Промисловим способом отримання металевого алюмінію є електролітичне розкладання оксиду Al_2O_3 , розчиненого в розплавленому кріоліті Na_3AlF_6 .
- Виробництво алюмінію складається з двох стадій: отримання глинозему з боксидів (алюмінієвих руд) і електроліз глинозему з отриманням металу.
- Електроліз проводиться в спеціальних пристроях— електролізерах (ваннах). Металевий алюміній збирається на дні ванни під шаром електроліту.
- Щоб одержати алюміній підвищеної чистоти, необхідно провести рафінування: електролітичне або хлором.

Отримання магнію

- Головним способом отримання магнію є електроліз його розплавлених солей при $700...720^\circ\text{C}$.
- Сировиною для виробництва магнію служать магнієві руди: хлориди і карбонати
- Металевий магній може бути одержаний також термічними способами шляхом відновлення оксиду магнію вуглецем, кремнієм або ферросиліцієм при високих температурах і відносно глибокому вакуумі.

Отримання кольорових металів

Отримання міді

•Сировиною для виробництва міді служать сульфідні, оксидні або змішані мідні руди, а також відходи міді і її сплавів. Мідні руди піддають збагаченню. Далі проводиться окислювальне випалення для видалення сірки

•Наступним етапом виробництва міді є плавка концентрату на штейн (вміст міді в штейне 20...45 %, шлаку 0,4... ...0,6%).

•Потім відбувається плавлення в шахтних печах з отриманням спочатку чорновий і після рафінування – чистової міді

Отримання титану

•Найпоширенішими титановими рудами є ільменіт FeO-TiO_2 , рутил TiO_2 , і ін.

•Титанові руди збагачують різними способами.

•Далі йде відділення оксидів заліза FeO і Fe_2O_3 При цьому йде перехід титану в шлак 96...97 %;

•Потім проводять хлорування титанового шлаку і отримання чотирьоххлористого титана.

•З чотирьоххлористого титана відновлюють титан магнієтермічним способом (до 75 % від загальної маси) і одержують титанову губку (титан+магній).

•Зливки з титанової губки одержують способом вакуумно-дугового пороплавлення

Порошкова металургія

• **Порошкова металургія** - це галузь, що охоплює виробництво порошків металів (Fe, Cu, Ni, Al тощо), їхніх сплавів і сполук, а також неметалевих матеріалів (графіту, сажі) і одержання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. При цьому основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

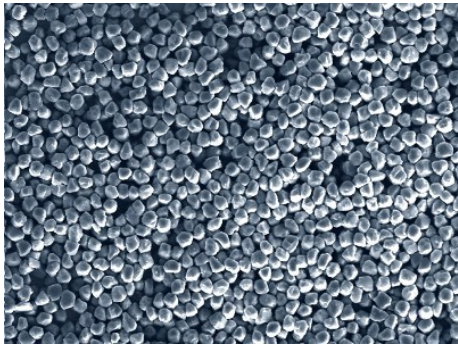
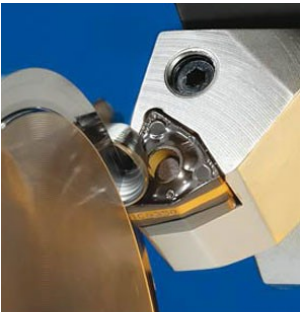


Рис. Мікроструктура спеченого твердого сплаву, $\times 100$

• **Можливо отримати** матеріали з металів із значною різницею температури плавлення (W + Cu), з металів і неметалів (бронза + графіт), з хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів) - тверді сплави, з матеріалів з пористістю тощо.

• **Мінімальна витрата матеріалів** - метод є високоефективним при виготовленні деталей загального машинобудування. Такі вироби виготовляють з порошків сталі, бронз, латуней та інших матеріалів.

• За умов дотримання технології, такі деталі можна додатково обробляти різанням, піддавати термічній обробці



Рис. Втулка, отримана спіканням мідного сплаву

Загальна технологічна схема отримання виробів з порошків

