

Технологія матеріалів: Лекція 2

Загальні відомості про виробництво, властивості та застосування конструкційних матеріалів в суднобудуванні. Маркування матеріалів

Мета: Ознайомити курсантів:

- з основними металургійними процесами;
- з вихідними матеріалами для виробництва чавуну;
- з їх підготовкою до плавки доменного виробництва;
- з сірими, ковкими та високоміцними чавунами, їх хімічним складом, будовою, маркуванням, властивостями, застосуванням.
- Сформуванати у курсантів *компетентне* володіння основними видами класифікації, будовою (структурою), призначенням і маркуванням вуглецевих та легованих сталей.
- Ознайомити з будовою кольорових металів та сплавів, їх маркуванням, властивостями та застосуванням

Література:

[1 – с. 22 – 65, 195 – 214, 291 – 336; 2 – с. 16 – 39, 137 – 156, 198 – 249; 3 – с. 13 – 18, 22 – 40; 4 – с. 20 – 54; 5 – с. 341 – 448; 6 – с. 14 – 32, 108 – 132; 7 – с. 25 – 67; 8 – с. 28 – 50]

План лекції 2

- 2.1 Поняття про металургію. Характеристика металургійних процесів. Поняття про металургію чавуна.
- 2.2 Будова і робота доменної печі та допоміжного устаткування.
- 2.3 Фізико – хімічні процеси, що відбуваються в доменній печі.
- 2.4 Сірі чавуни, їх хімічний склад, будова, властивості, застосування. Ковкий та високоміцний чавуни. Способи їх виготовлення, хімічний склад, будова, властивості, позначення, застосування.
- 2.5 Поняття про вуглецеві сталі. Виробництво сталі. Класифікація, маркування і застосування сталі.
- 2.6 Поняття про леговану сталь: Класифікація, характеристика та маркування легованих сталей.
- 2.7 Переваги і недоліки легованих сталей та їх використання.
- 2.8 Класифікація кольорових металів.
- 2.9 Мідь: властивості і застосування. Сплави на основі міді: маркування та властивості латуней і бронз. Застосування сплавів на основі міді, зокрема, в суднобудуванні.
- 2.10 Алюміній: властивості і застосування. Сплави на основі алюмінію: маркування та властивості дюралюмінію та силуміну, їх застосування, зокрема, в суднобудуванні.
- 2.11 Титан і характеристика сплавів на основі титану.
- 2.12 Характеристика сплавів на основі магнію.

2.1 Поняття про металургію.

Характеристика металургійних процесів

Галузь промисловості, що займається **виробництвом металів і сплавів з руди** та іншої сировини, наука про **способи їх одержання та очистки** називається **металургією**.

Металургія є базовою галуззю української промисловості, яка забезпечує потреби країни в чорних і кольорових металах. За випуском продукції їй належить провідне місце: на металургію припадає **23,2%** загального обсягу промислового виробництва

Україна є одним із лідерів країн-виробників металів у світі і займала до 2008 року 7-е місце за обсягом виробництва сталі і 3-е місце – за обсягом експорту металопродукції. Країна входить до **десятки** найбільших виробників і експортерів металу у світі.

2.1 Поняття про металургію.

Характеристика металургійних процесів

Виробництво металів і сплавів з руди передбачає два етапи:

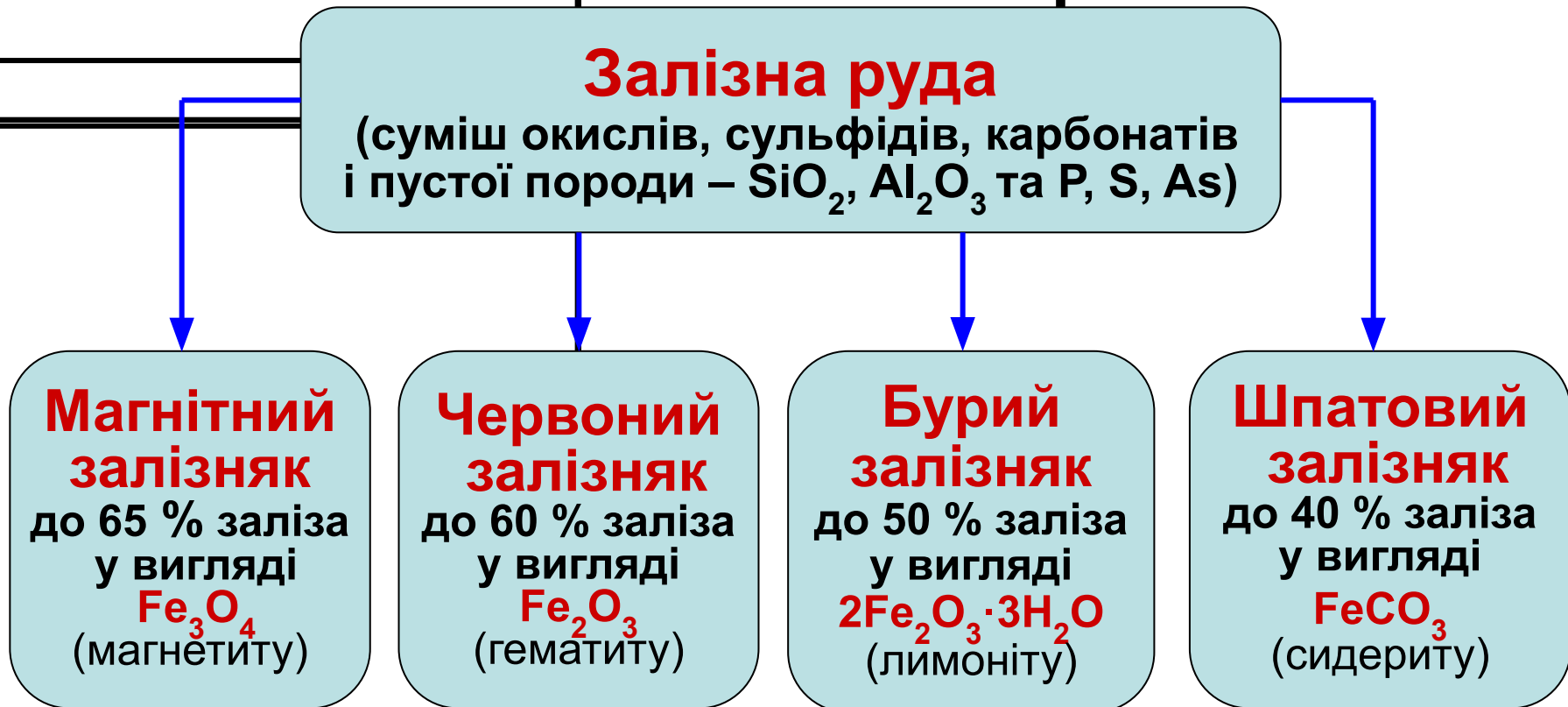
- відокремлення мінералів від пустої породи та
- розкладання рудних мінералів з метою вилучення металів.

Розкладання рудних мінералів здійснюють **хімічним впливом** на них наступними способами: *пірометалургійним, гідрометалургійним, електрометалургійним, хіміко-металургійним та порошковою металургією.*

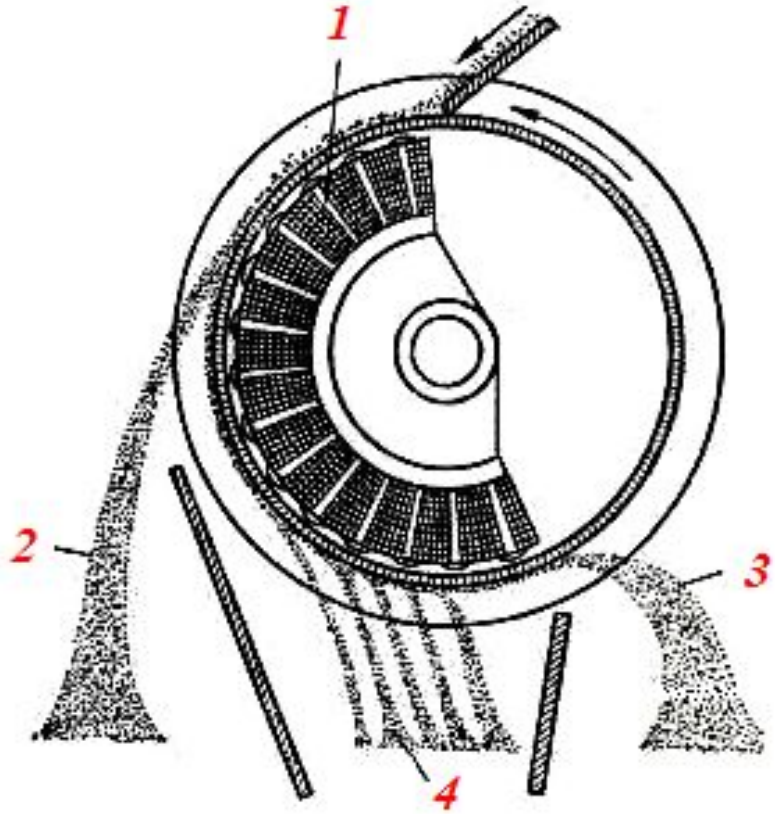
2.1 Поняття про металургію чавуну.

Характеристика залізних руд

Чавун виплавляють в доменних печах. **Сировиною** для виплавки чавуну являється **залізна руда**.



2.1 Збагачення залізної руди



**Схема сухого
барабанного магнітного
сепаратора**

Відокремлення мінералів від пустої породи (збагачення руди) здійснюють шляхом **магнітної сепарації**.

Інколи використовують і **гравітаційне збагачення** (за рахунок різниці в густині і швидкості падіння зерен мінералів у рідині і в повітрі

- 1** – нерухомий електромагніт,
- 2** – шматки немагнітного матеріалу,
- 3** – суміш повторного очищення,
- 4** – магнітні мінерали

2.1 Характеристика палива та флюсів

Паливо
(пальне і відновник заліза з руди)

Флюси
(для утворення легкоплавких шлаків)

КОКС
(85...90 % C)

основний флюс:
(оксиди кальцію і магнію, CaCO_3 – кальцит, $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ – доломіт)

мазут
(до 88 % C, до 10...12 % H_2)

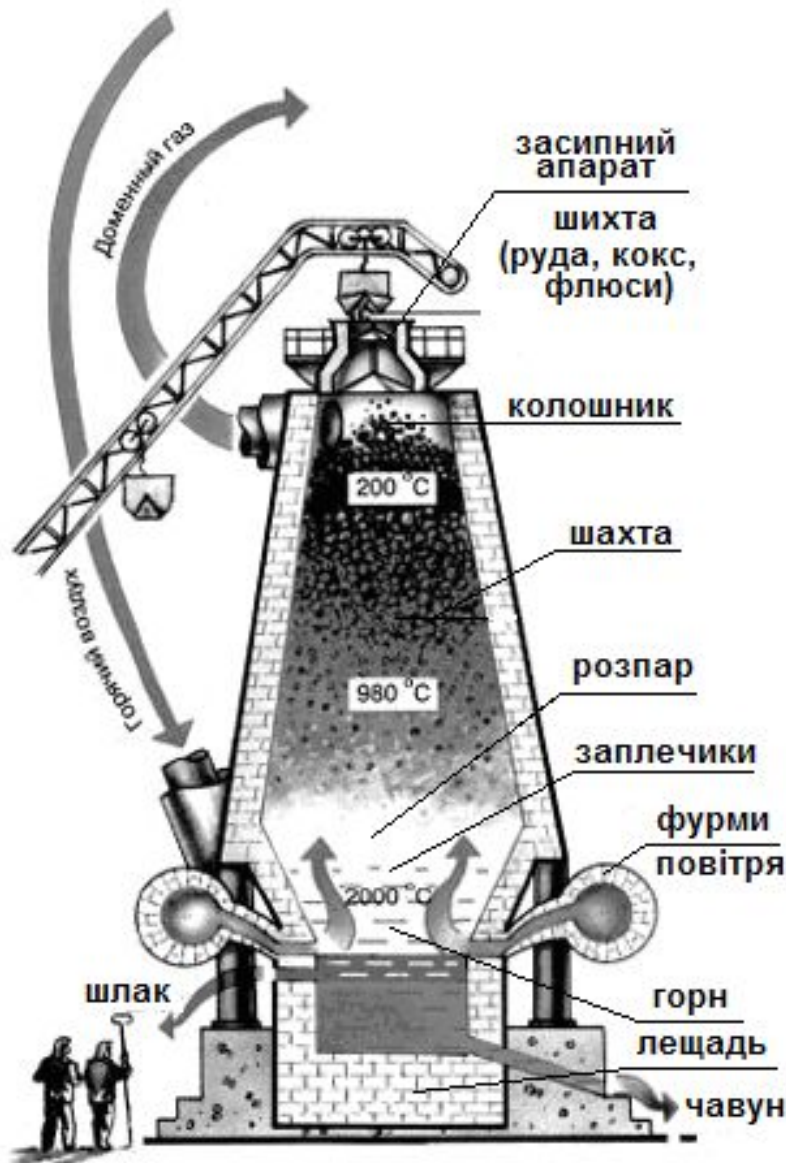
кислі флюси:
(кремнеземістий, шлам, зварювальний шлак, колошниковий пил, окалина)

природний газ
(метан CH_4)

нейтральні флюси:
(глиноземисті – глини, боксити, плавиковий шпат)

доменний газ
(до 32 % CO , до 4 % H_2)

2.2 Будова і робота доменної печі



Домна – вертикальна піч шахтного типу висотою до 35 м і працює безперервно протягом 5...10 років.

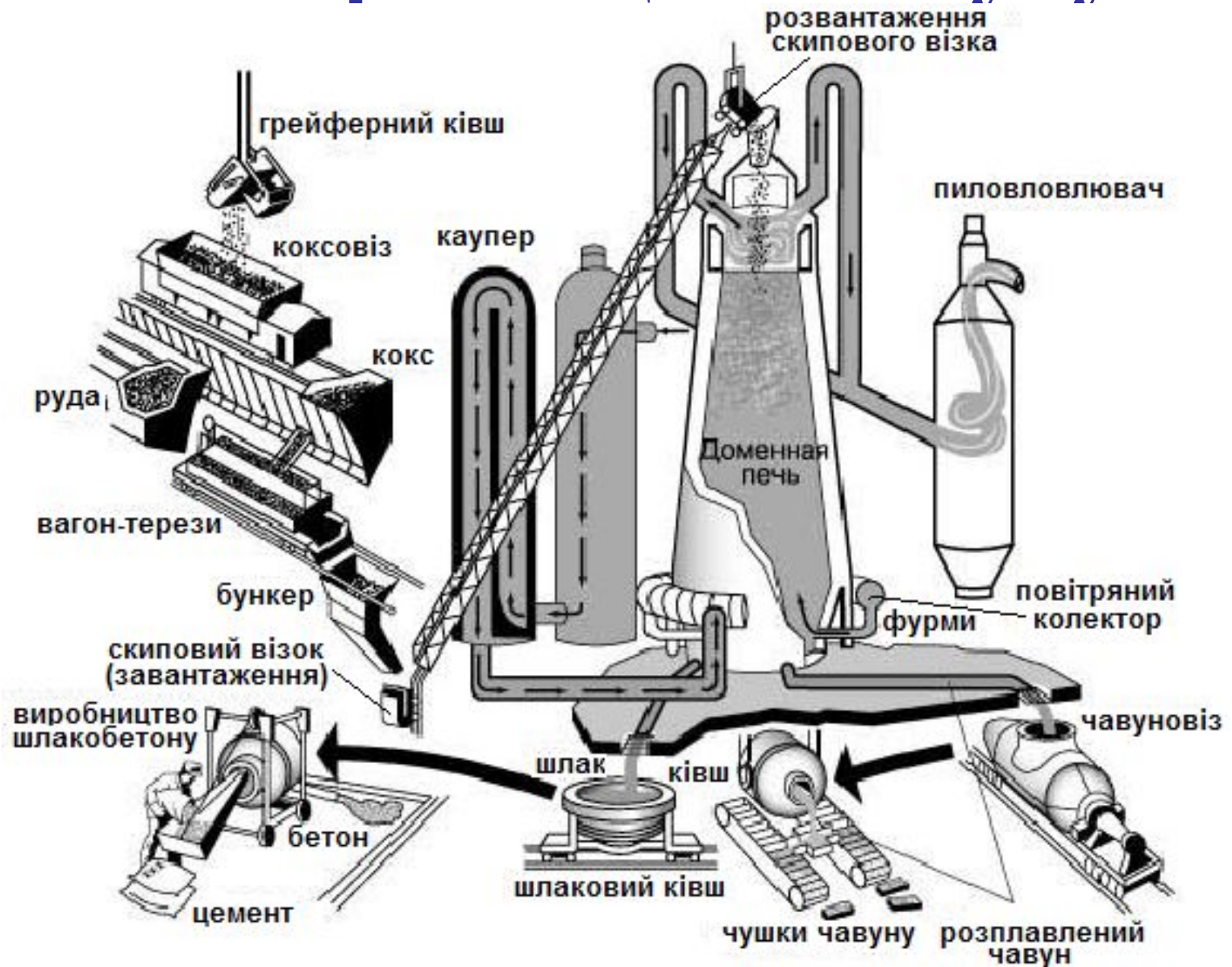
Робочий простір печі складається з **колошника, шахти, розпару, заплечиків і горна.**

Шихта (суміш руди, коксу і флюсів) в доменну піч завантажується при допомозі **засипного апарату**. Через **колошник** шихта поступово переміщується вниз назустріч гарячим газам від **фурм**.

У верхній частині **розпару** починається шлакоутворення.

Рідкий чавун випускається кожні 2-3 год. через **льотки** у чавуновізки. Льотки для випускання **шлаку** розташовані вище чавунних.

2.2 Виробництво чавуну



2.3 Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в доменній печі

Доменний процес: горіння палива, відновлювання заліза та збагачення його вуглецем (науглецювання), відновлення інших елементів, утворення шлаку.

Під дією гарячого повітря протікає згоряння коксу з утворенням двооксиду вуглецю (CO_2), який у контакті з розпеченим коксом при температурі $1800 \dots 1900^\circ\text{C}$ перетворюється в оксид вуглецю (CO):



Оксид вуглецю (CO) при проходженні через шар шихти відновлює залізо з рудних оксидів, також відновлення заліза відбувається при контакті руди з розпеченим коксом:



Залізо, що утворилося, знаходиться в твердому стані у вигляді **губчатої маси**; при контакті з оксидом вуглецю і розпеченим коксом залізо насичується вуглецем з утворенням **цементиту** (Fe_3C):



2.4 Класифікація чавунів за видом зламу і структурою

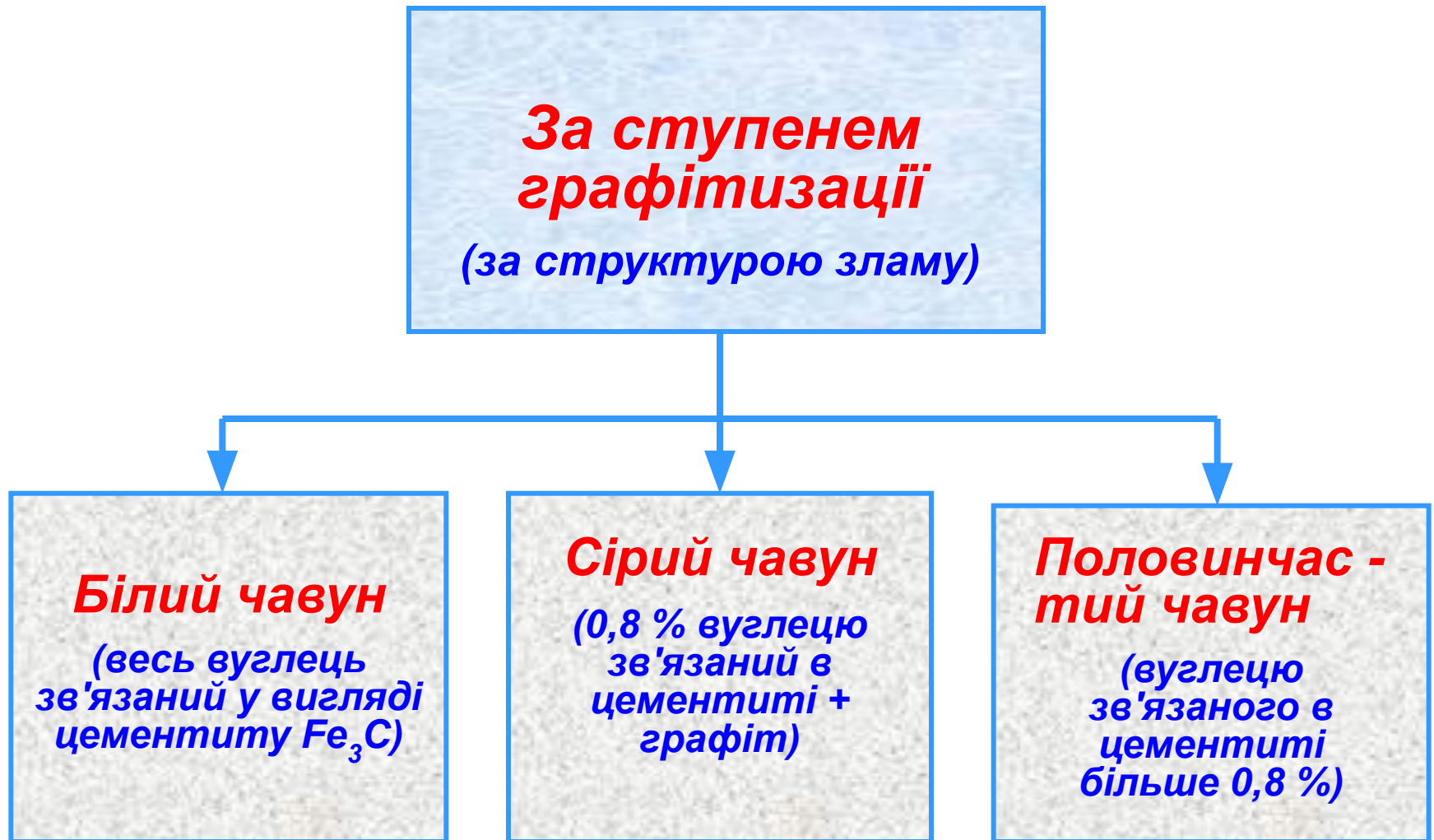
У доменному виробництві виплавляють 3 види чавунів – *переробний, ливарний і спеціальний* (феросплави).

Переваги чавуну полягають у високих ливарних властивостях і невеликій ціні (у порівнянні зі сталлю).

Температура розплавлення чавуну на **300...400°C** нижча, ніж у сталі, що скорочує процес ливарництва. Чавуни за рахунок вмісту графіту добре обробляються різанням, а також утворюється більш чиста поверхня готових виробів, ніж при обробці сталі.

Чавун має *високу твердість і низьку пластичність*, він *крихкий*, тому його неможливо піддавати пластичній деформації. Через низьку пластичність і високий вміст вуглецю *чавун погано зварюється*.

2.4 Чавуни: класифікація за видом зламу і структурою



2.4 Будова чавунів

Сірі машинобудівні чавуни - це сплави заліза, кремнію (від 1,2 - 3,5%) і вуглецю, що містить також постійні домішки Mn, P, S. Це вид **чавуну**, що не містить **ледебуриту**. У структурі таких чавунів більша частина або весь вуглець знаходиться у вигляді **графіту**, а деяка частка – у зв'язаному стані у вигляді **цементиту**.

Злам такого чавуну через наявність графіту має сірий колір.



Механічні властивості чавунів обумовлені їх структурою, що визначається не тільки хімічним складом, але й умовами затвердіння. Тому в марках чавунів зазначаються їх властивості.

Графіт у сірому чавуні виділяється у вигляді окремих включень у формі **пластинок**, **пластівців** та **глобулів** (кульок). За формою графітових включень машинобудівні ливарні чавуни поділяються на: **звичайні сірі** чавуни з формою графітових включень у вигляді **пластин**; **високоміцні** – включення графіту **кулеподібної** форми; **ковкі** чавуни – включення графіту у вигляді **пластівців**

2.4 Білі чавуни

Білий чавун – сплав заліза з вмістом вуглецю **4,3 %** при охолодженні утворює **евтектику** (ледебурит) – суміш **аустеніту** і **цементиту**; при температурі **нижче 727 °C** ледебурит складається із **цементиту** і **перліту**



Мікроструктура
евтектичного
білого чавуну
(схемне зображ.)

Злам **білого (евтектичного) чавуну** має **світле забарвлення** і **металевий блиск**, що і обумовлює його назву. **Значний вміст вуглецю (4,3 %)** у білому чавуні сприяє його **високій твердості, крихкості і важкій оброблюваності різанням.**

Білий чавун застосовується не як конструкційний матеріал, а для одержання **ковкого чавуну** шляхом **графітизуючого відпалу** або для **переплавки його у сталь**, тому і зветься **передільним**

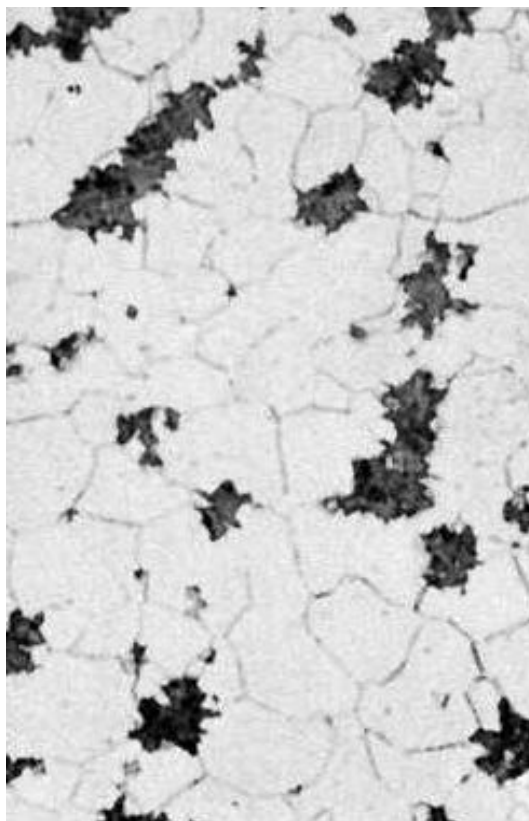
2.4 Види чавунів за формою графітних включень

сірий



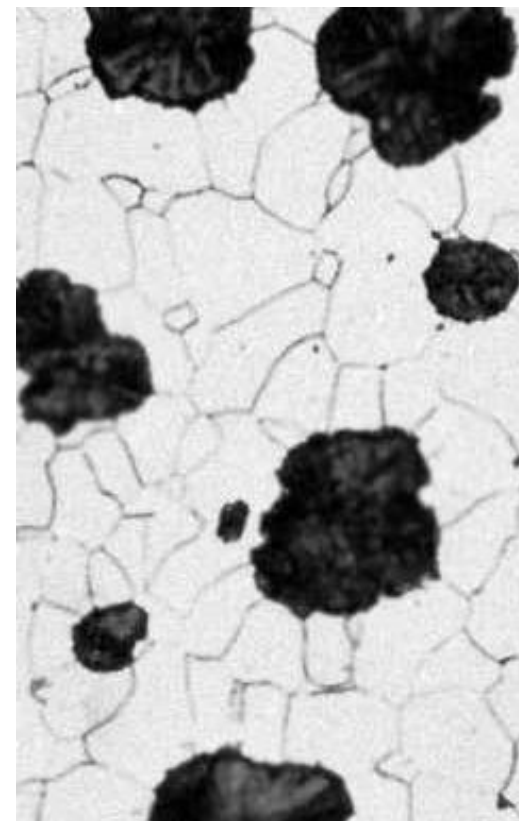
Графіт у формі пластинок

ковкий



Графіт у формі пластівців

високоміцний



Графіт кулястої форми

2.4 Сірі (ливарні) чавуни

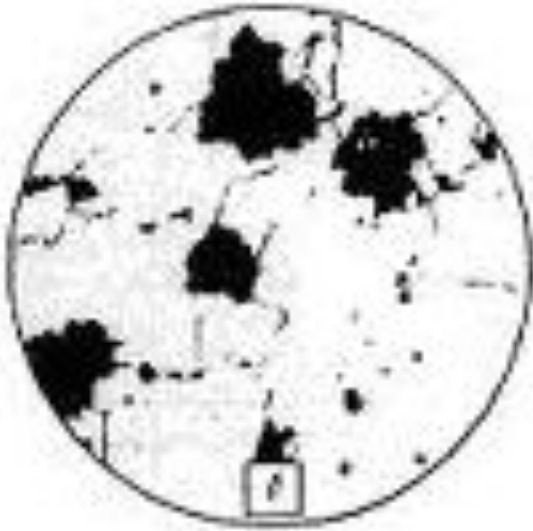
При повільному охолодженні сплавів заліза з вуглецем відбувається виділення **графіту**. В залежності від швидкості охолодження сплаву **сірі чавуни** мають основу **сталі** (доевтектоїдну – ферит або ферит і перліт, евтектоїдну – перліт або заетектоїдну – перліт і цементит) з **включеннями графіту** у формі **пластинок**, що надає зламу **сірий відтінок**



Сірі чавуни характеризуються високими **ливарними** властивостями, **високою крихкістю** та **низькою в'язкістю** і використовуються в машинобудуванні для відливок **станин верстатів, поршнів, циліндрів, корпусів редукторів та електродвигунів** тощо

2.4 Ковкі чавуни

Ковкі чавуни одержують шляхом тривалого відпалу при високих температурах відливок із **білого чавуну**, внаслідок чого виділяється **графіт у формі пластівців**

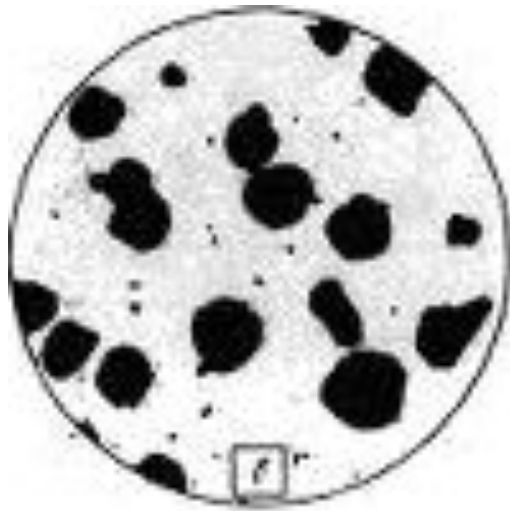


Він одержав свою назву завдяки підвищеній **пластичності** і **в'язкості** (але обробці тиском не піддається). **Ковкий чавун** володіє **підвищеною міцністю** при розтягу і **високим опором удару**.

З **ковкого чавуну** виготовляють деталі складної форми: **картери заднього моста автомобілів, гальмівні колодки, трійники, кутники** і т. п.

2.4 Високоміцні чавуни

Високоміцний чавун одержують шляхом модифікування його під час виплавки **магнієм** або **церієм** в кількості біля 0,05 %. Модифікатори сприяють формуванню в чавуні **кулястих включень графіту**



Чавуни, що мають **включення графіту кулястої форми**, володіють досить **високою межею міцності** (до 1200 МПа) і відповідно **високим відносним видовженням** (до 17%)

Застосовують високоміцні чавуни для відповідальних деталей, що працюють в складних умовах **при підвищених навантаженнях**

Зокрема, колінчасті та розподільчі вали легкових автомобілів, прокатні валки, корпуси турбін, деталі пресового обладнання і ін

2.4 Маркування чавунів (приклади маркування)

Сірі
чавуни



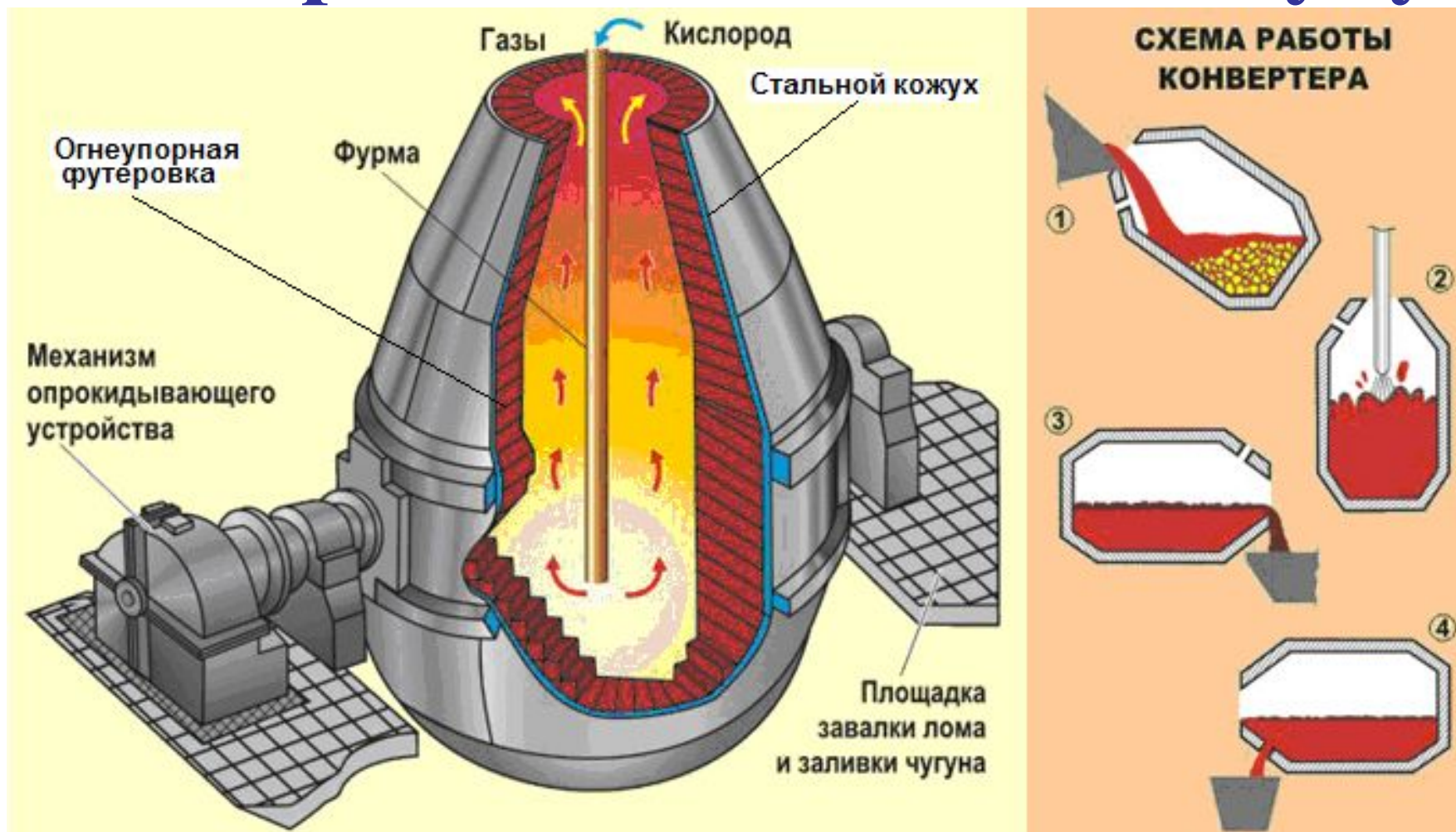
Ковкі
чавуни



Високоміцні
чавуни

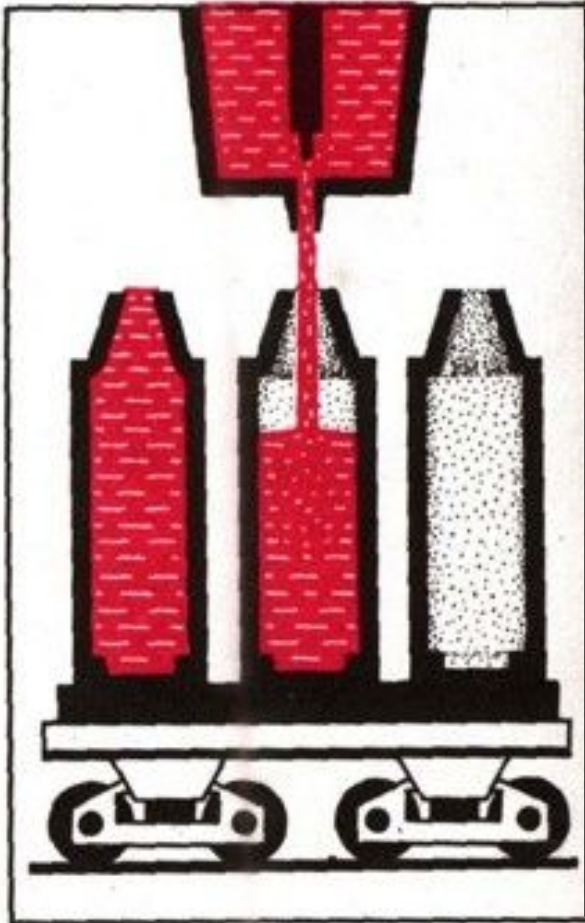


2.5 Виробництво сталі із чавуну

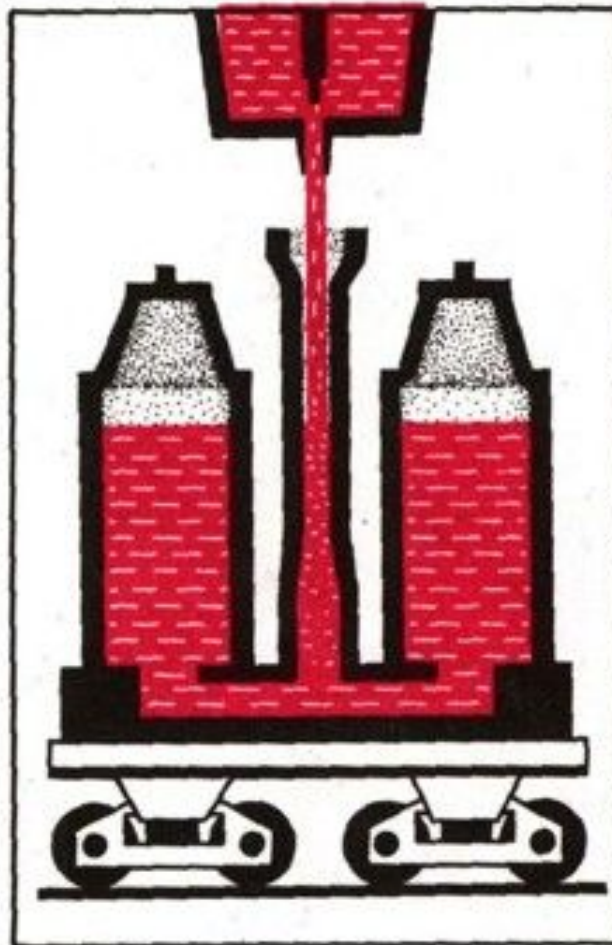


В **кисневий конвертер** завантажують **стальний скрап** (до 30 %) і заливають його розплавленим **чавуном** при температурі **1250...1400 °С**. Зменшення **вмісту вуглецю** в чавуні до рівня сталі досягається шляхом продування рідкого чавуну **киснем** під тиском **0,8...1,0 МПа**.

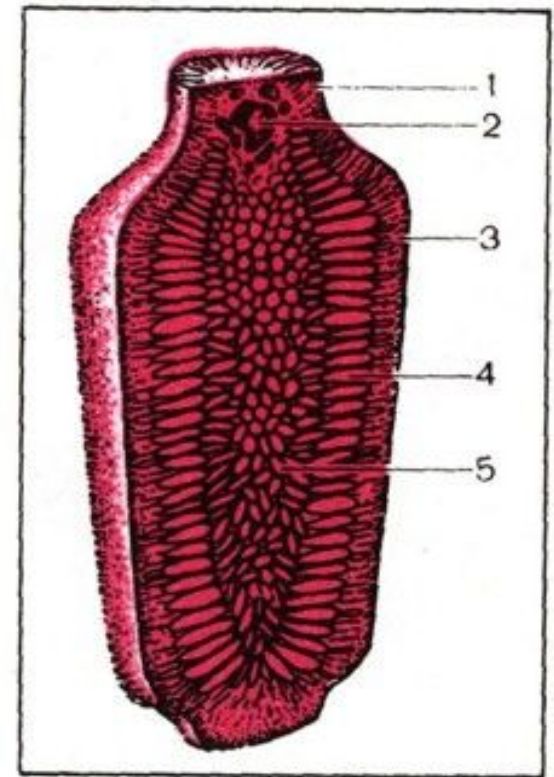
2.5 Поняття про розливання сталі



Наповнення виливниці
зверху



Наповнення виливниці
знизу (сифоном)



Розріз сталюого злитку: 1 – прибуткова частина, 2 – усадкова раковина, 3 – дрібні зерна, 4 – витягнуті стовпчасті кристали, 5 – рівноосні кристали

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

Класифікація сталей
за наступними ознаками:

Класифікація
(загалом) –
це **система**
розподілення
об'єктів
(процесів, явищ)
за класами або
групами
відповідно до
визначених ознак.

- за хімічним складом
(за вмістом вуглецю, %)

- за будовою (доевтектоїдні,
евтектоїдні, заевтектоїдні)

- за якістю (за наявністю
шкідливих домішок P, S)

- за призначенням
(за механічними властивостями)

- за ступенем розкислення
(за наявністю в сталі кисню)

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

За хімічним складом
(за вмістом вуглецю, %):

низьковуглецеві
(з вмістом вуглецю до 0,3 %)

середньовуглецеві
(з вмістом вуглецю 0,3...0,65 %)

високовуглецеві
(з вмістом вуглецю понад 0,65 %)

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

За будовою

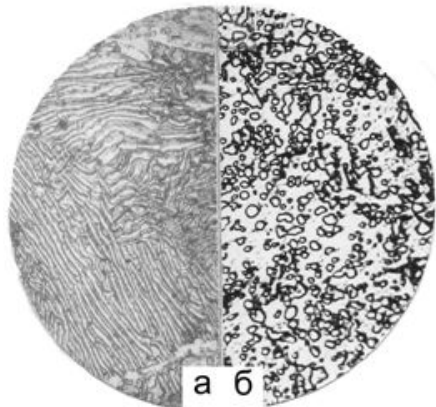
(за структурою складових):

доевтектоїдні (ферит+перліт)
(з вмістом вуглецю до 0,8 %)

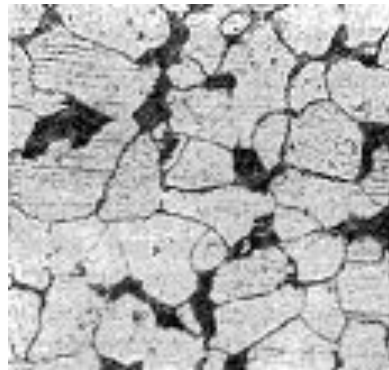
евтектоїдні (перліт)
(з вмістом вуглецю 0,8 %)

заевтектоїдні
(перліт + цементит)
(з вмістом вуглецю понад 0,8 %)

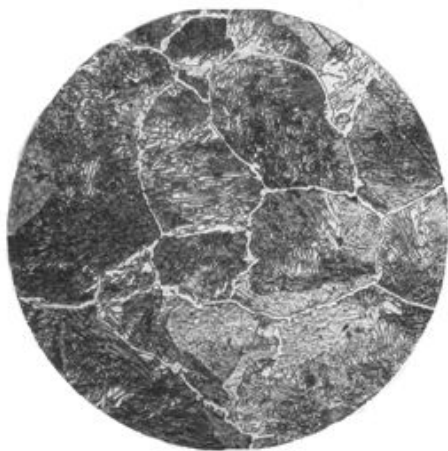
2.5 Будова сталі



Евтектоїдна сталь містить 0,8 % вуглецю і складається з одного тільки **перліту**.



Доевтектоїдна сталь містить менше 0,8 % вуглецю і представляє собою суміш зерен **фериту** і **перліту**.



Заевтектоїдна сталь містить вуглецю більше ніж 0,8 %. Мікроструктура заевтектоїдної сталі: **вторинний цементит** у вигляді світлої сітки на границях зерен **перліту**.

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

За якістю

(за вмістом шкідливих домішок сірки та фосфору, %):

вуглецева сталь
звичайної якості
(сірки і фосфору 0,04...0,06 %)

вуглецева сталь
якісна
(сірки і фосфору менше 0,04 %)

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

За призначенням

(за механічними властивостями):

конструкційна

вуглецева сталь (м'яка і середня)
(з вмістом вуглецю до 0,8 %)

інструментальна

вуглецева сталь (тверда)
(з вмістом вуглецю понад 0,8 %)

2.5 Класифікація вуглецевих сталей

За ступенем розкислення
(за наявністю в сталі кисню):

спокійні (сп) – розкислені Al, Mn, Si
(затвердіння без газовиділення)

киплячі (кп) – розкислені Mn,
недостатньо
(затвердіння з бульбашками CO)

напівспокійні (нс) – розкислення
проміжне між (сп) і (кп)

2.5 Маркування сталей

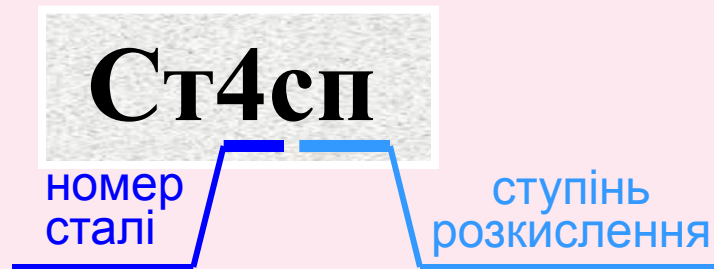
Маркування (загалом) – це процес нанесення тексту, умовних позначень та графічних зображень на продукцію – комплекс відомостей різного характеру щодо продукції, що інформує про склад, властивості, технологію, її застосування тощо.

Маркування сталей в основному представляється сукупністю буквених та цифрових позначень, що відповідають комплексу відомостей про склад, властивості та технологію виробництва окремих марок.

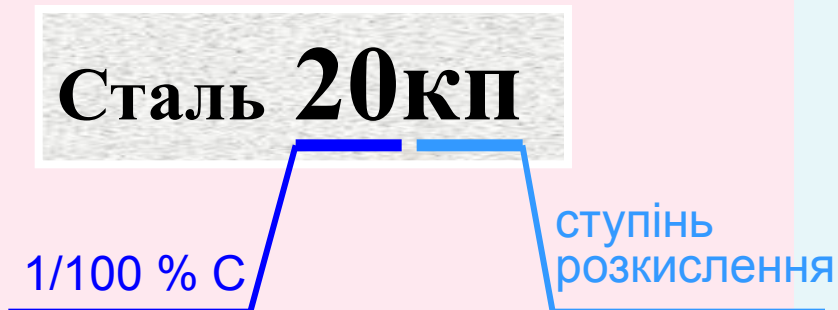
2.5 Маркування вуглецевих сталей (приклади маркування)

Конструкційні сталі

- звичайної якості:

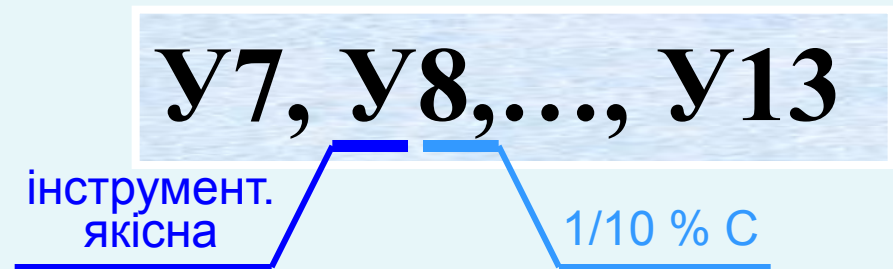


- якісні:

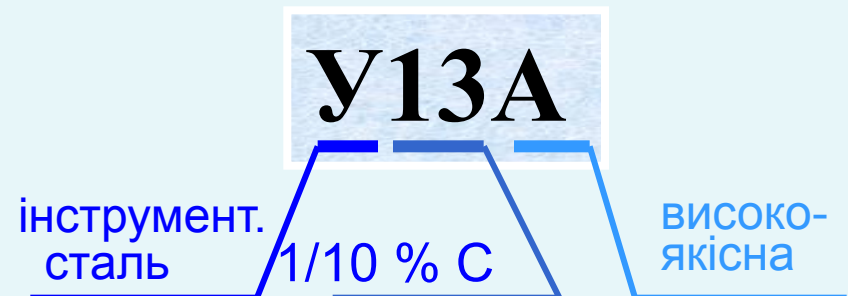


Інструментальні сталі

- сталь якісна:



- високоякісна:



2.5 Застосування вуглецевих сталей (приклади застосування)

конструкційні

Сталі звичайної якості	
Ст1, Ст2	дріт, цвяхи, заклепки
Ст3, Ст4	кріпильні деталі, фасонний прокат
Ст5, Ст6	слабонавантажені вали, осі та ін.
Якісні сталі	
Сталь08, Сталь08кп Сталь10пс	деталі холодної штамповки
Сталь 30, Сталь 45, Сталь 55	шатуни, зубчасті колеса, осі, маховики, колінчасті вали та ін.
Сталь 60 Сталь 85	зносоустійкі, пружні: ресори, пружини тощо

інструментальні

Якісні та високоякісні	
У7, У7А	слюсарно-монтажні інструменти
У8, У8А, У8Г, У8ГА У9, У9А	деревообробний та слюсарний інструмент, калібри, пружини, клапани, щупи і ін.
У10, У10А, У12А	осердя, голковий дріт
У10, У10А, У11, У11А	різальний інструмент: свердла, фрези, напилки
У12, У12А	мітчики, шабери, пуансони. калібри
У13, У13А	інструмент підвищеної зносоустійкості

2.5 Вплив домішок на властивості вуглецевих сталей

Постійні домішки вуглецевих сталей

Si – до 0,4 %:
розчиняючись у фериті,
зміцнюють сталь

S – до 0,05 %:
утворює сполуку FeS і
викликає червоноламкість

Mn – до 0,5...0,8 %:
розчиняючись у фериті,
зміцнюють сталь

P – до 0,05 %:
розчиняючись у фериті,
викликає холодноламкість

Азот, кисень, водень:
підвищують крихкість,
знижують витривалість

2.6 Леговані сталі: класифікація

За вмістом легуючих елементів леговані сталі поділяють на:

- *низьколеговані* – з вмістом легуючих елементів до 2,5 %
 Fe_3C

- *середньолеговані* – з вмістом легуючих елементів 2,5...10 %

- *високолеговані* – з вмістом легуючих елементів понад 10 %

2.6 Маркування легованих сталей

Легуючі елементи, що входять до складу сталей позначають **літерами Кирилиці**, а їх **масовий вміст** у відсотках – **цифрами**. Літера **А** на початку марки вказує, що сталь – **автоматна**, а в кінці – **сталь якісна**:

А – азот, **Б** – ніобій, **В** – вольфрам, **Г** – марганець, **Д** – мідь, **Е** – селен, **К** – кобальт, **М** – молібден, **Н** – нікель, **П** – фосфор, **Р** – бор, **С** – кремній, **Т** – титан, **Ф** – ванадій, **Х** – хром, **Ц** – цирконій, **Ч** – РЗМ, **Ю** – алюміній, тощо



2.7 Приклади використання марок сталі в суднобудуванні

Корпусні сталі:

Хромисті –

08X13
12X13
20X13

Корозійно-стійкі
(хромо-нікелеві) –

04X18H10
08X18H10
12X18H10T

Аустенітні (НС-5Т)
високоазотисті –

04X20H14Г6М2АСБ
04X20H6Г11М2АФБ

Двохшарові
корозійностійкі
(білеметалеві)

основа - 20, Ст3сп,
16ГС, 09Г2С, ...

Нанесений шар
08X18H10Т
08X17Т і ін.

Якірні сталі:

Сталь20, 25Л-III, ВСт3сп,

2.7 Види металопрокату



2.7 Вироби в суднобудуванні



2.8 Класифікація кольорових металів

Кольорові метали

(з характерним кольоровим забарвленням)

Легкі

(з густиною $\rho < 5 \text{ г/см}^3$)

Літій – 0,54 г/см³
Калій – 0,86 г/см³
Натрій – 0,971 г/см³
Магній – 1,68 г/см³
Берилій – 1,8 г/см³
Алюміній – 2,7 г/см³
Титан – 4,5 г/см³

Важкі

(з густиною $\rho > 5 \text{ г/см}^3$)

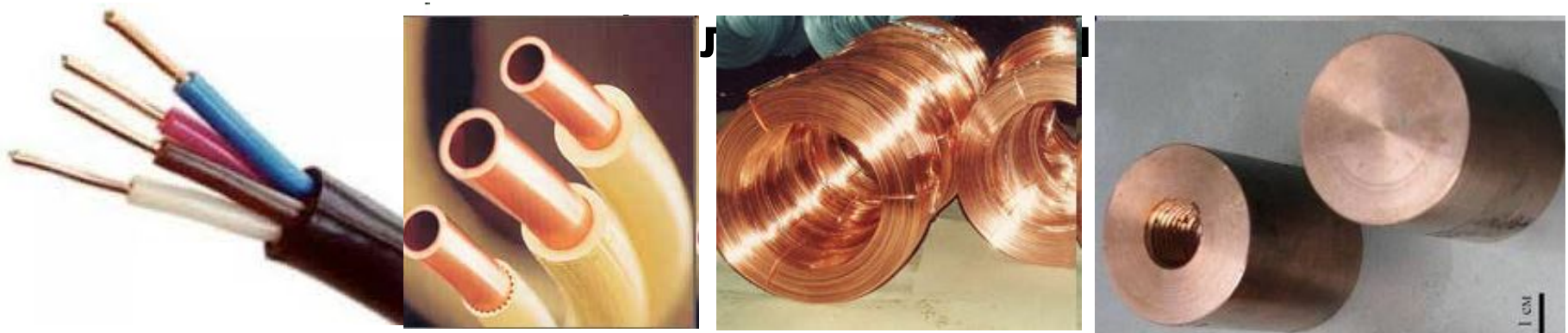
Сурма – 6,62 г/см³
Цинк – 7,10 г/см³
Хром – 7,14 г/см³
Олово – 7,29 г/см³
Мідь – 8,90 г/см³
Вісмут – 9,84 г/см³
Свинець – 11,3 г/см³

2.9 Мідь: властивості і застосування

Мідь (Cu) – червоно-рожевий **мономорфний метал** з питомою густиною $\rho = 8,96 \text{ г/см}^3$ і температурою плавлення $T_{\text{пл}} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$, який має високу електропровідність, тому широко застосовується в електротехніці.

У відпаленому стані мідь має **міцність** $\sigma_{\text{в}} \approx 250 \text{ МПа}$, **твердість** НВ ≈ 45 , значну **пластичність** ($\delta \approx 50\%$).

Завдяки значній пластичності міді з неї виготов-



2.9 Сплави на основі міді: маркування та властивості

Латунь – це деформований сплав міді з цинком (до 43 % Zn). Маркуються латуні літерою "Л" і цифрою, що вказує приблизний **вміст міді у відсотках** (Л96 та ін.).

У позначеннях легованих латуней після літери "Л" вказують інші букви і цифри, що свідчать відповідно про назву легуючих елементів та їх процентний вміст. Наприклад, ЛС60-1 (60 % Cu, 1 % Pb, решта – Zn).

З латуні виготовляють листи, прокат, труби, втулки, сільфони, тощо.



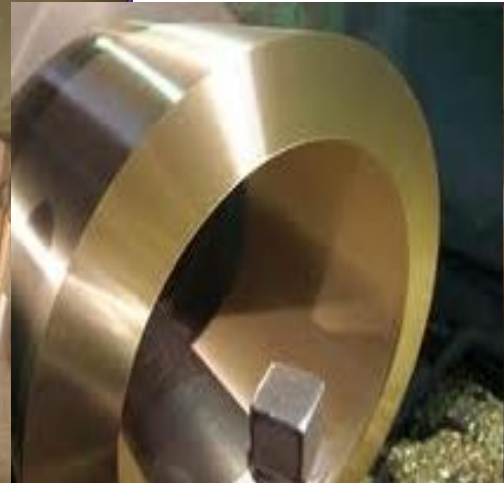
2.9 Сплави на основі міді: маркування та властивості

Бронза – це **сплав міді** з усіма елементами (оловом, алюмінієм, берилієм та ін.), **крім цинку**, має достатньо високі **ливарні** та **антифрикційні** властивості, **корозійну стійкість** в прісній і морській воді, а також у газовій атмосфері **при високих температурах**.

Із **бронзи** виготовляють пружини, підшипники ковзання, арматуру, деталі з високою тепловою та електричною провідністю у поєднанні з достатньою значною корозійною стійкістю.

Бронзи маркуються літерами "**Бр**", після яких записують **літери** – позначення **легуючих елементів** і **цифри**, що вказують їх **процентний вміст**. Наприклад, **Бр 0ЦС8-4-3** (8 % Sn, 4 % Zn, 3% Pb, решта – мідь).

2.9 Застосування сплавів на основі міді в суднобудуванні



2.10 Алюміній: властивості і застосування

Алюміній (Al) – це **метал** сріблясто-білого кольору ($\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{пл.}} \approx 660 \text{ }^\circ\text{C}$). У відпаленому стані **міцність** $\sigma_{\text{в}} = 80 \dots 100 \text{ МПа}$, невисоку **твердість** ($\text{HV} \approx 25 \dots 30$) та достатню **пластичність** ($\delta \approx 45 \%$).

Висока електропровідність та низька густина чистого алюмінію обумовили його застосування в електротехніці, як провідникового матеріалу, а корозійна стійкість – застосування в хімічному та суднобудуванні.



2.10 Сплави на основі алюмінію: маркування та властивості

Дюралюміній – сплав, системи **Al-Cu-Mg** з домішками **Mn** (він в 7 разів міцніше за чистий алюміній). Маркується дюралюміній буквами "Д" і цифрами, що вказують номер сплаву. Наприклад, **Д1**, **Д16**.

Силуміни – сплави **алюмінію** з **кремнієм**. Вони маркуються – **АЛ2**, **АЛ9** (цифра вказує номер сплаву, а букви означають, що це – алюмінієвий ливарний сплав).

Дюралюміній широко застосовують у суднобудуванні, а з силуміну виготовляють арматуру, кронштейни, литі деталі приладів



2.10 Сплави на основі алюмінію: маркування та властивості



Найбільш широке застосування серед алюмінієвих сплавів для виготовлення конструкцій річкового і морського флоту знаходять сплави з магнієм *АМг3, АМг5, АМг61* –

магналії.

Це сплави ***алюмінію*** (основа) з ***магнієм*** (5-13%) та ін. елементами – мають ***високу корозійну стійкість, хорошу зварюваність, високу пластичність***: з них виготовляють фасонні відливки (***ливарні магналії***) та листи, дріт, заклепки і ін. (***магналії, що деформуються***), а також сплави з марганцем ***АМц*** і ***Д16***. Магналії використовують, як танкову броню – ***АМг6***.

Корпус судна підвищеної вантажопідйомності виготовляють зі сталі, тоді як надбудови та інше допоміжне обладнання з алюмінієвих сплавів. Має місце виготовлення ***риболовецьких баркасів*** зі сплаву ***АМг5*** (обшивка).

2.11 Титан і характеристика сплавів на основі титану

Титан (Ti) – метал сріблястого кольору з блакитним відтінком і температурою плавлення $T_{пл} \approx 1665 \text{ }^\circ\text{C}$ та густиною $\gamma = 4,5 \text{ г/см}^3$, межею міцністю $\sigma_{в} = 250 \text{ МПа}$, відносним видовженням $\delta \approx 20...30 \%$, твердістю $\text{HV} \approx 70 (100...140)$, високою корозійною стійкістю.

Покращують механічні властивості титану легуванням наступними елементами (**Al, Cr, Mo, Nb, V, Zr, Sn, Fe** і ін) з подальшою термічною обробкою.

Практично всі сплави титану містять алюміній, який підвищує межу міцності сплавів та зменшує їх пластичність.

2.11 Маркування та властивості

Марка сплаву	<i>Al, %</i>	<i>Mn, %</i>	<i>V, %</i>	<i>Mo, %</i>	<i>Cr, %</i>	<i>Si, %</i>	Інші елементи, %
Альфа сплави (маломіцні і пластичні)							
BT5	4,3-6,2						
OT4	3,5-5,0	0,8-2,0					
BT18	7,2-8,2			0,2-1		0,5	
Альфа + бета сплави (міцні та мало пластичні)							
BT6	5,5-7,0		4,2-6,0				
BT8	6,0-7,3			2,8-3,8		0,2-0,4	
Бета сплави (міцні та мало пластичні)							
BT22	4,0-5,7		4,0-5,5	0,2-2,0			0,5-1,5 Fe
BT15	2,3-3,6			6,8-8,0	9,5-11,0		

2.12 Характеристика сплавів на основі магнію

Магній (Mg) – метал сріблясто-білого кольору з температурою плавлення $T_{пл} = 651 \text{ }^\circ\text{C}$ та питомою густиною $\gamma = 1,74 \text{ г/см}^3$. Ливарний магній має: межу міцності $\sigma_B = 115 \text{ МПа}$, твердість **НВ 30**, відносне видовження $\delta \approx 8 \%$, а деформований – $\sigma_B = 200 \text{ МПа}$, $\delta \approx 11,5 \%$ та твердість **НВ 40**. На повітрі магній легко займається і використовується в піротехніці.

Механічні властивості магнію можна покращити легуванням (**Al - до 10 %**, **Zn - до 5...6 %**, **Mn - до 2,5 %**, **Zr – до 1,5 %**).

2.12 Маркування сплавів магнію

Деформуємі магнієві сплави MA1 і MA8 з основним легуючим елементом – марганцем (Mn) мають добру корозійну стійкість і здатність до зварювання. **MA2-1 і MA5** є сплавами системи **Mg-Al-Zn-Mn**. Al і Zn підвищують міцність сплавів, їх технологічну пластичність: з них виготовляють ковані і штамповані деталі складної форми (крильчатки і жалюзі капота літака і ін.). Сплави системи **Mg-Zn**, додатково леговані **Zr (MA14)**, **кадмієм** та **P3M (MA15, MA19)** відносять до високоміцних магнієвих сплавів.

Ливарні магнієві сплави системи **Mg-Al-Zn (ML5, ML6**, де Л – ливарний) – для: суднобудування (обшивки морських суден, підводних човнів, торпед, гребні гвинти, теплообмінники), літакобудування (корпуси приладів, насосів, коробок передач, двері кабін), ракетної техніки (корпуси ракет, обтічники, паливні й кисневі баки, стабілізатори), конструкцій автомобілів (корпусів, колес, помпи).

Високими технологічними і механічними властивостями володіють сплави **магнію** з **Zn і Zr (ML 12)** та леговані **кадмієм (ML8)** і **P3M (ML9, ML10)** – для навантажених деталей літаків і авіадвигунів