

Міністерство освіти і науки України
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для студентів усіх форм навчання спеціальності 181 –
«Харчові технології»»**

Частина I

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри харчових
технологій
протокол № 9 від 16.05.17р.

Чернігів ЧНТУ 2017

кафедра харчових технологій

Матеріалознавство. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів для студентів усіх форм навчання спеціальності 181 – «Харчові технології». Частина I / Укладач: Корольов О.О. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – 44 с.

Укладач: Корольов Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за видання: Сиза О.І., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій Чернігівського національного технологічного університету

Рецензент: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор

Вступ

Відповідно до навчального плану спеціальності 181 – «Харчові технології» студенти у другому семестрі виконують лабораторні роботи з курсу «Матеріалознавство».

Метою лабораторних робіт є закріплення теоретичних знань, набутих студентами на лекціях та у процесі самостійної підготовки, а також вивчення нормативно-технічної документації на основні види сировини та конструкційних матеріалів для обладнання харчової індустрії.

У процесі самостійної підготовки до кожної лабораторної роботи студент зобов'язаний:

- вивчити теоретичні питання, визначені перед кожною лабораторною роботою
- вивчити та коротко законспектувати методику виконання роботи за завданням практичної частини.

Підготовленість студентів до кожного заняття із загальнотеоретичних питань контролюється викладачем шляхом усного або письмового опитування.

Під час виконання лабораторної роботи студент повинен ознайомитись з нормативно-технічною документацією, виконати всі завдання, внесені до лабораторної роботи, заповнити всі таблиці та зробити висновки.

Звіт з кожної лабораторної роботи має бути оформлений на аркушах формату А4 і містити наступні відомості:

- назву та мету лабораторної роботи;
- найменування запропонованих завдань;
- виконання завдань по роботі, складання схем, таблиць та іншої інформації з властивостей різних матеріалів;
- висновки.

Методичні вказівки з курсу виконані у 2-х частинах. У I частині наведені методичні рекомендації з виконання лабораторних робіт за характеристикою продукції чорної металургії – чавуни і сталі.

Матеріалознавство
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

**ПОБУДОВА ТА АНАЛІЗ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ. ЗВ'ЯЗОК
ДІАГРАМ З ВЛАСТИВОСТЯМИ СПЛАВІВ**

Мета роботи: побудова діаграм стану сплавів, вивчення фазових переходів і їх впливу на властивість.

Прилади і матеріали: міліметровий папір, лінійка, олівець.

Теоретична частина

Структура і властивості чистих металів суттєво відрізняються від структури і властивостей сплавів, що складаються з двох чи більшого числа металів.

Сплавами називають тверді речовини, отримані шляхом дифузії елементів у твердому, рідкому чи газоподібному станах. Залежно від числа елементів (компонентів сплаву) розрізняють двокомпонентні, трикомпонентні та багатоконпонентні сплави. Речовини, що входять до складу сплаву, при твердінні можуть знаходитися у вигляді окремих частинок, зерен обох компонентів (механічна суміш), у вигляді хімічних сполук чи взаємно розчинених один в одному компонентів (твердий розчин).

Сплави типу **механічної суміші** утворюється з речовин, що не розчинюються і не вступають у хімічну взаємодію між собою у твердому стані з утворенням сполук. Такі сплави складаються із суміші кристалітів речовин, які зберігають власні кристалічні ґрати. Властивості сплаву будуть визначатися співвідношенням компонентів, що входять до його складу.

Сплави типу **хімічної сполуки** утворюються при взаємодії різних речовин. Вміст компонентів при цьому повинен бути суворо визначеним. Кристалічні ґрати сплаву відрізняється від кристалічних ґратів компонентів, тому мають інші механічні, фізичні та хімічні властивості.

Сплави типу **твердих розчинів** бувають трьох видів: тверді розчини заміщення, тверді розчини проникнення і тверді розчини віднімання.

Тверді розчини заміщення утворюються в тих випадках, коли атоми речовини, що розчиняється, заміщують в кристалічних ґратах атоми розчинника (рис. 1.1а). Це можливо, якщо компоненти мають однакові решітки, а розміри їх атомів мало відрізняються один від одного (не більше 15%).

Утворення **твердих розчинів проникнення** (рис. 1.1б) відбувається при розчиненні атомів якогось елемента в кристалічних ґратах розчинника, тобто коли атоми розчиненого елемента проникають в ґрати розчинника в проміжках між його атомами. Як правило, тверді розчини проникнення утворюються з неметалами. При цьому параметри кристалічних ґрат завжди збільшуються.

Тверді розчини віднімання (рис. 1.1в) утворюються тільки в сплавах, що містять хімічні сполуки, коли надлишкові атоми одного з компонентів займають суворо визначені місця в кристалічних ґратах, а місця, які повинні бути зайняті атомами іншого компонента, залишаються частково вільними, наприклад у ґратах карбідів TiC , WC (місця, що належать вуглецю, залишаються вільними).

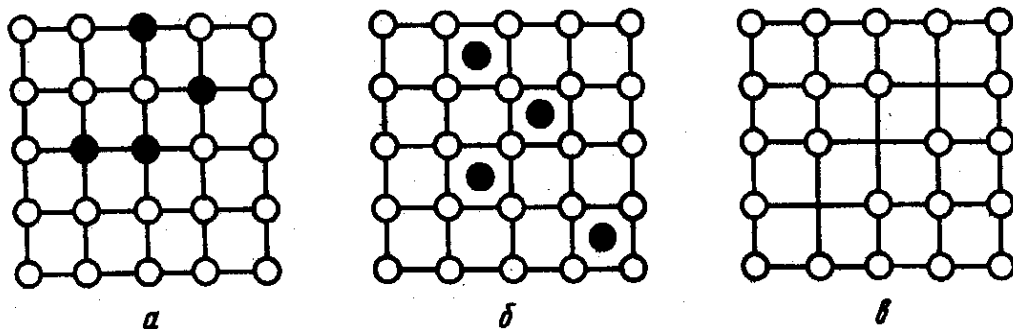


Рисунок 1.1 – Схема розподілу атомів у ґратах твердих розчинів

Фазовий стан сплавів залежно від концентрації компонентів і температури зображують графічно. Таке зображення фазового стану сплавів називають **діаграмою стану**. Оскільки діаграма стану показує стійкий стан системи (сукупність фаз, що знаходяться у рівновазі), то вона є діаграмою рівноваги фаз, існуючих при даних умовах. Стан

сплаву, що зображується на діаграмі, належить до рівноважних умов без урахування перегріву чи переохолодження, чого в дійсності бути не може. Внаслідок цього діаграми стану являють собою ідеальний випадок.

Математичний опис загальних закономірностей існування стійких фаз, що відповідають умовам рівноваги, дав Гіббс. Цей опис має назву **правила фаз** і встановлює кількісну залежність між ступенем вільності системи C , кількістю фаз Φ і компонентів K .

Компонентами K називають речовини, що становлять систему і здатні переходити з однієї фази в іншу. Хімічно чистий елемент являє собою однокомпонентну систему. Однокомпонентною системою є й хімічна сполука, що не розкладається на складові частини в інтервалі температур дослідної системи.

Фазою Φ називають однорідну частину системи однакового агрегатного стану і складу, відокремлену від інших фаз поверхнею поділу, перехід якої різко змінює хімічний склад чи структуру речовини. Наприклад, розплавлений метал є однофазною системою, а сплав типу механічної суміші – двофазною і т. ін.

Під **числом ступенів вільності C** системи розуміють число факторів (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни числа фаз у системі.

Математичний вираз правила фаз можна записати так:

$$C = K - \Phi + 2 \quad (1.1)$$

тобто число ступенів вільності рівноважної системи, на яку впливають температура і тиск, дорівнює числу незалежних компонентів системи мінус число фаз плюс два. Тиск при рівновазі не має впливу на процеси перетворення у сплавах, тому **при вивченні систем під атмосферним тиском** можна користуватися правилом фаз, яке записується так:

$$C = K - \Phi + 1 \quad (1.2)$$

Це означає, що, не змінюючи агрегатного стану системи, можна змінювати температуру розплаву.

Матеріалознавство

При кристалізації металу число фаз дорівнює двом (рідка і тверда), а число ступенів вільності дорівнює нулю ($C = 1 - 2 + 1 = 0$). Це значить, що неможливо змінювати температуру і концентрацію системи без порушення рівноваги і зміни числа фаз до тих пір, доки не зникне одна з фаз і система не перетвориться в однофазну.

Діаграма стану показує зміну фазового стану сплаву від температури і концентрації при постійному тиску. Для двокомпонентної системи на вісі абсцис відкладають концентрацію компонента (сума концентрацій компонентів дорівнює 100%), а на вісі ординат – температуру. Такі діаграми будують за даними **термічного аналізу** (рис. 1.2), тобто спочатку будують криві охолодження температура-час, а на них визначають температури перетворень за зупинками і згинами на цих кривих.

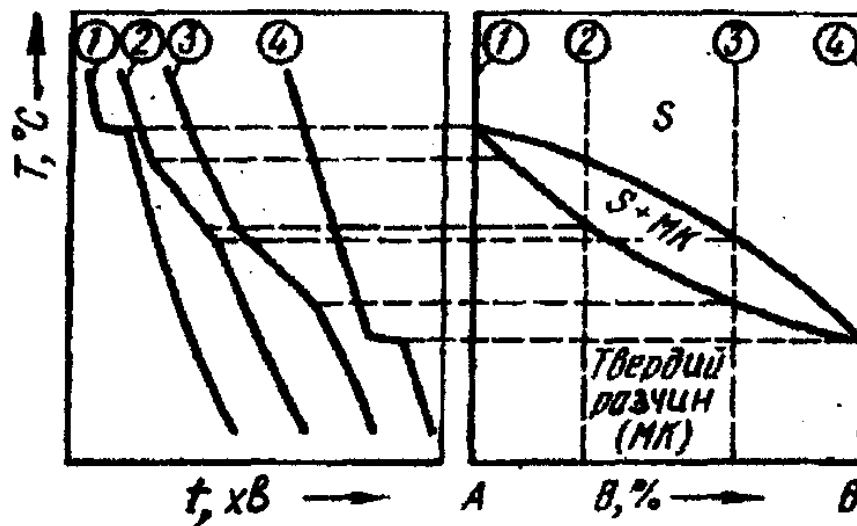


Рисунок 1.2 – Перенесення точок згину кривих $T - t$, отриманих за допомогою термічного аналізу, на діаграму температура – концентрація (приклад для сплавів з не обмеженою розчинністю):

1, 4 – температура затвердіння чистих металів A і B ; 2, 3 – сплави системи A і B

На діаграмах стану **крива ліквідуса** – границя між гомогенною областю рідкого (розплавленого) стану і гетерогенною двофазною областю (рідкий + твердий стан). **Крива солідуса** – границя між двофазною (рідка + тверда) областю і твердою фазою.

Матеріалознавство

Характеристика сплаву потребує не тільки якісного, але й кількісного визначення його структурних складових. Усі сплави однієї області діаграми стану мають якісно однакову будову. Для визначення відносної кількості (маси) співіснуючих фаз і структурних складових одного сплаву користуються **правилом відрізків коноди**.

Конода – це відрізок горизонтальної лінії, або ізотерма, проведена всередині двофазної області діаграми стану до перетину з лініями границь двофазної області. Так, конода AE (рис. 1.3) проведена між вертикальною лінією для чистого компонента A і лінією ліквідуса. Точка перетину коноди з лінією ліквідуса (точка E) вказує на склад рідкої частини сплаву. Спроектувавши точку E на вісь концентрацій, можна визначити хімічний склад рідини, прочитавши на вісі концентрацій, скільки процентів металу B (а потім і металу A) є в рідкому (розплавленому) сплаві при даній температурі.

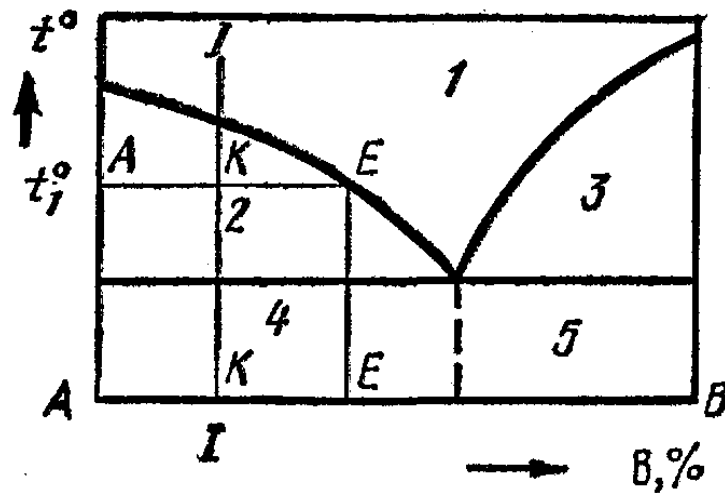


Рисунок 1.3 – Визначення кількості складових сплаву за діаграмою стану

Нехай потрібно визначити кількісне співвідношення між рідкою і твердою частиною сплаву $I-I$ при температурі t_1^0 .

Як видно (рис. 1.3), сплав при цій температурі складається з кристалів компонента A і рідкого сплаву складу, що відповідає точці E .

Введемо позначення: Q_T – кількість (маса) твердої частини сплаву (в даному випадку кристалів A); Q_P – кількість (маса) рідкої

Матеріалознавство

частини сплаву (в даному випадку складу E); $Q_{\text{заг}}$ – загальна кількість (маса) сплаву.

Загальна кількість сплаву буде дорівнювати сумі рідкої і твердої частин: $Q_{\text{заг}} = Q_p + Q_t$.

За правилом відрізків коноди загальну масу сплаву прирівнюють до довжини коноди (AE при температурі t_1^0), і тоді кількість рідкої фази Q_p і кількість твердої фази Q_t визначається відрізками коноди \overline{AK} і \overline{KE} , які утворилися при перетині коноди з лінією сплаву $I-I$.

Згідно з правилом відрізків коноди кількість рідкої фази дорівнює відношенню довжини відрізка коноди, прилеглого до точки складу твердої фази, до довжини усієї коноди: $Q_p = \frac{\overline{AK}}{\overline{AE}} \times 100\%$ (множення отриманого відношення AE відрізків на 100% дає можливість в процентах виразити кількість рідкої частини сплаву).

Кількість (чи маса) твердої фази сплаву дорівнює відношенню довжини відрізка коноди, прилеглого до точки складу рідкої фази, до довжини всієї коноди: $Q_t = \frac{\overline{KE}}{\overline{AE}} \times 100\%$.

Отже, для визначення кількості рідкої і твердої фаз сплаву за діаграмою стану потрібно зробити так:

1. Відновити перпендикуляр до точки, що характеризує склад даного сплаву (тобто провести лінію сплаву).
2. При заданій температурі провести коноду – горизонтальну лінію (ізотерму) до перетину з лініями, що обмежують дану область.
3. Співвідношення між рідкою і твердою частинами сплаву буде обернено пропорційне відрізкам, на які лінія сплаву поділяє коноду.
4. Для визначення кількості твердої частини сплаву потрібно взяти відношення довжини відрізка, прилеглого до рідкої частини сплаву, до довжини всієї коноди.
5. Для визначення кількості рідкої частини сплаву потрібно взяти відношення довжини відрізка, прилеглого до твердої частини сплаву, до довжини всієї коноди.

Існують такі типи подвійних діаграм стану.

1. Подвійна діаграма стану системи для випадку повної нерозчинності компонентів у твердому стані, утворення евтектики і повної розчинності компонентів у рідкому стані (рис. 1.4).

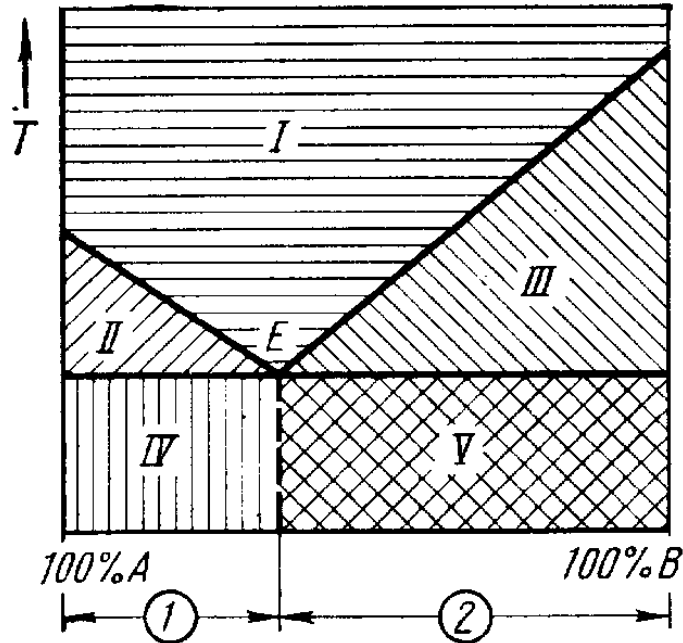


Рисунок 1.4 – I – гомогенний розплав; II – A-кристали і розплав; III – B-кристали і розплав; IV – A-кристали і евтектика; V – B-кристали і евтектика; 1 – доевтектичні сплави; 2 – заевтектичні сплави; E – евтектика.

2. Подвійна діаграма стану системи для випадку необмеженої розчинності компонентів у рідкому і твердому станах (рис. 1.5).

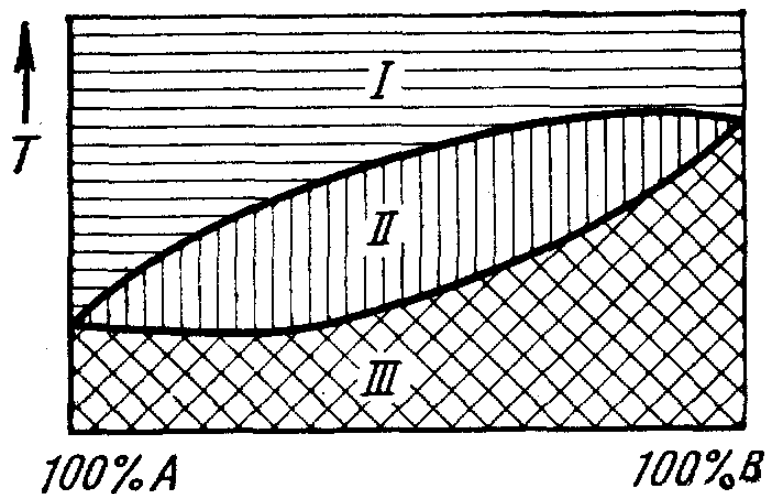


Рисунок 1.5 – I – гомогенний розплав ($C = 2$; $K = 2$; $\Phi = 1$); II – розплав і твердий розчин ($C = 1$; $K = 2$; $\Phi = 2$); III – тверда фаза ($C = 2$) – твердий розчин заміщення

3. Подвійні діаграми стану системи для випадку необмеженої розчинності компонентів у рідкому стані та обмеженої їх розчинності у твердому стані. Поділяються на діаграми з евтектикою (рис. 1.6) і перитектикою (рис. 1.7).

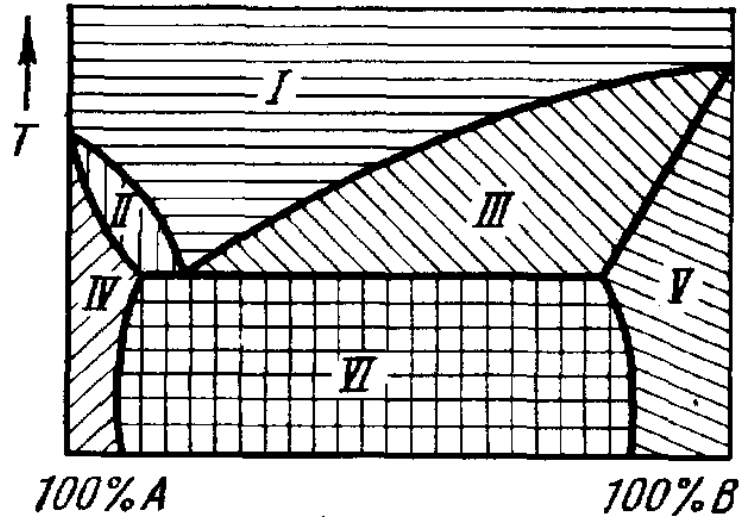


Рисунок 1.6 – Подвійна діаграма стану системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані і евтектичним перетворенням: I – розплав; II – розплав + α -твердий розчин; III – розплав + β -твердий розчин; IV – α -твердий розчин; V – β -твердий розчин; VI – α - і β -тверді розчини

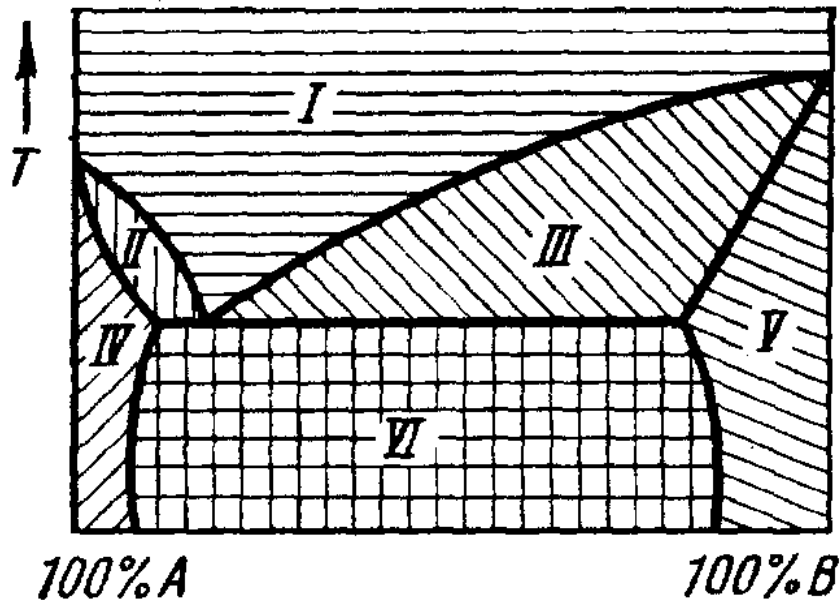


Рисунок 1.7 – Подвійна діаграма стану системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані і перитектичним перетворенням; позначення такі ж, як на рис. 1.6

Тверді розчини на базі решітки A -компонента позначаються α -твердими розчинами, на базі решітки B -компонента – β -твердими розчинами. Вони можуть бути твердими розчинами проникнення чи заміщення.

4. Подвійна діаграма стану системи для випадку утворення інтерметалічних фаз. У загальному вигляді інтерметалічна фаза позначається як A_mB_n .

Утворення інтерметалічних фаз можливе:

а) при кристалізації з розплаву; решітки компонентів A і B визначають можливість лише обмеженої розчинності; конгруентно плавкі сплави з температурним мінімумом на лінії ліквідуса;

б) в результаті перитектичного перетворення як наслідок реакції між двома розплавами; неконгруентно плавкі сплави (так званий закритий максимум).

Інтерметалічна фаза поводить себе при твердінні, як чиста речовина (рис. 1.8).

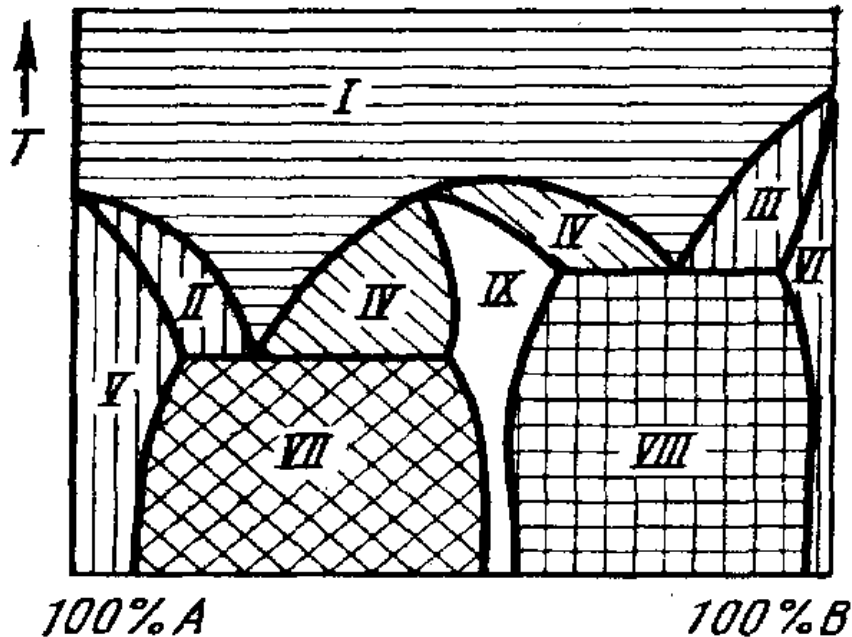


Рисунок 1.8 – I – розплав; II – розплав + α -твердий розчин; III – розплав + β -твердий розчин; IV – розплав + A_mB_n ; V – α -твердий розчин; VI – β -твердий розчин; VII – α -твердий розчин + A_mB_n ; VIII – β -твердий розчин + A_mB_n ; IX – A_mB_n

Розглянемо, наприклад, зміну твердості й електричної провідності залежно від складу і типу структури сплаву, що містить

Матеріалознавство

два компоненти А і В (рис. 1.9). У сплавах типу механічної суміші (рис. 1.9а) фізичні і механічні властивості змінюються залежно від складу лінійно. У сплавах типу твердих розчинів ці властивості змінюються за криволінійною залежністю. Так, твердість при зростанні концентрації компонента В (рис. 1.9б) спочатку зростає, а потім зменшується, тому що електрична провідність спочатку зменшується, а потім зростає.

У сплавах, що утворюють хімічну сполуку (рис. 1.9в), залежність властивостей від складу виражається ламаною лінією з характерним зломом у точці, яка відповідає складу хімічної сполуки.

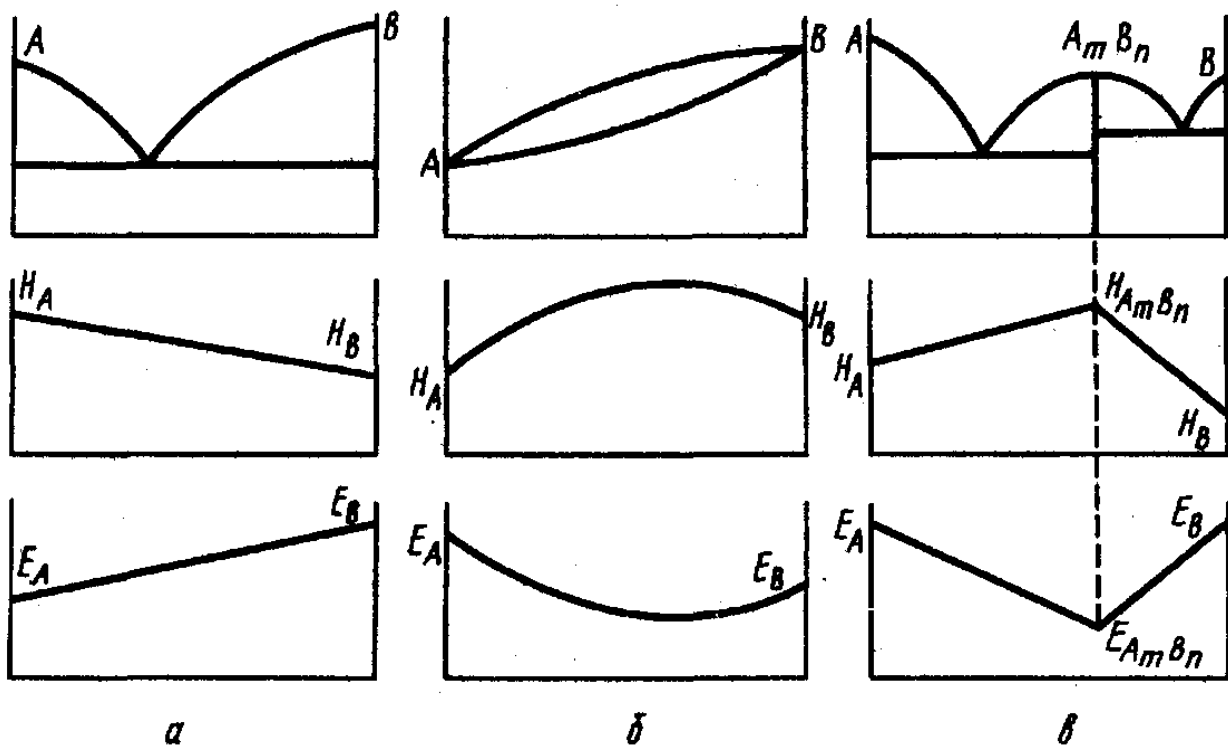


Рисунок 1.9 – Діаграма склад-властивості

Існує певний зв'язок між типом діаграми стану для двокомпонентних сплавів і технологічними властивостями. Так, сплави типу твердих розчинів мають низькі ливарні якості (погана рідкоплинність, схильність до утворення тріщин). Для одержання високих ливарних якостей концентрація компонентів у ливарних сплавах повинна перевищувати їхню максимальну розчинність у твердому стані і наближатися до евтектичного складу.

Для евтектичних сплавів характерна висока рідкоплинність, а склади, що відповідають області однорідних твердих розчинів,

Матеріалознавство

пластичні і внаслідок цього добре оброблюються тиском (прокатка, кування, пресування). Пластичність значно знижується при утворенні евтектики, тому в деформованих сплавах максимальна розчинність при евтектичній температурі звичайно відповідає верхній границі вмісту компонентів.

Практична частина

1. Побудувати на міліметровому папері діаграму стану сплавів (варіанти для студентів обирає викладач).

2. Заточками, вказаних викладачем на побудованих діаграмах, визначити:

а) фазові переходи сплавів від кімнатних температур до температур вище лінії ліквідус;

б) число ступенів вільності для різних температурних областей, які не мають фазових переходів;

в) кількість твердих і рідких фаз для конкретних температур;

г) хімічний вміст твердих і рідких фаз для тих самих температур.

Завдання 1. Два компоненти сплаву утворюють діаграму типу “механічна суміш”.

| Варіант | Температура плавлення | Температура евтектики | Склад евтектики |
|---------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | Cu – 1084°C, Bi – 271°C | 271°C | Bi – 99,8%, Cu – 0,2% |
| 2 | Al – 660°C, Si – 1417°C | 578 °C | Al – 88,3%, Si – 11,7% |
| 3 | Zn – 419°C, Cu – 1084°C | 266 °C | Zn – 17,4%, Cu – 82,6% |
| 4 | Sn – 232°C, Zn – 419 °C | 200 °C | Sn – 8%, Zn – 92% |

Завдання 2. Два компоненти сплаву утворюють діаграму типу “твердий розчин з необмеженою розчинністю”.

Матеріалознавство

Варіант 1. Температура плавлення золота (Au) –1064°C, срібла (Ag)–960°C. Температура кристалізації сплавів, що містять золото:

| Вміст золота, % | Початок кристалізації, °C | Кінець кристалізації, °C |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| 20 | 990 | 976 |
| 40 | 1013 | 993 |
| 60 | 1032 | 1012 |
| 80 | 1048 | 1035 |

Варіант 2. Температура плавлення міді (Cu) –1084°C, нікелю (Ni) –1455°C. Температура кристалізації сплавів, що містять нікель:

| Вміст нікелю, % | Початок кристалізації, °C | Кінець кристалізації, °C |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| 25 | 1215 | 1145 |
| 50 | 1315 | 1225 |
| 75 | 1395 | 1325 |

Варіант 3. Температура плавлення сурми (Sb) – 630°C, вісмуту (Bi) – 271°C. Температура кристалізації сплавів, що містять вісмут:

| Вміст вісмуту, % | Початок кристалізації, °C | Кінець кристалізації, °C |
|------------------|---------------------------|--------------------------|
| 10 | 620 | 510 |
| 30 | 590 | 400 |
| 50 | 540 | 340 |
| 70 | 470 | 300 |
| 90 | 350 | 280 |

Варіант 4. Температура плавлення титану (Ti) –1665°C, молібдену (Mo) –2620°C. Температура кристалізації сплавів, які містять молібден:

| Вміст молібдену, % | Початок кристалізації, °C | Кінець кристалізації, °C |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| 20 | 2050 | 1770 |
| 40 | 2250 | 1890 |
| 60 | 2420 | 2050 |
| 80 | 2530 | 2290 |

Завдання 3. Два компоненти сплаву утворюють діаграму типу “твердий розчин з обмеженою розчинністю”

| Варіант | Температура плавлення, °С | Температура евтектики, °С | Максимальна розчинність |
|---------|---------------------------|---------------------------|---|
| 1 | Al– 660 Cu– 1089 | 548 | Склад евтектики: Cu–33%, Al–67% Cu в Al– 5,7% при 548°С Cu в Al– 0,5% при 20°С Al в Cu– 7% при 548°С |
| 2 | Pb– 327 Sn– 232 | 183 | Склад евтектики: Sn– 61,9%, Pb– 38,1% Sn в Pb – 19,5% при 183°С Sn в Pb – 2% при 20°С Pb в Sn– 2,6% при 183°С |

У

кінці

звіту провести аналіз властивостей сплавів різного вмісту на діаграмах, запропонованих викладачем, та захистити звіт.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ З ТЕМИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ:

1. Поняття сплавів. Класифікація сплавів.
2. Які основні фази в сплавах Ви знаєте?
3. Що таке твердий розчин? Які види твердих розчинів Ви знаєте?
3. Назвіть основні типи діаграм стану сплавів.
4. У чому полягає правило фаз ?
5. У чому полягає правило відрізків?
6. Як пов'язані діаграми стану сплавів з їхніми властивостями?

Матеріалознавство
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

**ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ
СПЛАВІВ**

Мета: ознайомитися зі структурою сталей і чавунів у рівноважному стані, набутти навичок у визначенні виду сплаву, його структури за допомогою металографічного мікроскопа.

Прилади і матеріали: рисунки мікрошліфів, діаграма стану сплавів системи залізо-вуглець.

Теоретична частина

Від структури сплавів залежать показники якості і довговічність виробів. Знання взаємозв'язку експлуатаційних властивостей виробів зі структурою металів допомагає глибокому розумінню показників якості металогосподарських товарів, вимог стандартів щодо марок чавунів і сталей, твердості робочих частин ножів, ручних знарядь праці та інших виробів.

Мікроструктурою називають структуру, що спостерігається під мікроскопом (рис. 2.1).

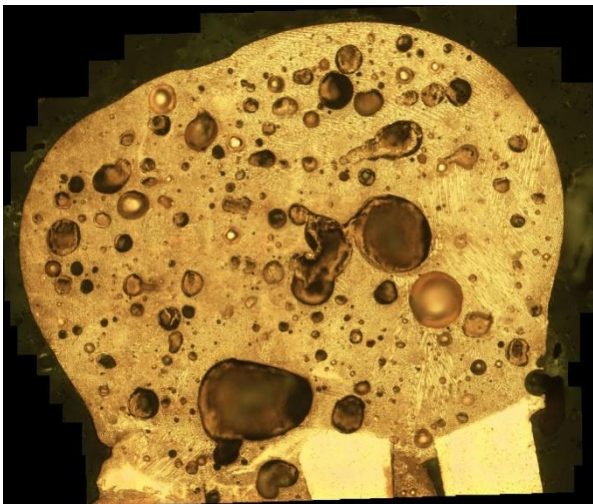


Рисунок 2.1 – Мікрофотографія мікроструктури оплавлення електродуги мідного провідника з характерними ознаками короткого замикання

Мікроструктурним аналізом (мікроаналізом) називають дослідження структури металів і їх сплавів за допомогою мікроскопа.

Мікроаналіз структури металів і їх сплавів дозволяє виявити величину, форму і розташування зерен; структурні складові сплавів, на основі чого можна орієнтовно визначити хімічний склад відпаленої вуглецевої сталі; забрудненість металу неметалевими

Матеріалознавство

вкрапленнями (сульфідами, оксидами, шлаком та ін.); мікродефекти (раковини, мікротріщини тощо).

Мікроаналіз звичайно проводять на спеціально підготовлених зразках, що називаються **мікрошліфами** (рис. 2.2).

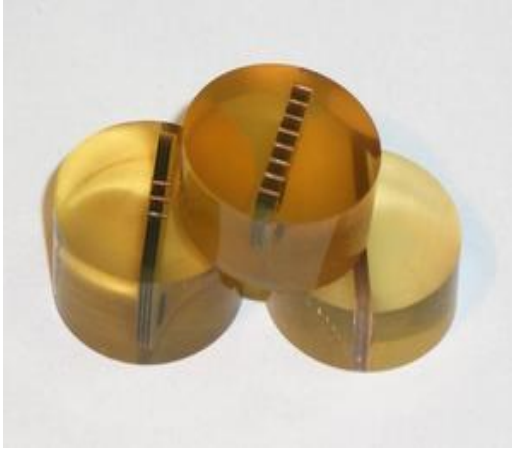


Рисунок 2.2 – Мікрошліф друкованої плати

Операціями приготування мікрошліфа є: відбір зразків, отримання плоскої поверхні, шліфування, полірування, травлення.

Зразки (рис. 2.3) отримують механічним (рубання, різання, фрезкування) чи анодно-механічним способом. Вплив наклепу і нагріву при цьому можна звести до мінімуму, застосовуючи малі подачі та охолодження.

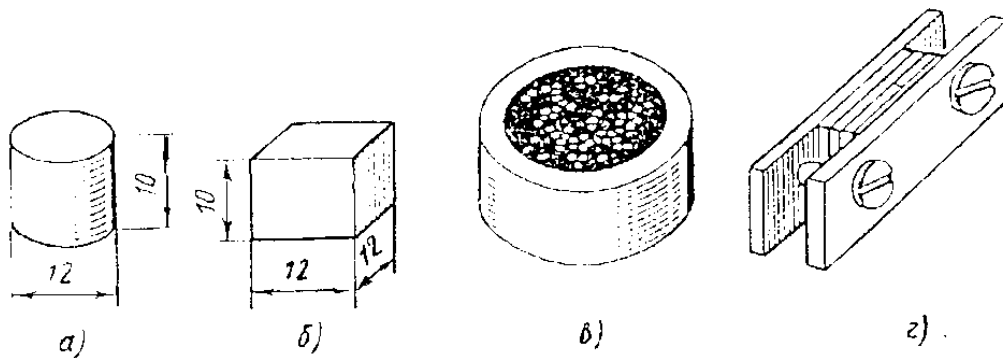


Рисунок 2.3 – Нормальні розміри металографічних зразків (а і б) і пристосування для монтування зразків малої розміру (в і г)

Для різання твердих матеріалів використовують абразивні відрізні круги. При візанні проб вогневі різання залишають припуск 15–20 мм для подальшої механічної обробки.

Отримання

плоскої поверхні зразка досягається заточуванням на абразивному крузі.

Матеріалознавство

Шліфування починають на шкурці з більшим зерном, потім поступово переходять на шкурку з дрібнішим абразивним зерном.

Шліфування застосовується для видалення наклепаного шару, грубих подряпин на поверхні шліфа і є підготовчою операцією перед поліруванням. Для отримання задовільної поверхні необхідно при кожному переході на новий абразив змінювати напрямок руху зразка на 90 градусів і шліфування вести до повного зникнення рисок від попередньої операції.

Можна шліфувати також спеціальними пастами, нанесеними на невеликі аркуші креслярського паперу.

Полірування. Після закінчення шліфування на наждачному папері найдрібнішої зернистості зразок полірують. Полірувати можна механічним, хіміко-механічним та електролітичними способами.

Механічне полірування проводиться на швидкообертливих дисках полірувального верстата. Диски обтягнуті сукном чи фетром і за час полірування змочуються тонким струменем водного розчину оксиду алюмінію чи оксиду хрому.

При *хіміко-механічному поліруванні* як полірувальний матеріал застосовують пасти, до складу яких разом з абразивами входять поверхнево-активні речовини, що хімічно впливають на поверхню оброблюваного матеріалу.

При *електричному поліруванні* зразок використовується як анод. Катодом слугує пластинка з нержавіючої сталі. Шліфовану поверхню зразка розташовують навпроти катода. Склад електроліту і густину струму вибирають залежно від матеріалу шліфа. При вмиканні струму відбувається розчинення виступів на шліфовальній поверхні (анодне розчинення), у результаті чого поверхня зразка поступово стає рівною (дзеркальною). Важливою перевагою цього способу полірування є відсутність наклепу поверхневих шарів, що має місце при механічному поліруванні. Після отримання дзеркальної поверхні зразок промивають водою і

Матеріалознавство

етиловим спиртом, потім просушують прикладанням фільтрувального паперу або струменем гарячого повітря.

При спостереженні полірованого зразка під мікроскопом будевидно світле поле, на котрому можна виявити різного роду неметалеві вкраплення чи дефекти: мікропористість, мікротрещини.

Для виявлення мікроструктури поліровану поверхню зразка піддають *травленню*, тобто дії розчинів кислот, лугів, солей. У результаті різної інтенсивності розчинення створюється рельєф поверхні шліфа.

При освітленні поверхні шліфа падаючим світлом в мікроскопі відбувається часткове розсіювання світла і утворення тінювих картин, за якими і можна судити про структуру сплаву.

Наприклад, для сталі й чавуну використовують 4 %-ний розчин нітратної кислоти в спирті. Травлення ґрунтується на тому, що полірована поверхня шліфа, зануреного в реактив, являє собою багатоелектродний гальванічний елемент. Різні структурні складові металу в електроліті є анодними і катодними ділянками; наприклад, в евтектоїдній сталі кристали цементиту будуть катодами, оскільки вони мають більш позитивний електродний потенціал, а кристали фериту – анодами.

При травленні анодні ділянки розчиняються, на поверхні зразків виникають западини, катодні ділянки залишаються незмінними. Утворені на анодних ділянках западини відбивають форму призми структурних складових сплаву.

ДІАГРАМА СТАНУ “ЗАЛІЗО-ЦЕМЕНТИТ”

Щоб добре розумітися на мікроструктурах залізовуглецевих сплавів, потрібно ретельно вивчити діаграму “залізо-цементит”.

Діаграма стану Fe–F₃C (залізо - цементит) репрезентована на рис. 2.4. На вісі абсцис на діаграмі наведений вміст вуглецю і цементиту. Кількість цементиту в сплаві дорівнює 15-кратному вмісту вуглецю. На діаграмі є вісім однофазних ділянок: на лівій вісі ординат

відрізок AN відповідає $\alpha(\delta)$ -залізу, відрізок NG – γ -залізу, відрізок нижче точки G – α -залізу.

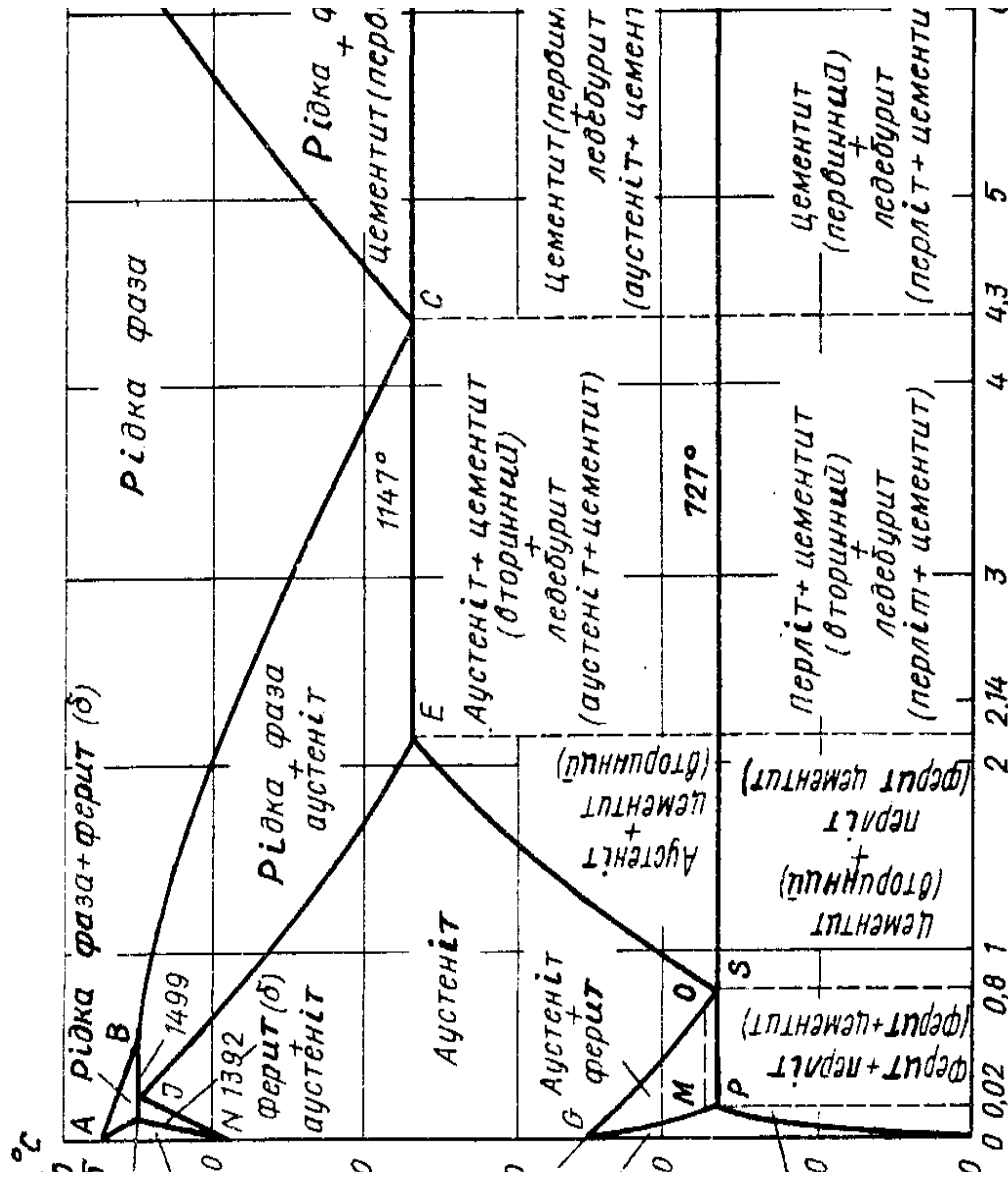


Рисунок 2.4. – Діаграма стану “залізо-цементит

Матеріалознавство

Оскільки кожна з цих модифікацій заліза взаємодіє з вуглецем, то діаграму стану можна розглядати як триповерхову, що складається з частин *I*, *II*, *III* (рис. 2.4). Всі модифікації заліза утворюють з вуглецем тверді розчини проникнення. В області *AHN* твердий розчин вуглецю в α -залізі–*ферит* (Φ) (іноді позначають δ -твердий розчин). В області *AJESG* твердий розчин вуглецю в γ -залізі–*аустеніт* (*A*). В області *GSO* твердий розчин вуглецю – в низькотемпературній модифікації α -заліза (Φ).

Розчинність вуглецю в α -залізі вельми незначна, при температурі 600°C становить близько 0,01%.

У γ -залізі розчинність вуглецю доходить до 2,14%.

Права ордината *DFKL* діаграми Fe–Fe₃C (рис. 2.4) відповідає цементиту. Область вище лінії ліквідус *ABCD* відповідає рідкому стану (*P*).

Складний вид діаграми Fe–Fe₃C пояснюється тим, що залізо володіє поліморфними перетвореннями у твердому вигляді.

Поліморфізм заліза обумовлює і поліморфні перетворення в залізовуглецевих сплавах. У залізовуглецевих сплавах можливі три перетворення, за яких число ступенів свободи дорівнює нулю, тобто має місце співіснування трьох фаз.

При 1499°C (лінія *HJB*, $P + \delta \rightarrow A$) має місце перитектичне перетворення (рис. 2).

При 1147°C (лінія *ECF*, $P_{4,3} \rightarrow E (A + \text{Ц})$ – ледебурит (*Л*)) має місце евтектичне перетворення.

У результаті евтектичного перетворення утворюється евтектична суміш аустеніту і цементиту, яка називається *ледебуритом*.

При 727°C (лінія *PSK*, $A_{0,8} \rightarrow E (\Phi + \text{Ц})$ – перліт) має місце евтектоїдне перетворення. Як результат цього перетворення утворюється евтектоїдна суміш фериту і цементиту, що називається *перлітом*.

Відсутність у структурі сплавів (з вмістом вуглецю менше 2,14%) крихкої евтектики робить сплави ковкими і пластичними, що є характерною особливістю сталей. У той же час наявність

Матеріалознавство

легкоплавкого ледебуриту в структурі сплавів (з вмістом вуглецю вище 2,14 %) збільшує ливарні якості цих сплавів.

Відповідно до діаграми Fe–Fe₃C залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю менше 2,14% називаються **сталями**, сплави з вмістом вуглецю більше 2,14 % –**чавунами**. Чавуни, що кристалізуються відповідно до діаграми Fe–Fe₃C, відрізняються високою крихкістю. Колір їх злому сріблясто-білий. Такі чавуни називаються *білими* (на відміну від сірих, ковких і високоміцних чавунів, у структурі яких вуглець в основному знаходиться у вигляді графітової фази).

За кількістю вуглецю і за структурою сталі поділяються на: *доевтектоїдні* ($0,02\% < C < 0,8\%$), структура перліт + ферит (П + Ф); *евтектоїдні* ($C = 0,8\%$), структура перліт (П); *заевтектоїдні* ($0,8\% < C < 2,14\%$), структура перліт + вторинний цементит (П+Ц_{II}). Типові структури сталей наведені на рис. 2.5а...е.

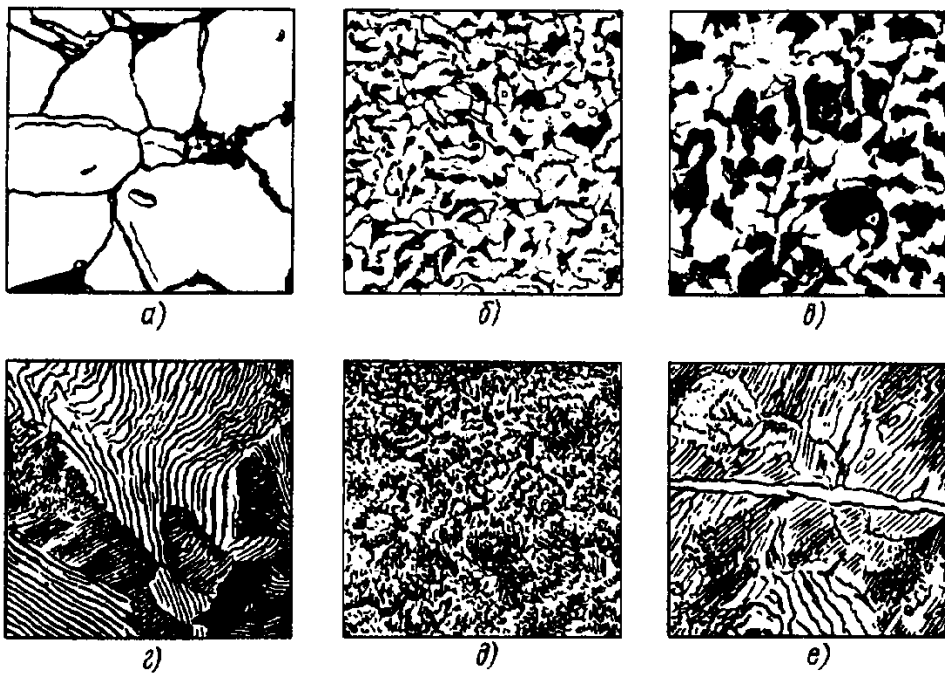


Рисунок 2.5 – Мікроструктури сталей:

a– $C = 0,05\%$, структура Ф + Ц_{II};

б– $C = 0,15\%$, доевтектоїдна сталь, структура Ф + П;

в– $C = 0,35\%$ доевтектоїдна сталь, структура Ф + П;

г– $C = 0,8\%$, евтектоїдна сталь, структура – пластинчастий перліт П;

д– $C = 0,8\%$, евтектоїдна сталь, структура – зернистий перліт П;

е– $C = 1,2\%$, заевтектоїдна сталь, структура П + Ц_{II}; ($\times 500$)

Матеріалознавство
Практична частина

1. Виконати завдання: розглянути й вивчити рисунки мікрошліфа і скласти короткий опис структури в таблиці:

| Рисунок структури | Назва елементів структури | Очікувані властивості |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| 2.5a | | |
| | | |
| 2.5e | | |

Питання для підготовки з теми та контролю знань студентів:

1. Яка послідовність операцій при виготовленні мікрошліфів?
2. Які оптимальні розміри мікрошліфів?
3. Яку поверхню отримують після шліфування?
4. Які Ви знаєте види полірування?
5. Яку поверхню отримують після полірування шліфа?
6. Які переваги електролітичного полірування перед механічним?
7. Які елементи структури можна визначити на травленій поверхні шліфа?
8. Яке призначення травлення?
9. Які речовини найчастіше використовуються для травлення мікрошліфів?
10. Що розуміють під терміном мікроструктура металу?
11. Назвіть основні елементи рівноважної структури сталі.
12. Який вигляд під мікроскопом має ферит, цементит, перліт?
13. Охарактеризуйте структуру сталей, що містять до 0,006% вуглецю; до 0,025% вуглецю; більше 0,025% вуглецю.
14. У чому полягають особливості структури сталей, що містять 0,8% вуглецю; 1% вуглецю?
15. Як впливає вміст вуглецю на властивості сталі?

Матеріалознавство
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**ПРОДУКЦІЯ ЧОРНОЇ МЕРАЛУРГІЇ. ЗАГАЛЬНА
ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛІВ. ЧАВУНИ**

Мета: вивчення класифікації металів і сплавів; асортименту та характеристик чавунів.

Матеріали та обладнання: зразки чавунів, нормативна документація.

Питання для підготовки з теми та контролю знань студентів:

- Види та основні властивості металів.
- Класифікація залізовуглецевих сплавів.
- Хімічний склад чавунів.
- Як класифікують чавуни?
- Наведіть характеристику сірих, високоміцних і ковких чавунів.
- Наведіть характеристику легованих чавунів.
- Наведіть характеристику ливарних і перероблених чавунів.

Теоретична частина

Загальна характеристика металів і сплавів

Метали є найбільш поширеним конструкційним матеріалом в обладнанні харчової та переробної промисловості України.

Метали – тверді при кімнатній температурі (крім ртуті), непрозорі кристалічні тіла, що мають характерний металевий блиск, ковкість, високу електро- і теплопровідність, міцність, в'язкість, пластичність.

За прийнятою у металознавстві класифікацією метали як сировина можуть бути згруповані за умовною комплексною ознакою: *чорні та кольорові*. До чорних металів відносяться залізо і його сплави з вуглецем (сталь і чавун) та марганець і хром; до кольорових (не залізних) – решта металів. Як чорний метал, марганець входить до складу практично всіх вуглецевих і легованих

Матеріалознавство

сталей та чавуну. Хром також є компонентом великої кількості легованих залізовуглецевих сплавів.

Метали мають властивості:

- фізичні – густина, температура плавлення, коефіцієнт теплового розширення, електричний опір, електропровідність;
- хімічні – здатність протидіяти негативному впливу доквілля, кислот, лугів та інших хімічних сполук – корозійна стійкість;
- механічні – міцність, пластичність, твердість, крихкість, пружність, стійкість до стирання, стійкість до зношування, повзучість;
- технологічні – здатність до обробки різанням і тиском, зварюваність, ливарні властивості, зміцнюваність.

Металеві сплави – це сполуки двох або декількох металів, один з одним або з неметалами (металоїдами). Кількість сплавів, які можна одержати, практично не обмежена, а їх властивості, що визначаються хімічним складом, вельми різноманітні. Тому у техніці найбільше розповсюдження одержали сплави.

Металеві сплави класифікують за такими ознаками:

- за призначенням: загального призначення і спеціальні;
- за кількістю елементів (компонентів): подвійні (бінарні) і складні;
- за наявністю спеціальних домішок: нелеговані та леговані (із спеціальними добавками), у тому числі низьколеговані, середньолеговані і високолеговані;
- за структурою: тверді розчини, хімічні сполуки і механічні суміші;
- за способом отримання виробів: такі, що деформуються і ливарні;
- за хімічним складом і властивостями: прецизійні (з нормованим складом і специфічними властивостями) та звичайні.

Загальна характеристика сталей та чавунів

Матеріалознавство

Залізовуглецеві сплави – сталі та чавун мають виключно широке застосування в машинобудівельній та інших галузях промисловості.

В залізі вуглець розчиняється обмежено і утворює за масової частці 6,67% хімічну сполуку Fe_3C , яка називається цементитом.

Структура залізовуглецевих сплавів знайшла відображення у діаграмі залізо-цементит (вуглець у складі цементиту), основні залежності за діаграмою наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Класифікація залізовуглецевих сплавів

| Характеристика | Вміст вуглецю, % | | | | | | |
|----------------|------------------|----------------|-------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| | <0,025 | 0,025-0,8 | 0,8 | 0,8-2,14 | 2,14-4,3 | 4,3 | 4,3-6,67 |
| Структура | Ферит | Перліт + ферит | Перліт | Перліт + вторинний цементит | Ледебурит + перлітно-цементитна суміш | Ледебурит | Ледебурит + первинний цементит |
| Клас | Технічне залізо | Сталь | | | Чавун | | |
| Підклас | - | До евтектоїдна | Евтектоїдна | Заевтектоїдна | Доевтектичний | Евтектичний | Заевтектичний |

Діаграма Fe-C є основою для класифікації залізовуглецевих сплавів. В залежності від вмісту вуглецю сплави системи Fe- Fe_3C поділяють на три великі класи:

- технічне залізо (масова доля вуглецю до 0,025%);
- сталі (0,025 – 2,14%);
- чавуни (2,14 – 6,67%).

Інколи технічне залізо відносять до низьковуглецевої сталі. Кожний клас залізовуглецевих сплавів за видом структури може

Матеріалознавство

підрозділятися на підкласи. Наведена класифікація відображає реальні зміни властивостей вуглецевих сталей і чавунів в залежності від вмісту вуглецю. Маловуглецеве технічне залізо має високу пластичність і малу міцність. Сталь характеризується високою міцністю та достатньою пластичністю. Чавуни мають високу твердість і хрупкість та низьку пластичність. Подібні зміни властивостей зі збільшенням кількості вуглецю обумовлені змінами співвідношення м'якого і пластичного фериту та твердого і крихкого цементиту.

Класифікація і асортимент чавунів

Чавун – один з головних конструкційних матеріалів: 20-40% маси різних машин, механізмів і устаткування складають чавунні деталі. Переваги чавуну, що визначають його широке застосування, – простота отримання і дешевизна, технологічність (один з кращих ливарних сплавів), високі характеристики міцності, зносостійкості, в'язкості, теплостійкості та корозійної стійкості.

Чавун – сплав заліза з вуглецем (2,5 – 4,0%). Вуглець у чавуні присутній у зв'язаному (цементит Fe_3C) і у вільному (графітні включення) стані. Кількість і форма включень визначають основні механічні властивості чавуну. Чим менше графічних включень, чим вони дрібніші і більшій мірі ізольовані, тим вища міцність чавуну.

Чавуни класифікують за такими ознаками: за вмістом зв'язаного вуглецю, за формою графітних включень, за хімічним складом та призначенням.

За вмістом зв'язаного вуглецю розрізняють такі види чавунів:

- *білий* – весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані. На зламі він має світлий металевий блиск, тому і називається білим. Його частка – понад 80% чавунів, що виплавляється у домнах, і основна його кількість переробляється на сталь;
- *половинчастий* – значна частина вуглецю (більше 0,8%) знаходиться у зв'язаному стані;
- *сірий* – за вмістом і способом зв'язку вуглецю поділяється на різновиди: перлітовий (знаходиться у зв'язаному стані 0,7-0,8%

Матеріалознавство

вуглецю), феритно-перлітовий (0,1-0,7%), феритний (весь вуглець знаходиться у вигляді графіту).

Види чавуну за формою графітних включень: сірий; високоміцний; ковкий.

Сірийчавун – графіт у формі пластин різного розміру, добре обробляється різанням і серед ливарних чавунів є найпоширенішим. Маркується буквами **СЧ** і **цифрами**, що вказують середню величину тимчасового опору при розтягуванні ($\text{МПа} \times 10^{-1}$). Відливки з сірого чавуну використовують для виготовлення маловідповідальних деталей – чавуни марок СЧ 10, СЧ 15; для відповідальних деталей (станин верстатів і механізмів, поршнів, циліндрів, блоків двигунів тощо) – чавуни марок СЧ 18, СЧ 21, СЧ 24, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45.

Високоміцний чавун – має кулясті графітні включення. Виробляють обробкою розплавленого чавуну присадками магнію, церію або інших лужних або лужноземельних металів. Має механічні властивості, що не поступаються вуглецевій сталі (високу пластичність, в'язкість, теплостійкість, зносостійкість), міцність в 3 рази більша ніж у сірого чавуну, хороші ливарні властивості. Обробляється різанням. Маркується буквами **ВЧ** і **цифрами**: перші дві – середнє значення тимчасового опору при розтягуванні ($\text{МПа} \times 10^{-1}$), інші – відносне видовження, %.

Чавуни марок ВЧ 42-12, ВЧ 38-17, ВЧ 45-5, ВЧ 50-2, ВЧ 60-2, ВЧ 80-3, ВЧ 100-4, ВЧ 120-4 застосовують для виготовлення колінчастих валів, кришок циліндрів та інших деталей двигунів; деталей прокатних станів, ковальсько-пресового, хімічного і нафтового устаткування.

Ковкий чавун – графіт має форму пластівців. Одержують відпалом (тривалим нагрівом при високих температурах) відливок білого чавуну. За властивостями займає проміжне місце між сірими чавунами і сталями (має хороші ливарні властивості, достатньо високу міцність і пластичність). Такі чавуни маркують буквами **КЧ** і

Матеріалознавство

цифрами: перші дві – тимчасовий опір при розтягуванні, ($\text{МПа} \times 10^{-1}$), інші – відносне видовження, %. Наприклад, КЧ 30-6, КЧ 35-10, КЧ 45-7, КЧ 70-2. Ковкий чавун використовують для виготовлення деталей, що експлуатуються за значних динамічних і статичних навантажень.

Види чавунів за хімічним складом: звичайні; модифіковані; леговані.

Модифіковані чавуни одержують додаванням в рідкий чавун перед розливанням спеціальних добавок – модифікаторів (феросиліцію, силікокальцію, графіту тощо), що дозволяє підвищити механічні властивості чавунів.

Леговані чавуни мають у складі спеціальні легуючі елементи (хром, нікель, мідь, титан, алюміній, молібден), що помітно поліпшують його механічні, фізичні і технологічні властивості. За сумарним вмістом легуючих елементів ці чавуни бувають низько- (до 3%), середньо- (3-10%) і високолеговані (понад 10%). Якщо легуючі елементи вже містяться в залізняку, то чавуни називають природно легованими.

Леговані чавуни є конструкційні, зносостійкі (ЧХ3Т, ЧХ9Н5, ЧХ28Д2, ЧГ6С3Ш та інші), антифрикційні (АЧС-1, АЧС-2, АЧВ-1, АЧВ-2, АЧК-2 та інші), немагнітні, корозійностійкі, жароміцні (ЧН15Д3Ш, ЧС15М4, ЧХ2 та інші), жаростійкі (ЧС5Ш, ЧЮ7Х2, ЧЮ30), ростостійкі (здатні чинити опір незворотному збільшенню об'єму при нагріванні до високих температур). У маркуванні легованих чавунів букви відображають їх властивості: Ч – чавун; легуючі елементи: Х – хром, С – кремній, Г – марганець, Д – мідь, Н – нікель, М – молібден, Т – титан, П – фосфор, Ю – алюміній, буква Ш – кулясті графічні включення. Цифри після букв, що позначають легуючі елементи, вказують на їх вміст у % (якщо цифра відсутня, то вміст легуючого елемента менше 1%).

Класифікація видів чавунів за призначенням: ливарні чавуни та переробні чавуни.

Матеріалознавство

Ливарні чавуни – виготовлення виробів методом лиття. Поставляється у вигляді готових відливок або у формі чушок масою 18-45 кг. Ливарний чавун виготовляють марок Л1...Л6, а також марок ЛР1... ЛР7, де Р – рафіновані магнієм, цифра – порядковий номер в залежності від вмісту кремнію.

Чушкові ливарні чавуни бувають: коксові (ЛК), деревно-вугільні (ЛД), спеціальні (КК - для відливання ковкого чавуну, коксовий; КД – деревно-вугільний; ВД – для відливання валів прокатних станів, деревно-вугільний; ЛКА – ливарний коксовий для авіапромисловості). Природно леговані хромонікелеві чавуни мають позначення: ЛКЧ1... ЛКЧ6, ХНК2... ХНК5, ХНД2...ХНД5. Цифри в маркуванні позначають порядковий номер, який залежить від вмісту кремнію.

Переробні чавуни призначені для перероблення на сталь. В залежності від призначення виготовляють трьох видів:

- для сталеплавильного виробництва марок П1 і П2 та ливарного виробництва марок ПЛ1 і ПЛ2;
- фосфористий марок ПФ1, ПФ2, ПФ3 (містять 1-2% P);
- високоякісні марок ПВК1, ПВК2, ПВК3 (фосфору та сірки менше 0,1%).

У доменних печах виплавляють три види переробних чавунів: коксовий, фосфористий, дуже якісний. Найбільше виготовляють коксових чавунів. З них варять сталь у мартенівських печах та конвертерах. З фосфористих чавунів, які містять 1-2 % фосфору, варять сталь у мартенівських печах. Високоякісні чавуни мають найменшу кількість шкідливих домішок (фосфору та сірки менше 0,02%). З цих чавунів варять високоякісні сталі в дугових електропечах.

По масовій частці марганцю, фосфору та сірки передільні та ливарні чавуни ділять на групи, класи, категорії. Хімічний склад чавуну представлений в таблиці 3.2.

Матеріалознавство

Таблиця 3.2 – Хімічний склад чавуну, (%)

| Чавун | Вуглець | Кремній | Марганець | Фосфор | Сірка |
|--------------|---------|---------|-----------|--------|---------|
| Сірий | 2,9–3,7 | 1,2–2,6 | 0,5-1,1 | до 0,2 | до 0,12 |
| Високоміцний | 3,2-3,8 | 1,9-3,8 | 0,5-0,6 | до 0,1 | до 0,2 |
| Ковкий | 2,4-2,7 | 1,0-1,4 | 0,2-1,0 | до 0,1 | до 0,2 |

Основні методи зміни властивостей чавуну – регулювання його хімічного складу. Хімічний склад чавуну може бути змінений за вмістом постійних домішок і спеціальним легуванням. Чим вище вміст вуглецю, тим гірше механічні властивості чавуну, але для забезпечення високих ливарних властивостей вміст вуглецю повинен складати не менше за 2,4%. Кремній сприяє збільшенню кількості графіту; марганець перешкоджає графітизації чавуну; фосфор покращує ливарні властивості, підвищує твердість і крихкість. Сірка є шкідливою домішкою. Вона погіршує ливарні властивості, збільшує схильність до утворення тріщин.

Зміна умов кристалізації зводиться в основному до регулювання швидкості охолодження чавунних відливок. Зменшення швидкості охолодження приводить до збільшення кількості графітних включень, що викликає зниження міцності і пластичності чавуну. Для підвищення механічних властивостей і зняття напруги застосовують термічну обробку чавуну за різних умов. Так, для зняття напруги в крупних відливках застосовують їх відпал за температури 500÷600⁰С протягом 2-10 годин і тривале охолодження. Внутрішня напруга при цьому знижується на 80-90%. Для підвищення механічних властивостей чавунів проводять їх нагрів до 950⁰С, охолодження до 600⁰С, підігрів до 725⁰С і подальша тривала витримка при цій температурі. Для переробки білого чавуну в ковкий відпал проводять в дві стадії: спочатку відливки витримують за температури 950÷970⁰С, потім охолоджують і тривалий час витримують за температури 720÷740⁰С.

Контроль якості рідких і твердих чавунів здійснюється за їх хімічним складом. Документом, що засвідчує якість чавуну, є сертифікат, який містить дані повного хімічного аналізу.

Завдання 1. Вивчити загальну характеристику металів та сплавів.

Порядок виконання:

1.1 Ознайомитись з основними властивостями металів. Скласти схему властивостей металів.

1.2 Вивчити класифікацію металевих сплавів. Скласти схему класифікації сплавів за різними ознаками.

Завдання 2. Вивчити класифікацію чавунів за різними ознаками.

Порядок виконання:

2.1 Скласти схему класифікації чавунів за різними ознаками.

Завдання 3. Ознайомитись з хімічним складом сірих, високоміцних і ковких чавунів. Проаналізувати вплив основних елементів в складі чавунів на механічні властивості чавунів.

3.1 Заповнити таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Види чавуну, маркування та властивості

| Вид чавуну | Форма графіту | Маркування чавуну | Властивості чавуну |
|--------------|---------------|-------------------|--------------------|
| сірий | | | |
| високоміцний | | | |
| ковкий | | | |
| легований | | | |

ПРОДУКЦІЯ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ. СТАЛІ

Мета: Вивчити класифікацію, асортимент, властивості та призначення сталі.

Матеріали та обладнання: зразки сталі, нормативна документація.

Питання для підготовки з теми та контролю знань студентів:

- Способи виробництва сталі.
- Поняття про сталь та її хімічний склад.
- Основні легуючі елементи сталі.
- Методи покращення якості сталі.
- Характеристика вуглецевих сталей.
- Характеристика легованих сталей.

Теоретична частина

Загальна характеристика сталі

Сталь – це сплав заліза з вуглецем і іншими елементами, де вміст вуглецю становить 0,03 – 2% (найчастіше – 0,1-1,4%).

За хімічним складом сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю і домішок кремнію, марганцю, сірки та фосфору.

Сировиною для виробництва сталі є переробний чавун, феросплави, технічно чисті метали (марганець і хром) і вторинні чорні метали (лом і відходи). Переробка чавуну у сталь (видалення вуглецю і частини домішок) здійснюється способами: конвертерним, мартенівським, електроплавильним.

Основні металургійні методи підвищення якості сталі: безперервне розливання, вакуумування рідкої сталі, електрошлакова переплавка, рафінування рідким синтетичним шлаком.

Матеріалознавство

Властивості сталі визначає її хімічний склад. Вуглець – невід’ємна складова, має основний вплив на властивості, вміст становить 0,1-1,4%; збільшення вмісту підвищує твердість і міцність, зменшує пластичність і в’язкість.

Компоненти сталі (домішки і добавки) розділяють на 4 групи: постійні, приховані, випадкові і спеціальні.

Постійні домішки: марганець, кремній, сірка і фосфор. Марганець відносять до постійних домішок за вмістом менше 1% і до легуючих елементів за вмістом понад 1%; розкислювач; підвищує міцність, зносостійкість, ріжучі властивості сталі. Кремній – розкислювач сталі і легуючий елемент (за вмісту понад 0,8%); збільшує міцність, пружність, корозійну стійкість і жаростійкість, знижує ударну в’язкість. Сірка робить сталь “червоноламкою”. Фосфор, підвищує твердість, знижує ударну в’язкість і викликає “холодостійкість” – крихкість за температур нижче мінус 50°C.

Приховані домішки: кисень, азот і водень. Вони частково розчинені в сталі і присутні як неметалічні включення (оксиди, нітриди); є шкідливими, оскільки розпушують метал під час його гарячої обробки, викликають появу в тілі металу тріщин (флокен).

Випадкові добавки: мідь, цинк, свинець, хром, нікель та інші метали, що потрапляють в сталь з шихтами; в залежності від виду домішки вони або покращують, або погіршують якість сталі.

Спеціальні добавки (легуючі елементи) – вводять для надання сталі певних властивостей. Найчастіше це марганець, кремній, хром, нікель, молібден, вольфрам, ванадій, бор, ніобій, цирконій, мідь, селен і телур.

Сталь класифікують за такими ознаками:

- хімічний склад – вуглецева і легована;
- спосіб виробництва – конвертерний, мартенівський і електроплавильний;
- спосіб виготовлення виробів – ливарна, кована, штампована та ін.;
- спосіб розкислення – кипляча, напівспокійна, спокійна;

Матеріалознавство

- призначення – конструкційна, інструментальна, будівельна, жаростійка та ін.;
- структура – перлітного, мартенівського і аустенітного класів;
- якість – звичайної якості, якісна, високоякісна.

Основною ознакою класифікації сталі є її хімічний склад, за яким сталь є вуглецева або легована.

Вуглецева сталь

Вуглецева сталь не містить спеціальних домішок. Вона буває конструкційною та інструментальною.

Конструкційна вуглецева сталь містить 0,1 – 0,85% вуглецю і застосовується для виготовлення конструкцій, споруд, деталей машин.

Конструкційна вуглецева сталь виготовляється звичайної якості, якісною, а також підвищеної і високої здатності оброблятися різанням (автоматна).

Сталь вуглецева конструкційна звичайної якості застосовується для виготовлення зварних і клепаних конструкцій у будівництві і машинобудуванні. Вона призначена для виготовлення прокату гарячекатаного і холоднокатаного, заготовок і виробів різного призначення.

Марки сталі: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

У маркуванні сталі вуглецевої звичайної якості букви Ст означають “сталь”, цифри (від 0 до 6) – умовний номер марки, залежно від хімічного складу і механічних властивостей. Після номера марки додають індекси **кп** –кипляча, **пс** – напівспокійна, **сп** – спокійна. Для позначення сталі з підвищеним вмістом марганцю після номеру марки ставлять букву Г (Ст3Гпс).

За характеристиками якості сталь поділяють на групи А, Б, В. Група А в маркуванні не позначається.

Сталь вуглецева якісна конструкційна використовують переважно в машинобудуванні; порівняно із сталлю звичайної якості

Матеріалознавство

до неї передбачають жорсткіші вимоги за вмістом шкідливих домішок, особливо фосфору і сірки (вміст сірки обмежений 0,04%, фосфору – не більше як 0,035%).

Сталь вуглецева якісну конструкційну випускають марок 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60, кипляча (кп), напівспокійна (пс), спокійна (сп). Цифра в позначенні марки вказує на середній вміст вуглецю у *сотих долях відсотка*. Якщо сталь термічно оброблена, у маркуванні є позначення буквою Т, якщо нагартована – Н.

Сталь конструкційна підвищеної і високої обробки різанням призначена для оброблення на металорізальних верстатах-автоматах різних деталей (тому її називають також автоматна).

За хімічним складом має шість груп: вуглецева сірчиста, вуглецева свинецьвмісна, вуглецева сірчистоселениста, хромово сірчистоселениста, сернистомарганцевистасвинецьвмісна, легована свинецьвмісна. Марки сталі: А11, А12, А20, А30, А35, А40Г, АС40, А35Е, А45Е, А40ХЕ, АС14, АС35Г2, АС45Г2, АС12ХН, АС14ХГН, АС19ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ, АС40Х. В маркуванні: А – автоматна, С – свинець, Е – селен, Х – хром, Г – марганець, Н – нікель, М – молібден; цифра – середній вміст вуглецю у *сотих долях відсотка*.

Сталь інструментальна вуглецева містить 0,65 – 1,4% вуглецю, призначена для виготовлення ріжучого, вимірювального, штампувального та інших видів інструменту.

Сталь інструментальна вуглецева є марок У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. У позначенні сталі букви означають: У – вуглецева, А – високоякісна, Г – з підвищеним вмістом марганцю, цифра – середній вміст вуглецю в *десятих долях відсотка*.

Легована сталь

Легована сталь – це сталь, до складу якої вводять легуючі елементи в кількостях, що помітно змінюють її структуру і

Матеріалознавство

властивості. Хімічний склад легованої сталі є основним показником, що визначає її якість та галузі використання. За вмістом легуючих елементів леговані сталі випускають низьколеговані (до 5%), середньолеговані (5-10%) та високолеговані (> 10%).

За призначенням леговані сталі є конструкційні, інструментальні і з особливими властивостями.

Маркування легованих сталей буквено-цифрове: перша 1–2 - значна цифра вказує на середній вміст вуглецю в десятих (для інструментальних) чи сотих (для інших) долях відсотка. Якщо вуглецю в сталі менше 0,04% – знак 00, менше 0,08% – 0; 1% і більше – цифра не проставляється. Літери вказують найменування легуючих елементів: А – азот (всередині маркування), М – молібден, Г – марганець, С – кремній, Х – хром, Н – нікель, Т – титан, В – вольфрам, Ф – ванадій, Ю – алюміній, К – кобальт, Ц – цирконій, Б – ніобій, П – фосфор, Р – бор, Д – мідь, Е – селен.

Цифри після букв означають середній вміст цих легуючих елементів у відсотках. Відсутність цифри означає, що їх вміст менше як 1,5%. Літера А в кінці означає високоякісну леговану сталь. У швидкорізальних сталях цифра після букви Р вказує середній вміст вольфраму у відсотках. У маркуванні деяких легованих сталей спочатку проставляють букви, що вказують на їх використання, наприклад, Р – швидкорізальна, Ш – шарикопідшипникова, Э – електротехнічна, Е – для постійних магнітів.

Для позначення марок сталі, що переплавляється, застосовують букви, які наводять через тире після індексації хімічного складу. Наприклад, Ш – електрошлакова переплавка, ВД – вакуумно-дугова, ЕЛ – електронно-променева, ПД – плазмено-дугова, ВН – вакуумно-індукційна, ШД – електрошлакова і вакуумно-дугова, ШЛ – електрошлакова і електронно-променева і т.п.

Леговані конструкційні сталі бувають якісні і високоякісні; за вмістом вуглецю – низько вуглецеві (до 0,3%) і середньо вуглецеві (0,3-0,55%); за вмістом легуючих елементів – низько- і середньолеговані.

Матеріалознавство

Конструкційна низьколегована сталь містить до 3 – 4% легуючих компонентів і не більше як 0,22% вуглецю.

Сталь використовують у вигляді листів, сортового фасонного прокату в будівництві і машинобудуванні, добре зварюється. Марочний сортамент налічує 29 марок (09Г2, 09Г2Д, 12ГС, 09Г2СД, 10Г2СД, 15ГФ, 15ГФД, 15Г2СФД та інші).

Конструкційна середньолегована сталь за хімічним складом і властивостями поділяють на три категорії – якісна, високоякісна (А) і особливо високоякісна (Ш). Марочний сортамент сталі налічує 13 груп (хромиста, марганцевиста, хромокремнемарганцева та інші) і понад 80 марок (30Х3МФ, 12Х2Н4Ф, 38Х2Н2МА, 25ХГНМТ та інші).

Сталь використовують для виготовлення валів, трибів, дисків та інших деталей у машинобудуванні, приборо-, турбо-, моторобудуванні і автотракторобудуванні.

Інструментальні леговані сталі порівняно з інструментальними вуглецевими відрізняються більшою теплостійкістю і прогартованістю, тому можуть використовуватися за високих швидкостей різання і для обробки твердих металів.

Для виготовлення ріжучого інструменту використовують сталі з основним легуючим елементом – хромом (13Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГФ), а також молібденом (Х12МФ, 5Х2МНФ) чи ванадієм (9Г2Ф, Х6ВФ, 4ХМНФС).

Швидкорізальні сталі – це сталі, що леговані вольфрамом, молібденом, ванадієм і кобальтом, наприклад – Р18, Р6М5, Р6М5Ф3, Р9М4К8 та ін. Цифри після літери Р показують середню масову частку вольфраму в цілих %, а цифри після літер Ф, К, М – масову частку ванадію, кобальту та молібдену в цілих %. У позначенні не вказують вміст хрому та вуглецю.

Для виготовлення штампів, що пластично деформують метал за нормальних температур, застосовують сталі марок Х12Ф, Х6ВФ, 7ХГ2ВМ, 6Х6В3МФС та інші. Вони повинні мати високу твердість, зносостійкість і міцність у поєднанні з достатньою в'язкістю.

Матеріалознавство

Сталі для виготовлення штампів, що деформують метал у гарячому стані, повинні мати високі механічні властивості за підвищених температур, окалиностійкість і здатність не утворювати тріщини при багаторазових нагріваннях і охолодженнях.

Для виготовлення вимірювальних інструментів зазвичай застосовують сталі марок X, ХВГ, Х12Ф та інші.

До легованих сталей з особливими властивостями відносять жаростійкі (окалиностійкі), жароміцні, корозійностійкі, магнітні, ресорнопружинні, шарикопідшипникові, зносостійкі та сталі з високим електроопором.

Жаростійкі (окалиностійкі) сталі стійкі проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах за температур понад 500°C. В них для отримання захисної оксидної плівки у якості легуючих елементів застосовують хром, нікель, алюміній (15Х5, 15Х28, 15Х25Т, 10Х23Н8 та інші). Жароміцні сталі застосовують для роботи в навантаженому стані при високих температурах протягом певного часу, використовуючи їх здатність опиратися повзучості і руйнуванню. Для виготовлення деталей, що працюють при температурах 400-600°C, використовують сталі марок 15ХМ, 12Х1МФ, 40Х9С2, 15Х11МФ; при 600-750°C – 09Х14Н16Б; при температурах до 1000°C – ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ та інші.

Корозійностійкі (нержавіючі) сталі стійкі проти електрохімічної корозії за рахунок введення до їх складу елементів, що утворюють захисні плівки, які мають високий електрохімічний потенціал. Вони є хромисті і хромонікелеві, наприклад, 12Х13, 20Х13, 12Х25Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т та інші.

Нержавіючі хромисті сталі мають вміст хрому 13-27%. Сталі марок 08Х13, 12Х13 мають підвищену пластичність і використовуються для виготовлення апаратів та деталей, що працюють в слабкоагресивних середовищах. Деталі з цих сталей – клапани гідравлічних пресів, арматура, шнеки і вали в апаратах харчових виробництв, що працюють у режимі ударних навантажень.

Зі сталей марок 30Х13 і 40Х13 виробляють хірургічні інструменти, пружини, карбюраторні голки.

Матеріалознавство

Хромонікелеві нержавіючі сталі мають вищу корозійну стійкість і кращі технологічні властивості (зварювання, обробка тиском) у порівнянні з хромистими сталями. У виробничій сфері найчастіше використовують сталь, що містить 18% хрому, 9-13% нікелю і 0,03-0,12% вуглецю. Хромонікелеві нержавіючі сталі дорожчі, оскільки до їх складу входить дефіцитний нікель. У ряді марок його частково замінюють дешевим марганцем. Замінником сталі 10X18H9T є дешева сталь 10X14Г14Н4Т, де марганцю приблизно 14%. Сталі марок 12X18H9, 04X18H10, 12X18H10T, 03X18H12 широко використовують в харчовій, хімічній і нафтохімічній промисловості.

Магнітні сталі випускають магнітно-тверді (для виготовлення постійних магнітів: EX5K5, EX9K15M2), магнітно-м'які (для виготовлення якорів і полюсів електротехнічних машин, магнітопроводів, статорів і роторів електродвигунів, силових трансформаторів: Э11, Э12, Э13, Э21, Э22, Э31, Э41, Э48) і парамагнітні (для виготовлення немагнітних деталей, приладів і машин: 17X, 18H10, 12X18H10T, 55Г9Н9Х3).

Ресорно-пружинні сталі мають високий опір до малих пластичних деформацій і високою межею витривалості при достатній пластичності, стійкі до крихкого руйнування. Найчастіше для виготовлення пружин і ресор використовують леговані сталі марок 50С2, 55С2А, 70С3А, 60С2ХФА, 60С2ВА, 60С2Н2А, 50ХГА, 50ХФА та ін.

Шарикопідшипникові і роликотподшипникові сталі повинні мати високу прокалюваність на велику глибину, твердість, зносостійкість, опір до контактної втомлюваності. Леговані шарикопідшипникові сталі випускають марок ШХ15СГ, 20Х20Н4А, 18ХГТ, ШХ4, 95Х18 та ін.

Зносостійкі сталі використовують при виготовленні деталей, що працюють на знос в умовах абразивного тертя, високого тиску і сильних ударів. До них відносять сталі марок 30Х10Г10, 10ХГ13Л і ін.

Матеріалознавство

Сталі з високим електроопором застосовують для виготовлення нагрівальних елементів промислових, лабораторних і побутових приладів та печей. Вони мають високий електричний опір, достатню міцність і окалиностійкість, випускають марок Х13ЮЧ, ОХ23Ю5, ОХ27Ю5А та ін.

Практична частина

Завдання 1. Вивчити хімічний склад сталі. Вивчити вплив компонентів сталі (домішок і добавок) на властивості сталі. Результати оформити у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Компоненти хімічного складу сталі

| Група | Назва | Вплив компонентів на властивості сталі |
|-------|-------|--|
| | | |

Завдання 2. Вивчити класифікацію сталі.

Порядок виконання:

2.1 Скласти загальну схему класифікації сталі.

2.2 Скласти схему класифікації сталі за основними її видами (за хімічним складом). Вказати основні види вуглецевих і легованих сталей, їх назву та маркування.

Матеріалознавство
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Навчальна література

1. Материаловедение: Учебник для вузов / Ю.Л.Солнцев, Е.И.Пряхин, Ф. Войткун– М.: МИСИС, 1999. – С. 128-170.
2. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. — 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 37- 67.
3. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів : Навч. посіб. / В. В.Атаманюк. – К.: Кондор, 2006. – 526 с.
4. Беднарчук М.С., Полікарпов І.С. Товарознавство сировини, матеріалів та засобів виробництва. Навчальний посібник. – К.:Центр навч. літератури, 2006.–560с.
5. Войчак А.В. Товароведение сырья и материалов: Учеб. пособие. – К.:Вицшк., 1989. – 279 с.
6. Войчак А.В. Мальченко В.М. Ассортиментный справочник по промышленному сырью и материалам. – К.:Техника, 1991. – 184 с.
7. Новые материалы. Учебное пособие/ Таран Ю.Н. и др.- Д. Арт-Пресс, 2001. – 154 с.
8. Полянский С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали. – К.:”Либідь”, 2003.-446 с.
9. Промышленные материалы / Алексеев Н.С., Карлов В.Т., Новак Ю.А. и др. – М.: Высшая школа, 1981. – 288 с.

Допоміжна література

10. Збожна О.М. Основи технології. Навчальний посібник. – Тернопіль:Карт-бланш, 2002.–486с.

| | |
|--|-----------|
| <u>Вступ</u> | 3 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. | |
| Побудова та аналіз діаграм стану сплавів. Зв'язок діаграм з властивостями сплавів..... | 4 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. | |
| Вивчення мікроструктури залізовуглецевих сплавів | 17 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. | |
| Продукція чорної мералургії. Загальна характеристика металів. Чавуни..... | 25 |
| ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. | |
| Продукція чорної металургії. Сталі | 34 |
| <u>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</u> | 43 |