

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ВСТВ

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт
для студентів 1 курсу спеціальності 208 «Агроінженерія»
ОС «Молодший бакалавр»

Суми 2023

УДК 621.751

Укладач: д.т.н., професор кафедри технічного сервісу Кирик Г.В.

Матеріалознавство і ВСТВ. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт для студентів 1 курсу спеціальності 208 «Агроінженерія» ОС «Молодший бакалавр» // Суми: Сумський національний аграрний університет, 2023. – 45 с., рис. 88, бібліографія 23 джерела.

Наведено методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт при вивченні дисципліни «Матеріалознавство і ВСТВ» з усіх тем курсу. Приведено короткі теоретичні відомості з кожної теми, індивідуальні завдання, приклади виконання, інструкції по оформленню звітів.

Рецензенти: д.т.н., проф., зав. кафедрою „ТС” СНАУ Тарельник В.Б.
к.т.н., доц., зав. кафедрою „ЛТС” СНАУ Семірненко Ю.І.

Відповідальний за випуск: професор Тарельник В.Б..

Друкується за рішенням навчально-методичної ради ІТФ СНАУ
Протокол № 4 від “30”січня 2023 р.

© Сумський національний аграрний університет, 2023

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1: МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ ТА ПРОДУКТИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ	8
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ.....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ ТА АЛОТРОПІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В НИХ.....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7. ПОБУДОВА ДІАГРАМИ СТАНУ ТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ.....	31
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8. АНАЛІЗ ДІАГРАМИ СТАНУ	33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9. МАРКУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	39
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	44

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1: МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ ТА ПРОДУКТИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета роботи. Ознайомитися з технологією, матеріалами для виробництва металів, продукцією металургійного виробництва.

Теоретичні відомості.

Метали, які застосовуються в техніці, поділяють на чорні та кольорові. До чорних належать залізо та його сплави, до кольорових - усі інші.

Спочатку залізо добували безпосередньо із руди відновленням у горнах. Сплав заліза насиченого вуглецем дістав назву чавуну. Чавун почали переробляти на сталь - сплав з меншим ніж у чавуні вмістом вуглецю, кремнію, марганцю, та деяких інших елементів, а тому з більшою пластичністю та міцністю.

Сучасне металургійне виробництво являє собою складний комплекс різних виробництв, що базується на родовищах руд, коксуючого вугілля, енергетичних потужностях. Воно включає наступні підприємства:

- 1) шахти і кар'єри по видобутку руд і кам'яного вугілля;
- 2) гірничо-збагачувальні комбінати, де підготовляють руди до плавки, тобто збагачують;
- 3) коксохімічні заводи або цехи, де здійснюють підготовку вугілля, його коксування і витяг з них корисних хімічних продуктів;
- 4) енергетичні цехи для одержання стиснутого повітря (для дуття доменних печей), кисню, а також очищення газів металургійних виробництв;
- 5) доменні цехи для виплавки чавуну і феросплавів;
- 6) заводи для виробництва феросплавів;
- 7) сталеплавильні цехи (конвертерні, мартенівські, електросталеплавильні) для виробництва сталі;
- 8) прокатні цехи, в яких злитки сталі переробляють на сортовий прокат – балки, рейки, прутки, дріт, а також лист і т.д.

Основою сучасної чорної металургії є двоступінчаста схема, що складається з доменної плавки чавуну і різних способів його переділу в сталь. При доменній плавці, здійснюваній в доменних печах, відбувається вибіркоче відновлення заліза з руди, але одночасно з руди відновлюються також фосфор і в невеликих кількостях марганець і кремній; залізо насичується вуглецем і частково насичується сіркою. У результаті з руди одержують чавун – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором.

Переділ чавуна в сталь виконують у конвертерах, мартенівських і електричних печах. У цих агрегатах відбувається вибіркоче окислювання домішок чавуна таким чином, що в процесі плавки вони переходять у шлак і гази. У результаті одержують сталь заданого хімічного складу.

Основною продукцією чорної металургії є:

- 1) *чавун передільний*, використовуваний для переділу на сталь, і *ливарний* для виробництва фасонних чавунних виливків на машинобудівних заводах; основна кількість (до 90%) виплавленого чавуна – передільний;
- 2) *феросплави* (сплави заліза з підвищеним вмістом марганцю, кремнію, ванадію, титана) для виробництва легованих сталей;
- 3) *сталеві злитки* для виробництва сортового прокату (рейок, балок, прутків, смуг, дроту), а також листа, труб і т.д.;
- 4) *сталеві злитки* для виробництва великих кованих деталей машин (валів, роторів, турбін, дисків і т.д.), називані ковальськими злитками.

Основною продукцією кольорової металургії є:

- 1) *злитки* кольорових металів для сортового прокату (куточків, смуг, прутків і т.д.);
- 2) *злитки* (паці) кольорових металів для фасонних виливків на машинобудівних заводах;
- 3) *лігатури* — сплави кольорових металів з легуючими елементами для виробництва складних легованих сплавів для фасонних виливків;
- 4) *злитка чистих і особливочистих металів* для потреб приладобудування, електронної техніки й інших спеціальних галузей машинобудування.

Для виробництва металів використовують руди, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали.

Рудою називають гірські породи, які містять у собі метали в кількості, що забезпечує їх економічно доцільну переробку.

Основними вихідними матеріалами для виробництва чорних металів є залізні руди, паливо, флюси.

Промислове використання мають магнітні, червоні, бурі та шпатові залізняки.

Залізна руда - гірська порода з якої економічно доцільно добувати залізо в промислових масштабах. Залізні руди складаються з рудної частини (Fe_3O_4 ; Fe_2O_3 ; FeCO_3) і порожньої породи (SiO_2 ; MnO ; Al_2O_3 ; MgO та ін.) з домішками (P_2O_5 ; FeS).

Магнітний залізняк – магнетит (Fe_3O_4), містить 50-69% заліза, має чорний колір. Пуста порода кремениста та глиноземна.

Червоний залізняк – гематит (Fe_2O_3), містить 55-65 % заліза, може мати червоний, сірий або темно-сірий колір. Зустрічається у вигляді щільних шматків, а також в пилоподібному стані. Легко відновлюється. Пуста порода кремениста.

Бурий залізняк – лімоніт ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), містить 35-40 % заліза і відноситься до бідних руд. Зустрічається у вигляді шматків і в пилоподібному стані. Добре відновлюється.

Шпатовий залізняк - сидерит (FeCO_3), містить 30-40 % заліза, має світло-сірий і жовтувато-білий колір, легко відновлюється.

Залізні руди завантажують у доменну піч переважно у вигляді агломерату.

Агломерат - пористі шматки руди, більш зручні для переробки в чавун, ніж звичайні залізні руди. Для його отримання подрібнену руду змішують з 6-12 % коксу. Суміш підпалюють на спеціальній установці, при цьому дрібні шматки руди спікаються, утворюючи агломерат.

Паливо - різні органічні і неорганічні продукти, що виділяють при спалюванні значну кількість теплоти і дають рентабельне їх використання. Паливо містить органічні з'єднання вуглецю, водню, азоту, кисню, сірки, а також вологу і золю. Паливо тим краще, чим більше в ньому вуглецю і водню, і чим менше сірки, вологи, золи.

У доменній печі в якості палива використовують кокс (рідше – деревне вугілля). Кокс отримують з коксованого вугілля сухою перегонкою без доступу повітря в спеціальних коксувальних печах при температурі 1000-1100 °C впродовж 15-18 годин.

Кокс являє собою ніздрюваті шматки чорного кольору, які мають міцність в 2-3 рази більшу ніж деревне вугілля.

В мартенівських печах використовують три види палива: коксувальний, доменний, генераторний і природний газ; мазут і пилоподібне паливо.

Коксувальний газ отримують попутно при виробництві коксу, доменний - при спалюванні палива в доменних печах, генераторний газ – при спалюванні твердого палива в газогенераторах.

Мазут отримують при крекінзі нафти, пилоподібне паливо - подрібненням у подрібнювачах кам'яного вугілля в тонкий порошок.

Флюси призначені для сплавлення порожньої породи і золи в шлак. У доменних печах в якості флюсу використовують обпалене вапно.

Вогнетриви - матеріали, які витримують без руйнування високу робочу температуру печей (від 600 до 2000 °C). Вогнетриви використовують у вигляді цегли, фасонних виробів, мокрих і сухих порошоків, збитої маси для кладки печей і облицювання ковшів.

Основною продукцією доменного виробництва є чавун, побічною – шлаки і гази.

Шлаки – сплави різних окислів, що утворюються в результаті фізико-хімічної взаємодії їх з флюсами. Доменні шлаки використовують для виготовлення цементу, цегли, гравію, скловати та ін.

Доменні гази – (CO 26-30%; H_2 1,0-2,5%; CH_4 0,2-0,5%; CO_2 9-16%; інше N_2) використовують для опалення повітрянагрівачів, котлів, коксувальних печей та інших нагрівальних установок.

Виплавка чавуну

Чавун виплавляють у печах шахтного типу – доменних печах. Сутність процесу одержання чавуна в доменних печах полягає у відновленні окислів заліза, що входять до складу руди, що завантажують у піч, окисом вуглецю, воднем і твердим вуглецем, що виділяються при згорянні палива в печі.

Будова і робота доменної печі. Доменна піч (рис. 1) має сталевий кожух, обкладений зсередини вогнетривкою шамотною цеглою. Робочий простір печі включає колошник 6, шахту 5, распар 4, запічник 3, горн 1, лещадь 15. У верхній частині колошнику знаходиться засипний апарат 8, через який у піч завантажують шихту (офлюсований агломерат і окатиші).

Шихтові матеріали надходять у бункери, розташовані на рудному дворі: офлюсований агломерат з агломераційної фабрики, кокс – від коксових батарей коксохімічного заводу. З бункерів шихтові матеріали подаються у вагони-ваги, на яких зважують визначені порції шихти. З вагон-ваг кокс і агломерат передаються у вагонетку 9 скіпового підйомника. Дві скіпові вагонетки за допомогою лебідки пересуваються по похилому мосту 12 до засипного апарата 8 і, перекидаючись, висипають шихту в прийомну лійку 7 розподільника шихти.

При опусканні малого конусу 10 засипного апарата шихта попадає в чашу 11, а при опусканні

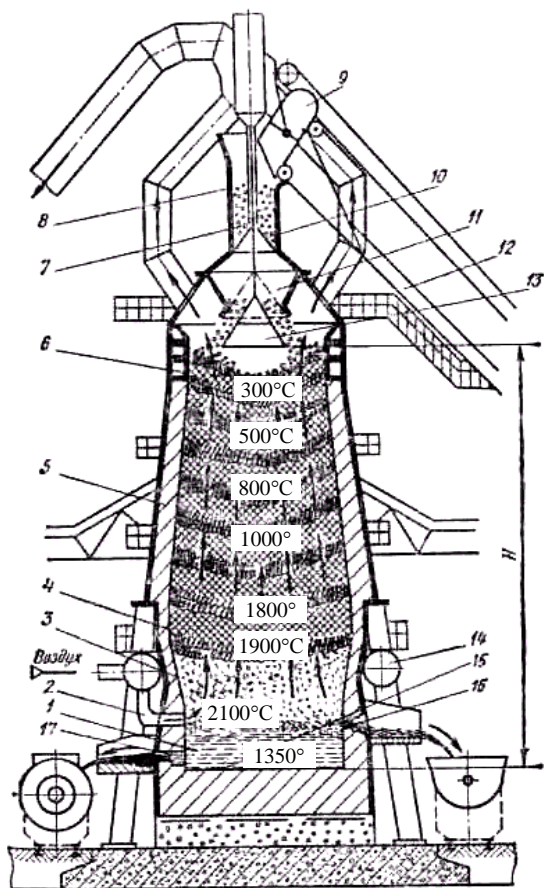


Рисунок 1 – Будова доменної печі.

Чавун – основний продукт доменної плавки. У доменних печах одержують чавун різного хімічного складу в залежності від його призначення.

Передільний чавун виплавляють для переділу його в сталь в конвертерах або мартенівських печах. Він містить 4,0-4,4% С; до 0,6-0,8% Si; до 0,25-1,0% Mn; 0,15-0,3% P і 0,03-0,07% S. Передільний чавун деяких марок, призначений для переділу в сталь у конвертерах, має знижений вміст фосфору (до 0,07%).

Ливарний чавун використовують для переплаву його на машинобудівних заводах при виробництві фасонних виливків. Він містить підвищену кількість кремнію (до 2,75-3,25%). Крім чавуна, у доменній печі виплавляють феросплави.

Доменні феросплави – сплави заліза з кремнієм, марганцем і іншими металами. Їх застосовують розкислення і легування сталі. До них відносяться: доменний феросиліцій з вмістом 9-13% Si і до 3% Mn; доменний феромарганець з 70-75% Mn і до 2% Si; дзеркальний чавун з 10-25% Mn і до 2% Si.

Побічними продуктами доменної плавки є шлак і колошниковий газ, також використовувани у виробництві. Зі шлаку роблять шлаковату, шлакоблоки, цемент, а колошниковий газ після очищення від пилу використовують як паливо для нагрівання повітря, що нагнітається в доменну піч, а також у цехах металургійних заводів.

Приблизний матеріальний баланс доменної плавки.

В процесі доменної плавки на 1000 кг виробленого чавуну необхідно:

- 1) Залізної руди – 2030 кг;
- 2) Марганцевої руди – 146 кг;
- 3) Вапняку – 598 кг;
- 4) Коксу – 971 кг;
- 5) Дуття (вологого) – 3575 кг.

В результаті доменної плавки отримано:

- 1) Чавуну – 1000 кг;
- 2) Шлаку – 755 кг;
- 3) Колошникового газу – 5217 кг;
- 4) Колошникового пилу – 348 кг.

великого конусу 13 – у доменну піч. Така послідовність роботи механізмів засипного апарата необхідна для запобігання виходу газів з доменної печі в атмосферу. Для рівномірного розподілу шихти в доменній печі малий конус і прийомна лійка після завантаження чергової порції матеріалів повертаються на кут, кратний 60°. Усі механізми засипного апарата і скіпового підйомника працюють автоматично по заданій програмі.

У процесі роботи печі шихтові матеріали поступово опускаються вниз, а через завантажувальний пристрій у піч подаються нові порції шихтових матеріалів у такій кількості, щоб весь корисний об'єм печі був заповнений. *Корисний об'єм печі* – це об'єм, що займається шихтою від лещади до нижньої крайки великого конуса засипного апарата при його опусканні. Сучасні доменні печі мають корисний об'єм 2000-5000 м³. Корисна висота доменної печі досягає 35 м. У верхній частині горна знаходяться фурменні пристрої 14, через які в піч надходять нагріте до температури 1000-1200°C повітря, необхідне для горіння коксу, і газоподібне паливо, у деяких випадках рідке або пилоподібне паливо. Попереднє нагрівання повітря необхідне для зменшення втрат теплоти в печі.

Продукти доменної плавки.

У доменних печах одержують два рідких продукти – чавун і шлак, а також колошниковий газ.

Загалом – 7320 кг.

Найважливіші техніко-економічні показники.

Такими показниками роботи доменних печей є коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі (К.В.К.О) і питома витрата коксу. Коефіцієнт використання корисного об'єму печі (К.В.К.О. у м³/т) визначається як відношення корисного об'єму печі V (у м³) до її середньодобової продуктивності P в тоннах виплавленого передільного чавуна.

$$К.В.К.О. = \frac{V}{P}$$

Чим вище продуктивність доменної печі, тим нижче К.В.К.О., що для більшості доменних печей у нашій країні складає 0,5–0,7.

Питома витрата коксу K – відношення витрати A коксу за добу до кількості P в тоннах передільного чавуна, виплавленого за той же час:

$$K = \frac{A}{P}$$

У нашій країні питома витрата коксу в доменних печах складає 0,5–0,7; він є важливим показником роботи доменної печі, тому що вартість коксу складає більш 50% загальної вартості чавуна.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей є однією з найважливіших задач металургійного виробництва. Ця задача зважається підвищенням продуктивності доменних печей шляхом поліпшення їхніх конструкцій, способів підготовки шихти, інтенсифікації доменного процесу.

Основним напрямком у розвитку сучасного доменного процесу є збільшення корисного об'єму доменних печей. Практика показує, що зі збільшенням об'єму печей поліпшуються техніко-економічні показники їхньої роботи. Тому в Україні експлуатують доменні печі об'ємом 2300 і 2700 м³ і вводять у лад доменні печі об'ємом 5000 м³. Такі печі виплавляють за добу більше 10 000 т чавуна.

Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями про техніко-економічні засади роботи металургійного комплексу України, сировину та вихідні продукти металургійного виробництва.
2. Ознайомитися із зразками залізних руд, палива, флюсів, вогнетривів, чавуну, шлаку і т.п. Заповнити таблицю по кожному з зразків (табл. 1).
3. Описати технологію конструкцію та принцип дії доменної печі, технологію плавлення чавуна.

Таблиця 1. – Приклад оформлення таблиці.

Назва	№ зразка	Зовнішні ознаки	Склад, властивості, марка
1	2	3	4
ПАЛИВО			
Кокс	5	ніздрюваті шматки чорного кольору	до 90% вуглецю, інше зола, волога, сірка, фосфор, летючі продукти

Запитання для самоконтролю

1. Вихідні матеріали доменного виробництва, їх призначення та склад.
2. Продукти доменного виробництва та їх призначення.
3. Вогнетривкі матеріали, їх використання та властивості.
4. Наведіть характеристику залізних руд.
5. У чому полягає підготовка руд до плавки?
6. Назвіть основні способи підготовки руд.
7. Нарисуйте профіль доменної печі, назвіть основні її елементи.
8. У чому суть доменного процесу?
9. Наведіть характеристику основних продуктів доменного виробництва.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

Мета роботи: Вивчити будову та принцип роботи сталеплавильних агрегатів.

Теоретичні відомості.

1. Суть процесу

Основними початковими матеріалами для виробництва сталі є передільний чавун і сталевий лом (скрап). Порівняння хімічних складів передільного чавуну і сталі приведені в таблиці 1. Видно, що вміст вуглецю і домішок в сталі істотно нижчий, ніж в чавуні.

Таблиця 1 – Склад передільного чавуну і низьковуглецевої сталі

Матеріал	Склад %				
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка
Передільний чавун	4,0–4,4	0,76–1,26	До 1,75	0,15–0,3	0,03–0,07
Низьковуглецева сталь	0,14–0,22	0,12–0,3	0,4–0,65	0,05	0,055

Таким чином, для переділу чавуну в сталь необхідно понизити зміст вуглецю і домішок.

Тому *суттю будь-якого металургійного переділу чавуну в сталь є зниження змісту вуглецю і домішок шляхом їх виборчого окислення і перекаду в шлак і гази в процесі плавки.*

Виплавка сталі поділяється на два етапи:

1. Окислювальний;
2. Розкислювальний.

На першому етапі переділу чавуну в сталь в результаті окислювальних реакцій, вуглець з'єднується з киснем, утворюючи CO, який віддаляється в атмосферу печі. Кремній, марганець, фосфор, сірка утворюють оксиди або інші з'єднання, нерозчинні або малорозчинні в металі (SiO_2 , MnO , CaS і ін.), які в процесі плавки частково віддаляються в шлак.

На другому етапі для зменшення змісту кисню в сталі в процесі плавки її розкислюють, тобто вводять в неї елементи з великою спорідненістю до кисню, чим у заліза. Взаємодіючи з киснем сталі, ці елементи утворюють нерозчинні оксиди, частково спливаючі в шлак. Для розкислювання сталі використовують феросплави – феросиліцій, феромарганець, а також алюміній.

Чавун переробляють в сталь в різних за принципом дії металургійних агрегатах. Основними з них є:

- кисневі конвертери
- мартенівські печі
- електропечі.

У 2020 р. світове виробництво сталі склало близько 1 878 млн. т в рік. Найбільшу кількість сталі було виплавлено в Китаї – 1064,8 млн.т. У нашій країні в 2020 було виплавлено 20,6 млн. т сталі, що є 12 показником в світі. Основні методи виплавки сталі – в мартенівських печах, в кисневих конвертерах, в індукційних та дугових електропечах. Співвідношення між способами виробництва сталі безперервно змінюється. Об'єм виробництва сталі, що виплавляється у високопродуктивних агрегатах – кисневих конвертерах і крупних електропечах, зростає, а сталі, що виплавляється в мартенівських печах, поступово зменшується.

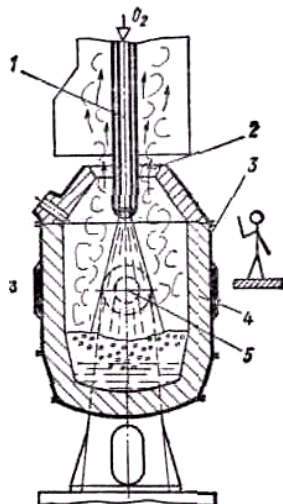


Рис. 1 – Схема будови кисневого конвертера

2. Виробництво сталі в конвертерах

Киснево-конвертерний процес. Це виплавка сталі з рідкого чавуну в конвертері з основним футеруванням і продуванням киснем зверху через водоохолоджувану фурму.

Кисневим конвертером (рис. 1) є посудина 3 грушвидної форми, виготовлена із сталевих листів і викладена зсередини основною цеглиною 4, ємністю 130–350 т рідкого чавуну. В процесі роботи конвертер можна повертати на цапфах 5 навколо горизонтальної осі на 360° для завалення скрапу, заливки чавуну, слива сталі, шлаку і так далі. Під час продування чавуну киснем конвертер знаходиться у вертикальному положенні. Кисень в конвертер під тиском $0,9\text{--}1,4 \text{ МН/м}^2$ (9–14 атм.) подають за допомогою водо-охолоджуваної фурми 1, яку вводять в конвертер через його горловину 2. Фурму встановлюють строго вертикально по осі конвертора.

Її піднімають спеціальним механізмом, що блокується з механізмом обертання конвертера так, що конвертер не можна повернути, поки з нього не видалена фурма.

Шихтові матеріали. Такими матеріалами для киснево-конвертерного процесу є рідкий граничний чавун, сталевий лом, вапно, залізняк, боксит, плавиковий шпат. Чавун для переробки в кисневих конвертерах повинен містити 3,7-4,4 % С; 0,7-1,1 % Mn; 0,4-0,8 % Si; 0,03-0,08 % S; <0,15-0,3 % P. Вапно необхідне для наведення шлаку. Воно повинно містити більше 90% CaO і мінімальна кількість SiO₂ і сірки. Боксит і плавиковий шпат застосовують для розрідження шлаку.

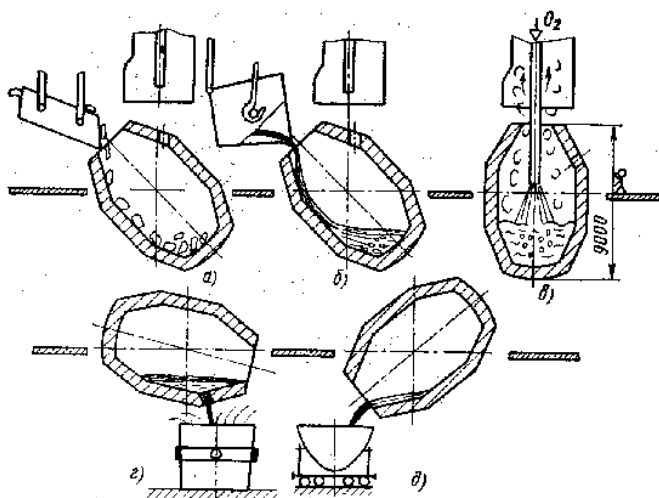


Рис. 2 – Послідовність технологічних операцій при виплавці сталі в кисневих конвертерах:
а – завантаження скрапу; б – заливка рідкого чавуну; в – продування киснем; г – випуск сталі в ківш;
д – злив шлаку в шлакову чашу

Технологія плавки.

Після випуску чергової плавки конвертер нахиляють і через горловину за допомогою машин завалень завантажують скрапом (рис. 2, а). Потім в конвертер заливають чавун при температурі 1250–1400°С з чугунових ковшів (рис. 2, б). Після цього конвертер повертають у вертикальне робоче положення (рис. 2, в), всередину його вводять кисневу фурму і подають кисень. Одночасно з початком продування в конвертер завантажують шлакотворні матеріали (вапно, боксит, залізняк). Відстань головки фурми від рівня металу в конвертері 0,7–3,0 м, залежно від ємкості конвертера. Струмені кисню, що поступають під великим тиском в конвертер, проникають в метал, викликають його циркуляцію в конвертері і перемішування з шлаком. Завдяки інтенсивному окисленню домішок чавуну при взаємодії з киснем в зоні під фурмою температура досягає 2400° С.

Окислювальний період. У кисневому конвертері складові чавуну окислюються газоподібним киснем закису заліза (FeO), що розчиняється в металі і шлаку при продуванні. У зоні контакту кисневого струменя з чавуном в першу чергу окислюється залізо, оскільки його концентрація у багато разів в концентрації домішок. Закис заліза FeO розчиняється в шлаку і металі, збагачуючи метал киснем, який інтенсивно окисляє вуглець і домішки. Частина домішок окислюється на межі метал–шлак оксидами заліза, що міститься в шлаку.

У кисневому конвертері завдяки присутності шлаків з великим змістом CaO і FeO, інтенсивному перемішуванню металу і шлаку легко віддаляється з металу фосфор. Фосфат кальцію, що утворився, віддаляється в шлак. У чавунах, що переробляються в конвертерах, повинно бути не більше 0,15% P. При підвищеному (до 0,3%) вмісті фосфору необхідно для повнішого його видалення проводити проміжний злив шлаку і наводити новий, що знижує продуктивність конвертера.

Видалення сіри з металу утруднено. Тому для переділу в сталь в кисневих конвертерах застосовують чавун з обмеженим змістом сіри (до 0,07%).

Подачу кисню закінчують в мить, коли вміст вуглецю в металі відповідає заданому вмісту в сталі. Для цього здійснюють автоматичний контроль хімічного складу металу по ходу плавки з використанням ЕОМ. Після цього конвертер повертають і проводять випуск сталі в ківш (рис. 2, г).

Розкислювання сталі. При випуску сталі з конвертера в ківш її розкислюють спочатку феромарганцем, потім феросилієм верб алюмінієм. Потім з конвертера зливають шлак (рис. 2, д).

У кисневих конвертерах важко виплавляти леговані сталі, такі, що містять легкоокислюючі елементи. Тому в кисневих конвертерах виплавляють низьколеговані сталі, такі, що містять до 2–3% легуючих елементів. Легуючі елементи вводять в ківш, заздалегідь розплавивши їх в електропечі, або легуючі феросплави вводять в ківш перед випуском в нього сталі. Окислення домішок чавуну в кисневому конвертері протікає дуже швидко: плавка в конвертерах ємкістю 130–300 т закінчується через 25–50 хв. Тому кислородно-конвертерний процес продуктивніше плавки сталі в мартенівських печах: продуктивність конвертера ємкістю 300 т досягає 400–500 т/ч сталі, а мартенівських печей і електропечей – не більше 80 т/ч. Внаслідок цього виробництво сталі і нашій країні в основному збільшується за рахунок того, що вводять до ладу нових киснево-конвертерних цехів.

3. Виробництво сталі в мартенівських печах

Пристрій і робота мартенівської печі. Мартенівська піч (рис. 3) – це полум'яна відбивна регенеративна піч. Вона має робочий плавильний простір, обмежений знизу подиной 12, зверху зведенням 11, а з бокам передньою 5 і задньою 10 стінками. Подина має форму ванни з укосами у напрямку до стінок печі. У передній стінці печі знаходяться завантажувальні вікна 4 для подачі шихтових матеріалів (металевої шихти, флюсу) в піч. У задній стінці печі розташований сталевипускне отвір 9

для випуску готової сталі. З обох торців плавильного простору розташовані головки печі 2. Вони служать для змішування палива з повітрям і подачі цієї суміші в плавильний простір. Як паливо в мартенівських печах використовують природний газ або мазут.

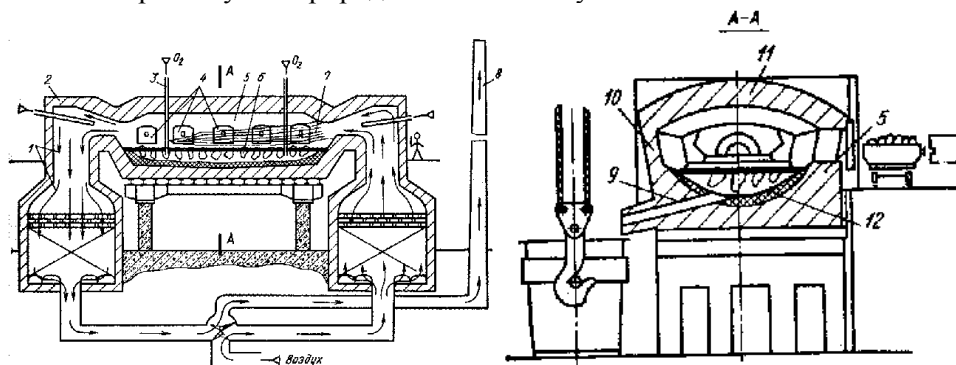


Рис. 3 – Схема мартенівської печі

Для підігріву повітря при роботі на газоподібному паливі піч має два регенератори 1. Регенератор є камерою, в якій розміщена насадка – вогнетривка цеглина, викладена в клітку. Температура газів 1500–1000°C, що відходять з печі. Потрапляючи в регенератори, вони нагрівають насадку до 1250–1280°C, а охоложені до 500–600°C гази йдуть з печі через димар. Потім через один з регенераторів, наприклад правий, в піч подають повітря, яке, проходячи через насадку, нагрівається до 1100–1200°C. Нагріте повітря поступає в головку печі, де змішується з паливом; на виході з головки утворюється факел 7, направлений на шихту 6. Гази, що відходять, проходять через протилежну головку (праву), очисні пристрої (шлаковики) для відділення дрібних частинок шлаку і пилу, що відносяться з печі потоком газів, і прямують в другий (лівий) регенератор, нагріваючи його насадку. Охоложені гази покидають піч через димар 8 *заввишки* до 120 м. Після охолодження насадки правого регенератора до певної температури відбувається автоматичне перемикування клапанів, і потік газів в печі змінює напрям: через нагрітий лівий регенератор і головку в піч поступає повітря, а правий нагрівається теплотою газів, що відходять.

Температура факела полум'я досягає 1750–1800° С. Факел нагріває робочий простір печі і шихту. Факел має окислювальний характер, що створює умови для окислення домішок шихти впродовж всієї плавки.

Для прискорення плавлення і окислення домішок після закінчення заливки чавуну ванну продувають киснем, що подається в піч через водоохолоджуваних фурми, які опускаються в отвори в зведенні печі. При цьому виділяється значна кількість теплоти, метал інтенсивно перемішується, що дозволяє в 2–3 рази скоротити період плавлення, зменшити витрату палива і залізняку.

Футерування печі може бути основним і кислим. Якщо в процесі плавки сталі в шлаку переважають кислотні оксиди, процес називається *кислим мартенівським процесом*, а якщо переважають основні оксиди – *основним*.

При високих температурах шлаки можуть взаємодіяти з футеруванням печі, руйнуючи її. Для зменшення цієї взаємодії необхідно, щоб при кислому процесі футерування печі було кислим, а при основному – основним. Футерування кислої мартенівської печі виготовляють з динасового цеглини, а верхній робочий шар подины набивають з кварцевого піску. Футерування основної мартенівської печі виконують з магнезитової цеглини, на яку набивають магнезитовий порошок. Зведення мартенівської печі не стикається з шлаком, тому його роблять з динасового або магнезитохромитового цеглини незалежно від типу процесу, здійснюваного в печі.

Розміри плавильного простору залежать від ємності печі. У нашій країні працюють мартенівські печі ємністю 20–900 т рідкої сталі. Важливою характеристикою робочого простору є *площа череня печі*, яку умовно підраховують на рівні ворогов завантажувальних вікон. Наприклад, для печі ємністю 900 т площа череня складає 115 м².

4. Виробництво сталі в електропечах

Електроплавильні печі. Ці печі мають переваги в порівнянні з іншими плавильними агрегатами. У електропечах можна швидко нагрівати, плавити і точно регулювати температуру металу, створювати окислювальну, відновну, нейтральну атмосферу або вакуум. У цих печах можна виплавити сталь і сплави будь-якого складу, більш повно розкислювати метал з утворенням мінімальної кількості неметалічних включення – продуктів розкислювання. Тому електропечі використовують для виплавки конструкційних сталей відповідального призначення, високолегованих, інструментальних, корозійностійких (неіржавіючих) і інших спеціальних сталей і сплавів. Електроплавильні печі бувають дуговими і індукційними. Дугова електросталеплавильна піч. У цих печах як джерело тепло-

ти використовують електричну дугу, що виникає між електродами і металевою шихтою. Дугова електросталеплавильна піч (рис. 4) харчується трифазним змінним струмом і має три циліндрові електроди 9, виготовлених з графітової маси. Електричний струм від трансформатора гнучкими кабелями 7 і мідними шинами підводиться до електротримачів 8, а через них до електродів 9. Між електродами і металевою шихтою 4 виникає електрична дуга, електроенергія перетворюється на тепло, яка передається металу і шлаку випромінюванням. Робоча напруга 180–600 В, сила струму 1–10 кА. Під час роботи печі довжина дуги регулюється автоматично шляхом вертикального переміщення електродів. Піч має сталевий зварний кожух 3. Кожух печі зсередини футерован теплоізоляційним і і. напологливою цеглиною 1, який може бути основним (магнезитовий, магнезитохромитовий) або кислим (динасовий). Подина 12 печей набивається вогнетривкою масою. Плавильний простір обмежений стінками 5, подиной 12 і зведенням 6, що виготовляється також з вогнетривкої цеглини і що має отвори для проходу електродів. У стінках печі є робоче вікно 10 для управління ходом плавки і вічка для випуску готової сталі по жолобу 2 в ківш.

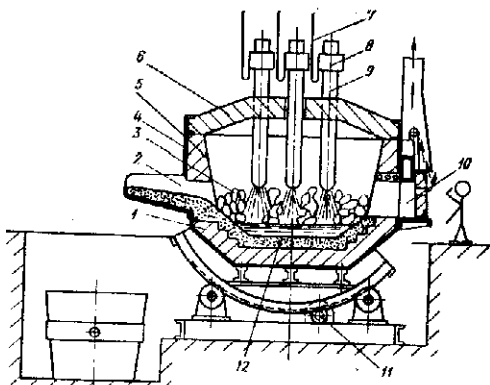


Рис. 4 – Схема дугової електричної плавильної печі

Піч завантажують при знятому зведенні. Механізмом 11 піч може нахилитися у бік завантажувального вікна.

Ємкість дугових електропечей 0,5–400 т. У металургійних цехах зазвичай використовують дугові електропечі з основним футеруванням, а в ливарних цехах – з кислю.

Ємкість дугових електропечей 0,5–400 т. У металургійних цехах зазвичай використовують дугові електропечі з основним футеруванням, а в ливарних цехах – з кислю.

Основна дугова піч. Застосовують два види технології плавки в дуговій основній печі: на шихті з легованих відходів (методом переплавки) і на вуглецевій шихті (з окисленням домішок).

Плавку на шихті з легованих відходів з низьким змістом фосфору проводять без окислення домішок. Шихта для такої плавки, окрім пониженого вмісту фосфору, повинна мати менше, ніж в сталі, що виплавляється, кількість марганцю і кремнію. По суті це переплавка. Проте в процесі плавки за рахунок кисню деякі домішки (алюмінію, титану, кремнію, марганцю, хрому) окислюються. Крім того, шихта може містити оксиди. Тому після розплавлення шихти метал розкислюють, видаляють сірку, наводять основний шлак, при необхідності науглероживають і доводять метал до заданого хімічного складу. розкислюють феросиліцієм, алюмінієм, меленим коксом. При цьому оксиди легуючих елементів відновлюються і переходять з шлаку в метал. У такий спосіб плавки отримують леговані сталі з відходів машинобудівних заводів.

Плавку на вуглецевій шихті частіше застосовують для виробництва конструкційних вуглецевих сталей. Цю плавку проводять за два періоди: окислювальний і відновний. Після заправки печі, видалення залишків металу і шлаку попередньої плавки, виправлення пошкоджених місць футерування в піч завантажують шихту: сталевий лом (до 90%), чушковий передільний чавун (до 10%), електродний бій або кокс для вуглецювання металу і 2–3% винищити. Після закінчення завалення шихти електроди опускають вниз і включають струм; шихта під електродами плавиться, метал накопичується па подине печі. Під час плавлення шихти починається окислювальний *період плавки*: за рахунок кисню повітря, оксидів шихти і окалини окислюється кремній, марганець, вуглець, залізо. Разом з окислом кальцію, що міститься у винищити, оксиди цих елементів утворюють основний залізистий шлак, сприяючий видаленню фосфору з металу.

Після нагріву металу і шлаку до 1500–1540°C в піч завантажують руду і вапно. Кисень, що міститься в руді, інтенсивно окисляє вуглець і викликає кипіння ванни рідкого металу за рахунок бульбашок окислу вуглецю, що виділяються. Шлак вспенивається, рівень його підвищується; для випуску шлаку піч нахиляють у бік робочого вікна і він стікає в шлакову чашу. Кипіння металу прискорює нагрів ванни, видалення з металу газів, неметалічних включення, сприяє видаленню фосфору. Шлак видаляють, руду і вапно додають 2–3 рази. В результаті вміст фосфору в металі знижується до 0,01 % і одночасно за рахунок утворення окислу вуглецю при кипінні зменшується і вміст вуглецю. Коли вміст вуглеводу стає менше заданого на 0,1%, кипіння припиняють і повністю видаляють з печі шлак. Цим закінчується окислювальний період плавки.

Відновний період плавки включає розкислювання металу, видалення сіри і доведення хімічного складу до заданого. Після видалення окислювального шлаку в піч подають феромарганець в кількості, що забезпечує заданий вміст марганцю в сталі, а також проводять науглецювання, якщо виплавляють високовуглецеві сталі (до 1,5% С). Потім в піч завантажують флюс, що складається з винищити, плавикового шпату і шамотного бою. Після розплавлення флюсів і утворення шлаку в піч вводять розкислюючу суміш, що складається з вапна, плавикового шпату, меленого коксу і феросиліцію. Ме-

лений кокс і феросиліцій вводять в порошкоподібному вигляді.

При цьому вміст заліза в шлаку знижується і вона з металу згідно закону розподілу починає переходити в шлак. Цей процес називають *дифузійним розкислюванням* сталі. Раськислювальну суміш вводять в піч кілька разів. У міру розкислювання і пониження змісту FeO колір шлаку змінюється і він стає майже білим. Розкислювання під білим шлаком триває 30–60 мин.

Під час відновного періоду сірка віддаляється з металу, що пояснюється високим (до 55–60%) вмістом CaO в білому шлаку і низьким (менше 0,5%) змістом FeO. Це сприяє інтенсивному видаленню сірки з металу.

По ходу відновного періоду беруть проби для визначення хімічного складу металу. При необхідності в піч вводять феросплави для досягнення заданого хімічного складу металу. Коли досягнуті задані склад металу і температура, виконують *кінцеве розкислювання* сталі алюмінієм і силікокальцієм. Після цього слідує випуск металу з печі в ківш.

При виплавці легованих сталей в дугових печах в сталь вводять легуючі елементи у вигляді феросплавів. Порядок введення визначається спорідненістю легуючих елементів до кисню. Нікель, молібден володіють меншою спорідненістю до кисню, чим залізо, і їх вводять в період плавлення або в окислювальний період. Хром легко окислюється і його вводять у відновний період; кремній, ванадій, титан – перед випуском металу з печі в ківш, оскільки вони легко окислюються.

Електроіндукційні печі. Індукційна тигельна сталеплавильна піч (рис. 5) складається з водоохолоджуваного індуктора 3, усередині якого знаходиться тигель 4 з металевою шихтою. Через індуктор проходить однофазний змінний струм підвищеної частоти (500–1000 кГц). Струм створює змінний магнітний потік, пронизуючи шматки металу в тиглі, наводить в них могутні вихрові струми

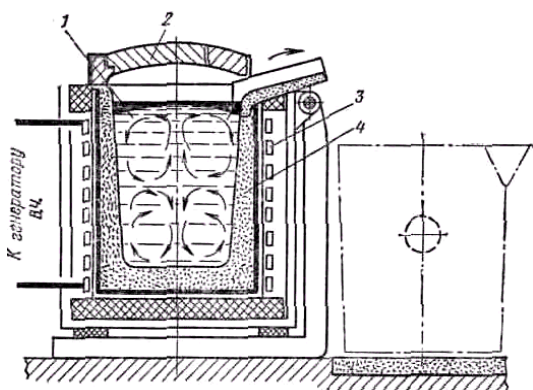


Рис. 5 – Схема індукційної електричної плавильної печі тигля

(Фуко), що нагрівають метал 1 до температури плавлення і необхідних температур перегріву. Тигель може бути виготовлений з кислих (кварцит) або основних (магнетитовий порошок) вогнетривких матеріалів. Ємкість тигля від 60 до 25 т. Струм до індуктора підводиться від генератора високої частоти – лампового (лабораторні печі) або машинного. Для зменшення втрат теплоти при плавці можна застосувати змінне зведення 2.

Індукційні печі мають переваги перед дуговими: 1) у них відсутня електрична дуга, що дозволяє виплавляти метали з низьким змістом вуглецю, газів і малим чадом елементів, це особливо важливо при виплавці високоякісних сталей і сплавів; 2) при плавці в металі виникають електродинамічні сили, які перемі-

шують метал в печі і сприяють вирівнюванню хімічного складу, спливанню неметалічних включення; 3) індукційні печі мають невеликі габаритні розміри, що дозволяє поміщати їх в закриті камери, в яких можна створювати будь-яку атмосферу, а також вакуум. Проте ці печі мають малу стійкість футерування, шлак в них нагрівається теплотою металу і температура його недостатня для інтенсивного протікання металургійних процесів між металом і шлаком.

Зазвичай в індукційних печах виплавляють сталь і сплави або з легованих відходів *методом переплавки*, або з чистого шихтового заліза і скрапу з добавкою феросплавів *методом сплаву*. В більшості випадків печі мають кисле футерування. Основне футерування використовують для виплавки сталей і сплавів з високим вмістом марганцю, нікелю, титану і алюмінію.

При завантаженні ретельно підбирають хімічний склад шихти відповідно до заданого, оскільки плавка протікає швидко, і повного аналізу металу по ходу плавки не роблять. Тому необхідну кількість феросплавів (феровольфрам, ферромолібден, феррохром, нікель) для отримання заданого хімічного складу металу завантажують на дно тигля разом з рештою шихти. Після розплавлення шихти на поверхню металу завантажують шлакову суміш. Основне призначення шлаку при індукційній плавці – зменшити теплові втрати металу, захистити його від насичення газами, зменшити чад легуючих елементів. При плавці в кислій печі після розплавлення і видалення плавильного шлаку наводять шлак з бою скла (SiO_2). Метал розкислюють феросиліцієм, ферромарганцем і алюмінієм перед випуском його з печі.

Тривалість плавки в індукційній печі ємкістю 1 т близько 45 мин. Витрата електроенергії на 1 т сталі складає 600–700 кВт-год.

Вакуумна плавка в індукційних печах дозволяє отримувати сталь і сплави з дуже малим змістом газів, неметалічних включення, легувати сталь і сплави будь-якими елементами. При вакуумній індукційній плавці індуктор з тиглем, дозатор шихти і виливниці поміщають у вакуумні камери. Тут

плавлять метал, вводять легуючі добавки, розкислювачі за допомогою спеціальних механізмів без порушення вакууму в камері. Метал у виливниці розливають у вакуумі або інертних газах під надмірним тиском. Залівку під тиском інертного газу проводять для підвищення щільності злитків.

Виконання роботи.

1. Записати сутність металургійного переділу чавуну на сталь та його етапів.
2. Зобразити конструкцію кисневого конвертора.
3. Вказати переваги та недоліки конверторного способу виплавки сталі.
4. Зобразити конструкцію мартенівської печі.
5. Вказати переваги та недоліки мартенівського способу виплавки сталі.
6. Зобразити конструкцію електричних сталеплавильних агрегатів.
7. Вказати переваги та недоліки електродугового та електроіндукційного способів виплавки сталі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

Мета: вивчити технологію та обладнання для розливання сталі.

Теоретичні відомості.

Виплавлену сталь випускають з плавильної печі в розливний ківш, з якого її розливають у виливниці (ізложниці) або кристалізатори установок для безперервного розливання сталі.

У виливницях або кристалізаторах сталь твердне і виходять злитки, які потім піддають обробці тиском – прокатуванню, куванню.

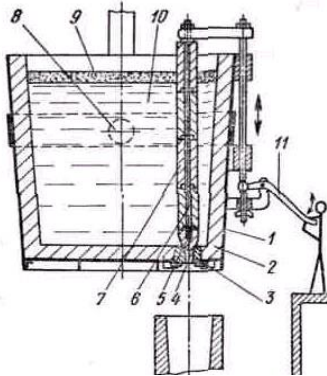


Рис.1 – Схема ковша для розливання сталі.

Сталерозливний ківш (рис. 1) має сталевий зварний кожух 1, викладений зсередини вогнетривкою цеглиною 2. У дні ковша є керамічний стакан 3 з отвором 4 для випуску сталі. Отвір в стакані закривається і відкривається стопорним пристроєм. Стопорний пристрій має сталеву штангу 6, на кінці якої укріплена пробка 5 з вогнетривкового матеріалу. На штангу надіті трубки 7 з вогнетривкового матеріалу, що захищають її від розплавлення рідкою сталлю. Стопор піднімають і опускають механізмом важеля 11 уручну або за допомогою гідралічного приводу з дистанційним управлінням. Ківш за дві цапфи 8 піднімається краном. Ємкість ковша вибирають залежно від ємкості плавильної печі з урахуванням шару шлаку 9 (100...200 мм), що захищає дзеркало металу 10 в ковші від охолодження при розливанні. Зазвичай ємкість ковшів 5...260 т. Для крупних плавильних

агрегатів застосовують ковші ємкістю 350...480 т

Виливниці – чавунні форми для виготовлення злитків. Конфігурація виливниць характеризується формою поперечного і подовжного перетинів і залежить від сорту сталі, що заливається, і призначення злитка. Виливниці виконують з квадратним, прямокутним, круглим і багатограним поперечними перетинами (рис. 2). Злитки квадратного перетину (рис. 2, а) прокатують на сортовий прокат; злитки прямокутного перетину (рис. 2, б) з відношенням ширини до товщини 1,5–3,0 – на лист; із злитків круглого перетину (рис. 2, в) виготовляють труби, колеса. Багатогранні злитки (рис. 2, г) використовують для поковок.

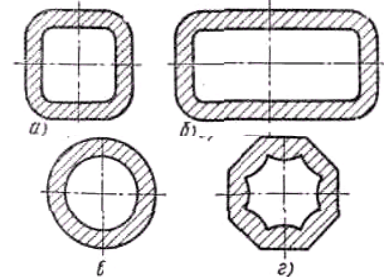


Рис.2 – Поперечні перетини виливниць для розливання сталі в злитки.

Для розливання спокійної сталі застосовують виливниці, що розширюються догори (рис. 3, б), для розливання киплячої сталі – виливниці розширюються донизу (рис. 3, а). Виливниці, що розширюються догори, зазвичай мають дно, а ті, що розширюються донизу роблять наскрізними, без дна. Для попередження транскристалізації дно квадратних і прямокутних виливниць закруглене. Виливниці для розливання спокійної сталі мають прибуткові надставки 8 (рис. 3, б), футеровані зсередини вогнетривкою масою 9 з малою теплопровідністю. Сталь в прибутковій надставці довше знаходиться в рідкому стані і живить злиток, що твердіє, металом, завдяки чому зменшується глибина усадкової раковини, поліпшується якість злитка, зменшуються відходи при обрізанні його головної частини.

Розміри виливниць залежать від маси злитка. Для плющення відливають злитки від 200 кг до 25 т; для поковок – масою до 250 т.

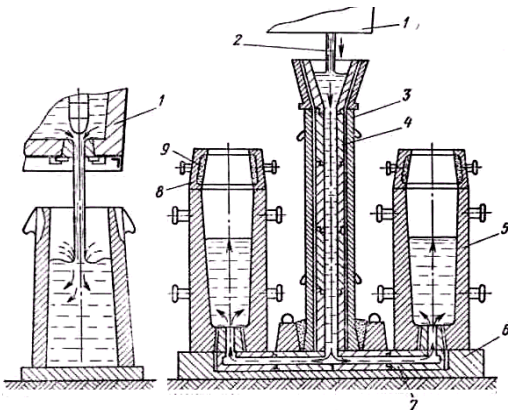


Рис.3 – Розливання сталі у виливниці: а – зверху; б – сифоном.

Економічно доцільніше розливання сталі в крупні злитки, оскільки при цьому скорочуються витрати праці, на вогнетриви, втрати металу, зменшується тривалість розливання. Проте маса злитка обмежується потужністю прокатного устаткування і погіршенням якості злитка із-за нерівномірності хімічного складу в різних його місцях. Зазвичай вуглецеві спокійні і киплячі сталі розливають в злитки масою до 25 т, леговані і високоякісні сталі, – в злитки від 500 кг до 7 т, а деякі сорти високолегованих сталей в злитки масою декілька сот кілограмів.

Способи розливання сталі.

Застосовують три основні способи розливання сталі:

- у виливниці зверху;
- у виливниці сифоном;

➤ на установках безперервного розливання сталі (УБРС).

У виливниці зверху (рис. 3, а) сталь заливають безпосередньо з ковша 1. При розливанні зверху виключається витрата металу на літники, проста підготовка устаткування до розливання, температура сталі, що заливається, може бути нижче, ніж при сифонівій заливці. Проте при розливанні зверху сталь падає у виливницю з великої висоти, бризки металу застигають на стінках виливниці і погіршують поверхню злитка, утворюючи окисні плени. Окисні плени не зварюються з тілом злитка навіть при плющенні, після якого необхідно зачищати поверхню заготовки для поліпшення її якості, що є дуже трудомісткою операцією.

При сифоновому розливанні (рис. 3, б) сталлю заповнюють одночасно декілька виливниць (від 4 до 60). Виливниці встановлюють на піддоні 6, в центрі якого знаходиться центровий літник 3, футерований вогнетривкими трубками 4, сполучений каналами, виконаними з вогнетривких пористих цеглин 7, з нижніми частинами виливниць. Сифонове розливання базується на принципі сполучених посудин: рідка сталь 2 з ковша 1 поступає в центровий літник і через канали заповнює виливниці 5 знизу. Цей спосіб розливання забезпечує плавне, без розбризкування заповнення виливниць, поверхня злитка виходить чистою, скорочується тривалість розливання, можна розливати велику масу металу одночасно на декілька дрібних злитків. Проте при сифоновому розливанні підвищується трудомісткість підготовки устаткування, збільшується витрата вогнетривків, з'являється необхідність у витраті металу на літники (до 1,5% від маси сталі, що заливається), в перегріві металу в печі до вищої температури, оскільки при течії по каналах він охолоджується.

Обидва способи розливання широко застосовують. Для звичайних вуглецевих сталей використовують розливання зверху; для легованих і високоякісних сталей – розливання сифоном.

Безперервне розливання сталі (рис. 4) полягає в тому, що рідку сталь з ковша 1 через проміжний розливний пристрій 2 безперервно подають у водоохолоджувану виливницю без дна – кристалізатор 3, з нижньої частини якого витягується злиток, що твердіє, 4. Перед заливкою металу в кристалізатор вводять затравку, створюючи його дно. Затравка має головку у формі ластівчина хвоста. Рідкий метал, потрапляючи в кристалізатор і на затравку, охолоджується, твердне, утворюючи кірку. Затравка тягнучими валками 5 витягується з кристалізатора разом із твердіючим злитком, серцевина якого знаходиться в рідкому стані. Швидкість витягування злитка з кристалізатора залежить від розмірів перетину злитка. Наприклад, швидкість витягування прямокутних злитків перетином 150×500 мм \approx 1 м/хв. На виході з кристалізатора злиток охолоджується водою, що подається через форсунки в зоні 6 вторинного охолодження. Із зони вторинного охолодження злиток виходить повністю затверділим і потрапляє в зону різання 7, де його розрізають газовим різакон 8 на шматки заданої довжини. Для запобігання приварюванню злитка до стінок кристалізатора останній здійснює зворотно-поступальний рух з кроком 10–50 мм і частотою 10–100 циклів в хвилину, а робоча поверхня кристалізатора змащується спеціальними мастилами. Висота кристалізатора 500–1500 мм. У них отримують злитки прямокутного поперечного перетину з габаритними розмірами від 100×500 до 400×2000 мм, квадратного від 150×150 до 400×400 мм, круглі у вигляді товстостінних труб. Унаслідок направленої твердіння і безперервного живлення при усадці в злитках безперервного розливання відсутні усадкові раковини, вони мають щільну будову і дрібнозернисту структуру. Поверхня злитка виходить хорошої якості. Вихід придатних заготовок може досягати 96–98% від маси розливаної сталі.

УБРС мають один, два, три, чотири і більш за кристалізатори (до восьми), що робить можливою одночасну наливку декількох злитків.

Злитки, відлиті на УНРС, можуть бути прокатані на сортових станах, минувши блюмінги і слябінги.

Будова злитка

Структура литого злитка складається з трьох основних зон (мал. 5). Перша зона – зовнішня дрібнозерниста кірка 1, що складається з дезорієнтованих дрібних кристалів. При першому зіткненні із стінками виливниці в тонкому прилеглому шарі рідкого металу виникає різкий градієнт температур і явище переохолодження, що веде до утворення великої кількості центрів кристалізації. В результаті кірка отримує дрібно-зернисту будову. Друга зона злитка – зона стовпчастих кристалів 2. Після утворення самої кірки умови теплопроводу міняються (із-за теплового опору, із-за підвищення температури

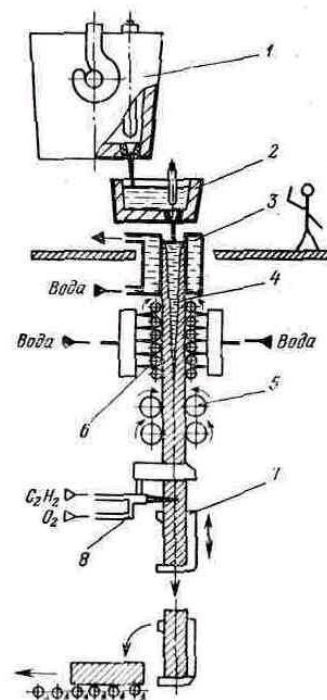


Рис. 4 – Поперечні перетини виливниць для розливання сталі в злитки.

ри стінки виливниці і інших причин), градієнт температур в прилеглому шарі рідкого металу різко зменшується і, отже, зменшується ступінь переохолодження сталі. В результаті з невеликого числа центрів кристалізації починають рости нормально орієнтовані до поверхні кірки (тобто у напрямі відведення тепла) стовпчасті кристали.

Третя зона злитка – зона рівноосних кристалів 3. В центрі злитка вже немає певної спрямованості віддачі тепла. Температура застигаючого металу встигає майже абсолютно зрівнюватися в різних крапках і рідина перетворюється як би на кашоподібний стан, унаслідок освіти в різних її крапках зачатків кристалів. Далі зачатки розростаються осями – гілками по різних напрямках, зустрічаючись один з одним. В результаті цього процесу утворюється рівноосна структура. Зародками кристала тут є зазвичай різні найдрібніші вclusions, присутні в рідкій сталі, або випадково в неї що потрапили, або що не розчинилися в рідкому металі.

У зоні стовпчастих кристалів метал щільніший, він містить менше раковин і газових міхурів. Проте місця стику стовпчастих кристалів володіють малою міцністю.

Ступінь розвитку стовпчастих кристалів варіюватиметься головним чином залежно від хімічного складу металу, ступеня його перегріву, від розміру злитка, швидкості розливання, форми виливниці і товщини, а також температури її стінок. Підвищення ступеня перегріву і збільшення швидкості охолодження злитка сприяє збільшенню частки стовпчастих кристалів і може повести до повної транскристалізації. Рідкий метал має більший об'єм, чим метал, що закристалізувався, тому залитий у форму, в процесі кристалізації зменшується в об'ємі, що приводить до утворення порожнеч, так званих усадкових раковин. Усадкові раковини можуть бути сконцентровані в одному місці, або розсіяні по всьому об'ємові злитка або по його частині. Вони можуть бути заповнені газами, розчинними в рідкому металі, але виділяються при кристалізації. У добре розкисленій так званій спокійній сталі, відлитій у виливницю з утепленою надставкою, усадкова раковина утворюється у верхній частині злитка, і в об'ємі всього злитка міститься мала кількість газових пухирів і раковин. Недостатньо розкислена так звана кипляча сталь, містить раковини і пухирі у всьому об'ємі. Спокійний метал тому щільніший, ніж киплячий. Форма первинних кристалів (дендритів) після гарячої механічної обробки тиском (кування, пресування, прокатування і так далі) видозмінюється. Дендрити витягуються уздовж напрямку течії металу і перетворюються на волокна. В результаті виникає відмінність у властивостях уздовж прокату (уздовж волокна) і уперек.

Сталеві злитки неоднорідні і по хімічному складу. Хімічна неоднорідність, або *ліквація*, виникає при твердінні злитка унаслідок зменшення розчинності домішок заліза при його переході з рідкого стану в твердий. Ліквация буває двох видів – дендритна і зональна.

Дендритна ліквация – неоднорідність сталі в межах одного кристала (дендриту). Найбільшою схильністю до дендритної ліквации володіють сірка, фосфор, вуглець, які при кристалізації скупчуються в межосних просторах дендритов. При цьому зміст сіри на межах дендритов але порівнянню з її змістом в центрі дендриту збільшується в 2 рази, фосфору в 1,2 разу, а зміст вуглецю зменшується приблизно на 50%. Цей вид ліквации приводить до появи в сталі смужчатої структури при плющенні, що викликає анізотропію механічних властивостей сталі: пластичні властивості в напрямі, поперечному плющенню, значно нижче, ніж в подовжньому.

Зональна ліквация – неоднорідність складу сталі в різних частинах злитка. Найбільшою схильністю до зональної ліквации володіють сірка, фосфор і вуглець. У верхній частині злитка за рахунок конвекції рідкого металу зміст цих елементів збільшується у декілька разів (рис. П. 13, г), а в нижній зменшується. Зональна ліквация погіршує якість злитка і може привести до відбракування металу унаслідок відхилення його властивості від заданого.

Дефекти сталевих злитків. До дефектів цих злитків відносяться усадкові раковини, ліквация, плени на поверхні. При розливанні сталі і твердінні утворюються також і інші дефекти, погіршуючі якість металу при подальшій обробці тиском. До них відносяться осьова рихлість – скупчення дрібних усадкових порожнеч в осьовій зоні злитка, вона погіршує макроструктуру прокатаних виробів; заворот кірки – освіта на поверхні дзеркала металу плівки оксидів, неметалічних і шлакових вclusions, яка потоком металу заноситься в його об'єм; при плющенні в місці завороту кірки виникають дефекти – раковини, погіршуючі якість виробів; поперечні і подовжні гарячі тріщини, що утворюються унаслідок гальмування усадки злитка у виливниці; підкіркові газові міхури, що виникають унаслідок надмірного мастила робочої поверхні виливниць, приводять до освіти при прокаті дрібних тріщин – волосовини.

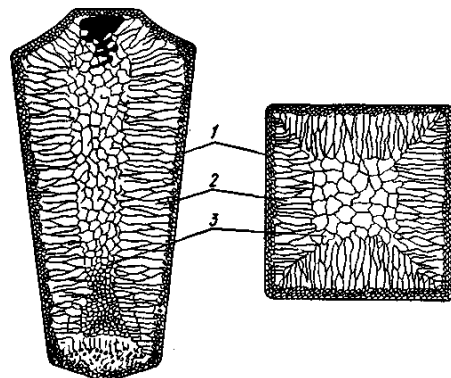


Рис.5 – Схема будови сталевого злитка.

Виконання роботи:

1. Вивчити будову сталерозливного ковша. Замалювати.
2. Вивчити технологію розливу сталі в ізложниці. Замалювати. Вказати переваги, недоліки.
3. Вивчити будову і роботу установки безперервного розливу сталі. Замалювати. Вказати переваги, недоліки.
4. Вивчити будову сталевих злитка. Замалювати, Вказати умови утворення різних зон злитка.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. КРИСТАЛІЧНА БУДОВА МЕТАЛІВ ТА АЛОТРОПІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В НИХ

Мета роботи: вивчити кристалічні решітки металів, механізм процесу кристалізації, перетворення у твердому стані. Навчитися проводити повний геометричний опис кристала, будувати термічні криві для різних сплавів.

1. Теоретичні відомості.

Кристалічна будова характеризується визначеним розташуванням атомів у просторі. Прагнення атомів (іонів) металу розташуватися можливо ближче один до одного, приводить до того, що число наявних комбінацій їхнього взаємного розташування невелике.

У кристалографії розглядають 14 типів елементарних комірок. Їх називають просторовими ґратками Браве. Для характеристики елементарної комірки задають шість величин: три ребра комірки a , b , c і три кути між ними α , β , γ . Ці величини називаються параметрами елементарної комірки (кристалічних ґраток). Всі 14 ґраток Браве розподілені по сімох кристалічних системах (сингоніям) відповідно до орієнтації і відносних величин параметрів ґратки. Кожна кристалічна система включає одну чи кілька типів просторових кристалічних ґраток. У простій ґратці атоми розташовуються тільки по вершинах ґратки, в об'ємноцентрованій ще один атом у центрі ґратки, у гранецентрованій ще по одному атому в центрі кожної грані ґратки, і в базоцентрованій ще по одному атому в центрах пари паралельних граней.

В кубічній гранецентрованій ґратці (ГЦК) атоми розташовані у вершинах куба і в центрі кожної грані. Ґратку такого типу мають метали: Ca_a , Ce , Sr_a , Tn , Pb , Ni , Ag , Au , Pd , Pt , Rh , Jr , Fe_γ , Cu , Co_a та ін.

В гексагональній ґратці атоми розташовані у вершинах і центрі шестигранних основ призми, а три атоми – в середній площині призми. Таке упакування атомів мають метали: Mg , Ti_a , Cd , Re , Os , Ru , Zn , Co_b , Be , Ca_b та ін.

Найбільш поширені типи кристалічних ґраток представлені на рисунку 1.

Щільність кристалічної ґратки – об'єму, зайнятого атомами, що умовно можна розглядати як тверді кулі, характеризується координаційним числом, під яким розуміють число атомів, що знаходяться на рівній і найменшій відстані від даного атома. Чим вище координаційне число, тим більше щільність упакування атомів. Ще одна характеристика пов'язана зі щільністю кристалічної ґратки – це кількість атомів, що належать одній комірниці. При розрахунку цього показника необхідно враховувати, що один і той же атом може належати одночасно декільком елементарним коміркам. Так, наприклад, в кубічній ґратці атом розташований в вершині куба належить одночасно 8 коміркам. Таким чином, одній комірниці належить $1/8$ частина атома. Помноживши на кількість таких атомів отримуємо: $1/8 \times 8 = 1$ атом.

В елементарному комірниці об'ємноцентрованої кубічної ґратки найменша відстань між атомами відповідає $d = 0,5a\sqrt{3}$. На цій відстані від даного атома знаходяться 8 сусідів. Отже, координаційне число для ОЦК решітки відповідає 8 і позначається К8. Коефіцієнт компактності комірки (або коефіцієнт заповнення), визначається як відношення об'єму, зайнятого атомами, до об'єму комірки і складає для ОЦК ґратки 68 %.

Для гранецентрованої кубічної ґратки координаційне число дорівнює 12 (К12); кожен атом має 12 найближчих сусідів на відстані $d = 0,5a\sqrt{2}$, що відповідає найбільшій щільності упакування в виді куль. Гексагональна щільноупакована ґратка, для якої $c/a = 1,633$, має координаційне число 12, що також відповідає найбільшій щільності упакування куль (атомів). В багатьох металів, що кристалізуються в гексагональній системі, відношення c/a знаходиться в межах 1,57 – 1,64, тобто може відхилитися від найщільнішого упакування, при якому $c/a = 1,633$. Якщо відношення c/a значно відрізняється від 1,633 (наприклад, для цинку і кадмію), то координаційне число гексагональної ґратки дорівнює 6.

Гранецентрована кубічна і гексагональна щільноупакована ($c/a=1,633$) ґратки – найбільш компактні; в них коефіцієнт компактності дорівнює 74 %. При зменшенні координаційного числа в

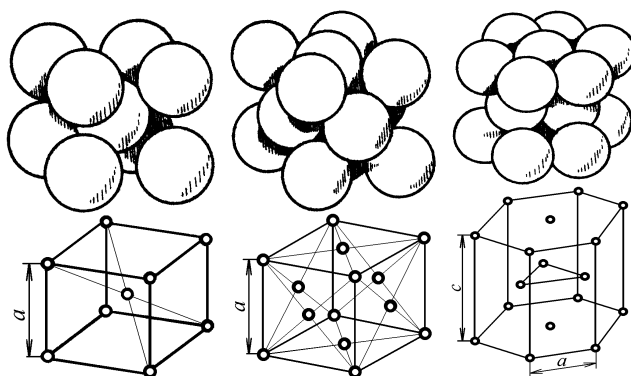


Рис.1 – Основні види елементарних комірок кристалічних ґраток металів: а – кубічна об'ємноцентрована; б – кубічна гранецентрована; г – гексагональна гранецентрована.

гексагональній гратці з 12 до 6 коефіцієнт компактності складає близько 50 %, а при координаційному числі 4 - всього близько 25 %.

Для характеристики величини атома служить атомний радіус, яким вважається половина відстані між найближчими сусідніми атомами. Параметри елементарного осередку a , b , c та атомні радіуси вимірюються в ангстремах ($1\text{Å}=10^{-10}\text{ м}=10^{-8}\text{ см}$) або в нанометрах ($1\text{ нм}=10^{-9}\text{ м}=10\text{Å}$). Параметри гратки металів (їх також називають періодами гратки) знаходяться в межах $0,2\dots 0,7\text{ нм}$ і визначаються методом рентгеноструктурного аналізу з точністю до третього, а при необхідності і до четвертого чи навіть п'ятого знака після коми.

Більшість металів утворюють одну з наступних високосиметричних складних ґраток з щільним упакуванням атомів: об'ємно центровану кубічну (ОЦК), гранецентровану кубічну (ГЦК) і гексагональну щільноупаковану (ГПУ).

Атоми даного елемента можуть створитися, якщо виходити тільки з геометричних розумінь, будь-які кристалічні ґратки. Однак стійким, а отже, реально існуючим типом є ґратки, що мають найбільш низький запас вільної енергії. Так, наприклад, у твердому стані літій, натрій, калій, рубідій, цезій, молібден, вольфрам та інші метали мають об'ємноцентровані кубічні ґрати; алюміній, кальцій, мідь, срібло, золото, платина та ін. - гранецентровану, а берилій, магній, цирконій, гафній, осмій і деякі інші - гексагональну.

Однак у ряді випадків при зміні температури або тиску може виявитися, що для того ж металу більш стійкою буде інша решітка, чим та, котра була при іншій температурі чи тиску. Так, наприклад, існує залізо з решіткою об'ємно-центрованої і гранецентрованої кубів; виявлений кобальт з гранецентрованою та з гексагональною ґраткою. У різних ґратках кристалізуються також олово, марганець, титан і деякі інші метали.

Існування одного металу (речовини) у декількох кристалічних формах називається поліморфізмом, або алотропією. Різні кристалічні форми однієї речовини називаються *поліморфними*, або *алотропними* модифікаціями.

Невеликі зміни тиску, що можуть виникати в практиці, звичайно не приведуть до поліморфних перетворень. Тому для практичного металознавства важлива головним чином температурна алотропія.

Прийнято позначати різні алотропічні форми того самого металу буквами грецького алфавіту α , β , γ та ін., які у вигляді індексів додають до символу, що позначає елемент (Fe_α , Fe_β , Fe_γ). Сама низькотемпературна позначається буквою α .

Перетворення однієї алотропічної форми в іншу при нагріванні чистого металу супроводжується поглинанням тепла і відбувається при постійній температурі. Усі зміни в будові металу або сплаву, що відбуваються при охолодженні або нагріванні, зображують графічно у виді термічної кривої (кривої охолодження або кривої нагрівання в координатах температура-час), на якій перетворення відзначається горизонтальною ділянкою (рис. 2). При охолодженні відбувається виділення тепла (виділення, прихованої теплоти перетворення) теоретично при такій же температурі, що і при нагріванні, але практично при трохи більш низькій внаслідок переохолодження.

Явище поліморфізму базується на єдиному законі про стійкість стану з найменшим запасом енергії.

Запас вільної енергії залежить від температури. Тому в одному інтервалі температур більш стійкою є модифікація α , а в іншому — модифікація β і т.д. Температура, при якій здійснюється перехід з однієї модифікації в іншу, зветься температурою поліморфного (алотропічного) перетворення. Так, залізо має дві температури поліморфного перетворення: 911 і 1392 °С.

Нові алотропічні форми утворюються в результаті зародження центрів і росту кристалів аналогічно кристалізації з рідкого стану. В результаті поліморфного перетворення виникають нові кристалічні зерна, що мають інший розмір, форму і будову.

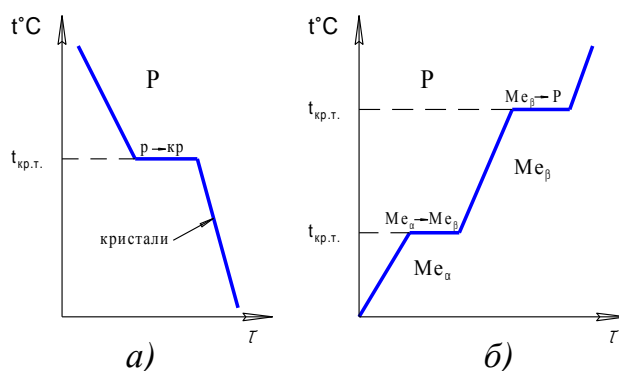


Рис. 2 – Термічні криві: а) крива охолодження металу без поліморфного перетворення; б) крива нагрівання металу з поліморфним перетворенням.

2. Варіанти практичних завдань

Задача 1. Для заданого металу (табл. 1) вкажіть кристалічну ґратку, намалуйте її й опишіть основні характеристики (параметр; координаційне число; кількість атомів, що належать елементарній

комірці; щільність упакування або коефіцієнт компактності).

Таблиця 1 - Варіанти задачі 1.

Варіант	Метал	Кристалічна гратка	Варіант	Метал	Кристалічна гратка
1	Ta	ОЦК	21	Fe _γ	ГЦК
2	W	ОЦК	22	Cu	ГЦК
3	V	ОЦК	23	Co	ГЦК
4	Fe _α	ОЦК	24	Be	ГПУ
5	Cr	ОЦК	25	Fe _δ	ГЦК
6	Nb	ОЦК	26	Al	ГЦК
7	Ba	ОЦК	27	Mg	ГПУ
8	Li	ОЦК	28	La	ГПУ
9	Ti	ГПУ	29	Sr	ГЦК
10	Cd	ГПУ	30	K	ОЦК
11	Re	ГПУ	31	Mo	ОЦК
12	Zn	ГПУ	32	Na	ОЦК
13	Co	ГПУ	33	Y	ГЦК
14	Ca	ГЦК	34	Zr	ГПУ
15	Ca	ГПУ	35	Ti	ОЦК
16	Ni	ГЦК	36	Zr	ОЦК
17	Ag	ГЦК	37	Ru	ГПУ
18	Au	ГЦК	38	Rd	ОЦК
19	Pd	ГЦК	39	Hf	ГПУ
20	Pt	ГЦК	40	Os	ГПУ

Задача 2. Для заданого металу, що має алотропічні (поліморфні) форми, побудуйте криву охолодження або нагрівання. На кривій вкажіть температури критичних точок, в кожному інтервалі температур позначте алотропічну форму у вигляді символу елемента й індексу, вкажіть тип її кристалічної гратки. Вихідні дані до задачі по варіантах наведено в таблицях 2 і 3.

3. Порядок виконання роботи.

3.1. Розв'язання задачі 1.

1. Записати умови задачі.
2. Вказати назву металу та розшифрувати тип кристалічної гратки.
3. Нарисувати елементарну комірку кристалічної гратки.
4. Визначити, які атоми в кристалічній гратці будуть найближчими сусідами, та розрахувати відстань між ними d за формулою:

$$d=2 \times r_a,$$

де r_a – атомний радіус, нм (таблиця 4);

5. Виходячи з геометричних міркувань, розрахувати параметри кристалічної гратки.
6. Визначити координаційне число кристалічної гратки.
7. Визначити кількість атомів, що належать елементарній кристалічній комірниці.
8. Розрахувати коефіцієнт компактності кристалічної гратки за формулою:

$$KK=V_a/V_{ек},$$

де V_a – об'єм атомів, що належать елементарній комірниці, нм³;

$V_{ек}$ – об'єм елементарної комірниці, нм³.

3.1. Розв'язання задачі 2.

1. Записати умови задачі.
2. Побудувати систему координат температура-час.
3. Відкласти на вісі температур точки перетворень (фазових та поліморфних).
4. Вказати на всіх температурних інтервалах алотропічну форму металу та тип кристалічної гратки.
5. Побудувати криву охолодження (нагрівання).
6. Вказати перетворення, які відбуваються при охолодженні (нагріванні).
7. Для кожної алотропічної форми металу намалювати елементарну комірку кристалічної гратки.

Таблиця 2 - Варіанти задачі 2

Варіант	Метал	Вигляд термічної кривої
1	Fe (залізо)	Крива нагрівання
2		Крива охолодження
3	Co (кобальт)	Крива нагрівання
4		Крива охолодження
5	Ti (титан)	Крива нагрівання
6		Крива охолодження
7	Zr (цирконій)	Крива нагрівання
8		Крива охолодження
9	Ca (кальцій)	Крива нагрівання
10		Крива охолодження
11	Sc (скандій)	Крива нагрівання
12		Крива охолодження
13	Sr (стронцій)	Крива нагрівання
14		Крива охолодження
15	Be (берилій)	Крива нагрівання
16		Крива охолодження
17	La (лантан)	Крива нагрівання
18		Крива охолодження
19	Pr (празеоодим)	Крива нагрівання
20		Крива охолодження
21	Nd (неодим)	Крива нагрівання
22		Крива охолодження
23	Gd (гадоліній)	Крива нагрівання
24		Крива охолодження
25	Hf (гафній)	Крива нагрівання
26		Крива охолодження
27	Tl (талій)	Крива нагрівання
28		Крива охолодження
29	Th (торій)	Крива нагрівання
30		Крива охолодження

Таблиця 3 - Вихідні дані до задачі 2

Метал	Алотропічні форми	Інтервал температур устійчого состояния	Кристалічна форма
Fe залізо	α	< 911	ОЦК
	β	911 - 1392	ГЦК
	γ	1392 - 1539	ОЦК
Co кобальт	α	< 450	ГПУ
	β	450 - 1480	ГЦК
Ti титан	α	< 882	ГПУ
	β	882 - 1660	ОЦК
Zr цирконій	α	< 867	ГПУ
	β	867 - 1860	ОЦК
Ca кальцій	α	< 464	ГЦК
	β	464 - 510	ОЦК
Sc скандій	α	< 950	ГПУ
	β	950 - 1538	ГЦК
Sr стронцій	α	< 233	ГЦК
	β	233 - 540	ГПУ
	γ	540 - 770	ОЦК
La лантан	α	< 310	ГПУ
	β	310 - 664	ГЦК
	γ	664 - 920	ОЦК
Pr празеоодим	α	< 792	ГПУ
	β	792 - 935	ОЦК
Nd неодим	α	< 862	ГПУ
	β	862 - 1024	ОЦК
Gd гадоліній	α	< 864	ГПУ
	β	864 - 1812	ОЦК
Hf гафній	α	< 1777	ГПУ
	β	1777 - 1977	ОЦК
Tl талій	α	< 230	ГПУ
	β	230 - 2027	ГЦК
Th торій	α	< 1360	ГЦК
	β	1360 - 1692	ОЦК
W вольфрам	α	< 630	ОЦК
	β	630 - 3377	ГЦК
Be берилій	α	< 1254	ГПУ
	β	1254 - 1273	ОЦК

Таблиця 4 – Атомні радіуси металів.

3 Li 0,157	4 Be 0,113											
11 Na 0,192	12 Mg 0,160	13 Al 0,143										
19 K 0,236	20 Ca 0,197	21 Sc 0,165	22 Ti 0,145	23 V 0,136	24 Cr 0,128	25 Mn 0,131	26 Fe 0,127	27 Co 0,126	28 Ni 0,126	29 Cu 0,128	30 Zn 0,137	31 Ga 0,139
37 Rb 0,253	36 Sr 0,216	39 Y 0,181	40 Zr 0,160	41 Nb 0,147	42 Mo 0,140	43 Tc 0,134	44 Ru 0,132	45 Rh 0,134	46 Pd 0,137	47 Ag 0,144	48 Cd 0,152	49 In 0,152
55 Cs 0,274	56 Ba 0,225	57—71 La 0,188	72 Hf 0,159	73 Ta 0,146	74 W 0,141	75 Re 0,137	76 Os 0,134	77 Ir 0,135	78 Pt 0,138	79 Au 0,144	80 Hg 0,155	81 Tl 0,171

Приклад розв'язання задачі наведено на рисунку 3.

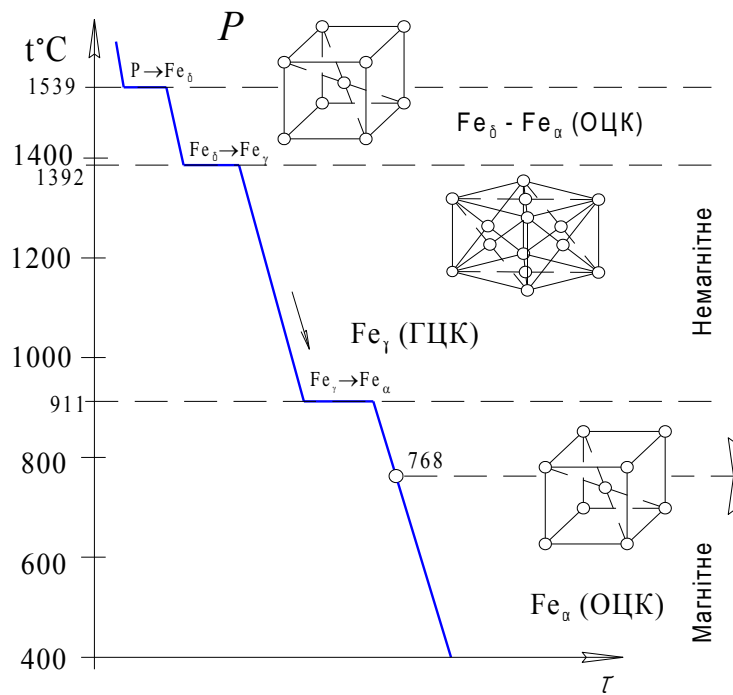


Рисунок 3 – Крива охолодження заліза.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

1. Мета роботи: вивчити вплив пластичної деформації та рекристалізації на мікроструктуру та механічні властивості металів і сплавів.

2. Теоретичні відомості

Деформація – це зміна форми та розмірів твердого тіла в результаті дії зовнішніх сил, що відбувається без зміни об'єму тіла.

Пружна деформація зникає після припинення дії навантажень, що її спричинили. Під час пружної деформації атоми кристалу зміщуються на відстані значно менші від величини параметра елементарного осередку, коли зі зростанням міжатомних відстаней сили взаємного притягання атомів збільшуються. Після зняття навантажень атоми під дією цих сил повертаються у положення рівноваги, а тіло відновлює свої початкові розміри й форму.

Пластичною, або залишковою називається деформація, яка зберігається в тілі після зняття навантажень. На відміну від пружної в процесі пластичної деформації окремі групи атомів металу переміщуються на велику кількість міжатомних відстаней. Після цього вони знову займають положення рівноваги, завдяки чому пластично деформований метал залишається суцільним.

У результаті деформації відбувається значна зміна структури, що залежить від виду пластичної деформації. В залежності від температурних умов деформування розрізняють холодну і гарячу деформації. Фізичною границею між холодною і гарячою деформацією є температура рекристалізації. Академік А. А. Бочвар вказав наближену залежність між абсолютною температурою рекристалізації й абсолютною температурою плавлення:

$$T_{\text{рек}} = \alpha t_{\text{пл}} \cdot K$$

Температура рекристалізації в градусах Цельсія визначається по формулі:

$$T_{\text{рек}} = \alpha(t_{\text{пл}} \text{ } ^\circ\text{C} + 273) - 273, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення коефіцієнта α залежить від чистоти металу і ступеня пластичної деформації. Для металів технічної чистоти найчастіше приймають $\alpha=0,4$, для сплавів $\alpha=0,5$.

Холодна деформація проводиться при температурі нижче температури рекристалізації. Після деформації (у результаті зміщення по площинах ковзання) зерна витягаються в напрямку деформації. З ростом ступеня деформації з'являється переважне кристалографічне орієнтування зерен, що називається текстурою деформації. Безладно орієнтовані кристали під дією деформації повертається осями найбільшої міцності уздовж напрямку деформації. Утворення текстури сприяє появі анізотропії механічних і фізичних властивостей. Зі збільшенням ступеня холодної деформації властивості, що характеризують опір деформації σ_b , σ_t , НВ і т.д., підвищуються, а здатність до пластичної деформації (пластичність δ , ψ) - зменшується. Зміцнення металу під дією останньої називається наклепом або нагартовуванням. Наклеп усувається рекристалізаційним відпалом.

Рекристалізація – процес зародження та росту недеформованих зерен під час нагрівання наклепаного металу до заданої температури. Є дві стадії рекристалізації:

- первинна (рекристалізація обробки);
- збиральна.

Первинна рекристалізація полягає в зародженні у деформованій структурі недеформованих зерен та їх подальшому росту.

Ріст одних рекристалізованих зерен за рахунок сусідніх рекристалізованих зерен називається збиральною рекристалізацією.

Гаряча деформація здійснюється при температурі вище температури рекристалізації. У цьому випадку зміцнення, викликане пластичною деформацією, цілком знімається рекристалізаційними процесами, які протікають при температурах деформації. При гарячій обробці метал ущільнюється і багато пороків (порожнечі, газові раковини, тріщини й ін.) заварюються. Прокатка і кування додають сталі й іншим сплавам волокнисту будову. Дендрити і міждендритні простори, що містять велику кількість домішок і неметалічних включень, витягаються в напрямку деформації й утворюють характерні волокна. Зерна у волокнах рекристалізовані і мають округлу форму. Такий метал характеризується анізотропією механічних властивостей. Межі текучості і міцності при випробуванні уздовж і поперек волокон відрізняються незначно. Відносне подовження, відносне звуження й ударна в'язкість уздовж волокон значно вище, ніж поперек.

4. Варіанти задач

Задача 1.1 По діаграмі розтягання (рис. 1а) зразка зі сталі 10 визначите: σ_b , δ , $\sigma_{\text{пл}}$, ($d=5$ мм, $l=25$ мм). Поясніть фізичну сутність межі міцності.

Задача 1.2 По діаграмі розтягання (рис. 1б) зразка зі сталі 20Х3 визначите: σ_B , δ , $\sigma_{пл}$, ($d=5$ мм, $\ell=25$ мм). Поясніть причину виникнення площадки плинності.

Задача 1.3 По діаграмі розтягання (рис. 1в) зразка зі сталі 12Х13 визначите: σ_B , δ , $\sigma_{пл}$, ($d=5$ мм, $\ell=25$ мм). Нарисуйте мікроструктуру, що утворилася в шейку зразка, і опишіть її будівлю.

Задача 1.4 По діаграмі розтягання (рис. 1г) зразка зі сталі 20 визначите: σ_B , δ , $\sigma_{пл}$, ($d=5$ мм, $\ell=25$ мм). Опишіть послідовно, починаючи з малих ступенів деформації аж до руйнування, які зміни відбуваються в мікроструктурі сталі в місці руйнування.

Задача 1.5 По діаграмі розтягання (рис. 1д) зразка зі сталі 40ХС визначите: σ_B , δ , $\sigma_{пл}$, ($d=5$ мм, $\ell=25$ мм). Нарисуйте мікроструктуру сталі до і після іспиту. Опишіть різницю в будові.

Задача 1.6 По діаграмі розтягання (рис. 1е) зразка зі сталі 15 визначите: σ_B , δ , $\sigma_{пл}$, ($d=5$ мм, $\ell=25$ мм). Виходячи з атомно-кристалічної будови, поясніть механізм пластичної деформації сталі.

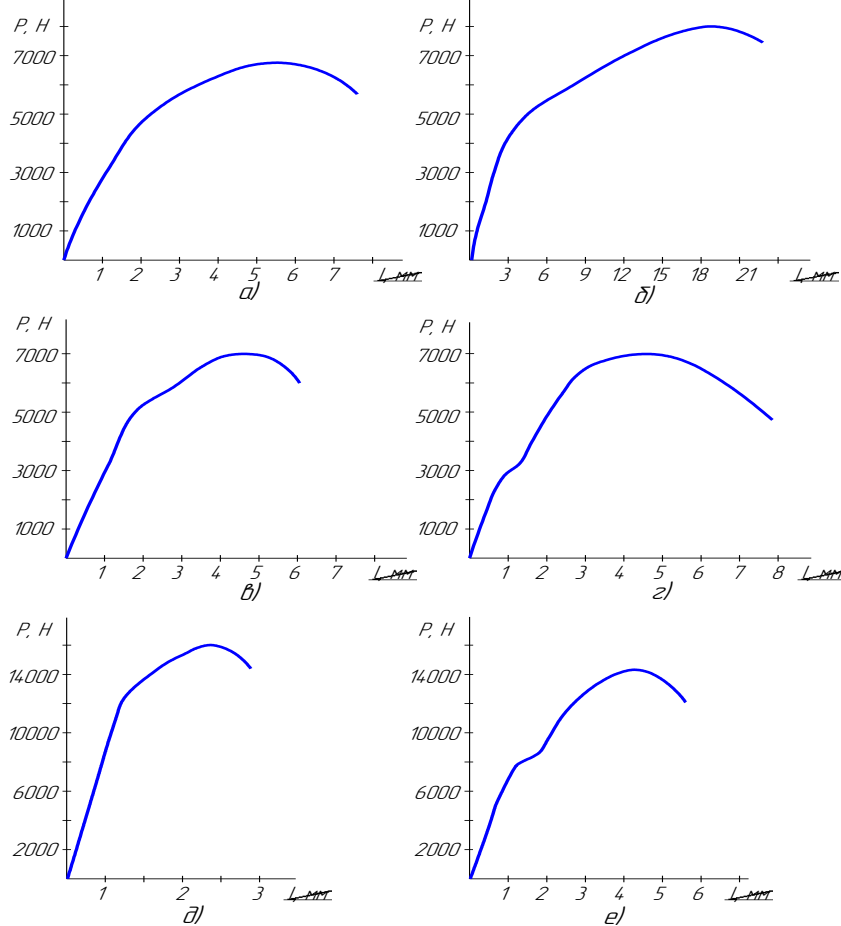


Рис. 1 – Діаграми розтягнення

Задача 1.7 Поясніть, чому пластичну деформацію олова при кімнатній температурі називають гарячою деформацією, а вольфраму при 700 °С - холодною ($t_{пл} Sn=232$ °С, $t_{пл} W=3320$ °С).

Задача 1.8 Смуги свинцю прокатані при 20°С зі ступенем деформації 50%. Поясніть, чому смуги не зміцнилися при деформуванні, і опишіть процеси, що протікають при цьому ($t_{пл} Pb=327$ °С).

Задача 1.9 При виготовленні сталевго дроту діаметром 3 мм зі сталі 12Х18Н9Т проводять волочіння через 5 волочильних матриць. Після третьої матриці дріт стає крихким і подальше волочіння стає неможливим, Поясніть причини появи крихкості.

Задача 1.10 Сляб (прямокутну заготовку, що одержують на прокатному стані – слябінгу зі злитка) прокатали в товстий лист у гарячому стані. Поясніть, чи відбулося зміцнення сталі. Нарисуйте макро- і мікроструктуру листа.

Задача 1.11 При одержанні сталевго листа товщиною 1 мм холодною прокаткою значно підвищилася твердість сталі. Поясніть причину цього явища. Вкажіть, як можна понизити твердість листа.

Задача 1.12 Зубчасте колесо отримане гарячим штампуванням сталевго заготовки зі сталі 40ХН. Поясніть, чому не відбулося зміцнення сталі.

Задача 1.13 Підвищення міцності алюмінію досягається наклепом. Поясніть, які зміни в кристалічній будові відбуваються при цьому.

Задача 1.14 При виготовленні мідних труб волочінням утворилися тріщини. Поясніть механізм їхнього утворення.

Задача 1.15 Для зменшення твердості прутків латуні, отриманих холодною пластичною деформацією, проводять рекристалізаційний відпал при 600 °С. Опишіть форму зерен латуні до відпалу й етапи її зміни при нагріванні латуні ($t_{пл}$ латуні 950 °С).

Задача 1.16 Труби з латуні, отримані холодною пластичною деформацією, нагрівають до 250 і 700 °С. Поясніть вплив зазначених температур на будову і властивості труб ($t_{пл}$ латуні 950 °С).

Задача 1.17 При дослідженні зламу зруйнованого вала зі сталі 40 встановлено, що він має волокнисту будову. Визначите вид руйнування. Поясніть розходження між в'язким і крихким руйнуванням.

Задача 1.18 При великих ступенях деформації алюмінієвий дріт рветься. Призначте термічну обробку для підвищення пластичності дроту і поясніть, які зміни відбудуться в будові мікроструктури ($t_{пл}$ алюмінію 660°С).

Задача 1.19 Для зниження твердості сталевя стрічка, отримана холодною пластичною деформацією, була піддана рекристалізаційному відпалу. Однак і після відпалу стрічка мала підвищену твердість. В чому причина?

Задача 1.20 Деталі, виготовлені з прутків міді діаметром 20 мм, повинні мати межу міцності не менш 300 Н/мм². Тим часом на заводі маються прутки міді більшого діаметра з межею міцності 220-250 Н/мм². Вкажіть, як можна підвищити межу міцності міді.

Задача 2. Для заданого металу або сплаву вкажіть ступінь холодної пластичної деформації, що забезпечує одержання необхідної величини механічної властивості.

Таблиця 1 - Варіанти задачі 2

Номер варіанту	Марка матеріалу	Величина механічної властивості
1	Сталь Ст2пс	НВ 1500 Н/мм ²
2	Сталь 08кп	$\sigma_{0,2} = 400$ Н/мм ²
3	Сталь 20	$\sigma_{0,2} = 550$ Н/мм ²
4	Сталь 40	$\sigma_B = 800$ Н/мм ²
5	Сталь 45	НВ = 2000 Н/мм ²
6	Сталь 50	$\sigma_B = 890$ Н/мм ²
7	Сталь 85	$\delta = 5\%$
8	Сталь 12Х13	$\sigma_{0,2} = 750$ Н/мм ²
9	Сталь У8ГА	$\delta = 8\%$
10	Сталь 14Г2АФ	$\delta = 4\%$
11	Алюмінієвий сплав АМц	$\delta = 15\%$
12	Сталь 12Х5МА	$\delta = 7\%$
13	Алюмінієвий сплав АМг1	$\delta = 14\%$
14	Латунь Л90	$\delta = 10\%$
15	Латунь Л68	$\sigma_B = 500$ Н/мм ²
16	Латунь Л62	$\sigma_{0,2} = 300$ Н/мм ²
17	Бронза Бр.Мц5	$\delta = 3\%$
18	Нікель НЦ4	$\sigma_B = 750$ Н/мм ²
19	Монель	$\delta = 10\%$
20	Технічний титан	$\delta = 12\%$
21	Сталь 20Х20Н4АГ10	НВ = 2500 Н/мм ²
22	Сталь 12Х21Н5Т	НВ = 3000 Н/мм ²
23	Сталь 12Х18Н9Т	НВ = 1950 Н/мм ²
24	Сталь 10Х14Г14М3	$\sigma_{0,2} = 450$ Н/мм ²
25	Сталь 20Х17Н5Г9	НВ = 1500 Н/мм ²
26	Сталь 30ХГСА	$\sigma_{0,2} = 560$ Н/мм ²
27	Сталь 08Х17АГ14	$\sigma_B = 940$ Н/мм ²
28	Сталь У10	НВ = 2250 Н/мм ²
29	Сталь 09Г2	$\sigma_B = 600$ Н/мм ²
30	Сталь 12Х22Н5Г9Т	НВ = 2000 Н/мм ²

Таблиця 2 – Вихідні дані для задачі 2

№ вар	Матеріал	Вихідні властивості				Коефіцієнти					Показники степеня		
		$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	НВ	А	В	С	К	М	n_1	n_2	n_3
		Н/мм ²		%	Н/мм ²								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Сталь Ст2сп	230	375	34	1200	30,6	18,6	39	4,04	2,4	0,62	0,71	0,77
2	Сталь 08кп	230	325	35	1000	34,6	14,8	96,5	2,8	1,0	0,6	0,75	0,55
3	Сталь 20	250	420	25	1560	31,6	5,8	53	2,26	2,0	0,64	0,98	0,66
4	Сталь 40	350	600	19	1700	83,6	14	40	2,43	2,0	0,48	0,82	0,77
5	Сталь45	350	585	16	1450	86,6	14,4	129	2,45	1,4	0,48	0,83	0,52
6	Сталь 50	400	675	18	1780	100	17,4	75	2,68	1,42	0,47	0,80	0,65
7	Сталь 85	500	950	13	2470	147	21	32	2,17	3,0	0,43	0,77	0,37
8	Сталь 12Х13	325	500	28	1450	72	17	195	2,36	1,27	0,45	0,72	0,35
9	Сталь У8ГА	400	670	28	1600	114	22	140	3,35	3,0	0,44	0,73	0,57
10	Сталь 14Г2АФ	400	575	32	1700	112	34	56	3,04	2,25	0,38	0,59	0,76
11	Алюмінієвий сплав АМц	50	110	22	300	6	0,3	2	2,16	1,3	0,71	1,34	1,3
12	Сталь 12Х5МА	480	575	24	1550	23	8,9	92	2,22	2,4	0,72	0,89	0,63
13	Алюмінієвий сплав АМг1	100	210	22	490	13	7	21	1,55	1,2	0,59	0,55	0,64
14	Латунь Л90	230	310	35	970	29	13	26	1,92	1,2	0,52	0,65	0,72
15	Латунь Л68	120	325	70	700	36	11	68	1,35	0,41	0,62	0,8	0,72
16	Латунь Л62	150	360	56	1000	31	6	38	1,34	0,56	0,65	0,94	0,82
17	Бронза Бр.Мц5	90	315	50	650	61	2,4	60	3,14	2,1	0,46	1,06	0,74
18	Нікель НЦ4	150	500	47	1150	137	11	216	2,24	1	0,38	0,81	0,46
19	Монель	200	500	48	1280	114	24	100	2,46	1,3	0,41	0,64	0,58
20	Титан технічний	500	570	34	2259	67	47	64	2,08	2,3	0,36	0,45	0,59
21	Сталь 20Х20Н4АГ10	500	800	50	2000	25	6,6	68	1,43	0,05	0,92	1,2	0,84
22	Сталь 12Х21Н5Т	670	580	15	2620	27,3	19,6	137	2,79	1,25	0,68	0,74	0,45
23	Сталь 12Х18Н9Т	600	840	28	1700	38,2	24	75	2,36	1,6	0,70	0,74	0,57
24	Сталь 10Х14Г14Н3	340	730	62	1790	33	10	105	3,6	1,24	0,78	0,9	0,41
25	Сталь 20Х17Н5Г9	600	850	40	1210	59	22	31	4,64	0,34	0,69	0,86	0,61
26	Сталь 30ХГСА	480	640	30	1800	86	34	85	2,94	2,4	0,45	0,61	0,7
27	Сталь 08Х17АГ14	450	820	53	2120	36	14	115	4,44	2,05	0,86	1,02	0,52
28	Сталь У10	450	620	30	2200	25	18	15	1,8	0,83	0,79	0,83	0,35
29	Сталь 09Г2	320	470	40	1750	59	6,4	29	3,08	2	0,46	0,91	0,85
30	Сталь 12Х22Н5Г9Т	550	880	50	1630	51	18	38	4,2	1,4	0,71	1,23	0,64

5. Порядок виконання і складання звіту

1. Розрахувати механічні властивості заданого матеріалу в залежності від ступеня холодної пластичної деформації по формулах:

$$\text{умовна межа текучості } \sigma_{0,2} = \sigma_{0,2\text{внх}} + A\varepsilon^{n_1}$$

$$\text{межа міцності } \sigma_{\varepsilon} = \sigma_{\varepsilon,\text{внх}} + B\varepsilon^{n_2}$$

$$\text{твердість по Брінеллю } HB = HB_{\text{внх}} + C\varepsilon^{n_3}$$

$$\text{відносне подовження } \lg \delta = \lg \delta_{\text{внх}} - K\varepsilon + M\varepsilon^2$$

де А, В, С, К, М – коефіцієнти; n_1, n_2, n_3 показники ступеня; ε – ступінь деформації (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70%), при розрахунку δ ступінь деформації вводиться у відносних одиницях (0,1; 0,2; ... 0,7).

2. Побудуйте графіки: $\sigma_{0,2}=f(\varepsilon)$; $\sigma_{\varepsilon}=f(\varepsilon)$; $HB=f(\varepsilon)$; $\delta=f(\varepsilon)$.

3. Виберіть по графіках ступінь холодної пластичної деформації, що забезпечує одержання необхідної величини механічної властивості.

4. Вкажіть значення границі текучості, межі міцності, відносного подовження і твердості, що виходять при обраному ступені деформації.

Варіанти задачі 2 – див. табл. 1.

Вихідні дані – див. табл. 2.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

1. Мета роботи. Ознайомлення з загальною конструкцією твердомірів. Засвоїти методи та отримати практичні навички вимірювання твердості металів по Брінеллю, Роквеллу і Віккерсу.

2. Теоретичні відомості

Твердістю називають властивість матеріалу чинити опір пластичній деформації при контактному впливі в поверхневому шарі. Вимір твердості внаслідок швидкості і простоти здійснення, а також можливості без руйнування виробу судити про його властивості, набуло широкого застосування для контролю якості металу в металевих виробках і деталях.

Визначення твердості по Брінеллю.

Сутність методу (ГОСТ 9012-59) полягає у вдавненні сталеві кульки діаметром D , мм у зразок під дією навантаження F (P), Н (кгс) і вимірі діаметра відбитка d , мм, після зняття випробного навантаження (рис. 1, а). Якщо поверхн. відбитка виразити через діаметр кульки і діаметр відбитка, то твердість по Брінеллю визначається по формулі:

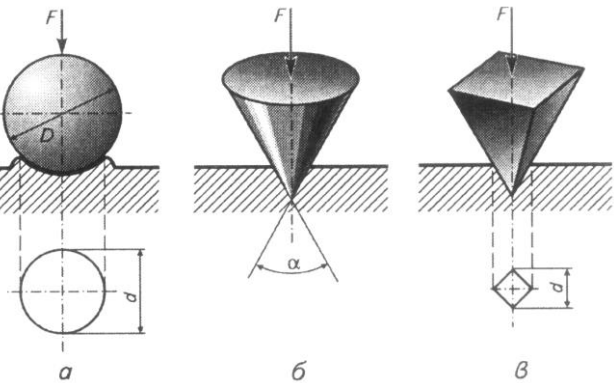


Рис. 1 – Схеми визначення твердості по Брінеллю (а), Роквеллу (б) і Віккерсу (в).

$$HB = \frac{0.102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

коли навантаження F виражене в Н, і

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2)$$

коли F (P) виражене в кгс.

Конструктивна схема твердоміру Брінелля показано на рисунку 2.

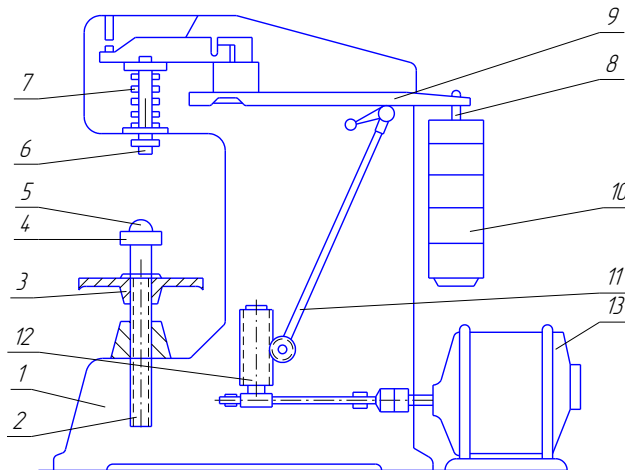


Рисунок 2 – Конструктивна схема твердоміру Брінелля:

1 – станина приладу; 2 – гвинт з маховичком для підйому і опускання деталі; 3 – маховик для передачі руху столику; 4 – змінний столик для встановлення деталі; 5 – досліджувана деталь; 6 – інденитор – сталеві кулька; 7 – пружина; 8 – підвіска для вантажів; 9 – основний важіль; 10 – навантаження при випробуванні на твердість; 11 – важільна система; 12 – черв'ячний редуктор; 13 – електродвигун.

Принцип роботи приладу Брінелля полягає в наступному. Досліджувану деталь 5 розміщують на змінний столик 4. При обертанні маховика 3 гвинт 2 переміщується вздовж осі, піднімаючи деталь до контакту з інденитором 6 та повного стискання пружини 7. При вмиканні електродвигуна 13 важільна система 11 звільняє основний важіль 9, через який на інденитор передається зусилля вимірювання від вантажів 10, що розміщені на підвісці 8. Тривалість витримки під навантаженням лежить в межах від 10 до 30 с. Після цього важільна система 11 під дією електродвигуна піднімає основний важіль та знімає навантаження з деталі. Деталь знімається зі столика та виконується вимірювання ді-

метра відбитка. Величина твердості розраховується по формулах (1), (2), або визначається по спеціальних таблицях, виходячи з діаметра відбитка d .

Діаметр кульки D рівний 10; 5; 2,5 мм, вибирають в залежності від товщини виробу; навантаження P – від діаметру кульки, твердості і товщини випробуваного матеріалу (табл.1).

Для вимірювання діаметру відбитка використовується мікроскоп моделі МПБ-2 з величиною збільшення в 24 рази. В оптичній системі мікроскопу є шкала для вимірювання з ціною поділки 0,05 мм та підписаними поділками ціною 1 мм. Загальний вигляд шкали наведено на рисунку 3. При вимірюванні мікроскоп встановлюється на деталь, "0" шкали суміщається з краєм відбитка, по протилежному краю відбитка за шкалою визначають його діаметр (рис.4).

При випробуванні сталі і чавуну звичайно приймають $D=10$ мм і $F=29430$ (3000) Н (кгс), при випробуванні алюмінію, міді, нікелю і їх сплавів $D=10$ мм і $F=9800$ (1000) Н (кгс), а при випробуванні м'яких металів (Pb, Sn та їхніх сплавів) $D=10$ мм і $F=2450$ (250) Н (кгс).

Твердість по Брінеллю позначається цифрами, що характеризують величину твердості і буквами НВ, наприклад 185 НВ (при $D=10$ мм і $F=3000$ кгс).

Чим менше діаметр відбитка, тим вище твердість.

Між тимчасовим опором і числом твердості НВ існує наступна залежність: для сталі $\sigma_b=0,34НВ$, для мідних сплавів $\sigma_b=0,45НВ$ і для алюмінієвих сплавів $\sigma_b=0,35НВ$.

Метод Брінелля не рекомендується застосовувати для сталі з твердістю більш 450 НВ, а для кольорових металів - більш 200 НВ.

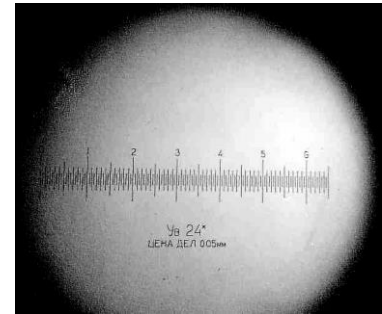


Рис. 3 – Вимірювальна шкала мікроскопу МПБ-2.

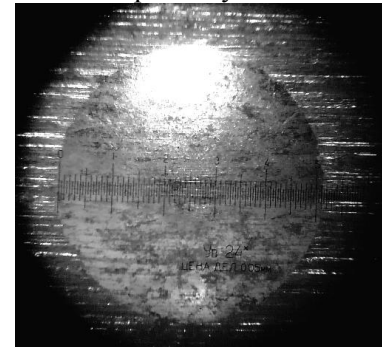


Рис. 4 – Вимірювання відбитку за допомогою мікроскопу МПБ-2

Таблиця 1 – Значення твердості по Брінеллю для сплавів

Матеріал	Твердість НВ	Товщина матеріалу, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження P , кг
Сталь, чавун	140-450	6...3	10,0	3000
		4...2	5,0	750
		<2	2,5	187,5
Кольорові метали	<130	6...3	10,0	3000
		4...2	5,0	750
		<2	2,5	187,5
Кольорові метали	>130	9...3	10,0	1000
		6...3	5,0	250
		<3	2,5	62,5

Визначення твердості по Роквеллу. Сутність методу (ГОСТ 9013-59) полягає у вдавненні наконечника з алмазним конусом з кутом при вершині 120° (шкали А і С) або зі сталюю кулькою діаметром 1,5875 мм (шкала В) у випробуваний зразок (виріб) під дією послідовно прикладених попереднього F_0 (P_0) Н (кгс) і основного F_1 (P_1) Н (кгс) навантажень і вимірів залишкового збільшення e глибини впровадження наконечника після зняття основного навантаження і збереження попереднього навантаження в одиницях виміру 0,002 мм.

Схема визначення твердості по Роквеллу приведена на рис. 5.

Під навантаженням F_0 (P_0) індикатор приладу вдавлюється в зразок на глибину h_0 . Потім на випробуваний зразок подається повне навантаження $F=F_0+F_1$ ($P=P_0+P_1$) і глибина занурення наконечника зростає. Після зняття основного навантаження F_1 (P_1) прилад показує число твердості по Роквеллу HR. Чим менше глибина вдавнення h , тим вище твердість випробуваного матеріалу.

Вимірювання твердості методом Роквелла виконується

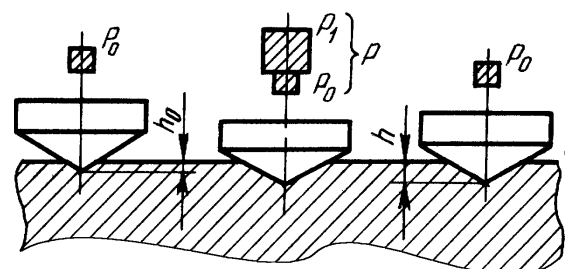


Рис. 5 – Схема вимірювання твердості за методом Роквелла.

спеціальним приладом – твердоміром Роквелла, конструктивна схема якого наведена на рисунку 6.

Принцип дії твердоміра Роквелла полягає в наступному. Перед вимірюванням твердості вмикається електродвигун 15 для підготовки приладу до роботи. Вимірюваний зразок (деталь) 5 розміщують на змінному столику 4. При обертанні маховика 3 гвинтом 1 піднімають столик зі зразком до контакту з індентором 13 і далі, доки маленька стрілочка індикатора 9 не суміститься із червоною крапкою на шкалі приладу (створено попереднє навантаження). Обертаючи колесо 14 виставляють "0" необхідної шкали ("А", "С" або "В" в залежності від типу індентора та навантаження) по великій стрілці індикатора. При натисканні на педаль 2 масляний редуктор 16 опускає стійку 12, звільняючи важіль 7. Основне навантаження, що створюється вантажем 11, через підвіску 10, важіль 7, шпindel 6 передається на індентор 13. Величина заглиблення індентора через важіль 8 передається на індикатор. За декілька секунд масляний редуктор піднімає стійку 12 та важіль 7, знімаючи основне навантаження. Значення твердості вказується великою стрілкою на відповідній шкалі індикатора 9. Після закінчення вимірювання столик опускається, зразок знімається та вмикається електродвигун.

При використанні алмазного конуса – по шкалі А приймається $F_0 (P_0) = 98 (10) \text{ Н (кгс)}$, $F_1 (P_1) = 490 (50) \text{ Н (кгс)}$ і $F (P) = 600 (60) \text{ Н (кгс)}$. Шкала А використовується для визначення твердості тонких (0,5...1,0 мм) поверхневих шарів та дуже твердих матеріалів.

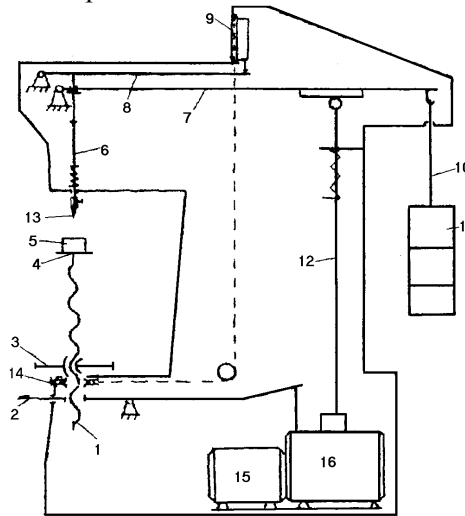


Рисунок 6 – Конструктивна схема твердоміру Роквелла:

1 – гвинт для підйому і опускання деталі; 2 – педаль для включення редуктора; 3 – маховик; 4 – змінний столик для встановлення деталі; 5 – досліджувана на твердість деталь; 6 – шпindel індентора; 7 – важіль для передачі навантаження на індентор; 8 – важіль для передачі руху індикатору; 9 – індикатор зі шкалами "А", "В" і "С"; 10 – підвіска вантажу; 11 – навантаження при вимірюванні твердості; 12 – стійка; 13 – індентор з алмазним конусом або сталеву кулькою; 14 – колесо регулювання шкали індикатора; 15 – електродвигун; 16 – масляний редуктор;.

По шкалі С- $F_0 (P_0) = 100 (10) \text{ Н (кгс)}$, $F_1 (P_1) = 1373 (140)$ і $F (P) = 1471 (150)$. Число твердості виражається формулою $\text{HRC (HRA)}=100-e$, де $e = (h - h_0)/0,002 \text{ мм}$ (0,002 мм – ціна поділки шкали індикатора приладу для іспиту твердості по Роквеллу). По шкалі С визначають твердість матеріалів з високою твердістю (>450 НВ), коли сталева кулька може деформуватися.

По шкалі В попереднє навантаження $F_0 (P_0)$ складає 98 (10) Н (кгс), основна 883 (90) Н (кгс) і загальна 981 (100) Н (кгс). Твердість по шкалі В $\text{HRB} = 130 - e$. За шкалою В визначають твердість відносно м'яких матеріалів (<400НВ).

Одиниця твердості по Роквеллу – безрозмірна величина, що відповідає осьовому переміщенню індикатора на 0,002 мм. Межі виміру твердості по шкалах А, В і С встановлюються наступні: шкала А – 70...85 одиниць, шкала С – 22...68 одиниць, шкала В – 25...100 одиниць. Твердість по Роквеллу позначається цифрами, що характеризують величину твердості, і буквами HR з вказівкою шкали твердості. Наприклад, 61HRC (твердість 61 по шкалі С).

Величина твердості за Роквеллом не має точного методу переведення в інші величини твердості або міцності при розтягуванні.

Визначення твердості по Віккерсу. Визначення твердості полягає у вдавлюванні алмазної чотиригранної правильної піраміди з кутом при вершині 136° в зразок під дією навантаження $F (P)$ і вимірювання діагоналі відбитка d , який залишається після навантаження.

На практиці роблять відбиток на виробі і за допомогою мікроскопу, вмонтованого в прилад, визначають діагоналі відбитку піраміди, беруть її числове середнє арифметичне значення, і за таблицею, згідно ДСТУ з урахуванням застосовуваного навантаження при випробуванні, знаходять значення твердості НВ.

По Віккерсу можна виміряти твердість деталей товщиною 1,5 діагоналей відбитку; дифузійні шари – 0,03...0,05 мм. Навантаження F (P) на індентор змінюється від 9,8 (1) до 980 Н (100 кгс).

Математично твердість можна розрахувати за формулами:

Якщо сила F виражена в Н

$$HV = \frac{2F}{d^2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 0,189 \frac{F}{d^2}; \quad (3)$$

Якщо сила P виражена в кгс

$$HV = \frac{2P}{d^2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}. \quad (4)$$

де F (P) – навантаження на піраміду в момент випробування;

d – середнє арифметичне довжин обох діагоналей відбитку після зняття навантаження, мм.

α – кут при вершині піраміди 136°.

Для вимірювання твердості абразивом зачищають лиску довжиною 40...60 мм, тобто зразок полірується.

Визначення мікротвердості. Мікротвердість вимірюють на приладі ПМТЗ алмазною пірамідою з кутом при вершині 136°. Навантаження може змінюватись від 1 до 200 г. Застосування такого малого навантаження дозволяє вимірювати твердість фаз, структурних складових. Діагональ відбитка вимірюють металографічним мікроскопом зі збільшенням до 200...300 раз. Для вимірювання мікротвердості готують мікрошліф.

Мікротвердість знаходять за таблицями відповідно ДСТУ в залежності від застосовуваного навантаження і діагоналі відбитка. Значення твердості можна розрахувати за формулами (3), або (4).

Метод Мооса – десятибальна шкала для визначення твердості мінералів. Визначається твердість дряпанням (алмазним або твердосплавним наконечником) і характеризується кількістю балів НМ (від 1 до 10):

Тальк - 1	Апатит - 5	Топаз - 7
Гіпс - 2	Ортоклаз - 6	Корунд, сапфір - 9
Кальцит - 3	Кварц - 7	Алмаз - 10
Флюорит - 4		

3. Порядок виконання роботи

Робота виконується групами студентів (3–4 чол.) з індивідуальним вимірюванням твердості на запропонованих зразках.

Результати вимірювання по 4 зразках заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання твердості.

№ п/п	Метод вимірювання	Навантаження, P, кгс (F, H)	Тип та діаметр індентора D, мм	Діаметр відбитка, мм				Твердість
				1	2	3	середнє	

Тарування приладу та перевірка правильності показань приладів здійснюється викладачем по еталонним мірам твердості.

Конструкція твердомірів вивчається безпосередньо на приладах.

Результати роботи студенти захищають індивідуально.

4. Контрольні питання.

1. Методи вимірювання твердості.
2. При яких методах вимірювання твердості користуються індентором – сталюю кулькою?
3. Які навантаження використовуються при вимірюванні твердості по методу Брінелля?
4. Які навантаження використовуються при вимірюванні твердості по методу Роквелла?
5. Як позначаються числа твердості по Роквеллу, Брінеллю?
6. При яких методах вимірювання твердості застосовуються алмазні піраміди?
7. Який метод вимірювання твердості застосовується при дослідженні фазового і структурного складу сплавів?
8. Як перевести числа твердості HRC в HRA, HB, HV?
9. Які навантаження застосовуються при вимірюванні мікротвердості?
10. Як підготувати зразок для вимірювання мікротвердості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7. ПОБУДОВА ДІАГРАМИ СТАНУ ТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета: Засвоїти методику побудови діаграми стану термічним методом на прикладі побудови діаграми стану сплавів системи «олово-цинк».

Теоретичні відомості.

Основи теорії сплавів

Діаграма стану являє собою графічне зображення залежності температур фазових перетворень у сплавах від їхнього складу.

Загальна вимога для утворення сплавів – наявність дифузії елементів (компонентів), тобто взаємного розчинення. На практиці сплави звичайно одержують шляхом розплавлення двох чи більш елементів, тобто в рідкому стані.

Найбільш розповсюдженим у металознавстві методом побудови діаграм стану є термічний метод аналізу. Сутність даного методу полягає в тому, що для встановлення температур фазових перетворень (критичних точок) сплавів необхідно: приготувати ряд сплавів різного складу; розплавити сплави і провести їхнє повільне охолодження, фіксуючи зниження температури від часу охолодження. Побудувати криві охолодження кожного отриманого сплаву; перенести отримані критичні температури (точки) на ординати відповідних сплавів.

З'єднавши точки, що мають однакову сутність, лініями, одержимо діаграму стану. На рис. 1а, б, в, г приведені найбільш характерні типи діаграм стану подвійних сплавів.

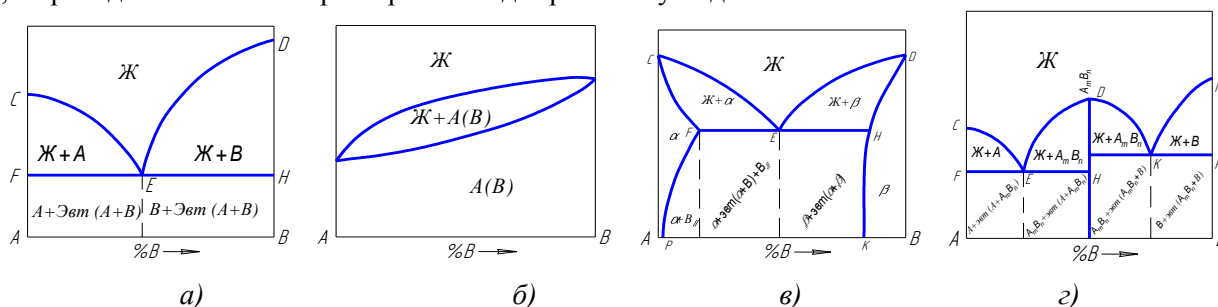


Рис. 1 – Основні типи діаграм стану: а – утворення сумішей; б – необмежені тверді розчини; в – обмежені тверді розчини; г – хімічні сполуки.

Діаграми стану реальних сплавів можуть складатися з різних частин стандартних діаграм. Існують також діаграми стану сплавів з поліморфним перетворенням. *Поліморфізмом* або *алотропією* називається існування однієї речовини в різних кристалічних формах.

При розборі діаграм стану сплавів, якщо вони проводяться для умовних компонентів А і В, дотримують прийнятого позначення фаз: Р – рідина; А і В – чисті компоненти; A_mB_n , A_kB_l – хімічні сполуки; α , β , γ , і інші букви грецького алфавіту – тверді розчини.

На діаграмах стану з хімічною сполукою (рис. 1, г) точка D є сингулярною і відповідає температурі плавлення хімічної сполуки.

Метод вивчення змін властивостей у залежності від зміни складу і побудови діаграми склад-властивості був покладений Н.С. Курнаковим в основу розробленого ним фізико-хімічного аналізу сплавів.

Порядок виконання роботи.

Побудова діаграми стану термічним методом виконується за допомогою лабораторної установки (рис.2) в наступній послідовності:

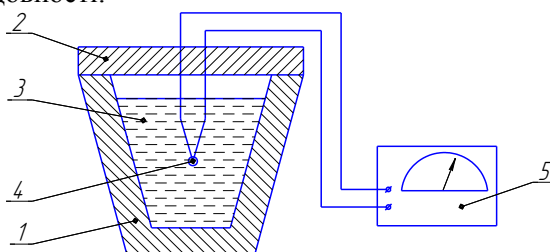


Рис. 2 – Схема лабораторної установки:

1 – тигель; 2 – кришка; 3 – досліджуваний сплав; 4 – термопара; 5 – гальванометр.

1. Приготувати сплави системи Sn-Zn з хімічним складом, вказаним викладачем (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваних сплавів системи «олово-цинк», %

№ сплаву Компонент	I	II	III	IV	V	VI
Олово Sn	100	96	91	85	70	0
Цинк Zn	0	4	9	15	30	100

2. Почергово кожна бригада нагріває один із сплавів до повного розплавлення. При охолодженні через рівні проміжки часу (10 сек) вимірюється температура сплаву. Результати записуються в протокол досліду (табл. 2).
3. За отриманими результатами будуюмо криві охолодження для кожного сплаву системи.

Таблиця 2 – Протокол дослідження сплаву №...

Час, с	Температура, °C	Час, с	Температура, °C
0		100	
10		110	
20		120	
30		130	
...		...	
90		190	

Таблиця 3 – Критичні точки сплавів системи «олово-цинк».

№ сплаву	Хімічний склад сплаву	Температура критичних точок, °C	
		1	2
I	100% Sn		
II	96% Sn – 4% Zn		
III	91% Sn – 9% Zn		
IV	85% Sn – 15% Zn		
V	70% Sn – 30% Zn		
VI	100% Zn		

4. Знаходимо критичні точки сплавів, та заносимо їх в таблицю 3.
5. Будуюмо діаграму стану наступним чином:
 - a. Рисуємо систему координат „Температура–Концентрація компонентів”;

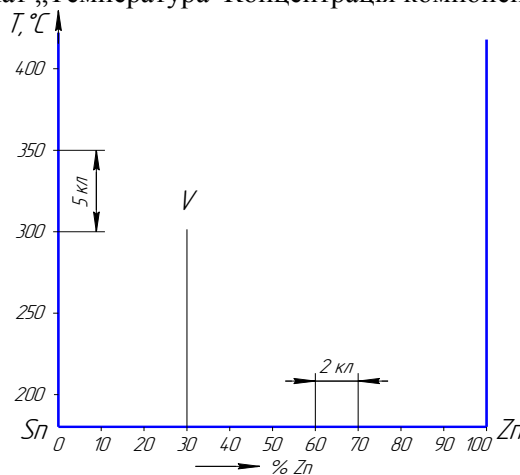


Рис. 3 – Система координат діаграми стану системи «олово-цинк» та позначення сплаву №5.

- b. Позначаємо в цій системі координат критичні точки сплавів;
 - c. З'єднуємо однойменні точки лініями.
6. Підписуємо вісі координат та позначаємо точки діаграми літерами.
За результатами виконання роботи зробити висновок, вказавши до якого типу відноситься отримана діаграма стану.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8. АНАЛІЗ ДІАГРАМИ СТАНУ

Мета: Засвоїти методику аналізу діаграми стану двокомпонентних систем на прикладі аналізу діаграми стану сплавів системи «олово-цинк».

Теоретичні відомості.

Основи теорії сплавів

Діаграма стану являє собою графічне зображення залежності температур фазових перетворень у сплавах від їхнього складу.

Діаграми стану реальних сплавів можуть складатися з різних частин стандартних діаграм. Існують також діаграми стану сплавів з поліморфним перетворенням. Поліморфізмом або алотропією називається існування однієї речовини в різних кристалічних формах.

При розборі діаграм стану сплавів, якщо вони проводяться для умовних компонентів А і В, дотримують прийнятого позначення фаз: Ж (Р) – рідина; А і В – чисті компоненти; A_mB_n , A_kB_l – хімічні сполуки; α , β , γ , і інші букви грецького алфавіту – тверді розчини.

На діаграмах стану з хімічною сполукою (рис. 1, г) точка D є сингулярною і відповідає температурі плавлення хімічної сполуки.

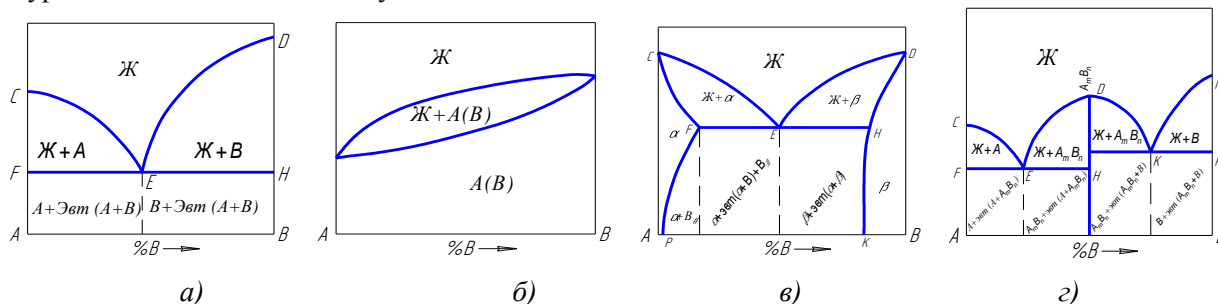


Рис. 1 – Основні типи діаграм стану: а – утворення сумішей; б – необмежені тверді розчини; в – обмежені тверді розчини; г – хімічні сполуки.

Метод вивчення змін властивостей у залежності від зміни складу і побудови діаграми склад-властивості був покладений Н.С. Курнаковим в основу розробленого ним фізико-хімічного аналізу сплавів.

Класифікація типів перетворень.

У рідкому стані можливо п'ять видів перетворень:

1) *Евтектичне* $Ж \Leftrightarrow \alpha + \beta$

Одночасно з рідини кристалізується дві фази.

2) *Перетектичне* $Ж + \alpha \Leftrightarrow \beta$

Рідина, взаємодіючи з раніше утвореною твердою фазою утворить нову тверду фазу.

3) *Монотектичне* $Ж^I \Leftrightarrow \alpha + Ж^{II}$

Рідина визначеного складу кристалізується з утворенням твердої фази і рідини нового складу.

4) *Синтектичне* $Ж^I + Ж^{II} \Leftrightarrow \beta$

У результаті взаємодії рідин різного складу утвориться тверда фаза.

5) *Метатектичне* $\beta \Leftrightarrow Ж^I + \alpha$

Тверда фаза плавиться з утворенням рідини і нової твердої фази

У твердому стані відбувається три перетворення:

1) *Евтектоїдне* $\beta \Leftrightarrow \alpha + \gamma$

Тверда фаза при охолодженні розпадається на дві нові тверді фази.

2) *Перетектоїдне* $\alpha + \gamma \Leftrightarrow \beta$

При взаємодії двох граничних твердих розчинів α і γ утвориться проміжна тверда фаза β .

3) *Монотектоїдне* $\beta^I \Leftrightarrow \beta^{II} + \alpha$

Ненасичений твердий розчин розпадається на два насичених твердих розчини з різним хімічним складом з однаковим типом кристалічних решіток.

Порядок виконання роботи.

Аналіз діаграми стану двокомпонентних сплавів виконуємо в наступній послідовності.

1. Вказати тип діаграми стану (або кожної її частини).

2. Визначити та позначити на діаграмі стану фазовий склад в кожній області діаграми стану.
 - a. однофазні;
 - b. двофазні;
 - c. трифазні.
3. Описати лінії діаграми стану вказавши перетворення, які відбуваються в сплавах.
4. Для заданого викладачем сплаву визначити температуру, хімічний та фазовий склад.
5. Для цього ж сплаву побудувати криву охолодження, описати перетворення, замалювати структуру сплаву на кожній ділянці кривої. Перевірити правильність побудови за допомогою правила фаз (Закону Гіббса).
6. Для цього ж сплаву за допомогою правила відрізків визначити:
 - a. Фазовий склад сплаву;
 - b. Хімічний склад кожної фази;
 - c. Кількісний вміст кожної фази.
7. Замалювати структуру сплаву при кімнатній температурі.

За результатами виконання роботи зробити висновок, вказавши до якого типу відноситься отримана діаграма стану.

Приклад виконання аналізу діаграми стану

Розглянемо докладно аналіз діаграми стану, представленої на рис. 2. На її основі можна зробити розбір діаграми будь-якої складності.

При рішенні питань, зв'язаних з розбором діаграм стану, необхідно: а) мати чітке уявлення про компоненти, що складають сплав, про фази, що можуть утворитися в сплавах; б) уміти визначити склад і кількість фаз у двофазних областях діаграми.

Розбір починають з визначення типу діаграми. У даному випадку представлена „стандартна” діаграма третього типу. Вона характерна для сплавів, компоненти яких мають необмежену розчинність у рідкому стані й обмежену у твердому, тобто утворюють обмежені тверді розчини.

При визначенні кількості фаз в досліджуваній області діаграми стану користуємося правилом Мазінга: безпосередньо межувати одна з одною можуть лише такі області, кількість фаз у яких відрізняється на одиницю.

Верхня лінія (CE) діаграми є лінією ліквідусу, що характеризує початок процесу кристалізації. Друга зверху лінія діаграми (CFEH) – лінія солідусу, вказує на закінчення процесу кристалізації. Оскільки компоненти даної діаграми в рідкому стані необмежено розчинні один в одному, то вище лінії ліквідусу розташована однофазна область рідкого розчину.

Між лініями ліквідусу і солідусу однією фазою є рідина (P), а іншою фазою – кристали твердої фази, що утворюються з неї, природу, якої необхідно встановити. При цьому важливо пам'ятати, що можуть бути в принципі три різних типи твердих фаз: чисті компоненти, хімічні сполуки і тверді розчини. З них дві перші мають постійний склад, тверді розчини – змінний.

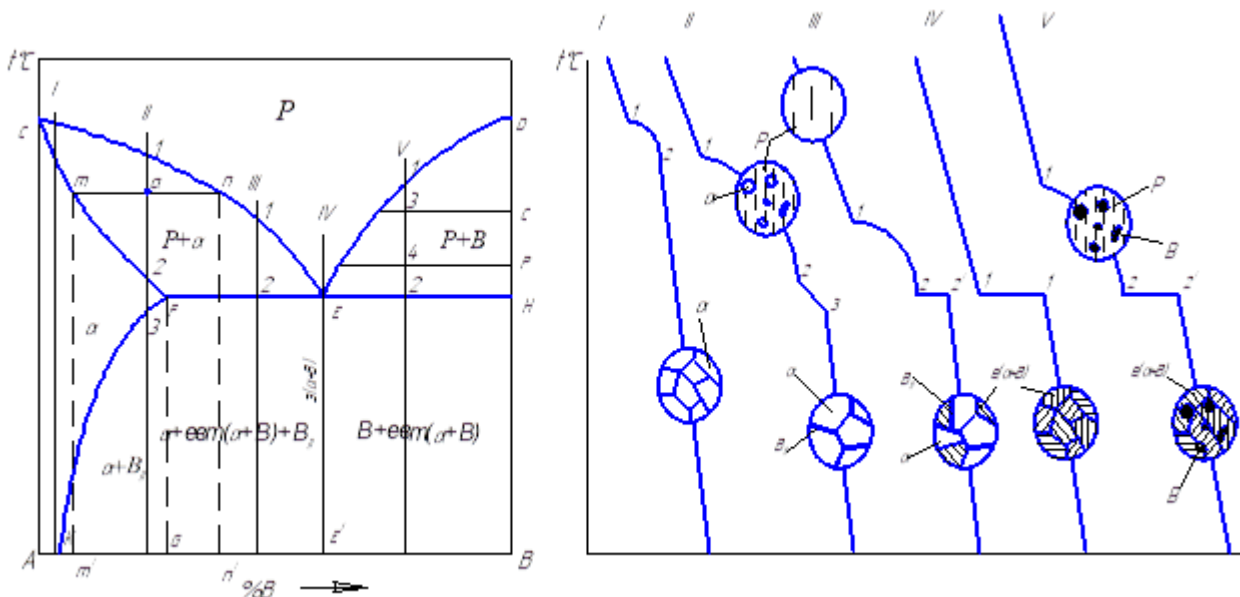


Рис. 2 – Схема розбору діаграми стану подвійного сплаву

Визначимо склад твердої фази в областях CFE і DEH користуючись правилом відрізків. Для

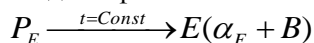
сплаву II, при визначенні складу твердої фази при температурі в точці а, через цю точку необхідно провести горизонтальний відрізок до перетину з лініями діаграми CF і CE. Використовуючи правило відрізків, бачимо, що рідка фаза при температурі точки а має склад, що визначається проекцією точки n на вісь концентрації, тобто n'. Склад твердої фази для цієї точки відповідає m. З підвищенням температури склад даної фази буде змінюватися по проекції точок лінії CF. Отже, ця фаза – твердий розчин компонента В в А, що позначимо α . Склад твердої фази в області DEN у точках 3 і 4 сплаву V визначаємо проекціями точок С, Р на концентраційну вісь АВ і відповідає точці В, тобто фазою, що кристалізується, виявляє компонент В. Склад рідкої фази в області CEF у міру зниження температури змінюється по проекції лінії ліквідус CE, в області DEN – по проекції лінії ліквідус DE.

Нижче лінії солідус CF, що характеризує температури кінця кристалізації рідкої фази, як тверду фазу маємо лише тверді кристали у всій області ACFK. Лінія KF на діаграмі показує зміну гранично можливої концентрації компонента В у твердому розчині α при зниженні температури від точки F до точки K.

Щоб встановити природу фаз в області FGK, розглянемо будь-який сплав, що по своєму складу знаходиться в цій області, наприклад, сплав II В інтервалі температур точок 1–2 відбувається утворення кристалів – твердого розчину з рідини, аналогічно як і для сплаву I. Кристали, що утворилися, охолоджуються до температури точки 3. Тому що точка 3 знаходиться на лінії FK, що визначає граничну розчинність компонента В в α -твердому розчині, то при температурах нижче точки 3 у α -твердому розчині не може вже розчинитися стільки ж компонента В. Тому, починаючи від температури точки 3, відбувається виділення з α -твердого розчину надлишкової кількості компонента В. Так як фаза В утвориться з твердої фази α , а не з рідини, то такі кристали називаються вторинними і позначаються – ВІІ. Дана фаза виділяється зазвичай у виді оболонки навколо кристалів α , визначаючи своєрідну структуру цього сплаву, представлену на кривій охолодження сплаву II. Таким чином, структуру сплавів в інтервалі концентрації АК і GK складають α і α +ВІІ кристали відповідно.

Визначимо фазовий склад і структуру у всій області діаграми. Розглянемо сплав IV, для якого можна припустити три варіанти кристалізації в точці E: а) утворюються кристали А; б) кристали В; в) кристали А і В одночасно.

Перше і друге припущення не вірні, тому що α -кристали при температурі кристалізації мають склад, що відповідають проекції точки F, тобто G. Склад В-кристалів відповідає проекції точки H, тобто В. Розглянутий же сплав має склад EI, отже, процес повинен іти по третьому варіанту, коли з рідини одночасно кристалізуються в низькоконцентровану відносно компонента В фази α і компонент В. Таке перетворення називається евтектичним, і кристалізація двох фаз відбувається при постійній температурі. Структура, що утвориться, називається евтектикою. Звичайно це порівняно дрібна, рівномірно розподілена механічна суміш двох фаз. Схема такого перетворення наступна:



Перевірка правильності перетворень, що відбуваються, може бути проведена за правилом фаз ($C=K-\Phi+1$). Тому що число співіснуючих фаз у процесі перетворення дорівнює трьом (P, α , B), то ступінь волі $C = 0$, значить процес відбувається при постійній температурі, і на кривій охолодження буде спостерігатися горизонтальна ділянка I—II. Таке перетворення називається нонваріантним. По закінченні перетворення одна з фаз зникає (P), ступінь волі $C = 1$ і зміна стану сплаву йде зі зниженням температури. Сплав, що складається з 100 % евтектики, називається евтектичним.

При кристалізації сплаву III в інтервалі температур 1-2 з рідини утворюються первинні кристали α , що до моменту досягнення температури точки 2 здобувають більш-менш великі розміри. Склад рідкої фази при цьому змінюється по лінії ліквідус і при температурі точки 2 відповідає EI, а кількість ще незакристалізованої рідини визначається відношенням відрізків 2F/FE. Ця рідина, маючи евтектичний склад, кристалізується в евтектику, і до кінця кристалізації формується структура з первинних кристалів α і евтектики E(α +B). На кривій охолодження також спостерігається горизонтальна ділянка 2 – 2^I, тому що в процесі утворення евтектики в рівновазі знаходиться три фази. Подальше зниження температури від точки 2 супроводжується зниженням концентрації α фази по лінії FK, в результаті чого біля α - кристалів виділяються кристали В_{II}. Остаточна структура сплаву складається з кристалів евтектики E(α +B) і В_{II}- кристалів.

Зі сплаву V при кристалізації в інтервалі температур 1– 2 виділяються первинні кристали В. Рідка фаза змінює свою концентрацію по лінії ліквідус і в точці 2 має склад, що відповідає евтектичному, тобто точці EI. Кількість рідкої фази при досягненні сплавом температури в точці 2 визначається відношенням відрізків 2H/EH. Вся ця рідина кристалізується в евтектику E(α +B), і остаточна структура даного сплаву складається з первинних кристалів В и евтектики E(α +B).

Таким чином, у сплавах у інтервалі концентрацій від точка K до точки В є чотири різних типи структури: в інтервалі K–G структура складається з α +ВІІ; в інтервалі G–E' структура сплавів (доевтектичних) включає α +E(α +B)+ ВІІ; при концентрації точки E має структуру E(α +B) і називається

евтектичним; в інтервалі E'–B структура сплавів (заевтектичних) – B+E(α+B).

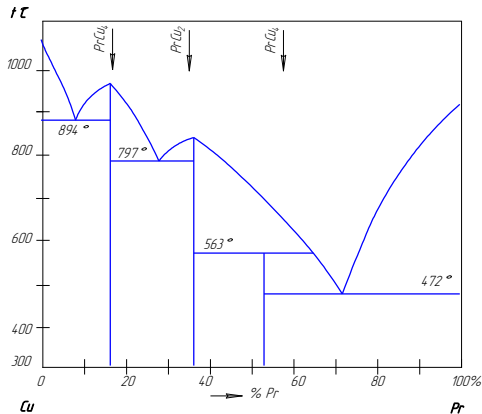
Необхідно відзначити, що фази у всіх сплавах однакові – α і B, але структури різні. До вивченої діаграми представлені криві охолодження кожного з розглянутих типів сплавів, а також схема процесів фазових перетворень і структуроутворення в міру зниження температури.

Кількісне співвідношення фаз, для точок, зазначених у завданні, визначається по відношенню відрізків:

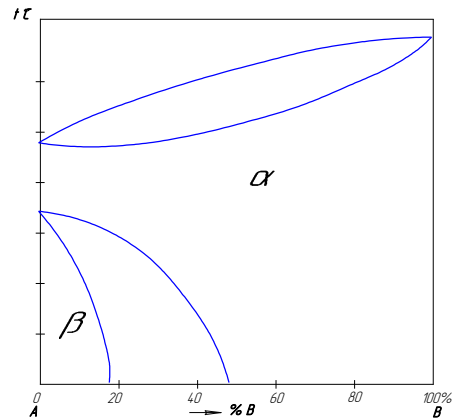
$$Q_{жс} = \frac{ma}{mn} \cdot 100\%; \quad Q_{мс} = \frac{an}{mn} \cdot 100\%;$$

При розборі діаграми стану сплавів, що перетерплюють поліморфні перетворення у твердому виді, важливо пам'ятати, що закони перекристалізації ті ж, що і при кристалізації рідкої фази. Якщо з твердого розчину утвориться механічна суміш, то вона називається евтектоїдною.

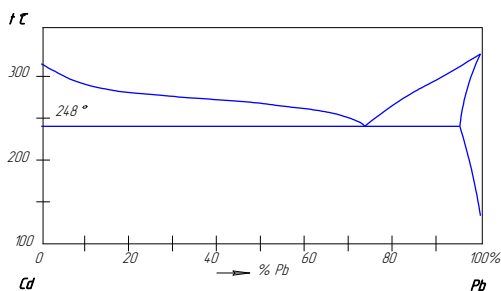
Варіанти індивідуальних завдань



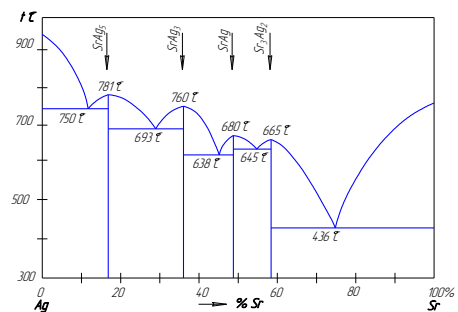
Варіант 1



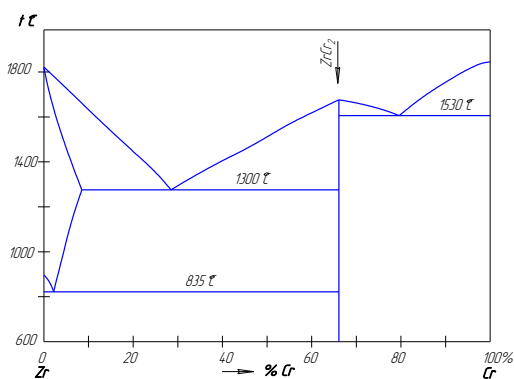
Варіант 4



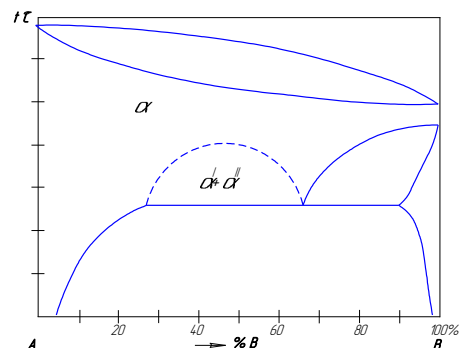
Варіант 2



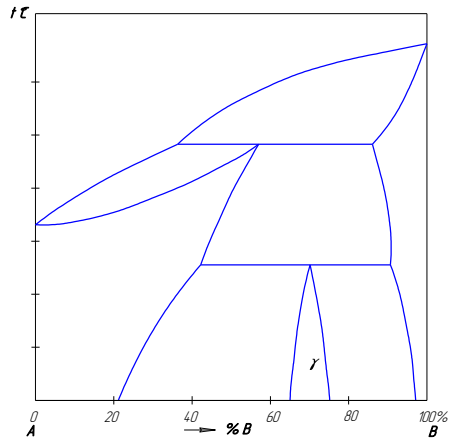
Варіант 5



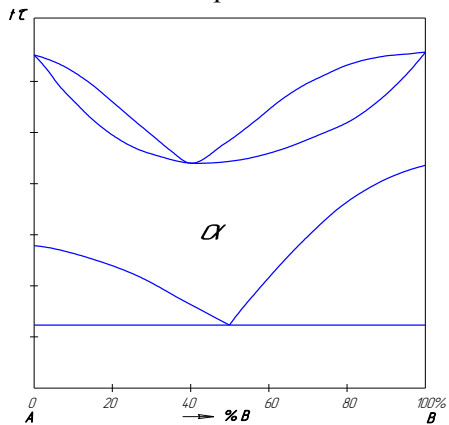
Варіант 3



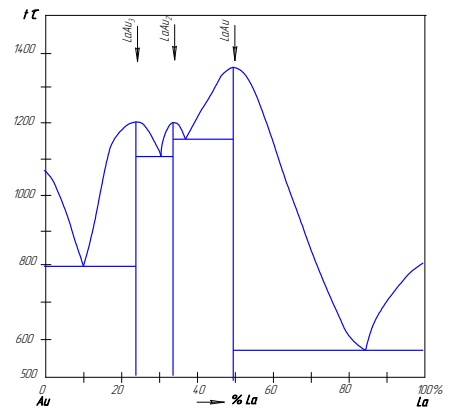
Варіант 6



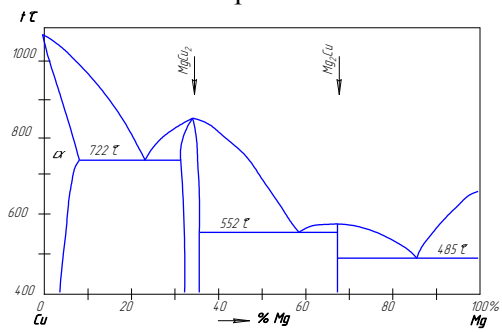
Вариант 7



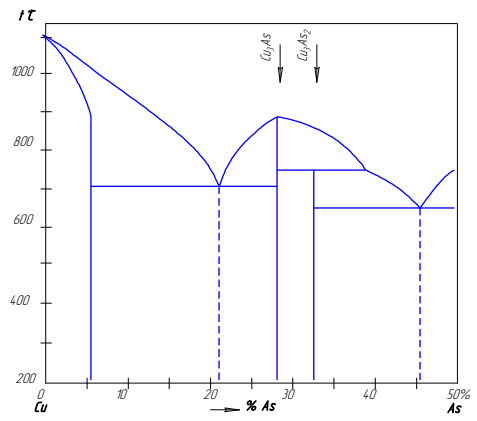
Вариант 8



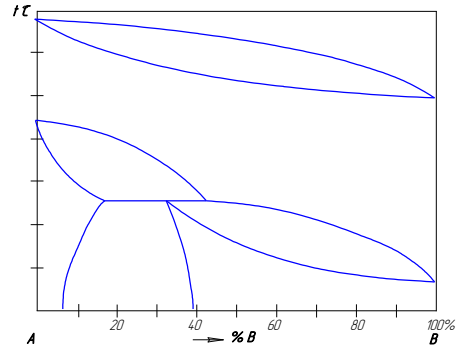
Вариант 9



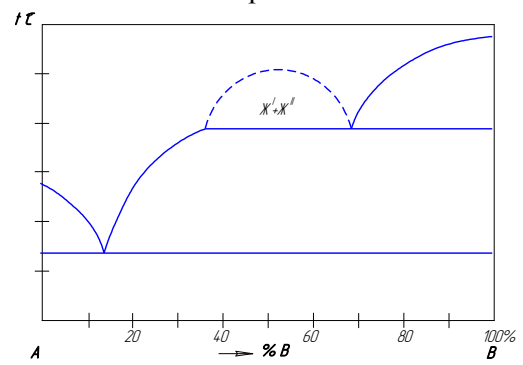
Вариант 10



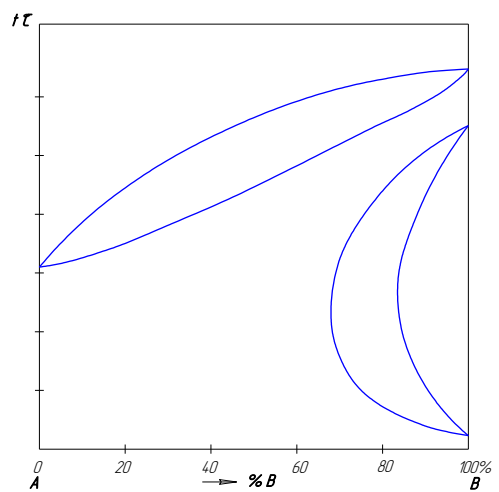
Вариант 11



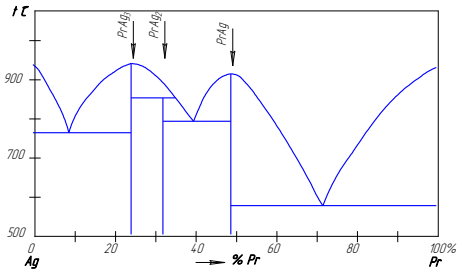
Вариант 12



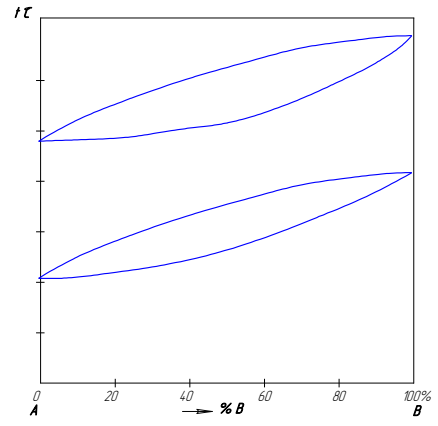
Вариант 13



Вариант 14



Вариант 15



Вариант 16

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9. МАРКУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1 Мета роботи

Вивчити індексацію металів, що застосовується для позначення маркірування чорних і кольорових металів. Навчитися самостійно робити розшифровку марок сталей і сплавів чорних і кольорових металів.

2 Короткі відомості

До машинобудівних матеріалів відносяться в основному чорні і кольорові метали та сплави на їхній основі. Найбільш широко застосовуються сплави на основі заліза – сталі і чавуни.

2.1 Маркування сталей

Сталь – сплав на основі заліза з вуглецем при вмісті його до 2,14% і неминучими домішками. Домішки розрізняють: постійні, приховані, випадкові і спеціально введені.

Постійні домішки:

- Mn (марганець) та Si (кремній) додають в процесі розкислення при виплавці сталі: Mn до 0,7–0,8%, Si до 0,5%;
- P (фосфор) і S (сірка) потрапляє в сталь із шихти.

Сірка надає сталі червоноломкість і вміст її в сталях допускається до 0,06%. Фосфор надає хладноломкість, вміст у сталях до 0,05%. Сірка і фосфор – шкідливі домішки, які визначають якість сталі.

Приховані домішки – гази: азот (N), водень (H), кисень (O), що потрапляють з повітря при плавці. Вміст їх допускається 0,1% - 0,01%.

Випадкові домішки потрапляють з руд в залежності від родовища залізних руд. Це можуть бути Cu (мідь), Al (алюміній), W (вольфрам), Ni (нікель), та інші.

Спеціальні домішки – це елементи, що вводяться в сталь спеціально для одержання тих або інших заданих властивостей. Такі елементи називаються легуючими, а сталі – легованими. Класифікація сталей здійснюється в залежності від призначення, складу і якості.

По призначенню розрізняють три групи сталей: конструкційні, інструментальні та сталі з особливими фізичними і хімічними властивостями (корозійностікі, жароміцні, електротехнічні, магнітні і т.д.)

По хімічному складу сталі підрозділяють на дві великі групи: вуглецеві і леговані, для кожної з яких існують ДСТ на їх постачання.

По якості, що визначається вмістом шкідливих домішок (сірка і фосфор), сталі розділяють на сталі звичайної якості, якісні, високо якісні й особливо високо якісні.

Вуглецеві сталі звичайної якості постачаються трьох груп: А, Б, В з гарантією. Група А – механічних властивостей. Б – хімічного складу. В – механічних властивостей і хімічного складу. Маркування містить у собі літери «Ст» (сталь) і цифри, де цифри позначають умовний номер сталі; чим більше цифра, тим вище механічні властивості і більше вміст вуглецю.

Наприкінці марки вказують ступінь розкислення сталі «сп» - спокійна, розкислена трьома розкислювачами, «пс» - напівспокійна, розкислена за допомогою двох розкислювачів, «кп» - кипляча, розкислена одним розкислювачем (Mn). У групах В и Б на початку маскування ставлять ці літери. Наприклад: сталь групи А – Ст 6 пс, Ст 2. Сталь групи В: В Ст 1 сп, В Ст 3 кп, В Ст 4 пс. Сталь розкислена трьома розкислювачами – спадково дрібнозерниста.

У якісних сталях маркірування починається зі слова «сталь», далі йдуть цифри, що показують соті частки відсотка вуглецю. Наприклад: сталь 10, сталь 70 і т.д. Наприкінці маркірування може бути зазначений ступінь розкислення.

Вуглецеві інструментальні сталі маркіруються літерою «У», далі йдуть цифри, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Наприклад: У7, У9, У9, У4, У12 і т.д. Наприкінці маркірування може стояти літера «А», що позначає, що дана сталь високоякісна (з меншим вмістом P і S).

Леговані сталі в залежності від ступеня легування підрозділяють на низьколеговані (легуючих елементів до 5%), середньолеговані (до 10%) і високолеговані, що містять більше 10% легуючих елементів. У залежності від хімічного складу легуючих елементів сталі підрозділяють на хромисті, хромонікелеві, хромонікельмолібденові і т.д.

Схема маркірування легованих сталей наведено на рисунку 1.



Рис. 1 – Схема маркування сталей.

Сталь є інструментальною, якщо на першому місці вміст вуглецю зазначений одною цифрою, що означає десяті частки відсотка. Початкова цифра відсутня, якщо вміст вуглецю 1% і більше. Наприклад: 9XC – 0,9% C; 5XНН – 0,5% C; X12M – 1% C. У конструкційних легованих сталях на першому місці зазначено дві або три цифри, що позначають вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад: 40X – 0,4% C. Хімічний склад (місце 2, рис. 1) позначається сполученням літер і цифр: наявність конкретного легуючого елемента вказується літерою (таблиця 1), а потім уже ставиться цифра, що відповідає вмістові цього елемента в цілих відсотках; якщо цифри після літери немає, то вміст цього елемента близько 1%. Якщо в маркуванні сталі після літери "X" знаходяться цифри 13 і більше, то сталь вважається нержавіючою. Особливо варто звернути увагу на використання "А" в індексації. Зокрема, якщо мається в позначенні хімічного складу літера "А", то в даному випадку вона означає легування сталі азотом. Наприклад: 10X14АГ6М3 (0,10% C; 14% Cr; до 1% N; 6% Mn; 3% Mo).

Таблиця 1. Позначення елементів при маркуванні легованих сталей

Позначення легуючого елемента	Найменування легуючого елемента	Позначення легуючого елемента	Найменування легуючого елемента
А	Азот	К	Кобальт
Б	Ніобій	М	Молібден
В	Вольфрам	Н	Нікель
Г	Марганець	П	Фосфор
Д	Мідь	Р	Бор
Е	Селенів	С	Кремній
Т	Титан	Ц	Цирконій
Ф	Ванадій	Ч	Радіоакт. елем.
Х	Хром	Ю	Алюміній

На місці 3 (рис. 1), як правило, вказується якість сталі: для низьколегованих сталей наявність літери "А" свідчить про високу якість, якщо ж літери немає, то сталь якісна; для високолегованих сталей, що за умовами виготовлення є високоякісними, літера "А" не вказується. Наприклад: 20X – 0,2% C, 1% Cr, якісна; 12ХН4ВА – 0,12% C, 1% Cr, 4% - Ni ; до 1% W, високоякісна; X12M – до 1% C, 12% - Cr, до 1% Mo, високоякісна.

Для позначення сталей особливо високоякісних вказується скорочена назва способу позапічної обробки (табл. 2). Наприклад, 30ХГС–Ш (електрошлакового переплаву); 09X15Н8Ю–ВД (вакуумно-дугового переплаву).

Якщо сталь використовується для одержання відливок, то на місці 3 вказується літера "Л", що означає ливарна. Наприклад: сталь 25Л, 45ГСЛ.

Для деяких сталей існують наступні виключення з правил у позначенні.

Шарикопідшипникові сталі позначають на початку літерою "Ш", потім вказується вміст хрому в десятих частках відсотка: ШХ6 – ~1% C, 0,6% Cr; ШХ15С2 – ~1% C, 1,5% Cr, 2% Si

Швидкорізальні складнолеговані сталі позначають літерою Р, наступна за нею цифра вказує на вміст у ній вольфраму в цілих відсотках: Р18 – ~1% C, 18% W; Р6К5М3 – ~1% C, 6% W, 5% Со, 3% Мо. В останні роки промисловістю освоєні методи порошкової металургії для виробництва швидкорізальних сталей, що позначаються, наприклад, Р9М4К8-МП, а також нового класу інструментальних сталей - "карбідосталі", що містять у своєму складі до 20% карбиду титана, наприклад: Р6М5-КТ20. Такі сталі мають більш високі експлуатаційні властивості.

Електротехнічні листові сталі позначають літерою "Э", наступні за нею цифри вказують: стан постачання, вміст кремнію в цілих відсотках і рівень електротехнічних властивостей (чим вище цифра, тим вище ці властивості).

Сталь для постійних магнітів позначають літерою "Е", наступні за нею літери і цифри розшифровуються аналогічно маркування інструментальних сталей.

Не стандартні леговані сталі, що випускаються заводом "Електросталь", позначає сполученням літер ЭИ (з рос. "Электросталь", исследовательская сталь) або ЭП (з рос. "Электросталь" пробная); "Дніпроспецсталю", маркують літерами ДИ; місто Златоуст - літерами ЗИ. В усіх випадках після сполучення літер йде порядковий номер сталі, наприклад, ЭИ904, ЭП314, ДИ8. Після освоєння марки заводами умовні позначки заміняє загальноприйняте маркування.

Таблиця 2. Позначення різних груп легованих сталей і ступеня якості

Позначення	Положення літери в марці стали	Найменування груп сталей і ступеня їхньої якості
А	На початку	Група автоматних сталей
А	Наприкінці	Сталь високоякісна
АС	На початку	Сталь автоматна свинцювата
ВД	Наприкінці	Сталь особливо високоякісна (вакуумно–дуговий переплав)
ВИ	Наприкінці	Сталь особливо високоякісна (вакуумно–індукційний переплав)
Е	На початку	Сталь магнітотверда пруткова
Л	Наприкінці	Сталь ливарна
Р	На початку	Сталь швидкорізальна інструментальна
Ш	На початку	Сталь шарокопідшипникова
Ш	Наприкінці	Сталь особливо високоякісна (електрошлаковий переплав)

2.2 Маркування чавунів

Принцип маркування чавунів відрізняється від сталей, тому що властивості і призначення їх залежать не стільки від процентного вмісту вуглецю, стільки від графітових включень, що визначає вид чавунів. Сірі чавуни позначаються сполученням літер “СЧ” і наступними цифрами, що показують значення тимчасового опору чавуна при розтягуванні. Наприклад: СЧ20 ($\sigma_B = 200$ МПа).

Ковкі і високоміцні чавуни позначають також сполученням літер “КЧ” і “ВЧ” і наступними частинами чисел. Перша пара цифр в обох випадках означає також, як і в сірих чавунів, величину тимчасового опору розриву. Друге число, зазначене через тире, позначає величину відносного подовження чавуна у відсотках. Наприклад: КЧ 36-6 – ковкий чавун, $\sigma_B=360$ МПа, $\delta=6\%$.

Антифрикційні чавуни позначають сполученням літер АЧС, АЧК, АЧВ і наступною далі цифрою. Сполучення “АЧ” – скорочення назви зносостійких чавунів. Літери “С”, “К”, “В” позначають відповідно вид чавунів: сірий, ковкий і високоміцний. Цифра позначає номер чавуна. Наприклад: АЧВ-2 – антифрикційний, високоміцний чавун, номер 2.

Білі чавуни не мають у структурі включень графіту, тому що вуглець знаходиться в хімічно зв'язаному стані – цементиті Fe_3C , що має високу твердість і ускладнює механічну обробку виливків, що сильно обмежує застосування білого чавуна в машинобудуванні.

2.3 Маркування інструментальних твердих сплавів

Інструментальні тверді сплави одержують спіканням при високих температурах і тисках дрібнодисперсних порошкоподібних карбідів вольфраму (WC), титана (Ti), танталу (TaC) і порошкоподібного кобальту (Co), що виконує роль зв'язуючої речовини.

Тверді сплави підрозділяють на три групи:

- група ВК – однокарбідна, що складається з кобальту і карбіду вольфраму; цифри, що стоять після літер “ВК” вказують на вміст кобальту в цілих відсотках, наприклад: ВК6 – 6% Co, інше карбід вольфраму;
- група ТК – двокарбідна, що складається з кобальту, карбіду вольфраму і карбіду титана; цифри, що стоять після “К”, вказують на вміст кобальту у відсотках, цифри після літери “Т”, відповідають вмісту в сплаві у відсотках карбіду титана; інше в сплаві складає карбід вольфраму, наприклад Т15К6 – 15% TiC, 6% Co, інше карбід вольфраму;
- група ТТК – трикарбідна, що складається з кобальту, карбідів вольфраму, титана та тантала; цифри за літерами “ТТ”, відповідають сумарному вмісту в сплаві карбіду титана і карбіду танталу у відсотках, цифри за літерою “К” – вміст кобальту; інше в трикарбідних сплавах складає карбід вольфраму.

Часто при позначенні однокарбідних твердих сплавів указують зернистість фракцій сплавів. У цих випадках наприкінці позначення марки сплавів через тире пишуть наступні літери: ОМ – особливо дрібнозернистий сплав, М – дрібнозернистий, КС – середньої зернистості, В – великозернистий, ВК – високої великозернистості. Наприклад, ВК8-ВК – однокарбідний твердий сплав високої великозернистості, що містить 8% Co, інше 92% карбід вольфраму. ТТ7К12 – трикарбідний твердий сплав, 12% Co, 7% (сумарно) TiC+TaC, інше 81% - карбід вольфраму.

2.4 Маркування кольорових сплавів

Кольорові сплави металів усіх груп маркують сполученням заголовних літер алфавіту і цифр. Однак літери, використовувані при маркуванні мають інше значення чим при маркуванні легуваних сталей. Літерами позначають тип сплаву, назву легуючих елементів і спосіб одержання заготовок з цих сплавів (табл. 3, 4).

Таблиця 3. Літерне позначення різних груп кольорових сплавів.

Літерене позначення	Найменування груп кольорових сплавів
АЛ	Алюмінієві ливарні сплави
АК	Алюмінієві кувальні сплави
Д	Дюралюміній, деформируемый алюмінієвий сплав
У	Високоміцний алюмінієвий сплав
Б	Бабіти
Бр	Бронзи
ВТ, ВІД	Титанові сплави
Л	Латуні
МА	Магнієві деформируемые сплави
МЛ	Магнієві ливарні сплави
П	Припои
Ц	Цинкові сплави

Таблиця 4. Позначення легуючих елементів при маркіруванні кольорових сплавів.

Позначення легуючого елемента	Найменування легуючого елемента	Позначення легуючого елемента	Найменування легуючого елемента
А	Алюміній	Ж	Залізо
Б	Берилій	К	Кремній
Кд	Кадмій	С	Свинець
М	Мідь	Ср	Срібло
Мп	Магній	Су	Сурма
Мц	Марганець	Т	Телур
Мш	Миш'як	Ф	Фосфор
Н	Нікель	Х	Хром
О	Олово	Ц	Цинк

Цифри позначають або процентний вміст легуючих елементів (латунь, бронза), або порядковий номер сплаву (магнієві, алюмінієві, і титанові).

Алюмінієві сплави маркіруються в залежності від способу їхнього виробництва: ливарні (силуміни) – літерами АЛ (АЛ1, АЛ5); кувальні для штампування – АК (АК1, АК4, ...); деформуємі незміцнюємі – АМг (Ал+Мг); АМЦ (Ал+Мп); зміцнюємі – дюралюміні Д1, Д6, Д16. Високозміцнюємі сплави – В95, ВУ96; порошкові печені – САС, САП. Чистий алюміній позначається А999 (99, 999% Аl).

Магнієві сплави деформуємі маркіруються МА, високоміцні – ВМД, ливарні – МЛ, чистий магній – Мг.

Мідні сплави – латуні (сплави міді з цинком) маркіруються сполученням літер і цифр. При цьому спочатку виписують усі літери а потім – цифри. Літери показують: перша Л – латунь, далі елементи, цифри – процентний вміст міді й елементів, залишок цинк: ЛАЖ 60–1–1 (60% Сu, 1% Аl, 1% Fe, залишок – цинк).

Сплави міді з оловом і іншими елементами – бронзи – маркіруються також сполученням літер і цифр. Перші літери Бр показує бронзу, наступні – елементи і їхній вміст. Наприклад: БрОЦСН 3-7-5-1 – 3% Sn, 7% Zn, 5% Pb; 1% Ni, залишок – Сu. Чиста мідь маркірується М0, М00, М1.

Сплави на основі олова : припої, ПОС 61 (припой, 61% Sn, залиш. Pb).

Антифрикційні сплави – бабіти, позначаються літерою “Б”. Б83, бабіт 83% Sn, залиш. – Sb, Сu і домішки.

Титанові сплави – ВТ і цифри, (ВТ6, ВТ22), чистий титан – ВТ1–0, ВТ1–00, ВТ1. Цифри позначають номер сплаву, по якому визначають хімічний склад.

2.5 Практичні прийоми розшифровки сталі і сплавів без використання ДСТ

Ст 5 пс – сталь вуглецева конструкційна звичайної якості, №5, напівспокійна, постачається з гарантованими механічними властивостями.

В Ст 3 сп – сталь вуглецева конструкційна звичайної якості, №3, спокійна, постачається з гарантованим хімічним складом і гарантованими механічними властивостями.

БСт4кп – сталь вуглецева конструкційна звичайної якості, №4, кипляча, постачається з гарантованим хімічним складом

Сталь 08 кп – сталь низьковуглецева конструкційна якісна кипляча. Хімічний склад: 0,08%

вуглецю, все інше – залізо та домішки.

35Л – сталь вуглецева конструкційна якісна ливарна. Хімічний склад: 0,35% вуглецю, все інше – залізо та домішки.

У12 – сталь вуглецева інструментальна якісна. Хімічний склад: 1,2% вуглецю, все інше – залізо та домішки.

40ХГТР – сталь вуглецева конструкційна якісна низьколегована. Хімічний склад: 0,4% вуглецю, хрому – до 1%, марганцю – до 1%, титана – до 1%, бора – до 1%, все інше – залізо і домішки.

АС45М2 – сталь вуглецева конструкційна автоматна свинцева низьколегована якісна. м Хімічний склад: 0,45% вуглецю, 2% молібдену, все інше – залізо і домішки.

40ХН4ВА – сталь вуглецева, конструкційна, середньолегована, високоякісна. Хімічний склад: С – 0,40%, Cr(хром) – до 1%, Ni(нікель) – 4% , V(ванадій) – до 1%, все інше – Fe та домішки.

9ХГС – сталь вуглецева, інструментальна, низьколегована, якісна. Хімічний склад: С – 0,9%, Cr(хром) – до 1%, Mn(марганець) – до 1%, Si(кремній) – до 1% , все інше – Fe та домішки.

110Г13Л – сталь вуглецева, конструкційна, високолегована, високоякісна, ливарна. Хімічний склад: С – 1,10%, Mn(марганець) – 13% , все інше – Fe та домішки.

ХВГ - сталь вуглецева інструментальна низьколегована, якісна. Хімічний склад: вуглецю близько 1%, до 1% хрому, до 1% вольфраму, до 1% марганцю, все інше – залізо і домішки.

ШХ15 – сталь вуглецева конструкційна шарикопідшипникова, низьколегована, якісна. Хімічний склад: вуглецю близько 1%, 1,5% хрому, все інше – залізо і домішки.

Р10К5Ф5 – сталь вуглецева інструментальна, швидкорізальна, високоякісна, високолегована. Хімічний склад: вуглецю близько 1%, вольфраму 10%, кобальту 5%, ванадію 5%, все інше – залізо і домішки.

СЧ 15 – сірий чавун, межа тимчасового опору на розрив $\sigma_B=150$ МПа.

ВК9 – одно карбідний інструментальний твердий сплав. Хімічний склад: кобальт – 9%, все інше – карбід вольфраму.

ТТ35К8 – Трикарбідний інструментальний твердий сплав. Хімічний склад: TiC+TaC – 35%, Со – 8%, все інше карбід вольфраму WC/

3 Зміст звіту

Коротко викласти пояснення по вивченню принципів позначення заданих сплавів.

Підібрати і провести розшифровку сплавів згідно завдання (табл. 5).

Варіанти завдань отримати у викладача.

Визначити спосіб виплавки і спосіб одержання заготовок із заданих сплавів.

4 Контрольні питання

1. Чим визначається якість сталей? Класифікація сплавів по якості.
2. У чому відмінність хімічного складу сталей У8 і У8А?
3. Чим відрізняються білі чавуни від сірих?
4. Який з чавунів: СЧ, КЧ, ВЧ піддається обробці тиском?
5. Що загального й у чому розходження латуні від бронзи?
6. Який зі сплавів: ВК6, ВТ6, У95, Т15К6 – містить в основі титан ?
7. Вкажіть, який із наведених сплавів може бути використаним для виготовлення інструменту: сталь 45, АЛ2, Р6М5Ф2, МА5.
8. Які основні принципи закладені в розшифровці чорних і кольорових сплавів?
9. Яка з форм включень графіту в чавунах забезпечує високий опір руйнуванню і низьке процесам – тертя?
10. Що загального і що відмінного у чавунів і сталей?
11. Як позначаються марки сталей, виготовлених експериментально?
12. У якій послідовності потрібно розташувати сплави по їх щільності: АЛ2, ВК8, сталь 20, МА2, СЧ20, ВТ14 ?
13. Який з матеріалів ви рекомендуєте для виготовлення кузова легкового автомобіля і зубила: Бр 62, У7, ХВГ, сталь 10 кп, Л72, КЧ 36-4 ?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. для вищ. навч. закл. / В. В. Атаманюк. - К. : Кондор, 2006. - 528 с.
2. Афтанділянц Є.Г. Матеріалознавство: підручник /Є.Г.Афтанділянц, О.В.Зазимко, К.Г.Лопатько. – Київ : Видавництво Ліра-К, Олді-Плюс, 2013. – 612 с.
3. Бялік О.М. Металознавство / О.М.Бялік, В.С.Чернеко, В.М.Писаренко, Ю.Н.Москаленко. – Київ : Кондор, 2018. - 384 с.
4. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник / А.М.Власенко. – Київ : Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
5. Гарнець В.М. Матеріалознавство. – К.: Кондор, 2009. – 386 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение М.: Альянс, 2015. - 648 с.
7. Кондратьев Е.Т. Технология конструкционных материалов и материаловедение. М.; Колос, 1983. – 272
8. Пахолук А.П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А.П.Пахолук, О.А.Пахолук. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
9. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В.В.Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
10. Сологуб М. А., Рожнецький І. О. Технологія конструкційних матеріалів / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький. - К. : Вища шк., 2002. - 300 с.
11. Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О., Лопатько К. Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О., Лопатько К. Г. - К. : Либідь, 2002. - 326 с.

Допоміжна

12. Астапова Г.В. Матеріалознавство та основи технології переробки природної сировини у непродовольчі товари / Г.В.Астапова. – Київ : Центр учбової літератури, 2009. – 120 с.
13. Арзамасов Б. Н. Материаловедение / Арзамасов Б. Н., Сидорин Н. Н., Косолапов Г. Ф. и др. - М. : Машиностроение, 1986. - 384 с.
14. Вакуленко І. О., Грищенко М.М., Смирнов Б.М., Мещерякова Т.М. Матеріалознавство та технологія матеріалів. - Дніпропетровськ, 2005. - 32 с
15. Дальский А.М., Арутюнова И.А., Барсукова Т.М. и др. Технология конструкционных материалов. М., Машиностроение. 1985. - 448 с.
16. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник / Ю.М. Лахтин. - М.: Альянс, 2015. - 448 с.
17. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с
18. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению (С.С. Некрасов, А.М. Пономаренко, Г.К. Потапов и др. Под общ. ред. С.С. Некрасова). М.: Колос, 1983, -256 с.
19. Мохорт А. В., Чумак М. Г. Термічна обробка металів : навч. посіб. / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак. - К.: Либідь, 2002. -512 с.
20. Кривоухов В. А., Петруха П. Г. и др. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / В. А. Кривоухов, П. Г. Пеструха. - М. : Машиностроение, 1974. - 616с.
21. Опальчук А. С., Котречко О. О. Роговський Л. Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства : навч. посіб. / за ред. А. С. Опальчука. - К. : Вища освіта, 2006. - 287 с.
22. Прейс Г. А. Технология конструкционных материалов / Г. А. Прейс - К. : Вища шк., 1991.-392 с.
23. Пахолук А. П., Пахолук О. А. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали. - 2-ге вид., доп. / А. П. Пахолук, О. А. Пахолук. - Львів : Світ, 2006. -256 с.

Кирик Григорій Васильович

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ВСТВ

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт
для студентів 1 курсу спеціальності 208 «Агроінженерія»
ОС «Молодший бакалавр»

Суми, РВІВ, Сумський НАУ, вул. Герасима Кондраєва, 160

Підписано до друку 2023 р. Формат А5. Тираж 100 примірників
Гарнітура Peterburg Умовних друкованих аркушів Замовлення №