

**О. В. ЧЕСНОКОВ,  
В. О. КОЛЕСНИКОВ,  
В. В. СВІРІДОВ**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАТЕРІАЛИ В  
МАШИНОБУДУВАННІ**



**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України**

**Державний заклад**

**«Луганський національний університет**

**імені Тараса Шевченка»**

**О. В. ЧЕСНОКОВ,**

**В. О. КОЛЕСНИКОВ,**

**В. В. СВІРІДОВ**

# **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ**

*Методичні рекомендації до виконання контрольних робіт  
для студентів напряму підготовки «Професійна освіта»  
профілів підготовки «Транспорт» та «Технологія  
виробництва і переробка продуктів сільського  
господарства» для заочної форми навчання*

**Луганськ**

**ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка»**

**2013**

**УДК 620.22(076.5)**

**ББК**

## **Рецензенти:**

**Погорелов О. О.** – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Бідаш В. І.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри товарознавства, торговельного підприємництва та експертизи товарів ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка».

**Чесноков О. В.**

Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні : метод. реком. до вик. контрольних. робіт для студ. напряму

підготовки «Професійна освіта» профілів підготовки «Транспорт» та «Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства» усіх форм навчання / О. В. Чесноков, В. О. Колесніков, В. В. Свірідов; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». – Луганськ : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – 53 с.

Методичні рекомендації складаються з теоретичної частини та контрольних запитань за варіантами.

Рекомендовано для студентів 1 – 2 курсів напряму підготовки «Професійна освіта» профілю підготовки «Транспорт» денної та заочної форм навчання, може бути використаний студентами інших технічних спеціальностей.

**УДК 620.22(076.5)**

**ББК**

*Рекомендовано до друку Навчально-методичною радою  
Луганського національного університету імені Тараса Шевченка  
(протокол № від 27 листопада 2013 року)*

© Чесноков О. В., Колесніков В. О., Свірідов В. В., 2013

© ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Завдання, які ставить дисципліна .....	7
1.    Короткі історичні відомості з курсу матеріалознавства. ....	8
1.1.    Діаграма стану залізо- вуглець.....	8
1.2.    Компоненти та фази залізовуглецевих сплавів.....	12
1.3.    Процеси при структуроутворенні залізовуглецевих сплавів .....	15
1.4.    Структури залізовуглецевих сплавів.....	17
1.5.    Класифікація, маркування та застосування вуглецевих сталей.....	19
1.6.    Класифікація, маркування та застосування легованих сталей.....	24
1.7.    Класифікація, маркування та використання чавунів.....	26
1.8.    Основи теорії термічної обробки сталі.....	28
1.9.    Види термічної обробки .....	29
2.    Рекомендації по виконанню контрольної роботи .....	32
3.    Завдання і питання з дисципліни.....	31
Додатки .....	35
Додаток № 1. Фотографії мікроструктур різних сплавів.....	35
Додаток № 2 Шкала розмірів зерна (основна).....	39
Додаток № 3 Схеми мікроструктур чавуна в залежності від металевої основи та форми графітових включень.....	41
4.    Перелік літератури.....	42

## ВСТУП

Мета вивчення дисципліни "Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні" - надати майбутнім фахівцям і магістрам знання і уміння, що дозволяють обґрунтовано вибирати матеріали при конструюванні і ремонті деталей машин і механізмів, враховувати вимоги технологічності їх форми, а так само, вплив технологічних методів здобуття і обробки заготовок на якість деталей.

Матеріалознавство належить до базових дисциплін для машинобудівних спеціальностей. Це пов'язано з тим, що здобуття, розробка нових матеріалів способи їх обробки, є основою сучасного виробництва і багато в чому визначають рівень свого розвитку, науково-технічний і економічний потенціал нашої країни.

Проектування раціональних, конкурентноспроможних виробів, організація їх виробництва, неможливі без достатнього рівня знань в галузі матеріалознавства.

Також окремим осередком у матеріалознавстві можна відокремити такий розділ, як металознавство. У даний час наука "металознавство" пішла далеко уперед. Українськими вченими розроблено понад дві тисячі різних сплавів. У НАН України працює декілька десятків науково-дослідних інститутів, які займаються металознавством (інститути: Проблем матеріалознавства; Надтвердих матеріалів; Проблем міцності; Проблем лиття; Зварювання ім. Е.О.Патона; Фізико-механічний ім. Г.В. Карпенко, Фізико-технічний тощо). Крім цього є багато науково-дослідних галузевих інститутів, які займаються проблемами матеріалознавства. Слід відмітити, що великий внесок у розвиток металознавства дають вчені з вищих технічних навчальних закладів.

Серед сучасних вітчизняних вчених матеріалознавців-металознавців можна назвати: Б.Е.Патона, Д.А.Дутко, Б.І.Медовара, Б.А.Мовчана, А.К.Лебедєва, Н.Т.Францевича, Г.К.Писаренка, О.Н. Романіва, С.Я. Ярему, В.І. Ткачова, М.І. Пашечку, В.В. Панасюка, О.І. Балицького та ін.

## 1. ЗАВДАННЯ, ЯКІ СТАВИТЬ ДИСЦИПЛІНА

Вживання різних матеріалів в конструкціях машин і приладів, необхідність забезпечення їх надійності в роботі, облік особливостей технологічних методів обробки, а також доцільності виготовлення цих конструкцій визначають основні завдання дисципліни "Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні":

- вивчення основних закономірностей, що визначають будову і властивості матеріалів, а також методів їх термічної обробки;

- вивчення суті процесів виробництва металів і сплавів;

- вивчення основ ливарного виробництва;

- вивчення основних методів обробки металів тиском;

- вивчення основ зварювального виробництва;

- вивчення основних видів механічної обробки;

- вивчення засобів здобуття деталей з неметалевих матеріалів;

- придбання навичок користування сучасною технічною і довідковою літературою для вибору конструкційних матеріалів і методів їх обробки для підвищення надійності і довговічності виробів, що виготовляються з них;

- придбання навичок самостійної обробки отриманих експериментальних даних і представлення їх в наочній формі (графіки, таблиці).

Відповідно до програми дисципліни необхідно, використовуючи учбову літературу, вивчити основи дисципліни і провести самоконтроль по представлених в даних рекомендаціях питаннях. Після цього слід виконати контрольну роботу і здати її для перевірки методистові заочного відділення. При написанні контрольної роботи можна використовувати, окрім приведеної в методичних вказівках, іншу літературу.

## 2. КОРОТКІ ІСТОРИЧНІ ВІДОМОСТІ З КУРСУ МЕТАЛОЗНАВСТВА

Металознавство - наука, яка вивчає в загальному зв'язку склад, будову та властивості металів та сплавів, а також закономірності зміни

властивостей під впливом теплової, механічної або хімічної дії. Як самостійна наука "металознавство" виникло в Росії у XIX столітті під назвою металографія.

Кристалми різних речовин вчені цікавилися ще в XVII і XVIII ст. М.В.Ломоносов у 1763 р. у своєму "Трактате о слоях земных" встановлює закон постійності кутів для кристалів алмазу. У цьому питанні Ломоносов далеко випередив своїх сучасників, він висунув положення, які поділяються наукою і в теперішній час.

Розвиток металознавства нерозривно пов'язаний з іменами П.П.Аносова (вперше використав мікроскоп для дослідження структури металів), Д.К.Чернова (дослідив критичні точки сталі та кристалічну будову литої сталі). Подальший розвиток металознавства пов'язаний з іменами М.С.Курнакова (розробив методи фізико-хімічного аналізу сплавів), О.О.Байкова (висвітлив фізико-хімічну суть ряду металургійних процесів), С.С.Штейнберга (узагальнив явище перетворень аустеніту), М.П.Чижевського (вивчив вплив азоту на властивості сталей).

## **2.1 . ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ**

Залізовуглецеві сплави — важливі металургійні сплави сучасної техніки. Виробництво чавуну і сталі за об'ємом перевершує виробництво всіх інших металів разом узятих більш ніж вдсятеро. Діаграма стану системи залізо — вуглець дає основні уявлення про будову залізовуглецевих сплавів — сталей та чавунів. Більшість завдань і питань в цих методичних вказівках в тій чи іншій мірі стосуються залізовуглецевих сплавів. Тому в даних методичних вказівках має сенс детальніше викласти матеріал, що стосується залізовуглецевих сплавів.

Розрізняють чисті залізовуглецеві сплави (із слідами домішок), що отримуються в невеликих кількостях для дослідницьких цілей, і технічні залізовуглецеві сплави, що містять домішки, що легують елементи і спеціальні добавки. Початок вивченню діаграми залізо – вуглець поклав Чернов Д.К. в 1868 році. Чернов вперше вказав на існування в сталі критичних точок і на залежність їх положення від вмісту вуглецю.

Діаграма залізовуглецевих сплавів може бути представлена в двох варіантах: метастабільному, що відображає перетворення в системі «залізо-карбід заліза», та стабільному, такому, що відображає перетворення в системі «залізо-графіт». Найбільше практичне значення має діаграма стану «залізо - карбід заліза», оскільки для більшості технічних сплавів перетворення реалізуються по цій діаграмі.



Карбід заліза ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) називають цементитом, тому метастабільну діаграму залізовуглецевих сплавів називають діаграмою достатку «залізо-цементит» ( $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ ).

Діаграма «залізо – вуглець» повинна поширюватися від заліза до вуглецю (рис. 1). Залізо утворює з вуглецем хімічну сполуку: цементит –  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Кожну стійку хімічну сполуку можна розглядати як компонент, а діаграму – по частинах. Оскільки на практиці застосовують металеві сплави з вмістом вуглецю до 5%, то розглянемо частину діаграми стану від заліза до хімічної сполуки цементиту, що містить 6,67 % вуглецю.

Розглянемо характерні лінії і точки на діаграмі стану. Характерні лінії:  $ACD$  - ліквідус;  $AECF$  - солідус. Вище лінії  $ACD$  сплави системи перебувають у рідкому стані. По лінії  $AC$  з рідкого розчину починають випадати кристали твердого розчину вуглецю в  $\gamma$  - залізі, який називається аустенітом, отже, в області  $ACE$  буде суміш двох фаз - рідкого розчину і аустеніту; по лінії  $CD$  з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту; в області  $CEF$  міститься суміш двох фаз - рідкого розчину і цементиту. Перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) проходить по лініях  $GSE$ ,  $PSK$  і  $GPQ$ . Перетворення у твердому стані відбуваються внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку зі зміною розчинності вуглецю в залізі.

В області діаграми  $AGSE$  міститься аустеніт. При охолодженні сплавів аустеніт розпадеться з виділенням по лінії  $GS$  фериту (твердий розчин вуглецю в  $\alpha$  - залізі), а по лінії  $SE$  - цементиту (хімічна сполука  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Цементит, що випадає з твердого розчину, називається вторинним, на відміну від первинного, який випадає з рідкого розчину. В області діаграми  $GSP$  міститься суміш двох фаз - фериту і аустеніту, а в області  $SEE_1$  - суміш вторинного цементиту і аустеніту. По лінії  $PSK$  відбувається розпад аустеніту з утворенням перліту; тому ця лінія називається лонжею остаточного перетворення аустеніту в перліт або перлітною.

Характерні точки. У точці  $S$  при вмісті 4,3 % вуглецю і температурі 1420  $^{\circ}\text{K}$  відбувається одночасно кристалізація аустеніту і цементиту і утворюється їх тонка механічна суміш евтектика, яка називається ледебуритом. Точку  $S$  називають евтектичною точкою.

Ледебурит є у всіх сплавах, які містять від 2,14 до 6,67 % вуглецю. Такі сплави є чавунами. Точка E відповідає граничному насиченню заліза вуглецем (2,14 %). Сплави, які лежать ліворуч від цієї точки, належать до сталей.

У точці S при вмісті 0,8 % вуглецю і температурі 1000 °K аустеніт розпадеться і кристалізується тонка механічна суміш фериту та цементиту вторинного - евтектоїд, який називається перлітом. Провівши аналіз перетворень на діаграмі стану  $Fe-Fe_3C$ , можна зробити висновок про структуру сталей та чавунів у нормальних умовах. Сталі із вмістом вуглецю від 0,0 до 0,8 % мають структуру ферит + перліт; із вмістом 0,8 % вуглецю - чистий перліт; із вмістом від 0,8 до 2,14 % вуглецю - перліт + цементит вторинний.

Чавуни із вмістом від 2,14 до 4,3 % вуглецю мають структуру перліт + цементит вторинний + ледебурит; із вмістом 4,3 % вуглецю - чистий ледебурит; із вмістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % - цементит первинний і ледебурит.

Слід наголосити, що у залежності від умов виплавки та термічної обробки, сталі і чавуни можуть змінювати свою структуру. У сірих, ковких та високоміцних чавунах є така фаза, як графіт у різних модифікаціях.

Далі детальніше розглянемо компоненти і фази залізовуглецевих сплавів.

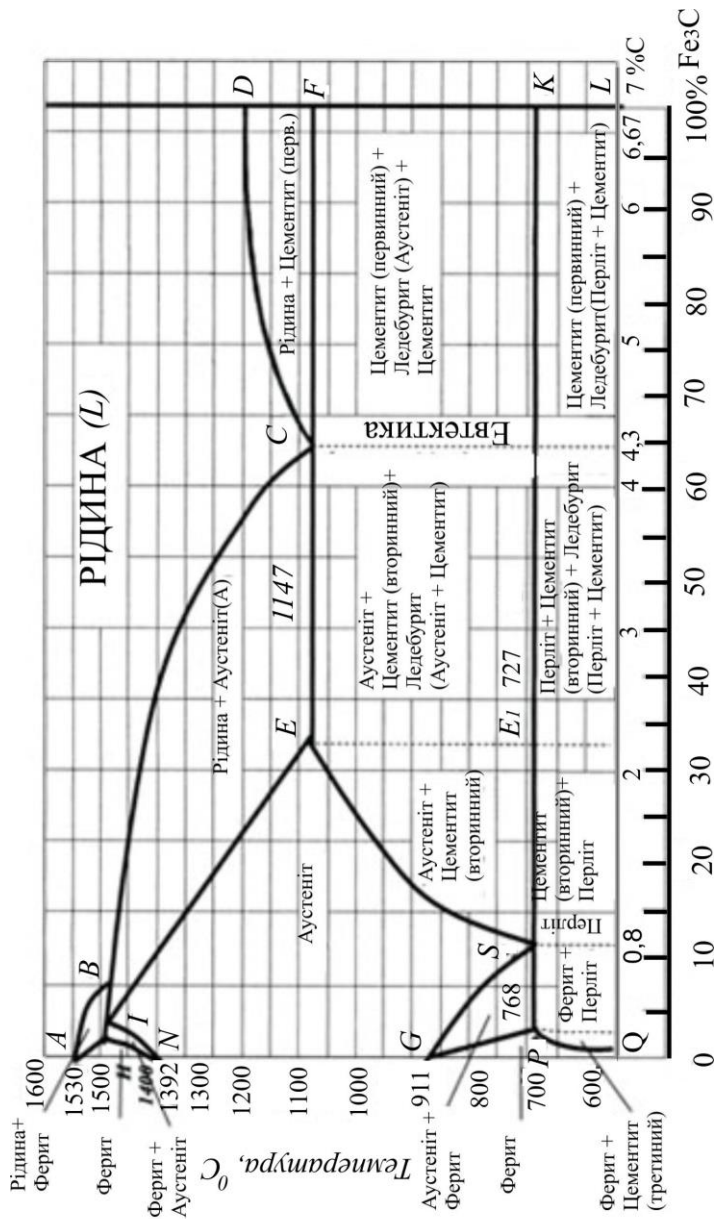


Рис. 1. Діаграма стану (залізо-вуглець) залізо-цементит

## 2.2. КОМПОНЕНТИ ТА ФАЗИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит.

**Залізо** – перехідний метал сріблясто - світлого кольору. Має високу температуру плавлення —  $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Чисте залізо, яке може бути отримане в даний час, містить 99,999 % Fe. У твердому стані залізо може знаходитися в двох модифікаціях. Поліморфні перетворення відбуваються при температурах  $911^{\circ}\text{C}$  та  $1392^{\circ}\text{C}$ . При температурі нижче  $911^{\circ}\text{C}$  існує  $\text{Fe}_{\alpha}$  з об'ємно центрованою кубічною граткою (рис. 2а). У інтервалі температур  $911 \dots 1392^{\circ}\text{C}$  стійким є  $\text{Fe}_{\gamma}$  з гранецентрованою кубічною граткою (рис. 2б). Вище  $1392^{\circ}\text{C}$  залізо має об'ємно – центровану кубічну гратку і називається  $\text{Fe}_{\delta}$  або високотемпературне  $\text{Fe}_{\alpha}$ . Високотемпературна модифікація  $\text{Fe}_{\alpha}$  не є новою алотропічною формою. Критичну температуру  $911^{\circ}\text{C}$  перетворення  $\text{Fe}_{\alpha} \leftrightarrow \text{Fe}_{\gamma}$  позначають точкою  $A_3$ , а температуру  $1392^{\circ}\text{C}$ , а перетворення  $\text{Fe}_{\alpha} \leftrightarrow \text{Fe}_{\gamma}$  – точкою  $A_4$ . При температурі нижче  $768^{\circ}\text{C}$  залізо феромагнітне, а вище – парамагнітне. Точка Кюрі заліза  $768^{\circ}\text{C}$  позначається  $A_2$ . Залізо технічної чистоти володіє невисокою твердістю (80 НВ) і міцністю (межа міцності –  $\sigma_b = 250$  МПа, межа текучості –  $\sigma_t = 120$  МПа) та високими характеристиками пластичності (відносне подовження –  $\delta = 50\%$ , а відносне звуження –  $\psi = 80\%$ ). Властивості можуть змінюватися в деяких межах залежно від розміру зерна. Залізо характеризується високим модулем пружності, наявність якого виявляється і в сплавах на його основі, забезпечуючи високу жорсткість деталей з цих сплавів.

Залізо з багатьма елементами утворює розчини: з металами – розчини заміщення, з вуглецем, азотом і воднем – розчини впровадження.

**Вуглець** відноситься до неметалів. Володіє поліморфним перетворенням, залежно від умов утворення існує у формі графіту (мал. 2в) з гексагональною кристалічною решіткою (температура плавлення –  $3500^{\circ}\text{C}$ , щільність –  $2,5 \text{ г/см}^3$ ) або у формі алмазу з складними кубічними гратками з координаційним числом рівним чотирьом (температура плавлення –  $5000^{\circ}\text{C}$ ). У сплавах заліза з вуглецем вуглець

знаходиться в стані твердого розчину із залізом і у вигляді хімічної сполуки – цементиту ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) а також у вільному стані у вигляді графіту (у сірих чавунах).

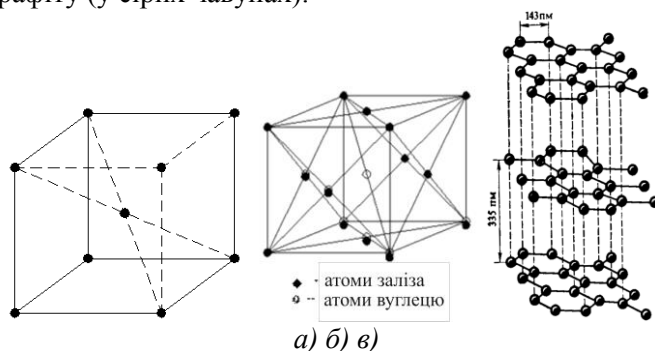


Рис. 2. Кристалічні решітки: фериту — а, аустеніту — б, графіту — в.

3. **Цементит** ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) – хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза), містить 6,67 % вуглецю. Алотропічних перетворень не випробовує. Кристалічна решітка цементиту складається з ряду октаедрів, осі яких нахилені один до одного. Температура плавлення цементиту точно не встановлена (1250, 1550  $^{\circ}\text{C}$ ). При низьких температурах цементит слабо ферромагнітний, магнітні властивості втрачає при температурі близько 217  $^{\circ}\text{C}$ .

Цементит має високу твердість (більше 800 НВ, легко дряпає скло), але надзвичайно низьку, практично нульову, пластичність. Такі властивості є наслідком складної будови кристалічної решітки.

Цементит здатний утворювати тверді розчини заміщення. Атоми вуглецю можуть заміщатися атомами неметалів: азотом, киснем; атоми заліза – металами: марганцем, хромом, вольфрамом та ін. Такий твердий розчин на базі грат цементиту називається легованим цементитом.

Цементит – з'єднання нестійке і за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю у вигляді графіту. Цей процес має важливе практичне значення при структуроутворенні чавунів.

У системі залізо – вуглець існують наступні фази: рідка фаза, ферит, аустеніт, цементит.

**1. Рідка фаза** (позначають  $L$  або  $P$ ). У рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець в будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

**2. Ферит** (позначають  $\Phi$  або  $\alpha$ ,  $Fe\alpha$  (C)) – твердий розчин впровадження вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,006 % при кімнатній температурі (точка Q), максимальну – 0,02 % при температурі 727 °C (точка P). Вуглець розташовується в дефектах ґратки. При температурі вище 1392 °C існує високотемпературний ферит ( $\delta$ ) ( $Fe\beta$  (C)), з граничною розчинністю вуглецю 0,1 % при температурі 1499 °C (точка J).

Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Він м'який (твердість – 130 HB, межа міцності –  $\sigma_v = 300$  МПа) і пластичний (відносне подовження –  $\delta = 30\%$ ), магнітний до 768 °C.

**3. Аустеніт** (позначають  $A$  або  $\gamma$ ,  $Fe\gamma$  (C)) – твердий розчин впровадження вуглецю в  $\gamma$  - залізі. Вуглець займає місце в центрі гранецентрованої кубічної комірки. Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,8 % при температурі 727 °C (точка S), максимальну – 2,14 % при температурі 1147 °C (точка E). Аустеніт має твердість 200...250 HB, пластичний (відносне подовження —  $\delta = 40...50\%$ ), парамагнітний. При розчиненні в аустеніті інших елементів можуть змінюватися властивості і температурні кордони існування.

**4. Цементит ( $Ц$ )** – характеристика дана вище. У залізобуглецевих сплавах присутні фази: цементит первинний ( $Ц_I$ ), цементит вторинний ( $Ц_{II}$ ), цементит третинний ( $Ц_{III}$ ). Хімічні і фізичні властивості цих фаз однакові. Вплив на механічні властивості сплавів робить відмінність в розмірах кількості і розташуванні цих виділень. Цементит первинний виділяється з рідкої фази у вигляді крупних пластинчастих кристалів. Цементит вторинний виділяється з аустеніту і розташовується у вигляді сітки довкола зерен аустеніту (при охолодженні – довкола зерен перліту). Цементит третинний

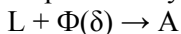
виділяється з фериту і у вигляді дрібних включень розташовується біля кордонів феритних зерен.

### **2.3. ПРОЦЕСИ ПРИ СТРУКТУРОУТВОРЕННІ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ**

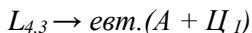
Перетворення в залізовуглецевих сплавах відбувається як при кристалізації (твердінні) рідкої фази ( $P$ ), так і в твердому стані.

Лінія  $ABCD$  – ліквідус системи. На ділянці  $AB$  починається кристалізація фериту ( $\delta$ ), на ділянці  $BC$  починається кристалізація аустеніту на ділянці  $CD$  – кристалізація цементиту первинного.

Лінія  $AHJECF$  – лінія солідус. На ділянці  $AH$  закінчується кристалізація фериту ( $\delta$ ). На лінії  $HJB$  при постійній температурі  $1499\text{ }^{\circ}\text{C}$  йде перетектичне перетворення, що полягає в тому, що рідка фаза реагує з кристалами фериту ( $\delta$ ), що раніше утворилися внаслідок чого утворюється аустеніт:



На ділянці  $JE$  закінчується кристалізація аустеніту. На ділянці  $ECF$  при постійній температурі  $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$  йде евтектичне перетворення, що полягає в тому, що рідина, що містить 4,3 % вуглецю перетворюється на евтектичну суміш аустеніту і цементиту первинного:



Евтектика системи залізо – цементит називається ледебуритом ( $L$ ), по імені німецького вченого Ледебура, містить 4,3 % вуглецю.

При температурі нижче  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  до складу ледебурита входять цементит первинний і перліт, його називають ледебурит перетворений ( $ЛП$ ).

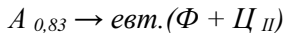
По лінії  $HN$  починається перетворення фериту ( $\delta$ ) в аустеніт, обумовлене поліморфним перетворенням заліза. По лінії  $NJ$  перетворення фериту ( $\delta$ ) на аустеніт закінчується.

По лінії  $GS$  перетворення аустеніту на ферит, обумовлене поліморфним перетворенням заліза. По лінії  $PG$  перетворення аустеніту на ферит закінчується.

По лінії  $ES$  починається виділення цементиту вторинного з аустеніту, обумовленого зниженням розчинності вуглецю в аустеніті при пониженні температури.

По лінії МО при постійній температурі 768 °С мають місце магнітні перетворення.

По лінії PSK при постійній температурі 727 °С йде евтектоїдне перетворення, що полягає в тому, що аустеніт, який містить 0,8 % вуглецю, перетворюється на евтектоїдну суміш фериту і цементиту вторинного:



За механізмом дане перетворення схоже на евтектичне, але протікає в твердому стані.

Евтектоїд системи залізо – цементит називається перлітом (П), містить 0,8 % вуглецю. Назву отримав за те, що на полірованому і протравленому шліфі спостерігається перламутровий блиск. Перліт може існувати у зернистій і пластинчастій формі, залежно від умов освіти.

По лінії PQ починається виділення цементиту третинного з фериту, обумовленого зниженням розчинності вуглецю у фериті при пониженні температури.

Температури, при яких відбуваються фазові і структурні перетворення в сплавах системи залізо – цементит, тобто критичні крапки, мають умовні позначення.

Позначаються буквою А (від французького *arret* – зупинка):

$A_1$  – лінія PSK (727 °С) – перетворення  $\Pi \leftrightarrow A$ ;

$A_2$  – лінія MO (768 °С, т. Кюрі) – магнітні перетворення;

$A_3$  – лінія GOS (змінна температура, залежна від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення  $\Phi \leftrightarrow A$ ;

$A_4$  – лінія NJ (змінна температура, залежна від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення  $A \leftrightarrow \Phi(\delta)$ ;

$A_{cm}$  – лінія SE (змінна температура, залежна від вмісту вуглецю в сплаві) – початок виділення цементиту вторинного (інколи позначається  $A_3$ ).

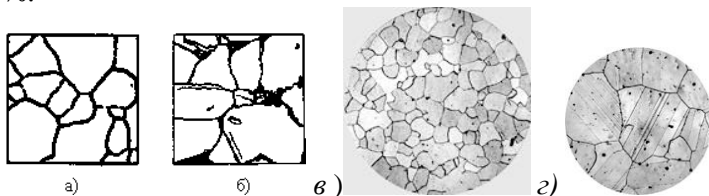
Оскільки при нагріві і охолоджуванні перетворення здійснюються при різних температурах, щоб відрізнити ці процеси вводяться додаткові позначення. При нагріві додають букву *c*, тобто  $Ac_1$ , при охолоджуванні – букву *r*, тобто  $Ar_1$ .

### **2.3. СТРУКТУРИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ**

Всі сплави системи залізо – цементит за структурною ознакою ділять на дві великі групи: сталі і чавуни.



Особливу групу складають сплави зі вмістом вуглецю менше 0,02% (точка Р), їх називають технічне залізо. Мікроструктури сплавів представлені на рис. 3. Структура таких сплавів після закінчення кристалізації полягає або із зерен фериту (рис. 3а), при вмісті вуглецю менше 0,006 %, або із зерен фериту і кристалів цементиту третинного, розташованих по кордонах зерен фериту (рис. 3.б), якщо вміст вуглецю від 0,006 до 0,02 %.



*Рис.3. Мікроструктури технічного заліза: а – вміст вуглецю менше 0,006%;*

*б – вміст вуглецю 0,006...0,02 %; у — Рівновісні зерна фериту в технічному залізі. Виборча травимість (різний відтінок різних зерен) пов'язана з різним орієнтуванням їх ґраток щодо площини шліфа. Темні плями - дефекти поліровки. г — Аустеніт і незначна кількість карбідів Ті в нержавіючій сталі. Добре видно двійники - характерна ознака аустеніту.*

Вуглецевими сталями називають сплави заліза з вуглецем, що містять 0,02...2,14 % вуглецю, що закінчують кристалізацію утворенням аустеніту.

Вони володіють високою пластичністю, особливо в аустенітному стані.

Структура сталей формується в результаті перекристалізації аустеніту. Мікроструктури сталей представлені на рис. 4, 5 (див. додаток № 1). Розмір зерна визначають за спеціальною шкалою (див. додаток № 2).

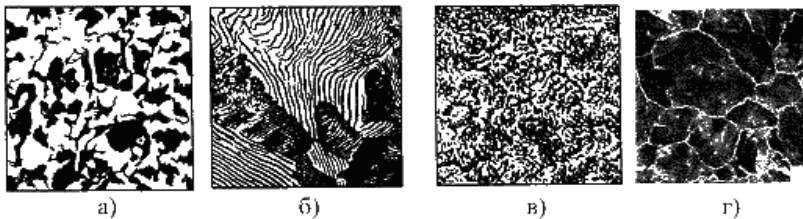


Рис. 4. Мікроструктури сталей: а – доевтектоїдна сталь ( $\Phi + \Pi$ ) ; б – евтектоїдна сталь (пластинчастий перліт); в – евтектоїдна сталь (зернистий перліт); г – заевтектоїдна сталь ( $\Pi + \text{Ц}_{\text{II}}$ ).

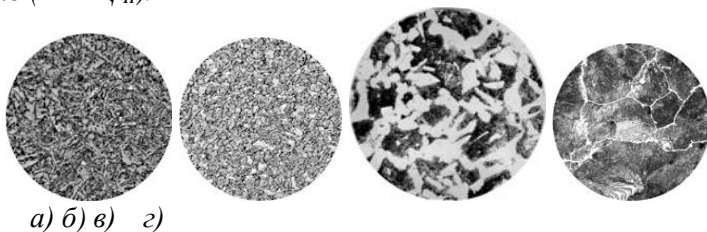


Рис. 5. Мікроструктури сталей: а- Надлишковий ферит і перліт; б — Ферит (світліший і однорідніший) і перліт (з карбідами хрому) в корозійностійкій сталі. г — Зерна фериту (світлі) і перліт. Пограничні виділення вторинного цементиту у вигляді суцільної тонкої світлої сітки (матриця) по кордонах зерен колишнього аустеніту, що перетворився при повільному охолодженні в крупнопластинчастий перліт.

За вмістом вуглецю і по структурі сталі підрозділяються на доевтектоїдні ( $0,02\% < C < 0,8\%$ ), структура ферит + перліт ( $\Phi + \Pi$ ) (рис. 4а); евтектоїдні ( $C = 0,8\%$ ), структура перліт ( $\Pi$ ), перліт може бути пластинчастий або зернистий (рис. 4б і 4в); заевтектоїдні ( $0,8\% < C < 2,14\%$ ) структура перліт + цементит вторинний ( $\Pi + \text{Ц}_{\text{II}}$ ), цементитна сітка розташовується довкола зерен перліту.

По мікроструктурі сплавів можна приблизно визначити кількість вуглецю у складі сплаву, враховуючи наступне: кількість вуглецю у перліті складає  $0,8\%$ , у цементиті –  $6,67\%$ . Зважаючи на малу розчинність вуглецю у фериті, приймається, що в ньому вуглецю немає.

Сплави заліза з вуглецем, що містять вуглецю більше 2,14 % (до 6,67 %), що закінчують кристалізацію утворенням евтектики (ледебурита), називають **чавунами**.

Наявність легкоплавкого ледебуриту в структурі чавунів підвищує їх ливарні властивості. Чавуни, що кристалізуються відповідно до діаграми достатку залізо – цементит, відрізняються високою крихкістю. Колір їх зламу – сріблясто-білий. Такі чавуни називаються білими чавунами. Мікроструктури чавунів представлені на мал. 6, 7. Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи і форми графітових включень (див. додаток № 3).

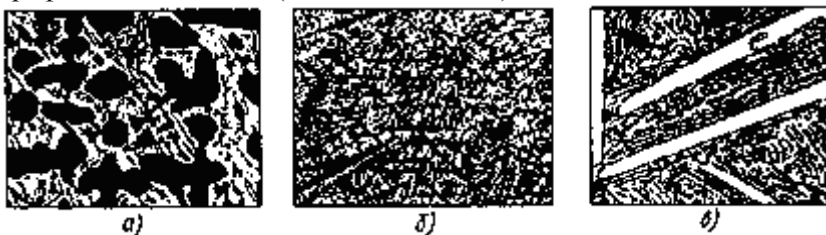


Рис. 6. Мікроструктури білих чавунів: а – доевтектичний білий чавун ( $П + Л + Ц_{II}$ ); б – евтектичний білий чавун ( $Л$ ); в – заевтектичний білий чавун ( $Л + Ц_I$ ).

По кількості вуглецю і по структурі білі чавуни підрозділяються на: доевтектичні ( $2,14\% < C < 4,3\%$ ), структура перліт + ледебурит + цементит вторинний ( $П + Л + Ц_{II}$ ); евтектичні ( $C = 4,3\%$ ), структура ледебурит ( $Л$ ) (рис. 6б); заевтектичні ( $4,3\% < C < 6,67$ ) структура ледебурит + цементит первинний ( $Л + Ц_I$ ) (рис. 6в).

У структурі доевтектичних білих чавунів присутній цементит вторинний, який утворюється в результаті зміни складу аустеніту при охолодженні (по лінії ES). У структурі цементит вторинний зливається з цементитом, що входить до складу ледебурита. Фазовий склад сталей і чавунів при нормальних температурах один і той же, вони складаються із фериту і цементиту. Проте властивості сталей і білих чавунів значно розрізняються. Таким чином, головним чинником, що визначає властивості сплавів системи залізо – цементит є їх структура.

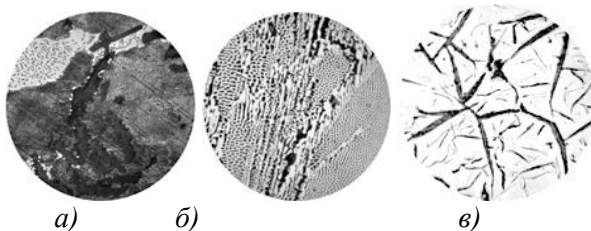


Рис. 7. Мікроструктури чавунів: а — Сірий чавун на перлитовій металевій основі. Крабовидні включення графіту (чорний) в перлитовій матриці. На стиках кордонів зерен перлиту видно світло-пестрі ділянки потрібної фосфідної евтектики. б — Ледебурит в евтектичному чавуні. Видно декілька колоній ледебуриту. в - Пластинчасті включення графіту. Структура металевої основи не є показовою, оскільки шліф не труєний.

## 2.3 . КЛАСИФІКАЦІЯ, МАРКУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Сталь - це сплав заліза з вуглецем і домішками (кремній, марганець, сірка, фосфор та гази), в якому вуглецю не більше, ніж 2,14 %.

Сталі можна класифікувати за різними принципами, єдиної класифікації у світі немає.

Спробуємо провести класифікацію сталей таким чином:

- за вмістом вуглецю (низьковуглецеві - вміст вуглецю від 0,08 до 0,25 %, середньовуглецеві - від 0,25 до 0,60 %, високовуглецеві - від 0,60 до 2,14 %);

- за структурою (доевтектоїдні із вмістом вуглецю від 0,08 до 0,8 %, структура ферит + перліт; евтектоїдні із вмістом вуглецю 0,8 %, структура перліт; заевтектоїдні із вмістом вуглецю від 0,8 до 2,14 % структура перліт + цементит вторинний);

- за засобом виробництва (конверторні, мартенівські сталі, виплавлені в електропечах і сталі після електрошлакового переплавлення);

- за призначенням (конструкційні, інструментальні та спеціального призначення).

Конструкційні сталі бувають звичайної якості і якісні. Конструкційні сталі звичайної якості, залежно від призначення, поділяють на три групи: А - що постачаються за механічними властивостями, Б - що постачаються за хімічним складом, В - що постачаються за хімічним складом і механічними властивостями.

Дані сталі маркуються таким чином:

Група А - Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6.

Група Б - БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6.

Група В - ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Букви Ст означають сталь, цифри - умовний порядковий номер марки залежно від хімічного складу сталі і механічних властивостей, але не вказують на кількісний вміст вуглецю. Букви Б і В визначають групу сталі, буква А перед позначенням марки не вказується.

Щоб показати ступінь розкислення, до позначення марки після номера додають індекси "КП" - кипляча, "ПС" - напівспокійна, "СП" - спокійна, наприклад, Ст3пс, БСт3сп. Сталі звичайної якості випускають у вигляді листового і сортового прокату. Вони призначені для виготовлення будівельних конструкцій, арматури, кріплень деталей машин, які не несуть підвищених навантажень. Сталі групи А призначені для виробів, які при виготовленні не піддаються гарячій обробці (зварюванню, куванню), сталі групи Б - для виробів із застосуванням гарячої обробки, сталі групи В широко застосовують

для виготовлення зварних конструкцій, при розрахунку яких важливо знати також і механічні властивості.

Вуглецеву якісну сталь виплавляють у кисневих конверторах, мартенівських та електричних печах. Якісна конструкційна сталь постачається як за механічними властивостями, так і за хімічним складом.

Якісна сталь перевищує сталь звичайної якості за однорідністю, є чистішою за вмістом сірки і фосфору, неметалевих включень і має вужчі межі вмісту вуглецю. Із цієї сталі виготовляють відповідальні деталі машин і механізмів, коновки, штампові, калібровані трубки і т.п. Вони маркуються: сталь 08кп, сталь 08пс, сталь 10 сп, 10, 25, 45, 85 і т.п. Двозначні цифри у маркуванні сталі визначають середній вміст вуглецю у сотих долях відсотка.

Інструментальні сталі виплавляють у мартенівських та електричних пічах і використовують для виготовлення інструментів (різальних, вимірювальних, ударних тощо). Інструментальну сталь поділяють на якісну і високоякісну. Сталь якісну позначають літерою У і цифрою, що вказує на вміст вуглецю у десятих долях відсотка. Наприклад, У7, У8, аж до У13.

Сталь інструментальна високоякісна містить менше домішок (сірки, фосфору), ніж якісна; при її маркуванні додають букву А, наприклад, У8А.

Сталі спеціального призначення почали використовувати тоді, коли були впроваджені нові технологічні процеси і специфічні види промисловості.

Наприклад, сталі А1, А2, які використовуються для обробки різанням на верстатах-автоматах; СВ08 - для виготовлення зварювального дроту і зварювальних електродів; сталь 08кп - для листового штампування та ін.

Властивості сталей залежать від їх складу і структури.

Із збільшенням у сталях вмісту вуглецю, сталь стає твердішою і міцнішою, пластичність падає. Кремній і марганець у межах (0,5 - 0,7 %) істотного впливу на властивість сталі не виявляють.

Сірка є шкідливою домішкою, утворює з залізом хімічну сполуку FeS. Сірчисте залізо з залізом у сталях утворює евтектику з температурою плавлення 1258 0К. Це є причиною червоноламкості при обробці тиском з підігріванням. Вказана евтектика при певних температурах розплавляється, у результаті чого між зернами втрачається зв'язок і утворюються тріщини. Крім цього, сірка знижує пластичність і міцність сталі, опір стиранню і корозійну стійкість.

Фосфор надає сталі холодноламкості (крихкість при знижених температурах). Це пояснюється тим, що фосфор спричиняє сильну внутрішню кристалічну ліквідацію.

Ферит - фаза м'яка і пластична; цементит, навпаки, надає сталі твердості та крихкості; перліт містить 1/8 цементиту і тому має підвищену міцність і твердість порівняно з феритом. Тому доевтектоїдні сталі набагато еластичніші, ніж заевтектоїдні.

## **2.7. КЛАСИФІКАЦІЯ, МАРКУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

Легована сталь - це сплав заліза з вуглецем та легуючими компонентами (Cr, Ni, W, Mo, Ti, V, Co та ін.), в якому вуглецю не більше, як 2,14 %. Вуглецева сталь часто не відповідає вимогам сучасного машинобудівного та інструментального виробництва. У таких випадках використовують леговану сталь. Легуючі компоненти, що вводяться у сталь, змінюють її механічні, фізичні та хімічні властивості. Для легування сталі застосовують хром, нікель, марганець, кремній, вольфрам, молібден, ванадій, кобальт, титан, алюміній, мідь та ін.

Найпростішою і оптимальною класифікацією легованих сталей є класифікація за:

1. Вмістом легуючих компонентів:

- низьколеговані (сумарний вміст легуючих компонентів до 5 %);
- середньолеговані (5-10 %);
- високолеговані (до 10 %).

2. Структурою (на п'ять класів: перлітний, мартенситний, аустенітний, карбідний і феритний).

3. Призначенням. Залежно від призначення леговану сталь поділяють на конструкційну, інструментальну і спеціального призначення.

Конструкційну сталь використовують для виготовлення будівельних конструкцій, деталей машин.

Для конструкційної легованої сталі прийнято маркування, за яким перші дві цифри вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, букви - наявність відповідних легуючих компонентів, а цифри, що стоять за буквами, процентний вміст цих компонентів. Якщо після якоїсь букви немає цифри, то це означає, що сталь містить даний елемент у кількості біля 1 %.

Для позначення легуючих компонентів взято такі букви:

Х - хром, Н - нікель, Г - марганець, С - кремній, В - вольфрам, М - молібден, Ф - ванадій, К - кобальт, Т - титан, Ю - алюміній, Д - мідь, Р - бор, Б - ніобій, А - азот, Е - селен, Ц - цирконій.



Наприклад, марка 30ХНЗ означає хромонікелеву сталь, що містить 0,3 % С, до 1 % Cr та 3 % Ni.

Для позначення високоякісної легованої сталі у кінці маркування додають букву А, наприклад, 30ХГСА, для позначення особливо високоякісної сталі - букву Ш.

Для сталей інструментальних порядок маркування за легуючими компонентами такий самий, як і для конструкційної, але кількість вуглецю зазначається першою цифрою у десятих частках відсотка. Якщо цифри немає, то сталь містить більше 1 % вуглецю.

Наприклад, сталі для ударно-штампового і вимірювального інструменту 20Х12 (містить 2,0-2,2 % С і 11,5-13,0 % Cr), Х12Ф1, сталі для різального інструменту 9ХС містить 0,9 % С, по 1 % хрому і кремнію).

На відміну від попередніх маркується швидкорізальна сталь. Встановлені такі марки швидкорізальної сталі: Р18, Р12, Р9, Р6МЗ, Р18М, Р9М, Р9Ф5, Р14ФА, Р18Ф2, Р9К5, Р9К10, Р6М5, Р18К5Ф2. Буква Р вказує про наявність у сталях карбиду вольфраму, цифра після букви Р вказує на вміст карбиду вольфраму у відсотках. Наприклад, сталь марки Р6М5 містить до 6 % карбиду вольфраму і до 5 % молібдену.

Сталі спеціального призначення. Багато машин, приладів та іншого устаткування мають деталі, до яких ставляться особливі вимоги:

- опір дії хімічних, агресивних середовищ;
- збереження міцності при високих температурах;
- стійкість проти окислення при високих температурах;
- зносостійкість, магнітні, теплові та інші властивості.

Маркуються вони за принципом конструкційних сталей. Наприклад, жаростійка легована сталь Х25Н20С2 (містить до 1 % С, до 25 % Cr, до 20 % Ni і до 2 % Si).

## **2.8. КЛАСИФІКАЦІЯ, МАРКУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЧАВУНІВ**

Чавун - це сплав заліза з вуглецем та домішками (Si, Mn, S, P, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), в якому вуглецю більше як 2,14 %.

Чавуни доцільно класифікувати за призначенням на: білі, сірі, ковкі, високоміцні і антифрикційні.

Білі чавуни - це чавуни, в яких вуглець перебуває у зв'язаному стані, у вигляді цементиту (Fe<sub>3</sub>C). Їх можна класифікувати за структурою: до евтектичні (вміст вуглецю від 2,14 до 4,3 %); евтектичні (вміст вуглецю 4,3 %); заевтектичні (вміст вуглецю від 4,3 до 6,67 %).

Білі чавуни в основному використовують для переробки у сталь. В окремих випадках для виготовлення виробів, які не піддаються високим навантаженням.

Сірі чавуни - це чавуни, в яких вуглець перебуває як у зв'язаному стані (Fe<sub>3</sub>C) так і в вільному у вигляді графіту. Сірі чавуни маркуються буквами СЧ з цифрою, яка вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг.

Згідно ДСТУ є такі марки сірого чавуну: СЧ12, СЧ15, СЧ18, СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ32, СЧ35, СЧ40, СЧ45. Сірі чавуни використовуються для виготовлення різних відливок для сільськогосподарських машин і побутової техніки. У структуру сірих чавунів обов'язково входить фаза графіт у вигляді пластинок. Це дозволяє в деякій мірі підвищити пластичність у порівнянні з білими чавунами.

Ковкий чавун - умовна назва м'якого і в'язкого чавуну, який одержують з білого чавуну шляхом відливанням з подальшою термічною обробкою. Його не кують, але він набагато пластичніший за сірий чавун. Ковкий чавун, як і сірий, складається із основи – сталі та містить частину вуглецю у вигляді графіту, проте графітові включення у ковкому чавуні інші по формі (у вигляді плям, а не пластин). Властивості ковкого чавуну залежать від металевої основи і розміру включень графіту, чим менші включення графіту, тим міцніший ковкий чавун.

Ковкий чавун позначають буквами КЧ і двома числами, з яких перше вказує мінімальну границю міцності на розтяг, друге

- мінімальне відносне видовження  $d$  (%). Відомі такі марки ковкого чавуну: на феритній основі (3-10 % перліту ) КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, на перлітній основі (0-20 % фериту) КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3.

Ковкий чавун широко використовують у сільськогосподарському машинобудуванні, в автомобільній і тракторній промисловості, верстатобудуванні та в інших галузях промисловості.

Високоміцні чавуни. Підвищення міцності і пластичності чавунів досягають модифікуванням під час виплавляння, яке забезпечує одержання глобулярного (сфероїдального) графіту замість пластинчастого. Таку форму графіту одержують при введенні присадок у рідкий чавун магнію або лігатури (20 % Mg + 80 % Ni).

Встановлені такі марки високоміцного чавуну у відливках: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100, ВЧ120. Число вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг.

Міцність чавуну збільшується із збільшенням кількості перліту і дисперсності глобулів графіту.

Високоміцний чавун використовують замість сталі для відливання валів, зубчастих коліс, муфт, задніх мостів автомобілів, картерів та ін.

## 2.9. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

Термічна обробка полягає у зміні структури металів і сплавів при нагріванні, видержуванні та охолодженні, згідно спеціального режиму, і тим самим, у зміні властивостей останніх. В основі термічної обробки сталей лежить перекристалізація аустеніту при охолодженні. Перекристалізація може відбутися дифузійним або бездифузійним засобами. У залежності від переохолодження аустеніт може перетворюватися у різні структури з різними властивостями.

Повний дифузійний розпад аустеніту відбувається при незначному переохолодженні. У даному випадку утворюється пластинчастий перліт (механічна суміш фериту і цементиту вторинного). Якщо переохолодження збільшити до 373-393 °К, пластинки фериту і цементиту встигають вирости тільки до товщини (0,25-0,30 мкм), таку структуру називають сорбітом. Твердість сорбіту вища за твердість перліту.

Коли переохолодження досягає 453-473 °К, ріст пластинок припиняється на товщині 0,1 - 0,15 мкм, така структура називається трооститом. Твердість трооститу вища від твердості сорбіту.

При значному переохолодженні аустеніту (до 513 °К) дифузійний розпад його стає неможливим, перекристалізація має бездифузійний характер. У такому випадку утворюється перенасичений твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі, який називається мартенситом. Твердість мартенситу вища від твердості трооститу.

Структура перліту є рівноважною, а структури сорбіту, трооститу і мартенситу є не рівноважними.

## 2.10. ВИДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Розрізняють такі види термічної обробки: відпал, нормалізація, загартування і відпуск.

**Відпал.** Відпалом називають нагрівання до високих температур, видержування і повільне охолодження разом з піччю.

Розрізняють такі види відпалу: рекристалізаційний, дифузійний, на зернистий перліт, ізотермічний, повний і неповний. Відпал підвищує пластичність, зменшує внутрішні напруження, понижує твердість сталей.

**Нормалізація.** Нормалізацією називають нагрівання до високої температури, витримки і повільного охолодження на повітрі. Нормалізація доводить сталь до дрібнозернистої та однородної структури. Твердість і міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалу.

**Загартування сталі.** Загартуванням називають нагрівання до високої температури, видержку і швидке охолодження (у воді, мінеральній оліві та інших охолоджувачах). Є такі види загартування: в одному охолоджувачі; перервне; ступінчасте; ізотермічне; поверхневе та ін. Загартування сталей забезпечує підвищення твердості, виникнення внутрішніх напружень і зменшення пластичності. Твердість збільшується у зв'язку з виникненням таких структур: сорбіт, троостит, мартенсит. Практично загартуванню піддається середньо- і високовуглецеві сталі.

Відпуск сталі. Відпуском називають нагрівання до температури нижче 973 °K, видержку і повільне охолодження на повітрі.

Розрізняють три види відпуску: низький (нагрівання до температури 473 °K; середній (573-773 °K); високий (773-973 °K). Після відпуску в деякій мірі зменшується твердість і внутрішні напруження, збільшується пластичність і в'язкість сталей. До цього призводить зміна структур після відпуску. Структура мартенситу сталі переходить відповідно в структуру трооститу і сорбіту. Чим вища температура відпуску, тим менша твердість відпущеної сталі і тим більша її пластичність та в'язкість.

Відпуск, в основному, проводять після загартування для зняття внутрішніх напружень. Низький відпуск застосовують

при виготовленні різального інструменту, вимірювального інструменту, цементованих деталей та ін; середній - при виробництві ковальських штампів, пружин, ресор; високий - для багатьох деталей, що зазнають дії високих напружень (осі автомобілів, шатуни і т.п.).

### **3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИКОНАННЮ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ**

Вибір завдань контрольної роботи. Варіант контрольної роботи визначають по двох останніх цифрах залікової книжки студента. Контрольна робота включає докладну відповідь на чотири контрольні питання, у тому числі, де потрібно, необхідне рішення задачі. Перелік контрольних питань представлений в програмі курсу після кожної теми і має послідовну нумерацію.

Оформлення контрольної роботи. Контрольну роботу оформлюють на листах паперу формату А4. Текстовий матеріал виконують в друкарському або розбірливому рукописному вигляді. Схеми, таблиці і малюнки повинні мати послідовну нумерацію. У тексті мають бути присутніми посилання на використану літературу. Об'єм контрольної роботи – не менше 15 не більше 25 сторінок.

Вимоги при написанні відповідей на контрольні питання: всі відповіді повинні ілюструватися конкретними прикладами. На другій сторінці контрольної роботи вказується зміст, на останній – перелік використаних літературних джерел.

#### **4.ЗАВДАННЯ ТА ПИТАННЯ ПО ДИСЦИПЛІНІ**

##### **«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

01. Діаграма стану сплавів. Однокомпонентні системи. Подвійні системи. Діаграми розчинності. Потрійні системи.

02. Характеристика сталі 50ХФА. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Прокалюваність. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

03. Механічні властивості металів. Пружна і пластична деформація. Руйнування. Методи визначення механічних властивостей.

04. Характеристика сталі 30ХГСА. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

05. Характеристика сталі 65Г. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

06. Спільні відомості про неметалічні матеріали. Поняття про неметалічні матеріали і класифікація полімерів. Особливості властивостей полімерних матеріалів. Пластичні маси, склад, класифікація і властивості пластмас. Термопластичні пластмаси.

07. Характеристика сталі 18ХГТ. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні

властивості до і після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

08. Спільна характеристика металів і сплавів. Кристалічна будова металів. Дефекти будови кристалічних тіл. Точкові дефекти. Лінійні дефекти. Поверхневі дефекти.

09. Характеристика сталі 35Л. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вигляд сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

10. Контроль якості зварних з'єднань. Ультразвуковий контроль зварних з'єднань. Ремонт зварних з'єднань і контроль зварних швів. Дефекти зварки вплив дефектів - несплошностей на працездатність зварних з'єднань. Характеристика сталі 45Х. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

11. Класифікація легованих сталей. Класифікація конструкційних сталей. Класифікація інструментальних сталей.

12. Характеристика сталі 50ХФА. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до та після термообробки. Вигляд сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

13. Виробництво автолистової сталі етапи виробництва автолистової сталі. Підготовка руди. Виробництво чавуну. Виробництво сталі. Виробництво гарячого і холодного листового прокату.



14. Нікель. Нікелеві сплави. Мідно - нікелеві сплави, монель - метал, куніаль, ковар, кульгавів, ніхром, німоник, алні-сплави.

15. Характеристика сталі 50ХГФА. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до і після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості. Гартування. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

16. Види зварювання і їх класифікація. Термітне зварювання. Вибір основних і присадних матеріалів. Техніка зварки. Основні елементи пристроїв для термітної зварки. Лазерне зварювання. Суть і основні переваги зварювання лазерним променем. Технологічні особливості процесу лазерного зварювання. Якість і властивості лазерного зварювання.

17. Класифікація напівпровідникових матеріалів і їх особливості. Провідність. Металургія германію і кремнію. Вживання напівпровідників. Приклади. Основні вимоги до напівпровідникових матеріалів при їх вживанні.

18. Характеристика сталі 12Х17. Температура критичних точок. Призначення сталі. Хімічний склад. Механічні властивості до і після термообробки. Вид сталі за класифікацією. Технологічні властивості.

19. Прокалюваність. Термічна обробка матеріалу до механічної обробки. Термічна обробка готової сталі. Температурний режим термообробки. Діаграма ізотермічного процесу.

20. Інструментальні матеріали. Інструментальні сталі. Термічна обробка вуглецевих інструментальних сталей. Інструментальні матеріали для штампів гарячої деформації (вимоги, властивості, структура). Вимоги, що висуваються до штампових сталей.


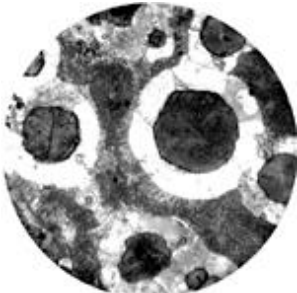
22. Будова металів і сплавів. Чотири типи зв'язків. Просторові решітки (гратки). Гумові матеріали. Мідь та її властивості. Мідні сплави. Характеристика чавуну СЧ 20.

23. Кристалізація і будова металевих зливок. Типові термопластичні матеріали.
24. Діаграма стану «Fe – C». Типові термореактивні матеріали. Характеристика високоміцного чавуну ВЧ 35. Хіміко-термічна обробка сталі.
25. Композиційні матеріали. Характеристика ковкого чавуну КЧ 33-8. Алюміній і його властивості. Алюмінієві сплави. Термічна обробка сталі.
26. Титан і його властивості. Титанові сплави. Характеристика ковкого чавуну КЧ 60-2. Відпал. Нормалізація сталі.

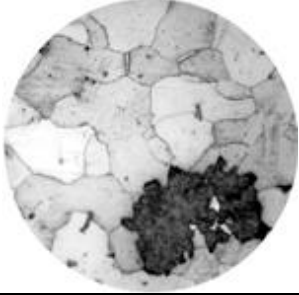
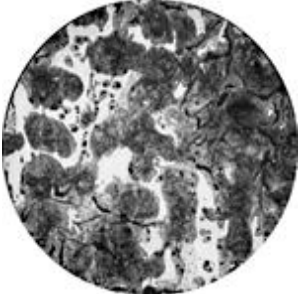
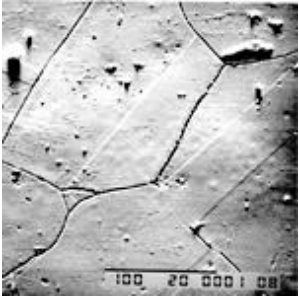
Додатки.

5.1. Додаток № 1. ФОТОГРАФІЇ МІКРОСТРУКТУР РІЗНИХ  
СПЛАВІВ

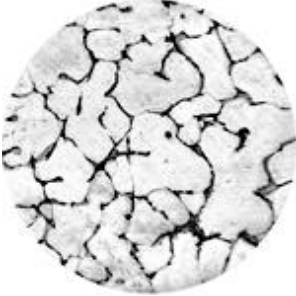
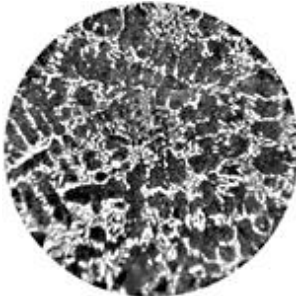

Таблиця 1

	<p><i>Сірий чавун на перлітовій металевій основі з фосфідною евтектикою. Темно-сірі включення (пластинчастого) графіту в перлітовій матриці (кольори тонких плівок на шліфі, що окислює, забарвлюють перліт). У верхній частині видно ділянки потрійної фосфідної евтектики, що закристалізувалися в останню чергу і розташовані на стиках зерен колишнього аустеніту.</i></p>
	<p><i>Високоміцний сірий чавун на феритно-перлітній металевій основі. Модифікація магнієм. Глобулярні включення графіту (чорний) оточені шаром фериту (світлий) в темній перлітовій матриці.</i></p>



Продовження таблиці 1

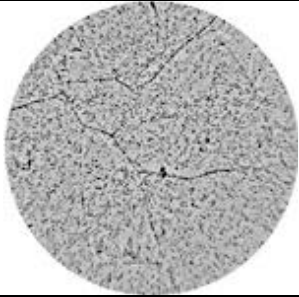
	<p>Ковкий чавун на феритовій металевій основі. Хлопцевидні включення графіту (темно-сірі) у феритній матриці.</p>
	<p>Половинчастий чавун. Темно-сірі включення крабовидного графіту в світло-сірій перлітовій матриці і строкатий ледебурит (затверділий в останню чергу) на стиках перлітових зерен. У деяких стиках перлітових зерен спостерігаються також світлі ділянки вторинного цементиту.</p>
	<p>Растрова електронна мікроскопія. Контраст у відображених електронах. Аустеніт і незначна кількість карбідів <math>Ti</math> в нержавіючій сталі. Добре видно двійники - характерна ознака аустеніту. Апертура тут умовна величина.</p>

Продолжения таблицы 1

	<p><i>Дюралюміній (класичний). Зерна альфа-твердого розчину на основі алюмінію і виділення <math>Al_2Si</math> (тета-фаза) по кордонах зерен (матриця). Видно також розташовані по кордонах зерен голчані включення S-фази (<math>CuMgAl_2</math>).</i></p>
	<p><i>Алюмінієва бронза, легована залізом і марганцем. Надлишкові кристали альфа-твердого розчину на основі міді і евтектоїд альфа+гамма в ролі матриці. (Гамма – проміжна фаза). Ливарний сплав.</i></p>
	<p><i>Алюмінієва бронза, легована залізом і марганцем. Надлишкові кристали альфа-твердого розчину на основі міді і евтектоїд альфа + гамма в ролі матриці. (Гамма - проміжна фаза). Ливарний сплав.</i></p>

Продовження таблиці 1

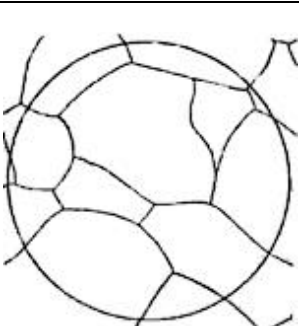
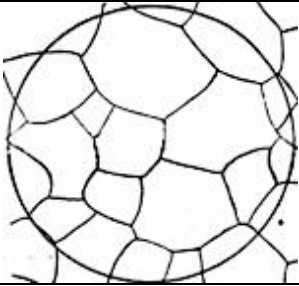
	<p>Алюмінієва бронза, легована залізом і марганцем. Надлишкові кристали альфа-твердого розчину на основі міді і евтектоїд альфа + гамма в ролі матриці. (Гамма – проміжна фаза). Ливарний сплав.</p>
	<p>Берилієва бронза (для пружин вимірювальних приладів). Крупні зерна твердого розчину на основі міді з великою кількістю двійників; Видно виділення бета-фази (проміжного типу), що випробували евтектоїдний розпад на альфа і гамма-фазу (остання – інтерметалід складу приблизно CuBe). Оптимальний стан (з межею дислокацій до 1200 МПа) досягається після гарту з 850 °С із здобуттям пересиченого альфа - розчину і подальшого старіння при 325 °С, при якому альфа – розчин випробовує спінодальний розпад з утворенням модульованої структури.</p>

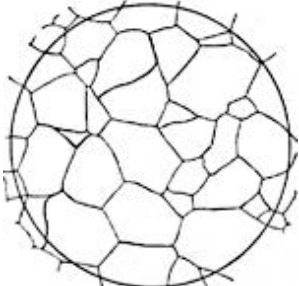
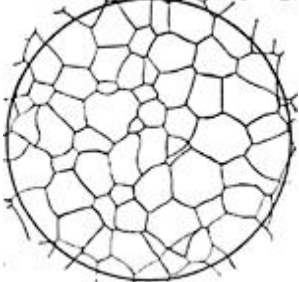
	<p>Ямки труїння, в монокристалі вольфраму. Ямки виникають в місцях виходу дислокацій на поверхню шліфа. Ланцюжки ямок «означають» кордони блоків (субзерен) з малим кутом розорієнтировки.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 4.3 Додаток № 2

Приклад рівновісного зерна №1— 4 згідно шкали розмірів зерна (основна)

(по ГОСТ 5639-82)

	<p>Рівновісні зерна №1 при стандартному збільшенні (x100). Майдан круга (по ГОСТ 5639-82) рівний 0.5 кв. мм. Числові характеристики: Площа зерна - 0.0625 кв. мм. Число зерен - 16 на 1 кв. мм (8 в крузі) Діаметр - 0.25 мм</p>
	<p>Рівновісні зерна №2 при стандартному збільшенні (x100). Майдан круга (по ГОСТ 5639-82) рівний 0.5 кв. мм. Числові характеристики: Площа зерна - 0.0312 кв. мм. Число зерен - 32 на 1 кв. мм (16 в крузі) Діаметр - 0.177 мм.</p>

	<p>Рівновісні зерна №3 при стандартному збільшенні (x100). Майдан круга (по ГОСТ 5639-82) рівний 0.5 кв. мм. Числові характеристики: Площа зерна - 0.0156 кв.мм. Число зерен - 64 на 1 кв. мм (32 в крузі) Діаметр - 0.125 мм</p>
	<p>Рівновісні зерна №4 при стандартному збільшенні (x100). Майдан круга (по ГОСТ 5639-82) рівний 0.5 кв. мм. Числові характеристики: Площа зерна - 0.00781 кв.мм. Число зерен - 128 на 1 кв. мм (64 в крузі) Діаметр - 0.088 мм.</p>



### 5.3 Додаток № 3

Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи і форми графітових включень

Металева основа	Форма графітних включень			
	Пластинчаста	Хлопевидна	Куляста	Вермикулярна
Ферит				
Ферит+перліт				
Перліт				

## 6. ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

### ЦИТУЄМА В МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВКАХ

1. Третьякова Н.В. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: Электронный конспект лекций Режим доступа: <http://elib.ispu.ru/library/lessons/tretjakova/index.html>.
2. Металлографические исследования [Электронный ресурс]: База данных микроструктур металлов и сплавов. Режим доступа: [http://www.microstructure.ru/ruqview2/forshura\\_4196.aspx?page=1](http://www.microstructure.ru/ruqview2/forshura_4196.aspx?page=1).
3. Структура стали [Электронный ресурс]: Стальные вертикальные резервуары низкого давления для нефти и нефтепродуктов. Режим доступа: <http://www.svarchik.ru/struktura.htm>.
4. Геллер Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт - М.: Metallurgia, 1989. - 268 с.
5. Материаловедение и термическая обработка стали. Справочник. Т.1, Т.2, Т.3 - М.: Metallurgia, 1983. - 460 с.
6. Мозберг Р.К. Материаловедение / Мозберг Р.К. - М.: Высш. шк., 2001. - 444 с.
7. Лахтин Ю.М. Материаловедение [Учеб. для вузов] / Лахтин Ю.М. М.: Машиностроение, 1980-493с.
8. Виробництво графітізованих сталей і виробів з них [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://sest.dp.ua/etapy-vyrobnyctva-stali-proces-grafityzaciji/komponenty-i-fazy-v-systemi-zhelezo-uglerod>.
9. Основи металознавства [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://ua.textreferat.com/referat-1515-4.html>.

#### ОСНОВНА:

1. Сологуб М. А. Технология конструкционных материалов [Учебник для вузов] / Сологуб М. А. - К.: Выща шк., 2002 – 374 с.
2. Кузин О.А. Металознавство і термічна обробка [Учебник для вузов] / Кузин О.А. Львов, 2002-304 с.
3. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов [Учебник для вузов] / Фетисов Г.П. - М.: Высш. Шк. 2001- 638 с.
4. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов [Учебник для вузов] /

Дальский А.М. -М: Машиностроение, 1977-664с

5. Козлов Ю.С. Материаловедение [Учеб. для вузов] / Козлов Ю.С. - М.: Агар, 2000-182 с.

6. Казаков Н.Ф. Технология металлов [Учебник для вузов] / Казаков Н.Ф. - М.: Изд-во Металлургия, 1976-688 с.

7. Арзамасов Б.Н. Конструкционные материалы / Арзамасов Б.Н. -М.: Машиностроение, 1990-688с.

ДОДАТКОВА:

1. Кузьмин Б.А. Металлургия металловедение и ТКМ / Кузьмин Б.А. - М.: Выща шк., 1977-304с.

2. Антикоин П.А. Металловедение для техникумов / Антикоин П.А. - М.: Металлургия, 1972-256 с.

4. Травин О.В. Материаловедение / Травин О.В. - М.: Металлургия, 1989-384 с.

5. Хильчевский В.В. Материаловедение и ТКМ / Хильчевский В.В. - К: Либидь 2002-328 с.

6. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение [Учебное пособие] / Чумаченко Ю.Т. - Ростов Н/Д : Феникс, 2002-480 с.

7. Дубасов В.М. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине Технология конструкционных материалов. - Луганск: изд-во Восточноукр. нац. ун-та, 2001 - 63с.

8. Башнин Ю.А. Технология термической обработки / Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. - М.: Металлургия, 1986. - 284 с. 3. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. - М.: Высш. шк., 2001.- 378 с.

9. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин А.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин А.И. - М.: Металлургия, 1981. - 188с.

**О. В. Чесноков, В. О. Колесніков, В. В. Колесніков**  
**«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні».** –  
Методичні рекомендації до виконання контрольних робіт для студентів  
напряму підготовки «Професійна освіта» профілю підготовки  
«Транспорт» та «Технологія виробництва і переробка продуктів  
сільського господарства» для заочної форми навчання.

*Матеріалознавство* – наука, що вивчає властивості речовин та  
їх спрямовану зміну з метою отримання речовин з наперед заданими  
робочими характеристиками. Вона вивчає фізичні та механічні  
властивості конструкційних і експлуатаційних матеріалів, процеси, що  
протікають в матеріалах під впливом різних чинників, різні типи  
обробки матеріалів з метою покращення робочих характеристик.

Матеріалознавство є дуже динамічною наукою, оскільки майже  
щодня з'являються нові матеріали, на зміну класичним металевим  
конструкційним матеріалам приходять полімери і композиційні  
матеріали. В університетській інженерній освіті матеріалознавство  
виконує роль фундаменту, на якому базується вивчення подальших  
загальнотехнічних дисциплін: теоретичної механіки, опору матеріалів,  
теорії машин і механізмів, деталей машин, а також ряду спеціальних  
дисциплін.

Методичні рекомендації до виконання контрольних робіт з  
дисципліни *«Матеріалознавство та матеріали в машинобудуванні»*  
мають з практичного боку сприяти закріпленню матеріалу, отриманого  
на лекційних заняттях та під час самостійної роботи з літературою.

Рекомендовано для студентів 1 – 2 курсів напряму підготовки  
«Професійна освіта» профілю підготовки «Транспорт» та «Технологія  
виробництва і переробка продуктів сільського господарства» денної та  
заочної форм навчання, може бути використаний студентами інших  
технічних спеціальностей.

*Ключові слова:* кристал, атом, міцність матеріалу, структура,  
термічна обробка.

**А. В. Чесноков, В. А. Колесников, В. В. Свиридов.**  
**«Материаловедение и материалы в машиностроении».** -  
Методические рекомендации к выполнению контрольных работ для  
студентов направления подготовки «Профессиональное образование»  
профиля подготовки «Транспорт» и «Технология производства и  
переработка продуктов сельского хозяйства» всех форм обучения.

*Материаловедение* – наука, изучающая свойства веществ и их  
направленное изменение с целью получения материалов с заранее  
заданными рабочими характеристиками. Она изучает физические и  
механические свойства конструкционных и эксплуатационных  
материалов, протекающие в них под действием различных факторов  
процессы, разные виды обработки материалов с целью улучшения  
рабочих характеристик.

Материаловедение является очень динамической наукой,  
поскольку почти ежедневно появляются новые материалы, на смену  
классическим металлическим конструкционным материалам приходят  
полимеры и композиционные материалы. В университетском  
инженерном образовании материаловедение выполняет роль  
фундамента, на котором базируется изучение дальнейших  
общетехнических дисциплин: теоретической механики, сопротивления  
материалов, теории машин и механизмов, деталей машин, а также ряда  
специальных дисциплин.

Методические рекомендации к выполнению контрольных работ  
по дисциплине «Материаловедение и материалы в машиностроении»  
должны оказать практическую помощь в закреплении материала,  
полученного на лекционных занятиях и во время самостоятельной  
работы с литературой.

Рекомендовано для студентов 1 – 2 курсов направления  
подготовки «Профессиональное образование» профилей подготовки  
«Транспорт» и «Технология производства и переработка продуктов  
сельского хозяйства» дневной и заочной форм обучения, может быть  
использован студентами других технических специальностей.

*Ключевые слова:* кристалл, атом, прочность материала,  
структура, термическая обработка.

**O. V. Chesnokov, V. O. Kolesnikov, V. V. Sviridov «Materials in machine building».** For the students of specialty «Professional education» directs of education «Transport» and «Technology of production and recycling of agriculture products»full-time and part-time forms of studies/

«*Materials in machine building*» is the science, which study matter properties and its directed change with the purpose of materials receipt with the beforehand set working descriptions. «*Materials in machine building*» also studies physical and mechanical properties of construction and operating materials, it flowing under the action of different processes factors, different types of materials treatment with the purpose of working descriptions improvement.

«*Materials in machine building*» is very dynamic science, as new materials appear almost daily, polymers and composition materials come on changing to classic metallic construction materials. In university engineering education this discipline executes the role of foundation which the study of further technical disciplines such as: theoretical mechanics, strength of materials, machines and mechanisms theory, machines details and some special disciplines.

Methodical recommendations to implementation of control works on discipline «*Materials in machine building*» must render a practical help in fixing of material, got on lecture employments and during independent work with literature.

It is recommended for the students 1 – 2 courses specialty «Professional education» directs of education «Transport» and «Technology of production and recycling of agriculture products»full-time and part-time forms of studies, also can be used by the students of other technical specialties.

*Keywords:* crystal, atom, structure of material, structure, heat treatment.

Навчально-методичне видання  
ЧЕСНОКОВ Олексій Вікторович  
КОЛЕСНИКОВ Валерій Олександрович  
СВІРІДОВ Володимир Володимирович

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

*Методичні рекомендації до виконання контрольних робіт  
для студентів напряму підготовки «Професійна освіта»  
профілю підготовки «Транспорт» та «Технологія  
виробництва і переробка продуктів сільського  
господарства» для заочної форми навчання*

За редакцією авторів

Комп'ютерне макетування – В. О. Колесніков

---

Здано до склад. 08.10.2012 р. Підп. до друку 07.11.2012 р.  
Формат 60х84 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times New Roman  
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 7,15  
Наклад прим. Зам. № 2.

---

***Видавець і виготовлювач***

**Видавництво Державного закладу**

**«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»**

вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011. т/ф: (0642) 58-03-20.

e-mail: [alma-mater@list.ru](mailto:alma-mater@list.ru)

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3459 від 09.04.2009 р.*