

**Міністерство освіти і науки України  
НУ «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт  
та завдання на самостійну  
і контрольну роботу**

**з дисципліни «Авіаційні матеріали» для студентів  
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»  
освітні програми «Авіаційні двигуни  
та енергетичні установки», «Технології виробництва  
авіаційних двигунів та енергетичних установок» усіх форм  
навчання**

**2024**

Методичні вказівки до лабораторних робіт та завдання на самостійну і контрольну роботу з дисципліни «Авіаційні матеріали» для студентів спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», освітні програми «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» усіх форм навчання /Укл.: О.В. Лисиця, А.В. Джус. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 57 с.

Укладачі: О.В. Лисиця, ст.викладач,  
А.В. Джус, ст.викладач

Рецензент: В.Ю. Ольшанецький, д.т.н., проф.

Відповідальний за випуск: В.Ю. Ольшанецький, д.т.н., проф.

Рекомендовано  
до видання НМК інженерно-  
фізичного факультету  
Протокол № 4  
від 17 грудня 2024 р.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Фізичне матеріалознавство”  
Протокол № 3  
від 11 жовтня 2024р.

**ЗМІСТ**

Програма дисципліни .....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Залізовуглецеві сплави. Мікроскопічне дослідження відпалених вуглецевих сталей .....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Вивчення загартовуваності та прогартовуваності вуглецевих і легованих сталей .....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Вплив температури відпускання на структуру та властивості загартованих сталей .....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Вивчення структури, властивостей та призначення легованих сталей .....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. Вивчення структури, властивостей та призначення жароміцних сплавів .....	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. Титан та сплави на його основі .....	19
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7. Алюміній та сплави на його основі .....	21
Завдання на самостійні роботи .....	23
Завдання до контрольної роботи для студентів заочного відділення .....	43
Література .....	54
Додаток А. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт із дисципліни «Авіаційні матеріали» в лабораторіях кафедри фізичного матеріалознавства .....	56
Додаток Б. Таблиця відповідності величин твердості, визначених різними методами .....	57

## ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

**Мета та завдання дисципліни.** Мета викладання навчальної дисципліни «Авіаційне матеріалознавство» – вивчення природи та властивостей матеріалів, які використовують для виготовлення деталей газотурбінних двигунів та установок, також методів їх зміцнення для найбільш ефективного використання в техніці.

Завдання дисципліни – встановити якісні і кількісні залежності між хімічним складом, будовою та властивостями матеріалів; вивчити теорію і практику термічного і хіміко-термічного оброблення та інших способів зміцнення матеріалів, які забезпечують високу надійність та довговічність деталей машин та інших виробів; ознайомитись з основними групами матеріалів (сталями, сплавами на основі нікелю, титану, алюмінію та магнію), їх властивостями та використанням.

Навчальна дисципліна «Авіаційне матеріалознавство» складається з наступних тем:

**Теоретичні основи.** Будова металів та сплавів. Атомно-кристалічна будова металів. Поліморфізм. Дефекти кристалічної будови.

**Первинна кристалізація.** Основні параметри кристалізації. Гомогенна та гетерогенна кристалізація. Будова металевого зливка.

**Подвійні діаграми стану.** Основні поняття. Фази в металевих сплавах. Види подвійних діаграм стану. Особливості формування структур.

**Залізо та сплави на його основі.** Компоненти, фази та структурні складові залізовуглецевих сплавів. Метастабільна діаграма стану Fe-Fe<sub>3</sub>C, точки та лінії діаграми. Вуглецеві сталі. Класифікація та маркування, вплив вуглецю та домішок на властивості сталей. Білий чавун. Стабільна діаграма стану Fe-C. Чавуни: сірі, високоміцні, ковкі (маркування, властивості). Елементи-графітизатори. Модифікування. Графітизуючий відпал.

**Теорія термічного оброблення сталі.** Критичні точки сталі. Перетворення в сталях при нагріванні. Ріст зерна аустеніту при нагріванні. Спадково крупно- та дрібнозернисті сталі. Перетворення переохолодженого аустеніту (діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту). Перлітне перетворення (перліт, сорбіт, троостит). Мартенситне перетворення, його особливості.

Морфологічні форми мартенситу. Зміна властивостей сталей при утворенні мартенситу. Загартовуваність та прогартовуваність сталі. Бейнітне (проміжне) перетворення. Перетворення при нагріванні в сталях, загартованих на мартенсит (перетворення при відпусканні). Вплив температури відпускання на властивості сталі. Відпускна крихкість I-го та II-го роду.

*Технологія термічного оброблення сталі.* Відпал I-го та II-го роду. Гартування. Способи гартування. Відпускання.

*Методи поверхневого зміцнення.* Гартування СВЧ. Хіміко-термічне оброблення сталі. Цементация, азотування.

***Леговані сталі, жароміцні сплави, сплави на основі нікелю, титану, алюмінію та магнію.*** *Леговані сталі.* Фази в легованих сталях. Карбідо- та некарбідоутворювачі. Вплив легувальних елементів на поліморфізм заліза, структуру та властивості сталей. Класифікація та маркування легованих сталей. Конструкційні та інструментальні леговані сталі. Основні групи (особливості хімічного складу, термічне оброблення, структура та властивості). Сталі та сплави з особливими властивостями: корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні, зносостійкі (особливості хімічного складу, термічне оброблення, структура та властивості).

*Жароміцні сплави.* Сплави на основі нікелю, кобальту та на залізонікелевій основі. Основні легувальні елементи, структура, сутність зміцнення, термічне оброблення, властивості. Ливарні жароміцні сплави із спрямованою кристалізацією.

*Сплави на основі алюмінію.* Основні легувальні елементи. Маркування. Класифікація алюмінієвих сплавів. Термічне оброблення та особливості структури. Використання титанових сплавів.

*Сплави на основі титану.* Основні легувальні елементи. Маркування. Класифікація титанових сплавів. Термічне оброблення. Фазові перетворення в титанових сплавах. Використання.

*Сплави на основі магнію.* Основні легувальні елементи. Маркування. Класифікація магнієвих сплавів. Термічне оброблення та його особливості. Використання магнієвих сплавів.

***При виконанні лабораторних, самостійних та контрольних робіт рекомендовано ознайомитись з відповідними розділами конспекту лекцій [1] та запропонованою літературою [2-14].***

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### Залізовуглецеві сплави. Мікроскопічне дослідження відпалених вуглецевих сталей

**Мета роботи** – ознайомитись із структурою залізовуглецевих сплавів в залежності від їх хімічного складу та температури, а також із впливом вмісту вуглецю та структури на властивості сталей; засвоїти принципи маркування сталей та основи їх вибору для деталей та інструментів.

#### Матеріали, інструменти, прилади та обладнання

Робота виконується на зразках технічно чистого заліза, відпалених вуглецевих сталей 10, 45, 60, У8, У10. Для визначення твердості використовується прилад ТК-2, для дослідження структури – оптичний мікроскоп МІМ-7.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Зарисувати діаграму  $Fe-Fe_3C$ . У всіх областях діаграми вказати структуру, а в квадратних дужках – фази. Коротко описати фази ( $\Phi$ ,  $A$ ,  $C$ ) та структурні складові ( $П$ ,  $Л$ ) залізовуглецевих сплавів; перитектичну, евтектичну та евтектоїдну реакції; маркування сталей та класифікацію по групам за призначенням.

2. Провести мікроскопічне дослідження шліфів. Порівнянням мікроструктури зразків із фотографіями структур різних залізовуглецевих сплавів, що наведені в альбомах, визначити вміст вуглецю та марку вуглецевої сталі.

3. Схематично зарисувати структури переглянутих сплавів, визначити структурні складові, біля кожної структури написати хімічний склад сплаву.

4. На 4..5 зразках сталі з різним вмістом вуглецю виміряти твердість на приладі ТК-2 (шкала В, навантаження 980 Н). Використавши додаток Б, перевести значення твердості HRB в HB.

5. Класифікувати задані марки вуглецевих сталей за структурою в рівноважному стані та за призначенням. Заповнити табл. 1.1.

6. За експериментальними даними побудувати для сталей графік залежності «твердість – вміст вуглецю». Пояснити графік.

Таблиця 1.1 – Класифікація заданих марок вуглецевих сталей за структурою в рівноважному стані та за призначенням

Марка сталі	Вміст С, %	Структурний клас в рівноважному стані	Структура в рівноважному стані	Призначення по групам	Кількість цементиту $Q_{ц}$ , %	Твердість НВ

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. На метастабільній діаграмі  $Fe-Fe_3C$  спозначити точки, концентрації, температури, структури та фази. Пояснити лінії рівноваги на діаграмі.

2. Які поліморфні перетворення відбуваються в залізі? Вказати температури.

3. Що таке ферит, аустеніт, цементит, перліт та ледебурит? Вказати їх властивості.

4. Описати лінії діаграми  $Fe-Fe_3C$  та сутність перитектичного, евтектичного та евтектоїдного перетворень.

5. Які перетворення відбуваються в доевтектоїдному (заевтектоїдному, доевтектичному, евтектичному або заевтектичному) сплаві при охолодженні з рідкого стану до кімнатної температури?

6. Що таке сталь, як впливає вуглець на структуру та властивості сталей в рівноважному стані?

7. Поясніть класифікацію вуглецевої сталі в залежності від структури в стані рівноваги?

8. Класифікація вуглецевих сталей за призначенням. Маркування вуглецевих конструкційних та інструментальних сталей.

9. Наведіть приклади марок сталей з яких можна виготовити: ферму мостового крану, валик, полотно ножівки, пуансон, стамеску, шестерню, пружину тощо?

**Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Вивчення загартуваності та прогартуваності вуглецевих легованих сталей

**Мета роботи** – вивчити вплив температури нагрівання та швидкості охолодження на властивості сталей У8, ШХ15, Х12М.

#### Матеріали та прилади

Нагрівальні печі, твердомір типу ТК-2, гартівні баки з водою та мінеральною оливою, наждачний верстат для зачищення зразків.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Описати основні положення перетворення перліту в аустеніт при нагріванні, перлітного та мартенситного перетворень в сталі при охолодженні.

2. Зарисувати ізотермічну та термодинамічну діаграми перетворення аустеніту сталі У8. Нанести на ній швидкості охолодження, що відповідають різним гартівним середовищам.

3. Зарисувати сталеву частину діаграми  $Fe-Fe_3C$  та вказати на ній інтервал оптимальних температур гартування сталей. Навести розрахункові формули температур нагрівання під гартування для вуглецевих сталей.

4. Провести термічне оброблення зразків відповідно до режимів, наведених у таблиці 2.1.

5. Заміряти твердість зразків досліджуваних сталей (45, У8, ШХ15, Х12М) і дані занести в таблицю 2.1.

3. За експериментальними даними (табл. 2.1) побудувати графіки залежності «твердість–температура нагрівання» для сталі У8; «твердість–швидкість охолодження» для сталі У8; «твердість після гартування з оптимальної температури – вміст вуглецю» для сталей 45, У8.

4. Пояснити (письмово) одержані залежності, визначити оптимальну температуру гартування та швидкість охолодження для утворення мартенситу в сталі У8. Пояснити причини більшої загартуваності сталі У8 порівняно зі сталлю 45 та більшу прогартуваність сталі ШХ15 порівняно зі сталлю У10.

Таблиця 2.1 – Твердість і структура сталей після різних режимів термічного оброблення (ТО)

Марка сталі	Час нагрівання	$t_{нагр}$ °C	Охолоджу-вальне середовище	$V_{охол}$ °C/с	Структура (записати)		Твердість HRC	
					до ТО	після ТО	до ТО	після ТО
У8	1хв/1мм	690	вода	200				
У8	"_"_"_"	780	вода	200				
У8	"_"_"_"	780	олива	50...60				
У8	"_"_"_"	780	повітря	5				
У8	"_"_"_"	950	вода	200				
45	"_"_"_"	840	вода	200				
ШХ15	2хв/1мм	860	олива	50...60				
X12M	"_"_"_"	1050	олива	50...60				

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Гартування. Вибір оптимальних температур гартування. Вплив легувальних елементів.
2. Повне та неповне гартування, їх застосування для різних сталей.
3. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту сталі У8.
4. Перлітне перетворення; перліт, сорбіт, троостит та їх властивості.
5. Мартенситне перетворення, його особливості. Будова та властивості мартенситу гартування.
6. Термокінетична діаграма перетворення аустеніту сталі У8.
7. Критична швидкість охолодження; фактори, від яких вона залежить.
8. Вплив легувальних елементів на технологічні характеристики та термічне оброблення сталей.
9. Вплив вуглецю та легувальних елементів на температури  $M_n$ ,  $M_k$ , кількість *Азал*.
10. Що таке загартовуваність і прогартовуваність; фактори, від яких вони залежать ?

**Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Вплив температури відпускання на структуру та властивості загартованих сталей

**Мета роботи** – вивчити вплив температури відпускання на властивості сталей У8, ШХ15 та Х12М; ознайомитися із видами та призначенням відпускання.

#### Матеріали та прилади

Нагрівальні печі, твердомір типу ТК-2; наждачний верстат для зачищення зразків; загартовані зразки досліджуваних сталей.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Наведіть визначення термічної обробки відпускання. Коротко описати перетворення при відпусканні та вплив температури на структуру і властивості сталей. Види відпускання та їх використання.

2. Заміряти твердість загартованих зразків сталей та дані занести в табл. 3.1.

3. Провести відпускання загартованих зразків зі сталей У8, ШХ15, Х12М при температурах 150, 350, 550 °С.

4. Заміряти твердість зразків після відпускання та занести дані в табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Твердість і структура сталей після різних режимів відпускання

Марка сталі	Режим відпускання	Твердість HRC (чисельник) та структура сталі (знаменник) після гартування	Твердість HRC (чисельник) та структура сталі (знаменник) після відпускання при		
			150 °С	350 °С	550 °С
У8	Витримка 60 хв, охолодження на повітрі				
ШХ15					
Х12М					

5. За даними табл. 3.1 побудувати графік залежності «твердість - температура відпускання».

6. Зробити висновок.

#### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Відпускання, мета відпускання. Чому після гартування сталі обов'язково необхідне відпускання ?

2. Перетворення при відпусканні.
3. Вплив легувальних елементів на процеси при відпусканні.
4. Низько-, середньо- та високотемпературне відпускання.
5. Зміна властивостей сталі з підвищенням температури відпускання.
6. Поліпшення. Які деталі підлягають поліпшенню ?
7. Відміна сорбіту відпускання від сорбіту, що безпосередньо утворюється із аустеніту. Яка різниця у властивостях сталі ?

### **Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Вивчення структури, властивостей та призначення легованих сталей

**Мета роботи** – вивчити вплив легувальних елементів на структуру та властивості сталей, маркування і основи вибору легованих сталей для виробів.

#### Матеріали та прилади

Робота виконується на металографічному мікроскопі МІМ-7. Добірка шліфів містить конструкційні та інструментальні сталі; корозійностійкі, жароміцні та жаростійкі сталі.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Описати вплив легувальних елементів на властивості фериту та аустеніту, поліморфізм заліза, положення точок  $S$  та  $E$ .
2. Особливості маркування легованих сталей.
3. Навести класифікацію легованих сталей (за структурою в рівноважному та відпаленому стані, за призначенням по групам).
4. Коротко описати конструкційні та інструментальні сталі. Навести марки та приклади використання.
5. Описати вплив легувальних елементів на корозійну стійкість, жаростійкість та жароміцність легованих сталей; вимоги до структури для забезпечення необхідних властивостей.
6. Вказати як визначають структурні класи корозійностійких сталей в рівноважному та нормалізованому станах.
7. Коротко описати корозійностійкі, жароміцні та жаростійкі сталі. Навести марки та приклади використання.
8. Для заданих викладачем марок сталей визначити хімічний склад, призначення, структурні класи та структуру до термічного оброблення. Використовуючи довідникові дані виписати режим термічного оброблення (ТО). Визначити структуру та твердість після термічного оброблення. Навести приклади використання. Заповнити табл.4.1.
9. Переглянути мікроструктуру зразків легованих сталей. Зарисувати схематичне зображення мікроструктури легованих сталей.

Таблиця 4.1 – Хімічний склад, структура, призначення та властивості конструкційних, інструментальних сталей та сталей зі спеціальними властивостями

Марка сталі	Хімічний склад	Призначення	Структурні класи		Структура до ТО	Режим ТО	Після Т/О		Використання
			у відпаленому стані	у нормалізованому стані			структура	механічні властивості	

### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Які сталі називають легованими? Класифікація за призначенням. Вплив легувальних елементів на властивості фериту та аустеніту.

2. Фази в легованих сталях.

3. Вплив легувальних елементів на критичні точки  $A_1$ ,  $A_3$  та концентраційні точки  $S$  та  $E$ .

4. Вплив легувальних елементів на діаграму ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту.

5. Класифікація легованих сталей за структурою у відпаленому та нормалізованому станах.

6. Маркування легованих сталей.

7. Основні групи конструкційних сталей, їх термічне оброблення.

8. Основні групи інструментальних сталей, їх термічне оброблення.

9. Особливості структури, властивостей та термічного оброблення швидкорізальних сталей.

10. Корозійностійкі сталі та принципи їх легування. Термічне оброблення.

11. Що таке жаростійкість ? Жаростійкі сталі та принципи їх легування.

12. Жароміцні сталі. Що таке жароміцність ? Термічне оброблення жароміцних сталей.

13. Фактори, що впливають на підвищення жароміцності сталей.

### **Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Вивчення структури, властивостей та призначення жароміцних сплавів

**Мета роботи** – вивчити особливості структури і властивості жароміцних сплавів; ознайомитись з термічним обробленням та призначенням.

#### Матеріали та прилади

Робота виконується на металографічному мікроскопі МІМ-7. Дозірник містить жароміцні сплави на нікелевій та залізонікелевій основі в литому стані та після термічного оброблення.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Описати класифікацію жароміцних сплавів. Принципи легування жароміцних сплавів на основі нікелю, кобальту та залізонікелевій основі. Описати термічне оброблення (Т/о) та структуру після термічного оброблення.

2. Переглянути та зарисувати (схематично) мікроструктуру зразків сплавів. Вказати структурні складові.

3. Із використанням довідкових даних визначити структуру, термічне оброблення, властивості та призначення сплавів. Заповнити таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Склад, структура та властивості жароміцних сплавів

<i>Марка сплаву</i>	<i>Хімічний склад</i>	<i>Структура до Т/о</i>	<i>Т/о</i>	<i>Після Т/о</i>		<i>Використання</i>
				<i>Структура</i>	<i>Властивості</i>	

#### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Класифікація та характеристика жароміцних сплавів, що використовують в газотурбобудуванні

2. Принципи легування жароміцних сплавів на основі нікелю.

3. Вимоги до структури та структура сплавів на основі нікелю.

4. Термічне оброблення жароміцних сплавів на основі нікелю.

5. Жароміцні сплави на залізонікелевій основі.

6. Жароміцні сплави на кобальтовій основі.

**Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### Титан та сплави на його основі

**Мета роботи**– дослідити структуру та властивості титанових сплавів у рівноважному та нерівноважному станах. Ознайомитися з режимами термічного оброблення та використанням сплавів.

#### Матеріали та прилади

Робота виконується з використанням зразків сплаву ВТЗ-1 після різних режимів термічного оброблення та деталей з титанових сплавів. Для вивчення мікроструктури використовують мікроскоп МІМ-7.

#### Порядок виконання роботи та зміст звіту

1. Надати характеристику титану.
2. Описати класифікацію легувальних елементів за впливом на поліморфізм титану.
3. Описати основні фазові перетворення в титанових сплавах.
4. Навести класифікацію титанових сплавів. Описати основні види термічного оброблення титанових сплавів.
5. Переглянути мікроструктуру зразків сплаву ВТЗ-1 та схематично її зарисувати.
6. Із використанням довідкових даних заповнити таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Хімічний склад та класифікація титанових сплавів за структурою у стабільному стані

<i>Марка сплаву</i>	<i>Хімічний склад, % (мас.)</i>	<i>Клас за структурою в рівноважному стані</i>	<i>Термічна обробка</i>	<i>Механічні властивості</i>	<i>Приклади використання</i>

#### Контрольні питання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Характеристика титану.
2. Розподіл легувальних елементів в залежності від впливу на поліморфізм титану.
3. Фазові перетворення в титанових сплавах при охолодженні зі швидкістю  $V > V_{кр}$ .

4. Термічне оброблення титанових сплавів.
5. Класифікація титанових сплавів.
6. Які переваги та недоліки мають сплави титану порівняно із сталями та алюмінієвими сплавами ?

**Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).



5. Зарисувати мікроструктуру зразків алюмінієвих сплавів.

**Контрольні питання для самоперевірки  
і контролю підготовленості до лабораторної роботи**

1. Маркування алюмінієвих сплавів, їх використання.
2. Які деформівні алюмінієві сплави зміцнюються термообробленням ?
3. Як змінюється структура алюмінієвих сплавів при гартуванні та старінні ?
4. Які сплави алюмінію мають високі ливарні властивості ?
5. Модифікування алюмінієвих сплавів ?

**Вказівки з техніки безпеки**

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

## ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНІ РОБОТИ

Для закріплення знань з тем «Теорія термічного оброблення сталі. Перетворення в сталях при нагріванні. Перлітне та мартенситне перетворення», «Істинне гартування та старіння сплавів. Технологія термічного оброблення сталі», «Леговані сталі. Конструкційні та інструментальні леговані сталі. Сталі з особливими властивостями», «Жароміцні сплави на нікелевій та залізонікелевій основі», «Сплави на основі титана», «Сплави на основі алюмінію», «Сплави на основі магнію». виконуються самостійні роботи. При виконанні самостійних робіт рекомендовано користуватись літературою [1-14].

*Варіанти для самостійної роботи №1 «Теорія та технологія термічного оброблення».*

### Варіант №1

1. Визначити температуру гартування для сталей 65 та У10. Поясніть які зміни відбуваються в структурі матеріалів в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. В структурі сталі 30 після гартування залишковий аустеніт відсутній. В сталі Р18, що містить ~18% вольфраму, після гартування утворюється до 40...45% залишкового аустеніту. Поясніть причину появи залишкового аустеніту.

3. В чому сутність явища відпускнуї крихкості І роду ?

4. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості для шестерні зі сталі 38ХМЮА, якщо відомо, що експлуатація передбачає розігрів деталі вище 200°С та корозійно активне середовище. Опишіть сутність перетворень, призначте режим обробки.

### Варіант №2

1. Визначити температуру гартування для сталі 35. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Вкажіть структуру, що утворюється при ізотермічній витримці при температурі 300°С (згідно ізотермічній діаграмі розпаду переохолодженого аустеніту) в сталі У8.

3. В сталі 45 після гарячої пластичної деформації спостерігається структура перегріву. Поясніть причину виникнення,

який вплив має явище на властивості сталі, запропонуйте спосіб термічної обробки, що дозволяє виправити цей дефект (призначте режим термічного оброблення).

4. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості поверхні зуб'єв шестерні зі сталі 18ХГТ. Призначте режим термічного оброблення. Опишіть сутність перетворень, та властивості матеріалу після запропонованої термічної обробки.

#### Варіант №3

1. Визначити температуру гартування для сталі У7. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Вкажіть структуру, що утворюється при охолодженні сталі У8 з температури 760°C зі швидкістю вище за  $V_{\text{крит}}$ . В чому сутність змін, що відбуваються при такому охолодженні.

3. Як впливають легувальні елементи на стійкість переохолодженого аустеніту та вид С-подібних кривих.

4. Для підвищення твердості поверхневих шарів валу зі сталі 45 проведено поверхневе гартування із нагріванням СВЧ. Опишіть сутність перетворень та як обирають температура нагріву під гартування в цьому випадку?

#### Варіант №4

1. Визначити температуру гартування для сталі У10А. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Запропонуйте термічне оброблення, що усуває явище наклепу після холодної пластичної деформації..

3. В чому сутність перлітного перетворення? Від чого залежить твердість феритно-карбідних сумішей?

4. Запропонуйте спосіб підвищення твердості поверхневих шарів поршневого пальця зі сталі 15Х. Опишіть сутність перетворень, призначте режим обробки, вкажіть яка структура утворюється за перерізом деталі.

#### Варіант №5

1. Визначити температуру неповного гартування для сталі 55. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі

запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження) і як це вплине на властивості сталі після гартування.

2. Запропонуйте та опишіть термічне оброблення, що забезпечує усунення дендритної ліквації в зливках сталі.

3. Як впливають легувальні елементи та вуглець на положення точок Мп-Мк? Чому в сталі У12 після нагрівання під гартування в аустенітну область та охолодження до кімнатної температури в структурі міститься залишковий аустеніт?

4. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості поверхневих шарів зуб'єв зубчастого колеса зі сталі 40ХНМА (твердість поверхні 600HV). Опишіть сутність перетворень, призначте режим обробки.

#### Варіант №6

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для різального інструменту зі сталі У12А. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження). Яка температура гартування є оптимальною для забезпечення високих експлуатаційних властивостей?

2. Запропонуйте вид відпалювання, що забезпечує відновлення пластичності сталі 10 після холодної пластичної деформації. Які процеси відбуваються в сталі при відпалюванні?

3. Поясніть, що таке відпускна крихкість першого та другого роду. Вкажіть причини виникнення.

4. Запропонуйте спосіб місцевого підвищення твердості для колінчастого валу зі сталі 45, що не передбачає змін у хімічному складі поверхневих шарів. Опишіть сутність перетворень, призначте режим оброблення.

#### Варіант №7

1. Визначити температуру нормалізації для сталі У12А. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури та після охолодження). З якою метою проводять таку обробку.

2. Вкажіть структуру, що утворюється при ізотермічній витримці при температурі 600°C (згідно ізотермічній діаграмі розпаду переохолодженого аустеніту сталі У8).

3. Запропонуйте схему термічного оброблення, що забезпечує отримання в сталі 40 структури сорбіт відпускання. Опишіть перетворення, що відбуваються в структурі сталі на всіх етапах термічного оброблення.

4. Що таке відпусчна крихкість другого роду ? Причини її виникнення та способи запобігання.

#### Варіант №8

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для сталі 50. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження). Яка температура гартування є оптимальною для забезпечення високих експлуатаційних властивостей деталей, виготовлених з вказаної сталі?

2. Що таке критична швидкість охолодження ? Наведіть фактори, від яких вона залежить.

3. Для яких сталей (група за призначенням) після гартування рекомендовано низькотемпературне відпускання? Які процеси відбуваються в структурі на цьому етапі?

4. В чому сутність азотування, до яких сталей цю обробку застосовують та з якою метою ?

#### Варіант №9

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для сталі У10. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження). Яка температура гартування є оптимальною для забезпечення високих експлуатаційних властивостей різального інструменту з вказаної марки сталі?

2. Запропонуйте термічне оброблення, що забезпечує покращення пластичності та усуває ліквіацію у зливках сталі. Поясніть, які процеси відбуваються в металі при термічному обробленні.

3. Поясніть як впливають концентрація вуглець та легувальних елементів на температури точок  $M_p$  і  $M_k$  та на кількість залишкового аустеніту.

4. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості поверхневих шарів зубчастого колеса, виготовленого зі сталі 40ХНМА (твердість

поверхні 600HV). Опишіть сутність перетворень, призначте режим обробки.

#### Варіант №10

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для сталі 35. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження). Яка температура гартування є оптимальною для забезпечення високих експлуатаційних властивостей деталей, виготовлених з вказаної марки сталі?

2. При ізотермічній витримці переохолодженого аустеніту в сталі У8 була отримана структура сорбіт. Вкажіть діапазон температур, що відповідають утворенню цієї структури (згідно ізотермічній діаграми розпаду переохолодженого аустеніту сталі У8), яку будову має ця структура та твердість.

3. Запропонуйте вид відпалювання, що забезпечує відновлення пластичності холоднодеформованої сталі 08кп.

4. Запропонуйте спосіб підвищення твердості поверхневих шарів із збереженням в'язкої серцевини втулки зі сталі 20 (твердість поверхні 61HRC). Опишіть сутність перетворень, призначте режим термічного оброблення.

#### Варіант №11

1. Визначити температуру гартування для сталі 60. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Вкажіть структуру, що утворюється в сталі У8 при ізотермічній витримці при температурі 650°C (згідно ізотермічній діаграми розпаду переохолодженого аустеніту). Опишіть її будову та властивості.

3. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості для шестерні зі сталі 38ХМЮА, якщо відомо, що експлуатація передбачає розігрів деталі вище 200°C та корозійно активне середовище. Опишіть сутність перетворень, призначте режим обробки.

4. Запропонуйте вид термічного оброблення для усунення дендритної ліквіації. Вкажіть температури та тривалість термічного оброблення. Як зміниться структура та механічні властивості сталі ?

#### Варіант №12

1. Визначити температуру гартування для сталі У11А. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої

термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. В чому сутність явища відпускнуї крихкості II роду ? Як можна попередити появу цього виду крихкості ?

3. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості поверхні зубців для шестерні зі сталі 18ХГТ. Призначте режим термічного оброблення. Опишіть сутність перетворень, та властивості сталі після запропонованоготермооброблення.

4. Запропонуйте вид відпускання для зубчастого колеса, що виготовлено зі сталі 45.

#### Варіант №13

1. Визначити температуру гартування для сталі 50. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Вкажіть структуру, що утворюється при охолодженні сталі У8 з температури 760°C зі швидкістю більше ніж  $V_{\text{крит}}$ . В чому сутність змін, що відбуваються при такому охолодженні.

3. Як впливають легувальні елементи на стійкість переохолодженого аустеніту та вид С-подібних кривих.

4. Запропонуйте спосіб підвищення твердості поверхневих шарів для валу зі сталі 45. Опишіть сутність перетворень, призначте режим термічного оброблення.

#### Варіант №14

1. Визначити температуру гартування для сталі 35. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Вкажіть структуру, що утворюється при охолодженні сталі У8 з температури 760°C на повітрі. В чому сутність змін, що відбуваються при такому охолодженні.

3. В чому сутність мартенситного перетворення? Від чого залежить твердість мартенситу ?

4. Запропонуйте спосіб підвищення твердості поверхневих шарів поршневого пальця зі сталі 10. Необхідний рівень твердості поверхні – 61HRC. Опишіть сутність перетворень, призначте режим оброблення, вкажіть яка структура утворюється за перерізом деталі.

## Варіант №15

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для сталі У10. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження). Яка температура гартування є оптимальною та чому ?

2. Запропонуйте схему термічного оброблення виробів зі сталі 40 на структуру сорбіт відпускання. Опишіть перетворення, що відбуваються в структурі сталі на всіх етапах термічного оброблення.

3. Як впливає вміст легувальних елементів та вуглецю в сталі на положення точок  $M_p$  та  $M_k$ ? Чому в сталі У12 після гартування з аустенітної області в структурі міститься залишковий аустеніт ?

4. Для підвищення твердості поверхневих шарів валу зі сталі 45 проведено поверхнєве гартування із нагріванням СВЧ. Як обирають температура нагрівання під гартування ? Опишіть сутність перетворень.

## Варіант №16

1. Визначити температуру гартування для сталі У7. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).

2. Поясніть, що таке критична швидкість охолодження. Наведіть фактори, від яких вона залежить (з поясненнями).

3. В чому полягає мета та сутність азотування, до яких сталей застосовують ? Опишіть технологію азотування.

4. Середньотемпературне відпускання. Вкажіть температури. До сталей з яким вмістом вуглецю застосовують цей вид відпускання ? Опишіть перетворення, що відбуваються при нагріванні до температури відпуску, структуру після відпуску та властивості сталі.

## Варіант №17

1. Визначити температуру повного та неповного гартування для сталі 50. Поясніть які зміни відбуваються в структурі сталі в процесі запропонованої термічної обробки (при нагріванні до визначеної температури гартування та після охолодження).. Яка температура гартування є оптимальною для забезпечення високих експлуатаційних властивостей деталей з наведеної сталі ?

2. Вкажіть структуру, що утворюється при ізотермічній витримці при температурі 600°C (згідно ізотермічній діаграмі розпаду переохолодженого аустеніту) в сталі У8. Опишіть механізм її утворення, вкажіть властивості.

3. В чому сутність явища відпускнуї крихкості I роду. Причини появи та методи запобігання ?

4. Запропонуйте спосіб підвищення зносостійкості поверхні зубців шестерні зі сталі 18ХГТ. Призначте режим термічного оброблення. Опишіть сутність перетворень та властивості матеріалу після запропонованого оброблення.

#### Варіант №18

1. Поясніть, що таке повне та неповне гартування, при яких температурах проводиться. Призначте температуру повного та неповного гартування для сталі 40. Вкажіть який варіант кращий та поясніть чому.

2. Запропонуйте термічне оброблення, що усуває дендритну ліквіацію в зливках сталі. Поясніть, які процеси відбуваються в структурі сталі та як це вплине на властивості.

3. В чому сутність мартенситного перетворення (опишіть механізм перетворення). Що таке ступінь тетрагональності мартенситу ? Від чого залежить твердість мартенситу ?

4. Назвіть та коротко опишіть способи поверхневого зміцнення, що призводять до зміни хімічного складу та структури поверхневого шару.

*Варіанти для самостійної роботи №2 «Леговані сталі. Жароміцні сплави. Алюміній та сплави на його основі. Титан та сплави на його основі. Магній та його сплави».*

#### Варіант №1

1. Дайте пояснення, що таке повзучість, стадії повзучості, причина повзучості, як впливає температура експлуатації на розвиток повзучості.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

40X12H8Г8МФБ; 18X2HMA; 6X6B3MФC; P12Ф3; ХВСГ

3. Робочі лопатки реактивних та турбореактивних двигунів працюють в окислювальному середовищі до 800...900°C. В процесі експлуатації на лопатку діють відцентрові напруження, напруження розтягу, згину, крутіння, температурні напруження. Матеріал лопатки повинен забезпечити високу окислювостійкість, значній опір повзучості, тривалу міцність при робочих температурах. Запропонуйте марку сплаву, вибір поясніть. Для обраного сплаву вказати хімічний склад (по марці), режими термічного оброблення (з довідників), структуру після термічного оброблення.

4. Дюралюміні. Вкажіть метал-основу. Спосіб зміцнення цих сплавів. В чому полягає сутність способу зміцнення. Опишіть: маркування, термічне оброблення, структуру та властивості дюралюмінів. Наведіть приклади використання.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація).

ХН77ТЮР-ВД; АД31; ВТ5Л; Д20; АК4; ВТ3-1.

#### Варіант №2

1. Що таке жароміцність? Групи жароміцних сталей (вказати граничну температуру експлуатації, опишіть структуру, термічне оброблення та її призначення; наведіть приклади марок).

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

14Х2Н4МА; Р12МЗФ2К8; 5Х2МНФ; 08Х17Т; 09Х16Н4Б

3. Термічне оброблення титанових сплавів (види та призначення, для сплавів з якою структурою який вид термічного оброблення використовують).

4. Шестерні передачі авіаційного двигуна працюють до температур 350...450°C. Твердість поверхні зуба 66...67HRC, твердість серцевини - 30HRC. Запропонувати марку сталі для виготовлення шестерні та спосіб поверхневого зміцнення (поясніть вибір). Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):  
 АК4-1; АВ; ВТ1-00; ХН75МБТЮ; МА2; ХН45Ю.

#### Варіант №3

1. Що таке жароміцність? Основні легувальні елементи жароміцних нікелевих сплавів та мета їх введення. Наведіть види термічного оброблення жароміцних сплавів та поясніть з якою метою вона проводиться.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

08Х15Н24В4ТР; 25Х2ГНТА; 40ХГТР; Х5С4В2Ф2НМ;  
 4Х4МФС

3. Запропонувати марку сплаву для виготовлення корпуса компресора авіаційного ГТД (вибір пояснити). Температура експлуатації до 300°C. Сплав повинен мати добрі ливарні властивості (корпус виготовляють литвом) та малу густину (4,6г/см<sup>3</sup>). Для обраної марки навести хімічний склад, спосіб покращення механічних властивостей, термічне оброблення, структуру після термічного оброблення.

4. Опишіть маркування титанових сплавів (наведіть приклади марок). Основні легувальні елементи в титанових сплавах та мета їх введення. Класифікація титанових сплавів за структурою.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):  
 ЖС55; ВТ14; ВТ3-1Л; АВ; ХН62МВКЮ; АК12.

#### Варіант №4

1. Опишіть види корозії. Способи захисту.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

40ХФА; 9ХС; 8ХНФТ; 10Х15Н25В3ТЮ; 9ХФ

3. Запропонувати сплав для виготовлення робочих лопаток першої ступені газової турбіни, котрі працюють до 1200°C. В процесі експлуатації на лопатку діють відцентрові напруження; напруження розтягу, згину, крутіння; температурні напруження. Лопатки виготовляють направленою кристалізацією (поясніть, що це таке і для чого це роблять). Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Термічне оброблення сплавів на основі алюмінію. Наведіть види термічного оброблення, їх призначення, режими (температура та охолодження).

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ХН75МБТЮ; ЖС26; Д16; В93; МЛ4; ВТ8.

#### Варіант №5

1. Корозійностійкі та жаростійкі сталі, в умовах якої корозії можна використовувати. Основні легувальні елементи та для чого вони вводяться. Класифікація корозійностійких сталей.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

40Х13; 45Х14Н14В2М; Р12М3Ф2К8; 15ХФ; В2Ф

3. Запропонувати для виготовлення диска компресора газотурбінного двигуна сплав, що має високу питому міцність. Температура експлуатації до 350°C. Описати умови експлуатації (напруження, середовище). Поясніть вибір матеріалу. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Алюміній. Температура плавлення, гратка, густина. Механічні та фізичні властивості алюмінію. Маркування технічного чистого алюмінію та сплавів. Недоліки та переваги алюмінієвих сплавів.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ЖС6; ХН32Т; ВТ22; Д21; АМг5; МА3.

## Варіант №6

1. Що таке жароміцність? Вкажіть температуру експлуатації, структуру жароміцних сплавів на основі Ni та вимоги до структури нікелевих сплавів. Поясніть, внаслідок чого забезпечується зміцнення сплавів. Опишіть маркування жароміцних сплавів на основі Ni та наведіть приклади марок і використання.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

20X2H4A; 10X15H25M3B3TЮК; 9ХФ; 12Х17; 8Х6НФТ

3. Запропонувати матеріал для виготовлення середнього корпусу компресора ГТД. Корпус має складну форму, спосіб виготовлення – литво. Температура експлуатації до 250°C. Корпус повинен мати малу вагу (матеріал з малою густиною). Опишіть умови експлуатації корпусу. Поясніть свій вибір матеріалу. Для обраної марки сплаву навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Що таке питома міцність та питома жорсткість. Чому ці характеристики так важливі для авіаційних матеріалів. Наведіть приклади металів та сплавів, що мають високу питому міцність.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ХН62ВМКТЮБ; ОТ4; АД31; АК12; АМг3; МА15.

## Варіант №7

1. Основні характеристики жароміцності. Вказати ці характеристики та навести пояснення.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

70С2ХА; 10Х25Н25ТЗР; 6Х6В3МФС; 09Х17Н7Ю1; ХВСГ

3. Запропонувати матеріал для виготовлення робочої лопатки компресора ГТД. Лопатка повинна мати високу питому міцність. Температура експлуатації до 450°C. Опишіть, в яких умовах працює лопатка (навантаження, середовище). Поясніть вибір матеріалу для

лопатки. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Опишіть сутність мартенситного перетворення в титанових сплавах.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ХН70ВМТЮФ; ПТ7М; Д21; МЛ10; АК8М3; АМц.

#### Варіант №8

1. Ливарні жароміцні сплави на основі Ni. В чому їх переваги та недоліки. Особливості структури та способи її отримання. Наведіть приклади марок ливарних нікелевих сплавів.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

2Х6В8М2К8; 20Х12Н2В2МФ; Р12Ф3; 08Х18Н12Б; 8Х6НФТ

3. Запропонувати сплав для виготовлення жарової труби камери згорання ГТД. Опишіть умови експлуатації (напруження, середовище). Жарову трубу виготовляють з листового матеріалу, за допомогою зварювання. Температура експлуатації до 1000°C (обмежений час експлуатації). Вимоги до властивостей матеріалу:  $\sigma_b = 610$  МПа,  $\sigma_{100}^{1000} = 13$  МПа. Поясніть свій вибір. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення. Наведіть способи захисту внутрішньої поверхні жарової труби від високотемпературної корозії.

4. Магній. Властивості магнію. Маркування магнієвих сплавів. Зміцнювальна термічна обробка магнієвих сплавів.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ХН35ВТМ; ВТ25; АТ3; АК4-1; АМ5; МЛ8.

#### Варіант №9

1. Що таке жароміцність? Вкажіть температуру експлуатації, структуру жароміцних сплавів на основі Ni та вимоги до структури нікелевих сплавів. Поясніть, внаслідок чого забезпечується зміцнення

сплавів. Опишіть маркування жароміцних сплавів на основі Ni та наведіть приклади марок і використання.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

38X2H2MA; 10X13CЮ; 3X3M3Ф; 37X19H9MBBT; ХГС

3. Запропонувати сплав для виготовлення валу турбіни ГТД. Температура експлуатації до 750°C. Опишіть умови експлуатації валу (напруження, середовище). Вимоги до матеріалу:  $\sigma_b = 950$  МПа,  $\sigma_{1000}^{700} = 300$  МПа. Поясніть свій вибір. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Титан. Властивості титану. Переваги та недоліки титану та його сплавів порівняно з іншими авіаційними матеріалами. Маркування титанових сплавів. Приклади марок та використання. Термічне оброблення титанових сплавів (види та сутність).

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

XH65BMТЮ; BT9Л; AT3; AK2; AMr3; MЛ18.

#### Варіант №10

1. Жароміцні залізо-нікелеві сплави. Основні легувальні елементи та мета їх введення. Принцип маркування. Наведіть приклади марок та використання. Вкажіть термічне оброблення та мету її проведення, структуру сплавів.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

30ХГСА; 9ХС, 12Х17; 65С2ВА; 09Х16Н16МВ2БР

3. Запропонуйте матеріал малої густини (2,7 г/см<sup>3</sup>) для виготовлення лопатки компресора, що працює до температур 300°C. Вимоги до матеріалу:  $\sigma_b = 400 \dots 420$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 300 \dots 320$  МПа;  $\sigma_{1000}^{150} = 220 \dots 280$  МПа;  $\sigma_{0,2/1000}^{150} = 170 \dots 210$  МПа;  $\delta_{10} = 7\%$ . Вкажіть термічне оброблення. Опишіть сутність зміцнення сплаву. Вкажіть структуру сплаву після термічного оброблення.

4. Вкажіть основні фазові перетворення в титані та його сплавах. Опишіть поліморфне перетворення.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

МА20; Д22; ХН70ВМТЮФ; ОТ4-1; АД33; ЖС55

#### Варіант №11

1. Що таке корозія і як вона впливає на властивості сталі. Види корозії. Поясніть сутність електрохімічної корозії. Який елемент найбільш суттєво впливає на корозійну стійкість сталі та чому? Наведіть приклади марок корозійностійких сталей та їх використання.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

15ХФ, 40Х15Н7Г7Ф2МС, 4Х5МФС, 15Х25Т, Х6ВФ

3. Опишіть умови експлуатації жарової труби газотурбінного двигуна та запропонуйте матеріал для її виготовлення. Вимоги до матеріалу: температура експлуатації до 1200°C;  $\sigma_b = 730$  МПа;  $\sigma_{1000}^{900} = 18$  МПа;  $\sigma_{5/100}^{900} = 25$  МПа;  $\delta_5 = 75\%$ . Вкажіть основні легувальні елементи та мету їх введення. Наведіть термічне оброблення та структуру сплаву після термічного оброблення.

4. Поясніть, в чому сутність старіння. Вкажіть сплави (системи та назви) на основі алюмінію, що піддають після гартування штучному старінню, .

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

АМц; МЛ6; ВТ18У; Д16; ХН55ВМТКЮ.

#### Варіант №12

1. Що таке жароміцність. Як впливає температура плавлення металу-основи на температуру експлуатації. Структура жароміцних сплавів на основі Ni. В чому сутність старіння нікелевих сплавів (поясніть). Від чого залежить жароміцність нікелевих сплавів?

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за

призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

P14Ф4, 08X16H13M2B, 12XН2, 2X9B6, 30X13

3. Опишіть умови експлуатації робочої лопатки I ступені газової турбіни авіаційного двигуна. Запропонуйте матеріал для виготовлення лопатки. Температура експлуатації до 1000°C. Поясніть свій вибір. Для обраного матеріалу вкажіть термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Поясніть, чому титанові сплави використовують в авіації. Основні легувальні елементи в титанових сплавах, їх розподіл на групи та мета введення в титанові сплави.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ЖС6У; АТ3-1; В96; АК7; ХН80ТБЮ.

#### Варіант №13

1. Корозійностійкі та жаростійкі сталі, в умовах якої корозії можна використовувати. Основні легувальні елементи та для чого вони вводяться. Класифікація корозійностійких сталей (наведіть приклади марок та використання).

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

60С2ХФА, 6Х6В3МФС, 15Х18Н12С4ТЮ, ХВГ, 09Х14Н16Б

3. Корпус осьового компресора ГТД не зазнає значного механічного навантаження. Рекомендовано виготовити його з матеріалу малої густини (1,8 г/см<sup>3</sup>). Запропонуйте матеріал, поясніть вибір. Порівняйте обраний матеріал з іншими сплавами, що можуть бути використані для виготовлення корпусу. Для вибраного матеріалу наведіть термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Дюралюміні. Вкажіть метал-основу. Опишіть: маркування, термічне оброблення, структуру та властивості. В чому полягає сутність зміцнення дюралюміні. Наведіть приклади використання.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):  
ХН32Т, АК12ММгН, ВТ25, АВ, ХН75МБТЮ.

#### Варіант №14

1. Що таке жароміцність ? Групи жароміцних сталей (вказіть граничну температуру експлуатації, опишіть термічне оброблення та її призначення, структуру після термічного оброблення; наведіть приклади марок та використання).

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

20ХН3А, 10Х15Н25В3ТЮ, Р12Ф4К5, 08Х18Г1, 36Х2Н2МФА

3. Опишіть умови експлуатації робочих лопаток турбіни реактивних та турбореактивних двигунів. Запропонуйте матеріал для їх виготовлення: до температури 800°С та до температур 1000...1200°С. Наведіть хімічний склад запропонованих сплавів, опишіть термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

4. Що таке питома міцність та питома жорсткість. Чому ці характеристики так важливі для авіаційних матеріалів. Наведіть приклади металів та сплавів, що мають високу питому міцність.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

В95, ОТ4, ВТ9Л, ХН70ВМТЮ, АК9М2.

#### Варіант №15

1. Що таке жароміцність ? Основні легувальні елементи жароміцних нікелевих сплавів та мета їх введення. Наведіть види термічного оброблення жароміцних сплавів та поясніть з якою метою вона проводиться.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

55ХГР, 10Х13СЮ, 5ХНМ, 40Х15Н7Г7Ф2МС, ШХ15СГ

3. Обертіві деталі реактивних установок при експлуатації нагріваються до температур 450...500°C. Їх можна виготовити зі сплаву, що має густину меншу ніж у сталі (4,5г/см<sup>3</sup>). Опишіть умови експлуатації та запропонуйте марку сплаву, вкажіть хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення. Порівняйте жароміцність обраного матеріалу (500°C, тривалість 1000 год) зі сплавом Д20 та сталлю 18Х12ВМБФР. Зробіть висновок.

4. Опишіть сутність мартенситного перетворення в титанових сплавах.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ЖС32, АК8, АМг6, ВТ32, ХН45Ю.

#### Варіант №16

1. Що таке жароміцність? Вкажіть температуру експлуатації, структуру жароміцних сплавів на основі Ni та вимоги до структури нікелевих сплавів. Поясніть, внаслідок чого забезпечується зміцнення сплавів. Опишіть маркування жароміцних сплавів на основі Ni та наведіть приклади марок і використання.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому стані:

20Х2Н4А; 10Х15Н25МЗВ3ТЮК; 9ХФ; 12Х17; 8Х6НФТ

3. Опишіть умови експлуатації та запропонуйте матеріал для виготовлення середнього корпусу компресора ГТД. Корпус має складну форму, виготовляється литвом. Температура експлуатації до 250°C. Корпус повинен мати малу вагу (матеріал з малою густиною). Поясніть свій вибір. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Що таке питома міцність та питома жорсткість. Чому ці характеристики так важливі для авіаційних матеріалів. Наведіть приклади металів та матеріалів, що мають високу питому міцність.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ХН62ВМКТЮБ; ОТ4; АД31; АК12; АМг3; МА15.

## Варіант №17

1. Корозійностійкі та жаростійкі сталі, в умовах якої корозії можна використовувати. Основні легувальні елементи та для чого вони вводяться. Класифікація корозійностійких сталей.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

40X13; 45X14H14B2M; P12M3Ф2K8; 15XФ; B2Ф

3. Запропонувати матеріал високої питомої міцності для виготовлення диска компресора газотурбінного двигуна. Температура експлуатації до 350°C. Описати умови експлуатації (напруження, середовище). Поясніть вибір матеріалу. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення та структуру після термічного оброблення.

4. Алюміній. Температура плавлення, гратка, густина. Механічні та фізичні властивості алюмінію. Маркування технічного чистого алюмінію та сплавів (наведіть приклади марок та використання). Недоліки та переваги алюмінієвих сплавів.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ЖС6; ХН32Г; ВТ22; Д21; АМг5; МА3.

## Варіант №18

1. Що таке жароміцність? Основні легувальні елементи жароміцних нікелевих сплавів та мета їх введення. Наведіть види термічного оброблення жароміцних сплавів та поясніть з якою метою вона проводиться.

2. Наведені марки сталей розшифрувати (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати); класифікувати за призначенням (по групам), за структурою у відпаленому та нормалізованому станах:

08X15H24B4TP; 25X2ГНТА; 40ХГТР; Х5С4В2Ф2НМ;  
4Х4МФС

3. Запропонувати марку сплаву для виготовлення корпусу компресора (вибір пояснити). Температура експлуатації до 300°C. Сплав повинен мати добрі ливарні властивості (корпус виготовляють

литвом) та малу густину ( $4,6\text{г/см}^3$ ). Опишіть умови експлуатації та обґрунтуйте вибір марки сплаву. Для обраної марки навести хімічний склад, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

4. Маркування титанових сплавів (наведіть приклади марок). Основні легувальні елементи в титанових сплавах та мета їх введення. Класифікація титанових сплавів за структурою.

5. Для наведених марок сплавів вказати метал-основу, хімічний склад по марці (якщо можливо, довідники не використовувати) та спосіб отримання з них виробів (литво чи деформація):

ЖС55; ВТ14; ВТ3-1Л; АВ; ХН62МВКЮ; АК12.

## ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ

При виконанні контрольних робіт рекомендується ознайомитись з відповідними розділами конспекту лекцій з дисципліни [1] та літературними джерелами [2-14]. Завдання на контрольну роботу складається з теоретичних питань, що охоплюють теми «Залізо та сплави на його основі», «Теорія термічного оброблення сталі. Перетворення в сталях при нагріванні. Перлітне та мартенситне перетворення», «Істинне гартування та старіння сплавів. Технологія термічного оброблення сталі», «Леговані сталі. Конструкційні та інструментальні леговані сталі. Сталі з особливими властивостями», «Жароміцні сплави на нікелевій та залізонікелевій основі», «Сплави на основі титана», «Сплави на основі алюмінію», «Сплави на основі магнію». Варіанти завдання складаються з теоретичних та тестових питань, практичних питань з маркування сплавів та вибору матеріалу для виготовлення конкретного виробу. Приклади використання сплавів наведені в додатку А конспекту лекцій з дисципліни «Авіаційні матеріали».

### Варіант №1

1. Наведіть діаграму стану залізо-цементит. Опишіть структурні складові залізо-вуглецевих сплавів.
2. Опишіть перетворення переохолодженого аустеніту згідно діаграми ізотермічного розпаду сталі У8.
3. Істинне гартування сплавів. Його призначення. Вибір оптимальних температур нагріву під гартування, часу нагріву та швидкості охолодження.
4. Сталь Ст.2кп за структурою в рівноважному стані є: а)заевтектоїдною; б)евтектоїдною; в)доевтектоїдною.
5. Вкажіть для яких з наведених сталей може проводитися цементація  
а) 60, 65Г, 80; б) 10, 18ХГТ, 12ХНЗА; в) 38Х2МЮА, 40ХНМ, 30Х2Н2МФА.
6. Чому деталі зі сплавів на основі Ті, порівняно зі сплавами на основі Mg та Al, можуть експлуатуватися до більш високих температур:

а) більш висока температура плавлення; б) більш леговані; в) тому що піддаються зміцнювальній термічній обробці гартування та старіння.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: P18Ф2К5, В95, 10Х11Н23Т3МР, ХН60МВКЮ, Д20.

8. Опишіть умови експлуатації камери згорання та запропонуйте матеріал для її виготовлення. Відомо, що температура в камері згорання може досягати 900...1000°C. Наведіть хімічний склад обраного сплаву, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення. Запропонуйте спосіб захисту внутрішніх стінок камери від високотемпературної корозії.

#### Варіант №2

1. Жароміцні сталі. Вимоги до структури та властивостей. Наведіть основні групи жароміцних сталей, приклади марок та використання, вкажіть термічне оброблення та структуру.

2. Гартування сталей. З якою метою проводиться. Вибір оптимальних температур нагріву під гартування, часу нагріву та швидкості охолодження.

3. Мартенситне перетворення в сталі. Будова та властивості мартенситу гартування.

4. Більш високу жароміцність будуть мати ливарні Ni-сплави:

а) з рівноважною структурою; б) зі спрямованою структурою; в) з монокристалічною структурою.

5. Як змінюється склад твердого розчину з підвищенням температури при нагріванні підістинне гартування:

а) збільшується концентрація розчиненого елемента в твердому розчині; б) зменшується концентрація розчиненого елемента в твердому розчині; в) не змінюється концентрація твердого розчину.

6. Модифікатори I роду додають в чавуни з метою:

а) збільшення центрів кристалізації та подрібнення частинок графіту; б) впливу на форму графітних включень; в) виділення частинок графіту певної морфології.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за

призначенням, вказати металеву основу: 7Х3ВМФС, АК12, 40Х10С2М, 40Х2Н2МА, ВТ8.

8. Опишіть умови експлуатації лопатки компресора газотурбінного двигуна. Запропонуйте та обґрунтуйте вибір матеріалу для виготовлення лопатки, якщо відомо, що робочі температури досягають  $750^{\circ}\text{C}$ , а  $\sigma_{10000}^{700} \geq 300\text{МПа}$ . Наведіть хімічний склад обраного сплаву, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

#### Варіант №3

1. Титан та його сплави. Переваги та недоліки порівняно з іншими конструкційними матеріалами. Легувальні елементи в титанових сплавах та мета їх введення. Класифікація за структурою.

2. Старіння. Мета старіння. Які процеси відбуваються при старінні. Вплив старіння на механічні властивості.

3. Опишіть перлітне перетворення в сталі.

4. Вкажіть як змінюється твердість поверхні сталі 45 після поверхневого гартування СВЧ, порівняно із гартуванням, що передбачало нагрівання у печі:

а) зменшується, б) не змінюється, в) збільшується.

5. Жаростійкість заліза та сталей підвищується при легуванні:

а) Cr, Si, Al; б) Ni, Mn, N; в) V, W, Ti.

6. Вказати, яка з наведених жароміцних сталей є аустенітною з карбідним зміцненням

а) 40Х15Н7Г7Ф2МС, б) 10Х11Н23Т3МР, в) 40Х9С2.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: ЖС26, АМц, 09Х16Н14Б, 08кп, ВТ3-1

8. Для виготовлення робочих лопаток компресора обраний сплав АК4-1. Опишіть умови експлуатації робочої лопатки компресора. Поясніть, з яких міркувань був обраний даний сплав. Наведіть хімічний склад і структуру сплаву. Вкажіть зміцнювальне термічне оброблення сплаву та опишіть сутність зміцнення. Наведіть механічні властивості сплаву після термічного оброблення.

#### Варіант №4

1. Наведіть властивості алюмінію. Поясніть маркування сплавів на основі алюмінію. Опишіть зміцнювальне термічне оброблення дюралюмінів та структуру після термічного оброблення.

2. Поясніть, що таке азотування, його сутність, до яких сталей застосовують. Структура та властивості виробів після азотування.

3. Жароміцні сплави на залізо-нікелевій та нікелевій основі. Маркування. Основні легувальні елементи та мета їх введення. Опишіть термічне оброблення залізо-нікелевих та нікелевих сплавів, структуру та властивості після термічного оброблення. Наведіть приклади використання сплавів.

4. Чим характеризується істинне гартування:

а) фіксування при кімнатній температурі високотемпературного фазового стану сплаву; б) утворення нової фази, яка відрізняється від високотемпературної будовою кристалічної ґратки; в) зміна хімічного складу твердого розчину при швидкому охолодженні при гартуванні

5. При охолодженні з температури вище  $A_{c1}$  зразків з сталі У8 була отримана твердість 61HRC, як називається структура, що утворилася:

а) мартенсит, б) троостит, в) бейніт

6. Яка зміцнювальна фаза виділяється при розпаді пересиченого твердого розчину при старінні жароміцних нікелевих сплавів:

а)  $Ni_3(Al,Ti)$ ; б)  $Al_3FeNi$ ; в)  $FeNiAl$ .

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: 30X19N9VMБТ, ВТ16, В96, Х5С4В2Ф2НМ, 30ХГСН2А.

8. Деякі деталі компресора ГТД виготовляють з титанових сплавів ВТ3-1 та ВТ14. Поясніть, в чому полягає перевага титанових сплавів, як конструкційного матеріалу для виготовлення деталей ГТД. Вкажіть хімічний склад сплавів та класифікуйте сплави за структурою. Наведіть термічне оброблення, структуру, механічні властивості та характеристики жароміцності після термічного оброблення.

#### Варіант №5

1. Сутність цементації сталевих виробів, мета її проведення. До сталей з яким вмістом вуглецю застосовують. Термічне оброблення після цементації.

2. Опишіть перетворення в сталі при охолодженні використовуючи діаграму ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі У8.

3. Що таке жароміцність ? Жароміцні сталі. Вимоги до структури та властивостей. Основні групи жароміцних сталей, приклади марок та використання, термічне оброблення та структура після термічного оброблення.

4. Більш висока корозійна стійкість у поєднанні з теплостійкістю та твердістю забезпечується при:

а) азотуванні, б) цементації, в) нітроцементації (ціануванні),

5. Яка термічна обробка забезпечує більш високі характеристики жароміцності  $\alpha+\beta$ -сплавів на основі Ti:

а) гартування та старіння; б) подвійний відпал; в) рекристалізаційний відпал.

6. Які елементи в сплаві АК4-1 забезпечують його жароміцність:

а) Al, Si; б) Mg, Cu; в) Fe, Ni.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: АК12М2МгН, 25Х2НМФА, ВТ25У, 10Х17Н13М2Т, 9Х2МФ.

8. Лопатки реактивних та турбореактивних двигунів працюють в умовах окислення при температурах до 800...900°C. Матеріал, який використовується для виготовлення лопаток, повинен мати підвищену жаростійкість (окалиностійкість), високий опір повзучості, довготривалу міцність. Опишіть умови експлуатації лопаток, запропонуйте та обґрунтуйте вибір марки сплаву, вкажіть хімічний склад сплаву, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

#### Варіант №6

1. Азотування. Які сталі піддають азотуванню та чому (наведіть приклади марок). Технологія азотування, структура та властивості сталей після азотування.

2. Конструкційні леговані сталі. Класифікація за призначенням (по групам). Вкажіть приклади марок, приклади використання, наведіть типове термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

3. Жароміцні ливарні сплави на основі Ni. Вкажіть температуру експлуатації, поясніть маркування. Опишіть вимоги до структури та структуру, мету введення легувальних елементів, термічне оброблення.

4. При кімнатній температурі (система Fe-Fe<sub>3</sub>C) в сплавах, що містять від 0,8 до 2,14% вуглецю існує структура:

а) П+Ф; б) Л+Ц<sub>I</sub>; в) П+Ц<sub>II</sub>.

5. Вкажіть який рівень твердості має загартована сталь 40 після високотемпературного відпускання:

а) 25...35HRC, б) 40...50HRC, в) 60...62HRC.

6. Вкажіть марку жароміцного сплаву на основі Al:

а) АТЗ; б) АМгЗ; в) АК4-1.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: ХНЗВТЮ, Р12ФЗ, 40Х12Н8Г8МФБ, АВ, МА5.

8. Опишіть умови експлуатації, запропонуйте та обґрунтуйте вибір матеріалу для диску газової турбіни, якщо відомо, що робочі температури досягають 600...650°C, а  $\sigma_{10000}^{600} \geq 400 \text{ МПа}$ . Наведіть хімічний склад сплаву, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

#### Варіант №7

1. Класифікація залізобуглецевих сплавів. Наведіть діаграму стану залізо-цементит, надайте характеристику компонентам та фазам. Поясніть класифікацію буглецевих сталей за структурою в рівноважному (відпаленому) стані.

2. Старіння. Мета старіння. Які процеси відбуваються при старінні. Вплив старіння на механічні властивості.

3. Жаростійкі сталі. Що таке жаростійкість. Особливості легування. Наведіть приклади марок. Вимоги до структури та властивостей. Термічне оброблення. Наведіть приклади використання сталей.

4. Вкажіть вид термічного оброблення сталі, що забезпечує покращення литої структури та сприяє підвищенню пластичності:

а) гомогенізаційний відпал, б) рекристалізаційний відпал, в) повний відпал.

5. Гартування сплавів (АК6, МА5) призводить:

а) до утворення пересиченого твердого розчину; б) до появи надлишкової фази, що має тип ґратки відмінний від твердого розчину; в) до утворення рівноважної структури.

6. Жароміцні сталі це:

а) це сталі які працюють при температурах вище 500°C в умовах газової корозії в слабконавантаженому стані; б) це сталі, які працюють при підвищених температурах тривалий час та здатні витримувати значне механічне навантаження при одночасній достатній жаростійкості; в) це сталі, які здатні працювати при температурах червоного жару та зберігати високу твердість.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: 12X14H10T, АК6, ВЖЛ12, 18ХГТ, ВТ5Л

8. Опишіть умови експлуатації, запропонуйте та обґрунтуйте вибір матеріалу для виготовлення лопатки компресора газотурбінного двигуна, якщо відомо, що робочі температури досягають 900...1000°C, а  $\sigma_{0,5/1000}^{1000} = 80 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_B^{1100} = 345 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_B^{20} = 1050 \text{ МПа}$ . Наведіть хімічний склад сплаву, термічне оброблення, структуру та властивості після термічного оброблення.

#### Варіант №8

1. Поверхнєве гартування сталі з нагріванням СВЧ. Для яких сталей використовують такий спосіб зміцнення. Опишіть сутність термічного оброблення, структуру та властивості сталі після термічного оброблення.

2. Старіння. Мета старіння. Які процеси відбуваються при старінні. Вплив старіння на механічні властивості.

3. Жароміцні сплави на залізо-нікелевій та нікелевій основі. Маркування. Основні легувальні елементи та мета їх введення. Опишіть термічне оброблення залізо-нікелевих та нікелевих сплавів, структуру та властивості після термічного оброблення. Наведіть приклади використання сплавів.

4. Вкажіть як змінюється ударна в'язкість вуглецевої сталі при збільшенні вмісту вуглецю:

а) збільшується; б) зменшується; в) не змінюється.

5. Критична температура  $A_{c3}$  в сталі визначає температуру:

а) рівноваги між перлітом та аустенітом;

б) завершення  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення при нагріванні;

в) завершення розчинення цементиту в аустеніті при нагріванні.

6. Яку структуру мають жароміцні нікелеві сплави:

а)  $\gamma$ -фаза +  $\gamma'$ -фаза; б)  $A$  +  $\gamma'$ -фаза; в)  $\alpha$ -фаза +  $\theta$ -фаза.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: 36X18H25C2, BT16, 16X11H2B2MФ, АД33, 5X2MНФ.

8. Для виготовлення корпусу компресора середнього тиску авіадвигуна обрано сплав МЛ10. Опишіть умови експлуатації. Поясніть, з яких міркувань був обраний даний сплав. Наведіть хімічний склад і структуру сплаву. Запропонуйте та обґрунтуйте термічну обробку. Опишіть перетворення, які відбуваються при термічному обробленні та вкажіть фази, що забезпечують зміцнення. Наведіть механічні властивості сплаву після термічного оброблення.

#### Варіант №9

1. Гартування з поліморфним перетворенням та істинне гартування. Поясніть сутність цих видів термічного оброблення. Як обирають температуру нагрівання та швидкість охолодження. Наведіть приклади сплавів до яких застосовується гартування з поліморфним перетворенням та істинне гартування. Поясніть які фазові перетворення відбуваються при цих видах гартування та яка структура утворюється.

2. Наведіть властивості алюмінію. Поясніть маркування сплавів на основі алюмінію. Опишіть зміцнювальне термічне оброблення дюралюмінів та структуру після термічного оброблення. Вкажіть приклади використання дюралюмінів.

3. Корозійностійкі сталі. Особливості легування. Класифікація корозійностійких сталей за структурою. Опишіть хромисті та хромонікельові сталі (наведіть приклади марок, вкажіть приклади використання). Особливості структури та термічного оброблення.

4. Вказати, яка з наведених жароміцних сталей є аустенітною з карбідним зміцненням

а) 40X15H7Г7Ф2МС, б) 10X11H23Т3МР, в) 40Х9С2.

5. До якої групи за призначенням відноситься сталь 60С2А:

а) конструкційна поліпшувальна; б) конструкційна ресорно-пружинна, в) інструментальна для різального інструменту

6. Яку властивість повинна мати сталь для виготовлення робочої лопатки II ступені турбіни:

а) теплостійкість; б) червоностійкість; в) тривалу міцність.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: ХН77ТЮР, АМ5, ЖС26, 15Х11МФ, ВТ5

8. Опишіть умови експлуатації, запропонуйте та обґрунтуйте сплав високої питомої міцності для виготовлення барабана компресора авіадвигуна, що в процесі експлуатації зазнає нагрівання до 500°C. Вимоги до сплаву:  $\sigma_{\text{в}} = 1000$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 950$  МПа;  $\delta_5 = 10\%$ ; КСУ = 30 Дж/см<sup>2</sup>; 285 НВ. Вкажіть хімічний склад та структуру обраного сплаву. Поясніть призначення легувальних елементів. Наведіть термічне оброблення, структуру та механічні властивості сплаву після термічного оброблення за різними варіантами.

#### Варіант №10

1. Титан та його сплави. Властивості титану, переваги та недоліки. Основні легувальні елементи в титанових сплавах та мета введення, класифікація легувальних елементів по відношенню до температури поліморфного перетворення. Маркування титанових сплавів, класифікація за структурою.

2. Старіння. Мета старіння. Які процеси відбуваються при старінні. Вплив старіння на механічні властивості.

3. Фазові перетворення в вуглецевих сталях при нагріванні. Ріст зерна аустеніту при нагріванні, класифікація сталі на групи в залежності до здатності до росту зерна аустеніту, від яких факторів залежить ріст зерна, як впливає розмір зерна на механічні властивості сталі.

4. Цементит первинний (Ц<sub>I</sub>), вторинний (Ц<sub>II</sub>), третинний(Ц<sub>III</sub>):

а) не мають розбіжностей у хімічному складі та кристалічній будові; б) розрізняються за хімічним складом; в) мають різну будову ґраток.

5. Які легувальні елементи при введенні в сталь зменшують схильність до МКК (міжкристалітної корозії):

а) Со, б) Ті, в) Мп.

6. Яку перевагу мають титанові сплави в порівнянні зі сплавами на основі Fe, Al, Mg:

а) більш високу  $\delta$ ; б) більш високу НВ; в) більш високу  $\sigma_{\text{в}}/\rho$ .

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за

призначенням, вказати металеву основу: МЛ11, 15Х2НМФА, 10Х13Г12С2Н2Д2Б, В93, ХН45Ю.

8. Диски компресора ГТД виготовляють зі сплаву ВД17. Опишіть умови експлуатації диску. Поясніть, чому для виготовлення лиску було обрано сплав ВД17ю Вкажіть хімічний склад і характеристики механічних властивостей сплаву після термічного оброблення. Опишіть спосіб зміцнення цього сплаву і поясніть природу зміцнення.

### Варіант №11

1. Магній (температура плавлення, густина, кристалічна ґратка). Механічні властивості технічно чистого магнію. Маркування магнієвих сплавів. Класифікація магнієвих сплавів. Термічне оброблення магнієвих сплавів.

2. Гартування сталей. Вибір оптимальних температур нагрівання під гартування сталі. Опишіть сутність мартенситного перетворення в сталі.

3. Що таке жароміцність? Жароміцні ливарні сплави на основі нікелю. Основні легувальні елементи та мета їх введення. Термічне оброблення нікелевих сплавів. Структура до та після термічного оброблення. Що та керівновісна (РК), спрямована (СК) та монокристалічна (МК) кристалізація, наведіть способи отримання цих видів кристалізації та приклади марок для РК, СК та МК кристалізації Вироби зі сплави з яким варіантом кристалізації мають кращі характеристики жароміцності та чому.

4. При кімнатній температурі (система Fe-Fe<sub>3</sub>C) в сплавах, що містять від 0,8 до 2,14% вуглецю існує структура:

а) П + Ф; б) Л + Ц<sub>І</sub>; в) П + Ц<sub>ІІ</sub>.

5. Як змінюється склад твердого розчину з підвищенням температури при нагріванні під істинне гартування:

а) збільшується концентрація розчиненого елемента в твердому розчині; б) зменшується концентрація розчиненого елемента в твердому розчині; в) не змінюється концентрація твердого розчину.

6. Вкажіть для яких з наведених сталей може проводитися поверхневе зміцнення цементацією:

а) 60, 65Г, 80; б) 10, 18ХГТ, 12ХН3А; в) 38Х2МЮА, 40ХНМ, 30Х2Н2МФА

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за

призначенням, вказати металеву основу: 7Х3ВМФС, АК12, 36Х18Н25С2, 40Х2Н2МА, ВТ8.

8. Запропонуйте та обґрунтуйте сплав високої питомої міцності для виготовлення методом литва корпусу компресора ГТД (тривала експлуатація при температурах 350...500°C). Вкажіть хімічний склад та структуру сплаву. Запропонуйте та обґрунтуйте вибір термічного оброблення. Опишіть характер зміни властивостей сплаву в залежності від температури.

#### Варіант №12

1. Наведіть діаграму стану залізо-цементи. Опишіть структурні складові залізо-вуглецевих сплавів.

2. Істинне гартування сплавів. Його призначення. Опишіть фазові перетворення, що відбуваються при істинному гартуванні. Вибір оптимальних температур нагрівання під гартування, часу нагрівання та швидкості охолодження.

3. Легувальні елементи в титанових сплавах та мета їх введення. Маркування та класифікація титанових сплавів. Опишіть термічне оброблення та наведіть приклади використання титанових сплавів.

4. Яка з наведених структур утворюється за бездифузійним механізмом при охолодженні сталі з температури вище  $A_{c1}$ ?

а) сорбіт, б) тростит, в) мартенсит

5. 12Х18Н10Т за структурою в рівноважному стані належить до

а) феритного класу, б) аустенітного класу, в) ледебуритного класу.

6. Вкажіть яка з наведених груп елементів складається з елементів  $\alpha$ -стабілізаторів (для титану)

а) Мо, W, Mn; б) Al, O, N; в) Sn, Zr, Hf.

7. Розшифрувати марки сплавів (вказати хімічний склад по марці, довідники не використовувати), класифікувати за призначенням, вказати металеву основу: 12Х18Н10Т, В96, ХН57МТВЮ, 38Х2МЮА, ВТ22.

8. Для виготовлення крильчатки компресора авіадвигуна використано сплав АК6. Опишіть умови експлуатації та обґрунтуйте вибір марки. Наведіть хімічний склад сплаву. До якої групи алюмінієвих сплавів належить цей сплав. Вкажіть термічне оброблення, механічні властивості та структуру сплаву після термооброблення. Поясніть механізм зміцнення сплаву при термообробленні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Конспект лекцій з дисципліни «Авіаційне матеріалознавство» для студентів спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», освітні програми «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок»/Укл.: О.В. Лисиця, Ю.І. Кононенко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 197 с.
2. Бялік О.М. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.Н. Москаленко. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2001. – 375 с.
3. Кольорові метали і сплави: навчальний посібник /В. Л. Грешта, О. В. Климов, О.В. Лисиця, Л. П. Степанова. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015. – 336 с.
4. Сталі та сплави з особливими властивостями: навчальний посібник / О. В. Климов, Ю.І. Кононенко, В. Л. Грешта. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 315 с.
5. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник /В.В. Попович, В.В. Попович. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
6. Пахолюк А.П. Основи матеріалознавства та конструкційних матеріалів: посібник / А.П. Пахолюк, О.А. Пахолюк. – Львів: Світ, 2005. – 172 с.
7. Матеріалознавство: [підручник] / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2007. – 440 с.
8. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Лахтин Ю.М.– М.: Металлургия, 1984. – 359 с.
9. Гуляев А.П. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия, 1986. – 360 с.
10. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. – М.: Машиностроение, 1990. – 527 с.
11. Материаловедение /Под ред. В.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
12. Натапов Б.С. Термическая обработка металлов: [учеб. пособие для вузов] / Натапов Б.С. – Киев: Вища школа, 1980. – 288 с.

13. Гольдштейн М.И. Специальные стали /Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. - М.: Metallургия, 1985. – 408с.

14. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы/Химушин Ф.Ф. – М.: Metallургия, 1969. – 752с.

## Додаток А

### Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт із дисципліни «Авіаційні матеріали» в лабораторіях кафедри фізичного матеріалознавства

1. Практична частина лабораторних робіт виконується студентами лише в присутності викладача або лаборанта.

2. Перед проведенням конкретних робіт за вказівкою викладача студенти повинні звернути увагу на небезпечні та шкідливі фактори.

3. При шліфуванні та поліруванні зразків необхідно користуватися окулярами для запобігання травмування очей.

4. Якщо при поліруванні зразок вирвано із рук, негайно відключити верстат від електричної мережі.

5. При травленні зразків у водних або спиртових розчинах лугів, солей, кислот остерігатись їх попадання на відкриту шкіру та очі. Якщо це трапилось, необхідно промити забруднені місця водою.

6. Після закінчення роботи та металографічному мікроскопі МІМ-7 вимкнути мікроскоп із електромережі, закрити чохлами та вимкнути головний рубильник.

7. При виконанні термічного оброблення зразків необхідно:

- забезпечити наявність гумового килимка на підлозі;
- використовувати рукавиці при завантаженні та вивантаженні зразків;
- завантажувати та вивантажувати зразки за допомогою кліщів і лише при відключеній від електричної мережі печі;
- дотримуватися правил пожежної безпеки при охолодженні зразків в оливi (зразки в оливу занурювати повністю; не здійснювати одночасне гартування великої маси зразків; в лабораторії обов'язково повинні бути справні первинні засоби пожежного гасіння).

8. По завершенні практичної частини лабораторної роботи необхідно відключити обладнання від електричної мережі; перевірити, щоб зразки після термічного оброблення були охолоджені до кімнатної температури, а заслінки печей були закритими.

9. У випадку загорання в лабораторії вжити заходи по його усуненню за допомогою первинних засобів пожежогасіння. Коли це не можливо, студенти повинні покинути лабораторію, а викладач зобов'язаний сповістити завідувача кафедри та адміністрацію і прийняти міри до ліквідації пожежі.

**Додаток Б**  
**Таблиця відповідності величин твердості,**  
**визначених різними методами**

HB, МПа	HRC	HRB
6445	62	-
5664	58	-
5439	56	-
5037	52	-
4518	48	-
4067	43	-
3450	38	-
3146	33	-
2430	24	-
2244	20	100
2029	18	95
1882	-	92
1705	-	89
1637	-	87
1558	-	85
1490	-	83
1401	-	80
1313	-	77