

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання комплексного курсового проєкту з дисципліни**  
**“Теорія і технологія термічної обробки”**  
**для студентів спеціальності**  
**132 “Матеріалознавство”**  
**усіх форм навчання**

Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проєкту з дисципліни “Теорія і технологія термічної обробки” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” усіх форм навчання /Укл.: О.В. Климов, І.М. Лазечний, Ю.І Кононенко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 34 с.

Укладачі: О.В. Климов, доцент, к.т.н.  
І.М. Лазечний, доцент, к.т.н.  
Ю.І. Кононенко, ст. викл.

Рецензент: В.С. Вініченко, доцент, к.т.н.

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

Рекомендовано  
до видання НМК інженерно-  
фізичного факультету  
Протокол № 5  
від 28 січня 2025 р.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Фізичне матеріалознавство”  
Протокол № 6  
від 22 січня 2025р.

**ЗМІСТ**

1. Мета і задачі комплексного курсового проекту.....	4
2. Завдання на комплексний курсовий проект.....	5
3. Організаційні вказівки.....	5
4. Методичні вказівки до виконання розділів комплексного курсового проекту.....	6
4.1. Характеристика та умови експлуатації виробів. Вимоги до матеріалів.....	6
4.2. Маршрутна технологія виготовлення виробів.....	8
4.3. Обґрунтування вибору матеріалів для виробів.....	11
4.4 Характеристика обраних матеріалів.....	12
4.5 Розробка режимів та технології термічної обробки.....	14
4.5.1 Обґрунтування вибору основних та допоміжних операцій технологічного процесу.....	16
4.5.2 Розробка схеми садки та визначення її маси.....	17
4.5.3 Розрахунок тривалості термічної обробки.....	18
4.5.4 Розробка технологічної карти.....	24
4.6 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.....	25
4.7 Техніка безпеки при термічній обробці металевих сплавів.....	27
5. Оформлення та захист комплексного курсового проекту.....	28
Література.....	30
Додаток А Приклади типових завдань до виконання комплексного курсового проекту.....	33

## **1 МЕТА І ЗАДАЧІ КОМПЛЕКСНОГО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ**

Мета даного комплексного курсового проєкту – отримання майбутніми фахівцями навичок у виборі матеріалів для виробів із урахуванням умов експлуатації та вимог до матеріалу, виконання аналізу можливих варіантів термічної обробки, розробці технології вибраної термічної обробки, виборі методів контролю якості виробів.

У процесі виконання комплексного курсового проєкту студенти розв'язують низку задач:

- на основі порівняння властивостей різних матеріалів та вимог до матеріалу виробу обґрунтовують вибір певного матеріалу;

- із використанням знань про технологічні можливості сучасного виробництва розробляють схему маршрутної технології виготовлення виробу, ураховуючи при цьому її вплив на властивості виробу та роль термічної обробки;

- детально і всебічно аналізують вибраний матеріал, його технологічні, механічні, експлуатаційні властивості, роль усіх компонентів, що входять до його хімічного складу;

- на основі вивчення довідникової, науково-технічної, навчальної літератури обґрунтовано вибирають технологію термічної обробки (попередньої, основної, додаткової);

- розробляють технологічну карту термічної обробки і обирають необхідні параметри операцій та засоби контролю якості виробів при термічній обробці (інструменти, пристосування, прилади, обладнання)<sup>4</sup>

- пропонують заходи щодо дотримання техніки безпеки при проведенні термічної обробки металевих виробів.

## **2 ЗАВДАННЯ НА КОМПЛЕКСНИЙ КУРСОВИЙ ПРОЄКТ**

Завдання на комплексний курсовий проєкт заповнюється на спеціальному бланкові, в котрому зазначаються:

- тема комплексного курсового проєкту;
- термін здачі студентом закінченого проєкту;
- вхідні дані до комплексного курсового проєкту;
- зміст розрахунково-пояснювальної записки;
- перелік графічного матеріалу;
- дата видачі завдання.

Завдання – це основний документ, на підставі якого студенти виконують комплексний курсовий проєкт. Крім теми проєкту досить важливими є вхідні дані, які включають до свого складу умови експлуатації виробів (температура, тиск, тривалість експлуатації, робоче середовище тощо), а також вимоги до матеріалу виробів.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки буде розглянуто у розділі 4, обсяг записки не більше 50 с., у графічному матеріалі комплексного курсового проєкту (два аркуша формату А1) наводиться інформація щодо обґрунтування вибору матеріалу, робоче креслення або ескіз виробу, вплив термічної обробки на властивості обраного матеріалу, графік термічної обробки; вплив легувальних елементів на термічну обробку, структуру та властивості обраного матеріалу.

## **3 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ**

Своєчасне виконання та успішний захист комплексного курсового проєкту залежить від багатьох складових і в першу чергу від ритмічності роботи студента. На звороті завдання на комплексний курсовий проєкт наводиться календарний план його виконання, де вказуються термін виконання окремих етапів курсового проєкту (розділів пояснювальної записки, листів графічної частини). Календарний план підписують керівник комплексного курсового проєкту та студент. Дотримання календарного плану студентом є обов'язковим.

## **4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КОМПЛЕКСНОГО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ**

### **4.1 Характеристика та умови експлуатації виробів. Вимоги до матеріалів**

Перш за все необхідно навести робоче креслення (ескіз) виробу, технічні вимоги до матеріалу та виробу. Основну увагу необхідно приділити призначенню виробу та умовам його експлуатації. Навести дані про те, у якому вузлі (механізмі) розташований виріб, із якими виробами при експлуатації він контактує, характер та умови взаємодії. Охарактеризувати матеріали та властивості виробів, що контактують.

Умови експлуатації виробів у визначальній мірі впливають на вибір матеріалу і технології термічної обробки, тому необхідно описати:

- напруження, що діють у виробках (статичні, динамічні, знакозмінні, зрізу, циклічнозмінні, нормальні, дотичні, контактні тощо). При наявності даних навести величину напружень у виробках, при відсутності – розрахувати, використавши дані про зусилля, частоту обертання, моменти, що діють на вироби;

- характер напруженого стану (лінійний, плоский, об'ємний) та зусиль, що діють на вироби (рівномірно розподілені, зосереджені, нерівномірно розподілені за поперечним перерізом тощо);

- температурно-часові параметри процесу експлуатації (наприклад, температура постійна кімнатна, температура атмосферного повітря, температура нижче 0°C, температура підвищена, висока, циклічно змінна (300→600→300°C тощо));

- робоче середовище (повітря, мінеральні мастила, пари води або мастил, електроліти, водні розчини мінеральних або органічних речовин, газу, продукти горіння палива, мастильно-охолоджувальні рідини тощо);

- тривалість експлуатації (ресурс роботи) виробів (в годинах, циклах навантаження, циклах зміни температури) без втрати експлуатаційних показників;

- характер зношення (абразивне, від схоплювання або адгезії, корозійне, корозійно-ерозійне, кавітаційне, від контактної втоми, корозійно-абразивне тощо);

- основні види та характер руйнування виробів, можливі причини дострокового виходу виробів із ладу;

- наслідки аварійного виходу виробів із ладу (катастрофа об'єкту; втрата часу на заміну та налагодження; руйнування вузла або конструкцій; порушення нормальної роботи механізму або машини).

Виконати аналіз форми, геометрії та розмірів виробів, підкреслити наявність (відсутність) концентраторів напружень, ділянок із різними товщинами та площею поперечного перерізу, їх вплив на процеси нагрівання та охолодження виробів, перепад температур, рівень термічних напружень, жолоблення виробів.

Проаналізувати технічні вимоги до виробів та матеріалів, від яких суттєво залежить вибір матеріалу та технології термічної обробки. При цьому необхідно:

- проаналізувати технологічні методи виготовлення заготовок виробів;

- проаналізувати вимоги до властивостей матеріалів;

- звернути увагу на наявність на робочих кресленнях виробів: різниці у властивостях серцевини та поверхневого шару; різниці в твердості різних ділянок; використання різних матеріалів при виготовленні одного виробу; необхідність використання методів локальної поверхневої обробки тощо.

На основі аналізу умов експлуатації виробів, можливих причин дострокового виходу виробів із ладу, вимог до матеріалу, вибирається група матеріалів (наприклад, сталі конструкційні поліпшувальні, сталі конструкційні ресорно-пружинні, сталі інструментальні штампів для деформування гарячих заготовок, сталі інструментальні швидкорізальні тощо), яка в найбільш повній мірі забезпечить надійність, довговічність, працездатність, конструкційну міцність виробів.

## 4.2 Маршрутна технологія виготовлення виробів

Технологія виготовлення виробів на машинобудівних, інструментальних, спеціальних заготівельних підприємствах являє собою логічну послідовність технологічних операцій, виконання яких дозволяє отримати якісні вироби із відповідними характеристиками та властивостями матеріалу.

Для забезпечення в наступних розділах комплексного курсового проєкту вибору матеріалу для заданих виробів (деталей або інструментів), розробки технології виготовлення виробів, їх термічної обробки, необхідно користуватись робочими кресленнями виробів, даними щодо їх форми, розмірів, маси і основними вимогами до властивостей матеріалів.

Із урахуванням умов експлуатації виробів, на основі довідникових даних по аналогічній групі виробів та групі матеріалів, необхідно скласти вимоги до макро- та мікроструктури, що забезпечать необхідний комплекс властивостей. Наприклад, якщо мова йде про вал редуктора, то відомо, що для його виготовлення використовують прокат або ковани заготовки із термічно поліпшувальних сталей 30, 30Х, 30ХГС, 45, 40Х, 40ХН тощо, макроструктура – волокно паралельне поздовжній осі, а мікроструктура – сорбіт відпускання.

На основі цих вхідних даних необхідно вирішити одне із основних питань маршрутної технології – обрати ефективний метод виготовлення заготовки виробу (литтям, зварюванням, гарячою прокаткою, куванням, штампуванням), потім запропонувати вид термічної обробки, що забезпечить отримання необхідних макро- та мікроструктури, властивостей матеріалу.

Зрозуміло, що при виготовленні виробів вони можуть піддаватися термічній обробці декілька разів. В цьому випадку в маршрутній технології передбачається попередня, основна та додаткова термічна обробка. Так, наприклад, при виготовленні зубчастих коліс зі сталі 12Х2Н4А із штамповок заготовки проходять попереднє відпалення, хіміко-термічну і термічну обробку та додаткове низькотемпературне відпускання для зняття напружень після шліфування.

Маршрутна технологія являє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та властивостей. В розробці маршрутної технології беруть участь фахівці тих цехів, в яких відбувається обробка даного виробу. Вона може включати десятки операцій. Ураховуючи це, в комплексному курсовому проєкті необхідно розробити спрощену маршрутну технологію, тобто схему маршрутної технології. Як приклад в табл. 4.1 наведено схему маршрутної технології виготовлення зубчастих коліс зі сталі 12X2H4A.

Таблиця 4.1 – Схема маршрутної технології виготовлення зубчастих коліс зі сталі 12X2H4A

<b>№ п/п</b>	<b>Назва операції (комплексу операцій)</b>	<b>Цех (дільниця) де виконується операція</b>	<b>Призначення операції</b>
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів гарячекатаного прокату
2	Заготівельна	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Отримання заготовок із прокату для наступного штампування
3	Штампування	Ковальський цех	Надання необхідної форми, розмірів та створення сприятливої макроструктури
4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Структурна перекристалізація із метою усунення перегрівання, зниження твердості, поліпшення оброблення

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
			різанням, підготовка мікроструктури до наступної термічної обробки (відпалення; нормалізація; нормалізація + високотемпературне відпускання)
5	Механічне оброблення	Механічний цех	Надання деталі необхідних форм та розмірів
6	Міднення	Гальванічне відділення термічного цеху	Створення на неробочих поверхнях виробу захисного (від цементациї) мідного покриття
7	Основна хіміко-термічна обробка	Термічний цех	Отримання заданих робочим кресленням глибини шару, твердості поверхонь та серцевини, виконання вимог щодо геометричних характеристик (цементация + наступна термічна обробка)
8	Знеміднення	Гальванічне відділення термічного цеху	Вилучення захисного мідного покриття із поверхні виробів
9	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
10	Додаткова термічна обробка	Термічна дільниця механічного цеху	Зменшення рівня залишкових напружень, наведених шліфуванням (низькотемпературне відпускання)

### 4.3 Обґрунтування вибору матеріалів для виробів

До основних вхідних даних при виборі матеріалів для виробів відносяться:

- умови роботи виробів та вимоги до матеріалів;
- група матеріалів, яку обрано в підрозділі «Характеристика та умови експлуатації виробів. Вимоги до матеріалів»;
- типові групи виробів, до яких відносяться вироби, що піддаються термічній обробці (наприклад, вали, штампи гарячого деформування, зубчасті колеса, свердла, штампи холодного деформування, втулки, кулачкові вали, вальниці, пружини, вимірювальний інструмент, різальний інструмент тощо);
- класифікація конструкційних та інструментальних матеріалів за призначенням.

Вибір конкретного матеріалу здійснюється на основі порівняння 3...4 матеріалів, із урахуванням вимог до основних властивостей та маршрутної технології. Наприклад, втулка, що працює в умовах абразивного зношення, може бути виготовлена зі сталей 15X, 30X2MЮА або 40ХН і поверхнево зміцнена цементацією, азотуванням чи гартуванням після нагрівання СВЧ відповідно. Зубчасті колеса в залежності від контактних напружень, напружень згину, динамічного навантаження, виду тертя, температури експлуатації виготовляються із поліпшуваних, цементовних (нітроцементовних), азотованих сталей. Тому при виборі матеріалу виробу необхідно привести результати аналітичного огляду щодо рекомендацій відносно матеріалів цієї групи виробів. ***У виді таблиць навести дані про хімічний склад, властивості, рекомендовані режими термічної (хіміко-термічної) обробки.***

Необхідно розглянути технологічні властивості обраних матеріалів (загартуваність, прогартуваність, зварюваність, можливість деформування у холодному та гарячому стані, оброблюваність різанням, схильність до росту зерна аустеніту та знеуглецювання, стійкість високотемпературної фази при охолодженні, критична швидкість охолодження тощо), стабільність



Таблиця 4.3 – Властивості матеріалів (ГОСТ, ТУ, ДСТУ)

Матеріал	Властивості в стані постачання				Типовий режим ТО	Властивості після ТО			

Ретельно аналізується вплив компонентів (в межах марочного складу) на структуру, механічні, фізико-хімічні, технологічні та експлуатаційні властивості матеріалу, надійність та довговічність виробу. Наприклад, в сталі 08X18T1 розглядається вплив хрому на температуру критичних точок  $A_3$  та  $A_4$ , фазовий склад, корозійну стійкість, електрохімічний потенціал заліза, жаростійкість, властивості фериту. В сталі 40X аналізується вплив хрому на прогартовуваність та загартовуваність, здатність до росту аустенітного зерна, на температури  $A_1$  та  $A_3$ , стійкість переохолодженого аустеніту, температури гартування та відпускання, на твердорозчинне і карбідне зміцнення, відпускну крихкість.

Наводяться політермічні діаграми стану відповідних сплавів і на їх підставі розглядаються структурні перетворення при термічній обробці. Для прогнозування структури та властивостей матеріалу використовуються діаграми ізотермічного та термокінетичного перетворення високотемпературних твердих розчинів. Вказується, до якого структурного класу відноситься матеріал в рівноваговому та нормалізованому станах.

Для подальшої розробки режимів та технології термічної обробки навести дані про критичні точки. З урахуванням того, що в окремих вузлах механізмів необхідно зберігати постійними зазори в широкому інтервалі експлуатаційних температур (наприклад, у вузлах опор, в компресорі та турбіні ГТД), навести для матеріалів цих виробів довідникові дані про значення коефіцієнтів лінійного термічного розширення матеріалів, що контактують. Оскільки вхідними даними до вибору режимів термічної обробки є інформація про властивості матеріалу після різних варіантів термічної обробки, бажано навести довідникові дані про вплив, наприклад, температури гартування на розмір аустенітного зерна, кількість залишкового аустеніту, твердість сталей, стійкість мартенситу до відпускання і таке інше. Корисними будуть відомості про вплив на структуру та

властивості матеріалів різних методів перероблення, таких як мікролегування, порошкова металургія, спрямована кристалізація, поверхнева пластична деформація, дифузійні покриття і таке інше.

#### **4.5 Розробка режимів та технології термічної обробки**

Термічна обробка металів та сплавів являє собою сукупність технологічних операцій, що пов'язані із нагріванням, витримкою та охолодженням. Технологічний процес термічної обробки – це сукупність послідовно або водночас виконуваних технологічних операцій (основних, допоміжних та додаткових).

Технологія термічної та хіміко-термічної обробки – складова частина технологічного процесу виготовлення металевого виробу, яка забезпечує отримання необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей, якості цього виробу тощо.

##### **Розробка технології ТО та ХТО складається з наступних етапів:**

*а) вибір основних та допоміжних операцій технологічного процесу:*

— до основних операцій слід відносити відпалення, нормалізацію, гартування, відпускання, старіння, обробку холодом, а також будь-які різновиди поверхневого зміцнення (ХТО, гартування після нагрівання СВЧ, плазмового та лазерного нагрівання);

— до допоміжних операцій слід віднести: промивання виробів від мастил, солей; очищення поверхні від окалини (травлення, гідроабразивне, дробоструменеве очищення, галтування виробів); захист окремих поверхонь виробів, які не повинні піддаватись ХТО; рихтування; поверхневу пластичну деформацію; контрольні операції.

*б) розробка режимів основних та допоміжних операцій ТО:*

— вибір температур нагрівання і розрахунок часу нагрівання, витримки та охолодження для основних операцій ТО;

— вибір складу робочого середовища для нагрівання, насичення, охолодження; визначення витрат робочого середовища;

— визначення режимів допоміжних операцій очищення (травлення, гідро-, піскоструменеве очищення і таке інше), вибір складу робочих середовищ, температури та часу очищення.

*в) розробка засобів виконання технологічних операцій для забезпечення якості виробів, що обробляються:*

— нагрівання виробів в захисній атмосфері для запобігання окислення та знеуглецювання поверхні. При цьому слід враховувати, що використання захисних атмосфер (екзо-, ендогаз, вакуум, середовища інертних газів і таке інше) дозволяє виключити операції очищення, забезпечує економію матеріалів, зменшує енергетичні витрати, підвищує культуру виробництва;

— використання пристосувань при охолодженні виробів (штампи, оправки), пресів, машин, які зменшують короблення виробів.

*г) вибір основного та допоміжного обладнання, засобів механізації, необхідного оснащення та приладів. Ці засоби забезпечують точність дотримування заданих режимів, сприяють підвищенню продуктивності та зменшенню витрат робочого часу.*

*д) розробка контрольних операцій.* Рациональне використання цих операцій дозволяє попередити появу браку і надає можливість оцінити якість продукції, що обробляється. При цьому особливу увагу слід надавати наступним різновидам контролю:

— контроль технологічних параметрів, до яких слід віднести тривалість та температуру окремих операцій, склад атмосфери для захисту та для насичення поверхневого шару, склад соляної ванни, температуру олії для гартування і таке інше;

— контроль макро- та мікроструктури виробів, визначення розмірів зерен за зламом або за мікроструктурою, розташування карбідної фази, наявність карбідної неоднорідності, глибини насичення після ХТО або знеуглецювання і таке інше;

— контроль властивостей на будь-яких етапах технологічного перероблення (частіше за все контролюють твердість HB, HV, HRC);

— контроль розмірів та геометрії виробу, зовнішнього стану на наявність тріщин та інших поверхневих дефектів.

Під час виконання термічної обробки необхідно дотримуватись маршрутної технології, яка оформлюється у вигляді технологічної карти.

#### **4.5.1 Обґрунтування вибору основних та допоміжних операцій технологічного процесу**

Вибір основних операцій ТО необхідно здійснювати таким чином, щоб технологія була високопродуктивною, забезпечувала б найбільш раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів і головне – високу якість продукції. Так наприклад, використання нітроцементациї як заміника газової цементациї дозволяє зменшити тривалість процесу приблизно в 1,5 рази, оскільки необхідні властивості виробу забезпечуються при глибині нітроцементованого шару 0,5...0,7 мм (цементованого 0,8...1,2 мм). Крім того, температура нітроцементациї 820...870°C, а цементациї – 930...950°C. Як наслідок, нагрівання до понижених температур при нітроцементациї дозволяє отримати дрібніше зерно аустеніту, що сприяє підвищенню міцності, в'язкості та зносостійкості виробу.

Гартування після індукційного нагрівання СВЧ є високопродуктивною операцією ТО порівняно із об'ємним гартуванням, оскільки тривалість нагрівання складає 5...10 с. При цьому короткотривале нагрівання забезпечує високу якість поверхні внаслідок запобігання окисленню, знеуглецюванню та завдяки мінімальних деформації і короблення виробу.

Використання сучасних методів поверхневого зміцнення – вакуумної цементациї та іонного азотування збільшує продуктивність в декілька разів порівняно із газовою цементациєю та азотуванням.

Після вибору основних операцій ТО або ХТО, необхідно обґрунтувати їх режими нагрівання та охолодження.

Режим термічної обробки складається з наступних параметрів: швидкість нагрівання, температура нагрівання, час витримки та швидкість охолодження. За цими даними будуються графіки ТО та ХТО в координатах “температура – час”. При правильному виборі основних параметрів режиму ТО або ХТО забезпечується отримання

необхідної структури, властивостей та якості виробів при відповідній операції (відпаленні, гартуванні, відпусканні і таке інше).

При виборі швидкості нагрівання необхідно враховувати, що повільно необхідно нагрівати вироби з високолегованих сталей внаслідок їх низької теплопровідності. Це також стосується виливок, поковок з нерівноваговою структурою, великим зерном аустеніту та наявністю в них підвищених внутрішніх напружень, ліквіації і т.ін.

При виборі температури нагрівання перш за все слід враховувати температури критичних точок ( $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_{cm}$ ), а також температури, які пропонуються в довідниках для певної операції термічної обробки матеріалу. Це надає можливість обґрунтовано пояснити особливості перетворень в матеріалі при його нагріванні та спрогнозувати вплив цих перетворень на кінцеву структуру та властивості після охолодження.

Швидкість охолодження, а також температури і час ізотермічних витримок при відпаленні, сходинковому та ізотермічному гартуванні обираються на підставі ізотермічних та термокінетичних діаграм перетворення аустеніту для окремих марок сталі [16].

Обрані основні операції ТО або ХТО ретельно описують: вказують вихідну структуру матеріалу, перетворення в матеріалі при нагріванні, витримці та охолодженні; характеризують отриману структуру.

#### **4.5.2 Розробка схеми садки та визначення її маси**

До складу технологічних карт обов'язково входять дані щодо кількості виробів, піддонів, технологічних пристосувань, що одночасно завантажуються у піч або інше устаткування.

Висунуті питання вирішуються після вибору обладнання та отримання даних щодо розмірів робочого простору. Далі розробляється схема розташування виробів (схема садки), яка буде забезпечувати високу якість термічної обробки. Необхідно пам'ятати, що схема розташування виробів, кількість виробів у садці, маса садки, площа поверхні теплообміну безпосередньо впливають на тривалість нагрівання.

### 4.5.3 Розрахунок тривалості термічної обробки

При розрахунку часу нагрівання необхідно враховувати, що вироби в нагрівальні пристрої завантажуються садками (в пристроях періодичної дії) або партіями (в пристроях безперервної дії).

Загальна тривалість операції  $\tau_{\text{заг.}}$ , хв., визначається за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{техн}} + \tau_{\text{ох}} + \tau_{\text{зв}},$$

де,  $\tau_{\text{н}}$  – час нагрівання до заданої температури, хв.;

$\tau_{\text{в}}$  – час витримки для прогрівання, хв.;

$\tau_{\text{техн}}$  – час витримки при технологічній температурі, хв.;

$\tau_{\text{ох}}$  – час охолодження в обраному середовищі, хв.;

$\tau_{\text{зв}}$  – час на завантаження чи вивантаження садки, хв.

Для визначення часу нагрівання  $\tau_{\text{н}}$ , можна використовувати методику приблизного розрахунку. Ця методика базується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма і т.ін.) при нескладному їх розташуванні в один або декілька шарів з забезпеченням певних відстаней між виробами і без урахування негативної дії нерухомих прошарок нагрівального середовища. Тоді тривалість нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}}$$

де  $S$  – характеристичний розмір виробу (радіус кулі, циліндру, найменше ребро призми і т.ін.), мм;

$k$  – коефіцієнт форми (табл. 4.4);

$f$  – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв. (табл. 4.5);

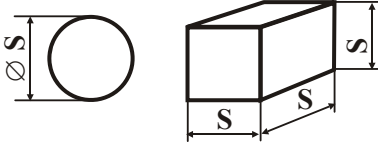
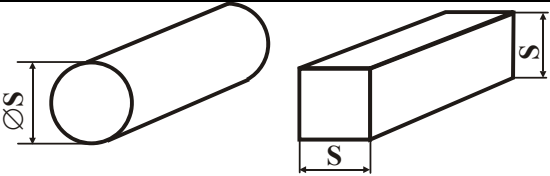
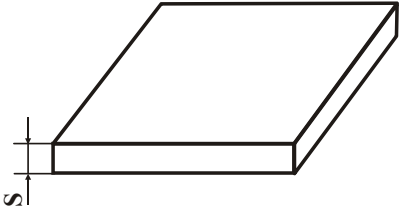
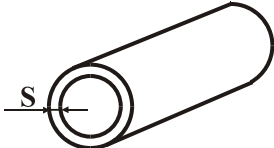
$L_{\text{л}}$  – коефіцієнт легування сталі (табл. 4.6), хв/мм.

Час витримки  $\tau_{\text{в}}$ , хв., при заданій температурі можна вважати таким, що дорівнює часу, який отримується з розрахунку 1 хв/мм умовного перетину для вуглецевих сталей, і 1,5...2 хв/мм – для легованих сталей, за умовою їх нагрівання в електричних або паливних пристроях при відпаленні, нормалізації, гартуванні. Час

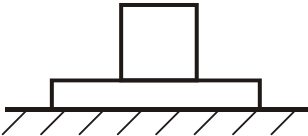
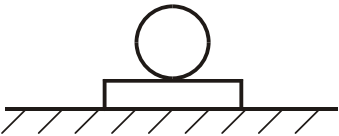
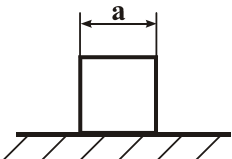
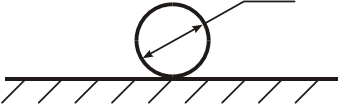
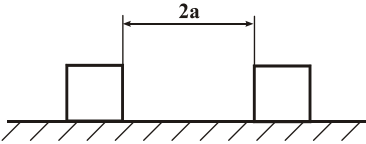
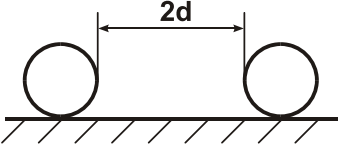
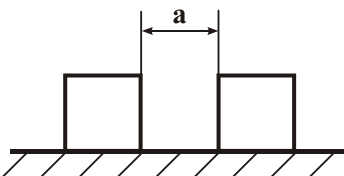
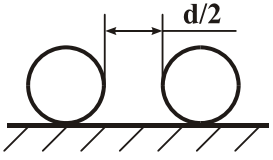
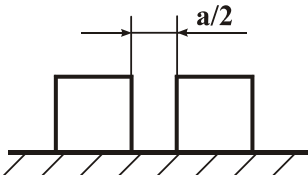
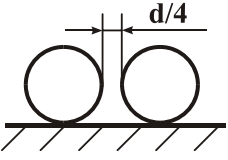
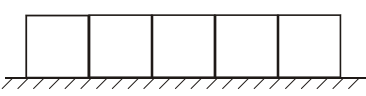
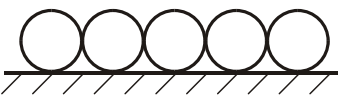
витримки при здійсненні основних операцій термічної або хіміко-термічної обробки визначається також для певного перерізу виробу, з використанням таблиць 4.7-4.11.

Час охолодження  $\tau_{ох}$  визначається обраним середовищем, тобто швидкістю охолодження, яка повинна бути достатньою для проходження в сплаві необхідних перетворень, але не занадто високою для запобігання небезпечних термічних та фазових напружень, які можуть викликати розтріскування або деформацію.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнт форми  $k$  різних виробів

Вид виробу	Коефіцієнт форми $k$
1	2
	0,75
	1,0
	2,0
	<p>4 – для довгих труб або труб глухих;</p> <p>2 – для коротких відкритих труб</p>

Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнта розташування  $f$  в залежності від форми виробів і їх розташування в печі

Форма і розташування виробів	$f$	Форма і розташування виробів	$f$
1	2	3	4
	1,0		1,0
	1,4		1,0
	1,8		1,3
	2,0		1,4
	2,2		1,7
	4,0		2,0

Таблиця 4.6 – Значення коефіцієнта легування  $L_L$  в залежності від ступеню легування сталі, температури нагрівання виробів і типу печі

Матеріал	Температура нагрівання, °С		
	600	850	1200
<b>Камерні печі</b>			
Конструкційна сталь:			
– нелегована	2,05(1,70)	0,80(0,70)	-
– легована	2,15(1,80)	0,96(0,80)	-
Інструментальна сталь:			
– нелегована	2,05(1,70)	0,80(0,70)	-
– середньолегована	2,35(1,95)	1,30(1,10)	-
– високолегована	2,35(1,95)	1,44(1,20)	0,27(0,22)
Швидкорізальна сталь	2,70(2,25)	1,72(1,35)	0,54(0,45)
<b>Печі-ванни</b>			
Конструкційна сталь:			
– нелегована	0,35	0,33	-
– легована	0,45	0,43	-
Інструментальна сталь:			
– нелегована	0,35	0,33	-
– середньолегована	0,45	0,43	-
– високолегована	0,48	0,45	0,11
Швидкорізальна сталь	0,50	0,47	0,18

Примітка. Без дужок – печі електричні, в дужках – печі паливні.

Таблиця 4.7 – Тривалість витримки виробів в електричних печах

Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.				Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.			
	При гартуванні	При відпусканні, °С				При гартуванні	При відпусканні, °С		
		до 300	300-400	вище 400			до 300	300-400	вище 400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	20	140	40	30	65	65	185	85	75

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	25	145	45	35	70	70	190	90	80
30	30	150	50	40	75	75	195	95	85
35	35	155	55	45	80	80	200	100	90
40	40	160	60	50	85	85	205	105	95
45	45	165	65	55	90	90	210	110	100
50	50	170	70	60	95	95	215	115	105
55	55	175	75	65	100	100	220	120	110
60	60	180	80	70					

Примітка. Час перебування визначено із розрахунків: при гартуванні 1 хв. на 1 мм товщини; при відпусканні до 300°C – 2 год. + 1 хв. на 1мм товщини; при відпусканні (300...400) °C – 20 хв. + 1 хв. на 1 мм товщини; при відпусканні вище 400°C – 10 хв. + 1 хв. на 1 мм умовної товщини.

Таблиця 4.8 – Тривалість витримки виробів в печах-ваннах

Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.			Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.				
	При гартуванні	При відпусканні, °C			При гартуванні	При відпусканні, °C			
		до 300	300-400			вище 400	до 300	300-400	вище 400
5	4	120	15-20	5	30	13	120	13-25	15
7	5			6	35	14			17
10	6			7	40	16			19
15	8			9	45	18			21
20	9			11	50	21			23
25	11			13					

Примітка. Час визначено із розрахунків: при гартуванні – 2,5 хв. + 0,3 хв. на 1 мм товщини виробу; при відпусканні вище 400°C – 3 хв. + 0,4 хв. на 1 мм товщини виробу.

Таблиця 4.9 – Тривалість цементації у твердому карбюризаторі при температурі 910...930°C в залежності від глибини шару і розмірів цементаційних ящиків

Мінімальний розмір ящика, мм	Загальна тривалість процесу, год., при глибині шару, мм			
	0,5...0,7	0,7...0,9	0,9...1,2	1,2...1,5
100	4,0...6,0	5,0...6,0	6,0...7,5	7,5...9,0
150	4,5...6,5	5,5...6,5	6,5...8,5	9,0...11,0
200	5,5...7,5	6,5...7,5	7,5...9,5	10,0...12,0
250	6,5...7,5	7,5...8,5	8,5...10,5	11,0...14,0

Примітка. Ящики завантажуються у розігріту піч.

Таблиця 4.10 – Тривалість газової цементації в шахтних печах при температурі 930°C в залежності від глибини шару та карбюризатора

Глибина шару, мм	Тривалість цементації, год., в карбюризаторах		
	Піробензол	Гас	Синтин
0,5...0,7	3...4	3...4	2...3
0,7...1,0	4...6	5...7	3...4
1,0...1,3	6...8	7...9	5...6
1,3...1,6	8...10	9...11	6...8
1,6...1,9	10...14	11...15	9...12

Таблиця 4.11 – Середні швидкості газової цементації вуглецевих сталей в залежності від температури цементації та глибини шару

Глибина шару, мм	Середня швидкість цементації, мм/год., при t, °C				
	900	925	950	975	1000
до 0,50	0,22	0,27	0,37	-	-
0,50...1,00	0,15	0,20	0,27	0,37	0,47
1,00...1,50	0,10	0,15	0,20	0,27	0,37
1,50...2,00	0,10	0,12	0,15	0,70	0,27
2,00...2,50	0,07	0,10	0,12	0,15	0,20

Примітка. Середня швидкість цементації легованих сталей нижче ніж вуглецевих в 1,1...1,5 рази в залежності від рівня легування.

#### 4.5.4 Розробка технологічної карти

Крім основних операцій термічної обробки в технології повинні передбачатись допоміжні та контрольні операції, які також впливають на властивості та якість продукції. При цьому необхідно визначити після яких основних операцій найбільш доцільно здійснювати допоміжні (промивати або очищати вироби від окалини) та контрольні операції (контроль властивостей та структури).

Таким чином, під час виконання термічної обробки необхідно дотримуватись маршрутної технології, яка оформлюється у вигляді технологічної карти. Технологічні карти складаються або на певні різновиди виробів або на певні технологічні процеси для заданої номенклатури виробів.

До технологічної карти повинні входити наступні дані: основні операції ТО з наданням інформації про режими нагрівання та охолодження, про склад середовищ, температуру та час витримки; допоміжні операції (промивання, очищення, правка); основне та допоміжне обладнання, а також пристосування, за допомогою яких виконуються основні та допоміжні операції; методи контролю якості виробів.

Технологічна карта на ТО певного різновиду виробів надається у виді таблиці 4.12.

При описанні карти та графіка термічної обробки необхідно висвітлити сутність фазових та структурних перетворень, роль легувальних елементів, привести схеми або світліни мікроструктур на різних стадіях обробки, охарактеризувати кінцеві структуру та властивості матеріалу.

Таблиця 4.12 – Карта технологічного процесу термічної обробки

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Твердість		Структура
			Робоча частина			
			Хвостова частина			
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С; час, хв., середовище та його витрати	Режим охолодження: середовище, його температура; склад; витрати; тривалість, хв..	Назва пристосування, кількість, шт.	Умови обробки та контролю

Примітка:

1. Назва пристосування: піддон, корзина, прес і т.ін.
2. В колонці “Умови обробки”, наприклад, позначається, що операція промивання виробу здійснюється в 10%-ному водному розчині певної речовини; охолодження при гартуванні “розплавлені луги, потім повітря” і т. ін.

#### 4.6 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів

Гарантований рівень та високу якість готової продукції при мінімальних матеріальних та енергетичних витратах можна забезпечити раціональною технологією термічної обробки, контролем дотримування основних технологічних параметрів процесів на всіх стадіях перероблення з максимальним використанням засобів неруйнівного контролю. Необхідно ретельно вибирати засоби контролю, а також визначати періодичність його здійснення.

Під час контролю температурних режимів за допомогою спеціальних приладів, необхідно позначити інтервал часу, через який здійснюється фіксація показників цих приладів. Періодичному контролю також підлягає порядок розташування виробів при їх

завантаженні, рівномірність прогрівання садки, якість ізоляції та стан поверхні під час ХТО, склад атмосфери, температура рідини для гартування, в'язкість олії для гартування тощо.

Технічний контроль повинен передбачати перевірку якості термічної обробки виробів; кожний різновид такого контролю необхідно ретельно описувати. При цьому вказують засіб здійснення операцій контролю, надають ескізи, обумовлюють глибину зачищення при контролі твердості, вказують місце контролю на ескізі виробу або на зразках-свідках.

Контроль мікроструктури розробляється для окремих груп виробів, які виготовляються з різноманітних марок сталей і піддаються декільком режимам термічної обробки.

В деталях, які підлягають ХТО, визначають, перш за все, глибину шару насичення, а також контролюють структуру на присутність в поверхневому шарі карбідної сітки, розміру і місця виділення карбідних включень, наявність аустеніту залишкового, тощо. В деталях після нітроцементації додатково оцінюють якість виробу за наявністю “темної складової”, яка вказує на невипраний брак виробу і т. ін.

У виробках, що підлягають гартуванню з індукційного нагрівання, контролюють глибину шару, на яку здійснюється гартування, та структуру шару, на наявність феритної складової в ньому. Крім того, визначається вид мартенситу. Наявність крупногочастотної структури мартенситу буде свідчити про перегрівання під час нагрівання.

Необхідно вживати профілактичних заходів для запобігання утворення браку. З цією метою аналізують можливі різновиди браку як виправного, так і невиправного на всіх стадіях термічної обробки. Описують засоби виправлення браку, а також заходи щодо його попередження. Описова частина цього питання завершується складанням таблиці, в якій послідовно викладаються види дефектів виробів, причини їх виникнення та заходи по запобіганню появи та усуненню дефектів на усіх технологічних операціях.

#### 4.7 Техніка безпеки при термічній обробці металевих сплавів

При проведенні процесів термічної та хіміко-термічної обробки необхідно передбачити міри захисту робітників від впливу небезпечних виробничих факторів. Працюючі повинні використовувати засоби індивідуального захисту. Всі робітники проходять інструктаж щодо техніки безпеки праці.

З метою контролю процесів підготування виробів до термічної обробки, контролю та регулювання параметрів термічної обробки металів (температури, тиску в робочому просторі печі, вмісту компонентів в газовому середовищі тощо) необхідно використовувати блокування, а також засоби світлової та звукової сигналізації при порушеннях технологічного процесу, що можуть призвести до виникнення аварійної ситуації.

Нагріті в процесі термічної обробки вироби необхідно розміщувати в місцях, що обладнані ефективною витяжною вентиляцією або в спеціально обладнаних охолоджувальних приміщеннях чи устроях. Приміщення термічних цехів повинні бути оснащені вибухозахищеною витяжною вентиляцією, а також контрольно-вимірювальними приладами для контролю рівнів безпеки небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при даному процесі.

При термічній обробці металів необхідно застосовувати пожежонебезпечні рідини та матеріали. Отруйні солі для термічної обробки необхідно використовувати в гранульованому вигляді.

При проведенні термічної або хіміко-термічної обробки необхідно дотримуватися правил щодо обслуговування печей, які працюють на газовому паливі та з електричним нагріванням: включені в роботу печі не можна залишати без нагляду; несправні печі експлуатувати забороняється.

*Печі, що працюють на газовому паливі.* При роботі на них необхідно дотримуватися таких правил: газові горілки необхідно запалювати почергово; якщо при пуску печі горілка згасла, перед її повторним запаленням необхідно топку та димохід ретельно провентилювати; при проскакуванні полум'я необхідно вимкнути газову горілку та усунути причину несправності; при припиненні подачі газу необхідно негайно перекрити відповідні вимикаючі устрої.

При обслуговуванні *електричних печей* велику увагу необхідно приділяти виконанню правил електробезпеки. Всі струмопровідні частини повинні бути ізольовані та огорожені; огороження та інші неструмопровідні частини повинні бути заземлені; електричні печі повинні мати блокування для автоматичного вимикання нагрівальних елементів при відкриванні дверцят печі; пристосування для перенесення нагрітих виробів (кліщі тощо) повинні відповідати розміру та профілю таких виробів.

В *печі-ванни* необхідно завантажувати лише просушені солі. Рівень розплавлених солей не повинен перевищувати 3/4 висоти ванни. Плівка та шлаки з ванни повинні видалятися через кожні 2-3 години за допомогою спеціальних сухих ківшів з отворами. В ванни необхідно завантажувати лише зовсім сухі деталі. Для зменшення окислення та випаровування розплавлених солей дзеркало ванни треба покривати захисним шаром (наприклад, шаром сріблястого графіту). Робота на печах-ваннах проводиться обов'язково в очках та рукавицях.

*Масляні гартувальні ванни* необхідно обладнувати спеціальними спускними кранами для відведення води у випадку її потрапляння у ванну. Максимальна температура нагрівання масла не повинна перевищувати 80-85°C; гартівні масла повинні мати температуру спалахування не нижче 170°C. Гартівні ванни повинні бути обладнанні щільними кришками, щоби у випадку пожежі можна було б терміново закрити ванну та припинити доступ повітря до палаючого масла. Ванни повинні бути обладнанні місцевою витяжною вентиляцією.

При роботі *на устаткуваннях для глибокого охолодження* необхідно ретельно знежирити та просушити вироби, що підлягають обробці холодом.

## **5 ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТ КОМПЛЕКСНОГО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ**

Комплексний курсовий проєкт складається із пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини (ГЧ).

До складу ПЗ входять:

- титульний лист (бланк);

- завдання (бланк);
- календарний план (бланк);
- реферат;
- зміст;
- вступ;
- розділи комплексного курсового проекту: 1) умови експлуатації виробів та вимоги до матеріалів; 2) маршрутна технологія виготовлення виробів; 3) обґрунтування вибору матеріалів для виробів; 4) характеристика вибраних матеріалів; 5) розробка режимів та технології термічної обробки; 6) контроль виробів, попередження та виправлення браку; 7) техніка безпеки;
- висновки;
- перелік посилань.

При написанні ПЗ дотримуватися вимог ДСТУ 3008:2015, ДСТУ ISO 80000-1:2016, СТП 15-96. ПЗ повинна бути роздрукована на принтері комп'ютера.

ГЧ складається із двох листів формату А1, на яких наводяться ескізи або робочі креслення виробів, таблиці із хімічним складом матеріалів та їх властивостями, вплив термічної обробки на властивості вибраного матеріалу, графіки термічної обробки тощо.

Захист комплексного курсового проекту відбувається у відповідності із графіком, затвердженим завідувачем кафедри. Графік не пізніше ніж за місяць доводиться до відома студентів. Захист проекту проводиться перед комісією у складі двох-трьох викладачів кафедри (із керівником проекту включно).

Студент, котрий не представив до захисту комплексний курсовий проект у зазначений термін, не захистив його без поважних причин, має академічну заборгованість. При отриманні незадовільної оцінки студент за рішенням комісії виконує комплексний курсовий проект за новою темою або удосконалює попередній проект в термін, визначений деканатом факультету.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
2. ДСТУ ISO 80000-1:2016. Величини та одиниці.
3. СТП 15-96. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проєктів. Вимоги і правила оформлення. – Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. – 35 с.
4. Бялік, О.М. Металознавство: Підручник /О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. – К.: «Політехніка» ІВЦ, 2001. – 375 с.
5. Афтандіянець, Є.Г. Матеріалознавство: підручник / Є.Г. Афтандіянець, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. – Київ: Вища освіта, 2012. – 548 с.
6. Дяченко С.С., Дощечкіна І. В., Мовлян А.О., Плешаков Е.І. Матеріалознавство: Підручник / За ред. проф. С.С. Дяченко. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
7. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. к.1. Львів. 2000. –264 с.
8. Гарнець, В.М. Матеріалознавство. Підручник / В.М. Гарнець. – К. Кондор. 2009. – 386 с.
9. Дубовий, О.М. Інженерне матеріалознавство: Підручник / О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін. – Миколаїв: НУК, 2009. – 444 с.
10. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
11. Дробот, О.С. Макро- і мікроструктура металів та сплавів / О.С. Дробот, О.П. Бабак, О.О. Нікітін. – Вид. 2-ге, випр., допов. – Хмельницький: ХНУ, 2016. – 55с.
12. Большаков, В.И. Атлас структур металлов и сплавов / В.И. Большаков, Г.Д. Сухомлин, Д.В. Лаухин. – Днепрпетровск: ГВУЗ «ЛГАСА», 2010. – 174 с.
13. Большаков, В.И., Атлас структур металлов и сплавов: Учебное пособие / В.И. Большаков, Т.Д. Сухомлин, Н.Э. Погребная. – Д.: Gaudeamus, 2001. – 113 с.

14. Мохорт, А.В. Термічна обробка металів: Навчальний посібник / А.В. Мохорт, М.Г. Чумак. – К.: Либідь. 2002. – 512 с.
15. Кузін, О.А. Металознавство та термічна обробка металів [Текст] : Підручник / О.А. Кузін, Р.А. Яцюк. – Львів : вид-во “Афіша”, 2002. – 304 с.
16. Залога, В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навч. посіб. / В.О. Залога, В.Д. Гончаров, О.О. Залога. – Суми: СумДУ, 2013. – 371 с.
17. Руденко, Л.Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун. – Суми: СумДУ, 2012. – 171 с.
18. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Наукові основи вибору матеріалів і технологій» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» («Прикладне матеріалознавство», «Термічна обробка металів») усіх форм навчання / Укл.: І.М. Лазечний, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, Г.Г. Трикоз, О.В. Лисиця. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 86 с.
19. Большаков, В.И. Термическая обработка стали и металлопроката / В.И. Большаков, И.Е. Долженков, В.И. Долженков. – Днепропетровск: Gaudeamus,, 2002. – 272. с.
20. Большаков В.И. Термическая и термомеханическая обработка сталей / В.И. Большаков, В. Н. Рычагов, В. К. Флоров. – Д.: Січ, 1994. – 232 с.
21. Білокур, І. П. Основи дефектоскопії: Підручник / І.П. Білокур. – К.: «Азимут-Україна», 2004. – 496 с.
22. Білокур, І. П. Елементи дефектоскопії при вивченні неруйнівного контролю / І.П. Білокур. – К.: НМК ВО, 1990. – 252 с.
23. Електричний, магнітний та електромагнітний види контролю: Конспект лекцій. МВ 02070855-80і-01 О. Є. Середюк. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 170 с.
24. Каталог обладнання для нагрівання виробів та приготування контрольованих атмосфер /Укл.: І.М. Лазечний. – Запоріжжя: ЗДТУ, 1998. – 34 с.
25. Будник, А.Ф. Обладнання термічних цехів та дільниць. Атлас конструкцій [Текст]: навч. посіб. / А.Ф. Будник, А.О. Томас. – Суми: СумДУ, 2014. – 112 с.

26. Будник, А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник / А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.
27. Сігова, В.І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В.І. Сігова, В.Б. Юскаєв, А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с. ISBN 978-966-657-327-1.
28. Жидецький, В.Ц. Основи охорони праці. Вид. 2-е / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.
29. Основи охорони праці: Навчальний посібник / За ред. проф. В.В. Березуцького. – Харків: Факт, 2005. – 480 с.
30. Москальова, В.М. Основи охорони праці: Підручник. / В.М. Москальова. – К.: ВД “Професіонал”, 2005. – 672 с.
31. Піскун, І.П. Охорона праці (техніка безпеки): Навчальний посібник / І.П. Піскун, М.Ф. Мандзюк, І.О. Трунова, М.Є. Ліщук. / За ред. І.П. Піскуна – Луцьк : Волинянин. 2012. – 448 с.
32. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів.
33. Большаков, В.И. Оборудование термических цехов, технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции / В.И. Большаков, И.Е. Долженков, А.В. Зайцев. – Днепропетровск, «РИА Днепр – VAL», 2010. – 619 с.
- 34.Періодичні науково-технічні журнали: «Металловедение и термическая обработка металлов», «Физика металлов и металловедение», «Заводская лаборатория», «Проблемы прочности», «Металознавство та обробка металів».
35. Стандарти та технічні умови на матеріали.

## Додаток А

### Приклади типових завдань до виконання комплексного курсового проєкту

Студент отримує у керівника комплексного курсового проєкту індивідуальне завдання. Приклади таких завдань наведені нижче.

*Приклад 1.* Назва «Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для болта кріплення М30 станіни станка». Вимоги до матеріалу:  $t_{\text{експл}}$  – від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ; властивості матеріалу:  $32\dots35$  HRC;  $\sigma_B \geq 950$  МПа;  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа;  $\delta \geq 10\%$ ;  $KCU \geq 60$  Дж/см<sup>2</sup>.

*Приклад 2.* Назва «Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для валу коробки подачі фрезерувального станка». Вимоги до матеріалу:  $HB \geq 260$ ;  $\sigma_B \geq 850$  МПа;  $\sigma_{0,2} \geq 700$  МПа;  $\delta \geq 12\%$ ;  $KCU \geq 80$  Дж/см<sup>2</sup>;  $\sigma_{-1}(N=10^7) \geq 350$  МПа.

*Приклад 3.* Назва «Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для зубчастого колеса». Вимоги до матеріалу: глибина зміцненого шару на поверхні зубців складає  $0,8\dots1,0$  мм з твердістю  $\geq 58$  HRC; твердість серцевини  $\geq 25$  HRC.

*Приклад 4.* Назва «Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для калібру-пробки». Вимоги до матеріалу:  $58\dots62$  HRC.

*Приклад 5.* Назва «Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки свердла центрального  $\varnothing 4$  мм». Вимоги до матеріалу: інструмент призначений для обробки високоміцних нержавіючих та жароміцних сталей і сплавів; робоча температура різальної кромки  $630\dots640^{\circ}\text{C}$ , твердість  $63\dots64$  HRC, необхідна твердість хвостової частини  $35 \dots 45$  HRC.

**ДЛЯ ПРИМІТОК**