

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки та контрольні завдання  
до вивчення дисципліни «Структура і властивості металів і сплавів»  
для студентів заочної форми навчання спеціальності 7(8).090412

**Затверджено**  
на засіданні Вченої ради  
академії  
Протокол № 11 від 27.12.06

УДК 620.18(07)

Робоча програма, методичні вказівки та контрольні завдання до вивчення дисципліни «Структура і властивості металів і сплавів» для студентів спеціальності 7(8).090412 заочної форми навчання / Укл.: В.С.Чмельова, Ю.П.Гуль – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2006. – 38 с.

Містяться робоча програма, методичні вказівки і контрольні завдання, складені на основі найважливіших розділів теорії і практики фізичних і механічних властивостей металів. Робоча програма і методичні вказівки присвячені вивченню характеристик, що визначають здатність металів чинити опір впливу різних полів і різних силових навантажень, різним чином реагувати на ці впливи, здатність металів до технологічної деформації – обробки тиском, а також монтажної деформації. Структура дисципліни «Структура і властивості металів і сплавів» вміщує сутність різних груп фізичних і механічних характеристик, загальну і часткові методики їхнього визначення; поведіння металу на різних стадіях навантаження; закономірності і механізм впливу різних факторів на фізичні і механічні властивості; використання фізичних і механічних властивостей металів у практиці термічної обробки металів та обробки металів тиском.

Призначені для студентів заочної форми навчання спеціальностей: 7(8).090412 – термічна обробка металів; 7(8).090404 – обробка металів тиском.

Друкується за авторською редакцією

Відповідальний за випуск Л.М.Дейнеко, д-р техн. наук, проф.

Рецензент С.І.Губенко, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

© Національна металургійна академія України, 2007

© В.С.Чмельова, Ю.П.Гуль, 2007

## З М І С Т

	Стор.
В С Т У П .....	4
1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ .....	5
2. РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ .....	6
2.1. Основні визначення, значення і загальна методика вивчення фізико-механічних властивостей .....	6
2.2. Фізичні властивості металів .....	9
2.2.1. Магнітні властивості .....	9
2.2.2. Електричні властивості .....	10
2.2.3. Щільність, термічне розширення, теплопровідність ..	12
2.3. Механічні властивості металів .....	14
2.3.1. Діаграми деформації. Основні групи механічних характеристик .....	14
2.3.2. Основні типи руйнування металів .....	17
2.3.3. Критерії схильності металів до крихкого руйнування ..	20
2.3.4. Вплив зовнішніх факторів на механічні властивості ...	22
2.3.5. Вплив внутрішніх факторів на механічні властивості ..	25
2.3.6. Механічні властивості при тривалому навантаженні ..	28
3. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ .....	31
3.1. Варіанти контрольних завдань .....	31
3.2. Методичні вказівки з виконання контрольних завдань .....	35
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	37

## ВСТУП

Дисципліна «Структура і властивості металів і сплавів» присвячена вивченню характеристик, що визначають здатність металів чинити опір впливу різних полів і різних силових навантажень, різним чином реагувати на ці впливи, здатність металів до технологічної деформації (обробці тиском), а також і монтажної деформації.

Для студентів спеціальностей 7(8).090412 і 7(8).090404 відповідно до кваліфікаційної характеристики значення даної дисципліни, крім очевидної важливості для загальноінженерної підготовки, полягає й у тім, що механічні властивості металів безпосередньо визначають можливість контролювати якість термічної обробки металів і сплавів, створювати марки сталі з поліпшеним комплексом властивостей, здійснювати обробку металів тиском, одержувати вироби не тільки заданої геометрії, але й з необхідними фізичними і механічними властивостями (фізичні і механічні властивості використовуються на різних стадіях технологічного процесу ОМТ: при підготовці заготовки, власне ОМТ, обробці, здачі готової продукції).

Оскільки фізичні і механічні властивості залежать від атомної будови, атомно-кристалічної, мікро- і макроструктури металів, хімічного складу сплавів і таких фундаментальних факторів, як температури, схеми напруженого стану, то для вивчення цього розділу необхідні знання фізики, хімії, опору матеріалів, кристалографії, металографії, основ легування. При вивченні основних закономірностей використовуються відомості з різних розділів математики. Важливе значення для гарного засвоєння механічних властивостей металів має знання основ теорії дефектів кристалічної будови, особливо основ теорії дислокацій.

Структура дисципліни «Структура і властивості металів і сплавів» визначається її предметом і задачами, а також значенням для студентів спеціальностей 7(8).090404, 7(8).090412. Вона вміщує:

- сутність різних груп фізичних і механічних характеристик, загальну і часткові методики їхнього визначення;
- поведження металу на різних стадіях навантаження;
- закономірності і механізм впливу різних факторів на фізичні і механічні властивості; використання ЕОМ;
- використання фізичних і механічних властивостей металів у практиці термічної обробки металів та обробки металів тиском.

## 1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Вивчення дисципліни «Структура і властивості металів і сплавів» організується в такий спосіб. Наприкінці 7-го чи на початку 9-го семестру студенти слухають настановні лекції, одержують необхідну учбово-методичну документацію і завдання на виконання контрольних робіт. Протягом наступного семестру самостійно, користаючись у міру необхідності очними чи заочними консультаціями викладача, вивчають дисципліну за рекомендованою літературою, виконують дві контрольні роботи.

У період екзаменаційної сесії студенти слухають лекції з найбільш важких для самостійного вивчення питань, виконують практичні, лабораторні роботи, складають залік і іспит.

Вивчення дисципліни варто починати з докладного ознайомлення з методичними вказівками і програмою і з підбору необхідної літератури\*. Необхідно чітко усвідомити завдання вивчення даної дисципліни і її розділів, знати структуру дисципліни. Опанувати дисципліну «Структура і властивості металів і сплавів» – це значить знати і вміти наступне.

1. Знати і розуміти сутність основних груп фізичних і механічних характеристик, знати основні методичні прийоми визначення конкретних представників цих груп відповідно до програми.

2. Знати основні закономірності впливу різних факторів на фізичні і механічні властивості, уміти дати якісну і кількісну оцінку цього впливу, описувати закономірності аналітично і графічно.

3. Розуміти механізм впливу різних факторів на фізичні і механічні властивості і вміти погоджувати механізм впливу з інтенсивністю впливу даного фактора.

4. Знати основні стадії поведження металу під навантаженням, умови переходу від макропружної до макропластичної деформації, стадію макропластичної деформації і деформаційного зміцнення, перехід від рівномірної до локалізованої деформації, стадію руйнування.

5. Уміти використовувати або знати основні напрямки використання фізичних і механічних властивостей у практиці термічної обробки й ОМТ – при здавальних випробуваннях, на різних етапах технологічного процесу ОМТ, при дослідженні, удосконалюванні і створенні нових процесів ОМТ і технології термічної обробки металів і сплавів.

Вивчаючи той чи інший розділ, варто оцінювати ступінь оволодіння матеріалом шляхом зіставлення придбаних знань і умінь з викладеними вище вимогами (у тій мірі, у якій вони відповідають даному розділу). Особливу увагу при цьому варто приділити розумінню сутності і механізму досліджуваних явищ і закономірностей, прагнути підходити до досліджуваних явищ і

---

\* Можливе використання іншої літератури, окрім рекомендованої, при умові її відповідності програмі (або даному розділу програми).

закономірностей із загальних позицій фізики, кристалографії, теорії пружності, теорії дислокацій, а також на основі загальних принципів тих процесів, що протікають у метали на стадіях пружної деформації, пластичної деформації і руйнування, а також при впливі на нього різних полів. Тільки при такій умові оволодіння дисципліною буде дійсно міцним і глибоким, а отримані знання й уміння можуть бути використані в інженерній діяльності. Самостійна робота над вивченням дисципліни вимагає не тільки постійного самоконтролю шляхом зазначеного вище зіставлення рівня придбаних знань з рівнем вимог і їх якості, а також з питаннями для самоперевірки, наведеними для кожного розділу, але і ведення конспекту. Структура конспекту може бути визначена робочою програмою дисципліни, ведення конспекту дисциплінує слухачів й упорядковує роботу над нею. Набагато легше виявляються питання програми, що слабо висвітлені в навчальній літературі або особливо важкі для засвоєння. Це допомагає зробити консультації у викладача більш конкретними і продуктивними. Зіштовхуючись з питаннями, що вимагають знання відповідних розділів дисциплін, які вивчалися раніше або одночасно (фізики, математики, металографії і т.д.), варто робити основні виписки і домагатися необхідного розуміння, ні в якому разі не продовжуючи вивчення розділу, у якому зустрічаються забуті чи погано засвоєні поняття.

Таким чином, до моменту приїзду студента на екзаменаційну сесію він повинен мати конспект дисципліни, виконані і зараховані контрольні роботи, перелік питань, слабо висвітлених у літературі або особливо важких для засвоєння, що залишилися недостатньо вивченими протягом семестру і які призначені для з'ясування в період екзаменаційної сесії.

## 2. РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Таблиця

Розподілення навчальних годин за дисциплінами і форми контролю

Шифр спеціальності	7(8).090412	7(8).090404
Найменування дисциплін	Структура и властивості металів и сплавів	Фізико-механічні властивості металів
Всього навчальних годин за учбовим планом	216	81
В тому числі:		
Аудиторних занять	32	16
З них:		
Лекції	16	8
Лабораторні роботи	16	8
Самостійна робота	184	65
Семестровий контроль	Контрольна робота	Контрольна робота
Підсумковий контроль	Іспит	Іспит

## **2.1. Основні визначення, значення і загальна методика вивчення фізико-механічних властивостей**

Сутність і класифікація фізико-механічних властивостей. Класифікація фізико-механічних властивостей залежно від типу впливу (магнітні, електричні і теплові властивості, щільність і питома вага – під впливом гравітаційного поля; механічні властивості під впливом зовнішніх факторів); залежно від типу реакції металу на вплив (наприклад, при тепловому впливі розрізняють тепловий опір металів – теплопровідність; при зовнішньому силовому впливі залежно від типу реакції розрізняють: характеристики пластичності, опір руйнуванню), експлуатаційні і технологічні властивості металів, особливості фізичних і механічних властивостей металів. Метали – основний конструкційний матеріал сучасної техніки. Значення фізичних і механічних характеристик для прогресу народного господарства: зростання вимог до якості металопродукції, економія металу, забезпечення потреб нової і новітньої техніки, одержання металевих композицій з унікальними властивостями – надміцність, надпружність, надпластичність.

Загальна методика вивчення фізичних і механічних властивостей. Вибір об'єкта впливу, способу впливу і способу реєстрації результатів впливу. Вивчення залежностей між фізико-механічними властивостями і зовнішніми факторами (температурою, швидкістю навантаження, схемою напруженого стану, середовищем навантаження); між фізико-механічними властивостями і внутрішніми факторами (хімічним складом, макро-, мікро- і тонкою структурою); між механічними властивостями при лабораторних випробуваннях і механічними властивостями у реальному виробі, конструкції. Значення і використання зазначених залежностей.

Структурна чутливість механічних властивостей як інтенсивність зміни даної механічної характеристики при зміні даного структурного параметра. Залежність структурної чутливості від ступеня пластичної деформації. Значення і практичне використання структурної чутливості.

### **Методичні вказівки**

Слід виходити з загального положення, що властивості матеріалу, у тому числі металу, є його реакція визначеного типу на вплив також визначеного типу.

Фізичні властивості металу виявляються при впливі на нього різних полів: магнітного, електричного, теплового, гравітаційного. Механічні властивості виявляються, насамперед, при силовому впливі на метал твердих, рідких і газоподібних тіл, а також перерахованих вище полів. Реакції, що реєструються як фізичні чи механічні властивості, торкаються різних рівнів будови металу. Так, фізичні властивості здебільшого пов'язані з електронною взаємодією, у той час як механічні – із взаємодією і зсувом з рівноважних положень атомів (іонів).

Фізичні і механічні властивості класифікуються як різноманітні групи залежно від типу впливу і типу реакції. Наприклад, опір металу впливу магнітного поля, пов'язаний зі зміною магнітних моментів атомів, визначається як магнітні властивості і т.п. До фізичних властивостей, крім магнітних, відносять електричні, теплові, щільність і термічне розширення. До механічних – опір деформації, опір руйнуванню і пластичність.

При експлуатації металопродукції взагалі й у тому числі – отриманою обробкою тиском – важливе значення має не тільки раціональна геометрична форма продукції – листи, балки, труби, дроти, – але і комплекс фізико-механічних властивостей. Роль фізико-механічних властивостей часто є вирішальною в підвищенні якості металопродукції.

Різнманіття фізико-механічних властивостей визначає важливість знання методики їхнього вивчення. Варто врахувати, що розуміння загальної методики допомагає добре орієнтуватися в безлічі окремих методик і принципах будови приладів, що використовуються у практиці термічної обробки та ОМТ. Будь-який прилад, пристрій, стенд для визначення фізико-механічних властивостей вміщує три найважливіші вузли: систему розміщення зразка (виробу), систему впливу на зразок (виріб), систему реєстрації результатів впливу.

Фізико-механічні властивості даного металу (сплаву), як правило, не є його константами, а залежать від цілого ряду найважливіших факторів (температури, навколишнього середовища, схеми навантаження) і внутрішніх факторів (хімічного складу, структури). Тому загальна методика вивчення фізико-механічних властивостей вміщує вивчення впливу зазначених факторів на фізико-механічні властивості. Важливе практичне значення має також установлення кореляції між фізичними і механічними властивостями.

На закінчення даного розділу необхідно добре засвоїти основні напрямки використання фізико-механічних властивостей металу в практиці термічної обробки металів та ОМТ, маючи на увазі, що ці напрямки безперервно зв'язані з задачами:

- підвищення якості металопродукції і методами контролю цієї якості;
- оптимального здійснення технологічного процесу термічної обробки та ОМТ, ураховуючи склад устаткування;
- дослідження процесів і устаткування для ОМТ з метою їхнього удосконалювання і створення нових типів процесів і устаткування.

На основі засвоєння основних напрямків використання фізико-механічних властивостей у практиці термічної обробки та ОМТ слід конкретизувати їх для різних властивостей у наступних розділах.

Для одержання необхідного чіткого уявлення про можливості й ефективність використання тих чи інших фізико-механічних властивостей потрібно диференційовано розглядати з цього погляду металопродукцію, що одержується ОМТ, за сортаментом (лист, різні профілі, труби, дріт і ін.), за призначенням (конструкційна, з особливими властивостями й ін.); з тієї ж точки зору – розглядати технологічні операції при ОМТ, починаючи з підготовки



заготовки і закінчуючи операціями обробки; задачі, що виникають при дослідженні процесів і устаткування при термічній обробці та ОМТ. Засвоєння принципів використання фізико-механічних властивостей у практиці термічної обробки та ОМТ вимагає також знання основних типів приладів, заснованих на визначенні фізико-механічних властивостей металів.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні групи фізико-механічних властивостей.
2. У чому подібність і розходження фізичних і механічних властивостей?
3. У чому полягає роль фізико-механічних властивостей для підвищення якості металопродукції?
4. Вкажіть і поясніть основні методичні прийоми при вивченні фізико-механічних властивостей.
5. Які фактори впливають на значення фізико-механічних властивостей?
6. Назвіть основні напрямки використання фізико-механічних властивостей у практиці термічної обробки та ОМТ.
7. Які властивості металу і яким чином використовуються: при підготовці заготовки до гарячої обробки тиском; при розрахунку деформуючого устаткування; при операціях обробки і здачі готової продукції?

## **2.2. Фізичні властивості металів**

### **2.2.1. Магнітні властивості**

Основні визначення. Механізм намагнічування і розмагнічування. Закономірності впливу хімічного складу, структури і ступеня деформації на магнітні властивості. Методи визначення магнітних характеристик. Прилади й установки для контролю металопродукції магнітними методами. Здавальні випробування з магнітних властивостей.

### **Методичні вказівки**

Приступаючи до вивчення даного розділу, необхідно, насамперед, згадати опановану раніше в курсі фізики природу магнетизму і визначення найважливіших магнітних характеристик: магнітного моменту, намагніченості, напруженості магнітного поля, коефіцієнта магнітної сприйнятливості. У залежності від значення і знака останнього слід класифікувати метали на діа-, пара- і феромагнетиками й усвідомити природу діа-, пара- чи феромагнетизму різних металів. Особливу увагу варто приділити феромагнітним властивостям і, у зв'язку з цим, – механізму намагнічування і розмагнічування феромагнітних металів, явищу виникаючого при цьому гістерезису, безпосередньо зв'язаного з реальною структурою металів і сплавів. У зв'язку із широким використанням феромагнітних властивостей металів на практиці у різноманітних областях потрібно чітко уявляти фізичний зміст і можливості різних феромагнітних властивостей: магнітних індукції, насичення, проникності, залишкової індукції,

коерцитивної сили, площі петлі магнітного гістерезису, температури точки Кюрі. Зверніть увагу, що ті з перерахованих характеристик, що зв'язані з явищем гістерезису, реагують на зміну реальної структури металу і тому є структурно-чутливими. Такі властивості, як магнітне насичення, температура точки Кюрі залежать тільки від хімічного складу.

Розподіл магнітних властивостей на структурно-чутливі і структурно-нечутливі дуже важливий для їхнього практичного використання.

Вивчаючи закономірності впливу температури, хімічного складу та інших факторів на магнітні властивості, варто усвідомити значення цих закономірностей для одержання металів із заданими магнітними властивостями (діа-, пара-, феромагнітними) і для контролю структури і властивостей металопродукції магнітними методами. Зверніть увагу, що вплив температури на магнітні властивості спостерігається в межах даного магнітного стану (діа-, пара- чи феромагнітного), але є особливо істотним, якщо зміна температури викликає зміну магнітного стану (перехід через точку Кюрі). Вплив хімічного складу визначається типом металу й одержанням або гомогенного – по типу заглиблення чи заміщення, або гетерогенного – з наявністю надлишкової фази-сплаву. Структура (розмір зерна матриці, кількість і розмір часток надлишкової фази, спотворення кристалічної решітки, щільність дефектів кристалічної будови) чинить особливо помітний вплив на структурно-чутливі феромагнітні властивості, змінюючи умови переміщення міждоменних границь або "обертання" векторів доменів. Оскільки деформація при ОМ вносить істотні зміни в структуру, варто особливо зупинитися на впливі деформації на магнітні властивості.

На основі закономірностей впливу хімічного складу і структури на магнітні властивості усвідомте принципи фазового і структурного магнітного аналізу, а також одержання магніто-м'яких і магніто-твердих сплавів. З методів визначення магнітних характеристик основну увагу приділіть методам визначення феромагнітних властивостей. Розгляньте методи, при яких абсолютні значення магнітних властивостей залежать і не залежать від розмірів і форми зразків. При вивченні приладів і установок для контролю металопродукції слід засвоїти, що магнітні методи контролю засновані на реєстрації магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами або на визначенні магнітних властивостей контрольованих виробів, що корелюють зі структурою і механічними властивостями. Різноманітність приладів магнітного контролю зв'язана, в основному, з різними способами реєстрації магнітних полів розсіювання або визначення магнітних властивостей, а також з контролем виробів різної геометрії. Важливо засвоїти принципи роботи приладів, основних способів реєстрації та їх можливості. Варто чітко представляти, що магнітні методи контролю, як і інші методи неруйнівного контролю, дозволяють здійснювати 100 %-вий контроль виробів, забезпечують більш швидко задачу готової продукції і оперативніший контроль усього технологічного процесу. Визначення магнітних властивостей металопродукції,

одержуваної ОМТ, може мати і самостійне значення, наприклад: лист і стрічка з трансформаторної і динамної сталі здаються за визначеними магнітними характеристиками.

### **Лабораторна робота**

Дослідження впливу холодної деформації на величину коерцитивної сили технічного заліза з використанням ЕОМ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Яка фізична природа магнетизму?
2. Опишіть процес намагнічування і розмагнічування феромагнетика.
3. Назвіть характерні точки магнітного гістерезиса. Поясніть їх фізичний зміст.
4. Дайте формулювання поняття коерцитивної сили.
5. Перелічіть фактори, що обумовлюють збільшення (зменшення) коерцитивної сили.
6. Опишіть вплив деформації на магнітні властивості.

#### **2.2.2. Електричні властивості**

Основні визначення. Природа електроопору й електропровідності металів. Закономірності впливу температури, хімічного складу, структури і деформації на електричні властивості. Методи визначення електроопору. Принципи контролю металопродукції електричними методами. Здавальні випробування за електричними властивостями.

#### **Методичні вказівки**

Як і в попередньому підрозділі, необхідно згадати основні характеристики електричних властивостей і вираз для них, природу електропровідності і електроопору металів, що вивчалось раніше в курсі фізики. Особливу увагу зверніть на залежність питомого електроопору від довжини вільного пробігу електронів і від швидкості хаотичного руху електронів (із закону Ома для електричного ланцюга, виведеного на основі теорії Лоренца-Друде). Дана залежність дозволяє за допомогою питомого електроопору методами бездефектного контролю аналізувати параметри деформації в практиці ОМТ. Також за допомогою даної залежності можна розглянути вплив температури, хімічного складу, структури на питомий електроопір і відповідно на деформаційні параметри. При вивченні впливу хімічного складу і структури, що, як і для магнітних властивостей, визначається типом металу, типом сплаву і концентрацій в останньому легуючих елементів, варто мати на увазі, що вплив перелічених факторів на електропровідність (електроопір) може бути зв'язаний не тільки зі зміною довжини вільного пробігу електронів, але й зі зміною об'ємної концентрації електронів провідності. Для чистих металів різний їх електроопір обумовлений, в основному, останньою причиною. Проаналізуйте електроопір різних металів. Особливий інтерес представляє вплив пружних

спотворень кристалічної решітки і концентрації дефектів кристалічної решітки (вакансій, дислокацій), внесених деформацією, на електричні властивості. Усвідомте вплив деформації з урахуванням схеми деформації (усестороннє стискання, розтягнення, крутіння та ін.) на електроопір. Важливо засвоїти, що холодна пластична деформація чистих металів хоча і збільшує електроопір, але не більш 5...6 %, та ж деформація твердих розчинів і гетерофазних сплавів здійснює складний, неоднозначний вплив на електроопір, причому підвищення електроопору при наклепі твердих розчинів може досягати 100 %.

На основі вивчення відзначених закономірностей розгляньте принципи одержання металевих провідників електричного струму, електроопору різного призначення, у тому числі датчиків для виміру пружних напружень. Необхідно далі згадати раніше вивчені в курсі фізики методи виміру електроопору і розглянути їх за наступною схемою: величини опорів, вимірювані за даним методом, точність і продуктивність методу, принцип методу, включаючи схему і розрахункові формули. Контроль металопродукції, заснований на залежності електричних властивостей металів (сплавів) від їхнього хімічного складу і структури й у такий спосіб – на наявності кореляції між механічними й електричними властивостями, – здійснюється найчастіше за методом вихрових струмів (МВС). При контролі МВС взаємодіє первинний магнітний потік, що збуджує ВС у виробі, з магнітним потоком ВС, що протікають по виробу і, отже, що залежать від електричних і магнітних (для феромагнітних металів) властивостей металу виробу. Важливо розуміти, що при контролі МВС виробів з феромагнітних металів формований електричний сигнал залежить не тільки від електропровідності даного металу (сплаву), але і від його магнітних властивостей. МВС дозволяє контролювати хімічний склад, структуру, властивості, наявність несутільностей і має всі ті переваги, які мають методи неруйнівного контролю. На закінчення розгляньте використання електричних властивостей як здавальних випробувань при виробництві дроту і стрічки відповідного призначення.

### **Лабораторна робота**

Дослідження впливу холодної деформації на питомий електроопір технічного заліза з використанням ЕОМ.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні електричні характеристики і їхні розмірності.
2. Які величини входять у вираз, що зв'язує електропровідність з параметрами електронної й атомно-кристалічної структури металів?
3. Назвіть основні методи виміру електроопору, їх переваги і недоліки.
4. Як зміниться електроопір сплаву при упорядкуванні твердого розчину?
5. Чому електроопір хімічних сполук металів вище, ніж опір кожного компонента окремо?
6. Як буде змінюватися електроопір заліза в залежності від ступеня холодного наклепу?

7. Як буде мінятися електроопір при відпусканні холоднодеформованої або загартованої на мартенсит сталі?
8. Чому електроопір металів збільшується з підвищенням температури?
9. Проаналізуйте формулу Лоренца-Друде.

### **2.2.3. Щільність, термічне розширення, теплопровідність**

Основні визначення. Закономірність впливу температури, складу і структури. Методи вивчення. Використання в практиці обробки тиском.

#### **Методичні вказівки**

Вивчення даного підрозділу варто починати з засвоєння основних визначень, що характеризують щільність, питомий об'єм, атомний об'єм, коефіцієнти термічного розширення. Варто згадати, що щільність є функцією атомної маси і щільності упакування атомів у просторі в умовах впливу гравітаційного поля. Тому в принципі щільність можна розрахувати. Природно, що щільність різних металів різна. Розгляньте і порівняйте щільності металів, що найчастіше використовуються у техніці. Зверніть увагу, що перехідні метали характеризуються порівняно великою щільністю і малою стисливістю. Згадайте, що вплив температури на щільність описується коефіцієнтами лінійного й об'ємного розширення, що зв'язано зі збільшенням середніх міжатомних відстаней з ростом температури. Хімічний склад через тип металу, сплаву і концентрацію легуючих елементів впливає як на щільність при даній температурі, так і на коефіцієнт термічного розширення. Зверніть увагу, що значення щільності сплавів, як і чистих металів, піддаються розрахунку. Може бути, отже, розрахована і щільність сталі. Необхідно, однак, чітко представляти, що при однаковому хімічному складі щільність може бути різною залежно від типу сплаву – гомогенного чи гетерофазного, а також залежно від типу упакування атомів у різних модифікаціях того самого металу. Зі структурних параметрів на щільність визначений вплив справляє макроструктура – наявність або відсутність різних несущільностей, а також концентрація дефектів кристалічної будови – вакансій і дислокацій. На цій основі розгляньте вплив гарячої і холодної деформації: перша "заліковує" макродефекти литого металу і звичайно збільшує щільність; друга, збільшуючи концентрацію дефектів кристалічної будови, а іноді приводячи і до макродефектів, зменшує щільність металу. Втім, усі ці ефекти зміни щільності порівняно невеликі, хоча й цілком вимірні. Прийнято вважати, що при деформації щільність металу практично постійна. Варто мати на увазі, що правило приблизної сталості щільності при деформації не виконується при дуже високих закритичних швидкостях деформації (наприклад, при обробці вибухом): у таких умовах щільність змінюється до 50...70 % від початкового значення.

У зв'язку з тим, що розрахункові формули не завжди підходять для всіх сплавів, а також не враховують низки технологічних факторів, що впливають

на щільність, необхідно знати основні методи експериментального визначення щільності, а також коефіцієнтів термічного розширення. Потрібно добре уявляти інженерне значення щільності і термічного розширення. Наприклад, для деталей літальних апаратів велике значення має питома міцність – відношення показника міцності до щільності; за наявності або відсутності повного відновлення щільності при рекристалізаційному відпалі деформованих металів установлюють припустимі ступені деформації при ОМТ; знання значень коефіцієнтів термічного розширення важливе для визначення експлуатаційної надійності устаткування, що зазнає численних нагрівів й охолоджень.

Вивчення теплопровідності будується за аналогічною схемою. Згадайте сутність явища теплопровідності, зміст коефіцієнтів теплопровідності і температуропровідності. Зверніть увагу на подібність і розходження у природі теплопровідності й електропровідності металів, згадайте зміст, практичне і теоретичне значення постійної Лоренца. Вплив хімічного складу через тип металу, сплаву, концентрацію легуючих елементів здійснює на теплопровідність приблизно той же вплив, що і на електропровідність. Розгляньте ці закономірності. Обов'язково проаналізуйте теплопровідність технічних сплавів, особливо сталі. Варто засвоїти, що з підвищенням вмісту в сталі вуглецю й інших легуючих елементів теплопровідність падає. Падає, як правило, теплопровідність і з підвищенням температури.

Ознайомтеся з методами виміру теплопровідності. Зробіть висновок, чи можна визначати теплопровідність, вимірюючи електроопір. На закінчення засвойте основні напрямки використання теплопровідності в практиці термічної обробки та ОМТ: для призначення оптимальних режимів нагрівання заготовок під деформацію і режимів післядеформаційного охолодження, визначення і регулювання теплового режиму устаткування, для призначення часу витримки, для нагрівання при термічній обробці виробів з легованих, вуглецевих та спеціальних сталей.

### **Питання для самоперевірки**

1. Дайте визначення щільності, коефіцієнта термічного розширення, коефіцієнта температуропровідності.
2. Назвіть технічно важливі метали (сплави) з малою і високою щільністю, з високим і низьким коефіцієнтом термічного розширення.
3. Чи буде однаковою щільність сталі У8 і ст.3? Чи буде однаковою щільність сталі У8 в аустенітному стані і після загартування на мартенсит? Після відпалу на перліт?
5. У чому причина падіння щільності металів при нагріванні і чи для всіх металів це падіння відбувається безупинно?
6. Як і чому залежить щільність металів від виду і ступеня деформації?

7. Наведіть конкретні приклади використання щільності, термічного розширення, теплопровідності в практиці ОМТ та термічної обробки металів і сплавів.
8. У чому полягає подібність і розходження явищ тепло- і електропровідності металів?
9. У чому головне джерело погрешностей при вимірі теплопровідності?
10. Як змінюється теплопровідність при переході від технічного заліза до низьковуглецевої сталі, потім до високовуглецевої сталі і далі до високовуглецевої легованої сталі?

## **2.3. Механічні властивості металів**

### ***2.3.1. Діаграми деформації. Основні групи механічних характеристик***

Основні стадії поведінки металу під навантаженням і діаграми деформації. Сутність, значення і класифікація діаграм деформації. Принципи аналізу діаграм деформації: визначення типу діаграми, визначення стандартних механічних характеристик, визначення нестандартних механічних характеристик, визначення умов переходу від однієї стадії поведінки металу під навантаженням до іншої.

Природа "зуба" і "площинки" текучості. Основні закономірності деформаційного зміцнення. Рівномірна і локалізована деформація. Умови локалізації деформації. Локалізація деформації і надпластичність металів.

### **Методичні вказівки**

Значення діаграм деформації полягає, насамперед, у тім, що вони дають найповніше уявлення про поведінку металу під навантаженням на всіх стадіях: пружної деформації, пластичної деформації і руйнування. Саме з цього погляду варто підходити до вивчення діаграм деформації. Необхідно далі чітко уявити, що діаграми деформації представляють графічне зображення функціональної залежності між силовими характеристиками опору металу навантаженню і характеристиками формозміни. Якщо як силові параметри використовуються їхні інтегральні значення, а як характеристики формозміни – абсолютна або відносна деформація, то одержують технічні (умовні) діаграми деформації. Набагато більш точно фізику процесів, що відбуваються при навантаженні, відбивають істинні діаграми деформації, що представляють залежність між істинною напругою і істинною деформацією. Дуже важливо засвоїти сутність останніх характеристик, які враховують поточну формозміну в процесі навантаження, а також їхні переваги перед номінальними напругами і відносними деформаціями.

Подальшу класифікацію діаграм деформації як технічних, так і істинних, варто проводити за рядом найбільш важливих ознак: за типом переходу (плавним чи дискретним) від макропружної до макропластичної деформації; за

температурою деформації (діаграма холодної, теплої і гарячої деформації); за станом металу (діаграми у в'язкому, крихкому і перехідному стані); за швидкістю деформації (діаграми при статичному і динамічному навантаженні); за схемою навантаження (діаграми розтягнення, вигину і ін.).

При аналізі конкретної діаграми деформації необхідно спочатку визначити її тип за перерахованими вище ознаками. Потім потрібно уміти визначати основні стандартні характеристики, межі пружності, текучості, міцності, характеристики пластичності. Як мінімум, подібний аналіз повинен бути освоєний для діаграм розтягнення, вигину, стискання, крутіння. Зверніть увагу на визначення фізичної й умовної границь текучості, а також на вид умовних і істинних діаграм при зазначених схемах навантаження. Повний аналіз варто провести на прикладі діаграми розтягнення в області холодної (теплої) деформації при в'язкому стані металу як найбільш вивченої й такої, що описує усі стадії поводження металу під навантаженням. Аналіз варто вести послідовно, починаючи зі стадії пружної деформації. Необхідно згадати її сутність, значення модулів пружності. Переходи від однієї стадії до іншої характеризуються досягненням певних значень силових і деформаційних параметрів, а також зміною характеру внутрішніх процесів. Зверніть увагу, що звичайно немає різких границь між різними стадіями навантаження: наступна стадія починається в межах попередньої, на одній і тій же стадії можуть протікати спільно кілька процесів. Так, стадія пластичної деформації починається на стадії макропружної у вигляді мікропластичної деформації; пружна деформація має місце практично на всіх стадіях навантаження; процес в'язкого руйнування починається і продовжується на стадії макропластичної деформації. Однак кожна стадія характеризується (кількісно або якісно) переважним процесом.

Перехід до стадії макропластичної деформації супроводжується різким – на кілька порядків – збільшенням щільності дислокацій і явищем деформаційного зміцнення внаслідок взаємодії між дислокаціями. Розгляньте рівняння деформаційного зміцнення, коефіцієнти, що входять до них, засвойте сутність основного показника інтенсивності деформаційного зміцнення – швидкості деформаційного зміцнення і його залежність від ступеня і температури деформації.

Особливу увагу приділіть двом переходам: від стадії макропружної деформації до стадії макропластичної і від стадії рівномірної пластичної деформації – до локалізованої.

Перший з цих переходів – плавного чи дискретного ("зуб", "площадка" текучості) типу – визначається відповідно поступовим чи різким, стрибкоподібним збільшенням щільності рухливих дислокацій. З теорії дислокацій випливає, що зі збільшенням щільності рухливих дислокацій деформуєча напруга знижується. Якщо це зниження перевершує або компенсує деформаційне зміцнення, то виникає "зуб" або "площадка" текучості.



Локалізація деформації зв'язана з помітним зростанням швидкості деформації в обмеженому об'ємі металу в порівнянні із середньою швидкістю деформації. Локалізація деформації істотно обмежує граничну пластичність металів, що може бути використане на практиці. Цілком очевидно, що локалізація деформації зв'язана з її неоднорідністю з різних причин. Зверніть увагу, що протилежний вплив, тобто ускладнення локалізації, спричиняє збільшення інтенсивності деформаційного зміцнення і швидкісної залежності деформуючої напруги. Ця закономірність виникає із сутності самого явища локалізації: більш швидке збільшення необхідної для продовження деформації напруги призводить до припинення деформації в обсязі, де почалася локалізація деформації. Досить істотного підвищення пластичності шляхом обмеження локалізації деформації за рахунок збільшення інтенсивності деформаційного зміцнення домогтися не вдається, тому що при досягненні гранично можливої ("критичної") щільності дислокацій починається утворення тріщин. Різке збільшення пластичності – надпластичність – спостерігається за умови одержання інтенсивної швидкісної залежності деформуючої напруги шляхом здійснення деформації при спеціальному структурному стані металу (наприклад, ультрадрібнозернистому) в інтервалі гарячої деформації і малих швидкостей деформації. Проведіть аналіз кожної з умов одержання ефекту надпластичності.

На закінчення даного підрозділу необхідно розглянути визначення нестандартних механічних характеристик: роботи деформації і руйнування, рівномірної і локалізованої деформації, коефіцієнтів деформаційного зміцнення, параметрів рівняння Холла-Петча, а також можливість визначення характеристик дислокаційної структури за результатами механічних випробувань: типу розподілу дислокаційних джерел за напругою старту, загальної щільності дислокацій і щільності рухливих дислокацій.

### **Лабораторна робота**

Аналіз діаграм розтягнення з використанням ЕОМ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Опишіть сутність і вкажіть на діаграмі деформації розтягнення основні стадії навантаження.
2. Зіставте технічні та істинні діаграми деформації, отримані при розтягненні, стисканні, крутінні.
3. Укажіть характеристики опору деформації і пластичності, обумовлені при розтягненні, стисканні, вигині, крутінні.
4. Зіставте вид діаграм деформації металу: у крихкому і в'язкому стані; при холодній і гарячій деформації; при статичному і динамічному навантаженні.
5. Користуючись рівнянням деформаційного зміцнення, визначте, при якій щільності дислокації приріст напруги перевищить  $100 \text{ Н/мм}^2$  для альфа-заліза.

6. Для яких металів (сплавів) і в якому стані характерна наявність на діаграмі деформації "зуба" і "площинки" текучості?
7. Як залежить величина рівномірного подовження від коефіцієнта деформаційного зміцнення?
8. Зі збільшенням рівномірної чи локалізованої деформації зв'язане явище надпластичності?
9. У чому полягає роль структури при одержанні ефекту надпластичності?
10. Які характеристики дислокаційної структури можна визначити за результатами механічних іспитів?

### **2.3.2. Основні типи руйнування металів**

Руйнування як стадія поведінки металу під навантаженням. Загальна феноменологія процесу руйнування. Істинна й ефективна поверхневі енергії. Основні ознаки руйнування. Класифікація типів руйнування. Порівняння в'язкого і крихкого руйнування за основними ознаками. Феноменологія в'язкого руйнування. Механізм в'язкого руйнування. Роль пластичної деформації і її локалізації. Феноменологія крихкого руйнування. Умови утворення і росту крихких тріщин. Поняття про поточний і критичний час запізнювання пластичної деформації в порівнянні з пружною. Основні стадії крихкого руйнування. Умови переходу від стабільного до нестабільного руйнування.

### **Методичні вказівки**

В даний час не слід розглядати явище руйнування як у всіх випадках неприпустиму стадію. Як при експлуатаційних, так і при технологічних навантаженнях допускаються певні етапи руйнування або руйнування визначеного типу. Вивчення феноменології основних ознак і механізму руйнування має тому практичною метою не тільки запобігання руйнуванню взагалі, але й попередження найбільш небезпечних видів чи етапів руйнування. Таким чином, підхід до явища руйнування повинен бути диференційованим, а сам процес не повинен розглядатися як миттєво-катастрофічний.

Будь-яке руйнування складається з етапів зародження і розвитку тріщин і, отже, призводить до утворення нової вільної поверхні. Тому сумарні витрати енергії на руйнування можна описати через площу цієї поверхні і поверхневу енергію. Слід враховувати, що остання особливість при руйнуванні металів не ідентична істинній поверхневій енергії, що вивчається, наприклад, у курсах фізики і хімії. Тут же мова звичайно йде про ефективну поверхневу енергію, що вміщує витрату енергії на пластичну деформацію.

Для оцінки безпеки і загальної характеристики того чи іншого типу руйнування слід використовувати ряд ознак: енергоємність, швидкість процесу, середній рівень руйнівних напружень, ступінь макропластичної деформації, що супроводжує або передуює руйнуванню, вид (характер) зламу. Необхідно засвоїти, що чим нижче енергоємність, середні руйнівні напруження, ступінь

деформації і вище швидкість руйнування, тим воно небезпечніше як з погляду низького опору металу цьому типу руйнування, так і з погляду можливості виявлення його початку і попередження його розвитку. У цьому відношенні особливо небезпечне крихке руйнування, середні руйнівні напруження для якого лежать нижче границі текучості, тобто характеристики, що дуже часто використовується в розрахунках на міцність. В'язке руйнування за всіма показниками є антиподом крихкому. Крім крихкого і в'язкого існує ще ряд типів руйнування, що сполучають у собі ознаки – у тій чи іншій комбінації – перших двох, але характеризуються специфікою прикладання навантаження або навколишнього середовища: при втомленості, при повзучості, корозійне, радіаційне, кавітаційне й ін.

При вивченні в'язкого руйнування зверніть увагу на роль неметалічних включень для утворення мікротріщин і на особливу роль пластичної деформації, яка у даному випадку є неодмінним учасником процесу руйнування, відводячи, за виразом Коттрелла, матеріал перед фронтом зростаючої тріщини. Гранична швидкість в'язкого руйнування лімітується, таким чином, швидкістю пластичної деформації. Усвідомте в зв'язку з цим несприятливу роль локалізації пластичної деформації (див. підрозділ 2.2).

Утворення і розвиток крихких тріщин, що відбувається в умовах відсутності макропластичної деформації, вимагає виконання двох основних умов: 1 – створення в локальних об'ємах необхідної концентрації пружних напружень (пружної енергії) і 2 – відсутність помітної релаксації пружних напружень за рахунок пластичної деформації у визначений період часу. Перша умова забезпечується підсумовуванням полів пружних напружень дислокацій при їхній взаємодії, наявністю різних концентраторів напруг у реальних металах, а після виникнення тріщини остання сама є концентратором напруг. Друга умова виконується у випадку досягнення критичного часу запізнювання пластичної деформації, у порівнянні з пружною, тобто часу, протягом якого встигають виникнути і розвинути крихкі тріщини до початку макропластичної деформації.

Поняття про критичний час запізнювання надзвичайно важливе для розуміння природи і регулювання схильності до крихкого руйнування. Необхідно чітко представляти фізичну причину наявності взагалі запізнювання пластичної деформації в порівнянні з пружною, котра полягає в необхідності створення в металі для початку макропластичної деформації більшого запасу енергії скінченної величини, що вимагає, відповідно, більшого часу. Варто також розрізняти критичний і поточний час запізнювання. Останнє має місце завжди і для всіх металів (сплавів), але критичне мають тільки деякі метали при визначеному сполученні внутрішніх і зовнішніх факторів.

Імовірність досягнення критичного часу запізнювання і, отже, безпека крихкого руйнування зростає зі збільшенням енергії активації пластичної деформації. Зверніть увагу, що крихкого руйнування можуть зазнавати ряд технічно найбільш важливих металів і сплавів на їхній основі: альфа-залізо,

хром, молібден, вольфрам, ванадій, цинк та ін., що мають ОЦК чи ГПУ решітку, водночас з металевою – ковалентний зв'язок і велику енергію зв'язку домішкових атомів з дислокаціями.

При вивченні утворення і росту крихких тріщин розгляньте основні дислокаційні моделі (Мотта-Стро, Коттрелла та ін.) виникнення тріщин. Слід засвоїти енергетичний підхід до реалізації можливості утворення і росту несущільностей: тріщина утворюється і росте, якщо релаксація пружної енергії при цьому більша, ніж приріст ефективної поверхневої енергії. Зверніть далі увагу, що при рості тріщини основні події відбуваються в її кінці, зоні концентрації напруг. Доти, поки зменшення напруг (енергії) наприкінці тріщини за рахунок їх "витрати" на утворення нової вільної поверхні не цілком компенсується збільшенням концентрації напруг (енергії) за рахунок збільшення довжини тріщини спостерігається так званий стабільний розвиток тріщини, що відбувається порівняно повільно і вимагає підвищення зовнішнього навантаження. При досягненні тріщиною критичного розміру концентрація напруг (енергії) у її кінці за рахунок збільшення її довжини цілком, а потім з надлишком компенсує зазначені вище витрати енергії – тріщина росте нестабільно: без підведення зовнішньої енергії і дуже швидко, наближаючись до швидкості поширення звуку в даному металі. Цілком очевидно, що саме нестабільний розвиток тріщин становить головну небезпеку крихкого руйнування. Зверніть увагу, що рівняння Орована-Гриффітса виконується для етапу нестабільного розвитку.

Велике практичне значення має топографія розвитку тріщин: по тілу (транскристалітне) чи по границях (інтеркристалітне) зерен, а також по певних кристалографічних площинах. Варто засвоїти, що транскристалітне руйнування зустрічається частіше, а інтеркристалітне – найбільш небезпечно. З умовами утворення й особливо розвитку тріщин тісно зв'язаний вид зламу, що є однією з найважливіших характеристик руйнування. Методика дослідження в даний час дуже розвинута і має широкий діапазон прийомів: від візуального огляду до дослідження за допомогою складної електронної техніки. Зробіть порівняльний аналіз зламів у випадку в'язкого і крихкого руйнування, зв'яжіть вид зламів з механізмом руйнування.

### **Питання для самоперевірки**

1. Дайте загальне визначення процесу руйнування.
2. Чому при руйнуванні зростає сумарна поверхнева енергія металу?
3. Що таке ефективна поверхнева енергія?
4. Дайте порівняльну характеристику крихкого і в'язкого руйнування за основними ознаками.
5. У чому полягає практична небезпека крихкого руйнування?
6. Опишіть характер і поширення в'язких тріщин.
7. Чи є зв'язок між ступенем неоднорідності розподілу напруг і імовірністю утворення крихких тріщин?

8. Як змінюється час запізнювання пластичної деформації порівняно з пружною, якщо росте енергія активації пластичної деформації?
9. Наведіть приклади металів, що руйнуються тільки по в'язкому типу, і металів, що можуть руйнуватися як в'язко, так і крихко.
10. Яким чином у результаті взаємодії дислокації може виникнути крихка тріщина?
11. Як залежить концентрація напруг наприкінці тріщини від її довжини?
12. Як змінюється величина зовнішнього навантаження на етапі нестабільного розвитку крихкої тріщини?
13. Чи може спостерігатися інтеркристалітне руйнування в монокристалі?
14. Чому злам металу, що зазнав в'язкого руйнування, не має металевого блиску?
15. Опишіть вид "крихкого" і "в'язкого" зламів при збільшеннях електронного мікроскопа.

### ***2.3.3 Критерії схильності металів до крихкого руйнування***

Значення визначення схильності металів до крихкого руйнування. Класифікація критеріїв схильності металів до крихкого руйнування. Критичні значення зовнішніх факторів, що розмежовують зони в'язкого і крихкого руйнування. Регламентовані значення механічних характеристик. Критерії в'язкості руйнування, сутність. значення, принципи методики визначення.

Конструктивна міцність. Сутність. Зв'язок з небезпекою руйнування. Масштабний фактор. Статистичний підхід до оцінки конструктивної міцності. Значення "твердості" конструкції.

### **Методичні вказівки**

Знання критеріїв схильності металів до найбільш небезпечного виду руйнування – крихкого – важливе, щонайменше, для двох основних напрямків використання механічних властивостей металів: оцінки можливості здійснення технологічної і монтажної деформації і розрахунку на міцність при експлуатації. Необхідно чітко представляти принципи класифікації критеріїв крихкості і, особливо, границі застосовності цих критеріїв.

До першої групи критеріїв належать критичні значення температури, швидкості навантаження і ступеня твердості напруженого стану, що розділяють простір в'язкого і крихкого стану даного металу. Необхідно засвоїти, що здійснювати технологічну і монтажну деформацію, а також розраховувати вироби на міцність звичайними методами опору матеріалів, наприклад, за границею текучості, можливо при температурах вищих, а швидкості навантаження і ступеневі твердості напруженого стану – нижчих, ніж критичні значення цих характеристик. Важливо розуміти, що підвищення критичної температури і зниження критичних значень швидкості навантаження і ступеня жорсткості напруженого стану означають принципове збільшення схильності до крихкого руйнування, оскільки при цьому розширюється простір крихкого

і звужується простір в'язкого руйнування. Необхідно знати найрозповсюдженішу на практиці методику визначення критичного значення температури шляхом серіальних випробувань надрізаних зразків на динамічний вигин (ударну в'язкість).

До другої групи критеріїв відносять кількісно регламентовані значення механічних характеристик, визначених при заданому сполученні зовнішніх факторів. Найчастіше це значення ударної в'язкості при заданій температурі. Якщо отримане значення даної характеристики вище регламентованого, то є можливість робити розрахунок на міцність звичайними методами опору матеріалів навіть в області напівкрихкого руйнування.

Істотною рисою третьої групи критеріїв, з якої найчастіше використовується коефіцієнт інтенсивності напруг наприкінці тріщини, що розвивається, є можливість розрахунку на міцність в області напів- і квазікрихкого руйнування з урахуванням середніх напруг і розміру (геометрії) дефекту в металі. Зверніть увагу, що при заданому рівні експлуатаційних напруг виріб здається за величиною припустимого дефекту, тобто у виробі допускається наявність несучільностей, розміри яких менше критичного. Методика правильного визначення параметрів в'язкості руйнування вимагає використання масивних зразків з надрізом, що закінчується тріщиною, досить складного устаткування і наступних розрахунків. Тому визначати ці параметри треба тоді, коли знання їх дійсно необхідне.

Поняття про конструктивну міцність металу відбиває механічні його властивості, що виявляються в реальній конструкції (виробі). Варто засвоїти, що конструктивна міцність – це комплексна характеристика, причому, в цьому комплексі, поряд з опором деформації, особливе значення має опір руйнуванню. Особливе значення опір руйнуванню набуває тому, що на значення цієї характеристики набагато помітніше і несприятливим чином впливають об'ємність напруженого стану, масштабний фактор, концентратори напруг, неоднорідні системи деформацій і напруг, корозійний вплив зовнішнього середовища, тобто, усі фактори, що з'являються, або питома вага яких зростає при переході від зразка до конструкції. На відміну від зразка конструкція має також таку характеристику, як твердість, що визначається способом з'єднання частин конструкції, а також деякими іншими конструктивними особливостями. Зі збільшенням твердості зростає пружна енергія, що запасується в конструкції при навантаженні, і, відповідно, небезпека крихкого руйнування. Тому при жорсткому способі з'єднання частин конструкції (наприклад, зварюванні) збільшується значення внутрішньої здатності металу до розсіювання енергії – внутрішнього тертя. Внаслідок, як правило, набагато більшої маси конструкції, порівняно з масою зразка, принципово важливим є статистичний підхід до оцінки механічних характеристик, що входять у комплекс конструктивної міцності. Такий підхід дає можливість визначити з необхідним ступенем вірогідності імовірність відхилення механічних властивостей металу в конструкції від вимог стандарту

або розрахункових величин, виходячи з маси конструкції та інших граничних умов.

### **Лабораторна робота**

Визначення температури холодноламкості за допомогою серіальних випробувань на динамічний вигин з використанням ЕОМ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Визначте можливу область розрахунку виробу з даної сталі на міцність за значенням границі текучості, якщо критична температура крихкості дорівнює  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , критична швидкість навантаження  $-100\text{ Н/м}^2\cdot\text{с}$ , а критичний ступінь жорсткості і напруженого стану  $-2$ .
2. Як зміниться розмір припустимого дефекту при постійному рівні експлуатаційних напруг, якщо коефіцієнт інтенсивності напруг  $K_{Ic}$  збільшиться в 2 рази?
3. Яка діаграма записується при визначенні коефіцієнта інтенсивності напруг?
4. У чому полягають основні відмінності конструктивної міцності зразка при лабораторних випробуваннях?
5. Порівняйте твердість і конструктивну міцність зварної і клепаної конструкції.
6. Чим викликається необхідність статистичного підходу до оцінки конструктивної міцності?

#### ***2.3.4. Вплив зовнішніх факторів на механічні властивості***

Вплив температури навантаження в інтервалах холодної, теплої і гарячої деформації на опір деформації, пластичність і опір руйнуванню. Основні закономірності. "Аномальний" вплив температури. Явище холодноламкості. Види, практичне значення і природа.

Вплив швидкості навантаження (деформації) на основні групи механічних характеристик. Основні закономірності. Аномальний вплив швидкості. Механізм впливу температури і швидкості навантаження.

Вплив схеми напруженого стану. Ступінь жорсткості напруженого стану і концентрація напруг. Основні закономірності впливу. Природа впливу. Вибір схеми навантаження при лабораторних випробуваннях і технологічній деформації.

#### **Методичні вказівки**

Вплив температури і швидкості навантаження необхідно розглядати в трьох основних температурних інтервалах, які характеризуються різним внеском теплового руху атомів у процеси, що відбуваються в металі при навантаженні: нижче температури динамічного відпочинку; вище цієї температури, але нижче температури рекристалізації; вище температури

рекристалізації. У зазначених інтервалах спостерігається різна інтенсивність зміни різних механічних характеристик і можуть видозмінюватися конкретні механізми впливу температури і швидкості навантаження.

Вплив температури на опір пружній деформації описується лінійним законом, а на опір пластичній – законом експоненти, причому, загальна закономірність – це зменшення опору деформації з підвищенням температури. Зверніть увагу, що інтенсивність деформаційного зміцнення починає помітно знижуватися тільки з переходом до теплої і потім до гарячої деформації. Пластичність з підвищенням температури в цілому росте в інтервалах теплої і холодної деформації, а в інтервалі холодної або змінюється незначно, або різко збільшується від нульових значень у визначеному діапазоні температур (для холодноламких металів). Варто засвоїти, що можуть спостерігатися істотні відхилення від вищевказаних загальних закономірностей: у деяких температурних інтервалах підвищення температури викликає підвищення опору деформації і зниження пластичності. У зв'язку з великою практичною важливістю таких аномалій приділіть достатню увагу вивченню їхніх причин: динамічне деформаційне старіння, структурна нестабільність, оплавлення мікрооб'ємів металу, окислювання границь зерен. Проаналізуйте, які з аномалій мають оборотний і які – необоротний характер.

Вплив температури на опір руйнуванню найбільш істотним чином виявляється в явищі холодноламкості, тобто в переході від в'язкого стану до крихкого при зниженні температури з усіма наслідками, що звідси випливають. Варто добре уявляти практичне значення явища холодноламкості в зв'язку з можливістю зниження експлуатаційних і технологічних температур і тією обставиною, що холодноламкими є основні конструкційні метали і сплави сучасної техніки. Природу явища холодноламкості необхідно вивчати з загальних позицій переходу до крихкого руйнування, причому, в даному випадку досягнення критичного часу запізнювання забезпечується зниженням температури при досить високій енергії активації пластичної деформації холодноламких металів. На основі засвоєння механізму явища холодноламкості слід проаналізувати основні способи зменшення небезпеки цього явища.

Вивчаючи вплив швидкості навантаження (деформації), необхідно, насамперед, добре уявляти, що вплив цього фактора виявляється через фактор часу: зі збільшенням швидкості час навантаження на даний ступінь зменшується. Зростання швидкості навантаження призводить до збільшення опору деформації і часто – до зниження пластичності. Зниження пластичності спостерігається з ростом швидкості в інтервалах теплої і гарячої деформації. Дуже різко – до нуля – може падати пластичність в інтервалі холодної деформації для холодноламких металів у зв'язку з їх переходом у крихкий стан. Таким чином, підвищення швидкості впливає на механічні характеристики якісно аналогічно зниженню температури. Але кількісно вплив швидкості істотно менше. Формально це виражається в тім, що у відповідних рівняннях швидкість знаходиться під знаком логарифма. Як і у випадку температури,



вплив швидкості навантаження на механічні характеристики може бути протилежним зазначеному вище. Дуже характерно, що в більшості випадків аномальний вплив швидкості спостерігається в інтервалах аномального впливу температури. Варто добре уявляти причину такої залежності: зі збільшенням швидкості "не вистачає" часу для розвитку температурних аномалій.

Природу впливу температури і швидкості навантаження варто розглядати спільно, тому що вплив обох факторів зв'язаний зі зміною внеску енергії теплових коливань у процеси, що відбуваються в металі при навантаженні, насамперед – переміщення дислокацій. Однак, якщо температура впливає через зміну енергії теплових коливань, то швидкість – через зміну сумарного числа ефективних теплових коливань за час навантаження. Саме тому інтенсивність впливу швидкості істотно менше. Зверніть далі увагу, що в інтервалах теплої і, особливо, гарячої деформації внесок теплових коливань не тільки полегшує подолання дислокаціями різного роду "бар'єрів", але і зменшує число останніх за рахунок анігіляції дислокацій у процесі динамічного відпочинку і рекристалізації.

Схема напруженого стану визначається схемою навантаження і геометрією виробу, що навантажується. Необхідно добре засвоїти сутність основних параметрів схеми напруженого стану (ступеня жорсткості напруженого стану і коефіцієнта концентрації напруг) і знати аналітичні вирази для цих параметрів. Зверніть увагу, що головний вплив вони здійснюють на опір руйнуванню і пластичність: зі збільшенням ступеня жорсткості напруженого стану і коефіцієнта концентрації напруг опір руйнуванню і пластичність падає. Ця закономірність пояснюється зменшенням частки дотичних напруг, збільшенням часу запізнювання пластичної деформації і локалізацією останньої.

Варто знати, що зазначена закономірність використовується не тільки для підбору придатного металу (сплаву) при заданих експлуатаційних параметрах напруженого стану, але і при виборі схеми навантаження при лабораторних випробуваннях або технологічній деформації в залежності від потенційного запасу пластичності і в'язкості даного металу (сплаву). У зв'язку з цим, потрібно знати або вміти обчислити значення ступеня жорсткості напруженого стану при розтягненні, стисканні, крутінні, вигині, вимірі твердості, основних схемах обробки тиском. Потрібно знати також, при якій схемі напруженого стану ступінь жорсткості його прагне до нескінченності і при якій метал матиме максимальну пластичність, при яких умовах реалізуються на практиці такі або ж близькі до таких схеми напруженого стану. При виборі методики оцінки опору металу пластичній деформації або його технологічній деформації застосовується наступне загальне правило: чим менше потенційний запас пластичності і в'язкості даного металу, тим "м'якішою" повинна бути для нього схема напруженого стану. Універсальним методом оцінки опору пластичної деформації як пластичних, так і порівняно крихких металів є вимір твердості за способом вдавлювання. Тому необхідно знати принцип, переваги і недоліки основних методів визначення твердості: за Бринеллем (ТШ), Віккерсом (ТП), Роквеллом (ТК).

## Лабораторна робота

Вплив зовнішніх факторів на опір деформації і пластичність.

### Питання для самоперевірки

1. У чому полягає практичне значення впливу температури і швидкості навантаження на механічні властивості?
2. Чому вплив температури і швидкості навантаження варто вивчати диференційовано за температурними інтервалами?
3. Назвіть основні закономірності і відхилення від них за впливом температури і швидкості навантаження на механічні властивості.
4. Чи можна на підставі порівняння відповідних аналітичних виразів зробити висновок про інтенсивніший вплив температури на механічні властивості порівняно зі швидкістю навантаження?
5. Який зв'язок явища холодноламкості і крихкого руйнування металів?
6. Які причини холодноламкості?
7. У чому відмінності механізму впливу температури і швидкості навантаження в інтервалах холодної і гарячої деформації?
8. Дайте визначення ступеня жорсткості напруженого стану і самостійно одержіть значення цієї характеристики для одноосового розтягнення, стискання, крутіння.
9. Як залежить коефіцієнт концентрації напруг від величини радіуса заокруглення в місці зміни поперечного перерізу?
10. Яким чином ступінь жорсткості напруженого стану залежить від геометрії виробу, що навантажується?
11. Як зміниться макропластичність металу, якщо ступінь жорсткості напруженого стану збільшується і при цьому перевершує критичний?
12. Чому наявність концентрації напруг сприяє локалізації деформації?
13. Чому з ростом ступеня жорсткості напруженого стану збільшується час запізнювання пластичної деформації?

### *2.3.5. Вплив внутрішніх факторів на механічні властивості*

Вплив макроструктури при хаотичному і спрямованому розподілі її елементів. Значення об'ємної частки несучільностей і їхньої форми. Явище "механічної" анізотропії, сутність, оцінка, практичний облік. Механізм впливу макроструктури на пластичність і опір руйнуванню.

Вплив мікроструктури. Вплив розміру зерна матриці на опір деформації. Естафетна передача ковзання. Рівняння Холла-Петча. Основні закономірності впливу розміру зерна на пластичність і опір руйнуванню. Вплив виділень надлишкової фази. Значення об'ємної частки, розміру, форми, властивостей часток надлишкової фази, їхнього розподілу в матриці. Вплив різних характеристик надлишкової фази на опір деформації, пластичність і опір руйнуванню. Механізм впливу.

Вплив тонкої (дислокаційної) структури – щільності і розподілу дислокацій. Сучасне значення дислокаційної структури для одержання високого комплексу механічних властивостей. Вплив на опір деформації, руйнуванню, пластичність. Роль коміркової дислокаційної структури.

### **Методичні вказівки**

Перед вивченням даного підрозділу необхідно згадати або усвідомити сутність кожного рівня структури і його основні параметри, а також, яким чином формується в металі той чи інший рівень структури.

Варто усвідомити, що параметри макроструктури (індекс забрудненості металів несутцільностями різного походження, ступінь нерівновісності цих несутцільностей, волокниста будова) впливають, головним чином, на опір руйнуванню і пластичність. Як правило, ці механічні характеристики знижуються зі збільшенням індексу забруднення і збільшення ступеня нерівновісності несутцільностей. Зверніть увагу, що інтенсивність зазначеного впливу зростає з підвищенням границі текучості металу (сплаву) і може бути неоднаковою залежно від типу розташування несутцільностей у металі. Останнє при орієнтованому (переважному) розташуванні несутцільностей і волокон металу веде до значної залежності значень пластичності і в'язкості від напрямку – до явища "механічної" анізотропії. При цьому мінімальні значення пластичності і в'язкості фіксуються для таких зразків і виробів, для яких вектор максимальних розтягуючих напруг нормальний до напрямку переважної орієнтації несутцільностей і волокон. Необхідно знати, яким чином явище "механічної" анізотропії враховується в стандартах на здавальні випробування, а також при експлуатації. Механізм зниження пластичності і в'язкості при несприятливій макроструктурі варто розглядати з позицій впливу несутцільностей як концентраторів напруг; надрізів, що збільшують ступінь жорсткості напруженого стану в прилягаючих мікрооб'ємах металу; у ряді випадків – як готових тріщин.

При вивченні впливу розміру зерна важливо зрозуміти роль границь як непроникних для дислокацій бар'єрів, число яких в одиниці об'єму металу росте зі зменшенням зерна. Додаткова напруга витрачається, таким чином, для естафетної передачі ковзання від зерна до зерна. Ретельно проаналізуйте фізичний зміст параметрів, що входять у рівняння Холла-Петча – фундаментального рівняння механіки полікристалічних металів і сплавів. Зверніть увагу на більш складний характер впливу розміру зерна на пластичність у порівнянні з його впливом на опір деформації і на необхідність диференційованого підходу до вивчення впливу розміру зерна на пластичність у залежності від роду металу й умов навантаження. Так, для холодноламких металів збільшення розміру зерна може привести до різкого падіння пластичності, якщо температура холодноламкості виявиться при цьому вище температури навантаження. В області в'язкого руйнування і холодної деформації вплив розміру зерна на пластичність описується екстремальною

функцією. Нарешті, в області гарячої деформації збільшення розміру зерна знижує пластичність. Вплив розміру зерна на пластичність тісно зв'язаний з впливом цього структурного параметра на опір руйнуванню, яке звичайно падає зі збільшенням розміру зерна. Особливо яскраво несприятливий вплив збільшення розміру зерна виявляється в збільшенні схильності до крихкого руйнування для холодноламких металів. Зі збільшенням розміру зерна відбувається більш неоднорідний розподіл деформацій і напруг, збільшується схильність до локалізації деформації, полегшується утворення і поширення тріщин. Усе це сприяє зниженню пластичності й опору руйнуванню. Слід, однак, враховувати, що зі здрібнюванням зерна збільшується швидкість накопичення дислокацій, тому у визначених умовах і інтервалах пластичність може збільшуватися при укрупненні зерна.

Частки надлишкової фази, що вводяться в метал, є перешкодами для руху дислокацій, концентраторами напруг, а також збільшують ступінь жорсткості напруженого стану в прилягаючих мікрооб'ємах металу і швидкість накопичування дислокацій при деформації. Розгляньте з зазначених позицій збільшення опору деформації, зниження пластичності й опору руйнуванню з підвищенням об'ємної частки надлишкової фази і поверхні її розділу з матрицею, переходом до часток нерівновісної форми і їхнім нерівномірним розподілом у матриці. Важливо врахувати і властивості самих часток надлишкової фази, звичайно більш твердих і крихких, ніж матриця. Необхідно чітко уявляти сутність і границі застосовності основних механізмів взаємодії дислокацій з частками надлишкової фази: перерізання і огинання. Варто добре засвоїти, що в тісному зв'язку з цими механізмами знаходиться екстремальний вплив розміру часток надлишкової фази на опір деформації: опір деформації максимальний при визначеному ("критичному") розмірі часток.

Вивчаючи вплив дислокаційної структури, слід усвідомити, що в даний час багато видів зміцнювальної обробки вмщують деформацію і спрямовані на створення дислокаційних структур визначеного типу. Розвиток відповідних досліджень призвів до висновку, що збільшення щільності дислокацій, підвищуючи опір деформації, може одночасно підвищити й опір руйнуванню, якщо створюється коміркова дислокаційна структура з достатнім ступенем розорієнтування між комірками і порівняно невеликим запасом пружної енергії. Створювана в такий спосіб дислокаційна субструктура діє аналогічно здрібнюванню зерна і, наприклад, для тугоплавких ОЦК-металів забезпечує необхідну низькотемпературну технологічну пластичність. Якщо зазначені вище умови не дотримуються, то має місце звичайна закономірність: підвищення щільності дислокацій збільшує опір деформації, але знижує опір руйнуванню і пластичність.

### **Лабораторна робота**

Вплив мікроструктури на опір деформації і пластичність

### **Питання для самоперевірки**

1. Яким чином вплив структури на механічні властивості зв'язаний з термічною обробкою металів і сплавів?
2. Чому наявність у металі несущільностей нерівновісної форми помітніше знижує його пластичність, ніж несущільності рівновісної форми?
3. Як можна в кількісній формі оцінити "механічну" анізотропію?
4. З чим зв'язана додаткова витрата енергії при передачі ковзання від зерна до зерна?
5. З якими механічними характеристиками розмір зерна матриці і розмір часток надлишкової фази зв'язаний екстремальними залежностями?
6. Чи може і яким чином вплив розміру зерна на пластичність в інтервалі гарячої деформації бути зв'язаний з явищем надпластичності?
7. Поясніть зниження температури холодноламкості при здрібнюванні зерна.
8. Чому границя текучості сталі У8 вище границі текучості сталі З?
9. При якому розподілі крихкої надлишкової фази в матриці можливе інтеркристалітне руйнування?
10. Після якої термічної обробки (нормалізації або поліпшення) пластичність сталі У8 буде більше?
11. Поясніть підвищення опору деформації і зниження пластичності зі збільшенням щільності дислокацій.
12. Чому утворення коміркової дислокаційної структури може приводити до зниження температури холодноламкості?

#### ***2.3.6. Механічні властивості при тривалому навантаженні***

Накопичування деформацій і ушкоджень як функція часу силового впливу на метал.

Механічні властивості при циклічному навантаженні. Практичне значення й основні параметри циклічного навантаження. Діаграми втомленості. Визначення основних механічних характеристик. Особливості деформації і руйнування при циклічному навантаженні. Вплив різних факторів на циклічну міцність.

Механічні властивості при повзучості. Умови прояву й основні види повзучості. Високотемпературна повзучість. Діаграми повзучості. Вплив температури і величини напруги на швидкість повзучості. Визначення основних механічних характеристик. Особливості деформації і руйнування при повзучості. Основні фактори, що впливають на опір повзучості.

### **Методичні вказівки**

В умовах порівняно короткочасного так званого активного навантаження величина деформації й ушкоджень у металі є функцією рівня навантаження (напруги), і досягнення граничної пластичності або руйнування вимагає, як правило, постійного підвищення рівня навантаження. За певних умов тривалого навантаження накопичування деформацій і ушкоджень залежить від тривалості

силового впливу, причому, максимальний рівень останнього може бути постійним. Включення фактора часу впливу призводить до істотного зниження значень напруг, у порівнянні з активним навантаженням, які можуть призвести до деформації і руйнування металу. У цьому полягає головна особливість поведінки металу при тривалому навантаженні, яку слід добре усвідомити. Далі потрібно усвідомити, що для дійового впливу фактора часу необхідно не тільки досить тривале навантаження, але і певне сполучення зовнішніх факторів навантаження. З останніх найбільш важливими є: або циклічне прикладення навантаження (напруги), або підвищення температури до температури рекристалізації і вище, або активний вплив зовнішнього середовища, або таке чи інше сполучення перелічених факторів.

Циклічне, тобто таке, що періодично змінюється в часі за величиною або за величиною і напрямком, навантаження надзвичайно поширене на практиці. Більш ніж 2/3 загального числа поломок деталей машин і конструкцій мають характер руйнувань від втомленості. Вивчення методики визначення сутності механічних властивостей при циклічному навантаженні почніть з аналізу визначення циклу, його основних параметрів, класифікації типів циклів. Потім розгляньте методику побудови і типи діаграм втомленості. Зверніть увагу, які параметри циклу й у яких випадках характеризують циклічну міцність; як і з якою метою здійснюється статистична обробка результатів випробувань на втомленість. Особливо зупиніться на тих випадках, коли можуть бути визначені межі як обмеженої, так і необмеженої витривалості.

Розглядаючи механізм деформації при циклічному навантаженні, порівняйте його з відповідним механізмом при активному навантаженні. Зверніть увагу на дуже мале зміцнення в першому випадку, гістерезисний характер деформації, проаналізуйте причини цих явищ. Розгляньте дислокаційну і мікроструктурну картину деформації. Дуже важливо засвоїти роль вільної поверхні і поверхневих явищ у випадку циклічного навантаження. Вивчаючи механізм руйнування від втомленості, зверніть увагу на зв'язок його особливостей з особливостями процесу деформації, розгляньте дислокаційні механізми утворення і росту тріщин від втомленості, а також мікроструктурну картину руйнування. Варто усвідомити, що утворення первинних мікротріщин при циклічному навантаженні відбувається порівняно швидко, а опір руйнуванню від втомленості звичайно визначається опором розвитку тріщин. Особливу увагу приділіть характерним ознакам зламів від втомленості, за якими можна зробити важливі висновки про умови служби виробу і причинах виходу його з ладу.

На закінчення необхідно розглянути вплив параметрів циклічного навантаження, його температури, а також стану поверхні і термічної обробки на циклічну міцність металів і сплавів.

Переходячи до розгляду явища повзучості, усвідомте, що умовами його прояву є достатня швидкість дифузійних процесів за рахунок підвищення температури і низьких швидкостей деформації при незмінному в часі рівні

навантаження. Розгляньте значення явища повзучості в сучасній техніці. Зверніть далі увагу, що різні види повзучості класифікуються за температурними інтервалами навантаження. Основне практичне значення при цьому має так звана високотемпературна повзучість в інтервалі (0,5...0,8) від абсолютної температури плавлення. Вивченню цього виду повзучості приділіть основну увагу.

Розглядаючи діаграми повзучості, проаналізуйте основні стадії повзучості залежно від співвідношення швидкостей зміцнення і знеміцнювання. Особливо варто виділити і вивчити стадію сталої повзучості, як практично найбільш важливу. Засвойте вирази, що зв'язують швидкість сталої повзучості з температурою і величиною прикладеної напруги. Ознайомтеся з методикою визначення механічних властивостей при повзучості. Варто чітко уявляти фізичну сутність і практичне значення основних характеристик: умовної границі повзучості і границі тривалої міцності.

При розгляді механізму пластичної деформації в умовах високо-температурної повзучості зверніть увагу на два основних положення: своєрідність термічної активації процесу ковзання і співвідношення між деформацією в обсязі зерен і деформацією їхніх приграничних шарів. Варто врахувати, що обидва ці положення зв'язані між собою. Вивчаючи процес руйнування при повзучості, майте на увазі, що якщо процес зародження тріщин може бути описаний за допомогою дислокаційних механізмів, то ріст тріщин звичайно розглядається з залученням дифузії вакансій. При цьому, чим вище температура і нижче рівень прикладених напруг, тим більше роль дифузійних процесів, що можуть уже мати значення не тільки для росту, але і для зародження тріщин. Зверніть далі увагу на переважно інтеркристалітний характер руйнування при повзучості й усвідомте причини цього.

На закінчення розгляньте роль величини зерна, енергії активації дифузійних процесів, виділень надлишкової фази, дислокаційної субструктури матриці в опорі повзучості.

### **Питання для самоперевірки**

1. У чому полягає принципове і практичне значення впливу часу навантаження на механічні властивості?
2. У чому небезпека циклічного навантаження порівняно з активним?
3. Чи може симетричний цикл бути знакопостійним?
4. У якому випадку як границя витривалості виступає амплітудна напруга циклу?
5. Для яких металів (сплавів) і в яких умовах циклічного навантаження є зона необмеженої довговічності?
6. Як зв'язана деформація при циклічному навантаженні з утворенням первинних тріщин?
7. Вкажіть основні зони зламу від втомленості.
8. Яким чином можна підвищити циклічну міцність?

9. Якщо деталь працює в умовах повзучості, чи випробує вона тільки пружну або ще й пластичну деформацію?
10. Назвіть приклади галузей техніки, де може мати значення явище повзучості.
11. Чим відрізняється діаграма повзучості від діаграми деформації при активному навантаженні?
12. Чому основне практичне значення має стадія сталої повзучості?
13. Чи можна визначити умовну границю повзучості, використовуючи один зразок?
14. У чому полягає роль дифузії вакансій для процесу повзучості?
15. При яких умовах повзучості на границях зерен утворюються клиноподібні тріщини? При яких умовах - пори?
16. Як впливає розмір зерна матриці на опір повзучості?

### **3. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

#### **3.1. Варіанти контрольних завдань**

##### *Завдання № 1*

##### **Варіант 1**

1. Діаграми деформації (сутність, класифікація, принципи аналізу).
2. Визначення температур холодноламкості за допомогою серіальних випробувань на динамічний вигин.
3. Магнітні властивості металів (основні визначення, природа, класифікація металів за магнітними властивостями).

##### **Варіант 2**

1. Явище локалізації пластичної деформації і надпластичність металів.
2. Визначення механічних властивостей при стисканні.
3. Температура Кюрі даної сталі дорівнює 700°C. Визначте температурний інтервал застосовності електромагнітного крана для транспортування заготовок з цієї сталі.

##### **Варіант 3**

1. Деформаційне зміцнення металів (сутність, основні закономірності, значення).
2. Визначення твердості за Роквеллом.
3. Нагріваються дві заготовки – з вуглецевої і легованої сталі – однакового перетину і до однакової температури. Для заготовки з якої сталі варто дати більший час витримки, якщо відомо, що коефіцієнт температуропровідності вуглецевої сталі більше, ніж легованої?



#### **Варіант 4**

1. Природа "зуба" і "площадки" плинності на діаграмах деформації.
2. Визначення границі тривалої міцності.
3. При магнітному аналізі сплаву визначили температури Кюрі, які дорівнюють 200 і 800 °С. Вкажіть мінімальне число фаз, що входять в сплав. Чому це число слід назвати мінімальним?

#### **Варіант 5**

1. В'язке руйнування (ознаки, закономірності, механізм).
2. Визначення умовної границі повзучості.
3. Використання магнітних властивостей металів на практиці, у тому числі при обробці тиском.

#### **Варіант 6**

1. Крихке руйнування (ознаки, закономірності, механізм).
2. Визначення твердості за Брінеллем.
3. Електричні властивості металів (основні визначення і природа).

#### **Варіант 7**

1. Критерії схильності металів до крихкого руйнування.
2. Визначення твердості за Віккерсом.
3. Необхідно замірити електроопір дроту за порядком величини  $10^{-3}$  Ом з точністю не менш 0,5 %. Запропонуйте метод виміру.

#### **Варіант 8**

1. Конструктивна міцність металів.
2. Визначення механічних властивостей при розтягненні.
3. Методи визначення електричних властивостей металів.

#### **Варіант 9**

1. Вплив температури на механічні властивості.
2. Визначення ударної в'язкості.
3. Використання електричних властивостей металів на практиці, у тому числі в практиці обробки тиском.

#### **Варіант 10**

1. Явище холодноламкості металів (сутність, значення, природа).
2. Визначення механічних властивостей при вигині.
3. Щільність металів (основні визначення, природа, методи визначення).

#### **Варіант 11**

1. Вплив швидкості навантаження (деформації) на механічні властивості.
2. Визначення механічних властивостей при крутінні.
3. Мідний дріт і дріт з низьковуглецевої сталі деформували холодним волочінням в інтервалі від 5 до 90 %. Для якого з цих дротів можна одержати графік залежності коерцитивної сили від ступеня деформації і як він у принципі виглядатиме?

### **Варіант 12**

1. Вплив схеми напруженого стану на механічні властивості.
2. Визначення границь витривалості при циклічному навантаженні.
3. Використання щільності і термічного розширення металів на практиці, у тому числі в практиці обробки тиском.

### **Варіант 13**

1. Вплив макроструктури на механічні властивості.
2. Визначення параметра в'язкості руйнування  $K_{1c}$ .
3. Теплові властивості металів (основні визначення, природа, використання на практиці, у тому числі в практиці обробки тиском).

### **Варіант 14**

1. Вплив розміру зерна на механічні властивості.
2. Побудова й аналіз діаграми втомленості.
3. Методи визначення феромагнітних властивостей металів.

### **Варіант 15**

1. Вплив надлишкової фази на механічні властивості.
2. Визначення фізичної й умовної границь текучості.
3. Порівняльний аналіз електро- і теплопровідності металів.

### **Варіант 16**

1. Вплив дислокаційної структури на механічні властивості.
2. Будова "крихких" і "в'язких" зламів.
3. Укажіть "ширину" петлі магнітного гістерезиса, якщо величина коерцитивної сили сплаву А дорівнює 400 Е, а сплаву Б – 0,1Е. Який сплав придатний для постійного магніту?

### **Варіант 17**

1. Механічні властивості при циклічному навантаженні (сутність, особливості, вплив різних факторів).
2. Принципи улаштування і класифікації випробувальних машин.
3. Фізична сутність процесів намагнічування і розмагнічування феромагнетиків.

### **Варіант 18**

1. Особливості деформації і руйнування при циклічному навантаженні.
2. Жорсткість випробувальних машин (сутність і значення).
3. Використання фізичних властивостей металів при основних технологічних операціях обробки тиском.

### **Варіант 19**

1. Механічні властивості при повзучості (сутність, особливості, вплив різних факторів).
2. Аналіз зламів від втомленості.
3. Сталевий зливочок нагрівається з постійною швидкістю в інтервалах 200.....600 і 600...1000 °С. Чи буде однаковою різниця температур між поверхнею і центром у зазначених інтервалах ( у середньому)?

### **Варіант 20**

1. Особливості деформації і руйнування при повзучості.
2. Одержання, сутність і значення істинних діаграм деформації.
3. Використання фізичних властивостей металів для неруйнівного контролю механічних властивостей металопродукції.

### **Варіант 21**

1. Вплив температури деформації на механічні властивості металів і сплавів.
2. Механічні властивості, що визначені за технічною діаграмою розтягнення.
3. Яка фізична природа магнетизму?

### **Варіант 22**

1. Механічні властивості, що визначаються на стадії макропластичної деформації.
2. Механічні властивості, що визначаються за технічною діаграмою стискування.
3. Описати процес намагнічування і розмагнічування феромагнетика.

### **Варіант 23**

1. Основні стадії поводження металу під навантаженням.
2. Вплив температури на опір металу руйнуванню (температура холодноламкості).
3. Назвати характерні точки магнітного гістерезиса, пояснити їхній фізичний зміст.

### **Варіант 24**

1. Вплив макроструктури на механічні властивості.
2. Механічні властивості, що визначаються за технічною діаграмою вигину.
3. Перелічіть фактори, що обумовлюють збільшення коерцитивної сили.

### **Варіант 25**

1. Основні групи механічних властивостей.
2. Одержання кривих холодноламкості при серіальних випробуваннях на динамічний вигин.
3. Основні методи визначення електроопору, їхні переваги і недоліки.

### **Варіант 26**

1. Визначення твердості за методом Брінелля.
2. Вплив розміру зерна на опір пластичній деформації.
3. Як зміниться електроопір при упорядкуванні твердого розчину?

### **Варіант 27**

1. Визначення твердості за методом Віккерса.
2. Механічні властивості, що визначаються за технічною діаграмою крутіння.
3. Чому електроопір хімічних сполук металів вище, ніж електроопір кожного компонента окремо?

### **Варіант 28**

1. Принципи аналізу діаграми деформації.
2. Вплив температури навантаження на механічні властивості.
3. Як буде змінюватися електроопір заліза залежно від ступеня холодного наклепу?

### **Варіант 29**

1. Класифікація діаграм деформації і руйнування.
2. Вплив швидкості навантаження на механічні властивості металів і сплавів.
3. Як буде змінюватися електроопір при відпусканні холоднодеформованої або загартованої на мартенсит сталі?

### **Варіант 30**

1. Основні феноменологічні (класифікаційні) ознаки в'язкого руйнування.
2. Визначення границі текучості і границі міцності за технічною діаграмою розтягнення.
3. Чому електроопір металів збільшується зі збільшенням температури?

## ***Завдання № 2***

Зробити аналіз технічної діаграми розтягнення і визначити основні групи механічних властивостей:

- характеристики опору металу пластичній деформації: фізичну ( $\sigma_T$ ) чи умовну ( $\sigma_{0,2}$ ) границі текучості, границю міцності ( $\sigma_B$ );
- характеристики пластичності: загальне ( $\delta_{\text{общ.}}$ ) і рівномірне ( $\delta_p$ ) відносне подовження;
- характеристики опору металу руйнуванню: загальну ( $A$ ) і питому ( $a$ ) роботу руйнування (в'язкість) (діаграма деформації видається кожному індивідуально).

### 3.2. Методичні вказівки з виконання контрольних завдань

Передбачена навчальним планом контрольна робота вміщує один з варіантів завдання № 1 і завдання № 2, наведені у підрозділі 3.1. Вибір номера варіанта здійснюється відповідно до порядкового номера прізвища студента в списку групи. При виконанні контрольної роботи, крім рекомендованої навчальної і монографічної літератури, варто користатися і періодичною (журнали: «Заводская лаборатория», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Проблемы прочности», «Сталь» та ін.), а також використовувати досвід тих підприємств, де працює студент. Приступати до відповіді на те чи інше питання необхідно тільки після повного пророблення того розділу, до якого відноситься дане питання. При цьому, незалежно від порядку розташування питання в контрольному завданні, працювати над ним слід в тому ж порядку, у якому вивчається дана дисципліна. Після завершення вивчення дисципліни в повному обсязі в контрольну роботу, у разі потреби, вносяться корективи і доповнення.

Відповідати на питання потрібно по суті, повно і ясно, домагаючись при цьому стислості викладу. Дослівно переписувати з літератури допускається лише загальноприйняті визначення, обов'язково виділяючи ці місця в роботі лапками. Зверніть увагу, що перше питання завдання зв'язане з одним з основних явищ, закономірностей, процесів, викладених у дисципліні «Структура і властивості металів і сплавів». Відповідь повинна бути побудована відповідно до програми і методичних вказівок розділу 2. Друге питання, як правило, включає методику визначення різних механічних характеристик. Третє питання завдання зв'язане з фізичними властивостями металів. Робота повинна мати необхідне число формул, проілюстрована графіками, схемами, ескізами, таблицями із суцільною їх нумерацією в межах відповіді на дане питання (рисунок і таблиці – окремо) і поясненнями позначень. Розмірності варто наводити переважно в розмірності СІ. Наприкінці роботи в обов'язковому порядку наводиться список використаної літератури, оформленої відповідно до правил. Робота повинна бути написана розбірливим почерком, з полями, акуратно оформлена.

Усі помилки і недоліки роботи, зазначені викладачем, підлягають обов'язковому виправленню студентом незалежно від того, зарахована робота чи ні.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов: Учебник для вузов. 3 изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов: Учебник, 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1979. – 496 с.
3. Лившиц Б.Г. и др. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
4. Гуль Ю.П., Чмелева В.С. Структура и механические свойства металлов и сплавов: Учебное пособие. – Днепропетровск: НМетАУ, 2005. – 40 с.

### Додаткова

1. Беда Н.И. и др. Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В 2-х частях. Части 1-2. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Полухин П.И. и др. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. М.: Металлургия, 1976. – 488 с.
4. Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов: Справочник./ Под ред. Блюменаура. – М.: Металлургия, 1989. – 575 с.