

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсового проекту з дисципліни
«Механічні властивості та конструкційна міцність
матеріалів» для студентів спеціальності
132«Матеріалознавство»
усіх форм навчання

2025

Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання/
Укладач: О.В. Климов, О.В. Лисиця. – Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2025 - 26 с.

Укладачі: О.В. Климов, доцент, к.т.н.
О.В. Лисиця, ст.викладач

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

Відповідальний за випуск: Д.В. Ткач, к.т.н., доцент

Рекомендовано
до видання НМК інженерно-
фізичного факультету
Протокол № 8
від «11» березня 2025 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Фізичне матеріалознавство»
Протокол № 6
від «22» січня 2025 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Аналіз умов експлуатації виробу та вимоги до матеріалу	6
2. Зразки, обладнання та методика проведення випробувань механічних властивостей матеріалів	6
3. Експертиза причин руйнування виробів.....	7
4. Аналіз залежності механічних властивостей матеріалу від складу, структури, термічної обробки та умов випробування.....	9
5. Напрями підвищення конструкційної міцності виробів	11
6. Конструкція та робота обладнання для випробування механічних властивостей	14
Перелік джерел	15
Додаток А Завдання до курсового проекту	19

ВСТУП

Виконання курсового проекту (КП) передбачає засвоєння отриманих при вивченні дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» знань, набування навичок в складанні плану комплексних досліджень механічних властивостей матеріалів зразків та виробів.

Під час виконання КП здобувачі вищої освіти вчать ставити задачі перед проведенням досліджень, обґрунтовано вибирати методи досліджень механічних властивостей та необхідне обладнання. Формулювати технічні вимоги до зразків, вибирати зразки та складати маршрутну технологію їх виготовлення. При виконанні КП вивчаються міжнародні та державні стандарти на проведення механічних випробувань.

В практичній діяльності фахівці – матеріалознавці та термісти вирішують такі основні групи питань:

- обґрунтований вибір матеріалів з врахуванням вимог до них та умов експлуатації виробів;

- обґрунтоване призначення технології термічної (хіміко-термічної) обробки;

- аналіз причин виходу з ладу (відмови) виробів в процесі експлуатації;

- розробка матеріалів та технологічних процесів термічної обробки з метою отримання заданого рівня механічних та експлуатаційних характеристик виробів.

Вирішення цих питань неможливе без врахування властивостей матеріалів, в більшості випадків – без проведення випробувань механічних властивостей, отримання залежностей властивостей від хімічного складу, структури, параметрів термічної обробки та умов випробувань. При визначенні залежностей в вигляді рівнянь регресії обов'язкове використання комп'ютерних технологій.

Звіт до КП складається з пояснювальної записки (ПЗ) і графічної частини (ГЧ).

До складу ПЗ входять такі структурні частини: титульний лист, завдання до курсового проекту, реферат, зміст, вступ, основна частина, заключення, список посилань, додатки. При написанні ПЗ необхідно дотримуватись вимог ДСТУ 8302-2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Основна частина складається із розділів:

- аналіз умов експлуатації виробу і вимоги до матеріалу;
- зразки, обладнання та методика проведення випробувань механічних властивостей;
- експертиза причин руйнування виробів;
- аналіз залежності механічних властивостей матеріалу від його складу, структури та термічної обробки;
- напрямки підвищення конструкційної міцності виробів;
- конструкція та робота обладнання для випробування механічних властивостей.

Перелік розділів основної частини ПЗ залежить від теми КП і наводиться в завданні.

В ГЧ приводяться графіки, таблиці, стовпчасті діаграми залежностей властивостей від різних чинників, креслення зразків, схеми обладнання для проведення випробувань механічних властивостей. ГЧ виконується на двох аркушах формату А1 (А2) у відповідності з вимогами ЄСКД. Зміст ГЧ викладається в завданні.

Вхідні дані до КП вносяться в завдання і включають: тему роботи; матеріал (-и) і розміри виробів, умови експлуатації виробів; вимоги до матеріалу виробів; зміст ПЗ та ГЧ, графік виконання проекту та термін захисту.

1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБУ ТА ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ

В графічній частині КП приводяться креслення (ескізи) виробу, технічні вимоги до нього та матеріалу.

В ПЗ аналізуються умови експлуатації виробів: зусилля (напруження), їх зміна в часі. Приводяться тензори напружень, деформації, епюри напружень впоперечному та повздовжньому напрямках, епюри згинальних та обертових моментів.

Аналізується характер напруженого стану (статичний, динамічний, циклічний знакозмінний, циклічний знакопостійний, довготривалий постійний). На виробі виявляються концентратори напружень і аналізується їх вплив на рівень напружень, довговічність виробу. Враховується робоче середовище, його температура, температура на поверхні виробів.

В тих випадках, коли в процесі експлуатації виробу спостерігається зношення, аналізується характер тертя, зношення, вплив робочого середовища. В разі відсутності кількісних даних щодо рівня зусиль, напружень про ці параметри говориться на якісному рівні.

Приводяться дані про ресурс роботи виробу, можливості міжексплуатаційного (реставраційного) ремонту.

В вимогах до матеріалу виробу наводяться дані: про хімічний склад в відповідності зі стандартом; про твердість; границюплинності, витривалості, повзучості, тривалої міцності, ударну в'язкість, зносостійкість, контактну витривалість як при кімнатній температурі, так і при температурах експлуатації; холодностійкість; характеристики пластичності.

2. ЗРАЗКИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

В цьому розділі на основі умов експлуатації виробу обґрунтовується вибір методів випробування механічних властивостей. Приводиться перелік методів випробувань і методична карта цих випробувань. Приклад методичної карти проведення механічних випробувань наведено в табл. 3.1.

Якщо випробування проводяться на зразках, то приводиться схема вирізання проб або зразків. Відбирання проб для виготовлення зразків проводять у відповідності з [3]. Часто для виготовлення зразків використовують зразки-свідки, які проходять таку ж обробку, як і вироби. Розміри зразків-свідків повинні бути такими, щоб забезпечувалась можливість виготовлення зразків для випробування механічних властивостей.

Описується перелік технологічних операцій виготовлення зразків з припусками на різних стадіях, приводяться робочі креслення зразків з врахуванням вимог відповідних стандартів – [1-2, 4-31] та ЄСКД.

Обґрунтовується вибір обладнання (як основного, так і допоміжного) для проведення випробувань інструментів. Вказуються допуски на температуру, точність вимірювання розмірів зразків до та після випробувань. По кожному виду випробувань детально описується методика їх проведення. Приводяться первинні діаграми випробувань, наприклад, $P-\Delta l$, $P-f$, $M_{обер}-\Delta\phi$ тощо. Описується методика обробки результатів випробувань, побудови вторинних діаграм, наприклад, $S-e$, $\sigma-\delta$, $\tau-q$ визначення механічних властивостей.


3. ЕКСПЕРТИЗА ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ВИРОБІВ

Подібна робота досить часто виконується в умовах виробництва (наприклад, в конструкторських бюро, науково-дослідних інститутах) і експлуатації для з'ясування причин відмови виробів.

Руйнування виробів досить різноманітне:

- миттєве внаслідок дії великого статичного напруження (перевантаження виробів, вузлів);
- миттєве внаслідок дії великого динамічного навантаження;
- миттєве внаслідок динамічного навантаження при температурах нижче температурного порогу холодноламкості;
- поступове руйнування внаслідок контактної втоми та (або) зношення;
- миттєве руйнування від втоми (доламування);
- уповільнене руйнування від повзучості при порівняно низьких напруженнях та високих температурах.

Таблиця 3.1 – Методична карта випробувань механічних властивостей матеріалу для лопаток ГТД

Вид випробувань	Умови випробувань	Характеристики, які визначаються	Об'єкт на якому проводяться випробування	Обладнання
Випробування твердості	$t=20^{\circ}\text{C}$	НВ	Навиробах та зразках	Твердомір ТШ-2
Випробування розтягуванням	$t=20^{\circ}\text{C}$ 400°C 600°C 800°C	$\sigma_B, \sigma_{0.2}, \delta, \psi$	На зразках	Універсальна випробувальна машина, оснащена піччю
Випробування властивостей жароміцності	$t=600^{\circ}\text{C}$ $t=800^{\circ}\text{C}$		На зразках	Машина для визначення границі повзучості і тривалості життя
Випробування ударної в'язкості	$t=20^{\circ}\text{C}$ $t=600^{\circ}\text{C}$ $t=800^{\circ}\text{C}$	KCV^t KCU^t	На зразках	Маятниковий копер
Циклічні випробування	$t=20^{\circ}\text{C}$ $t=600^{\circ}\text{C}$ $t=800^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{-1}, \sigma_{-1}^{600}, \sigma_{-1}^{800}$	На зразках	Машина для випробування витривалості

Часто руйнування носить комбінований характер, наприклад, від зношення та контактної втоми.

При експертизі обов'язкове проведення комплексних досліджень. Перш за все визначається хімічний склад матеріалу зруйнованого виробу і його відповідність технічним вимогам, робочому кресленню на виріб. Виконуються макро- та мікроскопічні дослідження для визначення характеру зламу, волокнистої структури, розмірів зерна, розмірів і розподілу карбідів, наявності (відсутності) карбідної сітки, кількості залишкового аустеніту, розмірів мартенситних голок, кількості (балу) неметалевих включень і їх розподілу, глибини знеуглецьованого шару, глибини шару після ХТО тощо.

Експертиза неможлива без проведення випробувань механічних властивостей. Перш за все передбачаються випробування для визначення тих властивостей, які наведені в технічних вимогах до виробів: твердості; ударної в'язкості як при нормальній, так і понижених температурах; границі плинності; границі повзучості, границі тривалої міцності; границі витривалості тощо. Крім того, експерт може призначати й інші дослідження з метою виявлення дійсної причини руйнування виробу. Визначається зміна геометрії і розмірів виробу, зміна структури матеріалу в порівнянні з вхідним станом.

В практичній діяльності робота експерта завершується написанням заключення, в якому на підставі отриманих даних висувається гіпотеза щодо причини(ин) руйнування виробу. В курсовому проекті, крім того, пропонуються напрямки підвищення конструкційної міцності виробу (розділ 5).

4. АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ВІД СКЛАДУ, СТРУКТУРИ, ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА УМОВ ВИПРОБУВАННЯ

Відображається вплив легувальних елементів на механічні та експлуатаційні властивості матеріалу. В вигляді таблиць, діаграм, графіків або описання, приводяться дані про вплив усіх елементів (компонентів) на властивості, наприклад, при обговоренні впливу складу на властивості сталі 40ХН2МА аналізується вплив вуглецю (порівнюються властивості вуглецевих сталей 20, 40, 60), хрому

(порівнюються сталі 40, 40X, 40X2), нікелю (аналізуються властивості сталей 40X, 40XH, 40XH2) тощо. Зрозуміло, що порівнюються властивості матеріалів після однакової термічної обробки. При виконанні курсового проекту необхідні дані отримують з довідників.

На структуру виробів впливає не тільки склад матеріалу, але й термічна обробка. Тому в другому блоці приводяться дані про вплив термічної обробки на структуру і властивості. Зрозуміло, що на властивості впливають всі параметри термічної обробки: температура нагрівання перед гартуванням, тривалість витримки при цій температурі, нагрівальне середовище, швидкість охолодження при гартуванні, температура та тривалість витримки перед нормалізацією (якщо вона – єдина операція термічної обробки), швидкість охолодження після відпуску і т. д. Наприклад, коли аналізується вплив термічної обробки на властивості сталі 50ХФА, то, головним чином, з'ясується роль температури відпуску.

Наявність знеуглецьованого шару після термічної обробки виробів із інструментальних, цементованих, пружинних сталей значнопогіршує їх експлуатаційні характеристики. Тому в аналізі на це необхідно звернути увагу. Зменшити негативний вплив знеуглецювання в цементованих і пружинних сталях в деякій мірі дозволяє поверхневий наклеп.

Від структури та термічної обробки залежить рівень і знак напружень в поверхневому шарі виробів. Відомо, що наявність напружень розтягу знижує довговічність виробів. Тому необхідно уточнити, які напруження створені в виробах при їх виготовленні, причини їх виникнення, вплив на механічні властивості і довговічність. Шліфування (хонінгування) як завершальні операції механічної обробки виробів приводять до створення напружень розтягу в тонкому поверхневому шарі, тому передбачається проведення стабілізаційної термічної обробки (відпуску), яка зменшує рівень цих напружень.

При аналізі властивостей композиційних матеріалів звертається увага на тип і властивості матриці, властивості армувального матеріалу, вид, в якому він входить до складу композиції (дисперсні частинки, волокна, стрічка, листи); його об'ємну (масову) частку, розташування, співвідношення фізичних та механічних властивостей матеріалів матриці та армувальної складової.

Обов'язково описуються механізми зміцнення матеріалу і їх

якісний вплив на характеристики міцності і пластичності. При можливості отримуються математичні залежності властивостей від складу матеріалу та параметрів термічної обробки. Для цього використовуються відповідні програми.

5. НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ВИРОБІВ

В загальному значенні під конструкційною міцністю розуміється комплекс властивостей виробів, які забезпечують необхідні їм надійність та довговічність. До показників надійності відносяться такі характеристики: ударна в'язкість, температурний поріг холодноламкості, тріщиностійкість, критичний коефіцієнт інтенсивності напружень. Довговічність характеризується опором руйнуванню від втоми, зносостійкістю, контактною витривалістю, опором повзучості, тривалою міцністю, опором релаксації напружень. Всі вищенаведені характеристики виробів залежать як від властивостей використаного матеріалу, так і особливостей конструкції.

Найбільш небезпечні крихкі руйнування, при яких швидкість розповсюдження тріщини може досягати швидкості розповсюдження звуку в матеріалі. Небезпечність крихкого руйнування підсилюється ще і тим, що при випробуванні зразків, виготовлених з крихко зруйнованих виробів, отримують задовільні значення в'язкості і пластичності. Три обставини дозволяють пояснити це явище:

- крихкість є властивістю конструкції, а не матеріалу;
- використовується зварна конструкція, що значно підвищує ймовірність крихкого руйнування;

– крихкому руйнуванню сприяє підвищене відношення $\sigma_{0,2} / \sigma_B$.

Для підвищення крихкої конструкційної міцності використовують:

- підвищення загальної або локальної пластичності, енергоємності руйнування матеріалу;
- перехід від плоского до лінійного напруженого стану;
- зменшення кількості дефектів поверхні і концентраторів напружень виробів.

Локальна пластичність може бути підвищена місцевим

знеміцненням (високим відпуском) з використанням нагрівання, наприклад, струмом високої частоти в процесі виготовлення виробів.

Для підвищення конструкційної міцності в загальному виді рекомендуються такі підходи:

- зменшують ступінь небезпечності концентраторів напружень, підвищують радіуси переходів, використовують поступові (конічні) переходи, а не сходинкові;

- запобігають поєднанню зон з концентраторами напружень з зонами зварювання, паяння, місцевого зміцнення;

- захищають зони з концентраторами напружень від корозії, забоїн;

- використовують змашення вузлів для зменшення зношення від тертя, охолодження – для запобігання зміни структури тавластивостей;

- використовують заходи для зменшення водневої крихкості після нанесення та видалення гальванічних покриттів та інших видів крихкості;

- підвищують корисні напруження стиснення і зменшують шкідливі поверхневі напруження розтягу;

- для виробів, які працюють при підвищених температурах, зменшують температурні деформації і градієнти, уникають щільного з'єднання матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного термічного розширення;

- уникають використання болтів, заклепок, які працюють на відрив;

- при плоскому напруженому стані використовують матеріали з підвищеною пластичністю;

- конструкцією і технологією виготовлення виробів з волокнистих (в тому числі і композиційних) матеріалів передбачають дію максимальних напружень розтягу вздовж волокна, а дотичних напружень перпендикулярно волокну;

- завдяки конструктивним заходам виключають податливі вузли, які можуть мати великий запас енергії пружної деформації. Ця енергія після виникнення тріщини витрачається на її швидке розповсюдження (розвиток);

- запобігають виникненню резонансу, тобто збільшують розрив між частотою власних коливань виробів і частотою коливань напружень;

- підвищують міцність усієї конструкції з метою досягнення

рівномірності всіх її елементів. Рівномірна конструкція (деталь) в ідеалі повинна руйнуватися одночасно у всіх точках поперечного перетину. При цьому ступінь одночасності руйнування по мірі наближення до рівномірності зростає;

–створюють конструкції, до складу яких вводять так звані запобіжники. Вони зупиняють роботу механізму або розвантажують основні його елементи після досягнення небезпечного зусилля, напруження, обертового або згинального моменту;

–вводять в конструкцію сигналізатори, які попереджують про небезпечний рівень навантаження;

–підвищують опір релаксації напружень внаслідок конструктивним рішенням або заміні матеріалу (структури);

–підвищують втомну конструкційну міцність. З цією метою використовують: різні частоти коливань окремих складових сумарного напруження (високочастотні коливання з дотичними напруженнями і низькочастотні - з нормальними); різну асиметрію циклу.

Велика частка виробів в машинах виходить з ладу від зношення, яке може мати багато видів: корозійне, абразивне, ерозійне, абразивно-окисне, змішане. При розробці пропозицій по підвищенню довговічності виробів передбачають конструкційні, технологічні та експлуатаційні заходи. Наприклад, зменшують температуру і контактні напруження в зоні тертя; впроваджують охолодження вузлів; змінюють тертя ковзання тертям кочення; підвищують твердість контактних поверхонь деталей; зменшують попадання абразивних частинок в зону тертя; замінюють граничне змащення на рідинне.

Ці та інші напрямки підвищення конструкційної міцності пропонуються з врахуванням особливостей конструкції виробу та вузла, умов експлуатації, маршрутної технології виготовлення, термічної (хіміко-термічної) обробки, матеріалу виробів і можливих варіантів відмови виробів при експлуатації.

Пропозиції по підвищенню конструкційної міцності повинні бути поміркованими.

6. КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

В розділі приводяться схеми обладнання, вибраного в п. 2 для проведення випробувань механічних властивостей. Описується конструкція і робота обладнання. Приводяться дані про призначення перевірки обладнання, її періодичність. В вигляді таблиць наводяться дані про технічні характеристики обладнання.

В заключенні ПЗ до КП коротко аналізуються результати роботи, ступінь виконання завдання, наводяться дані про розглянуті методи випробування механічних властивостей та обладнання для їх проведення, аналізується вплив різних факторів на механічні властивості заданого (вибраного) матеріалу, проводиться обґрунтований висновок щодо причин руйнування виробу та напрямів підвищення його конструкційної міцності. Обсяг заключення – до однієї сторінки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

Міждержавні стандарти

1. ГОСТ 25.503-97 Розрахунки і випробування на міцність. Методи механічних випробувань металів. Метод випробування на стиск [Текст].

2. ГОСТ 22838 -77. Сплавы жаропрочные. Методы контроля и оценки микроструктуры [Текст].

3. ГОСТ 7564-97 Прокат. Загальні правила відбору проб, заготовок і зразків для механічних та технологічних випробувань [Текст].

4. ГОСТ 22761 -77. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия [Текст].

Стандарти України

5. ДСТУ 8302-2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання [Текст].

6. ДСТУ 7305:2013. Метали. Метод випробування на розтяг металів і сплавів за низьких та кріогенних температур [Текст].

7. ДСТУ ISO 204:2019 Металеві матеріали. Одноосьове випробування на повзучість розтягуванням. Метод випробування (ISO 204:2018, IDT) [Текст].

8. ДСТУ ISO 6892-1:2019 Металеві матеріали. Випробування на розтяг [Текст].

9. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT) [Текст].

10. ДСТУ 4347:2004 Метали. Методи визначання характеристик пружності в умовах кріогенних, знижених і кімнатної температур [Текст].

11. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT). Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування [Текст].

12. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT) [Текст].

13. ISO 9015-2:2003, IDT Випробування на мікротвердість [Текст].

14. ДСТУ ISO 148-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Частина 1. Метод випробування (ISO 148-1:2016, IDT) [Текст].

15. ДСТУ ISO 6892-2:2020 Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 2. Метод випробування за підвищених температур (ISO 6892-2:2018, IDT) [Текст].

16. ДСТУ EN ISO 527-2:2018 Пластмаси. Визначення властивостей під час розтягування. Частина 2. Умови випробування для пластмас, виготовлених методом формування та екструзії (EN ISO 527-2:2012, IDT; ISO 527-2:2012) [Текст].

17. ДСТУ 8601:2015 Розрахунки та випробування на міцність. Методика визначення характеристик циклічної тріщиностійкості металів за поперечного зсуву та кімнатної температури [Текст].

18. ДСТУ ISO 7438:2005 Матеріали металеві. Випробування на згин (ISO 7438:1985, IDT) [Текст].

19. ДСТУ 2464-94 Розрахунки та випробування на міцність. Методи визначення еквівалентних і допустимих напружень від статичного навантаження. З Поправкою (ІПС № 5-94) [Текст].

20. ДСТУ 2434-94. Метод визначення високотемпературної твердості вдавлювання пірамідального та біциліндричного індентора [Текст].

21. ДСТУ 2442-94 Розрахунки та випробування на міцність. Механіка руйнування. Терміни та визначення [Текст].

22. ДСТУ 2444-94 Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення [Текст].

23. ДСТУ 2825-94 Розрахунки та випробування на міцність. Терміни та визначення основних понять [Текст].

24. ДСТУ 2504-94. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Методи випробувань [Текст].

25. ДСТУ 2506-94. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги [Текст].

26. ДСТУ 2546-94. Методи випробування на втому металевих матеріалів в умовах багатоциклового навантаження за криогенних температур (4,2-77 К) [Текст].

27. ДСТУ 2637-94. Методи прискорених випробувань на термоциклічну повзучість [Текст].

28. ДСТУ 2708-94. Повірка засобів вимірювань [Текст].

29. ДСТУ 2824-94. Види і методи механічних випробувань. Терміни і визначення [Текст].

30. ДСТУ 2953-94. Стальарматурна. Методи випробувань згинанням та розгинанням [Текст].

31. ДСТУ 9166:2021 Матеріали металеві. Визначення схильності до механічного старіння під час випробування на ударний згин.

Література

32. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 247 с.

33. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів. Лабораторний практикум [Текст] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. В. Холявко, І. А. Владимирський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

34. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : підручник / В. В. Холявко, І. А. Владимирський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка, 2023. – 272 с

35. Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В. В. Панасюка- Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2004. - 912 с

36. Механічні випробування конструкційних матеріалів за високошвидкісного розтягу у широкому діапазоні температур [Текст] : навч. посіб. для студ. вищих техн. навч. закладів / О. П. Ващенко ; Національний транспортний ун-т. - К. : НТУ, 2000. - 93 с.

37. Матеріали в техніці [Текст] : навч. посіб. / Ю. В. Дзядикевич. - Т. : Економічна думка, 2009. - 204 с.

38. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень [Текст] / І. М. Дмитрах, В. В. Панасюк ; НАН України, Фізико-механічний ін-т ім. Г.В.Карпенка. - Л. : [б.в.], 1999. - 341 с

39. Модульні вимірювально-обчислювальні системи для автоматизації механічних випробувань / І.М. Цигельний , А. Корнблюм, М. С. Новачинський. - К.: Наукова думка, 1987. - 212 с.

40. Новиков М.В. Механічні випробування конструкційних матеріалів при низьких температурах / М.В. Новиков - К.: Наукова думка, 1974. -196с.

41. Іщенко М.М. Вплив високих температур на опір проти втоми сталей та сплавів /М.М. Іщенко - К.: Наукова думка, 1979. - 175 с.

42. Кашталян Ю.А. Характеристики пружності матеріалів при високих температурах / Ю.А. Кашталян. - К.: Наукова думка, 1970. - 112 с.

43. Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідник; у 4-х кн. – К.: Наукова думка. 1989.- 432 с.

44. Механічні властивості конструкційних матеріалів при складному напруженому стані: довідник./ А. А. Лебедев, Б. І. Ковальчук, Ф.Ф. Гигиняк - К.: Наукова думка, 1983. - 365 с.

45. Пошивалов В.П. Довготривала міцність та довговічність елементів конструкції / В.П. Пошивалов- К.: Наукова думка, 1992. - 120 с.

46. Філатов Е.Я. Універсальний комплекс машин для випробування матеріалів та конструкцій на втому /Е.Я. Філатов, В.Е. Павловський. – К.: Наукова думка, 1985. - 91 с.

47. Третьяченко Г.М. Руйнування матеріалів при циклічних нагрівах/ Г.М. Третьяченко. - К.: Наукова думка, 1993. - 286 с.

Інформаційні джерела

48. Google Академія <http://scholar.google.com.ua/>

49. Матеріалознавство і технологія матеріалів. - URL.: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/node/773>.

Додаток А

Завдання до курсового проекту

Варіант 1

Спиральна пружина задньої підвіски легкового автомобіля має розміри: діаметр заготовки $d = 12$ мм, середній діаметр пружини - $D = 130$ мм, висота – 300 мм. Матеріал пружини повинен мати $\sigma_B > 1500$ МПа, $\sigma_{-1} \geq 600$ МПа, HRC = 43...50, KCU ≥ 30 Дж/см². Обґрунтувати вибір матеріалу та технології термообробки з урахуванням умов експлуатації та вимог до матеріалу. Основна частина ПЗ складається з розділів 1, 2, 4-6

Варіант 2

Зубчате колесо коробки змінних передач автомобіля планується виготовляти зі сталі 20ХГНМ. Модуль колеса 4 мм, глибина зміцненого шару 0,5...0,7 мм. Твердість поверхні HRC ≥ 60 , твердістьсерцевини HRC 38...43. Обґрунтувати вибір технології ХТО. Основна частина ПЗ складається з розділів 1, 2, 4-6.

Варіант 3

Виконати експертизу зруйнованого колінчастого валу дизельного двигуна. Вал виготовлений зі сталі 40ХН2МА, експлуатувався після термічного поліпшення і поверхневого гартування з нагріванням СВЧ шатунних та корінних шийок. За технічними вимогами до валу твердість серцевини HRC 32...36, твердість поверхні HRC > 56 , глибина зміцненого шару 3,5...4.5 мм. Місце руйнування – перехід від корінної шийки до щоки. Основна частина ПЗ – розділи 1-6.

Варіант 4

Робоча лопатка ГТД працює при температурах до 850°C, ресурс роботи двигуна складає 10000 годин. Вимоги до матеріалу лопатки $\sigma_{1000}^{800} \geq 250$ МПа, $\sigma_{2-10^{-5}}^{800} > 300$ МПа. Обґрунтувати вибір матеріалу та технології термічної обробки з урахуванням умов експлуатації лопатки та вимог до матеріалу. Основна частина ПЗ – розділи 1, 2, 4-6.

Варіант 5

Пуансон штамбу для холодного видавлювання гільз з легованої сталі повинен мати твердість $HRC \geq 58$, високу зносостійкість, $\sigma_{зг} \geq 3000$ МПа, $KC \geq 60$ Дж/см², температура експлуатації $\leq 220^\circ\text{C}$. Обґрунтувати вибір матеріалу і технології термічної обробки. ПЗ складається з розділів 1, 2, 4-6.

Варіант 6

Шестерня приводу ГТД зі сталі 14ХГСН2МА в процесі експлуатації працювала в інтервалі температур $-60\dots+300^\circ\text{C}$. Ресурс роботи двигуна 10000 годин. Після 600 годин експлуатації шестерня знята з двигуна внаслідок інтенсивного зношення, появи пітингу. Виконати експертизу шестерні і з'ясувати причини дострокового виходу її з ладу. ПЗ складається з розділів 1-6.

Варіант 7

Вал діаметром 70 мм працює з великими навантаженнями і передає обертовий момент, матеріал повинен мати границю плинності $\sigma_{0,2} \geq 750$ МПа, $\sigma_{-1} \geq 450$ МПа і $KCU \geq 80$ Дж/см². Температура експлуатації – нормальна, середовище – повітря. Обґрунтувати вибір матеріалу та технології термічної обробки з урахуванням умов експлуатації валу та вимог до матеріалу. Основна частина ПЗ – розділи 1, 2, 4-6.

Варіант 8

Лопатки парової турбіни працюють при температурах до 600°C , матеріал повинен мати високі опір повзучості і жароміцності: $\sigma_{1-10}^{600} \geq 50$ МПа, $\sigma_{10-4}^{600} \geq 130$ МПа. Обґрунтувати вибір матеріалу та технології термічної обробки. Основна частина ПЗ – розділи 1, 2, 4-6.

Варіант 9

Виконати експертизу зруйнованого ресорного листа вантажівки. Руйнування виникло на перших 10^3 км пробігу (10^5 циклів навантаження). Ресорний лист розмірами $a = 5$ мм, $b = 60$ мм та $l = 700$ мм за кресленням повинен виготовлятися зі сталі 50ХФА. Твердість ресори $HRC = 44\dots48$. Місце руйнування – середина ресори. Основна частина ПЗ – розділи 1-6.

Варіант10

Деталі компресора авіаційного ГТД, які працюють при температурах до 550°C, можна виготовляти зі сталей або титанових сплавів. Вибрати матеріали, порівняти границю повзучості, тривалості міцності, питомої міцності при температурах 200, 300, 400, 500 та 600°C, а також властивості при короткотривалих статичних та динамічних випробуваннях при кімнатній і підвищеній температурах. Вибір матеріалу обґрунтувати. Основна частина ПЗ – розділи 1,2,4-6.

Варіант11

Виконати експертизу зруйнованої хрестовини карданного валу вантажівки. За технічними вимогами хрестовина виготовляється зі сталі 18ХГТ, проходить ХТО з цементацією. Глибина шару 1,2...1,4 мм. Твердість поверхні HRC \geq 61, серцевини HRC 39...42. Розміри шипів хрестовини: $d = 20$ мм, $l = 35$ мм. На робочій поверхні шипів сліди вмивання від голок вальниці, один із шипів виламаний. ПЗ складається з розділів 1-6.

Варіант12

При обробці виробів з конструкційних малолегованих сталей твердістю 160...210 НВ різальний інструмент зі сталі Р6М5 мав задовільну стійкість. При переході на обробку високолегованих, в тому числі і аустенітних, сталей стійкість інструменту різкознизилась. Запропонувати нові матеріали для інструментів. Співставити властивості сталі Р6М5 з властивостями вибраних матеріалів. ПЗ складається з розділів – 1,2,4-6.

Варіант13

Для виготовлення поршневих пальців діаметром зовнішнім 30 мм, внутрішнім 22 мм та довжиною 50 мм запропоновані сталі 20Х та 40Х. За умовами роботи пальці повинні мати в'язку серцевину і тверду поверхню HRC \geq 58, високі зносостійкість, контактну витривалість і границю витривалості ($\sigma_{-1} \geq 450$ МПа). Порівняти властивості сталей. Обґрунтувати вибір. ПЗ складається з розділів – 1, 2, 4-6.

Варіант14

Виконати експертизу зруйнованої півосі легкового автомобіля. За технічними вимогами півось виготовляється зі сталі 30ХН. Крім

термічного поліпшення, півосі проходять поверхневе зміцнення ділянок, до яких прилягають ущільнення, а також дробоструменеве зміцнення всієї поверхні. Твердість серцевини HRC 30...32, зміцнених ділянок HRC 52...56. Зміст пояснювальної записки – розділи 1-6.

Варіант15

Півось вантажного автомобіля виготовляють з термічно поліпшуваних сталей. Твердість основної частини півосі HRC 29...34, двох зон контакту з ущільнювачами – HRC 50...53. В процесі експлуатації півосі руйнуються від втоми сталі, динамічного навантаження, змінання шліців. Запропонувати три марки сталей, порівняти властивості, остаточний вибір обґрунтувати. ПЗ складається з розділів – 1,2,4-6.

Варіант16

Палець шарнірний діаметром 30 мм працює на згин, зріз, повинен мати високу зносостійкість поверхні, а також опір крихкому і в'язкому руйнуванню серцевини. Запропонувати декілька марок сталей з різними технологіями термічної (хіміко-термічної) обробки. Вибір сталі та технології обробки обґрунтувати. ПЗ складається з розділів – 1,2,4-6.

Варіант17

Виконати експертизу причин руйнування випускних клапанів двигуна внутрішнього згорання, які вийшли з ладу. За даними робочого креслення клапани виготовляються зі сталі 40X9C2. Кінцівка стрижня клапану повинна мати твердість HRC 54...56, решта – HRC 34...37. Вихід з ладу обумовлений значною пластичною деформацією стрижня та високотемпературною корозією головки. Зміст пояснювальної записки – розділи 1-6.

Варіант18

Вальниці котіння в ГТД працюють при температурах від мінус 60°C до плюс 350°C. Мастило – синтетичне, частота обертання валу 20 с⁻¹, контактні напруження досягають 1800 МПа. Твердість поверхні HRC 61...63. Для виготовлення вальниць запропоновані сталі 20X, ШХ15, Р9, 13ХЗНВМ2Ф. Порівняти властивості сталей, вибір обґрунтувати. ПЗ складається з розділів – 1,2,4-6.

Варіант19

Штампи для гарячої пластичної деформації працюють в інтервалі температур 200...650°C з одночасною дією динамічного навантаження та напружень стиснення до 1600 МПа. Для виготовлення штампів запропоновані сталі 5ХНМ, 4ХЗВМФС, 5ХЗВЗМФС. Порівняти властивості сталей. Вибір обґрунтувати. ПЗ складається з розділів – 1,2,4-6.

Варіант20

Виконати експертизу зруйнованих кранових колес. Колеса згідно з технічними вимогами повинні виготовлятися зі сталі 40Х і мати твердість поверхні НВ 320...380, серцевини – НВ 280 та границю витривалості ≥ 350 МПа. При огляді колеса виявлені ямки на робочій поверхні та втомний злам. Зміст пояснювальної записки – розділи 1-6.

Варіант21

Черв'як рульового керування працює в інтервалі температур -30...+100°C. Вимоги до матеріалу: твердість поверхні > 58 HRC, глибина зміцненого шару – 1,0...1,2 мм; властивості серцевини – 212...228 НВ, $\sigma_{0,2} > 650$ МПа, КСЧ > 40 Дж/см². Для виготовлення черв'яка рульового керування запропоновані сталі 20Х, 40Х, 12ХН3А, 40ХН2МА. Вибір сталі та технології обробки обґрунтувати. ПЗ складається з розділів – 1, 2, 4-6.

Варіант22

Виконати експертизу причин підвищеного зносу зубців ківшів екскаваторів, що працюють в гірничодобувній галузі. Зубці ківшів екскаваторів виготовлені зі сталі 110Г13Л, твердість якої після термічної обробки – 200 НВ, в умовах ударних навантажень підвищується до 600НВ. Зубці ківшів екскаваторів експлуатувалися впродовж тижня, добича породи становила 20 000 м³. Зміст пояснювальної записки – розділи 1-6.

Варіант23

Виконати експертизу причин руйнування вальниці кочення. Умови експлуатації: -20...+30°C, олива. Вимоги до матеріалу: $\sigma_B = 2000...2200$ МПа, HRC 63...66. Матеріал повинен мати високу

зносоустійкість та контактну витривалість. Обґрунтувати вибір марки сталі. Зміст пояснювальної записки – розділи 1-6.

Варіант24

На зуб'я зубчастого колеса в процесі експлуатації діють напруження згину, контактні напруження, також вони піддаються зношенню. Вимоги до матеріалу: $\sigma_B \geq 1000$ МПа; $\sigma_T \geq 800$ МПа; твердість поверхневі 46...50 HRC, серцевини 26...30 HRC. Обґрунтувати вибір марки сталі. ПЗ складається з розділів – 1, 2, 4-6.

Варіант25

Виконати експертизу причин руйнування робочої лопатки ротору турбіни авіаційного ГТД. Лопатка виготовлена зі сплаву ЖС26. Проаналізувати вплив якості стану охолоджувальних каналів на механічні властивості лопатки. Запропонувати метод оцінки якості каналів. ПЗ складається з розділів 1-6.

Керівники курсового проекту мають право запропонувати студентам і інші варіанти завдань.

ДЛЯ ПРИМІТОК

ДЛЯ ПРИМІТОК