

Конспект самостійної роботи ведеться в тому самому зошиті, що й лекційний, окремим розділом. Перевіряється разом із допуском до модульного контролю.

ЧАСТИНА 1. ТЕМИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗА МОДУЛЯМИ

МОДУЛЬ І. МЕХАНІКА ТА ОСНОВИ ГІДРОСТАТИКИ — 12 годин

СР 1.1. Засоби вимірювання механічного цеху. Співвідношення похибки приладу й допуску на розмір

Напряг: Напряг 1 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Опрацюйте будову та ціну поділки штангенциркуля, мікрометра, індикатора годинникового типу й важільної скоби. Розберіться з правилом метрології: похибка засобу вимірювання має бути приблизно в 3–5 разів меншою за допуск на контрольований розмір. Зверніть увагу, що допуск і похибка — різні речі: перший задає конструктор, друга належить приладу.

Завдання. Складіть у конспекті зведену таблицю засобів вимірювання: назва — межа вимірювання — ціна поділки — похибка — для яких допусків придатний. Внесіть не менше шести позицій. Для трьох розмірів із реального креслення (на вибір) укажіть, яким інструментом їх треба контролювати, і обґрунтуйте вибір.

Питання для самоперевірки:

- Чому вал Ø40h7 неможливо проконтролювати штангенциркулем із ціною поділки 0,1 мм?
- Чим систематична похибка відрізняється від випадкової та як усувають кожну з них?

СР 1.2. Тертя в напрямних і передачах верстата. Роль мащення

Напряг: Напряги 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Розберіться в різниці між тертям ковзання і кочення та в тому, як мащення замінює сухе тертя в'язким. Особливу увагу приділіть ефекту «стик-слип» — ривковому переміщенню стола на малих подачах — і причині, з якої в приводах подачі верстатів із ЧПК застосовують кульково-гвинтову передачу.

Завдання. Законспектуйте види тертя у вузлах верстата й порівняйте направляючі ковзання та кочення за втратами, вимогами до мащення й точністю малих переміщень. Розв'яжіть задачу на визначення сили й потужності, потрібних для переміщення стола заданої маси по напрямних із відомим коефіцієнтом тертя.

Питання для самоперевірки:

- Чому суха напрямна втрачає геометричну точність безповоротно, а не просто гірше ковзає?
- Чому пара «гвинт — гайка ковзання» погано відпрацьовує мікроподачі, а кульково-гвинтова передача — добре?

СР 1.3. Енергетичний баланс металорізального верстата

Напряг: Напряг 2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Простежте весь ланцюжок перетворення енергії від мережі до зони різання. Пам'ятайте, що ККД ланок перемножуються, тому загальний ККД завжди нижчий за найгірший із проміжних. Зверніть увагу: практично вся потужність різання зрештою переходить у теплоту, і це не втрата, а суть процесу.

Завдання. Розв'яжіть задачу за індивідуальним варіантом: обчисліть потужність різання, потужність на валу двигуна та споживану з мережі; побудуйте діаграму розподілу потужності по ланках і визначте найслабшу. Порівняйте отриману потужність із паспортною потужністю двигуна конкретної моделі верстата.

Питання для самоперевірки:

- Чому модернізацію привода починають із найслабшої ланки, а не з найдорожчої?
- Що станеться з потужністю різання при затупленні інструмента і чому?

СР 1.4. Гідростанція верстата. Подавання МОР під тиском

Напряг: Напряги 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте склад гідросистеми верстата: бак, насос, запобіжний клапан, розподільник, гідроциліндр, фільтр, манометр. Зверніть увагу на принципову річ: насос створює

потік, а тиск виникає там, де потоку щось заважає. Розберіться, чому для внутрішнього підведення МОР потрібен тиск 20–70 бар, а не звичайне поливання.

Завдання. Накресліть у конспекті принципову схему гідросистеми затискного пристосування з поясненням призначення кожного елемента. Розв'яжіть задачу: обчисліть зусилля затиску гідроциліндра та швидкість струменя МОР на виході із сопла заданого діаметра.

Питання для самоперевірки:

- Що станеться з гідросистемою, якщо зняти запобіжний клапан?
- Чому при свердлінні глибокого отвору поливання МОР зверху малоефективне?

СР 1.5. Похибки форми, спричинені податливістю технологічної системи

Напрямок: Напрями 1–2 | **Обсяг:** 1 год

Методичні вказівки. Зосередьтеся на трьох класичних випадках: конусоподібність довгого вала, вплив вильоту інструмента, деформація тонкостінної втулки в трипелюстковому патроні. У всіх трьох причина одна — пружне віджимання під дією сили різання або сили затиску.

Завдання. Складіть таблицю: вид похибки форми — фізична причина — спосіб усунення. Не менше чотирьох позицій. Оцініть чисельно, у скільки разів зросте прогин оправки при збільшенні вильоту в 1,5 раза.

Питання для самоперевірки:

- Чому чистовий прохід «виправляє» похибку, залишену чорновим?
- Чому розточена ідеально кругла тонкостінна втулка після звільнення з патрона стає тригранною?

МОДУЛЬ II. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА — 16 годин

СР 2.1. Пневмопривод верстата: переваги, обмеження, вимоги до якості повітря

Напрямок: Напрями 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте склад системи підготовки повітря: компресор, ресивер, охолоджувач, вологовідокремлювач, фільтр, редуктор, маслорозпилювач. Зверніть увагу, що принципова відмінність пневматики від гідравліки впливає безпосередньо з газових законів: повітря стискається, рідина практично ні.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю «гідропривод — пневмопривод» за шістьма критеріями: зусилля, жорсткість фіксації, швидкодія, вартість, вимоги до обслуговування, типові застосування у верстатних пристосуваннях. Розв'яжіть задачу на зміну зусилля пневмоциліндра при падінні тиску мережі.

Питання для самоперевірки:

- Звідки в пневмомережі береться вода, якщо в компресор подається сухе на вигляд повітря?
- Навіщо в пневмосистемі верстата встановлюють реле тиску, що блокує пуск шпинделя?

СР 2.2. Джерела тепловиділення в зоні різання

Напрямок: Напрями 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Розберіться в трьох джерелах теплоти: пластична деформація зрізаного шару, тертя стружки об передню поверхню, тертя задньої поверхні об оброблену. Особливу увагу приділіть тому, як розподіл теплоти між стружкою, деталлю та інструментом залежить від швидкості різання.

Завдання. Побудуйте у конспекті схему теплового балансу різання із зазначенням часток. Розв'яжіть задачу: за заданою потужністю різання й часом обробки обчисліть повну кількість теплоти та її розподіл між приймачами; оцініть нагрівання деталі.

Питання для самоперевірки:

- Чому високошвидкісна обробка залишає деталь холоднішою, ніж повільне різання?
- Чому різець, якому дістається лише кілька відсотків теплоти, нагрівається до 800–1000 °С?

СР 2.3. Термостабілізація шпинделя та емульсії

Напрямок: Напрямок 1 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте будову й призначення чилера для МОР та контуру охолодження шпиндельної бабки. Зверніть увагу, що холодильна машина не знищує теплоту, а переносить її в цех, причому віддає більше, ніж відібрала.

Завдання. Складіть схему контуру термостабілізації верстата з поясненням призначення елементів. Оцініть теплове навантаження на систему охолодження за заданою потужністю різання та обґрунтуйте потрібну холодопродуктивність.

Питання для самоперевірки:

- Чому нагріта до 45 °С емульсія погано охолоджує зону різання?
- Чому цех із великою кількістю чилерів потребує потужнішої вентиляції?

СР 2.4. Теплопровідність оброблюваних та інструментальних матеріалів. Функції МОР

Напряг: Напрями 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте таблицю коефіцієнтів теплопровідності. Головний висновок: важкооброблюваність титану й аустенітної нержавної сталі спричинена не твердістю, а низькою теплопровідністю, через яку теплота концентрується на кромці. Розберіться в чотирьох функціях МОР і в тому, чому переривчасте різання із МОР буває шкідливішим за сухе.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю оброблюваності чотирьох матеріалів: теплопровідність — рекомендована швидкість різання — інструментальний матеріал — спосіб охолодження. Розв'яжіть задачу на обчислення теплового потоку через стінку за законом Фур'є.

Питання для самоперевірки:

- Чому чорнове фрезерування твердосплавною фрезою часто ведуть без МОР?
- Чому підвищення швидкості різання на 20 % може скоротити стійкість інструмента вдвічі?

СР 2.5. Структура відливка. Внутрішні напруження й старіння деталей

Напряг: Напряг 1 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Розберіться в будові відливка: дрібнозерниста кірка біля стінки форми, стовпчасті кристали, велике рівнове зерно в центрі. Зверніть увагу на те, що внутрішні напруження врівноважені, доки деталь ціла, і порушуються під час зняття металу.

Завдання. Складіть схему структури відливка з поясненням, чому механічні властивості неоднорідні за перерізом. Опишіть послідовність операцій для корпусної чавунної деталі із зазначенням, на якому етапі й навіщо виконують старіння.

Питання для самоперевірки:

- Чому перший чорновий прохід по литій поверхні різко знижує стійкість інструмента?
- Чому корпусну деталь «веде» після чистової обробки, якщо пропустити старіння?

СР 2.6. Нормальна температура вимірювання 20 °С. Поправки до розміру

Напряг: Напряг 2 | **Обсяг:** 1 год

Методичні вказівки. Опрацюйте вимоги стандарту щодо нормальної довідкової температури. Оцініть порядок величини: сталева деталь 200 мм при 25 °С довша приблизно на 12 мкм, ніж при 20 °С.

Завдання. Розв'яжіть задачу за варіантом: обчисліть поправку до виміряного розміру, приведену до 20 °С, і порівняйте її з допуском. Сформулюйте три правила організації точних вимірювань у цеху.

Питання для самоперевірки:

- Чому мікрометр не варто довго тримати в долоні при вимірюванні з точністю до мікрометра?
- Чому інвар застосовують в еталонних мірах, хоча за міцністю він поступається сталі?

СР 2.7. Гартувальні середовища, прогартовуваність, послідовність технологічних операцій

Напряг: Напрями 1–2 | **Обсяг:** 1 год

Методичні вказівки. Зосередьтеся на зв'язку «критична швидкість охолодження — вибір середовища — прогартовуваність». Пам'ятайте: твердість створює не нагрівання, а недопущення дифузії вуглецю під час охолодження.

Завдання. Складіть таблицю: марка сталі — середовище гартування — температура нагрівання — вид відпуску — досягнута твердість. Не менше чотирьох позицій. Обґрунтуйте припуск під шліфування після термообробки.

Питання для самоперевірки:

- Що станеться, якщо загартувати леговану сталь у воді замість олії?
- Чому чистову обробку відповідальної деталі виконують після термообробки, а не до неї?

МОДУЛЬ III. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ — 12 годин

СР 3.1. Електроерозійна обробка. Захист систем ЧПК від статичної електрики

Напряг: Напряг 1 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Опрацюйте механізм іскрового розряду в діелектрику й порівняйте прошивну та дотяно-вирізну ЕЕО. Зверніть увагу на три наслідки теплового характеру руйнування: байдужість до твердості, відсутність механічної сили, обов'язкова електропровідність заготовки.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю «різання — ЕЕО — ЕХО» за критеріями: характер руйнування, вплив твердості, механічна сила, спрацювання інструмента, обмеження за матеріалом. Опишіть заходи антистатичного захисту в цеху з обладнанням ЧПК.

Питання для самоперевірки:

- Чому ЕЕО однаково ріже загартовану і незагартовану сталь, а кераміку не ріже взагалі?
- Чому в цеху з верстатами з ЧПК контролюють вологість повітря?

СР 3.2. Втрати в кабелі та контактний опір як причина аварій в електрошафі

Напряг: Напряги 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте закон Джоуля—Ленца з акцентом на квадратичній залежності від струму. Розберіться, чому саме перехідний опір ослабленого контакту стає точкою локального перегріву.

Завдання. Розв'яжіть задачу за варіантом: обчисліть втрати потужності в кабелі заданого перерізу й довжини; порівняйте з випадком заниженого перерізу. Оцініть тепловиділення на перехідному опорі контакту. Складіть перелік ознак, за якими виявляють проблемний контакт до аварії.

Питання для самоперевірки:

- Чому зростання струму на 40 % подвоює тепловиділення?
- Як працюють плавкий запобіжник і тепловий розчіплювач автомата?

СР 3.3. Гальванічні покриття. Електрохімічна обробка. Датчики температури верстата

Напряг: Напряги 1–2 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Опрацюйте закон Фарадея й способи переходу від маси осадженого металу до товщини шару. Розберіться в різниці між ЕЕО та ЕХО за характером руйнування. Для датчиків зіставте термопару й термометр опору за діапазоном, чутливістю та типовим застосуванням.

Завдання. Розв'яжіть задачу на визначення часу витримки для покриття заданої товщини. За градувальною характеристикою термопар типу К визначте температуру за виміряною термо-ЕРС і виконайте зворотне перетворення. Складіть таблицю «вузол верстата — тип датчика — обґрунтування вибору».

Питання для самоперевірки:

- Чим ЕХО принципово відрізняється від ЕЕО за впливом на поверхневий шар?
- Що саме вимірює метод природної термопар при дослідженні різання?

СР 3.4. Магнітні затискні пристрої. Вихрові струми: гартування та дефектоскопія

Напряг: Напряг 1 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Опрацюйте будову магнітної плити плоскошліфувального верстата й обмеження за матеріалом деталі. Розберіться в подвійній природі вихрових струмів: шкідливій (нагрівання осердь) і корисній (індукційне гартування, дефектоскопія, безконтактні датчики).

Завдання. Складіть таблицю застосувань вихрових струмів у машинобудуванні: явище — технічне використання — параметр, яким керують. Поясніть, чому глибина прогрівання при індукційному нагріванні залежить від частоти.

Питання для самоперевірки:

- Чому на магнітній плиті не закріпити деталь з аустенітної нержавної сталі?
- Навіщо шліфовану деталь розмагнічують і що буде, якщо цього не зробити?

СР 3.5. Приводи верстатів з ЧПК: серводвигуни, крокові двигуни, енкодери

Напряг: Напряги 1–2 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Зіставте сервопривод із зворотним зв'язком за положенням і кроковий привод без нього. Розберіться, як частотний перетворювач формує напругу потрібної частоти та які технологічні можливості це відкрило.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю «серводвигун — кроковий двигун» за критеріями: зворотний зв'язок, точність, поведінка при перевантаженні, вартість, типове застосування. Розв'яжіть задачу на визначення частоти живлення, потрібної для заданих обертів шпинделя.

Питання для самоперевірки:

— Чому кроковий привод може «загубити крок» і чому брак виявляють лише після закінчення програми?

— Навіщо у шафі потужного верстата встановлюють гальмівний резистор?

МОДУЛЬ IV. КОЛИВАННЯ, ХВИЛІ ТА ОПТИКА — 5 годин

СР 4.1. Вібрації та автоколивання при різанні. Балансування оправок

Напрям: Напрями 2–4 | **Обсяг:** 3 год

Методичні вказівки. Головне — навчитися розрізняти вимушені коливання (є зовнішнє періодичне джерело, частота пов'язана з обертами) і автоколивання (система сама стає нестійкою через слід на поверхні). Від цього залежить спосіб усунення.

Завдання. Складіть діагностичну таблицю: ознака — ймовірна причина — спосіб усунення. Не менше п'яти позицій. Обчисліть частоту ударів зубів фрези для двох режимів і зіставте з власною частотою системи.

Питання для самоперевірки:

— Чому зміна обертів на 10–15 % часто усуває свист, а збільшення подачі — ні?

— Чому для високошвидкісного шпинделя балансують не лише оправку, а й інструмент із патроном у зборі?

СР 4.2. Лазерні технології та оптичні засоби вимірювання у машинобудуванні

Напрям: Напрями 3–4 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Опрацюйте властивості лазерного випромінювання, які роблять можливим різання металу: когерентність, монохроматичність, мала розбіжність пучка й, як наслідок, величезна густина потужності у фокусі. Окремо розберіть оптичні засоби вимірювання: інтерферометр, оптичні лінійки, енкодер.

Завдання. Складіть перелік лазерних технологій у машинобудуванні із зазначенням фізичного механізму та типової сфери застосування (не менше п'яти). Поясніть, що саме вимірює лазерний інтерферометр при атестації верстата з ЧПК і як результат використовують у системі керування.

Питання для самоперевірки:

— Чому зона термічного впливу при лазерному різанні мала, хоча температура в плямі величезна?

— Чому лазерне випромінювання небезпечне для очей навіть при відбитті від блискучої поверхні?

МОДУЛЬ V. АТОМНА ТА ЯДЕРНА ФІЗИКА — 3 години

СР 5.1. Визначення марки сталі: стилоскоп, оптико-емісійний спектрометр, XRF-аналізатор

Напрям: Напрями 1–4 | **Обсяг:** 2 год

Методичні вказівки. Опрацюйте фізичну основу методів: лінійчастий спектр як «підпис» елемента. Зіставте методи за трьома критеріями: кількісність, руйнівність, здатність визначати вуглець. Зверніть увагу на обмеження XRF щодо легких елементів.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю чотирьох методів ідентифікації марки сталі (іскрова проба, стилоскоп, оптико-емісійний спектрометр, XRF) за критеріями: тип результату, час, слід на деталі, обмеження. Опишіть послідовність дій при розсортуванні переплутаних заготовок зі сталей 45 і 40Х.

Питання для самоперевірки:

— Чому кожен елемент дає власний набір спектральних ліній?

— Чому XRF-аналізатор погано підходить для розрізнення сталей за вмістом вуглецю?

СР 5.2. Радіографічний контроль зварних швів і відливків

Напрям: Напрями 1–4 | **Обсяг:** 1 год

Методичні вказівки. Розберіться, чому дефект видно на знімку: менше матеріалу — слабше поглинання — темніша ділянка. Зіставте радіографію з ультразвуковим контролем за типом дефектів, які кожен метод виявляє краще.

Завдання. Складіть порівняльну таблицю рентгенівського, гамма- та ультразвукового контролю за критеріями: джерело, типи дефектів, що виявляються, вимоги безпеки, польова придатність. Обґрунтуйте розмір зони огороження розрахунком через правило квадрата відстані.

Питання для самоперевірки:

— Чому джерело гамма-дефектоскопа не можна «вимкнути» і що з цього випливає для організації робіт?

— Який тип дефектів краще виявляє рентгенографія, а який — ультразвук?

Перевірка обсягу: $12 + 16 + 12 + 5 + 3 = 48$ годин, 21 тема. Розподіл годин за темами збігається з таблицею 5.2 робочої програми.

ЧАСТИНА 2. НАПРЯМИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ФОРМИ ЗВІТНОСТІ

НАПРЯМ 1. ОПРАЦЮВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ ТА РОБОТА З ДОВІДКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ — 12 годин

Що робити. Доопрацювання конспекту лекцій, складання опорних схем і зведених таблиць, робота з довідником технолога-машинобудівника, таблицями властивостей матеріалів і каталогами виробників інструмента. Укладання глосарію фізичних термінів професійного спрямування.

Форма звітності. Опорний конспект, схема або порівняльна таблиця в розділі самостійної роботи зошита. Перевіряється разом із допуском до модульного контролю.

Вимоги. Таблиця без одиниць вимірювання й без зазначення джерела довідкових величин не зараховується. Схема має містити не лише перелік, а й зв'язки між елементами.

НАПРЯМ 2. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАДАЧ ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ — 12 годин

Що робити. Індивідуальні домашні розрахункові завдання за варіантами з усіх п'яти модулів.

Форма звітності. Письмове розв'язання індивідуального варіанта з подальшим захистом біля дошки або індивідуально.

Обов'язкові вимоги до оформлення:

1. Умова у скороченому вигляді з одиницями вимірювання й зазначенням джерела довідкових величин.
2. Переведення в СІ окремим рядком до початку обчислень.
3. Робоча формула в загальному вигляді, і лише потім числова підстановка.
4. Перевірка розмірності результату.
5. Оцінка правдоподібності: порядок величини має відповідати реальному обладнанню й довідковим режимам.
6. Висновок про те, що результат означає для роботи верстата, інструмента або деталі.

НАПРЯМ 3. ПІДГОТОВКА НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ І ПОВІДОМЛЕНЬ «ФІЗИКА У МАШИНОБУДУВАННІ» — 12 годин

Що робити. Підготовка реферату обсягом 5–8 сторінок або мультимедійної презентації на 12–15 слайдів за обраною темою з обов'язковим фізичним обґрунтуванням і посиланнями на джерела.

Орієнтовні теми:

- «Фізика процесу різання: сили, робота, тепловиділення».
- «Чому титан важко обробляти: теплопровідність як ключовий чинник».
- «Жорсткість технологічної системи та її вплив на точність обробки».
- «Гідравліка й пневматика у верстатних пристосуваннях: порівняльний аналіз».
- «Теплові деформації верстата та способи їх компенсації в системах ЧПК».
- «Фізичні основи гартування: чому швидкість охолодження визначає твердість».
- «Електроерозійна обробка: фізика іскрового розряду на службі виробництва».
- «Вихрові струми у машинобудуванні: гартування, контроль, датчики».
- «Вібрації при різанні: природа автоколивань і способи боротьби з ними».

- «Ультразвук у машинобудуванні: контроль, обробка, очищення».
- «Лазерні технології: від різання листа до 3D-друку металом».
- «Спектральний аналіз як засіб входного контролю марки сталі».
- «Неруйнівний контроль: порівняння фізичних методів і меж їх застосування».
- «Фізика проти псевдонауки: як перевірити рекламні обіцянки виробників інструмента й технологічних рідин».

Вимоги. Обов'язкові: фізичне обґрунтування (формули, оцінки, числа), не менше трьох джерел із коректним оформленням, власні висновки. Текст, згенерований без розуміння, виявляється першим уточнювальним запитанням.

НАПРЯМ 4. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ СИТУАЦІЙ ТА ПІДГОТОВКА ДО КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ — 12 годин

Що робити. Здобувач отримує змодельовану виробничу ситуацію, яку необхідно пояснити на основі фізичних законів і, за можливості, підкріпити кількісною оцінкою. Додатково — систематизація матеріалу за модулями й тренувальне тестування в LMS.

Форма звітності. Письмовий аналіз двох ситуацій на вибір із посиланнями на відповідні фізичні закони, результати тренувального тестування.

Ситуації на вибір (необхідно проаналізувати 2):

- **Ситуація 1 «Конус замість циліндра».** Довгий вал, обточений за один прохід у патроні, має діаметр у середині більший, ніж біля кулачків. Поясніть явище через податливість технологічної системи, оцініть порядок величини віджимання за заданої жорсткості та запропонуйте заходи.
- **Ситуація 2 «Розмір пливе».** Партія деталей, оброблених за однією програмою, має розмір, що поступово змінюється від початку до кінця зміни. Поясніть явище через теплові деформації, оцініть подовження за заданого нагріву та опишіть механізм теплової компенсації.
- **Ситуація 3 «Свист і ризики».** При фрезеруванні кишень з'явився високий свист, а на стінці залишилися регулярні сліди. Розрізніть вимушені коливання й автоколивання, поясніть механізм самопідсилення та запропонуйте три способи усунення з обґрунтуванням кожного.
- **Ситуація 4 «Згоріла кромка».** Твердосплавна пластина при точінні нержавної сталі втратила ріжучу здатність за кілька хвилин на режимі, рекомендованому для вуглецевої сталі. Поясніть явище через теплопровідність і теплостійкість, оцініть вплив швидкості різання на стійкість.
- **Ситуація 5 «Деталь повело після гартування».** Після гартування довга деталь викривилася й вийшла за межі допуску на биття. Поясніть причини, оцініть роль швидкості охолодження та обґрунтуйте правильну послідовність операцій.
- **Ситуація 6 «Брак після заміни інструмента».** Постачальник обіцяє потроєння стійкості нової марки твердого сплаву без зміни режимів. Перевірте заяву на відповідність фізичним закономірностям різання та сформулюйте перелік вимірювань і умов випробування, які підтвердили б або спростували ефект.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Рівень виконання	Бали (напрями 1–2, макс. 2)	Бали (напрями 3–4, макс. 8)	Дескриптор
Відмінно (90–100 %)	2	7–8	Завдання виконано самостійно й у повному обсязі, розв'язання логічно оформлені, одиниці й розмірності коректні. Матеріал структурований, наведено посилання на джерела. Академічний плагіат відсутній.

Рівень виконання	Бали (напрями 1–2, макс. 2)	Бали (напрями 3–4, макс. 8)	Дескриптор
Добре / задовільно (60–89 %)	1	5–6	Завдання виконано, проте наявні обчислювальні помилки або спрощене пояснення фізичного змісту. Оформлення джерел неповне. Робота здана з незначним порушенням строку.
Незадовільно (менше 60 %)	0	0–4	Завдання не виконано, виконано частково або містить академічний плагіат чи механічне копіювання чужих розв’язків без розуміння.
Особлива умова	—	—	Trauma-informed підхід: за наявності поважних обставин (лікування, реабілітація, служба) строк здачі пролонгується без зниження балу за умови попереднього інформування викладача. Захист роботи може бути письмовим або індивідуальним замість публічного виступу.