

ВИКОРИСТАННЯ АГРЕГАТНО-MOДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ

1. Агрегатно-модульний принцип в комп'ютерній техніці та електроніці

Прикладом використання цього принципу можна назвати комп'ютерну техніку та електроніку, яка являється невід'ємною частиною нашого сучасного життя. У сучасних комп'ютерах та електроніці дуже часто використовують модульні компоненти. Наприклад: процесори, блоки системної пам'яті, відеокарти, жорсткі диски. Це дозволяє легко оновлювати чи замінювати певні окремі компоненти без необхідності заміни усього цілого пристрою.

2. Агрегатно-модульний принцип в автомобільній промисловості

Наступним прикладом можна впевнено назвати автомобільну промисловість. В автомобільній промисловості агрегатно-модульний принцип використовується для створення систем автомобілів, таких як двигуни, підвіски, гальма, електронні системи. Кожна система представляє собою окремий модуль, який може бути вироблений та тестований незалежно, а потім легко встановлений або замінений у автомобільній конструкції.

3. Агрегатно-модульний принцип в телекомунікації

Наступний приклад — телекомунікація. У галузі телекомунікацій використовуються модульні рішення для створення комунікаційних систем. Наприклад, у мережевому обладнанні, такому як маршрутизатори та комутатори, окремі модулі можуть бути використані для розширення функціональності або забезпечення підтримки різних протоколів.

4. Агрегатно-модульний принцип у електроенергетиці

Далі за прикладом звертаємося до електроенергетики. В енергетичній промисловості модульний принцип може бути використаний для створення енергетичних блоків. Наприклад: сонячних панелей, вітрових турбін, батарейних блоків. Кожний блок представляє собою самостійний модуль, який може бути встановлений або замінений в залежності від потреби.

5. Агрегатно-модульний принцип у медицині

У медицині модульний принцип застосовується для створення медичних пристроїв та систем, таких як монітори пацієнтів, медичні інструменти, обладнання для діагностики та терапії. Модулі можуть бути розроблені та використовуватись окремо, а потім поєднані для створення комплексних медичних систем.

6. Агрегатно-модульний принцип у машинобудуванні

Агрегатно-модульний принцип широко застосовується також і у машинобудуванні, для створення складних технічних систем.

Виробництво обробних машин. У виробництві обробних машин, наприклад, фрезерних або токарних верстатів, використовуються модульні блоки. Кожен блок відповідає за конкретну функцію, наприклад, шпиндель, основна конструкція, система керування. Ці блоки можуть бути встановлені, замінені або модернізовані окремо, забезпечуючи гнучкість та ефективність виробництва.

Системи автоматичного керування. У машинобудуванні використовуються модульні блоки для створення систем автоматичного керування. Ці блоки можуть включати контролери, сенсори, актуатори та інші компоненти, які дозволяють автоматизувати процеси управління та контролю в машині або виробничому обладнанні. Модульний підхід спрощує розробку та супровід систем керування, а також дозволяє їх легко модернізувати та адаптувати до змінних потреб.

7. Агрегатно-модульний принцип у зварюванні

Агрегатно-модульний принцип використовується в зварювальному виробництві для забезпечення гнучкості та ефективності процесу. Цей принцип використовується у наступних елементах зварювального виробництва:

Зварювальні роботи. У виробництві зварювальних робіт можуть використовуватись модульні блоки, які включають різні функціональні компоненти, такі як робоча головка, джерело живлення та система керування. Ці блоки можуть бути замінені або модернізовані окремо, що дозволяє швидко адаптувати систему зварювання під конкретні потреби та вимоги проекту.

Зварювальні верстати. У виробництві зварювальних верстатів також можуть застосовуватись модульні блоки. Кожен блок може виконувати конкретну функцію, таку як живлення, керування, система охолодження тощо. Використання модульних блоків дозволяє забезпечити гнучкість при конфігуруванні верстатів під потреби виробництва.

Зварювальні лінії. У великому масштабі агрегатно-модульний принцип може бути використаний для створення зварювальних ліній. Кожен модуль може включати окремі станції зварювання або компоненти лінії, такі як підводи матеріалу, маніпулятори, системи контролю тощо. Ці модулі можуть бути легко

збирані та розбирані, а також модернізовані або замінені для оптимізації продуктивності та адаптації до змінних вимог виробництва.

Використання агрегатно-модульного принципу дозволяє забезпечити гнучкість, швидкість налаштування та ефективність у зварювальному виробництві, дозволяючи швидко реагувати на зміни та вдосконалювати процес зварювання.

Висновки.

Наведені вище приклади демонструють, як агрегатно-модульний принцип використовується в різних галузях, а також у машинобудуванні для створення складних технічних систем. Використання модульного підходу дозволяє досягти більшої гнучкості, ефективності та швидкості в розробці, супроводі та модернізації техніки.

Список використаної літератури:

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: В 3-х частинах. За ред. Ю.М. Кузнецова /автор Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Кіріченко А.М. та інші. Кіровоград, 2003. ч.1. 422с., ч.2. 286с., ч.3. 507 с.
2. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Теорія технічних систем в аспектах досліджень і технічної творчості: Підручник. Луцьк: Вежа-Друк, 2023 – 292 с.
3. Кузнецов Ю.М. Морфологічний синтез верстатів та їх механізмів: монографія /Ю.М. Кузнецов, Герра Ж.А.Хамуйела, Т.О.Хамуйела; під ред. Кузнецова Ю.М. К.: ООО «ГНОЗИС», 2012. 416 с.
4. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління. /За загальною редакцією проф. Ю.М. Кузнецова. Луцьк, 2012. -425с.
5. Кузнецов Ю.М. Теорія розв'язання творчих задач. К.: ТОВ «ЗМОК» ПП «ГНОЗИС», 2003. 294 с.
6. Модульне обладнання для гнучких виробничих систем механічної обробки /Під ред. Р.Е. Сафрагана. К.: Техніка, 1989. 175 с.
7. Севбо П.І. Конструювання та розрахунок механічного зварювального обладнання / П.І. Севбо. – К.: Наук. думка, 1978. – 400 с.
8. Тимченко В.А., Сухомлин А.А. Роботизація зварювального виробництва. К.: Техніка, 1988. 175 с.
9. Yuriy Kuznetsov Morphological synthesis of the universal rotary welding device //Journal of the Technical University of Gabrovo, vol. 66, 2022. p. 1-4. <http://doi.org/10.62853/YELM2690>

Красота А.М., аспірант
Шепеленко І.В., д.т.н., проф.
Красота М.В., к.т.н., доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗНОСОСТІЙКИМИ АНТИФРИКЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Останнім часом спостерігається істотний прогрес в розробці нових методів модифікації поверхонь і нанесення покриттів з метою покращення триботехнічних властивостей робочих поверхонь деталей машин.

Інтерес до розвитку методів модифікації поверхонь і нанесення покриттів стимулюється зростаючими вимогами до експлуатаційних параметрів робочих поверхонь, а саме підвищення їх зносостійкості та міцності деталей.

Значна кількість матеріалів, з яких виготовляються деталі машин, володіють високими фізико-механічними властивостями, однак можливість їх застосування обумовлена вирішенням питань адгезії покриття та основи, технологією нанесення покриття.

Трибологічні матеріали працюють в широкому діапазоні навантажень, швидкостей, дії зовнішніх середовищ тощо. Отже, в кожному конкретному випадку необхідно підбирати свій склад покриття і метод його нанесення, важливо забезпечити оптимальне співвідношення переваг обраного методу поверхневої обробки [1].

За призначенням всі засновані в машинобудуванні покриття можливо поділити на наступні групи [2]:

- такі, що підвищують зносостійкість (покриття, що містять хром, нікель, срібло, оливу, мідь, цинк);
- захисні та декоративно-захисні (покриття з вмістом хрому, нікелю, міді, цинку);
- антифрикційні (покриття, до складу яких входять оливу, мідь, свинець, цинк, срібло)
- покриття, що мають відбиваючу здатність (містять бор, срібло, нікель, хром, галій та інші).

Як зазначалося вище, всі види покриттів певним чином змінюють фізико-механічні властивості поверхонь деталей. Покращуючи антифрикційні властивості, істотно підвищується рівень втомленої міцності, зносостійкості та інших характеристик.

Для поверхонь з покриттями на відміну від гомогенних матеріалів можливо підбирати композицію матеріалів з різними фізико-механічними властивостями. Матеріали основи, як правило, вибираються з умов забезпечення міцності деталі. При необхідності застосовують додаткові види зміцнюючої обробки.

Покриття вибирають з більш високими триботехнічними характеристиками, що забезпечують низькі значення коефіцієнта тертя.

На основі вищевикладеного, для покращення основних експлуатаційних параметрів контактуючих деталей необхідно:

- модифікувати поверхневий шар і нанести покриття, сформувати в поверхневому шарі сприятливий напружено-деформований стан;
- розробити технологію фінішної обробки, що дозволяє підвищити якість робочих поверхонь за рахунок їх зміцнення і нанесення покриттів для досягнення необхідних експлуатаційних показників, таких як зносостійкість, втомлена міцність, контактна витривалість тощо;
- визначити, зважаючи на конкретні умови роботи поверхонь оптимальні параметри якості і технологічні режими обробки.

На сьогоднішній день всі провідні машинобудівники прагнуть підвищити експлуатаційні характеристики своєї продукції, зокрема, шляхом оптимізації триботехнічних властивостей контактуючих поверхонь. Однак, при цьому виникають специфічні проблеми, пов'язані з обмеженнями можливостей традиційних методів обробки поверхонь. Зокрема, механічна та абразивна обробка часто призводять до небажаних змін у структурі поверхневого шару, що може негативно впливати на експлуатаційні характеристики деталей. Багато в чому ці проблеми і визначають необхідність пошуку та впровадження нових методів обробки поверхонь.

Забезпечити експлуатаційні параметри деталей відповідно запропонованих етапів можливо використовуючи метод фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) [1-3].

ФАБО дозволяє вирішувати дві ключові задачі:

- зменшення тертя між контактуючими поверхнями деталей, що призводить до підвищення ефективності роботи вузлів та агрегатів автомобіля;
- підвищення зносостійкості поверхонь деталей, що збільшує їх довговічність та надійність.

Сутність ФАБО полягає в тому, що на поверхню тертя деталей машин наносять тонкий шар (1...5 мкм) міді, латуні, бронзи або інших антифрикційних твердомастильних матеріалів, внаслідок чого вони набувають високих антифрикційних властивостей і контактної міцності [4].

Поверхні деталей обробляють прутком, щітками, бруском або диском, виконаним з антифрикційних сплавів з використання поверхнево-активних речовин, що містяться в спеціальних технологічних середовищах.

На теперішній час технології ФАБО класифікують за технологічною ознакою на дві групи [5].

Перша група передбачає, власне, нанесення покриттів з м'яких металів шляхом силового контакту матеріалу донора та деталі. Цю групу можливо поділити на наступні варіанти:

- фрикційно-механічний спосіб нанесення прутковим інструментом (фрикційне латунування, бронзування та міднення);

- фрикційно-хімічний спосіб, що передбачає нанесення покриття в металлоплакуючих технологічних середовищах, які містять в своєму складі поверхнево-активні речовини і хімічні з'єднання металів, здатних відновлюватися на поверхнях деталей, що піддаються обробці під дією роликів, дисків, брусків, щіток або інших інструментів з неметалевого або металевого матеріалу).

Метод ФАБО в металоплакуючих технологічних середовищах дозволяє отримувати металеві покриття з регульованою товщиною на деталях різної конфігурації. Необхідні питомі навантаження при цьому значно менші, ніж при ФАБО прутковим інструментом і складають 0,5...1,0 МПа [3].

До другої групи методів ФАБО відносяться технології нанесення шаруватих твердомасляних покриттів у вигляді графіт-дисульфіда молибдену та інших з'єднань контактним намащуванням, нанесенням суспензій твердого мастила або спеціальними методами чи використанням спеціальних методів хонінгування (антифрикційне плосковершинне і антифрикційно-деформаційне хонінгування) [3].

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень даного методу, його використання обмежене через недостатнє відпрацювання режимів нанесення покриттів, занадто низьку міцність зчеплення покриттів та деталей.

Для здійснення ФАБО на теперішній час використовують складні конструкції пристосувань, що обмежує їх практичне використання на сервісних підприємствах. ФАБО фрикційно-механічними способами викликає значне підвищення трудомісткості відновлення деталей, наприклад, час обробки однієї гільзи складає 15...20 хв.

Виходячи з вищевикладеного, доцільно виконувати дослідження, що передбачають удосконалення різних методів ФАБО. Основними перспективними напрямками досліджень є визначення оптимальних режимів ФАБО, вибір ефективних технологічних середовищ, забезпечення високої адгезії покриття, підвищення продуктивності обробки та розробка пристосувань для нанесення покриттів на різні класи деталей.

Список використаної літератури:

1. Шепеленко І.В. Шляхи підвищення ефективності застосування ФАБО гільз циліндрів/ І.В. Шепеленко, Р.Ф. Будар Мохамед// Прикладні науково-технічні дослідження. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (05 – 07 квітня 2017 р.), м. Івано-Франківськ, 2017. С.124. (доведена ефективність ФАБО гільз циліндрів).
2. Шепеленко І.В. Інтенсифікація процесу нанесення антифрикційних покриттів/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції (06 – 09 жовтня 2020 р.), м. Київ, КПІ, 2020. С.94–96. (визначено шляхи інтенсифікації процесу нанесення антифрикційних покриттів)
3. Шепеленко І.В. Підвищення ефективності обробки цапф шестерень гідронасосів/ І.В. Шепеленко, В.В. Черкун// Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу - 2021» (07 – 10 вересня 2021 р.), випуск 7. – Херсон: ХНТУ, 2021. С.109–112. (розроблено технологічний процес обробки цапф шестерень гідронасосів з використанням ФАБО).
4. Кропівний В.М. Розробка та дослідження складу технологічного середовища для ФАБВО/ В.М. Кропівний, І.В. Шепеленко, В.В. Черкун // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Кіровоград, 2011. – Вип.41 (1). – С.248–251. (запропоновано склад технологічного середовища для нанесення антифрикційного покриття).
5. Красота А.М., Шепеленко І.В., Красота М.В., Осін Р.А. Обґрунтування ефективності та класифікація компонентів технологічних середовищ для фінішної антифрикційної безабразивної обробки деталей машин/ А.М. Красота, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, Р.А. Осін // Центральнотериторіальний науковий вісник. Технічні науки. - 2024. - Вип. 10(41), ч. II. С. 104 – 112.

УДК 629.463.65

Панченко С.В., д.т.н., проф.¹
Ловська А.О., д.т.н., проф.¹
Рукавішников П.В., ст. викладач¹
Петренко Д. Г., к.т.н., доц.²
Равлюк М.Г., ст. викладач¹

¹Український державний університет залізничного транспорту

²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ В НЬОМУ КОНТЕЙНЕРІВ

Інтенсифікація розвитку контейнерних перевезень викликає необхідність забезпечення залізничної галузі транспортними засобами з покращеними характеристиками. Наразі перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах, оснащених фітинговими упорами для кріплення контейнерів. Разом з цим, затребуваність контейнерних перевезень особливо у міжнародному сполученні викликає нестачу вагонів-платформ для їх перевезень. Переоснащення універсальних вагонів-платформ під контейнерні перевезення шляхом постановки на них фітингових упорів не вирішило повністю питання забезпеченості залізничної галузі транспортними засобами для перевезень контейнерів. У зв'язку з цим, є доцільним дослідження можливості використання під контейнерні перевезення напіввагонів [1, 2]. Тому актуальним постає питання дослідження міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів.

Для експериментального дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів проведені стендові випробування в дослідній лабораторії “Центру діагностики споруд транспортного призначення” при Українському державному університеті залізничного транспорту (м. Харків). Визначення напружень, які виникають в конструкції кришки люка здійснено з використанням методу електричного тензометрування. Монтаж тензорезисторів здійснено за мостовою схемою. При цьому застосовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом.

Для випробування кришки люка створено спеціальний стенд. Закріплення кришки люка здійснювалося за петлі. Для цього використовувалися металеві пальці. З протилежного боку закріплення кришки люка здійснювалося в зонах її взаємодії із запірними механізмами. Для цього під кронштейни встановлювалися опори. На полотні кришки люка встановлювався фітинговий упор. Місце його розташування визначено із урахуванням розміщення в напіввагоні двох контейнерів типорозміру 1СС. Навантаження на фітинговий упор передавалося через металевий стакан, який імітував фітинг контейнера. Зверху на стакан була укладена металева пластина на яку встановлювався домкрат. Верхня частина домкрата опиралася в горизонтальну балку. Через цей домкрат передавалося вертикальне навантаження на стакан. Величина навантаження контролювалася динамометром. При цьому максимальна величина навантаження прийнята рівною 6 т (60 кН), що відповідає максимально завантаженому стану контейнера типорозміру 1СС. Навантаження фітингового упору відбувалося в діапазоні 0 – 60 кН з кроком 5 кН. Показання тензорезисторів знімали за допомогою тензометричної станції ВНП-8.

Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 345,4 МПа. Ці напруження перевищують допустимі, які встановлено для марки сталі металоконструкції кришки люка. Це дозволяє зробити висновок, що перевезення контейнерів із використанням досліджуваної схеми їх закріплень в напіввагоні не є можливим.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів та підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Список використаної літератури:

1. Sergii Panchenko, Alyona Lovska, Arsen Muradian, Yevhen Pelypenko, Pavlo Rukavishnykov, Oleksii Demydiukov. Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 5/7 (131). P. 6 – 14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
2. Ловська А. О., Діжо Я., Рибін А. В., Рукавішников П. В. Особливості визначення показників міцності кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Наукові вісті Дніпровського університету. 2024. №26. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9>

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА, НАВАНТАЖЕНОЇ ВІД ЗНІМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ

Підвищення обсягів перевезень вантажів у міжнародному сполученні викликає потребу використання контейнерів, як найбільш мобільних транспортних засобів. Їх перевезення залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ обумовлює необхідність пошуку альтернативних варіантів перевезень контейнерів залізницею. Одним із таких варіантів є використання напіввагонів для цих цілей, що пояснюється відсутністю даху на них та можливістю завантаження контейнерів. Однак конструкція напіввагонів не пристосована до цих цілей, що може сприяти не тільки їх пошкодженню, а і виникненню аварій. У зв'язку з цим, виникає необхідність створення рішень, спрямованих на адаптацію напіввагонів до контейнерних перевезень.

З метою адаптації напіввагона до перевезень контейнерів запропоновано конструкцію знімного модуля (рис. 1). Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між кузовом напіввагона та контейнером та забезпечує кріплення контейнера в напіввагоні з дотриманням умов його міцності. Передбачається розміщення на підлозі напіввагона фітингових упорів, якими він взаємодіє із фітингами знімного модуля, а контейнери взаємодіють зі знімним модулем через фітингові упори, які знаходяться в кутах взаємодії повздовжніх та кінцевих балок [1, 2].



Рис. 1. Розміщення контейнера в знімному модулі

Модуль забезпечує рівномірну передачу навантаження від контейнера на кришку люка за площею його прилягання до полотна, оскільки фітинги знімного модуля мають поглиблення. Завдяки цьому забезпечується можливість передачі навантаження від знімного модуля за всією площею рами.

Для визначення міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля, проведено її розрахунок. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation. Для передачі вертикального навантаження на кришку люка на ній встановлено полосу, ширина якої дорівнює ширині профілю виконання знімного модуля.

Встановлено, що максимальні напруження виникають у петлях кришки люка і складають 115,4 МПа, тобто є нижчими за допустимі. Максимальні переміщення зафіксовано у запірних кронштейнах і дорівнюють 2,61 мм. Отже міцність кришки люка з урахуванням запропонованої схеми перевезення контейнерів в напіввагоні забезпечується.

Результати проведених досліджень сприятимуть формуванню рекомендацій щодо можливості залучення напіввагонів до контейнерних перевезень та підвищенню ефективності контейнерних перевезень.

Список використаної літератури:

1. Sergii Panchenko, Alyona Lovska, Arsen Muradian, Yevhen Pelypenko, Pavlo Rukavishnykov, Oleksii Demydiukov. Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 5/7 (131). P. 6 – 14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
2. Панченко С. В., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рукавішников П. В. Особливості проєктування зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. Наука та прогрес транспорту. 2024. №3(107). С. 73 – 83. <https://doi.org/10.15802/stp2024/313395>.

Равлюк В.Г., професор, д.т.н., доц.
Ловська А.О., професор, д.т.н., проф.
Скуріхін Д.І., доцент, к.т.н., доц.
Рибін А.В., доцент, к.т.н., доц.

*Кафедра інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ГАЛЬМОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Для підвищення ефективності та безпеки експлуатації залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця» необхідне впровадження сучасних інженерних рішень, спрямованих на оптимізацію вантажних перевезень. Зі зростанням швидкості руху, осьового навантаження і потреби в подовженні міжремонтних інтервалів до конструкцій гальмових систем вантажних вагонів впроваджуються нові технічні рішення. Проте результати оцінки технічного стану гальмового обладнання свідчать про його знижену надійність: у багатьох вагонах гальмові системи перебувають у незадовільному стані, що негативно впливає на безпеку руху [1]. У зв'язку з цим АТ «Укрзалізниця» спільно з науковими установами здійснює дослідження, спрямовані на підвищення надійності автогальм. Однією з актуальних проблем залишається клинодувальний знос композиційних гальмових колодок, спричинений недоліками конструкції гальмової важільної передачі (ГВП) візків вантажних вагонів. Такий знос зменшує площу контакту між колодками й колесами, що знижує ефективність гальмування, збільшує витрати на ремонт та технічне обслуговування і сприяє зростанню енергоспоживання під час руху. Враховуючи зазначене, актуальним залишається розроблення технічних заходів, спрямованих на усунення клинодувального зносу гальмових колодок у вантажному рухомому складі.

Підвищення ефективності та надійності гальмування залізничного рухомого складу вимагає врахування не лише конструктивних особливостей гальмових систем, а й динаміки взаємодії їх елементів під час руху поїзда по рейкових нерівностях. Одним із важливих аспектів є вплив просторового розташування компонентів ГВП на рівномірність натискання колодок на колеса і, відповідно, на інтенсивність їх зносу.

За результатами досліджень встановлено, що зменшення силового натискання гальмових колодок на колеса візка вантажного вагона під час проходження через нерівності типу «стик рейок» сприяє зниженню їх експлуатаційного зносу. Проаналізовано роботу елементів ГВП вантажного вагона та визначено, що приведення до спільної осі підвішування центру мас триангеля і вузла з'єднання розпірки з вертикальним важелем створює передумови для зниження негативного впливу силових факторів у ланках триангельної ГВП [2]. Однак зазначене конструктивне рішення наразі можливо реалізувати лише теоретично (рис. 1, а).

З метою перевірки запропонованої гіпотези проведено попереднє моделювання на спрощеній 2D-схемі ГВП візка вантажного вагона, яка наближена до реальних умов експлуатації, без внесення змін до конструкції триангеля (рис. 1, б). Результати моделювання не показали суттєвого зменшення шкідливого зносу верхньої частини гальмових колодок. Водночас, після конструктивної модернізації триангеля, згідно з варіантом, поданим на схемі (рис. 1, в), було досягнуто часткового вирішення проблеми інтенсивного зносу колодок, що підтверджено експериментальними дослідженнями. Таким чином, внаслідок незначних конструктивних змін у вузлі з'єднання вертикального важеля з розпіркою, модернізовані триангелі ГВП продемонстрували підвищену надійність функціонування. Експериментальні результати свідчать про зниження інтенсивності зносу гальмових колодок у порівнянні з типовими гальмовими системами трьохелементних візків вантажних вагонів.

На підставі проведеного теоретичного аналізу та його практичного підтвердження можна зробити попередній висновок щодо раціонального конструктивного рішення: центр мас триангеля необхідно максимально наближати до вузла з'єднання розпірки з вертикальним важелем. Це дозволяє оптимізувати баланс зусиль і забезпечити ефективнішу роботу ГВП візка вантажного вагона. Отже, запропонована розрахункова 2D-схема моделювання процесу гальмування колісної пари при проходженні нерівностей типу «стик рейок», яка враховує дію сили тяжіння (рис. 1, в), є придатною для подальших досліджень і вдосконалення конструкцій гальмових систем.

Досліджено умови використання та розрахунків елементів ГВП візків вантажних вагонів з урахуванням впливу прикладеного зусилля $T_0(t)$. З часом завершення перехідного процесу гальмове зусилля зростає до номінального значення T_0 , супроводжуючись напруженням зусиль N_1 у стрижнях підвішування триангелів. Одночасно частка зусилля T_0 у вигляді внутрішнього зусилля δT діє на гальмові колодки, забезпечуючи їх контакт з колесами (рис. 1). Зусилля δT може переміщувати триангель з

розпіркою з'єднання вертикальних важелів в обох протилежних напрямках. На завершальному етапі відбувається гальмування усіх коліс візка.

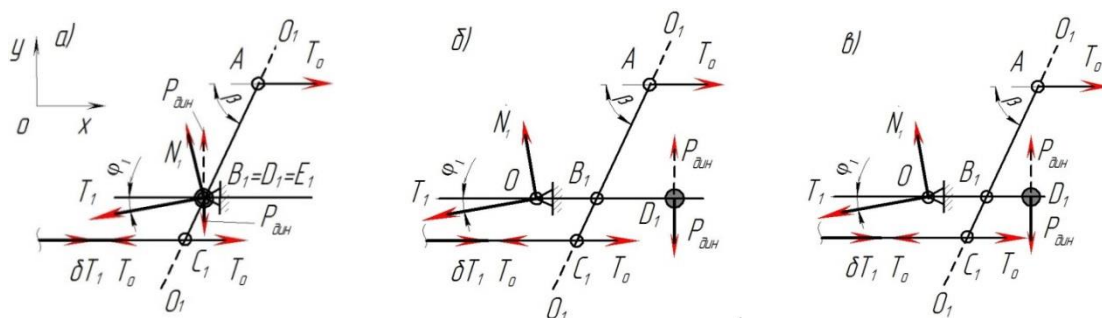


Рис. 1. Схема моделювання гальмування колісної пари при наїзді на нерівність «стик рейок»:
а – ідеальний варіант ($l_{B_1D_1} = l_{B_1E_1} = 0$); б – типовий варіант ($l_{B_1D_1} = 0,224$); в – модернізований варіант ($l_{B_1D_1} = 0,112$); $T_0(t)$ – зовнішнє гальмове зусилля; $P_{дин}$ – динамічне зусилля; N_1 – зусилля в маятниковій підвісці триangelів (зовнішнє); T_1 – зовнішня гальмова реакція від коліс на колодки; δT_1 – розпірне внутрішнє «віртуальне» зусилля

Для розрахунків загальмованого стану візка з ГВП було використано рівняння статки [2]. Невідомі зусилля N_1 , T і T_0 , що виникають в елементах важільних передач під час гальмування вантажного вагона, були визначені чисельним розрахунком, а отримані результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1
Порівняння визначених зусиль, які діють в елементах ГВП

Схема-модель для якої виконано розрахунок	T_1 , кН		T_2 , кН		N_1 , кН		N_2 , кН	
	Напрямок дії $P_{дин}$							
	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз
а – ідеальний варіант	40,97		40,97		7,13		7,13	
б – типовий варіант	44,69	47,75	44,69	47,75	6,868	9,44	6,868	9,44
в – модернізований варіант	45,031	47,409	45,031	47,409	6,928	9,38	6,928	9,38

Із таблиці 1 видно, що схемні рішення конструкції триangelьних важільних передач гальмових систем візків вантажних вагонів, впливають на величини розрахункових значень її елементів.

Виконано розширені комплексні порівняльні розрахунки дії силових факторів, що виникають в елементах ГВП під час гальмування візка вантажного вагона, з урахуванням різних випадків знакозмінних вертикальних сил інерції. Особливу увагу приділено моделюванню умов руху візків по нерівностях рейкового шляху, зокрема на ділянках зі стилями рейок, де спостерігається найбільш інтенсивний вплив динамічних навантажень. Такі силові навантаження здатні змінювати роботу важільної системи, викликаючи коливання натискання гальмових колодок на колеса, що впливає на ефективність гальмування та рівномірність зносу елементів гальмового обладнання. На підставі проведених аналітичних розрахунків і результатів експлуатаційних випробувань оцінено технічні можливості підвищення надійності й довговічності гальмової системи візків вантажних вагонів. Підтверджено, що за умови конструктивного вдосконалення елементів ГВП, зокрема її адаптації до змінних динамічних навантажень, існує потенціал збільшення експлуатаційного ресурсу композиційних гальмових колодок орієнтовно в 1,67 рази, що має важливе значення для підвищення ефективності гальмування та зменшення витрат на технічне обслуговування вантажного рухомого складу.

Список використаної літератури:

- Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України: ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: Затв. нак. Укрзалізниці від 28.10.1997. № 264-Ц. Київ: 2004. 146 с.
- Равлюк В., Равлюк М., Фісіна Я., Нуруллаєв Р. Уточнені розрахунки 2D схем-моделей гальмових важільних передач для збільшення ресурсу колодок вантажних вагонів// 36. наук. пр. Держ. універ. інфраструктури та технол. Серія: Транспортні системи і технології. Київ: ДУІТ, 2020. № 35. С. 24-34. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-3>

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИЛ ЗАТИСКУ ГОРИЗОНТАЛЬНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗАХВАТНОГО ПРИСТРОЮ РОБОТА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМУ ЙОГО ПЕРЕМІЩЕННІ

З урахуванням основного призначення промислових роботів, їхні захватні пристрої мають гарантувати надійне утримання об'єктів під час виконання різноманітних операцій, таких як монтаж, з'єднання чи запресовування, незалежно від напрямку чи режиму руху. При цьому процес переміщення та точного розміщення об'єктів повинен відповідати ряду вимог: оптимальні показники швидкості або прискорення, необхідна точність, мінімальні навантаження на захватний механізм і конструкцію робота, висока якість виконання дій, енергоефективність, а також дотримання норм безпеки та експлуатаційних умов.

Окрім цього, захватні пристрої мають бути достатньо універсальними, щоб взаємодіяти з об'єктами різної форми й розмірів, працювати з різноманітним обладнанням та забезпечувати сумісність з іншими системами. Усе це підкреслює важливість проведення функціонального аналізу таких механізмів. Одним із ключових аспектів цих досліджень є розробка методики силового розрахунку з урахуванням вказаних параметрів, що робить це завдання надзвичайно актуальним у сучасних умовах.

Протягом усього етапу розвитку промислової робототехніки питання силового розрахунку захватних пристроїв залишалося надзвичайно важливим. Це зумовлено тим, що захватні механізми є основними робочими елементами, які постійно контактують із виробничими об'єктами різноманітної форми, складу та фізичних характеристик. Під час маніпуляцій такі об'єкти не повинні зазнавати пошкоджень, а самі операції мають виконуватися в заданому виробничому ритмі та у межах допустимого часу.

Цим аспектам присвячено низку ґрунтовних досліджень, зокрема праці І.І. Павленка [1, 4], Shimon Y. Nof, G.J. Monkman [3], Я.І. Проця [2] та інших авторів. Особливо значущий внесок у розвиток методів силового розрахунку зробив І.І. Павленко. Його дослідження стали основою для формування підходів до визначення умов ефективного функціонування захватних пристроїв, розробки методик розрахунку силових параметрів, а також для визначення принципів проектування виконавчих модулів і налаштування систем керування промисловими роботами.

Незважаючи на існуюче різноманіття підходів до вдосконалення функціональних параметрів захватних механізмів роботів, виявлено певні недоліки, зокрема надмірне спрощення процесу силового розрахунку. Сучасні промислові роботи функціонують у кутових системах координат, що спричиняє складну взаємодію численних факторів, які впливають на зусилля затиску та навантаження елементів захватного пристрою. У зв'язку з цим, завдання визначення сил затиску при різній просторовій орієнтації механізму, змінній траєкторії руху робота та різних конструктивних особливостях захвата залишається актуальним.

Метою цієї наукової роботи є аналіз силових характеристик захватного пристрою промислового робота за різних умов його експлуатації, розробка формул для розрахунку мінімально необхідних сил затиску, а також побудова залежностей цих сил від конструктивних параметрів захватного механізму.

Варто підкреслити, що актуальність порушеної проблеми зросла в сучасних реаліях, оскільки робототехніка активно впроваджується не лише у виробничу сферу, а й у військову галузь. Зокрема, в машинобудуванні промислові маніпулятори широко використовуються для обслуговування технологічного обладнання [1, с. 58], а у військовій сфері — мобільні роботи з маніпуляторами застосовуються для взаємодії з небезпечними об'єктами. Запропонована нами методика силового розрахунку спрямована на визначення мінімально достатніх сил затиску для забезпечення надійної фіксації об'єктів. На рисунку 1 представлено приклад розрахункової схеми, а також виведено відповідні рівняння для обчислення необхідних сил.

Розрахункова схема формується з урахуванням специфіки затиску деталі захватним механізмом, із використанням таких позначень: G — сила ваги деталі; I — сила інерції; α — половина кута призми; β — кут напрямку сили інерції; P_1, P_2, P_3, P_4 — мінімально необхідні зусилля затиску деталі; F_1, F_2 — сили тертя, що виникають між деталлю та призмами захватного пристрою під дією сили інерції. Розглянемо варіант роботи захватного механізму робота у випадку, коли сила інерції спрямована вертикально вниз.

На першому етапі необхідно визначити мінімальні зусилля затиску, що діють на деталь. Для цього проводимо проектування всіх сил, які беруть участь у взаємодії в межах даної системи.

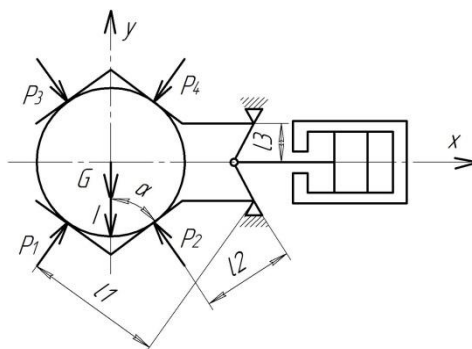


Рис. 1. Схема для розрахунку сил затиску деталі (розроблено автором)

Вісь OX:

$$P_1^x \cdot \cos \alpha - P_2^x \cdot \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

Вісь OY:

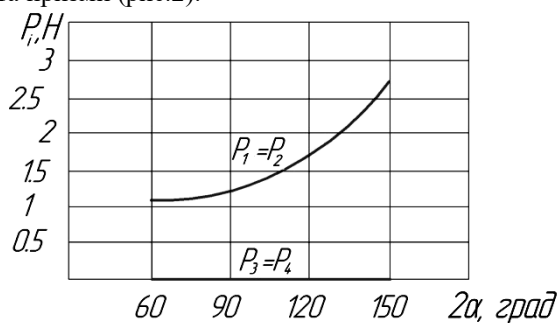
$$P_1^y \cdot \sin \alpha + P_2^y \cdot \sin \alpha - I - G = 0 \quad (2)$$

Вирішуючи приведені рівняння, визначаємо значення сил $P_1 = P_2 = P$.

$$P = \frac{I + G}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (3)$$

З метою аналізу впливу кута призми на значення затискних зусиль виконаємо обчислення для таких значень кута 2α : 60° , 90° , 120° , 150° . При цьому кут напрямку сили інерції фіксується як $\beta = 0^\circ$.

На основі отриманих результатів побудовані графіки, які ілюструють залежність мінімально необхідних сил затиску від кута призми (рис.2).

Рис. 2. Графіки впливу кута затискних призм 2α на сили затиску P_1 , P_2 , P_3 , P_4 (розроблено автором)

Коли кут напрямку сили інерції $\beta = 0^\circ$ то сили затиску зі збільшенням кута призми 2α від 60° до 150° $P_1 = P_2$ будуть збільшуватися, а сили $P_3 = P_4 = 0$ (рис. 2), а тому кут призми 2α необхідно вибирати в межах від 60° - 90° . Точний силовий розрахунок дає можливість зменшити масо-габаритні показники захватного пристрою та покращити продуктивність промислового робота. Знаючи траєкторію руху руки робота, можливо виявляти найбільш навантажені моменти функціонування, створювати розрахункові схеми і розраховувати сили затиску. По отриманим даним коригувати на програмному рівні прискорення, впливати на силу інерції, зменшувати навантаження на затискні елементи, забезпечуючи стабільність та якість виконання роботом поставлених задач.

Список використаної літератури:

1. Павленко І.І., Годунко М.О. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2014. 367с.
2. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. Тернопіль: ТДТУ ім.І.Пулюя, 2008. 232с.
3. G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk. Robot Grippers. Copyright 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
4. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК. Монографія. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2016. 492с.

МАСШТАБНИЙ ЕФЕКТ ПРИ МІКРОФРЕЗЕРУВАННІ НІТИНОЛІВ

Мікрофрезерування — це високоточна механічна обробка мікрофрезами діаметром до 1 мм для виготовлення дрібних деталей і поверхневих мікроструктур. [1]. Порівняно зі звичайним фрезеруванням, мікрофрезерування характеризується проявом масштабного ефекту, що полягає в нелінійному зростанні питомої сили різання зі зменшенням подачі на зуб до значень, менших за радіус округлення різальної кромки. Це викликає нерівномірне навантаження на різальну кромку, що призводить до мікрівібрацій, стохастичного зношування інструменту і, як наслідок, до зниження точності і якості поверхні [2].

За допомогою скінченно-елементного моделювання процесу мікрофрезерування нітинолу фрезами діаметром 0,2 та 0,5 мм було визначено залежність питомої сили різання k_c від масштабного коефіцієнта k_m , який є відношенням товщини зрізу до радіуса округлення різальної кромки інструмента (0,01 мм) [3]. Отримані результати представлено на рис. 1.

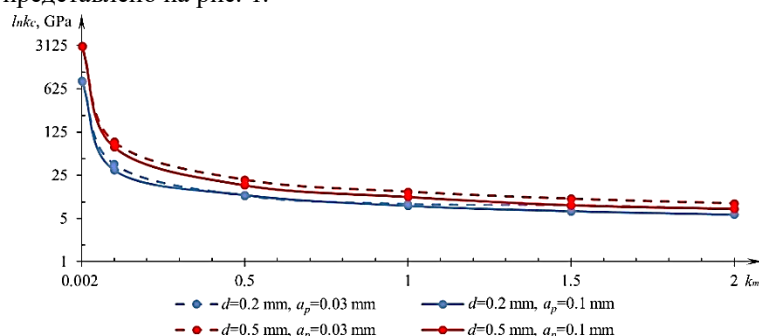


Рис. 1. Залежність питомої сили різання від масштабного коефіцієнта [3]

Як видно з рисунка 1 при низьких значеннях k_m питомі сили різання значно зростають, досягаючи пікових значень до 3100 ГПа. При збільшенні подачі питома сила різання зменшується в 141,64 (фреза Ø0,2 мм) та 421,94 раза (фреза Ø0,5 мм). За малих значень масштабного коефіцієнта основним механізмом взаємодії інструменту з матеріалом стає пластична деформація без повноцінного стружкоутворення. Питома сила різання в цьому випадку зростає нелінійно, що призводить до значного навантаження інструмента.

Отримані результати [3] щодо питомих сил різання дозволяють визначити раціональні значення подачі. Так, при мікрофрезеруванні нітинолу варто обирати подачу таким чином, щоб k_m не був менше 0,1, а при можливості — більше 0,5. Це означає, що в досліджуваних умовах обробки мінімальна товщина зрізу має бути не менше 10% (оптимально більше 50%) від радіуса заокруглення різальної кромки мікрофрези. Ці результати загалом узгоджуються з даними досліджень інших авторів [4], де рекомендована мінімальна товщина зрізу становила не менше 30% радіуса різальної кромки інструмента. Проте автори [4] отримали такі висновки без визначення питомих сил різання і дослідження масштабного ефекту при мікрофрезеруванні нітинолу, а на основі вимірних значень складових сил різання і оцінки шорсткості обробленої поверхні.

Отже, для забезпечення ефективної обробки нітинолів можна рекомендувати застосовувати різальні інструменти з мінімально можливим радіусом заокруглення різальної кромки, оскільки це дозволяє зменшити питомі сили різання.

Список використаної літератури:

1. Томашевський О.О., Балицька Н.О. (2023). Процес мікрофрезерування металів і сплавів: аналітичний огляд. *Технічна інженерія*, (2(92), 74–8, doi: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-74-88](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-74-88).
2. Томашевський О.О., Балицька Н.О., Прилико О.І. (2024). Скінченно-елементне моделювання процесу мікрофрезерування нітинолу. *Технічна інженерія*, (1(93), 81–88, doi: [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-81-88](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-81-88).
3. Balytska N. O., Tomashevskiy O. O., Shadura V. A. (2025). Evaluation of cutting forces and temperatures in micro-milling of NiTi alloys using finite element modeling. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, 12(1), A20–A27. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).a3](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).a3).
4. Aslantaş, K., & Kaynak, Y. (2018b). Şekil Hafızalı NİTİ Alaşımının Mikro Frezelenmesi ve Kritik Talaş Kalınlığının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018 (18-2).

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Метод скінчених елементів (Finite Element Modeling, FEM) заснований на поділі складної геометричної моделі на малі, прості елементи (скінчені елементи), для яких рівняння механіки вирішуються чисельно [1]. Результати для всіх елементів комбінуються для отримання наближеного рішення для всієї системи, що дозволяє аналізувати напруження, деформації, теплоперенос тощо. Методологія FEM включає визначення геометрії, дискретизацію області на елементи, присвоєння матеріальних властивостей, застосування граничних умов і навантажень, формулювання та збирання рівнянь елементів, вирішення для вузлових переміщень і аналіз результатів через постобробку для подальшої інтерпретації та валідації. Цей метод широко використовується в інженерії [2], матеріалознавстві [3] та біомеханіці [4] для моделювання поведінки конструкцій і матеріалів під зовнішніми навантаженнями.

З метою чисельного визначення пружних властивостей хаотично армований сферичними та циліндричними включеннями композиційний матеріал симулювався методом скінчених елементів у тривимірній постановці [4]. Матрицею композиційного матеріалу був політетрафторетилен (ПТФЕ), дисперсним наповнювачем – 20 мас. % дрібнодисперсного коксу, волокнистим наповнювачем – 15 мас. % вуглецевого волокна. Геометрична форма коксу – кулі діаметрами від 10 до 50 мкм; волокна – прямі кругові циліндри діаметрами від 10 до 12 мкм та довжиною твірної від 100 до 150 мкм (рис. 1).

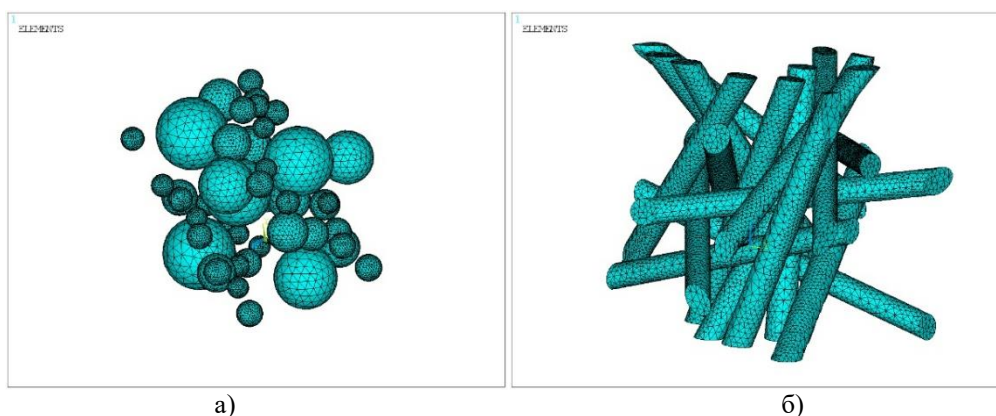


Рис. 1. Скінченоелементні моделі наповнювачів сферичними а) та циліндричними б) включеннями

Методологія дослідження передбачала структурований підхід до підготовки матеріалів, їх обробки, експериментальних випробувань та чисельного моделювання для забезпечення точного прогнозування властивостей. Еквівалентні напруження за ван Мізесом для матриць та наповнювачів приведено на рис. 2.

Скінченоелементна модель добре прогнозує міцність хаотично армованих сферичними включеннями композиційних матеріалів: матриця і наповнювач досягають границі міцності одночасно. ПТФЕ-матриця при руйнуванні розтяганням має еквівалентні за Мізесом напруження 21.5 МПа проти 23 МПа табличних даних та сферичний наповнювач – кокс 23.4 МПа проти 19.6 МПа табличних, що відповідає експериментальним даним. Це пов'язано гладкістю поверхонь наповнювача та відсутністю розсічення наповнювача в моделі.

Прогноз міцності скінченоелементною моделлю хаотично армованих циліндричними включеннями композиційних матеріалів потребує додаткового аналізу: матриця і наповнювач вочевидь мають концентратори напружень і підвладні обом труднощам створення достовірної структурної моделі. На лінії границі наповнювача з матрицею розсіченої поверхні наповнювача присутні концентратори напружень, які повинні призводити до витягування волокон, що орієнтовані у просторі приблизно у напрямку навантаження. Аналогічно на лінії границі матриці з наповнювачем біля розсіченої поверхні наповнювача має відбуватися викришування матриці. Однак, вилучивши із міркування області концентраторів наповнювача та допустивши руйнування адгезійного зчеплення матриці на наповнювача, що значно розвантажить матрицю, можна передбачити міцність композиційного матеріалу.

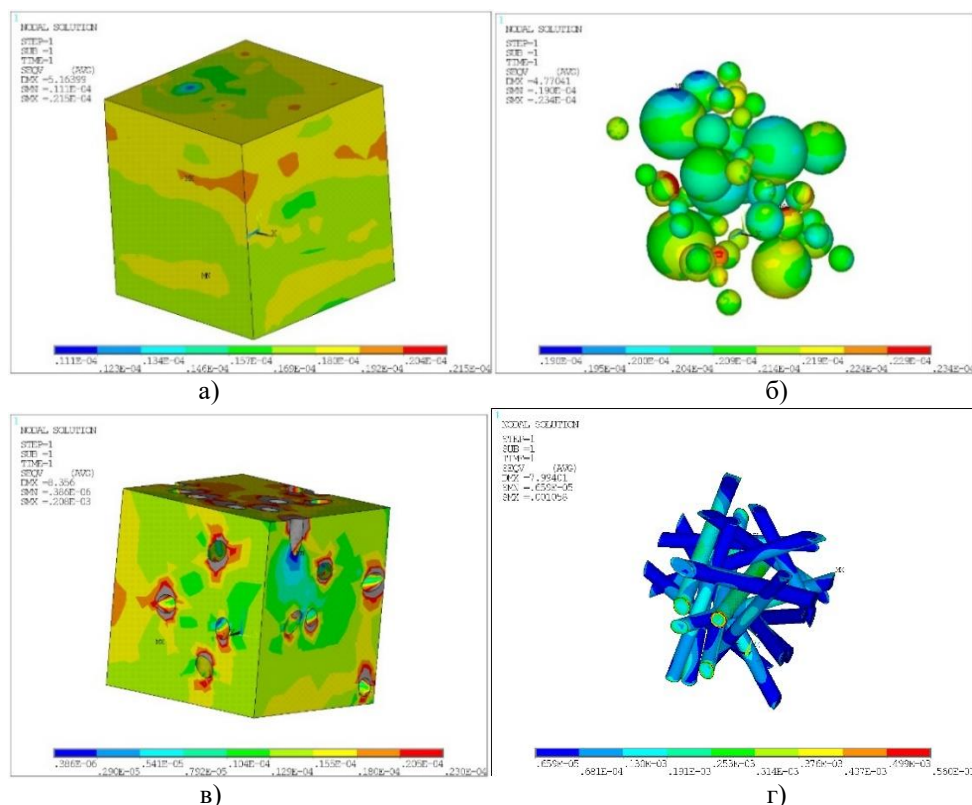


Рис. 2. Еквівалентні напруження за ван Мізесом для матриці а, б) зі сферичним наповнювачем, в, г) з циліндричним наповнювачем.

Крім того наявність розсічення наповнювача при моделюванні приводить до таких наслідків:

1) З точки зору точності визначення напружено деформованого стану треба зважати на граничні умови, прикладені до поверхні зрізу наповнювача: при граничних умовах, сформульованих у напруженнях, невідповідним до експерименту буде аномальне переміщення пропорційно жорсткості; при формулюванні кінематичних граничних умов – напружений стан поведе себе як класичний концентратор напружень – локальне збурення напружень.

2) З точки зору точності визначення кінетики руйнування матеріалу спільні вузли елементів на лінії границі з матрицею розсіченої поверхні наповнювача можуть мати мішані граничні умови, що може призвести до похибки при чисельному розв'язанні (до артефактів).

Таким чином, дане дослідження визнає труднощі у точному моделюванні волокнистих наповнювачів через ефекти концентрації напружень. Припущення щодо ідеальної адгезії між матрицею та включеннями можуть не повністю відображати реальну поведінку матеріалу. Для покращення точності прогнозу відмови необхідні подальші уточнення обчислювальних методів.

Список використаної літератури:

1. Ashcroft, I.A., Mubashar, A.: Numerical Approach: Finite Element Analysis. In: da Silva, L., Öchsner, A., Adams, R. (eds.) Handbook of Adhesion Technology, pp. 701–739. Springer, Cham (2018). DOI: 10.1007/978-3-319-55411-2_25
2. Le, V.L., Lee, C.-H., Alemayehu, R.W., Park, M.J.: Finite Element Modeling of the Behaviors of Concrete-Filled Steel Tube (CFT) Columns at Elevated Temperatures. Buildings 15, 11 (2025). DOI: 10.3390/buildings15010011
3. Povstyanov, O., Mikhailov, A., Imbriovich, N., Dziubynska, O., Herasymchuk, H.: Simulation Permeable Porous Materials of the Complex Shape During Radial-Isostatic Compression. In: Tonkonogiy, V., et al. (eds.) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 339–348 (2021). DOI: 10.1007/978-3-030-68014-5_34
4. Atif, M., Tewari, N., Reshikesh, M., Chanda, A., Mathur, V.P., Morankar, R.: Methods and applications of finite element analysis in dental trauma research: A scoping review. Dental Traumatology 40, 366–388 (2024). DOI: 10.1111/edt.12933
5. Berladir, K., Zhyhylii, D., Gaponova, O., Krmela, J., Krmelová, V., Artyukhov, A.: Modeling of Polymer Composite Materials Chaotically Reinforced with Spherical and Cylindrical Inclusions. Polymers 14, 2087 (2022). DOI: 10.3390/polym14102087

Равлюк В.Г.¹, професор кафедри інженерії
вагонів та якості продукції, д.т.н., доц.
Дерев'янчук Я.В.¹, аспірант кафедри інженерії
вагонів та якості продукції
Бондаренко В.В.¹, доцент кафедри інженерії
вагонів та якості продукції, к.т.н., доц.
Дерев'янчук К.Я.², студент кафедри професійної
та технологічної освіти і загальної фізики

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (м. Чернівці)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ПОВІТРОРІЗПОДІЛЬНИКА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПІД ЧАС СЛУЖБОВОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Забезпечення надійної роботи гальмової системи під час експлуатації пасажирських поїздів є одне з основних завдань системи технічного обслуговування і ремонту пасажирських вагонів. Для своєчасного виявлення несправностей гальмової системи потрібно застосовувати сучасне діагностичне обладнання, що дасть змогу запобігти виникненню транспортних подій. Також це дозволить вжити заходів для забезпечення надійної роботи гальмової системи поїзда, що значно скоротить час на ліквідацію несправностей в пунктах з експлуатації вагонів на шляху прямування [1, 2].

Якість роботи пасажирської компанії АТ «Укрзалізниця» можна оцінити за кількісними та якісними показниками ефективності роботи, а також за кількістю транспортних подій, що трапилися за певний період. Головною умовою забезпечення безпеки руху на АТ «Укрзалізниця» є гарантована довговічність і надійність гальмового обладнання пасажирських поїздів, яке належить до найбільш відповідальних елементів рухомого складу. Для підвищення надійності гальм сучасного рухомого складу встановлено основні причини несправностей вузлів гальмового обладнання [3]. Аналіз безпеки руху в пасажирському господарстві АТ «Укрзалізниця» за 2019 – 2024 роки за кількістю відмов вузлів вантажних вагонів вказує на те, що 27 % від загальної кількості несправностей припадають на повітророзподільники (ПР) №292. Це обумовлено складністю конструкції ПР, калібрувальними отворами та високими вимогами до якості їх елементів [4].

Контроль роботи гальмового обладнання пневматичної частини пасажирського вагона здійснюється відповідно до нормативних документів [3, 5, 6] за такими режимами: а) «Зарядження і попуск гальм»; б) «Поїзне положення»; в) «Службове гальмування»; г) «Екстрене гальмування». Проте, для діагностування стану гальм окремо кожного пасажирського вагона та состава поїзда в цілому розроблено математичну модель роботи справного ПР пасажирського вагона.

У режимі службового гальмування відбувається розрядження гальмової магістралі (ГМ) і ПР №292 спрацьовує на гальмування. За таких умов запасний резервуар (ЗР) з'єднується із гальмовим циліндром (ГЦ) через отвір діаметром 4,5 мм (рис. 1). У результаті зниження тиску в ГМ на величину 0,3 МПа, тиск в ГЦ підвищується до величини більше 0,04 МПа і не змінюється більше ніж $\pm 0,01$ МПа за хвилину.

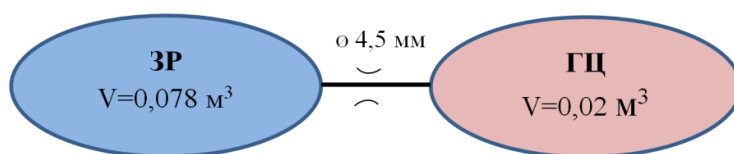


Рис. 1. Спрощена пневматична схема роботи повітророзподільника в режимі «Службове гальмування»

Масова витрата повітря ($G_{гц}(t)$), що перетікає із ЗР до ГЦ, буде визначатися виходячи з рівняння:

$$G_{гц}(t) = \begin{cases} 2,39 \cdot 10^{-3} \cdot \mu_{гц} \cdot f_{гц} \cdot P_{зр}, & \text{якщо } \frac{P_{гц}}{P_{зр}} \leq 0,53; \\ 9,31 \cdot 10^{-3} \cdot \mu_{гц} \cdot f_{гц} \cdot P_{зр} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_{гц}}{P_{зр}}\right)^{1,43} - \left(\frac{P_{гц}}{P_{зр}}\right)^{1,71}}, & \text{якщо } \frac{P_{гц}}{P_{зр}} > 0,53 \\ 0, & \text{якщо } \frac{P_{гц}}{P_{зр}} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

де $\mu_{гц}$ і $f_{гц}$ – коефіцієнт витрати та площа поперечного перерізу дросельного отвору ГЦ під час гальмування, м²;

$P_{зр}, P_{зц}$ – тиск у ЗР й ГЦ, МПа.

Залежність тиску у ГЦ під час гальмування визначається за такою формулою:

$$P_{зц}(t) = \frac{R \cdot T}{V_{зц}} \int_{t_1}^{t_2} G_{зц}(t) dt. \quad (2)$$

Розрахункову залежність тиску у ЗР і ГЦ за умов розряджання ГМ під час «Повного службового гальмування» відповідно до розробленої математичної моделі наведено на рис. 2.

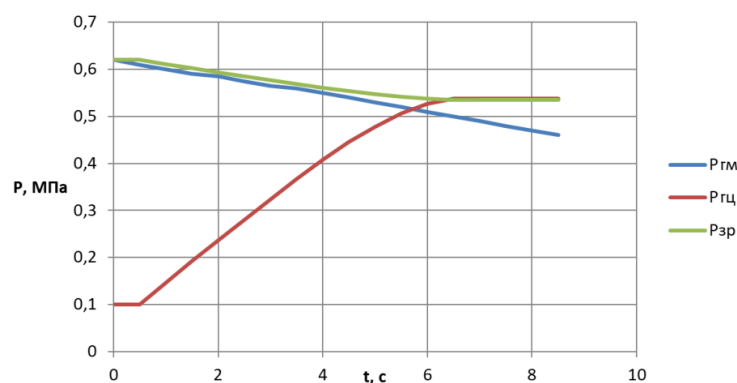


Рис. 2. Значення розрахункових залежностей тиску під час повному службовому гальмування

З рис. 2 видно, що синьою лінією відображено тиск у ГМ ($P_{ГМ}$), який знижується з темпом 0,1 МПа за 5 секунд. Дослідним шляхом встановлено, що під час розряджання ГМ і до моменту перемикання ПР у режим службового гальмування відбувається падіння тиску в ЗР внаслідок перетікання повітря до ГМ – у межах 0,01...0,02 МПа. Згідно з графіком, через 0,4 секунди ПР переходить у режим «Службового гальмування», після чого тиск у ЗР ($P_{ЗР}$) (зелена лінія) зменшується, оскільки стиснене повітря надходить у ГЦ, тиск у якому, відповідно, підвищується (червона лінія). Розрахунковий час наповнення ГЦ від 0 до 0,55 МПа становить 6 секунд, що відповідає експлуатаційним нормам [3]. Після завершення процесу «Службового гальмування» тиск у ЗР ($P_{ЗР}$) зрівнюється з тиском у ГЦ ($P_{ГЦ}$), внаслідок чого їх об'єми об'єднуються, що сприяє зменшенню впливу шкідливих витоків повітря на тиск у ГЦ.

Визначено, що ключовими чинниками, які впливають на ефективність спрацьовування гальмового обладнання пасажирських вагонів, є особливості роботи повіторозподільника №292 у режимі «Службового гальмування». Розроблено математичну модель, що відображає взаємозв'язок між параметрами роботи ПР і технічним станом гальмової системи. На підставі аналітичних та експериментальних досліджень запропоновано сучасну діагностичну систему, яка забезпечує автоматизований моніторинг технічного стану гальм під час експлуатації. Запропоноване рішення дозволяє здійснювати оперативний збір, обробку та аналіз даних з високим рівнем достовірності, що істотно підвищує ефективність контролю гальмового обладнання пасажирського рухомого складу. Впровадження діагностичної системи сприятиме підвищенню безпеки руху, зменшенню кількості транспортних подій і оптимізації витрат на технічне обслуговування пасажирських вагонів.

Список використаної літератури:

1. Сулим А. О., Мельник О. О., Бялобржеський О. В., Ломонос А. І. Дослідження факторів та оцінка рівня їх впливу на показник питомих витрат електроенергії рухомого складу. Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2021. № 4. С. 118 – 127. doi: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-118-127>
2. Сафронов О. М. Дослідження дискової гальмівної системи пасажирського вагона. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, серія «Транспортні системи і технології». 2009. Вип. 14. С. 51 – 67.
3. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України: ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: Затв. нак. Укрзалізничі від 28.10.1997. № 264-Ц. Київ: 2004. 146 с.
4. Ravluyk V., Derevianchuk I., Afanasenko I., Ravluyk N. Development of electronic diagnostic system for improving the diagnosis reliability of passenger car brakes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 2(9(80)). Р. 35–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66007>
5. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів: ЦВ – ЦЛ – 0013: Затв. нак. Укрзалізничі №022–ЦЗ від 25.01.05. Київ: 2005. 160 с.
6. Інструкція оглядачу вагонів: ЦВ-0043: Затв. нак. Укрзалізничі №737-Ц від 28.12.01. Київ: 2002. 186 с.

АНАЛІЗ УМОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ БЕЗПЕКИ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ

З моменту введення в дію Закону України «Про стандартизацію» [1] в Україні діє основний принцип міжнародної стандартизації – добровільність застосування стандартів, але за умови – якщо інше не встановлено законодавством. Але добровільними стандарти стають лише після того, коли обов'язкові вимоги з безпеки для життя і здоров'я людей, з охорони довкілля будуть перенесені у відповідні технічні регламенти (ТР). Технічний регламент – це нормативно-правовий акт КМ України, в якому визначено характеристики продукції або пов'язані з ними процеси та методи виробництва, включаючи відповідні адміністративні положення, додержання яких є обов'язковим [2].

Необхідність забезпечення відповідності металообробного обладнання вимогам діючих в Україні нормативних документів (ДСТУ та ТР) охоплює всі аспекти виробництва, контролю і забезпечення якості продукції. Серед цих аспектів основними є технологічні, метрологічні, нормативно-технічні та правові.

Також, враховуючи, що основним торгівельним партнером України останні роки є Європейський Союз, важливе значення має забезпечення відповідності складної машинобудівної продукції (до якої відноситься металообробне обладнання) вимогам ЄС.

Згідно вимогам «Нового підходу» продукція може надходити на ринок ЄС тільки після процедури оцінки відповідності основним вимогам директив, які є обов'язковими, на відміну від вимог стандартів [3]. Першочерговими є вимоги щодо безпеки для життя, здоров'я та майна громадян і довкілля.

Діючий в Україні Технічний регламент безпеки машин має узагальнюючу дію і «установлює вимоги до машин щодо захисту життя або здоров'я людини, захисту тварин або рослин, а також майна та охорони навколишнього природного середовища, процедури оцінки відповідності машин та вимоги до їх обігу на ринку України та/або введення в експлуатацію» [4].

Згідно нього металообробне обладнання підлягає виконанню вимог безпеки при виробництві, експлуатації, транспортуванні, зберіганні й утилізації, прописаних в Технічному регламенті безпеки машин.

Його дія поширюється, як на завершені машини, змінне обладнання, пристрої безпеки, підймальне приладдя, ланцюги, канати та текстильні стрічки, знімні механічні пристрої, так і на частково завершені машини, що можуть становити небезпеку при їх виробництві, експлуатації, транспортуванні, зберіганні та утилізації.

Також продовжує діяти система стандартів України, які встановлюють вимоги безпеки, норми, правила і методи оцінки безпеки для металообробного обладнання та, зокрема, всіх груп металорізальних верстатів [5-7].

Принципи забезпечення вимог безпеки при виробництві, експлуатації, транспортуванні, зберіганні та утилізації металообробного обладнання сформульовані у [5] ще для етапу проектування (розробки) з метою забезпечення неможливості небезпечного і (або) шкідливого впливу на людину усіх видів небезпечних і шкідливих виробничих факторів (фізичних, хімічних, психофізіологічних).

Безпека устаткування забезпечується:

- 1) вибором принципів дії і конструктивних рішень;
- 2) застосуванням вбудованих до конструкції засобів захисту персоналу і засобів інформації, що попереджає про виникнення небезпечних ситуацій;
- 3) вибором комплектуючих виробів і матеріалів, використовуваних при виготовленні і експлуатації;
- 4) надійністю конструкції та її елементів (у тому числі дублюванням);
- 5) обмеженням фізичних і нервово-психічних навантажень на працюючих;
- 6) виконанням ергономічних вимог;
- 7) застосуванням засобів механізації, автоматизації, дистанційного управління і контролю;
- 8) можливістю використання засобів захисту, що не входять до конструкції

Слід відмітити, що вибір методів забезпечення вимог безпеки суттєво впливає на вартість виготовлення та експлуатації, і відповідно, ефективність використання застосованого металообробного обладнання. Тому розробник (і виготовлювач) устаткування приймає відповідне рішення і несе повну відповідальність у випадку незабезпечення (частково або повністю) вимог безпеки при його проектуванні та виробленні.

Захист людини від впливу одного або кількох шкідливих виробничих факторів повинен гарантуватися одним або кількома способами захисту, наведеними на рис. 1 [5].

Пріоритет слід віддавати способу з меншим порядковим номером. Спосіб захисту V, застосовуваний самостійно, слід обирати тільки в обґрунтованих випадках.

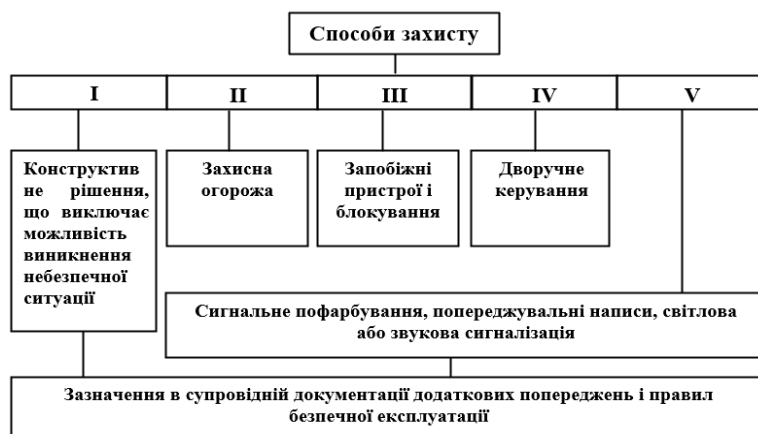


Рис. 1. Способи захисту

При виборі засобів захисту перевага віддається колективному захисту. Індивідуальні засоби захисту застосовують тільки в разі неможливості або недоцільності використання колективних засобів захисту.

У [6] конкретизуються вимоги:

- до освітленості робочої поверхні, лімбів, шкал та інших відлікових пристроїв верстатів;
- щодо захисту від твердих і рідких аерозолів у повітрі робочої зони;
- додаткові (специфічні) вимоги до верстатів різних технологічних груп.

ДСТУ 2754-94 [7] встановлює правила й методи оцінки безпеки для всіх груп металорізальних верстатів та застосовуватися тільки разом з [5, 6]. Проведення випробувань включає в себе:

1. Перевірку правильності монтажу і комплектності верстата.
2. Перевірку безперервності кола захисту, опору ізоляції та електричної міцності ізоляції верстата.
3. Перевірку захисту персоналу від контакту з струмопровідними частинами верстата.
4. Перевірку захисту від ураження залишковою напругою.
5. Перевірку захисту від самовмикання в разі відновлення живлення.
6. Перевірку виконання функцій «аварійної» та «загальної» зупинки.
7. Перевірку роботи верстата на холостому ході і під навантаженням.
8. Перевірку блокуючих пристроїв, жорстких упорів та зусиль переміщення органів керування.
9. Перевірку освітленості робочої зони.
10. Перевірку запиленості та визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.
11. Перевірку ультразвукового тиску на робочих місцях.

Список використаної літератури:

1. Про стандартизацію : Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII. Дата оновлення: 09.06.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text> (дата звернення: 01.12.2024).
2. Про технічні регламенти та оцінку відповідності : Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII. Дата оновлення: 15.11.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text> (дата звернення: 01.12.2024).|
3. Сертифікаційні випробування об'єктів галузевого машинобудування : навч. посібник / О.Л. Мельник, Я.Б. Немировський, Я.А. Степчин, М. Г. Сторчак – Електронні дані. – Житомир: Видавництво Державного університету «Житомирська політехніка», 2025. – 131 с.
4. Про затвердження Технічного регламенту безпеки машин : Постанова Кабінету міністрів України від 30.01.2013 № 62. Дата оновлення: 15.03.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 01.12.2024).
5. ДСТУ 2807-94 Устаткування метало- і деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань [чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСТАНДАРТ України, 1994.
6. ДСТУ 2752-94 Устаткування метало- та деревообробне. Верстати металорізальні. Вимоги безпеки [чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСТАНДАРТ України, 1994.
7. ДСТУ 2754-94. Устаткування метало- та деревообробне. Верстати металорізальні. Методи оцінювання безпеки. [чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСТАНДАРТ України, 1994.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ НЕЖОРСТКИХ ВИРОБІВ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ

Важливою проблемою машинобудування є обробка різанням нежорстких деталей, питома частка яких у загальному об'ємі деталей машин постійно зростає в зв'язку з загальною тенденцією до зниження металоємності обладнання.

Слід відмітити, що найбільш опрацьованим, з наукової точки зору, є питання обробки нежорстких деталей типу валів, а також осевих інструментів та деталей оснащення [1-3]. Суттєво складнішим та менш дослідженим є питання забезпечення ефективної обробки нежорстких деталей просторово складної форми. Одним з відомих варіантів є обробка деталей з нерівномірною жорсткістю типу турбін, лопаток та крильчаток, тонкостінні елементи яких мають різну жорсткість в кожному перерізі по довжині елемента [4]. Основною складністю наукового опрацювання особливостей обробки цього типу деталей – різноманітність форм конструктивних елементів та їх перерізів.

Іншим поширеним варіантом нежорстких деталей просторової складної форми є зварні рамні симетричні і не симетричні конструкції виконані з стандартних порожнистих профілів прямокутного перерізу, з додатковими привареними накладками та іншими конструктивними елементами.

В цьому випадку постає необхідність узагальнити комплекс факторів, що обумовлюють точність обробки плоских поверхонь нежорстких виробів просторової форми при торцевому фрезеруванні.

Загалом результат впливів на точність обробки умовно можна розділити на динамічний та статичний, незалежно від швидкості зміні окремого впливу на розглядуваний об'єкт.

До статичних результатів впливу можна віднести похибку, що залежить від зміни жорсткості складників технологічної обробної системи від $j_{\min}$ до $j_{\max}$ [1]:

$$\Delta = F_y \left(\frac{1}{j_{\min}} - \frac{1}{j_{\max}} \right) \quad (1)$$

де F_y – складова сили різання за нормаллю до обробленої поверхні.

Без врахування динамічної характеристики сили різання при торцевому фрезеруванні за рахунок постійної зміни кількості різальних лез, що приймають участь у зніманні припуску, усереднене значення F_y може вважатися величиною постійною тільки для проміжку часу, меншого за $\frac{1}{nz}$, де n – частота обертання фрези, z – кількість різальних елементів фрези [5] (за умови, що частота обертання n постійна і різальні елементи розміщено в корпусі фрези з однаковим кутовим кроком).

Для випадку обробки прямолінійної ділянки виробу з незмінною глибиною різання та шириною фрезерування поточний прогин елемента виробу може бути визначений подвійним інтегруванням диференціального рівняння пружної осі елемента [6]:

$$\ddot{y} = \frac{M(x)}{E \cdot I} \quad (2)$$

де E – модуль пружності матеріалу елемента, Н/м², I – момент інерції перерізу елемента відносно осі, що проходить через центр ваги перерізу, мм⁴, $M(x)$ – поточний згинаючий момент в точці визначення прогину елемента.

Для випадку оброблення прямолінійної деталі, представленої, як балка на двох опорах у [6] наведено рішення рівняння (1) для поточного положення точки k (по координаті x) з визначенням змінного коефіцієнта її жорсткості в залежності від положення фрези при обробці:

$$y_k = \frac{F_y \cdot a^2 \cdot b^2}{3E \cdot I \cdot L} \quad (3)$$

Для розглянутого випадку, визначена жорсткість деталі змінюється від $1 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^6$ Н/мм. Це обумовлює переважаючий вплив змінної жорсткості нежорстких елементів виробів на похибку обробки у порівнянні з відносно високою та стабільною жорсткістю інших складових ТОС – фрезерного верстата, пристосування та інструмента. Саме змінна жорсткість оброблюваних елементів деталей є основним негативним фактором, який впливає на точність обробки за рахунок неможливості попереднім підналагодженням врахувати очікуваний відносний віджим заготовки та фрези.

Значення складової сили різання F_y при торцевому фрезеруванні визначається в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії інструменту та перерізу шару матеріалу, що видаляється, за загальною емпіричною формулою [1]:

$$F_y = C_y t^{xp} \cdot S^{yp} \cdot HB^{np} \quad (4)$$

Можливість зміни сили різання за рахунок участі різної кількості різальних елементів у обробці закладена у наведеній формулі величиною подачі фрези. Цей фактор (а також деякі інші) може частково врахувати формула визначення максимальної величини сумарної аксіальної складової сили різання [1].

На даний час відсутній узагальнений поділ деталей складної форми за ступенем жорсткості [1, 6], хоча як і при аналізі деталей типу тіло обертання вимоги обумовлюють необхідність досягнення допустимих відхилень геометричної точності і площинності оброблюваної поверхні. Також треба враховувати, що в залежності від розташування точок базування і прикладання зусиль затиску та сама деталь може мати різний внесок у похибку обробки. Так у [1] наведено результати аналізу прогину для деталей типу двохопорної балки, який може бути суттєво зменшено зміною положення опорних точок.

Отже, в умовах необхідності досягнення високого рівня геометричної точності обробки складної за формою та нежорсткої деталі просторової форми постає необхідність визначення впливу місцевої жорсткості на величину її деформації під час обробки фрезеруванням.

У практиці машинобудування часто постає проблема точної обробки фрезеруванням поверхонь виробів, отриманих зварюванням нежорстких порожнистих елементів симетричного або несиметричного перерізу. Якщо розглянути задачу з точки зору статистики (для певного «фіксованого положення» фрези відносно елемента), основними факторами впливу на точність є:

- змінна жорсткість елемента по довжині;
- несиметрична форма перерізу елемента;
- задана величина припуску під обробку (рівномірного або ні);
- розташування фрези відносно заготовки, що визначає миттєву величину сили різання та точку її прикладання.

При врахуванні динаміки процесу обробки додаються фактори:

- непостійність сили різання в залежності від кута повороту фрези [5, 6];
- відставання/випередження зміни сили різання від зміни площі зрізуваного шару матеріалу;
- нелінійності взаємодії різальних лез з оброблюваною поверхнею елемента тощо.

Класичні методи розрахунку деформації з використанням формул опору матеріалів не враховують навіть усіх статичних факторів впливу, а при переході від загальновідомої схеми двоопорної балки до більш складних варіантів конструкції зростає складність опису та неоднозначність результатів [1, 5, 6].

З метою теоретичного аналізу впливу миттєвої сили різання на деформацію елемента виробу, що обробляється торцевим фрезеруванням заплановано виконати комп'ютерне моделювання просторової деформації елемента в залежності від форми його перерізу, просторової форми виробу та точки прикладання сили різання в програмі *SolidWorks* з використанням модуля *Simulation*.

Користуючись результатами моделювання є можливість оцінити величини факторів впливу на деформацію елемента виробу в залежності від його конструкції та точки прикладання складової сили різання перпендикулярної до оброблюваної поверхні.

Список використаної літератури:

1. Мельничук П.П. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, О.В. Головатенко // Вісник ЖДТУ. 2008. – Випуск III (46), Том 1.
2. Спосіб обробки різанням нежорстких деталей / П. П. Мельничук, В. Ю. Лоев, О. М. Кравчук // НТУ «ХПІ». – 2010. – С. 74–85.
3. Луців І. В. Основи створення багатолезового оснащення з міжінструментальними зв'язками для обробки поверхонь обертання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / І. В. Луців. – Київ, 2006. – 39 с.
4. Добротворський С.С., Басова Є.В., Кононенко С.М. До питання вдосконалення технології фрезерування деталей із перемінною жорсткістю. Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», 17-19 травня 2017р.: у 4 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 107.
5. Аналіз умов підвищення вібростійкості процесу торцевого фрезерування / Я.А. Степчин // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2012. – №4 (63). – С. 40-44.
6. Калафатова Л.П., Олейник С.Ю. Постановка задачі математического моделирования процесса фрезерования с учетом влияния конструкции детали на динамику технологической системы СПИД // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Вип. 18. – Краматорськ: ДДМА. 2005. – С. 201-208.

УДК 621.793

Ананченко В.В., магістр, гр. ПМ-141М
Андрусенко С.М., магістр, гр. ПМ-141М
Грева Д.В., магістр, гр. ПМ-141М
Свінціцький М.А., магістр, гр. ПМ-141М
Ночвай В.М., к.т.н., ст. викл.
Полонський Л.Г., д.т.н., проф.

Державний університет «Житомирська політехніка»

АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ СТАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

З ростом металоємності промисловості, ефективний захист металовиробів від корозії стає все більш актуальною та важливою задачею. Значні втрати від корозії вимагають розробляти та на практиці застосовувати все більш вдосконалені антикорозійні засоби захисту. Особливе місце серед інших засобів захисту металу від корозії займає метод електродугової металізації. Найбільш часто електродугову металізацію застосовують для нанесення антикорозійних покриттів та при відновленні розмірів спрацьованих деталей [1, 2]. Металізаційні покриття можна наносити на конструкції та технологічне устаткування будь-яких розмірів і конфігурації як в умовах заводу-виготовлювача, так і на будівельному майданчику. Експлуатаційні властивості і особливо корозійна стійкість алюмінієвих металізаційних покриттів визначаються міцністю зчеплення напилюваних частинок з поверхнею, яку захищають. Міцність зчеплення покриттів залежить від способу підготовки поверхні. Міцність зчеплення на зріз становить: при піскоструменевої обробці кварцевим піском – 12,8 МПа [3]; при обдуванні корундом – 17,5 МПа [3]; при нанесенні рваної різи 26,2 МПа [3]. Ці покриття пористі, вони мають високий ступінь шорсткості, що сприяє кращому нанесенню комбінованих металізаційно-лакофарбових покриттів та зчепленню лакофарбового матеріалу з металізаційним підшарком. Метод електродугової металізації успішно впроваджується на підприємствах по виробництву будівельних матеріалів. Застосовують металізацію для отримання жаростійких сталевих конструкцій (нанесений розпилений алюміній створює з поверхнею останніх вогнетривкий алюмінієво-залізистий шар). Дана робота присвячена вирішенню проблеми збільшення надійності і довговічності вагонеток для сушіння та випалювання керамічних виробів (цегла, керамічна плитка). Вагонетки виготовляють з маловуглецевої сталі.

Для захисту сталевих конструкцій вагонетки від корозії розроблено захисні покриття з використанням дрітків алюмінієвих сплавів марок Св-А97, Св-А85, Св-Амц, Св-АМЗ. Розроблений технологічний процес захисту сталевих конструкцій вагонеток складається з наступних основних операцій:

1) підготовка вагонетки (очищення від технологічної маси; знежирювання поверхні; активація і формування шорсткості поверхні шляхом абразивно-струменевої обробки корундом з розміром зерна 0,8 мм до досягнення шорсткості 63...80 мкм); 2) підготовка дрітків матеріалів (очищення дроту від бруду; намотування дроту Ø1,5мм на котушки металізатора); 3) нанесення покриття (нанесення захисного покриття товщиною 80...220 мкм виконують ручним способом із застосуванням електродугового металізатора мод. ЕМ-14 та комплексу електродугової металізації мод. КДМ-2); Режимі нанесення покриття: швидкість подачі дроту – 12 м/хв; витрати стиснутого повітря – 1,5 м³/хв; сила струму – 400 А; напруга дуги – 20 В; 4) вихідний контроль (візуальний огляд покриття, контроль товщини покриття магнітними товщиномірами).

Кожну технологічну операцію виконують на окремому робочому місці. Всі робочі місця (пости) розміщені в одну лінію на рейковій колії, по якій переміщують вагонетки і послідовно виконують операції технологічного процесу. Операції очищення та знежирювання конструкції вагонеток, абразивно-струменевої обробки вагонеток та нанесення покриттів виконують в спеціальних камерах, оснащених системами вентиляції та місцевого освітлення. Продуктивність розпилювання матеріалу (алюміній) становить 8 кг/год. Щільність покриття становить 1,8 г/см³. Витрати алюмінієвого дроту на 1 м² захищеної поверхні при товщині покриття 0,2 мм становить 0,7...0,8 кг. Пористість напиленого матеріалу досягає 10% за площею. Границя міцності напиленого покриття на розтяг становить 30...35 МПа, а границя міцності на стискання – 200...220 МПа. Відносна стискання напиленого алюмінію становить 18 %. Розроблена технологія може бути застосована для захисту від корозії іншого технологічного обладнання промислових підприємств.

Список використаної літератури:

1. Чабанний, В.Я. Ремонт автомобілів : навч. посіб. / В.Я. Чабанний, С.О. Магопєць, О.Й. Мажейка та ін. – Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
2. Харламов, Ю.О. Основи технології відновлення і зміцнення деталей машин : навч. посіб. у 2 т. Т. 2./Ю.О. Харламов, М.А. Будаг'янц. Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2003. – 480 с.
3. Супрунчук, В.К. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції : довідник / В.К. Супрунчук, М.П. Роменський, О.М. Панчук та ін. – К. : Урожай, 1992. – 176 с.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕКСЦЕНТРИЧНОГО ВАЛА ВІБРОСТОЛУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ

Ексцентрики вали є ключовими вузлами, що відповідають за генерацію коливань у вібростолі. Від їхньої конструкції, балансу та матеріалів залежить ефективність роботи обладнання, рівень енергоспоживання та надійність у тривалій експлуатації. Модернізація ексцентрикового валу спрямована на покращення динамічних характеристик вібростола, зниження втрат енергії та зменшення навантаження на суміжні вузли.

Одним із напрямів модернізації є оптимізація ексцентриситету, що дозволяє коригувати амплітуду коливань відповідно до характеристик ущільнюваного матеріалу. Це забезпечує ефективне передавання енергії з мінімальними втратами. Додатково, зменшення маси рухомих частин шляхом використання легких високоміцних сплавів або композитів сприяє зниженню інерційних навантажень, що зменшує споживану потужність.

Балансування валу за допомогою програмного моделювання (наприклад, FEM-аналізу) дає змогу досягти високої точності і зменшити коливальні вібрації, які негативно впливають на знос підшипників, корпусу та інших елементів. Застосування високоточної обробки поверхонь (шліфування, полірування) дозволяє підвищити якість з'єднань і зменшити теплові втрати.

Суттєвим удосконаленням є перехід до модульної конструкції валу, що дозволяє адаптувати вібростіл під різні виробничі умови та оперативно змінювати конфігурацію без значних витрат часу. Впровадження системи регульованого ексцентриситету забезпечує можливість динамічного керування інтенсивністю вібрацій у реальному часі, що підвищує гнучкість обладнання.

Автоматизована система змащення, що встановлена в підшипникових вузлах, дозволяє уникнути перегрівання та підвищити зносостійкість конструкції. Разом із цим, запровадження сенсорів вібрації, температури та навантаження відкриває можливість для моніторингу технічного стану валу та попередження аварійних ситуацій.

Таким чином, комплексна модернізація ексцентрикового валу вібростола включає інженерні заходи щодо вдосконалення конструкції, вибору матеріалів, технології обробки, балансування, а також інтеграцію сучасних засобів контролю та діагностики. Це дозволяє підвищити ефективність ущільнення матеріалів, зменшити витрати електроенергії, продовжити строк служби обладнання та знизити експлуатаційні витрати підприємств.

Модернізація ексцентричного валу вібростола з метою підвищення енергоефективності та надійності роботи обладнання є актуальним завданням сучасного машинобудування, орієнтованого на сталий розвиток та зниження витрат енергоресурсів. Враховуючи те, що вібростоли широко застосовуються у виробничих процесах, пов'язаних із ущільненням, сепарацією, формуванням та транспортуванням матеріалів, удосконалення їх привідних механізмів набуває особливої значущості.

Одним із ключових елементів, що формує динамічні характеристики роботи вібростола, є ексцентричний вал, від геометричних, матеріальних та кінематичних параметрів якого залежить ефективність передачі енергії, стабільність коливального процесу, рівень механічних втрат, навантаження на підшипники і вузли кріплення. Проведення структурно-аналітичного синтезу та чисельного моделювання дозволяє визначити оптимальні конструктивні параметри валу для мінімізації коливальних навантажень, зменшення вібраційних втрат та покращення балансу системи.

Очікувані результати дослідження відкривають перспективи для впровадження енергоощадних технологій у системах з вібраційним приводом, зниження індексу зносу деталей, підвищення ресурсу роботи обладнання, а також забезпечення більш стійкого режиму функціонування у важких умовах експлуатації. Розроблені конструктивні рішення можуть бути адаптовані до інших типів вібраційного обладнання (віброживильників, вібропресів, вібротранспортерів), що розширює сферу застосування результатів теоретичного дослідження. Крім того, результати роботи мають потенціал для комерціалізації через патентування нових технічних рішень та впровадження у виробництво.

Список використаної літератури:

1. Гуляев Ю.М. Вібраційні машини та технології. – Київ: КНУБА, 2012. – 184 с.
2. Швець В.Я. Основи надійності машин та обладнання. – Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2014. – 256 с.
3. Мельничук П.П., Савощенко О.П. Основи машинобудування. Житомир: ЖДТУ, 2010. 312 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ПРИ ЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ ЧАВУНІВ

В сучасному машинобудуванні чавуни залишаються однією з провідних груп конструкційних матеріалів внаслідок комбінації високої зносостійкості, добрих ливарних властивостей, демпфувальної здатності, технологічності та економічної рентабельності. Найбільш поширеними є сірі чавуни (СЧ), чавуни з вермикулярним графітом (ЧВГ) та високоміцні чавуни з кулястим графітом (ВЧК). Відповідно до класифікації ISO513 вони віднесені до групи оброблюваності К. Особливості мікроструктури ускладнюють процес їх обробки і вимагають застосування інструментів з підвищеною зносостійкістю та термостійкістю.

У тезах наведено узагальнений літературний аналіз зношування різальних інструментів (РІ) при обробці різних типів чавунів, зокрема СЧ, ЧВГ та ВЧК. Розглянуто особливості їх оброблюваності, а також експлуатаційні характеристики інструментальних матеріалів – зокрема твердосплавів як із зносостійкими захисними покриттями, нанесеними методами PVD та CVD, так і без них, різальної кераміки, та надтвердих матеріалів на основі КНБ. Проаналізовано інтенсивність зношування РІ, виготовлених із зазначених матеріалів, в умовах лезової обробки. Описано домінуючі механізми їх зношування.

У СЧ графіт присутній у вигляді пластинчастих включень, які виконують функцію природного мастила, зменшуючи тертя в зоні різання та термічне навантаження, що позитивно впливає на стійкість РІ. Під час обробки СЧ утворюється захисний шар MnS (марганцю сульфід), який виступає бар'єром проти адгезійного та абразивного зносу. Це дозволяє досягти значної стійкості РІ, особливо при використанні КНБ. У літературних джерелах [1] описані випадки, коли стійкість КНБ при точінні СЧ перевищувала 100 км до досягнення зношування по задній поверхні РІ 0,3 мм. У свою чергу, в процесі обробки ЧВГ не утворюється захисний шар MnS, який зменшує тертя в зоні різання. До того ж, вища міцність та нижча теплопровідність його по відношенню до СЧ сприяє інтенсивнішому зношуванню РІ з КНБ. При швидкості різання понад 300 м/хв термін служби інструменту при точінні ЧВГ скорочується до 5-10 км. ВЧК має найвищу міцність і найменшу теплопровідність з-поміж розглянутих трьох типів чавунів. Відсутність захисного шару MnS та куляста форма графіту, яка збільшує ударне та абразивне навантаження на інструмент негативно позначаються на його зносостійкості. Навіть при низьких швидкостях різання (150-250 м/хв) спостерігається швидке абразивне зношування інструменту з КНБ, а при 350 м/хв термін служби інструменту може бути обмежений до 1-3 км. Під час лезової обробки чавунів велике значення має температурний режим, так як надмірне тепловиділення в зоні різання сприяє прискоренню дифузійного та термохімічного зношування РІ, руйнуванню захисного шару покриттів та погіршенню якості обробленої поверхні. Літературний аналіз показав, що при обробці ЧВГ та ВЧК має місце генерування високої температури в зоні різання. При точінні твердосплавним інструментом з покриттям ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$) при 350 м/хв температура в зоні різання для ЧВГ та ВЧК сягає 800–900 °С, тоді як для СЧ не перевищує 400 °С [2]. Зношування пластин при обробці ЧВГ та ВЧК удвічі інтенсивніше порівняно із СЧ. Застосування твердосплавів з багат шаровими покриттями з високим вмістом алюмінію та титану ефективно при токарній обробці на високих швидкостях різання. Без покриття твердосплави працюють ефективно при низьких швидкостях різання 150-250 м/хв для СЧ, в той час як для ЧВГ ефективна швидкість різання обмежується значенням 150 м/хв, при якій стійкість інструменту понад 20 км. При збільшенні швидкості до 250 м/хв стійкість інструменту для ЧВГ скорочується до 5 км. Проте при фрезеруванні твердосплавні інструменти без покриття мають стійкість в межах 5 км при швидкостях різання 150–250 м/хв. При високих швидкостях різання (понад 400 м/хв) інструменти з КНБ та кераміки є ефективнішими [1]. Ефективність кераміки на основі нітриду кремнію (Si_3N_4) зумовлена їх стабільністю при температурах до 1100 °С та стійкістю до дифузійного зношування. КНБ забезпечує стабільну працездатність при температурі до 1300 °С.

Отже, для забезпечення стабільного та продуктивного процесу різання з отриманням обробленої поверхні високої якості доцільно використовувати інструментальні матеріали з високою термостійкістю, зносостійкістю та хімічною інертністю до оброблюваного матеріалу. Це зокрема керамічні інструменти на основі Si_3N_4 , надтверді матеріали на основі КНБ, а також твердосплавні інструменти із двошаровими захисними зносостійкими покриттями з високим вмістом алюмінію та титану.

Список використаної літератури:

1. Abele, E., Sahn, A., & Schulz, H. (2005). *Wear mechanism when machining compacted graphite iron*. Proceedings of the CIRP, 54(1), 57–62.
2. Tooptong, S., Park, K.-H., & Kwon, P. (2017). A comparative investigation on flank wear when turning three cast irons. *Tribology International*, 113, 76–83.

Шишкова О.А., аспірантка
Науковий керівник: Сторчак М.Г., д.т.н., професор кафедри
Державний університет «Житомирська політехніка»

ЛЕЗОВА ОБРОБКА ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ: ОГЛЯД

Лезова обробка є одним із ключових методів механічної обробки легованих сталей, що забезпечує високу точність і якість деталей. Матеріали заготовок, що використовуються при лезовій обробці, - це загартована легована сталь, інструментальна сталь, загартована сталь, нітридні чавуни, сталь з твердим хромовим покриттям і термічно оброблені деталі порошкової металургії [1]. Леговані сталі характеризуються підвищеною міцністю, зносостійкістю та термостійкістю, що ускладнює їх обробку ріжучими інструментами. У процесі різання важливо враховувати вибір інструментального матеріалу, режими різання, застосування мастильно-охолоджувальних рідин та оптимізацію траєкторії інструмента. Найефективнішими інструментами для обробки легованих сталей є твердосплавні та керамічні ріжучі пластини, а також інструменти CBN/PCB і CBNC на високих швидкостях. Автори [1] у даній роботі використовували матеріал легована хромомолібденова сталь з твердістю 48 HRC. Ця легована сталь витримує високу температуру і високий тиск, має високу міцність на розрив. Вона дуже стійка до корозії та температури. Завдяки цим корисним властивостям її використовують в енергетиці та нафтохімічній промисловості. На основі експериментальних результатів зроблено висновки щодо впливу швидкості різання, подачі та глибини різання на продуктивність твердосплавного інструменту з покриттям TiC.

Автори [2] виконали огляд на обробку легованої сталі, яка можлива при дотриманні певних умов, таких як швидкість різання та подача. По суті, це спосіб визначити, наскільки добре один вид інструментального матеріалу взаємодіє з іншим, щоб інструмент служив довго, а компоненти мали високу якість поверхні та функціонування. Термін служби інструменту, якість поверхні та енергоспоживання є важливими факторами, коли мова йде про механічну обробку. Продуктивність процесу різання також може бути спрогнозована на основі сил, що діють на компоненти, та геометрію стружки. Оброблюваність легованої сталі значною мірою оцінюється за терміном служби інструменту, якістю обробки та зусиллям, яке необхідно докласти для різання.

Оптимізація режимів різання (швидкість, подача, глибина різання) дозволяє зменшити знос інструмента та підвищити продуктивність процесу. Легована сталь містить елементи (хром, нікель, молібден, ванадій тощо), які підвищують її міцність і твердість, ускладнюючи процес різання, застосування охолоджувальних рідин допомагає знизити температуру різання, покращити відведення стружки та продовжити ресурс ріжучого інструменту.

Автори [3] виконали огляд на літератури токарної обробки де описували застосування мастильно-охолоджувальні рідини в процесі обробки для зменшення тертя і зносу. Використання цих рідин покращує стійкість інструменту, якість оброблюваної поверхні, а також сприяє зменшенню сил різання та споживання енергії, охолодженню/змащуванню зони обробки, змиванню стружки та захисту оброблених поверхонь від корозії. Оброблюваність визначається як легкість обробки матеріалу, що характеризується низькими силами різання, високою швидкістю зняття матеріалу, гарною чистотою поверхні, точними і стабільними геометричними характеристиками заготовки, низькою швидкістю зносу інструменту і хорошим скручуванням або дробленням стружки тощо. При токарній обробці діє постійна сила різання, і точіння є безперервним процесом. Висока температура на межі інструмент/стружка утворюється через постійне виділення тепла за рахунок енергії деформації зсуву і тертя. Основним фактором зносу при токарній обробці є висока температура на передній поверхні інструменту. Для аустенітних сталей, суперсплавів або титанових сплавів температура становить близько 600 градусів.

Незважаючи на те, що це широко використовуваний матеріал, користувачі часто повідомляють про труднощі, з якими вони стикаються під час механічної обробки, застосування та переваги аустенітних нержавіючих сталей зростають у різних галузях виробництва завдяки високій пластичності, міцності та чудовій корозійній стійкості цих матеріалів. Як наслідок, багато дослідників робили спроби подолати ці труднощі [4]. Легована сталь важко піддається обробці, матеріали, що використовуються в ріжучих інструментах біля ріжучої кромки, схильні до сильних навантажень. Як наслідок, інструмент буде швидше зношуватися. Відколи, знос кратерів, зазубрини на носі, знос бокових граней і поломка інструменту - це лише деякі з труднощів, які виникають при різанні легованої сталі [2]. Під час лезової обробки легованої сталі утворюється значна кількість тепла через високу міцність і твердість матеріалу. Це може призвести до перегріву ріжучого інструменту, зниження його зносостійкості та погіршення якості обробленої поверхні. Ефективне охолодження під час обробки легованих сталей дозволяє продовжити термін служби інструменту, знизити теплові деформації деталі та покращити якість обробки.

Під час обробки найбільше тепла генерується в контактній передній поверхні інструмента зі стружкою. Обробку можна покращити, знаючи температуру різання на інструменті. Температура різання є ключовим

фактором, який безпосередньо впливає на знос інструменту, цілісність поверхні заготовки і точність обробки відповідно до відносного руху між інструментом і заготовкою. Кількість тепла, що генерується, залежить від типу оброблюваного матеріалу. Параметри різання, особливо швидкість різання, подача і глибина різання, впливають на температуру поверхні контакту стружки з інструментом. Температура в зоні різання залежить від довжини контакту між інструментом і стружкою, сили різання і тертя між інструментом і матеріалом заготовки [3]. Високошвидкісна обробка вимагає ріжучих інструментів, які можуть зберігати свою твердість та інші механічні властивості навіть на високих швидкостях. Леговану сталь можна різати різноманітними інструментальними матеріалами. Деякі приклади - кераміка, цементовані карбіди та кубічний нітрид бору (CBN). Незважаючи на вищу твердість і ріжучу здатність інструменту з CBN, у високошвидкісній безперервній обробці часто використовують керамічні інструменти. Це пов'язано з нижчою вартістю керамічних інструментів у порівнянні з інструментами з CBN [2]. Вибір ріжучого інструменту для обробки легованої сталі залежить від її складу, твердості та умов обробки. Оскільки легована сталь має підвищену твердість і зносостійкість, для її різання необхідно використовувати високоякісні ріжучі матеріали з високою термостійкістю та зносостійкістю.

Під час твердосплавної обробки утворюються високі температури і велике механічне навантаження через швидкість, тому ріжучі інструменти повинні витримувати ці дві умови. У деяких випадках температура на межі інструмент/стружка досягає близько 700 °C. Між інструментом і стружкою, а також між інструментом і новою оброблюваною поверхнею виникає сильне тертя. Кераміка може використовуватися для обробки металів на високих швидкостях різання і в умовах сухої обробки, оскільки це дуже тверді і тугоплавкі матеріали, які витримують температуру до 1500 градусів за Цельсієм без хімічного розкладання. До надтвердих матеріалів відносяться PCD і PCBN. PCD використовується для обробки абразивних кольорових металів, пластмас і композитів. PCBN використовується для обробки загартованих інструментальних сталей і чавунів [1].

Останнім часом обробка твердими сплавами стає привабливою альтернативою традиційному шліфуванню завдяки своїм потенційним перевагам, таким як короткий час циклу, гнучкість процесу, вища швидкість зняття матеріалу, хороша якість поверхні і менше проблем з навколишнім середовищем, оскільки незначне використання мастильно-охолоджувальної рідини [5]. Завдання сучасної механічної обробки в основному зосереджені на досягненні високої якості, з точки зору точності розмірів заготовки, високої чистоти поверхні, високої продуктивності, меншого зносу ріжучого інструменту, економічності обробки з точки зору економії витрат і поліпшення експлуатаційних характеристик виробу при зменшеному впливі на навколишнє середовище [6].

Зараз легована сталь знаходить все більш широке застосування у всіх видах промисловості. Лезова обробка легованих сталей використовується в машинобудуванні, авіабудуванні, інструментальній промисловості для виготовлення міцних і зносостійких деталей, таких як вали, шестерні, корпуси та ріжучий інструмент. Дослідження сучасних підходів до лезової обробки легованих сталей сприяє розробці ефективних технологій, що забезпечують підвищену точність, зменшення виробничих витрат та поліпшення якості кінцевих виробів.

Список використаної літератури:

1. Vasikerappa G.; Rajkumar G.; Naidu C. M.: Investigative Analysis on Hard Turning Process. International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 2019, Vol. 6. Issue 3, pp. 166–184. <https://doi.org/10.32628/ijrst196333>
2. Naresh, K. W.; Anand, P.; Abhishek, A.; Ravi, R.; Rajkumar, M.; Sunil, D.; Kamal, K.: An Overview of the Machinability of Alloy Steel. Materials Today: Proceedings, 2022, Vol. 62, pp. 3771–3781. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.457>
3. Suleiman Khayal O. M.: Literature Review on the History of Bajaj Rickshaw Vehicles. Global Journal of Engineering Sciences, 2019, Vol. 3, No. 2. ISSN: 2641-2039. <https://doi.org/10.33552/gjes.2019.03.000560>
4. Kaladhar, M.; Subbaiah, K. V.; Rao, C. H. S.: Machining of Austenitic Stainless Steels – A Review. International Journal of Machining and Machinability of Materials, 2012, Vol. 12, No. 1/2, p. 178. <https://doi.org/10.1504/ijmmm.2012.048564>
5. Singh, A.; Singh, H.; Kumar, R.: Review on Effects of Process Parameters in Hard Turning of Steels. International Journal for Innovative Research in Science & Technology, 2016, Vol. 3, Issue 06. ISSN (online): 2349-6010.
6. Rathod, S. G.; Mohite, S. S.; Yadav, M. H.: Effects of Cutting Parameters on Cutting Force, Surface Roughness and MRR in Hard Turning of AISI 4140 Alloy Steel. Journal of Advances in Science and Technology, 2017, Vol. 13. No. 01, pp. 273-280. ISSN 2230-9659.

Голубовський А.В., аспірант
Науковий керівник: Сторчак М.Г., д.т.н., проф. кафедри
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОБРОБЛЮВАНІСТЬ АУСТЕНИТНИХ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ ТВЕРДОСПЛАВНИМИ ПЛАСТИНАМИ

В наш час аустенітні нержавіючі сталі набули широкого застосування в харчовій, хімічній, медичній та енергетичній промисловості завдяки високій корозійній стійкості та добрим механічним властивостям. Сталі AISI 304 та 316 складають більшу частину оброблювальних матеріалів при виробництві деталей, вузлів та компонентів формувальних ліній для шоколадних і кондитерських виробництв на підприємстві з іноземними інвестиціями «Даніко» (Житомирська обл.). При виробництві шоколадних та кондитерських виробів застосовуються високотехнологічне енергоефективне обладнання, що зазвичай працює в складних умовах: висока вологість, температура, контакт із агресивними середовищами (цукрові сиропи, шоколад, жири). Нержавіючі сталі є ключовими конструкційними матеріалами завдяки їх антикорозійним властивостям, високій механічній міцності та відповідності санітарно-гігієнічним нормам. Але слід зауважити, що їхня обробка пов'язана зі значними викликами через високу твердість матеріалу, тенденцію до наростання стружки та низьку теплопровідність. [1] Використання сучасних інструментальних матеріалів, таких як LT3130, IC330 та IC830, відкриває багато нових можливостей для оптимізації процесів механічної обробки.

Мета дослідження: Оцінити особливості оброблюваності аустенітних нержавіючих сталей при використанні твердосплавних пластин, виявити ключові чинники, що впливають на знос інструменту, якість обробленої поверхні та стабільність процесу різання

Об'єкт дослідження Марки сталі: AISI304 (Fe–18Cr–8Ni), AISI316 (Fe–16Cr–10Ni–2Mo), AISI316L (низьковуглецева модифікація для зварних конструкцій).

Характеристика оброблювальних матеріалів:

Хімічний склад та властивості

AISI 304 (EN1.4301): це найпоширеніша нержавіюча сталь аустенітного класу. Вона містить приблизно 18% хрому(Cr) та 8% нікелю(Ni), що забезпечує добру корозійну стійкість у більшості середовищ. Завдяки високій пластичності, зварюваності та гігієнічним властивостям широко використовується в харчовій, медичній і хімічній промисловості[2].

AISI 316 (EN1.4401): сталь з підвищеною корозійною стійкістю. Порівняно з AISI 304 додатково легована молібденом (Mo) ~2%, що підвищує стійкість до точкової та щільної корозії, особливо в агресивних середовищах.

AISI 316L (EN1.4404): низьковуглецева версія AISI316, яка зменшує ризик міжкристалічної корозії після зварювання, що робить її більш придатною для конструкцій з використанням зварювання.

Механічні властивості матеріалів, що розглядаються у дослідженні, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Механічні властивості матеріалів [4]

Властивість	AISI 304	AISI 316	AISI 316L
Границя текучості (МПа)	~215	~290	~276
Тимчасовий опір розриву (МПа)	~505	~580	~580
Твердість по Бринеллю (НВ)	201	217	217

Оброблюваність. Аустенітна нержавіюча сталь AISI 304: має тенденцію до швидкого наклепу під час обробки, що ускладнює процес та вимагає агресивних режимів різання. Зношення інструменту помірне, але важливо використовувати пластини з термостійким покриттям. *AISI 316:* через вищу міцність та вміст молібдену обробляються важче, з підвищеним зносом інструменту. Потребує високоякісних пластин з надійним покриттям для ефективною обробки. *AISI316L:* обробка подібна до AISI 316, але трохи легша через меншу твердість. Проте також потребує захищених пластин з високою зносостійкістю [5].

Твердосплавні пластини LT3130, IC330, IC830. Це інструментальний матеріал від таких виробників, як ISCAR – провідний світовий виробник високотехнологічного металорізального інструменту, що

спеціалізується на твердосплавних рішеннях для точного металооброблення (Ізраїль) [6], та Lamina — швейцарський виробник високоточних твердосплавних металорізальних інструментів, заснований у 2001 році. Компанія спеціалізується на виробництві фрезерних і токарних інструментів із субмікронних твердосплавних матеріалів, застосовуючи передові технології покриття PVD та CVD. [7] LT3130: призначена для обробки нержавіючих сталей, має покриття TiAlN, що забезпечує високу термостійкість та зносостійкість. IC330: універсальна пластина з покриттям TiCN/TiN, підходить для обробки сталей та нержавіючих сталей при середніх режимах різання. IC830: спеціально розроблена для обробки нержавіючих сталей, має покриття TiAlN/TiN, забезпечує високу зносостійкість та стабільність процесу.

Таблиця 2

Твердосплавні пластини- порівняння

Пластина	Покриття	Призначення	Особливості
LT3130	TiAlN	Нержавіючі сталі	Висока термостійкість
IC330	TiCN/TiN	Сталі, нержавіючі сталі	Універсальність, середні режими різання
IC830	TiAlN/TiN	Нержавіючі сталі	Висока зносостійкість, стабільність

Практичний досвід Danisco AISI 304: при використанні пластин LT3130 досягнуто стабільного процесу обробки з мінімальним зносом інструменту. AISI 316/316L: пластини IC830 забезпечили кращу продуктивність та довший термін служби інструменту порівняно з IC330. Режими обробки: оптимізовані для кожної марки сталі з урахуванням їхніх властивостей та рекомендацій виробників інструменту. *Процес фрезерування* вимагає жорсткої фіксації заготовки та інструменту, використання охолодження для зменшення теплового навантаження [7] Параметри: швидкість різання $V_c = 120\text{--}250$ м/хв, подача $f_z = 0,05\text{--}0,3$ мм/зуб, глибина різання $a_p = 0,5\text{--}2,0$ мм. Особливості: багатолезові інструменти забезпечують рівномірний розподіл навантаження, зниження вібрацій (Малюнок 1). Рекомендації: для серійних операцій – пластини з DLC-покриттям; для чорнового фрезерування – CVD TiCN/Al₂O₃. *Процес точіння* необхідно уникати малих глибини різання та подач, щоб запобігти наклепу; рекомендовано використовувати агресивні режими різання [7] Параметри: $V_c = 100\text{--}200$ м/хв, подача $f = 0,1\text{--}0,2$ мм/об, $a_p = 0,5\text{--}1,5$ мм. Особливості: використання позитивних кутів задньої поверхні ($\gamma = 5^\circ\text{--}15^\circ$) зменшує збурення стружки. Рекомендації: для обробки A316L – пластини з PVD TiAlN чи AlCrN при сухому точінні. *Вплив бренду*: ISCAR демонструє менший адгезійний знос завдяки багатолезовим покриттям, Lamina – стабільність кромки за рахунок DLC. Оцінка якості обробленої поверхні: Шорсткість Ra: фрезерування – до 1,2 μm , точіння – до 0,8 μm . Мікроструктурні зміни: відсутність карбідів та перегріву.

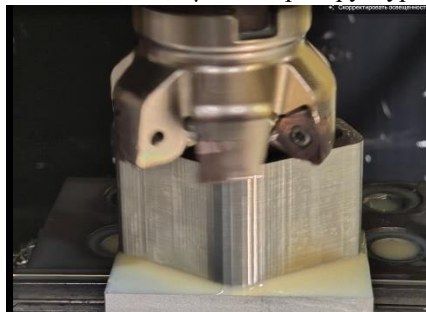


Рис. 1. Обробка заготовки за допомогою багатолезового інструмента зі змінними пластинами

Висновки та рекомендації Вибір інструменту: для обробки AISI 304 рекомендовано використовувати пластини LT3130; для AISI 316/316L — IC830. *Режими обробки*: необхідно адаптувати під конкретну марку сталі та інструмент, з урахуванням рекомендацій виробників та практичного досвіду. *Охолодження*: обов'язкове використання охолоджуючих рідин для зменшення теплового навантаження та продовження терміну служби інструменту. Розуміння впливу властивостей матеріалу та параметрів різання дозволяє ефективно використовувати твердосплавні пластини для обробки аустенітних нержавіючих сталей. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вдосконалення геометрії інструмента та застосування новітніх покриттів для підвищення стійкості та якості обробки. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення виробничих процесів як на підприємстві "Даніко" та на інших.

Список використаної літератури:

1. Григоренко, А. І., Шаповалов, В. В. Механічна обробка корозійностійких сталей. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – 128 с.
2. Trent, E.M., Wright, P.K. Metal Cutting. – 4th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. – 446 p.
3. Denkena, B., Grove, T., Krüger, M. Machining of Stainless Steel with Advanced Cutting Materials. // CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol. 63, Issue 1, 2014. – P. 65–68.
4. <https://fractory.com/stainless-steels-aisi-304-vs-aisi-316/>
5. <https://www.3erp.com/blog/guide-stainless-steel-machining/>
6. <https://www.iscar.com/Ecat/Company.aspx>
7. <https://www.carpentertechnology.com/blog/ideas-for-machining-austenitic-stainless-steels>

РОЗРОБКА ЕКСТРУДЕРА ШНЕКОВОГО ТИПУ 3D-ПРИНТЕРА (ОГЛЯД)

Аддитивне виробництво або 3D-друк металевих деталей є дороговартісною і складною альтернативою традиційному виробництву. Тим не менш, широко застосовується в автомобільній, аерокосмічній, медичній галузях та у будівництві. Існує багато методів аддитивного виробництва металів (плавлення з порошкового шару, пряме енергетичне осадження та екструзія матеріалів), які дозволяють успішно виготовляти різні метали, наприклад, нержавіючу сталь, титанові сплави, нікелеві сплави, кобальтові та алюмінієві сплави. Екструзія металу дозволяє виготовляти деталі зі складною геометрією з високою точністю, мінімізувати відходи, покращувати механічні властивості при цьому використовується недороге обладнання порівняно з іншими поширеними процесами металевого аддитивного виробництва. Отже, удосконалення процесу 3D-друку є перспективним напрямом.

Метою роботи є огляд літератури щодо розробки шнекового екструдера для 3D-принтера з забезпеченням рівномірної подачі матеріалу, точності друку та можливості роботи з різними матеріалами.

В роботі [1] авторами досліджено вплив різних параметрів (діаметр сопла, швидкість екструзії та відстань між соплами, висота шару, температура і властивості вихідної сировини) на якість поверхні для друку алюмінієвих сплавів. Дослідження показали, що для друку таких сплавів підходять менші сопла (приблизно 1 мм) і помірні швидкості (близько 10 мм/с).

В роботі [2] автори провели обширний огляд та аналіз наукових публікацій щодо екструзійного аддитивного виробництва металів та його порівняння з литтям під тиском. Найпопулярніший тип принтерів металеві екструзії – це принтери на основі ниток. Металева нитка повинна мати високу міцність на вигин і жорсткість, щоб її можна було намотувати на котушку. Спеціальні та закриті металеві принтери забезпечують більш стабільний і якісний друк. При цьому методі не потребується металева форма і є більш привабливим з точки зору різноманіття дизайну в порівнянні з литтям під тиском. Однак, на кожному етапі цього процесу все ще існують великі прогалини для розвитку. Багато аспектів, таких як однорідність, статичні, динамічні механічні властивості, геометрія, точність і швидкість виробництва, все ще потребують вдосконалення і дослідження [2].

Автори в роботі [3] досліджували перспективи використання шнекової екструзії при виробництві металевих деталей у напівтвердому стані. У дослідженні [4] для оцінки впливу складу матеріалу нитки та параметрів друку на необхідне зусилля екструзії використовували модифіковану гарячу камеру 3D-принтера, оснащену датчиком навантаження, приєднану до системи подачі. Для 3D-друку використовували чотири різні матеріали і вимірювали опір подачі. Механізм подачі нитки був підключений до гарячої частини екструдера через датчик навантаження, який вимірював зусилля, необхідні для проштовхування нитки через екструдер і сопло. Результати показують, що температура друку (200, 210 і 220°C) і матеріал впливають на необхідні зусилля екструзії, які варіювалися від 1 до 8 Н, але варіація була високою. За умови належної оптимізації та інтеграції у прошивку принтера це налаштування також можна використовувати для виявлення засмічення сопла під час друку, зміни параметрів друку під час процесу та запобігання нерівномірному екструдюванню композитних ниток.

Таким чином, на якість поверхні друку металевих виробів мають вплив геометрія та матеріал шнекового екструдера, температурний контроль за екструдером, що необхідно враховувати в подальшому при розробці екструдера.

Список використаної літератури:

1. Mishra, Abhay, Kumar, Rajeev, Kumar, Anuj. Development of Filament Extruder Machine for Quality Improvement of 3d Printing Material. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5070105>
2. Suwanpreecha, C.; Manonukul, A. A Review on Material Extrusion Additive Manufacturing of Metal and How It Compares with Metal Injection Moulding. *Metals* **2022**, *12*, 429. <https://doi.org/10.3390/met12030429>
3. Nhat, T.M., Quyet, T.T., Binh, L.D., Ngo, H.Q.T. Metal Additive Manufacturing Through Screw Extrusion: State-of-the-Art and Future Prospects. EAI International Conference on Renewable Energy and Sustainable Manufacturing. EAI ICRESM 2023. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60154-5_22
4. Krapež, D.; Jusufagić, M.; Obućina, M.; Kitek Kuzman, M.; Kariž, M. Effect of Filament Material and Printing Temperature on 3D Printing Extrusion Force. *Appl. Sci.* **2025**, *15*, 2046. <https://doi.org/10.3390/app15042046>

Василів Т.І., аспірант
Кудрявцев С.М., студент групи ПМ-143
Павлюк Я.В., студент групи ПМ-143
Степанюк Д.В., студент групи ПМ-143
Отаманський В.В., ст. викладач кафедри механічної інженерії
Державний університет «Житомирська політехніка»

ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Одними з основних технологічних методів обробки осесиметричних пустотілих деталей пластичним деформуванням є роздача, яка полягає у збільшенні зовнішнього діаметра шляхом деформації внутрішньої порожнини за допомогою спеціальних оправок, та обтиск – відновлення внутрішніх отворів шляхом зменшення діаметра порожнини використовуючи конічні пуансони. Пластичне деформування є ефективним способом обробки осесиметричних пустотілих деталей, адже дозволяє не лише формувати задану геометрію, але й значно покращувати механічні властивості виробів. Застосування даних технологій особливо ефективне у машинобудуванні для виробництва нових та відновлення зношених деталей типу: втулок, підшипників, гідравлічних компонентів та інших подібних, де критичними є точність геометрії та зносостійкість. На рисунку 1 представлені схеми обробки двох найбільш відомих методів обробки – деформуючого протягування та ротаційного обтискання пустотілих осесиметричних заготовок.

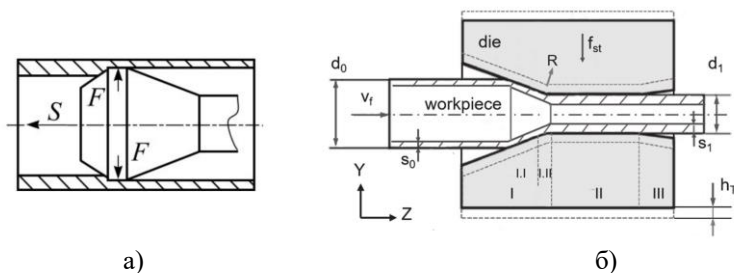


Рис. 1. Схема обробки: а) деформуюче протягування [1]; б) ротаційне обтискання [2]

Не дивлячись на те, що дані операції мають різне призначення і кінематику обробки, але при порівнянні результатів моделювання методом скінченних елементів [2, 3, 4] можна спостерігати схожі риси напружено-деформованого стану оброблювального матеріалу. Проведення моделювання дуже важливо з точки зору впровадження процесів на виробництві, дозволяє оптимізувати геометричні параметри інструменту та режими обробки. Наприклад, у роботі [3] автори визначають вплив форми матриць на напружено-деформований стан заготовок.

Також при обробці за даними методами слід звертати увагу на утворення тріщин, випучування або розшарування на поверхнях заготовок. Для уникнення дефектів рекомендується проводити оптимізацію деформуючого інструменту з урахуванням кута входу та зони контакту, використовувати мастило або спеціальні покриття для стабілізації тертя.

Висновки: використання методу скінченних елементів є ефективним інструментом для передбачення протікання деформацій при деформуючій обробці пустотілих осесиметричних деталей; оптимізація геометрії інструменту та режимів обробки дозволяє уникнути виникнення тріщин та інших дефектів; використання результатів чисельного моделювання дає змогу удосконалити технології виготовлення та відновлення трубчастих деталей.

Список використаної літератури:

1. Хітров І.О., Кононогов Ю.А. Відновлення деталей пластичним деформуванням та способи для його здійснення /О.І. Хітров, Ю.А. Кононогов // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – Том 35 (74) №1. – С. 191-196.
2. Material Flow in Infeed Rotary Swaging of Tubes / Y. Liu, J. Liu, M. Herrmann and other // Materials. – 2021. №14(1):58. – 18 p. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.3390/ma14010058>
3. Determination of strain field and heterogeneity in radial forging of tube using finite element method and microhardness test / M. Sanjari, P. Saidi, A. Karimi Taheri and other // Materials & Design. – 2012. – №38. – P. 147-153.
4. Plasticity resource of cast iron at deforming broaching / Y. Nemyrovskiy, I. Shepelenko, M. Storchak // Metals. – 2023. – №13(3):551. – 19 p. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.3390/met13030551>

Виговський Г.М., к.т.н., доц.
Плиса М.М., інженер-конструктор «ДАНІКО ТРЕЙДІНГ»
Державний університет «Житомирська політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ОСЬОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ КОПРА

Недоліком способу торцевого ступінчастого фрезерування є те, що при різанні чорновими різальними елементами (РЕ), які зрізають більшу частину припуску, виникають значні сили різання, які діють у напрямі паралельному осі фрези та викликають переміщення чистових РЕ в цьому напрямі у зв'язку з їх жорстким закріпленням у корпусі фрези, що погіршує якість обробки. Тому виконання чистового РЕ в осьовому напрямі з пружним контактом з нерухомим копіром дозволяє формувати плоску поверхню відповідно до профіля копіра незалежно від сил різання, які будуть діяти на РЕ. Жорстке закріплення на корпусі верстата копіра дозволяє гасити високочастотні коливання за рахунок великої маси [1]. У процесі торцевого фрезерування сили різання значною мірою визначаються товщинами зрізу за дугою контакту $a = S_z \sin r \varphi \sin \theta$, де: S_z - подача на зуб; φ - головний кут у плані; θ - миттєвий кут контакту РЕ із заготовкою. Зміна товщини зрізаного шару викликає зміну сил різання, тому при торцевому фрезеруванні мають місце змінні осьові деформації корпусу фрези, що при жорсткому закріпленні формують РЕ веде до зміни їх осьового положення та погіршення якості обробки. Збільшення товщини зрізаного шару призводить до зростання сил різання і деформацій ТС, тому виконання копіра змінною висотою зі збільшенням висоти при збільшенні товщини зрізаного шару дозволяє протидіяти силам різання, які відтискають РЕ від деталі, а жорстке закріплення копіра на корпусі верстата дозволяє гасити високочастотні коливання за рахунок великої маси – це в свою чергу дозволяє забезпечити стабільне положення чистового РЕ відносно деталі, що підвищує якість обробки.

Основною метою дослідження є проведення експериментальних досліджень з метою визначення здатності сконструйованого копіра (рис. 1.) протидіяти силам різання які виникають в процесі фрезерування, шляхом аналізу пружних осьових переміщень під дією осьового навантаження.

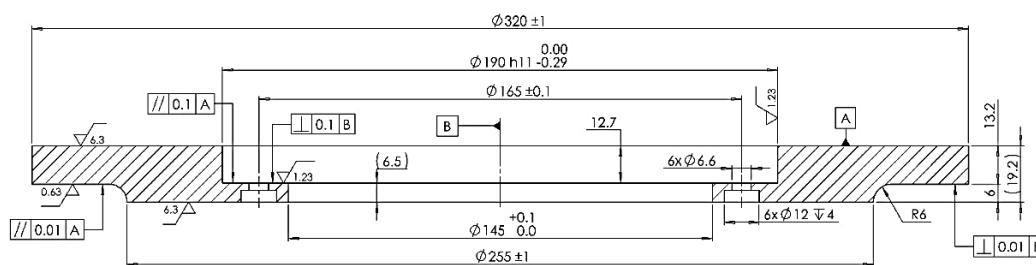


Рис. 1. Копір [1]

Для проведення експерименту з вимірювання осьових деформацій закріпленого копіра до гільзи вертикально фрезерного верстату 6Р12 було використано наступне обладнання (рис. 2).

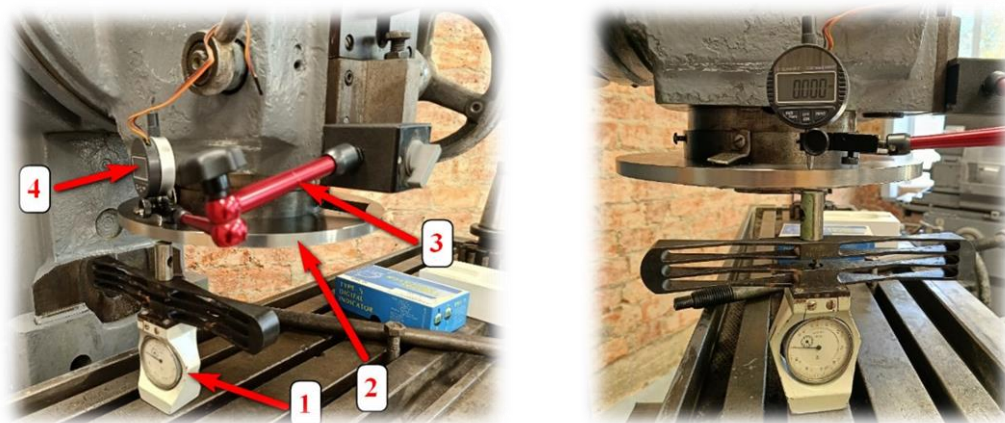


Рис. 2. Обладнання для проведення експерименту з вимірювання осьових деформацій закріпленого копіра: 1 - динамометр ДОСМ 3-01; 2 – копір; 3 - індикаторна гнучка стійка з магнітною основою; 4 - індикатор ІГЦ 0-12,7 мм, ціна поділки 0.01 мм

Для контролю переміщень використовувався цифровий індикатор годинникового типу ІГЦ виробництва IDF (Італія) з діапазоном вимірювання $0-12,7$ мм та ціною поділки $0,01$ мм. Індикатор забезпечує високу точність вимірювання лінійних переміщень і має цифрову індикацію результатів, що спрощує процес зчитування даних [2]. Для фіксації індикатора використовувався індикаторний штатив з магнітною основою, гнучкою стійкою та посиленою конструкцією. Розміри магнітної бази становлять $70 \times 50 \times 55$ мм, що забезпечує надійну стабільність під час вимірювань [3]. Динамометр переносний ДОСМ-3-0,1 3-го розряду, призначений для перевірки робочих засобів та має габаритні розміри $260 \times 50 \times 145$ мм. Межі вимірювань складають від $0,10$ кН до $1,0$ кН [4,5].

Під час проведення експериментальних досліджень було встановлено залежність пружних осьових переміщень копіра від величини прикладеного осьового навантаження. Прикладене зусилля змінювалося в діапазоні від 100 до 1000 Н з інтервалом 100 Н.

Отримані результати пружних переміщень копіра в залежності від прикладеного зусилля наведені на рисунку 3 та в таблиці 1.

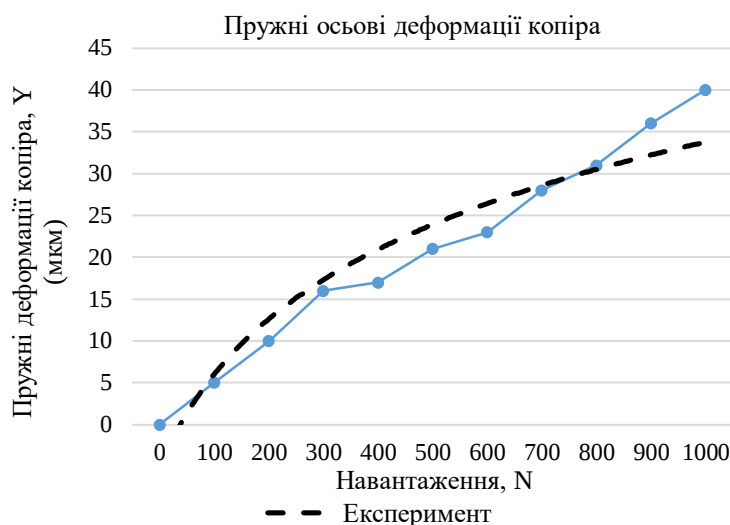


Рис. 3. Отримані результати пружних осьових переміщень копіра в залежності від прикладеного зусилля

Таблиця 1

Визначені пружні осьові переміщення копіра		
Навантаження, N	Переміщення	
	мм	мкм
1000	0.04	40
900	0.036	36
800	0.031	31
700	0.028	28
600	0.023	23
500	0.021	21
400	0.017	17
300	0.016	16
200	0.01	10
100	0.005	5

Отримані результати проведеного експерименту, наведені на рис. 3, свідчать про зростання пружного осьового переміщення копіра зі збільшенням прикладеного навантаження. Зокрема, при навантаженні 100 Н зафіксовано переміщення $0,005$ мм (5 мкм), тоді як при навантаженні 1000 Н — $0,040$ мм (40 мкм). Зокрема, в інтервалі від 0 до 400 Н спостерігається різке зростання осьового переміщення копіра — від 0 до 17 мкм, що становить понад 40% від максимального переміщення. Такий характер переміщення пояснюється наявністю посадкового зазору величиною $0,2$ мм між гільзою верстата ($\varnothing 189,6$ мм) та

отвором копіра ($\varnothing 189,8$ мм), який можна чітко спостерігати на рис. 3 у вигляді початкового "вільного ходу" конструкції при навантаженні. Під час прикладення навантаження від 0 до 400 Н, копір зміщується в осьовому напрямку без суттєвого пружного опору, заповнюючи посадковий зазор і встановлюючи контакт із гільзою. Саме з цього моменту (після вибору зазору) система починає працювати в режимі пружної деформації, що підтверджується зміною характеру кривої – вона стає ближчою до лінійної. Таким чином, початкова частина графіка описує механічне зміщення, обумовлене посадкою з зазором, тоді як подальше зростання переміщень відповідає власне пружним деформаціям копіра.

Список використаної літератури:

1. Vyhovskiy, H.M., Balytska, N.O., Hlembotska, L.Ye., Melnyk, O.L., Plysak, M.M. and Hromovyi, O.A., 2025. *Tortseva stupinchasta freza*. Patent of Ukraine No. 158589, filed 01.07.2024, published 26.02.2025.
2. "Індикатор ІЧЦ 0–12,7 мм, ціна поділки 0,01 мм, цифровий, IDF (Італія)." QZ.dp.ua, <https://qz.dp.ua/ua/p373089406-indikator-ichs-tsena.html>. Accessed 26 Apr. 2025.
3. "Штатив індикаторний з магнітним утримувачем, гнучкий, посилений, база 70×50×55 мм." Thermolab.net.ua, <https://thermolab.net.ua/ua/p1081241163-shtativ-indikatornyj-magnitnym.html>. Accessed 26 Apr. 2025.
4. "Динамометр ДОСМ-3-0,1: Паспорт та інструкція з експлуатації." Asma.com.ua, <https://asma.com.ua/files/108/1511619744dosm--to.pdf>. Accessed 26 Apr. 2025.
5. "Динамометр ДОСМ-3-0,1 (1 кН; 0,1 м)." Zapadpribor.com, <https://zapadpribor.com/ua/dosm-3-0-1-1-kn-0-1-t/>. Accessed 26 Apr. 2025.

ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Термін "технічна діагностика" почав широко застосовуватися на початку 60-х років минулого століття. У своєму розумінні він припускає визначення технічного стану якого-небудь об'єкта в діючий момент часу. Подібно тому, як у медицині по непрямим ознаках (температура, склад і тиск крові, частота серцебиття й так далі) можна визначити вид захворювання людини, на агрегаті (машині) для визначення технічного стану його механізмів і систем можуть бути використані певні явища, що супроводжують роботу цих вузлів. Це й вібрації, що виникають при зіткненні різних деталей, і прорив газів з камери згоряння двигуна в його картер, і витрата палива й масла і так далі. [1]. Саме головне: технічний стан, як правило, визначається без розбирання відповідальних вузлів і деталей.

Технічна діагностика, на відміну від звичайного контролю, визначає технічний стан якого-небудь об'єкта або його агрегату для прогнозування строків подальшої безвідмовної роботи. При цьому діагностування повинне виконуватися на підставі досліджень, переважно без розбирання механізмів, за допомогою прогресивних методів і технічних засобів, а також сучасних досягнень науки й техніки.

Впровадження технічного діагностування вимагає системного підходу, тобто одночасного розгляду всіх його елементів у взаємозв'язку та створенням інформаційного, математичного й технічного забезпечення. Інформація, одержувана в результаті діагностування, повинна систематизуватися й накопичуватися в спеціальних базах даних на ПЕОМ. Причому ця інформація повинна бути в упорядкованому виді – у вигляді спеціальних форм, що дозволяють вести автоматизований аналіз накопичених відомостей. [2]. Забезпечення оптимальної ефективності експлуатації, обслуговування та ремонту шляхом технічної діагностики є процес зіставлення рівня прогнозу (діагностування) з рівнем відмови.

Аналіз динамічних характеристик металорізальних верстатів: теоретичні засади та експериментальні підходи.

Значний внесок у формування теоретичних основ динаміки металорізальних верстатів було здійснено низкою провідних дослідників, зокрема, Кудіновими, J. Plusty та ін. До ключових параметрів, що характеризують динамічну якість токарного верстата, належать: гранично допустимі режими стабільного різання, що безпосередньо впливають на продуктивність обробки; запас і рівень стійкості технологічної системи (ТС); величини сил різання та зумовлені ними відхилення формоутворюючих переміщень елементів кінематичного ланцюга; інтенсивність коливань інструмента і заготовки в умовах холостого ходу; динамічна жорсткість системи; швидкодія; акустичний шумовий фон. Динамічні процеси, які реалізуються в межах функціонування верстата, мають визначальний вплив на точність та стабільність механічної обробки, обумовлюючи можливість реалізації оптимальних режимів різання, рівень технологічного сервісу, рівень вібраційно-акустичного впливу та загальну технологічну культуру виробництва. Фізичні передумови виникнення автоколивань у ТС при обробці металів тривалий час залишаються предметом пильної уваги наукової спільноти. Дослідження, присвячені цій проблематиці, викладено у працях [3-5] та ін.

Для аналізу природи автоколивальних процесів використовуються як аналітичні, так і експериментальні методи дослідження. Особливу роль у вивченні таких коливань відіграє аналіз профілактограм – графічних відображень обробленої поверхні, що дозволяють ідентифікувати динамічні властивості системи на основі результатів її роботи, зокрема за рахунок відносних переміщень елементів «інструмент – заготовка». Динамічну модель металорізального верстата доцільно представляти у вигляді узагальненої багатоконтурної системи, яка, відповідно до підходу Кудінова, розглядається як замкнене утворення із взаємозалежними структурними контурами. Для аналітичного спрощення під час розгляду окремих виробничих процесів дана система може бути апроксимована одноконтурною моделлю, що включає конкретний процес та відповідну еквівалентну пружно-демпфувальну систему [3]. У більшості аналітичних моделей, що застосовуються для дослідження коливань інструмента під час різання, приймається замкнута одноконтурна система. В межах цієї системи процес різання моделюється за допомогою різних математичних підходів, що враховують нелінійні механізми деформування, руйнування, зміну властивостей оброблюваного матеріалу, а також вплив зовнішніх факторів.

У працях Кудінова та інших [3-5] подано низку моделей процесу різання, що описують комплексну взаємодію між зазначеними фізичними явищами. Серед експериментальних методів дослідження коливальних явищ у ТС особливої уваги заслуговує віброакустичний підхід, який дозволяє отримати релевантну інформацію про динамічний стан системи на основі аналізу акустичних сигналів. Фундаментальні дослідження в області динаміки верстатів виконані Кудіновими, J. Plusty та іншими вченими. Основні показники динамічної якості верстата, зокрема токарного: найбільші допустимі режими стійкого різання, що визначають продуктивність обробки, запас і ступінь стійкості системи; сили різання та

відповідні їм відхилення формоутворюючих переміщень ланок системи від необхідних; інтенсивність коливань різця та деталі при різанні на холостому ході; динамічна жорсткість; швидкодія; рівень шуму.

Динамічні процеси, що відбуваються у верстаті, мають вирішальний вплив на точність та стійкість обробки, визначаючи можливість застосування раціональних режимів різання, умови обслуговування верстата, рівень шуму, загальну культуру виробництва в цілому. Розкриття фізичних причин виникнення вібрацій ТС при різанні металів привертало пильну увагу дослідників багато років [3-5] та інші. Для вивчення природи автоколивань дослідники застосовували аналітичні та експериментальні методи досліджень. Аналіз коливань проводився також за профілактограмами, оскільки оброблену поверхню можна розглядати як зовнішнє відображення динамічних властивостей ТС, які виявляються при відносних коливаннях підсистем заготовки та інструменту. Як відомо, динамічна структура металорізального верстата може бути представлена узагальненою структурою. Металорізальний верстат, згідно Кудінова [3], являє собою замкнуту багатоконтурну систему. При розгляді будь-якого робочого процесу подібна динамічна система для спрощення умовно замінюється одноконтурною, яка складається з процесу, що розглядається, і еквівалентної пружної системи. Для аналізу коливань інструменту в процесі різання найчастіше приймається замкнута одноконтурна система. Як процес різання використовувалися різні математичні моделі процесу різання. Кудінов і в роботах [3-5] представили різні моделі процесу різання, які є складним комплексом взаємодії процесів (деформування, руйнування, зміни властивостей матеріалу, впливу навколишнього середовища і т.д.). Для експериментальних методів дослідження є доцільним використання віброакустичного методу. Спеціально для верстатів SKF розробила ультракомпактний датчик вібрації – акселерометр SKF CMSS 100F [6]. Він встановлюється на передній частині шпинделя та забезпечує покращену реєстрацію частотних характеристик для більш точної діагностики. Цей акселерометр, оснащений вбудованим поліуретановим кабелем, стійким до агресивних змащувально-охолоджуючих рідин, з кабельним виводом для простого підключення до систем SKF Multilog On-line IMx.

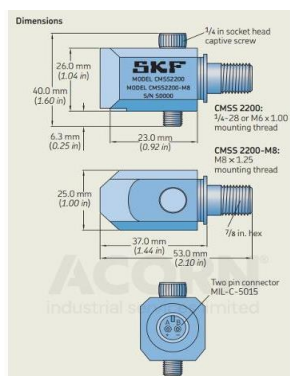


Характеристики: Широкий діапазон частот. Висока чутливість

Компактна низькопрофільна конструкція для встановлення в обмеженому просторі. Установка на шпильку або монтаж за допомогою клейового з'єднання. Висока стійкість до електричних перешкод

Відповідає вимогам CE (відповідність стандартам з охорони праці, безпеки та захисту довкілля, Conformité Européenne), а також вимогам EMC (електромагнітна сумісність). Стандартизована чутливість. Відповідає вимогам RoHS (Директива щодо обмеження використання небезпечних речовин)

Рис. 1. Акселерометр SKF CMSS 100F



Універсальні датчики вібрації – акселерометр SKF CMSS 2200

Промисловий акселерометр SKF CMSS 2200 – це надійний, багатофункціональний датчик для використання у різних верстатах [7].

Характеристики: Підходить для всіх онлайн-систем та портативних пристроїв SKF для збору даних.

Міцний, економічний та універсальний датчик.

Надійність монтажу.

Дуже низький рівень шуму у широкому діапазоні температур.

Відповідає вимогам CE та EMC

Рис. 2. Промисловий акселерометр SKF CMSS 2200

Список використаної літератури:

1. Бабанін А. Рухомий склад: діагностика, експлуатація // Магістраль, 1998, №30.
2. В.О. Міщенко, Л.В. Бескровна, Обслуговування рухомого складу та спеціальної техніки залізничного транспорту (локомотиви), Дніпропетровськ, ІМА-прес, 2002, 144с.
3. Полупан І.І. Підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями // Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. 2016 р. 213с.
4. Борушак Л.О. Комп'ютерні дослідження вібрацій при токарній обробці нафтогазових різьб / Л.О. Борушак, Б.Р.Шуляр, С.П.Борушак / Нафтогазова енергетика.-2016.-№2(26). с. 72-84
5. http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/reliability_instrument/archieve/%E2%84%9614.pdf
6. https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680a7e9f9/pdf_preview_medium/0901d19680a7e9f9_pdf_preview_medium.pdf
7. <https://www.skf.com/ua/products/condition-monitoring-systems/sensors/vibration-sensors/productid-CMSS%202200>

ВИМОГИ ДО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Зубчасті конічні передачі широко застосовуються в конструкціях сучасних машин і механізмів. Вони поділяються на два основних типи: зубчасті силові передачі, що забезпечують передачу крутного моменту із зміною швидкості обертання валів, та зубчасті кінематичні передачі, що використовуються для передачі крутного моменту між валами редукторів.

Зубчасті конічні передачі широко поширені завдяки своїй універсальності, високому коефіцієнту корисної дії (к.к.д.), можливості застосування в широкому діапазоні швидкостей і потужностей, компактності та надійності.

Зубчасті конічні передачі є одними з поширених механічних передач у сучасному машинобудуванні та приладобудуванні. Їх застосовують як для механізмів точних приладів, де розміри коліс вимірюються кількома міліметрами, так і в потужних машинах із розмірами коліс до 10 м. Зубчасті передачі здатні працювати в різноманітних умовах із коловими швидкостями від зовсім малих до 150 м/с і більше.

Для виготовлення конічних зубчастих коліс обирають різні марки якісної конструкційної та якісної і високоякісної легованої сталі, а також використовують різні марки чавунів та пластмасові замітники.

Конічне зубчасте колесо з конструктивної точки зору може працювати як у відкритих, так і у закритих типах передач. Основна функція конічної шестерні – передавати крутний момент від веденого валу на ведучий, що розташований під певним кутом. При цьому зуби конічних зубчастих коліс безперервно і закономірно контактують один з одним: зона контакту поступово переміщується по евольвентній поверхні, що супроводжується ковзанням спряжених профілів. Завдяки цьому на зуби діють згинаючі напруження, та високі контактні напруження, що періодично повторюються відповідно до обертів вала та співвідношення передачі. Складний характер впливу контактних сил, на згин і тертя, зокрема в умовах наявності абразивного середовища, може призводити до зношування та руйнування поверхневого шару матеріалу зубів.

Вибір матеріалу для зубчастих коліс здійснюється з урахуванням їх призначення та умов експлуатації. Для виготовлення конічних зубчастих коліс у галузях машинобудування використовують різні марки конструкційних сталей, сірого чавуну, бронзи і пластмас. Основними матеріалами для зубчастих коліс є конструкційні якісні вуглецеві та леговані сталі марок 45, 20Х, 40Х, 40ХН, 35ХМ, що термічно зміцнюються до високої твердості.

В різних галузях машинобудування конструкції конічних зубчастих колеса виготовляють з легованих якісних хромомарганцевих сталей марок 18ХГТ, 30ХГТ та хромомолібденової сталі марки 30ХМ.

Сталь 18ХГТ завдяки наявності в її складі титану має підвищену прогартуваність, міцність і меншу чутливість до перегріву. Ця сталь відрізняється високим опором до зминання.

Сталь 30ХГТ містить більше вуглецю, ніж сталь 18ХГТ, і широко застосовується для сильно навантажених зубчастих коліс з модулем понад 5 мм. Вона в термічно обробленому стані має високі показники міцності серцевини в перерізі зубів.

Зубчасті колеса металорізальних верстатів виготовляють з конструкційних якісних вуглецевих сталей марок 45 і 50, а також з легованої хромистої сталі марки 40Х. Для виготовлення зубчастих коліс набуває поширення низьколегована сталь з вмістом бору 20ХГР, 25ХГР. Введення невеликих кількостей бору (0,002 - 0,005%) в таку сталь значно збільшує її прогартуваність, характеристики міцності і в'язкості. Після гартування і низького відпуску твердість сталі становить HRC 36...40.

Чавуни застосовують для виготовлення зубчастих коліс відкритих тихохідних конічних передач. Чавуни проявляють добру стійкість до заїдання, тому чавунні зубчасті колеса можуть працювати без мастила. Для виготовлення чавунних коліс використовують сірі чавуни марок СЧ- 25, СЧ-35, СЧ 45, а також високоміцні чавуни з кулястим графітом.

Для зниження ризику пошкодження робочої поверхні зубів зубчастих передач як правило застосовують термічне оброблення або хіміко-термічне оброблення (ХТО), що дозволяють досягти необхідного рівня міцності.

Термічне оброблення конічних зубчастих коліс застосовується для підвищення твердості поверхонь зубів. З підвищенням твердості зростає несуча здатність передач по контактній міцності. Тому гартування використовують для підвищення твердості зубів в силових конічних передачах.

В кінематичних передачах, призначених для точної передачі обертового руху між валами при невеликих значеннях крутного моменту, зубчасті колеса гартуванню не підлягають.

До основних видів зміцнюючого термічного оброблення зубчастих коліс відносять наступні види термічної обробки: об'ємне гартування, поверхнєве гартування струмами високої частоти.

Об'ємне гартування є найбільш простим способом термічного оброблення коліс. До його недоліків варто віднести високе прогартування матеріалу, що зменшує втомну міцність матеріалу при згині зубів.

Поверхнєвим гартуванням забезпечується висока твердість поверхні зубів при в'язкій серцевині. Нагрівання коліс при поверхнєвому загартуванні проводиться в спеціальних індукторах струмами високої частоти (СВЧ).

Хіміко-термічне оброблення (ХТО) полягає в насиченні поверхні металу різними хімічними елементами (вуглець, азот тощо). В даний час на машинобудівних заводах застосовуються наступні види ХТО зубів коліс – цементация, азотування, нітроцементация.

Цементация – насичення сталі вуглецем з наступним загартуванням, забезпечує високу твердість поверхні зубів колеса при в'язкій серцевині. Для цементации застосовуються якісні леговані сталі з низьким вмістом вуглецю: 20Х, 12ХН3А, 20ХНМ, 15ХФ тощо.

Азотування – насичення стали азотом забезпечує високу твердість поверхні зубів без подальшого гартування. Для азотування використовують якісні і високоякісні леговані сталі 38Х2МЮА, 40ХФА, 40ХНА тощо. Зуби після азотування не шліфують. У зв'язку з цим азотування застосовують для зміцнення коліс зубчастих передач з внутрішнім зачепленням. Недоліком азотування є значна тривалість процесу (до 60 год.) та мала товщина шару зуба, що зміцнюється (до 0,5 мм).

Нітроцементация – одночасне насичення сталі вуглецем і азотом з подальшим гартуванням, протікає при більш високих швидкостях дифузії (до 0,1 мм/год.). Для нітроцементации використовують якісні леговані сталі марок 35Х, 40Х, 18ХГТ. Для зубчастих коліс великого діаметра, заготовки до яких отримують методом литва, застосовують ливарні вуглецеві та леговані сталі марок 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, 40ХЛ, 30ХГСЛ.

Нітроцементация з подальшою термообробкою на глибину 0,4...0,8 мм, дозволяє досягати твердості зубів HRC 56...60, при збереженні твердості серцевини не менше HRC 28. Литі конструкції конічних зубчастих коліс піддають нормалізації.

При виборі марок конструкційних сталей в процесі проектування конічних зубчастих коліс важливо враховувати не лише вимоги до твердості, але й габаритні розміри заготовки. При цьому величина прогартуваності сталей значно змінюється в залежності від марки сталі: вуглецеві сталі характеризуються найнижчим ступенем прогартуваності, а високолеговані – найбільшим.

Застосування сталей з поганим гартуванням при виготовленні великогабаритних деталей, обмежує можливість досягнення високої поверхнєвої твердості, тому кінцевий вибір конструкційного матеріалу для виготовлення таких конічних зубчастих коліс здійснюється після проведення розрахунків геометричних параметрів зубчастої передачі.

Список використаної літератури:

1. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання /А.В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. – 275 с.
2. Палівода Ю.Є., Капаціла Ю.Б., Ткаченко І.Г. Технологія оброблення зубчастих коліс. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» Тернопіль. 2016. – 136 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ФРЕЗЕРОВАНОЇ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ ОПТИЧНОЇ ПРОФІЛОМЕТРІЇ

Мікрорельєф поверхні відіграє важливу роль у забезпеченні таких функціональних властивостей, як змочуваність, зносостійкість, корозійна стійкість тощо. Тому створення оптимального мікрорельєфу є одним із способів управління функціональними властивостями поверхонь виробів. Оскільки традиційні методи описання мікрогеометрії поверхні за допомогою лише параметрів шорсткості (ДСТУ ISO 4287:2012) часто є недостатньо інформативними, виникає необхідність у застосуванні інших сучасних методів, зокрема визначення ареальних характеристик [1] методом оптичної профілометрії. За останні роки ареальний метод набув поширення завдяки своїй здатності надавати більш комплексну характеристику поверхні. На відміну від традиційних профільних методів вимірювання, він враховує просторовий мікрорельєф всієї ділянки дослідження, що дає змогу точніше описати складну топографію поверхні [2]. Оптичні 3D-профілометри дозволяють побудову цифрової топографічної моделі поверхні з подальшим автоматизованим розрахунком ключових параметрів мікрорельєфу. Відомо, що реальна площа поверхні, з урахуванням усіх мікронерівностей, завжди перевищує її геометричну проекцію. Для дослідження впливу подачі на величину площі поверхні проведено попередній експеримент. Використано два зразки з нікеліду титану розмірами 30×30×30 мм, торцева фреза CoroMill300 з круглими твердосплавними пластинками без покриття, без охолодження. Досліджувалася центральна ділянка фрезерованої поверхні розміром 3×3 мм (рис. 1).

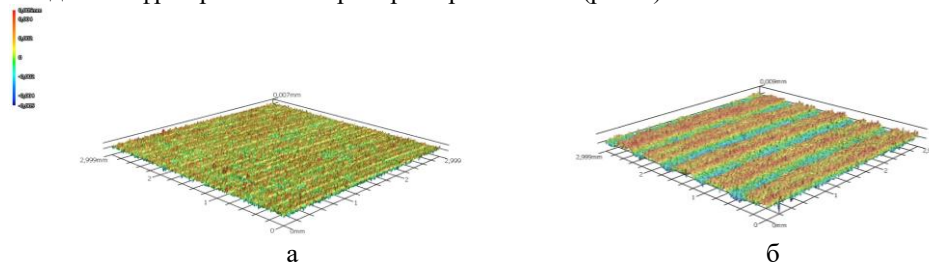


Рис. 1. 3D-зображення фрезерованих поверхонь:

а – $V=20$ м/хв; $t=0,75$ мм; $Sz=0,05$ мм/зуб, б – $V=20$ м/хв; $t=0,75$ мм; $Sz=0,15$ мм/зуб

За допомогою оптичного 3D-профілометра Keyence VR-6000 визначені такі параметри [3] (табл. 1). Аналіз отриманих даних показав, що площа поверхні при подачі $Sz=0,05$ мм/зуб виявилася більшою, ніж при подачі $Sz=0,15$ мм/зуб (табл. 1). При цьому вплив подачі на шорсткість поверхонь є протилежним.

Таблиця 1

Результати дослідження

Подача	$Sz=0,05$ мм/зуб	$Sz=0,15$ мм/зуб
Площа поперечного перерізу, мм ²	9,000	9,000
Площа поверхні з урахуванням усіх мікронерівностей, мм ²	9,430	9,350
Відношення реальної площі до площі проекції	1,048	1,041
Ra , мкм	1,045	1,675

Отже, при збільшенні подачі від 0,05 до 0,15 мм/зуб площа поверхні зменшується від 9,43 до 9,35 мм². Тобто при меншій подачі, незважаючи на зменшення шорсткості, формується більш «щільний» мікрорельєф, що виявляється у зростанні площі фрезерованої поверхні. В умовах великої подачі, навпаки, формуються вищі, але менш щільні мікронерівності, що зменшує площу поверхні. Отже, оптична профілометрія дозволяє досліджувати вплив режимів різання на площу механічно обробленої поверхні, що є одним із параметрів, який визначає функціональні властивості поверхонь виробів.

Список використаної літератури:

- Бондар Д. С., Балицька Н. О. Розподіл профільних та ареальних параметрів шорсткості за розташуванням аналізованої ділянки на фрезерованих поверхнях заготовок з титанового сплаву. Технічна інженерія. 2024. № 1(93). С. 24–31. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-24-31](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-24-31)
- Бондар Д.С., Балицька Н.О. Характеризація фрезерованих поверхонь ареальним методом. Збірник наукових праць XII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 9–10 листопада 2023 року. Житомир: «Житомирська політехніка», 2023. С. 124–125. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/povnyj-tekst-1.pdf>
- ISO 25178-2:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.