



ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.345022

РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО СОПЛА ДЛЯ ХОЛОДНОГО НАПИЛЮВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ВНУТРІШНІ ПОВЕРХНІ (стор. 6–11)

Шорінов О. В., Волков А. О., Савченко Н. В., Маркович С. Є., Данько К. О., Іпатов Р. С.

Підвищення ресурсу деталей шляхом формування захисних і відновлювальних покриттів холодним газодинамічним напилюванням (ХГН) є актуальним науково-технічним завданням. Об'єктом дослідження є процес прискорення частинок порошку в надзвуковому поворотному соплі для ХГН. Як і для інших методів газотермічного напилювання, для ХГН ускладненим, а іноді навіть неможливим, є формування покриттів на внутрішніх та важкодоступних поверхнях деталей. У практиці використання технології це вважається одним з найбільш проблемних місць, що обмежує можливості технології.

Ця робота направлена на удосконалення процесу ХГН за рахунок розроблення нового надзвукового поворотного сопла для напилювання покриттів на внутрішні й важкодоступні поверхні деталей, встановлення закономірностей траєкторії руху та прискорення в ньому частинок порошку. В ході дослідження використовувались класичні методи обчислювальної газодинаміки, включно з методами дослідження двофазних потоків. Експериментальна перевірка результатів моделювання виконувалась пневматичним методом визначення числа Маха за допомогою трубки Піто-Прандтля. Чисельне моделювання газодинамічних процесів виконано для двох спроєктованих поворотних сопел – двоканального та триканального. Отримано значення максимальної швидкості частинок алюмінієвого порошку діаметром 10 мкм за тиску гальмування повітря 4,0 МПа та температурі гальмування 550°C – 558 м/с для двоканального сопла, і 585 м/с – для триканального, достатні для зчеплення частинок з підкладкою. Для виготовлення та проведення експериментальних досліджень було обрано триканальне сопло, а різниця між експериментальними й розрахунковими значеннями числа Маха потоку на виході з сопла не перевищувала 10%. Наявність розташованих в основному каналі двох додаткових сопел, спрямованих під кутом до напрямку основного потоку, забезпечують поворот потоку з частинками від початкового напрямку на кут близько 75°, що задовольняє вимоги для утворення ХГН покриттів.

Ключові слова: покриття, геометрія сопла, порошок, оптимізація, CFD-моделювання, відновлення деталі.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.348178

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КОКІЛЮ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТКИ СКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРІЇ (стор. 12–19)

Майорова К. В., Шипуль О. В., Лисоченко І. М., Гоптар Т. А., Капітанова А. В., Воронько І. О.

Об'єктом дослідження є кокіль складної геометрії для лиття прототипу лопатки турбіни, виготовлений методом 3D-друку з фотополімерної смоли Anycubic та полімеру PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol).

Проблема, що вирішується: забезпечення необхідної міцності та жорсткості кокілю під час складання напівформ болтовим з'єднанням із попереднім осьовим натягом.

За допомогою Siemens NX Advanced Simulation створено й розраховано скінченно-елементні моделі кокілю. Встановлено, що при значному поперемному осьовому натязі виникає перевищення граничних напружень у зоні болтових отворів, що обмежує застосування фотополімерної смоли. Зменшення сили затягування покращує показники, але залишає мінімальний запас міцності. Підвищити жорсткість кокілю можна за рахунок застосування опорних площадок, але така конструкція викликає концентрацію напруження в болтових з'єднаннях. Досягнення оптимального результату розрахунків було при застосуванні матеріалу PETG: запас міцності зріс до $\eta = 1,5$, а переміщення не перевищували 0,04 мм. Полімер PETG, на відміну від фотополімерної смоли, в затверділому стані є пружнішим та пластичнішим при вищій міцності. Це дозволяє розподіляти навантаження по матеріалу. Отримані результати можуть бути застосовані для виготовлення кокілів для лиття та оснащення взагалі, особливо для невеликої партії деталей. Практичне застосування розглянутої технології можливе за умови правильного комбінування вхідних параметрів: матеріалу, сили попередньої затяжки болтів та застосування опорних площадок. PETG рекомендується застосовувати для форм, що працюють в умовах підвищених навантажень.

Ключові слова: напружено-деформований стан, прототип, полімерні форми, моделювання попередньої затяжки болтів, адитивне виготовлення оснастки.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.348608

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ (стор. 20–25)

Горик О. В., Брикун О. М., Калашников О. Є., Бучинський А. М.

Об'єктом даного дослідження є процес трансформації кінетичної енергії атакуючого повітряно-абразивного факела в процесі динамічного впливу на металеві поверхні виробів при їх дробоструминному очищенні.

Важливість дослідження зумовлена необхідністю вирішення проблеми підвищення ефективності технологічного процесу підготовки металевих поверхонь виробів шляхом дробоструминного очищення для подальшого нанесення захисних стійких неметалевих покриттів.

У роботі на основі енергетичного балансу системи «дробинка-перешкода» розроблено методику визначення коефіцієнта корисної дії процесу дробоструминної підготовки поверхонь, який пов'язали з коефіцієнтом відновлення енергії факела. Встановлено взаємозв'язок коефіцієнтів із потенційною енергією поверхневого шару, накопиченою в процесі пружного деформування. Мірою цієї енергії прийнята глибина лунки, утвореної дробинкою, на поверхні атакованого тіла. При визначенні значення глибини лунки розглядалася деформація елементарного циліндричного елемента, защемленого у поверхневому шарі атакованого тіла, розміри якого сумісні з розмірами лунки пружного деформування.

Класичний коефіцієнт відновлення не є характерним критерієм для розкриття фізичних аспектів складного багатфакторного процесу дробоструминня. Простота застосування у практичних розрахунках, особливо при встановленні продуктивності процесу, спонукають пошук удосконалення методик його визначення, оскільки існуючі моделі ідеального удару у даному випадку виявляються не спроможними. Цей коефіцієнт при середніх швидкостях атаки 100–120 м/с і кутах $40^\circ < \alpha < 70^\circ$ виявився меншим на 15–20% від класичного.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для підвищення продуктивності процесу дробоструминної обробки виробів оборонної, сільськогосподарської, машинобудівної, хімічної, авіаційної та інших галузей промисловості.

Ключові слова: енергетичний баланс, дробоструминне очищення, коефіцієнт корисної дії, швидкість рикошету.

МЕХАНІКА

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.346717

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТА МЕЖ ЗОНИ КОНТАКТУ ДЕФОРМОВАНОГО КОЛЕСА З ДЕФОРМОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ (стор. 26–33)

Ковбаса В. П., Прілепо Н. В.

Об'єктом дослідження є контактна взаємодія між деформівним колесом (шиною) та деформівною опорною поверхнею. Одним з найбільш проблемних місць є визначення меж зони контакту як функції прикладених навантажень, геометрії колеса та механічних властивостей контактуючих поверхонь, а також необхідність зменшення енергоспоживання й ущільнення ґрунту в контексті роботи ходових систем транспортних засобів.

У ході дослідження використовували методи механіки суцільних деформівних середовищ для визначення деформівних властивостей контактуючих поверхонь. Дослідження ґрунтувались на попередніх результатах розподілу контактних сил, отриманих за допомогою бігармонічних потенціальних аналітичних функцій, що базуються на методах Буссінеску та Черруті.

Отримано аналітичні залежності зв'язку передньої та задньої границь контакту деформівного колеса (шини) з деформівною поверхнею. Це пов'язано з тим, що запропонований підхід враховує деформації та напруження у середовищах контактуючих тіл з урахуванням їх механічних властивостей, і є більш інформативним порівняно з методами теоретичної й аналітичної механіки. Дослідження виявило, що потенціал для покращення функціонування об'єкта криється в оптимізації вибору параметрів і режимів роботи ходових систем, що безпосередньо впливає на тягово-зчепні характеристики колеса.

Завдяки цьому забезпечується можливість отримання оптимізованих значень геометричної величини поверхні контакту. У порівнянні з аналогічними відомими підходами, це забезпечує підвищення тягової ефективності приводних коліс, мінімізацію ковзання коліс до прийнятих показників, що безпосередньо вирішує ключові завдання у галузі сільськогосподарської та позашляхової техніки, сприяючи зменшенню енергоспоживання й ущільнення ґрунту.

Ключові слова: деформоване колесо, деформована опорна поверхня, абсолютні деформації, границі зони контакту.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.339423

ОЦІНКА МОДЕЛЕЙ ПРАГЕРА ТА ШАБОША ДЛЯ ТОЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛАСТОПЛАСТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЇ ВТОМІ (стор. 34–42)

Amira Aboussalih, Salah Hammoudi, Kamel Fedoui, Karim Arar, Lazhar Baroura

Об'єктом цього дослідження є циклічна еластопластична поведінка матеріалів, головним чином аустенітної нержавіючої сталі (304L). У роботі досліджується поведінка нержавіючої сталі 304L, що піддається впливу різних одноосових і багатоосових циклічних навантажень. Також визначається швидкість, з якою класичні моделі, такі як модель Прагера, відтворюють явища деформаційного зміцнення. Усі ці моделі мають недоліки, які обмежують надійність прогнозів довговічності конструкцій. Для цього у представленому числовому дослідженні проводиться порівняльний аналіз між моделлю Прагера та моделлю Шабоса. Модель Шабоса була обрана для подолання недоліків класичних підходів, вона може поєднувати ізотропне та нелінійне кінематичне деформаційне зміцнення. Численні числові моделювання, проведені за різних сценаріїв навантаження, дозволили оцінити прогностичну здатність конститутивних моделей та обмеження спрощених лінійних підходів. Отримані результати показують, що модель Шабоса з відмінною точністю відтворює явища деформаційного зміцнення, додаткового деформаційного зміцнення та храпового зміцнення порівняно з моделлю Прагера. Це пояснюється тим, що модель Шабоса може враховувати зв'язок між різними явищами, що гарантує реалістичне представлення циклічної еластопластичної поведінки. Порівняно з аналогічними моделями, відомими в літературі, підхід Шабоса пропонує значні переваги: підвищену точність прогнозування, краще представлення складних циклічних явищ та оцінку довговічності нержавіючої сталі 304L, яка точно відображає реальність у вимогливих промислових застосуваннях.

Ключові слова: модель Прагера, модель Шабоса, нержавіюча сталь 304L, циклічний, храпове зміцнення, гартування, втома.

МЕТАЛУРГІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.345473

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗАПОБІГАННЯ ХІМІЧНОГО ЗНОСУ ФУТЕРОВКИ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЕЧІ В ДУПЛЕКС-ПРОЦЕСІ «ВАГРАНКА – ІНДУКЦІЙНА ПІЧ» (стор. 43–47)

Ніколаєв Д. А., Селівьорстов В. Ю., Доценко Ю. В., Осипенко І. О., Кузнецов Є. В.

Об'єктом дослідження є плавка чавуну в дуплекс-процесі «вагранка – індукційна піч». Необхідність дослідження такого дуплекс-процесу продиктована умовою забезпечення необхідної якості чавуну в разі, якщо використовується неякісна або неконтрольована за якістю шихта. Виконання цієї умови неможливе, якщо індукційна піч застосовується як єдиний плавильний агрегат. Але проблема полягає в тому, що у процесі індукційної плавки чавуну, зокрема на етапі перегріву та витримки розплаву, може розпочатися тигельна реакція, яка приводить до хімічного зносу футеровки. Необхідність зменшення вмісту вуглецю у розплаві, який видається з вагранки, потребує підвищення температур, що створює ризики для початку тигельної реакції.

На основі статистичних розрахунків показників ваграночної плавки встановлено, що у розплаві, який видається з вагранки в індукційну піч, середній вміст вуглецю складає $C = 3,47\%$ при середньоквадратичному відхиленні $S_C = 0,14\%$, а середній вміст кремнію складає $Si = 2,05\%$ при середньоквадратичному відхиленні $S_{Si} = 0,21\%$. При цьому з ймовірністю 96% вміст вуглецю складає $C = (3,33–3,75)\%$, а вміст кремнію відповідає діапазону $Si = (1,84–2,46)\%$ з ймовірністю 98%. Встановлено, що константа рівноваги знаходиться у діапазоні $(0,15–0,21)$ з ймовірністю 97,8% за середньої температури $T = 1355^\circ\text{C}$ при середньоквадратичному відхиленні температури $S_T = 6^\circ\text{C}$. За таких показників розплаву, який видається в індукційну піч, ризики початку тигельної реакції не виникають. Визначено, що навіть на температурних режимах, достатніх для видалення FeO , ризик початку тигельної реакції мінімальний. Задля забезпечення умов, що запобігають початку тигельної реакції, слід дотримуватися наступних рекомендацій по вмісту вуглецю та кремнію за високотемпературного режиму плавки, коли температура знаходиться у діапазоні $T > 1480^\circ\text{C}$: $C > 0,3\%$ та $Si < 0,3\%$.

Результати дослідження можуть бути використані на плавильних ділянках ливарних цехів, оснащених вагранками та індукційними печами.

Ключові слова: дуплекс-процеси «вагранка – індукційна піч», тигельна реакція, хімічний знос футеровки, неякісна шихта.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.344908

РОЗРОБКА МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО СТАНУ ТА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРОВОГО ШАРУ ФЕРОМАГНІТНИХ ЧАСТИНОК, ЩО РУХАЮТЬСЯ В ОБЕРТОВОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ (стор. 48–56)

Польщиков Г. А., Жуков П. Б.

Об'єктом дослідження є вихровий шар (VL) феромагнітних частинок (FP), що рухаються в обертовому магнітному полі (RMF). Апарати з вихровим шаром (AVL) застосовуються для інтенсифікації енерговитратних технологічних процесів з рідкими та сипучими речовинами, що вимагають активації, перемішування та дисперсного подрібнення. Для синтезу вихрового шару (VL) в циліндричній робочій камері AVL діаметром 60–330 мм використовуються зовнішні трифазні (380 В/50 Гц) двополюсні індуктори. Модуль магнітної індукції RMF_i в центрі розточування за відсутності FP вибирається при проєктуванні з ряду 0,12–0,25 Т. Сталеві або нікелеві FP мають довгасту циліндричну форму зазвичай із співвідношенням $l/d = 8–15$ (l – довжина FP, d – діаметр FP) при діаметрі 0,7–2,5 мм.

Магнітні та електромеханічні характеристики VL вивчені недостатньо. У даній роботі розглядається спосіб оцінки цих характеристик VL шляхом моделювання його магнітного стану. Реальне двополюсне RMF, що існує в робочій камері з працюючим VL, представлено синхронним обертанням трьох плоскопаралельних однорідних кругових векторних полів – напруженості, індукції та намагніченості $\vec{H}$, $\vec{B}$, $\vec{J}$. Експериментальне визначення характеристик модельних векторів $\vec{H}$, $\vec{B}$, $\vec{J}$ проводиться за допомогою двох плоских рамкових індукційних котушок. Прості закономірності поведінки векторного поля $\vec{J}$ не суперечать досить хаотичній поведінці кожної індивідуальної частинки VL.

Наведено демонстраційний приклад визначення характеристик модельних векторів $\vec{H}$, $\vec{B}$, $\vec{J}$, величин питомого обертального магнітного моменту, питомої потужності та рівня хаотичності промислового VL.

Результати роботи можуть бути використані як в академічних, так і в інженерних додатках, пов'язаних з дослідженням і проєктуванням AVL та подібної апаратури.

Ключові слова: вихровий шар в RMF, електромеханічна взаємодія FP, модель намагніченості VL, оптимальна концентрація FP, рівень хаотичності VL.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.347970

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАСКЛЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВАЇ ЗА КРИТЕРІЯМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ (стор. 57–63)

Косенко А. В., Коваль О. О., Юрченко Є. А., Коваль А. С., Гришин С. В.

Об'єктом дослідження є двоповерхова офісна будівля. Одним з проблемних місць в огорожувальних конструкціях є вітражні конструкції, які не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та мають значні тепловтрати. Дослідження направлено на розробку оптимальних конструктивних рішень для модернізації існуючого скління, спрямованих на зниження тепловтрат за умови збереження архітектурного вигляду фасаду та економічної доцільності впровадження заходів термореновації.

У ході дослідження був використаний комплекс методів, а саме створення BIM-моделі будівлі, аналіз теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, техніко-економічне порівняння варіантів термореновації та онлайн інструменти розрахунку віконних компаній. За результатами дослідження отримано показники тепловтрат через вітражі наявної системи та запропонованих варіантів реконструкції, а також кількість сонячних надходжень. Розроблено три варіанти заміни вітражів. Варіант із використанням Rehau SYNEGO® MD-80 з простінками 490 мм і зменшення площі світлопрозорих конструкцій. Економія тепловтрат становить 56%, а вартість реалізації – 3084 євро, що є прийнятним показником серед розглянутих варіантів. Це пов'язано з тим, що запропонований варіант відповідає вимогам енергоефективності, а також враховує обмеження замовника щодо зміни архітектурного вигляду фасаду не більше 50%.

Запропонований підхід дозволяє комплексно оцінити вплив запропонованих заходів на енергетичний баланс будівлі, врахувати архітектурні обмеження та обґрунтувати економічно доцільне рішення. У порівнянні з традиційними рішеннями заміни вітражів, орієнтуючись лише на показник теплопровідності або стандартні фасадні рішення, без розрахунку до умов конкретного об'єкта.

Отримані результати можуть бути використані для впровадження на схожих об'єктах у громадських та офісних будівлях при реконструкції або новому будівництві.

Ключові слова: енергоефективність, скління, будівля, фасад, теплоізоляція, Building Information Model, тепловтрати, енергозбереження, термореновація.

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.344863

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ З МАГНІТНИМ РЕДУКТОРОМ РУХОМОГО СКЛАДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ (стор. 64–74)

Островерхов М. Я., Спінул А. Ю., Вещиков Г. В.

Об'єктом дослідження є електромеханічні процеси в тяговому електроприводі рухомого складу пасажирського електротранспорту при дії сильних і короткочасних моментів збурення під час розгону, руху з усталеною швидкістю та сповільнення.

Проблема, що розглядалася, полягала в визначенні впливу параметрів магнітного редуктора на зниження дії зовнішніх збурень на електромеханічну систему рухомого складу метрополітену. Аналіз виконувався на основі порівняння типового тягового електропривода з механічним редуктором та запропонованого електропривода з магнітним редуктором. Даний редуктор передає рухомий момент до колісних пар без механічного контакту, але при цьому обумовлює пружно-в'язкий зв'язок між його вхідним та вихідним валами.

Наведено порівняння поведінки електромеханічної системи з використанням типового механічного редуктора та запропонованого магнітного редуктора. Досліджено вплив на показники ефективності перетворення енергії зміни параметрів магнітного редуктора, зокрема магнітної жорсткості та коефіцієнта демпфування. В ході досліджень виявлено відмінності у залежностях амплітуди моментів, періоду власних коливань, часу згасання перехідного процесу для двох типів редукторів. При жорсткості магнітного редуктора 5000 Нм/рад амплітуда моменту зменшилась на 59% у порівнянні з механічним

редуктором. Період власних коливань зменшився на 62%, а затухання перехідного процесу збільшилося на 59%. Результати дослідження показали, що раціональний вибір параметрів магнітного редуктора дозволяє підвищити динамічну стійкість електропривода до короточасних збурень. При цьому зменшуються ударні навантаження на вал двигуна та амплітуда коливань моменту. Це особливо актуально для тягових систем транспорту, що працюють в умовах нерівномірного опору руху.

Практична цінність результатів роботи полягає у можливості покращити ефективність перетворення енергії та показники якості керування тягового електропривода рухомого складу пасажирського електротранспорту. Це дослідження буде корисним для науковців та фірм, що спеціалізуються в області рухомого складу пасажирського електротранспорту.

Ключові слова: ефективність, магнітна передача, редуктор, демпфування, жорсткість, електротранспорт, тяговий електропривод, крутний момент.