МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2020.
Машинобудівний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів, викладачів,
науковців, молодих учених і аспірантів

13–17 квітня 2020 року

Електронне видання комбінованого
використовування на DVD-ROM

м. Запоріжжя

УДК 001.89
Т39

Рекомендовано до видання Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»
(Протокол №4/20 від 02.03.2020 р.)

Упорядник Антоненко Н.М.

Редакційна колегія:
Наумик В. В., д-р техн. наук, професор (відпов. ред.)
Прушківський В. Г., д-р екон. наук, професор
Кузькін О.Ф., канд. техн. наук, доцент
Глушко В.І., канд. техн. наук, доцент
Климов О.В., канд. техн. наук, доцент
Антонов М.Л., канд. техн. наук, доцент
Савченко В.О., канд. техн. наук, доцент
Кабак В.С., канд. техн. наук, доцент
Касьян М.М., канд. техн. наук, доцент
Корольков В.В., канд. екон. наук, доцент
Дєдков М.В., канд. іст. наук, доцент
Васильєва О.О., канд. фіз.-мат. наук, доцент
Пущина І.В., канд. пед. наук, доцент
Філей Ю.В., канд. юр. наук, доцент
Гайворонська Т.О., канд. філос. наук, доцент
Сажнєв В. М., канд. техн. наук, доцент
Висоцька Н. І., начальник патентно-інформаційного відділу

Тези доповідей друкуються методом прямого відтворення тексту, представленого авторами, які несуть відповідальність за його форму і зміст.

Т39 **Тиждень науки-2020. Машинобудівний факультет.** Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.
ISBN 978-617-529-259-4.

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, які проводяться на Машинобудівному факультеті Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців.

ISBN 978-617-529-259-4.

© Національний університет
«Запорізька політехніка»
(НУ «Запорізька політехніка»), 2020

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ» 9
Терещенко К.О., Міроненко А.І. Пневмо- та гідроабразивна обробка внутрішніх кутових поверхонь отворів 9
Шевцова Г.А., Довганюк С.О. Віброгалтовка великогабаритних деталей в роторних машинах..... 10
Гришин О.О., Карцев Я.С., Козлова О.Б. Особливості фінішної обробки складнопрофільних деталей 12
Бабіч Р.М., Козлова О.Б. Анодно-імпульсне оксидування деталей з титанових сплавів 13
Колодяжна А.А. Дослідження впливу способу установки інструмента на точність обробки деталі при налагоджуванні металорізального верстата 14
Дядя С.І., Аристов В.Е., Новіков В.В. Використання інформаційних технологій на етапі формування технологічних процесів 16
Прусенко О.О., Степанов Д.М. Вдосконалення технології холодного та гарячого ізостатичного пресування порошкового титану..... 17
Пухальська Г.В., Коржакова А.С. 3D–принтери в авіації 18
Пухальська Г.В., Нежура С.І. Застосування композиційних матеріалів в авіабудуванні 20
Пухальська Г.В., Порвін І.Е. Лазерне маркування..... 21
Пухальська Г.В., Федченок К.В. Особливості обробки деталей отриманих за допомогою адитивних технологій..... 23
Фірсов С.С., Логомінов В.О. Особливості механічної обробки титанових сплавів 24
Дядя С.І. Вплив частоти обертання шпинделя на спадковість оброблюваної поверхні при кінцевому циліндричному фрезеруванні..... 26
Гермашев А.І., Логомінов В.О. Автоматизація визначення режимів високошвидкісного кінцевого фрезерування 27

Пухальська Г.В., Бондаренко Р.С. Перспективи використання новітніх матеріалів при виготовленні складових авіадвигунів 29
Мігур Ю.І., Вишнепольский Є.В. Точність лезвійної обробки тонкостінних кілець..... 30
СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ»..... 32
Циганов В.В., Яровая Н.С. Використання МОР з полімерними присадками під час різання металів..... 32
Солоха В.В., Черняєв Д.О. Аналіз конструкції шпиндельних вузлів багатоцільових верстатів 33
Фролов М.В., Красковський А.В. Розробка програмного забезпечення формоутворення евольвентного профілю зубів довбача на базі системи числового керування FANUC 35
Циганов В.В. Основи управління механохімічними явищами у зоні контактування 37
Глушко П.В., Корнієнко М.В. Концепція вибору робочого органу для плазморіжучого верстата з ЧПК 38
Івщенко Л.Й., Танченко С.В. Методи визначення питомої роботи тертя в контакті при нестаціонарному навантаженні 40
Івщенко Л.Й., Комочкін М.С. Дослідження процесів контактної взаємодії в трибоз'єднаннях гарячого тракту ГТД та забезпечення зносостійкості пар тертя 41
Бойко І.А., Деменко Д.В. Забезпечення динамічної якості модернізуємих верстатів з ЧПК при використанні модульного принципу побудови 42
Солоха В.В. Вибір схеми закріплення шпиндельної бабки токарного верстата..... 44
Фролов М.В., Глушко П.В. Становлення і рівень реверс-інжинірингу в умовах сучасного виробництва..... 46
СЕКЦІЯ «ДЕТАЛІ МАШИН І ПТМ»..... 49
Волков Г.П., Ігнатенко В.Е. Ринок профнастилу як «ринок лимонів» в україні..... 49

Мартовицкий Л.М., Камель Г.І., Медведенко Є.Д., Боренко О.О. Особливості виготовлення сталевого корпусу зі втулкою з монель-металу 50
Мартовицький Л.М., Сочава А.І., Глушко В.І. , Медведенко Є.Д. Діагональне розміщення призматичних шпонок в з'єднаннях 51
Мартовицький Л.М., Камель Г.І., Тарабан Л.О. Спосіб передачі енергії зубчасто-роликовим зачепленням..... 51
Мартовицкий Л.М., Камель Г.І., Борейко Д.Ю., Заєц Д.М. Дослідження зношування деталей конічних трибосистем промислового транспорту 52
Носенко М.І., Камель Г.І., Мілонін В.Є., Карамушка Д.Р. Вплив технологічних методів на надійну роботу конічних трибовузлів промислового транспорту 53
Носенко М.І., Камель Г.І., Білий Р.Ю., Жабіна Є.О. Виготовлення обичайки армованої рівномірно розподіленими за об'ємом зернами карбідів, борідів, нітридів і силіцидів різних металів..... 55
Волков Г.П., Камель Г.І., Гімранов А.Г., Адамович Н.В. Дослідження гідравлічної транспортної системи целюлозно-паперового виробництва 57
Волков Г.П., Камель Г.І., Сакун О.В., Любченко Д.С. Деякі напрямки підвищення надійності роторних живильників целюлозно-паперового виробництва 59
Задоя Н.О., Медведенко Є.Д. Постановка крайової задачі для моделювання процесу нагрівання циліндричного склопластику 60
Руднєв О.М., Базаря В.С. Проблеми моніторингу напружено-деформованого стану металоконструкцій вантажопідіймальних кранів і паспорти магнітного контролю..... 62
Мартовицький Л.М., Глушко В.І., Шаніна З.М., Гусев О.Л. Ризик-орієнтований підхід до створення вантажо-підйомних машин..... 63

Волков Г.П. Беззразкові методи оцінки механічних характеристик металів 64
Мартовицький Л.М., Сочава А.І., Глушко В.І., Шаніна З.М. Точність переміщення зливків металургійними кліщовими кранами 65
Носенко М.І. Вплив гарячої деформації на рівень механічних властивостей порошкового титану 66
Сочава А.І., Глушко В.І. Вплив концентрації напружень на механізм втоми металів в умовах асиметрії циклу 67
Руднєв О.М., Лятуринський В.О. Методи визначення напружень мостових кранів 67
Клименко Г.В., Лятуринський В.О., Сидоренко М.В. Вплив попереднього підігріву на післязварний стан поясного з'єднання коробчастої балки 70
Задоя Н.О. Формування зміцнюючої оболонки бака діафрагмового з застосуванням радіаційних методів твердіння 72
СЕКЦІЯ «ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ» 74
Широкобоков В.В., Чиженьков Є.Д. Дослідження технології виготовлення порожнистих деталей складної форми методами холодного видавлювання 74
Широкобоков В.В., Тимохін Д.Г. Дослідження вирубки-пробивки смуг великої товщини за допомогою традиційних і новітніх технологій 75
Бень А.М., Бровченко І.С. Вплив температури та швидкості деформації на характер плину металу при видавлюванні 76
Матюхін А.Ю., Жученко В.В. Огляд технологій виготовлення мітчиків способами обробки металів тиском 77
Ленок А.А., Виновець О.В. Методи вимірювання температури при згинанні труб 78
Бень А.М., Кіріченко Т.В. Методи отримання біметалів 80
Матюхін А.Ю, Лізогубов Д.В. Аналіз браку при виробництві сортового прокату та шляхи його подолання 81

Матюхін А.Ю, Семенюк А.А. Виготовлення деталей з заданою пористістю з порошків титану 83
Матюхін А.Ю, Панасейко М.О. Альтернативні способи виготовлення деталей з листової заготовки 84
Широкобоков В.В., Обдул В.Д., Дубина В.І. Необхідність регулювання питомого зусилля притискування під час процесу витягування 85
СЕКЦІЯ «ВИЩА МАТЕМАТИКА 87
Антоненко Н.М., Горбань А.М. Осесиметрична задача теплопровідності для двошарової плити з неідеальним тепловим контактом між шарами 87
Онуфрієнко В.М. Диферінтегральна модель гістерезисних (у просторі) та ередитарних (у часі) процесів механіки й електродинаміки 89
Онуфрієнко В.М., Слюсарова Т.І. Диферінтегральне рівняння Пуасона в задачах про розподіл заряду в шарах напівпровідної фрактальної структури 91
Онуфрієнко В.М., Онуфрієнко Л.М., Шама Є.О. Ередитарні властивості фрактального шару Гельмгольця 94
Килимник І.М., Яримбаш Д.С. Особливості застосування методів статичної оптимізації для визначення параметрів моделі Джилса Аттертона 97
Засовенко А.В. Динамічне деформування двох балок з зазором під дією поперечного навантаження 99
Шанина З.М., Засовенко А.В. Розподіл тисків на ділянках контакту з ґрунтом робочого органу 100
Сніжко Н.В. Внутрішньопредметні зв'язки в курсі вищої математики 101
Штефан Т.О. Математичне моделювання осаду циліндричних заготовок при горячому штампуванні 103
Фасоляк А.В. Математичне моделювання нестаціонарної динаміки циліндричної оболонки у пружному півпросторі. 104

П'янков В.П., Зіненко І.І. Дифракція хвилі H_{10}
на Е-площинному з'єднанні п'яти хвилеводів з круговою
вставкою 105
Сніжко Н.В. Узагальнені простори Гельдера функцій двох
змінних..... 108

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 621.01
Терещенко К.О.[1], Міроненко А.І.[1]
[1] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ПНЕВМО- ТА ГІДРОАБРАЗИВНА ОБРОБКА ВНУТРІШНІХ КУТОВИХ ПОВЕРХОНЬ ОТВОРІВ

Технологія фінішної обробки деталей незв'язаним (вільним) зернистим абразивом має безліч можливостей у порівнянні з відомими методами абразивної обробки. Особливо привертає увагу можливість обробки деталей малої жорсткості.

До деталей малої жорсткості відносять ряд тонкостінних легкодеформованих деталей з різних галузей виробництва, обробка яких жорстким інструментом призводить до втрати необхідної точності геометричної форми. Разом із тим, збільшення випуску товарів загального вжитку, що отримані пресуванням чи штампуванням, і відносяться до деталей складної конфігурації, значно пригальмовується через відсутність високопродуктивних методів отримання необхідної якості поверхонь, які підлягають в подальшому гальванічному покриттю чи лакофарбуванню. Значна частина з них мають внутрішні важкодоступні місця. Окрім того, заокруглення гострих кромок, видалення задирок чи зачищення зварювального шву на внутрішніх поверхнях також є не менш важкою і тому актуальною задачею для забезпечення високої продуктивності обробки.

Особлива увага при фінішній обробці приділяється внутрішнім поверхням некруглого, наприклад, еліптичного або прямокутного, перерізу.

Тому, неабияку увагу почали приділяти методам оздоблювальної обробки поверхонь деталей потоком вільного абразиву, які вже використовуються для обробки внутрішніх поверхонь круглого перерізу, наприклад, абразивно-струменева обробка, різновидом якого є вихро-струменева або турбоабразивна обробка [1,2] За допомогою створення (направленого під визначеним кутом до поверхні отвору) спиралевидного потоку повітря (або рідини) з абразивним наповнювачем, цей метод дозволяє обробляти наскрізні отвори середньо-габаритних та великих деталей типу тонкостінних валів.

Дослідження ефективності використання цього метода для деталей з наскрізними отворами некруглих перерізів, особливо квадратних, прямокутних тощо, є своєчасним в зв'язку з підвищення вимог до якості оброблених поверхонь.

При вивченні цього методу необхідно забезпечити стабільність та рівномірність обробки поверхонь, відсутність задирок, дефектів (рисок тощо) та мінімізація площі необроблених внутрішніх кутових поверхонь.

На етапі підготовки досліджень попередньо визначали режими, напрям, тиск, цільність потоку тощо за допомогою комп'ютерних пакетів, які мають гідро-, газодинамічний модуль.

В цілому метод показав великі перспективи при обробці внутрішніх поверхонь наскрізних отворів некруглих перерізів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кремень З. И. Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля / З. И. Кремень, М. Л. Миссарский, В. З. Гузель. – М. : НИИмаш, 1987. – 53 с.

2. Белецкий Д. Г. Основные параметры безэжеккционной гидроабразивной обработки. / Д. Г. Белецкий, В. Н. Жемчугов // Вестник машиностроения. – 1967. – № 5. – С. 53–56.

УДК 621.923.9

Шевцова Г.А.[1], Довганюк С.О.[2]
[1] студ. гр. Мз–119м НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М–119м НУ «Запорізька політехніка»

ВІБРОГАЛТОВКА ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ В РОТОРНИХ МАШИНАХ

Роторні віброгалтовочні машини на сьогоднішній день є найпоширенішими для оздоблювальної обробки поверхонь фасонних деталей складної геометрії. По всьому світу десятки тисяч установок працюють в таких різноманітних галузях промисловості, як автомобілебудування, авіакосмічна галузь, ювелірна, стоматологічна і ортопедична імплантація тощо. Зазвичай вони оснащені вібраційним двигуном, розташованим в центральному куполі технологічної чаші, де заготовки вільно падають в обробне середовище [1]. Ці стандартні пристрої відмінно підходять для обробки великих обсягів відносно невеликих та тонкостінних, але не дуже філігранних, заготовок.

Простим розміщенням віброприводу під технологічним барабаном або розмістивши одразу два вібраційних двигуна по боках контейнера, тобто без центрального купола, було створено нові можливості для обробки складних заготовок будь-яких розмірів, від дуже маленьких до дуже великих, які на теперішній час доводилося обробляти вручну. Наприклад, існує надвелика віброгалтовочна машина «DL», яка може обробляти заготовки діаметром до 1600 мм і вагою понад 2000 кг [2].

Нова концепція дала наступні технічні переваги, для деталей, які міцно закріплені на дні технологічної чаші:

а) тиск між середовищем і оброблюваною деталлю значно вище, що призводить до збільшення інтенсивності процесу на 30%;

б) засоби масової обробки однаково ефективні як для зовнішніх, так і для внутрішніх важкодоступних ділянок поверхні;

в) деталі міцно закріплені і не стикаються одна з одною під час процесу, не з'являються нові подряпини;

г) дуже тонкі, філігранні контури завжди залишаються непошкодженими;

д) більш висока інтенсивність обробки дозволяє використовувати менші за розміром носії (робочі тіла, наповнювачі).

Роторні віброгалтовочні машини без центрального купола відкрили зовсім нові можливості для механізованої обробки широкого спектру, що не тільки усунуло недоліки ручної обробки, а й забезпечило стабільні, абсолютно відтворювані результати фінішної обробки деталей з різних галузей промисловості; машини оснащують електромагнітними затискними пристроями для легкої фіксації заготовок на дні технологічної чаші, також робоче середовище може автоматично вивантажуватись з технологічного барабана для легкого вилучення готових деталей і розміщення нових, необроблених заготовок в машині.

Для одночасного очищення і зміцнення поверхневого шару суміш у віброгалтовочному пристрої може бути різною, наприклад – стальні кульки з наповнювачем – теплою водою, яка містить абразивну пасту для початкової галтовки, та для кінцевої – стальні кульки з наповнювачем – антикорозійною рідиною.

Цей метод можна використовувати для обробки багатьох видів деталей авіаційних двигунів, які зазвичай є тонкостінними та мають складну геометрично-просторову конструкцію, в тому числі великогабаритних деталей, які в більшості своїй обробляються вручну.

У багатьох областях застосування інноваційних роторних віброгалтовочних машин показало, що вони дають чудові результати оздоблювально-зміцнюючої обробки при незначних витратах, порівняно з ручною, яку вони поступово витісняють.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Metal Finishing News [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://www.mfn.li/links/

2. Mass Finishing Processes Explained [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://dryfinish.wordpress.com/2017/10/21/mass-finishing-processes-explained/

УДК 621.8:621.787
Гришин О.О.[1], Карцев Я.С.[1], Козлова О.Б.[2]
[1] студ. гр. М–119м НУ «Запорізька політехніка»
[1] доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Поверхневе пластичне деформування (ППД) - вид фінішної обробки, при якому не утворюється стружка, а відбувається пружньо-пластичне деформування поверхневого шару заготовки. Фінішна обробка деталей застосовується в багатьох галузях промисловості і її мета - зняття задирок, очищення, підвищення механічних властивостей деталей тощо. До основних методів обробки ППД відносяться: вигладжування; галтовка; накочення; обробка дробом; обробка механічною щіткою тощо [1].

В авіаційно-космічній галузі промисловості, через вимоги мінімізації маси виробів, широко поширені тонкостінні і складнопрофільні деталі, обробка яких є відповідальною і трудомісткою. Важливо враховувати матеріал деталі, рівень силового впливу на оброблювані поверхні, наявність важкодоступних місць для обробки; відсутність прижогів тощо. Найбільшого поширення при фінішній обробці складнопрофільних тонкостінних деталей отримали методи абразивної і ударної підгруп, які використовують нежорсткі, гнучкі або пружні інструменти, такі як абразивні еластичні круги, шкурки, абразивні стрічки, пелюсткові круги, інструменти на основі металевих і неметалевих волокон [2–4].

В роботі розглянуто технологічний процес виготовлення диска компресора авіаційного двигуна. Деталь тонкостінна і має пази типу «ластівчин хвіст», які є відповідальними поверхнями і, разом з тим, складнопрофільними. Фінішна обробка цих поверхонь виконується на завершальному етапі технологічного процесу. Запропоновано використання обробки пазів диска механічними щітками, це дає можливість оптимізувати процес слюсарної обробки і підвищити експлуатаційні характеристики деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 329 с.

2. Машиностроение : энциклопедия : в 40 т. / ред. совет : К. В. Фролов (пред.). – М. : Машиностроение, 2000. – Раздел III: Технология производства машин. Т. III-3: Технология изготовления деталей машин. – 2002. – 839 с.

3. Степанов Д. Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 1. – С. 121–125.

4. Богуслаев В. А. Финишные технологии обработки деталей ГТД / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. Д. Мозговой // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 1. – С. 71–78.

УДК 621.794.61
Бабіч Р.М.[1], Козлова О.Б.[2]
[1] студ. гр. М–119м НУ «Запорізька політехніка»
[2] доц. НУ «Запорізька політехніка»

АНОДНО-ІМПУЛЬСНЕ ОКСИДУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титан - хімічний елемент з порядковим номером 22, атомна вага – 47,88, легкий сріблясто-білий метал. Щільність $\rho = 4{,}51$ г/см^3, $t_{пл} = 1668 \pm 5$ °С, $t_{кип} = 3260$ С. Даний матеріал поєднує легкість, міцність, високу корозійну стійкість, низький коефіцієнт теплового розширення, можливість роботи в широкому діапазоні температур [1].

Титанові сплави відіграють велику роль в авіаційній техніці, де прагнуть отримати найбільш легку конструкцію в поєднанні з необхідною міцністю. Із них виробляють диски і лопатки компресорів, деталі повітрезабірників і напрямних, різні кріплення [1].

Але титан і його сплави відрізняються низькою зносостійкістю, що ускладнює їх застосування для деталей, що працюють в умовах фрикційного зносу. У різьбових з'єднаннях спостерігається задирання і наволакування металу. Титан недостатньо стійкий в деяких хімічних середовищах (розчини сірчаної, соляної, фосфорної кислот). Для усунення цих недоліків рекомендується застосовувати оксидні покриття. Тонкі оксидні плівки покращують фрикційні властивості, підвищують хімічну стійкість металу, змінюють забарвлення його поверхні. Плівки підвищеної товщини мають гарну адсорбційну здатність [2].

Оксидування титану здійснюється наступними способами: оксидування титану в розплавах солей; оксидування титану в кислотах; оксидування постійним струмом в сірчаної кислоти [3]. З розглянутих способів оксидування титану в розплавах солей дозволяє отримувати якісну анодну плівку на деталях, працюючих при підвищених температурах, а також в умовах агресивних середовищ. На підприємствах авіаційної промисловості дозволеним до застосування є спосіб анодно-імпульсного оксидування в кислотах [4].

Розглянуто технологічний процес обробки деталі «Прохідник», з матеріалу ВТ8. В технологічному процесі рекомендовано застосування методу хіміко-термічної обробки, а саме – оксидування. Використання даного методу дає можливість підвищити експлуатаційні характеристики цієї деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Титан свойства и применение [Электронный ресурс] // Раздел : Научно-техническая статья. – Режим доступа: https://www.metotech.ru/titan-opisanie.htm

2. Пивоваров А. С. Повышение надежности авиационных крепежных деталей из титановых сплавов путём анодного окисления. [Текст] / А. С. Пивоваров. – М. : 1977. – 23 с.

3. Аверьянов Е. Е. Справочник по анодированию [Текст] / Е. Е. Аверьянов – М. : Машиностроение, 1988. – 224 с.

4. Оксидирование титана в водных растворах [Электронный ресурс] // Розділ : Научнотехническая статья. – Режим доступа: https://publikacia.net/archive/2015/7/4/3

УДК 621.
Колодяжна А.А.
студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ УСТАНОВКИ ІНСТРУМЕНТА НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ПРИ НАЛАГОДЖУВАННІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Токарно – револьверні верстати з горизонтальною та вертикальною осями обертання револьверних головок дозволяють обробляти внутрішні і зовнішні поверхні обертання деталей різного класу. При необхідності обробки партії деталей такі верстати, як правило, забезпечують вищу продуктивність у порівнянні з універсальними верстатами, завдяки можливості роботи їх з лінійними і діаметральними упорами, установкою в револьверну головку большої кількості різальних інструментів та порівняно легкому керуванню і т.і.

Область використання токарно-револьверних верстатів –дрібно- та середньо-серійне виробництва, але при дотриманні певних умов їх експлуатують як в одиночному так і в багатосерійному виробництвах.

Відомо, що точність розмірів деталей, оброблених на металорізальних верстатах, залежить від ряду факторів випадкового чи систематичного характеру, серед яких можна вказати:

- похибку установки деталі
- жорсткість технологічної системи
- спрацювання різальних інструментів
- температурні деформації елементів технологічної системи
- точність виготовлення окремих вузлів а деталей верстат, у тому числі геометричну точність виготовлення напрямних
- спосіб і точність статичного і динамічного налагоджування металорізального верстата, а також численні інші фактори: точність заготовки, що надходить на обробку; рівномірність припуску, що знімається; незмінність механічних властивостей матеріалу в межах оброблюваної партії заготовок; температурні умови цеху; наявність адаптивних систем керування процесом обробки; точність вимірювання і т.і.

Необхідна точність обробки поверхні забезпечується в три етапи:

- установкою – включенням деталі в кінематичні і розмірні ланцюги технологічної системи;
- статичним налагоджуванням розмірних і кінематичних ланцюгів верстата, тобто налагоджуванням інструменту без робочих навантажень;
- динамічним налагоджуванням розмірних і кінематичних ланцюгів верстата, тобто налагоджування інструменту з урахуванням діючих у технологічній системі сил, що впливають на положення кромки різального інструменту у координатній системі верстата чи оброблюваної деталі.

Треба дослідити вплив способу встановлення інструмента, на верстаті та точність обробки деталі, приспускаючи під цим спосіб завдання положення різальної кромки інструмента, у координатній системі верстата в процесі обробки кожної чергової деталі в партії. В цому розумінні налагодження токарних і токарно-револьверних верстатів найчастше здійснюється методом пробних стружок з наступною обробкою партії деталей (чи навіть однієї деталі) по лімбу. Налагодження токарно-револьверних верстатів (а точніше, його упорів) здійснюється як методом пробних стружок так і з використанням лімба з наступною обробкою партії деталей по налагоджуваних упорах з вибірковим контролем в процесі обробки. При будь-яких відомих способах налагодження похибка виготовленої деталі містить усі перераховані випадкові і систематичні фактори.

Варто враховувати, що такі фактори, як спрацювання інструмента і температурні деформації в технологічній системі не встигають себе виявити в достатньому ступені, якщо є обмежена кількість деталей (малий обсг вимірки). Крім того, при дотриманні всіх умов зміна жорсткості технологічної системи при різних варіантах кріплення інструмента залежить, головним чином, від самого інструменту і способу його установи.

Таким чином, вплив усіх випадкових і систематичних факторів, крім способу визначення положення різальної кромки інструмента, в координат-

ній системі верстата, якщо не виключена повністю, то зведена до мінімуму, і точність обробки деталей залежить від схеми завдання положення різальної кромки різця в координатній системі верстата. На практиці більш широке застосування знайшла схема, яка забезпечує більшу жорсткість кріплення інструмента, що дуже важливо при виконанні чорнових операцій. Однак при виконанні чистових операцій, варто рекомендвати іншу схему установки інструмента, яка забезпечує його більш точне положення відносно деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Базров Б. М. Основы технологии машиностроения / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с.

УДК 621.9
Дядя С.І.[1], Аристов В.Е.[2], Новіков В.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕТАПІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Виробляти якісну продукцію в стислі терміни і з мінімальними витратами – завдання, яке доводиться вирішувати всім промисловим підприємствам. Однак виробничі потужності практично будь-якого вітчизняного машинобудівного підприємства не дозволяють виготовляти конкурентоспроможну продукцію через велику тривалість процесів розробки виробів і технологічної підготовки їх виробництва. Як правило, це обумовлено серйозними витратами при передачі конструкторсько-технологічної інформації про вироб, що розроблюється, і при її пошуку і зберіганні. Все це ускладнюється багатоступінчастою процедурою передачі даних в інші підрозділи, які беруть участь в процесі розробки. Повно і якісно вирішити ці проблеми дозволяє перехід на використання комплексної автоматизованої системи розробки продукції - від дизайну, проектування та виробництва і до сервісного обслуговування з використанням інформаційних технологій у вигляді спеціалізованих програм. Але в цій системі, з урахуванням особливостей сучасного виробництва, для якого є часта зміна об’єктів виробництва, актуальним є уніфікація технологічних процесів. Для вирішення цієї задачі пропонується використання групових технологій, в основі яких лежить розподіл за видами оброблюваних поверхонь деталей, на підставі методу їх кодування з урахуванням точності. Це дозволить в автоматизованому режимі шляхом вибору кодів відповідно до креслення деталі автоматично отримувати технологічний процес її виготов-

лення. При цьому в програмному продукту додаються такі опції, як кодування, збереження інформації і контроль результатів кодування. Розробка систем кодування попередньо починається з проведення аналізу та класифікації деталей. Все це в цілому, незважаючи на витрати на підготовчому етапі, дозволить скоротити до 70% часу при розробці нових технологічних процесів за рахунок збільшення швидкості проектування при одночасному поліпшенні якості. Застосування розробленого методу кодування деталей також дозволяє в автоматизованому режимі обирати технологічну оснастку для закріплення деталі на верстаті.

УДК 621.762.4:620.18.539.4
Прусенко О.О.[1], Степанов Д.М.[2]
[1] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО ТА ГАРЯЧОГО ІЗОСТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКОВОГО ТИТАНУ

Титан використовують в авіації, автомобілебудуванні, енергетиці та інших галузях промисловості. Це обумовлено його унікальними властивостями: легкістю, міцність, корозійною стійкістю та ін. Титанові сплави є перспективним матеріалом для багатьох областей застосування і мають потенційні можливості їх широкого використання для виготовлення деталей машин.

Було виготовлено дві партії заготовок, які оброблювались за різною технологією холодного формування. Заготовки першої партії на стадії холодного пресування отримали наступним чином. В гумову оболонку діаметром 430 і висотою 1800 мм, розміщену в перфорованій склопластиковій обоймі засипався шар піску товщиною 30…50 мм і встановлювалась технологічна обичайка діаметром 320 і висотою 2000 мм. Простір між гумовою оболонкою і обичайкою заповнювався піском, а внутрішня порожнина обичайки сумішшю шихти заданого складу. Встановлено, що використання дуже великої шихти не перешкоджає отриманню вихідних пресовок з точністю достатньою для подальших операцій.

Друга партія заготовок виготовлялась за результатами випробувань першої. Було враховано, що в багаточислених заглибленнях на поверхні заготовок після ГІП залишалась велика кількість піску, який не вдавалось видалити галтовкою і дробоструменевою обробкою. Тому технологія гідростатичного пресування була відкоректована таким чином, щоб повністю виключити забруднені поверхні шарів заготовки піском на стадії холодного пресування, коли вона має пористість перевищуючу 50%.

Проведено дослідження термомеханічних режимів ГІП. Встановлено, що в інтервалі температур 300 – 500°С слід сповільнювати швидкість нагріву, так як при цих температурах йде інтенсивне виділення газів, зокрема водяного пару, котрий надалі конденсується у картері вакуумного насосу. У випадку швидкого досягнення температури 500°С і подальшого нагріву стається поглинання газу та вологи титаном та таким чином його забруднення. У зв`язку з цим представляє інтерес випробування ефективності додаткової операції вакуумної дегазації заготовок після холодного пресування при температурі 900 - 950°С, яка крім видалення вологи може також додатково знизити утримання в електроді хлоридів, що позитивно позначається в процесі плавки.

Досліджено властивості заготовок після ГІП. Заготовки були розрізані і очищені від піску галтовкою або дробоструменевою обробкою. Результатом досліджень стало те, що з ростом температури ГІП підвищується щільність і твердість заготовки, при чому по мірі росту твердості збільшується її розкид по перерізу. Оскільки підвищення температури ГІП дає як позитивний ефект – зростання ударної в'язкості так і негативний – зростання твердості, доцільно уточнити її оптимальне значення. Для виробів, які будуть експлуатуватись у стані після ГІП чи ГІП і термообробки, температуру ГІП слід збільшити. Для виробів, що підлягають наступній гарячій пластичній деформації, вірогідно, слід обмежити температуру ГІП, щоб знизити твердість.

Створено технологію виготовлення експериментальних партії заготовок. Уточнені конкретні параметри холодного та гарячого пресування і нагріву заготовок в залежності від властивостей вихідної шихти. Встановлені вимоги до вихідної шихти.

УДК 621.7
Пухальська Г.В.[1], Коржакова А.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Мз-119м НУ «Запорізька політехніка»

3D–ПРИНТЕРИ В АВІАЦІЇ

Впровадження тривимірного друку – важливий етап у розвитку авіабудівної галузі. Адитивне виробництво розглядається, як альтернатива фрезеруванню, штампуванню і литтю. Використання 3D–принтерів і об'ємного сканування дозволить полегшити літальний апарат, а значить, скоротити витрати на паливо і матеріали.

Селективне лазерне спікання – це метод адитивного виробництва, який полягає в спіканні дрібнодисперсного порошкового (зазвичай, металевого) матеріалу за допомогою лазера. Воно є найбільш швидким і економним.

У науковій лабораторії Airbus створили безпілотний літальний апарат, надрукований на 3D принтері. Чотирьохметровий літак успішно піднявся в повітря і подолав 40 кілометровий маршрут з Гамбурга в Штада, де здійснив посадку на заводі компанії [1]. 3D друк вже використовується в серійних літаках Airbus. У широкофюзеляжних лайнерах A350 встановлюється надрукований кронштейн в складі пілона двигуна. Деталь виготовляється з титанового порошку [1]. Серійне виробництво планується почати в 2019 році після завершення процесу сертифікації. Очікується, що перший вал блокування дверей, надрукований на 3D-принтері, підніметься в повітря на A350 вже в 2020 році [2]. Виробник авіадвигунів Safran Helicopter Engines в 2017 році представила лінійку газотурбінних двигунів Aneto [1].

У процесі складання використовуються компоненти, зроблені методом тривимірного друку - впускні напрямні лопатки і обертається камера згоряння. Компанія налітала 25 годин, 35 раз підняв машини в повітря, - проблем не виявлено! У компанії відзначають, що моделям Aneto потрібно менше технічного обслуговування. Система моніторингу дозволяє інженерам стежити за станом двигуна та надає додаткові елементи контролю. Спільно з компанією Burloak, Safran займеться 3D-печаткою деталей систем посадки. Прототип стандартного корпусу скоби гальма, виготовлений компаніями-партнерами, вже можна побачити на виставці авіабудування Paris Air Show [3].

У кожному пасажирському літаку Boeing 787 є близько 30 деталей, надрукованих на 3D-принтері. У сукупності суду повітряного флоту Boeing Commercial Airplanes (реактивні авіалайнери і бізнес-джети) містять 25 000 друкованих деталей. Перший політ літака Boeing 787 з 3D-друкованими деталями транслювався в прямому ефірі на спеціальному веб-сайті. Спільна розробка Boeing і GE підтверджує ефективність і доцільність використання технологій адитивного виробництва в авіакосмічній галузі.

За рахунок використання адитивних технологій, в точності використання 3D принтера, значно знижується маса деталі. Це доводить те, що в сучасному світі вигідніше використовувати деталі надруковані на 3D принтері, так як вони є більш економічними і вимагають менше витрат на виготовлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D печать в авиастроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://make-3d.ru/articles/3d-pechat-v-aviastroenii/

2. Детали для самолетов Airbus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://biz.liga.net/ekonomika/transport/novosti/detali-dlya-samoletov-airbus-nachali-pechatat-na-3d-printere

3. 3D-печать в создании самолета Boeing 787 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/494228/

УДК 621.7-4
Пухальська Г.В.[1], Нежура С.І.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В АВІАБУДУВАННІ

Головною особливістю створення конструкції з композитних матеріалів, на відміну від традиційного використання металів, є те, що процес проектування виробу починається зі створення самого матеріалу. При цьому властивості матеріалу формуються в процесі виробництва конкретної конструкції. Таким чином, конструювання матеріалу, проектування самої конструкції і розробка технологічного процесу виготовлення - це єдиний взаємопов'язаний процес, в якому кожна зі складових доповнює і визначає інші.

Мінімальна маса конструкції планера є одним з основних критеріїв, що визначають досконалість конструкції літака. Його реалізація залежить від правильності вибору матеріалів, конструкції агрегатів з композиційних матеріалів та їх параметрів. При зниженні маси конструкції за рахунок застосування композиційних матеріалів підвищується економічна ефективність літака.

Використання силової частини конструкції планера пасажирського літака полімерних композиційних матеріалів дозволяє не тільки знизити масу планера, а й підвищити його аеродинамічну досконалість. Зростання аеродинамічної якості і крейсерського числа Маха забезпечується за рахунок оптимальних значень проектних параметрів крила, тобто подовження, стрілоподібності і відносної товщини його профілю, що недосяжно для металевої конструкції.

Так, для крил з подовженням $\lambda = 9 \sim 10$ (Ту-204, Boeing 737, Airbus A320) використовується алюміній з модулем пружності $E = 72$ ГПа. Для крила з подовженням $\lambda = 11 \sim 12$ використання алюмінію веде до додаткового збільшення ваги за рахунок необхідності підвищувати згинальну жорсткість крила. Ось чому для крила з подовженням $\lambda > 10$ слід використовувати матеріал з великим модулем пружності. Вуглепластик дозволяє отримати необхідну жорсткість крил за рахунок більшого модуля пружності $E > 100$ ГПа (для готової конструкції).

Частка використання композиційних матеріалів в конструкції сучасних магістральних літаків досягає 50%. Наприклад, на літаках Boeing 787 Dreamliner і Airbus A350 композиційні матеріали використовуються в конструкції крила, центроплана, фюзеляжу і хвостового оперення. На літаку но-

вого покоління Sukhoi Superjet 100 з композиційних матеріалів виконані агрегати механізації крила, кермові поверхні, стулки шасі і обтічники. Компанією ЗАТ «Цивільні літаки Сухого» ведеться робота по збільшенню частки використання композиційних матеріалів в конструкції планера літака, в тому числі в конструкції крила і центроплана. Очікується, що широке застосування композиційних матеріалів сприятиме:

- зниження ваги планера літака до 15%;
- підвищення паливної ефективності;
- підвищення ресурсу;
- зменшення експлуатаційних витрат до 10% і витрат на технічне обслуговування до 30% (так як потрібна менша кількість оглядів конструкції) за рахунок більшої корозійної стійкості і більшого ресурсу композиційних матеріалів в порівнянні з металами;
- зменшення кількості деталей в конструкції і, відповідно, зниження трудомісткості і вартості збірки.

Модернізація промисловості, оновлення продукції підприємств неможливі без використання нових матеріалів, технологій їх виробництва і застосування, підготовки кваліфікованих інженерних кадрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солошенко В. Н. Композиты в авиастроении. Опыт применения [Электронный ресурс] / В. Н. Солошенко // Линия полета. – 2013. – № 82. – Режим доступа: http://www.spblp.ru/ ru/magazine/82/183

2. О будущем авиационного двигателестроения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vpk.name/news/85278_o_budushem_aviacionnogo_dvigatelestroeniya.html

УДК 66262-1/-9

Пухальська Г.В.[1], Порвін І.Е.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ЛАЗЕРНЕ МАРКУВАННЯ

Маркування деталей і вузлів, займає одне з найважливіших місць у сучасному виробництві. Відсутність маркування ускладнює, а в ряді випадків робить неможливим контроль якості та обсягу продукції, що випускається. Маркування використовується виробником для просування його торгової марки, а споживачеві гарантія якості та джерело інформації про параметри продукції. Усе це вимагає від виробника постійного вдосконалення методів

маркування, які насамперед не впливають на властивості деталей і виробів [1].

Незважаючи на різноманіття лазерів, було розглянуто 2 основних типу сучасних лазерних комплексів для маркування, такі як: відпаяні CO2 лазери з високочастотним накачуванням, і твердотільні лазери, які мають дійсне комерційне застосування. Відпаяні CO2 лазери з високочастотним накачуванням це основні типи випромінювачів для маркованих систем на базі CO2 лазерів, мають невеликі габарити, легко вбудовуються в різні системи, а також зручні в управлінні і потужність випромінювання (100-200Вт). У CO2 лазерах імпульси випромінювання формуються за допомогою широтно-імпульсної модуляції так, що рівень імпульсної потужності не може перевищувати потужність безперервного випромінювання. Інші типи CO2 лазерів (більш потужні), не застосовуються в маркувальних системах через великі габарити, і високу вартість. Зважаючи на такі обмеження CO2 лазери використовують здебільшого для маркування неметалічних матеріалів, або металів з неметалічним покриттям (забарвлених, анодованих і ін.). Приклад найпоширенішої системи на базі CO2 лазерів, верстати типу "С-Маркер" [2, 3].

Твердотільні лазери відрізняються від CO2 тим, що за рахунок своєї модуляції добротності можуть генерувати потужні імпульси високої частоти, при низькій середній потужності випоромінювання, даючи щільність потужності випромінювання в зоні контакту. Ці параметри впливають на інтенсивний вплив випромінювання лазеру на матеріал при мінімальному його нагріванні. Це дозволяє використовувати цей тип лазерів для маркування металів, тугоплавких сплавів і сталі [2].

Лазерне маркування – перспективний і динамічно ровиваючий напрямок. Прогрес у області електроніки і програмного забезпечення істотно підвищує конкурентоспроможність лазерних методів маркування в порівнянні з традиційними методами маркування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазерная технология и анализ материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.studmed.ru/view/dyuli-u-lazernaya-tehnologiya-i-analiz-materialov_f3488661fe4.html

2. Голубев В. С. Лазерная техника и технология : монография / В. С. Голубев, Ф. В. Лебедев, А. Г. Григорьянц. – Машиностроение : Высшая Школа, 1987. – 176 с.

3. Горный С. Г. Лазерная маркировка материалов / С. Г. Горный, К. В. Юдин // Индустрия. – 2006. – №1 (43). – С. 20–21.

4. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://baumanpress.ru/books/70/70.pdf

УДК 621
Пухальська Г.В.[1], Федченок К.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Технологічний процес не стоїть на місці, з кожним днем відбувається удосконалення цифрових технологій, що дозволяє використовувати нововведення в різних сферах життя людини. Адитивні технології - одні з найбільш передових і затребуваних у всьому світі. Однією з таких технологій є селективне лазерне плавлення (selective laser melting - SLM).

Особливістю процесу лазерного синтезу за технологією SLM є те, що при побудові деталі лазерний промінь не тільки сплавляє частки порошку, формуючи тіло деталі, але і «псує» матеріал, що безпосередньо прилягає до поверхні деталі, що будується. Тому в практиці роботи з SLM-машинами застосовують методи просіювання відпрацьованого матеріалу з метою видалення «бракованої» частини з подальшим перемішуванням порошку, що «працював» зі свіжим. Таким чином, ідентичність зразків, побудованих на одній машині, з одного і того ж порошку, але з урахуванням цих нюансів, також не гарантована [1].

При пошаровому створенні деталі виникає так званий step-ефект, який впливає на якість поверхневого шару (рис.1). Він має негативний вплив на якість поверхневого шару, точність отриманих деталей 50 мкм.

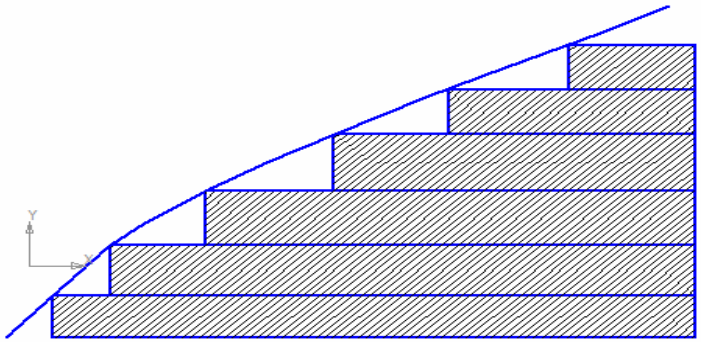


Рисунок 1 – Step-ефект.

Для отримання необхідної якості поверхні використовують такі методи фінішної обробки:

- піскоструминна і гідроабразивна обробка потоком бомбардує поверхню заготовки абразивними частинками, які приводилися в рух з сопла з використанням стисненого повітря або води;

- обробка абразивним потоком, або абразивно-екструзійна обробка, - це процес, що полягає в екструзії уздовж оброблюваних поверхонь в'язкопружних робочих середовищ, наповнених абразивними зернами, який дозволив істотно розширити технологічні можливості обробки важкодоступних поверхонь.

Також однією з невирішених проблем адитивних технологій є забезпечення належної мікроструктури синтезованого матеріалу та усунення пористості. У ряді досліджень показано, що пористість залежить як від матеріалу, так і від параметрів режиму сплаву. Наприклад, для алюмінієвих сплавів пористість може досягати 4 ... 5%, для сплавів Ti – до 2%, тоді як для сталей - менше 0,2%. Для усунення внутрішньої пористості для особливо відповідальних деталей застосовують спеціальні методи термічної обробки та обробки тиском, включаючи HIP (Hot Isostatic Pressure) - гаряче ізостатичне пресування [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – СПб.: СпбГУ, 2013. – 221 с.

2. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс] / В. М. Довбыш, П. М. Забеднов, М. А. Зеленко. – Режим доступа: http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524 bAT_etall.pdf.

УДК 621.7.011

Фірсов С.С.[1], Логомінов В.О.[2]
[1] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. тех. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титан і його сплави знайшли широке застосування в техніці завдяки своїй високій механічній міцності, яка зберігається при високих температурах, корозійної стійкості, жароміцності, питомої міцності, малої щільності та іншим корисним властивостям. Титанові сплави відіграють велику роль в авіаційній техніці, де прагнуть отримати найбільш легку конструкцію в поєд-

нанні з необхідною міцністю. Титан легкий в порівнянні з іншими металами, але в той же час може працювати при високих температурах. З титанових сплавів виготовляють обшивку, деталі кріплення, силовий набір, деталі шасі, різні агрегати. Також дані матеріали застосовуються в конструкціях авіаційних реактивних двигунів. Це дозволяє зменшити їх масу від 10 до 25%. З титанових сплавів виготовляють диски і лопатки компресора, деталі повітрязабірника і направляючого апарату, кріплення [1,2].

Загальні режими різання титанових сплавів визначаються властивостями титану. При обробці титану спостерігається значно менша площа контакту між стружкою і інструментом, ніж при обробці сталей. В результаті контактний тиск збільшується і теплота тертя ковзання стружки по різцю концентрується на меншій площі. Титан має дуже низьку теплопровідність, це призводить до надзвичайно високих температур інструмента, особливо в області контакту зі стружкою. Якщо при різанні сталі в контактній області температура досягає 300-350ºС, то при різанні титанових сплавів в тих же умовах температура перевищує 1100-1200°С. З підвищенням швидкості різання температура в контактній області може підвищитися ще вище. Це призводить до перегріву стружки, її сильному окисленню, іноді займанню. Тому для титану використовують відносно невисокі швидкості різання від 5 до 80 м/хв [3].

Коли титанова стружка проходить над інструментом при таких високих температурах відбувається легування стружки матеріалом інструмента. Сплав видаляється зі стружкою і в результаті цього підвищується знос інструмента, затупляються його ріжучі кромки. В області контакту стружки з передньою поверхнею інструмента стружка може приварюватися до ріжучої кромки інструмента, утворюючи наріст. В результаті ускладнюється обробка деталі стає через зміну геометрії ріжучої кромки утвореним наростом.

З метою зменшення зносу поверхні інструмента, запобігання налипання і приварювання до нього титану при різанні слід вживати активних заходів для зниження температури на робочій кромці інструмента.

Можна підвищити температуру оброблюваного металу до 300-400 °С. При цьому у більшості титанових сплавів опір зрушенню знижується майже в 2 рази при незначному окисленні, в'язкість стає трохи нижче, ніж при кімнатній температурі, і опір різанню різко зменшується, що дозволяє підвищити швидкість різання в декілька разів.

Інший шлях зниження температури в осередку різання – інтенсифікація відводу тепла або охолодження різця. В якості змащувально-охолоджуючих середовищ використовують сульфуризовані та розчинні масла, вуглекислоту (сухий лід), а також аерозолі води і масел, що мають високу охолоджуючу здатність. Однак забруднення стружки охолоджуючими матеріалами обмежує її застосування в якості шихти або викликає необхідність використання

травлення або знежирення. Тому часто при різанні використовують охолодження повітрям або аерозолями води.

Різання рекомендується проводити інструментом з твердосплавними пластинками зі сплавів типу ВК3, ВК4, ВК8. Через хімічну активність титанових сплавів для їх обробки не використовують титановмісні тверді сплави марок Т5К10, Т15К6 тощо [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трудности обработки титана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tochmeh.ru/info/obrtit.php.

2. Основные сведения о титане и его сплавах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.metotech.ru/titan-opisanie.htm#

3. Илларионов А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137 с.

УДК 621.9
Дядя С.І.
канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ НА СПАДКОВІСТЬ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ КІНЦЕВОМУ ЦИЛІНДРИЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

В основі технології виготовлення будь-яких деталей лежить усунення похибок, які мають заготовки, щодо точності розмірів та форми. Кожна з похибок у вигляді спадковості переноситься з першого переходу технологічного процесу на останній. При цьому, в залежності від кількості переходів, вона зменшується до величини, що зазначена у кресленні. Це повязано з тим, що процес формоутворення різанням супроводжується різними пружними відтисканнями через зміну товщини шару, що зрізається. На кожному наступному переході технологічного процесу величина відтискань від діючої сили зменшується і точність деталі підвищується. Кількість переходів, що необхідні для отримання з заготовки деталі потрібної точності, може бути розрахована завдяки наявності інформації про спадковість. Але при цьому недостатньо дослідженним є вплив поверхні різання на спадковість оброблюваної поверхні при кінцевому фрезеруванні через дію коливань. Завдяки проведеним дослідженням встановлено, що за видами коливань, які виникають при кінцевому фрезеруванні, виділяють пять швидкісних зон [1]. Спадковість від форми поверхні різання в кожній зоні передається на оброблену поверхню.

Якщо в перших двох зонах поверхня різання відповідає руху зуба інструменту по дузі окружності, то і западини, що залишаються на обробленій поверхні мають однакову глибину. Зі збільшенням частоти обертання шпинделя при переході до третьої швидкісної зони при фрезеруванні виникають інтенсивні автоколивання і поверхня різання має хвилястий профіль, який характеризується кроком хвилястості. Як спадковість, ця хвилястість переноситься на оброблену поверхню. При цьому крок та висота хвилястості на ній зі збільшенням швидкості різаня зростає, тому що зростає крок хвилястості на поверхні різання, як при зустрічному фрезеруванні, так і при попутному.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дядя С. И. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей [Текст] / С. И.Дядя, Е. Б. Козлова, Э.В. Кондратюк и др. // Вестник двигателестроения. – 2016. – № 1. – С. 68–71.

УДК 621.914.1
Гермашев А.І.[1], Логомінов В.О.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Високошвидкісне кінцеве фрезерування (ВШФ) є одним з видів так званої високошвидкісної обробки (ВШО). Фізичні принципи на яких базується процес ВШО базується на залежності температури від швидкості обробки. В 30-х роках XX сторіччя доктор Carl J Salomon [1] встановив для деяких кольорових металів швидкості різання, при перевищенні яких температура не збільшується, а навпаки зменшується, що позитивно впливає на стійкість інструменту. Для кожного матеріалу оптимальна швидкість різання своя. Так для алюмінію вона становить понад 1000 м/хв, а для нікелевих важкооброблюваних сплавів – усього 50 м/хв.

ВШФ має ряд істотних переваг перед традиційним фрезеруванням [2]:

– інтенсифікація процесу обробки, збільшення його продуктивності;

– підвищення якості обробки;

– ефективне використання сучасних верстатів з ЧПК;

– значне зменшення зусиль різання, що особливо важливо при обробці нежорстко закріплених і тонкостінних деталей;

– можливість обробки загартованих сталей, що неможливо для традиційного фрезерування.

Режими ВШФ повинні вибиратись з урахуванням динамічної сталості технологічної системи. В іншому випадку є висока ймовірність появи вібрацій, що негативним чином позначиться на якості обробки і стійкості інструмента. На сьогодні дослідниками розроблено чимало методик визначення вібросталих режимів обробки. Більша частина з них включає в себе побудову так званих пелюсткових діаграм сталості [3].

Основні етапи визначення режимів обробки за цією методикою:

– визначення динамічних характеристик технологічної системи;
– отримання коефіцієнтів сил фрезерування;
– побудова пелюсткової діаграми сталості;
– визначення оптимальних режимів фрезерування з діаграми.

Крім вищезазначених етапів технологу необхідно визначити метод обробки, геометрію і матеріал інструмента. Якщо оброблювана деталь має складну геометрію необхідно ще розрахувати траєкторію руху інструмента, в кожній точці якої може бути своя геометрія різання.

Все вищезазначене ускладнює процес визначення режимів високошвидкісного фрезерування і робить його багатоітераційним.

З метою зниження часу розробки технологічних процесів високошвидкісного фрезерування авторами пропонується розробити систему визначення вібросталих режимів обробки, одним із компонентів якої є програмний модуль, який інтегрується в одну з широковідомих CAD/CAM систем Siemens NX.

Розрахунок режимів різання здійснюється в три етапи. На першому - потрібно вибрати метод обробки. Модулі програми дозволяють розрахувати діаграми вібросталості для визначення стабільних умов різання в умовах класичного фрезерування (в зоні різання завжди знаходиться один і більше зубів фрези). Для випадку переривчастого різання слід вибирати метод контурного фрезерування.

Наступним кроком є введення геометричних параметрів і матеріалу фрези, значень радіальної і осьової глибин різання, кута нахилу інструменту, оброблюваного матеріалу, подачі на зуб, виду обробки: чорнова, напівчистова або чистова.

На наступному етапі проводиться введення динамічних характеристик технологічної системи. Для введення параметрів системи може бути використаний як ручне введення частоти власних коливань, коефіцієнта демпфування і жорсткості, так і завантаження сигналу з вимірювальної апаратури, яка виконує діагностику деталі і / або інструменту і являє вимірювальний комплекс, який складається зі спеціального ударного молотка з закріпленим на ньому акселерометром, індуктивного датчика для реєстрації коливань деталі або інструменту, підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, і програмного забезпечення.

Після виконання вищевказаних кроків програма здійснює розрахунок пелюсткової діаграми сталості. Швидкісні діапазони з максимальною товщиною стружки і визначають найкращі умови високошвидкісного фрезерування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 523594 Німеччина, B23C1/00 Verfahren zur Bearbeitung von Metallen oder bei einer Bearbeitung durch schneidende Werkzeuge sich aehnlich verhaltenden Werkstoffen / Carl Salomon; заявник і патентовласник Krupp Stahl AG. –опубл. 04.1931.

2. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве / А Степанов // CAM/CAE Observer. – 2003. – № 4. – С. 2–8.

3. Munoa J. Chatter suppression techniques in metal cutting / J. Munoa, X. Beudaert, Z. Dombovari, Y. Altintas, E. Budak, C. Brecher, G. Stepan // CIRP Annals. – 2016. – Vol. 65. – Issue 2. – P. 785–808.

УДК 621.45.037:620.22

Пухальська Г.В.[1], Бондаренко Р.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СКЛАДОВИХ АВІАДВИГУНІВ

У наші часи виготовлення авіадвигунів є складним, часотривким процесом. При конструюванні кожної нової моделі двигуна інженери намагаються підвищити ККД, зменшити використання палива при підвищенні потужності , підвищити жаростійкість окремих вузлів тощо.

У даній роботі мова йде про компресори високого тиску, які працюють при вискоких температурах. Для підвищення ККД даного пристрою використовують жаротривкі сплави на нікелевій або титановій основах, температурний вплив на які є мінімальним. Але вони не позбавлені недоліків. Наприклад, використання сплавів на основі нікелю є найбільш дешевим варіантом, але в свою чергу це призводить до збільшення ваги компресора та зниженні технологічності з огляду на погану оброблюваємість, окрім цього це негативно позначається на використанні палива. Сплав на основі титана є більш жаротривким, має кращі характеристики міцності та низьку питому вагу, однак технологія отримання цих сплавів є більш важкою та дорожчою [1].

Для позбавлення приведених вище недоліків вчені розробляють та аналізують нові перспективні матеріали для використання їх в газотурбінних

двигунах. Наприклад, сплав на основі інтерметалідів системи Ti-Al (алюмініди титану). Цей жаротривкий сплав має низку унікальних якостей: висока температура плавлення, низька щільність, високі модулі пружності, зростання межі текучості (для TiAl) з підвищенням температури, стійкість до окислення і загоряння, високе співвідношення міцності до щільності. Завдяки цим перевагам ці сплави є досить привабливими що до використання їх в авіакосмічній галузі. А саме застосування їх не тільки для покращення технологічних якостей двигунів або створення двигунів нового покоління, а навіть використання у таких частинах літаків, космічних апаратів, як: елементи обшивки двигунів, елементи корпусів, лопаток, турбін, компресорів високого тиску тощо. Застосування деталей з інтерметалідів титану в газотурбінному двигуні замість застосовуваних матеріалів знизить загальну масу двигуна і збільшить його силові, тягові характеристики [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павленко Д. В. Перспективные материалы и технологии для деталей ротора компрессора ГТД : монография / Д. В. Павленко, Т. И. Прибора, В. Ю. Коцюба, С. Н. Пахолка. – Запорожжье : ЗНТУ, 2017. – 128 с.

2. Григоренко С. Г. Интерметаллиды титана. Особенности, свойства, применение : монография / С. Г Григоренко, Г. М. Григоренко, О. М. Задорожник. – К. : Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН, 2017. – 58 с.

УДК 621.91.01
Мігур Ю.І.[1], Вишнепольский Є.В.[2]
[1] студ. гр. М-119м НУ «Запорізька політехніка»
[2] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ТОЧНІСТЬ ЛЕЗВІЙНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ КІЛЕЦЬ

Основними завданнями технічного прогресу, що стоять перед машинобудуванням, є підвищення продуктивності та зниження собівартості виготовлення деталей.

Головна і основна проблема полягає в наявності підвищених вимог при механічній обробці деталей авіаційних двигунів, які зумовлюють високу вартість як серійного виготовлення, так і на стадії технологічної підготовки виробництва. Характерними особливостями більшості деталей авіаційних двигунів є мала жорсткість і складна геометрія, що пояснюється прагненням до зниження їх маси за умови збереження експлуатаційних характеристик. Крім традиційно дорогих і складних у виробництві деталей газового

тракту високу вартість в сучасних авіаційних двигунах набувають і корпусні деталі, що мають форму великогабаритних тонкостінних кілець.

Основними труднощами при механічній обробці розглянутого типу деталей є відгин стінки кільця під дією сили різання, а також незадовільна якість обробленої поверхні. У порівнянні з деталями іншого типу, тонкостінні деталі мають схильність до появи при лезвійній обробці пластичних деформацій, які в значній мірі ускладнюють процес їх виготовлення. Застосування спеціального оснащення, яка жорстко фіксує тонкостінні елементи, дозволяє поліпшити якість оброблюваної поверхні, але часто не дозволяє забезпечити задану точність обробки. Як правило, це виражається в релаксації залишкових напружень, яка призводить до втрати форми і геометричних розмірів обробленої поверхні після зняття обробленої деталі з такого пристосування.

Визначення конструктивних критеріїв, які в більшій мірі впливають на жорсткість тонкостінної деталі великого діаметру, дозволяє оперативно оцінити технологічність вироби з точки зору досяжної точності його механічної обробки. Жорсткість - здатність вироби чинити опір дії зовнішніх навантажень з деформаціями, допустимими без порушення їх працездатності.

В якості досліджуваного матеріалу була прийнята конструкційна високолегована сталь 07Х12НМБФ-Ш ТУ 14-1-2271-77, яка часто застосовується при виготовленні даних типів кілець в двигунах. Оскільки кільце є тілом обертання, то в якості методу лезвійної обробки деталей подібної конструкції, як правило, застосовується токарна обробка. При цьому величина сили різання на чистових режимах обробки складає близько F = 1000 Н. Аналіз конструкторської документації розглянутої групою деталей нових авіаційних двигунів середньої розмірності показав, що величина товщини стінки для них варіюється в межах 0,7-2,2 мм, висоти стінки – 20-80 мм, діаметра – 400-1450 мм. Зазначені значення та інтервали були прийняті в якості вихідних даних і граничних умов при моделюванні статичного силового впливу при механічній обробці.

При токарній обробці корпусних кілець з різними діаметрами, товщиною і висотами тонкостінних елементів, найбільше відхилення буде мати деталь з найбільшою геометричною піддатливістю тонкостінного елемента.

При обробці тонкостінних заготовок великого діаметра для зниження сил різання і, відповідно, зменшення величин відгину деталі рекомендується використовувати менший радіус ріжучої кромки пластини, гостру геометрію ріжучого клину тощо.

Оцінка геометричній податливості відповідальних елементів великогабаритного тонкостінного кільця на основі моделювання дозволяє оцінити технологічність конструкції з точки зору лезвійної обробки вже на стадії технологічної підготовки виробництва і вжити відповідних заходів для виключення браку.

СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ»

УДК 621.941.1
Циганов В.В.[1], Яровая Н.С.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-219м НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ МОР З ПОЛІМЕРНИМИ ПРИСАДКАМИ ПІД ЧАС РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

У зв'язку з швидкими темпами розвитку промисловості, висуваються різноманітні вимоги до сучасних мастильно-охолоджуючих рідин (МОР). Раціональний підбір МОР при обробці металів різанням дозволяє підвищити якість оброблюваних поверхонь деталей, збільшити стійкість різального інструменту, зменшити енерговитрати обробки та створити відповідні санітарно-гігієнічні умови праці.

Для підвищення необхідних фізико-хімічних властивостей МОР перспективним є використання у якості присадок полімерів. При цьому в зоні різання протікають складні фізико-хімічні процеси внаслідок адсорбції макромолекул полімеру на контактуючих поверхнях та їх термо- і механодеструкції. В залежності від виду полімеру утворюються макрорадикали, атомарний водень і вуглець, виділяється газова суміш та інших продукти деструкції. Деякі гази, що виділяються при піролізі полімерних присадок у МОР демонструють трибологічні властивості (полегшують процес деформування та руйнування), а також зменшують крутний момент при точінні в атмосфері відповідного газу. Деструктовані полімери здатні активувати диспергування поверхні матеріалу, що відповідає ефекту Ребіндера.

Механізм ефекту Ребіндера характеризується двома складовими впливу адсорбційно-активного середовища на процес диспергування твердих тіл. Адсорбовані молекули полімеру викликають зниження поверхневої енергії твердого тіла, що сприяє полегшенню диспергування металу. Крім того, природно очікувати проникнення вільних радикалів полімеру в мікротріщини контактуючих поверхонь. Процес різання супроводжується руйнуванням міжмолекулярних та водневих зв’язків, розриванням найбільш напружених макромолекул, що приводить до виникнення вільних макрорадикалів. При цьому вільні макрорадикали виконують розклинюючу дію.

Попередні досліди проводились з метою виявлення ефективності використання полімеру - поліметилметакрилату у складі МОР при точінні конструкційної сталі. Для виключення впливу випадкових або нелінійних похибок при визначенні сил різання використовували тензопідсилювач та реєструючий пристрій вимірювального комплекту УДМ 600, а також для вимірю-

вання температури в зоні різання використовували мультіметр DT-835 з термопарою ТР-01А.

Виходячи з отриманих багатообіцяючих даних, можна припустити, що найбільш доцільним є використання МОР на основі полімерів при механічній обробці важкооброблювальних сплавів.

УДК 621.9.2
Солоха В.В.[1], Черняєв Д.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-219м НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ

Для багатоцільових верстатів властивим є виконання різноманітних технологічних операцій обробки, які характеризуються широким розмаїттям силових та швидкісних параметрів, потребують підвищених вимог до точності та продуктивності. Усім цим вимогам повинні відповідати шпиндельні вузли верстатів, в яких встановлюється різальний інструмент.

Шпиндельні вузли розрізняються типом приводу шпинделя, та типом опор. Необхідний момент на шпиндель може передаватися зубчастою передачею, пасовою передачею, встановленням електродвигуна безпосередньо на шпинделі та передачею руху від електродвигуна через муфту. Привід зубчастою передачею характеризується порівняно низькими швидкостями, можливістю виникнення вібрацій, що обмежує його використання в багатоцільових верстатах. Пасові передачі забезпечують значно вищі швидкості ніж зубчасті і можуть використовуватися до частот обертання близько 8000 хв$^{-1}$, використання нескінченного паса не вносить додаткових збурень в динамічну систему верстата. З використанням такого приводу нагрівання шпиндельного вузла відбувається за рахунок тепловиділення в опорах шпинделя, що, в більшості випадків, не потребує примусового охолодження вузла. Пасові передачі характеризуються підвищеною піддатливістю, що знижує жорсткість приводу.

Привід шпинделя від вбудованого електродвигуна та через муфту забезпечують високі динамічні властивості, частота обертання шпинделя обмежується технічним можливостями електродвигунів, що застосовуються. В конструкції шпиндельного вузла з таким приводом використовуються системи охолодження шпиндельного вузла з вбудованим двигуном або корпусу, в якому розміщується статор приводного електродвигуна з циркуляцією охолодженої до визначеної температури рідини. Це потребує встановлення в

конструкції верстата системи охолодження і подачі рідини що підвищує вартість верстата.

Точність обробки і динамічні характеристики шпиндельного вузла значною мірою визначаються його жорсткістю, яка залежить від жорсткості опор та геометричних розмірів шпинделя: діаметра, вильоту переднього кінця та відстанню між опорами. Виробники прецизійних підшипників для шпиндельних опор рекомендують брати відстань між опорами $l \approx (3 \ldots 3.5) \cdot d$, де d –діаметр шпинделя під переднім підшипником. Для конструкції шпиндельного вузла із вбудованим електродвигуном діаметр і довжина міжопорної частини шпинделя можуть обмежуватися розмірами електродвигуна: діаметром ротора, що запресовується на шпиндель, та довжиною статорної обмотки, що не завжди дозволяє вибрати оптимальні з погляду жорсткості розміри шпинделя.

В конструкції шпиндельного (рис. 1) момент обертання з валу 2, на якому насаджено ротор електродвигуна, на шпиндель 1 передається муфтою. За такої схеми геометричні розміри шпинделя (діаметр і міжопорна відстань) не обмежуються параметрами ротора і їх можна вибирати оптимальним для забезпечення необхідних динамічних характеристик та параметрів жорсткості.

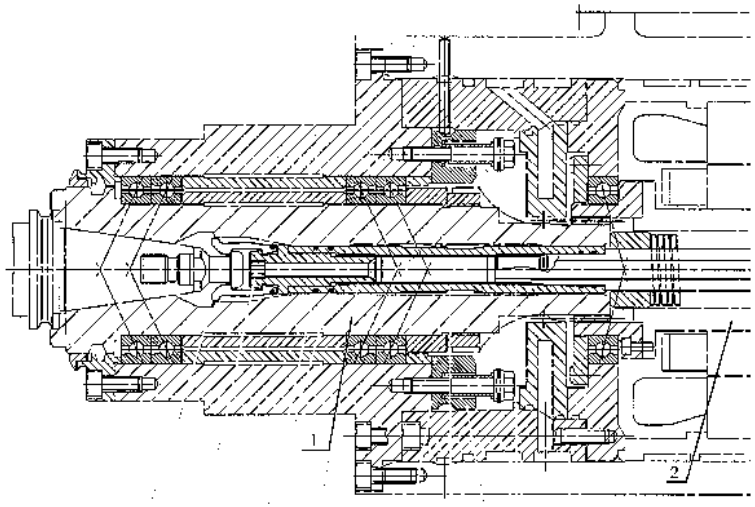


Рисунок 1 – Шпиндельний вузол з приводом через муфту.

В той же час така конструкція шпиндельного вузла має значно більші осьові розміри ніж конструкція з вбудованим електродвигуном.

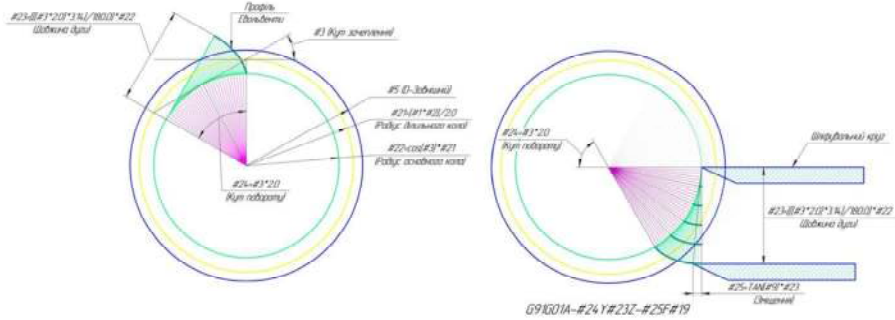
Вибираючи конструкцію і привід шпиндельного вузла необхідно враховувати багато різних чинників, визначають споживчі властивості верстата.

УДК 004.415.2: 621.923
Фролов М.В.[1], Красковський А.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-219м НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФІЛЮ ЗУБІВ ДОВБАЧА НА БАЗІ СИСТЕМИ ЧИСЛОВОГО КЕРУВАННЯ FANUC

Висока якість ріжучого інструменту є однією з основних вимог сучасного виробництва. Особливу увагу у моторобудуванні, верстатобудуванні, авіаційній техніці та виробництві надточних машин та механізмів надають точності формоутворення різних поверхонь деталі. Важливе місце серед машинобудівної продукції займають зубчасті колеса, які мають складний процес виготовлення. Однією з найбільш поширених операцій зубообробки є зубодовбання.

Різноманітні схеми формоутворення евольвентної поверхні зубонарізних довбачів аналізуються з точки зору продуктивності шліфування, точності профілю та якості обробленої поверхні [1]. Використовуючи метод копіювання, який є загальноприйнятою спрощеною методикою заміни евольвенти на радіус окружності по трьом точкам, отримаємо ріжучій інструмент низької точності профілю. Для збільшення точності евольвентного профілю та якості поверхні інструменту, при виготовлені зубонарізних довбачів, пропонується використати метод обкатки центроїди [2]. Профіль зубів, що нарізуються, формується як огинаюча різних положень ріжучих кромок при зубошліфуванні. Даний метод є універсальним та водночас важким, за рахунок потреби у складній кінематиці зубошліфувальних верстатів. Для спрощення процесу пропонується впровадити спосіб шліфування профілю зубів тарілчастим шліфувальним кругом, що формує спряжену з профілем довбача евольвенту твірного колеса (інструменту), розраховану по розробленій програмі на прецизійному п'ятикоординатному верстаті. Вихідні дані, параметри та траєкторія формоутворення евольвенти, а також деякі елементи програми для розрахунку приведені на Рис. 1. Дані вводяться у діалоговому вікні робочої стійки верстату. В залежності від введеного модулю та кількості зубів довбача, розроблена з використанням основних положень теорії зачеплення, теоретичної механіки, методів диференціальної та аналітичної геометрії програма, що функціонує на базі системи Fanuc, обчислює ділильний діаметр твірного колеса - інструменту [3].



а б

```
(**************ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДОЛБЯКА**********)
#1=0.0  (Модуль)
#2=0.0  (Кол.Зубьев)
#3=0.0  (Угол зацепления)
#4=0.0  (Глубина ножки)
#5=0.0  (D-наружный)
#6=0.0  (D-внутренний)
#7=0.0  (Задний угол)
#8=0.0  (Боковой задний угол)
#9=0.0  (Угол смещения круга)
(****************ПАРАМЕТРЫ ШЛИФ КРУГА***************)
#10=0.0 (Радиус круга)
#11=0.0 (Базовая точка круга)
(*****************ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ*****************)
#12=0.0 (Положение оси A)
#13=0.0 (Положение оси X)
#14=0.0 (Безопасное расстояние Z)
(********РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ********)
#21=[#1*#2]/2.0 (Радиус делительной окружности)
#22=cos[#3]*#21  (Радиус основной окружности)
#23=[[[#3*2.0]*3.14]/180.0]*#22(Длинна дуги)
#24=#3*2.0(Угол поворота)
#25=TAN[#9]*#23(Угол перемещения)
#26=[#5-#6]/2.0(Глубина зуба)
#27=[cos[#7]*#10]+[#5/2]+#14(Позиция Z0)
#28=#13-[[SIN[#8]*#11]+[sin[#7]*#10]](Позиция X0)
#29=#11-[TAN[#8]*[sin[#7]*#11]](Позиция Y0)
#30=360.0/#2(Угол деления)
#31=#26-#4
#32=#14+#31+#25+#4
#33=#32-#25
```

в

а – основні параметри евольвенти; б – параметри та траєкторія формоутворення евольвенти; в – фрагмент програми.

Рисунок 1 – Вихідні дані, параметри формоутворення та фрагмент програми розрахунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 9323-79. Долбяки зуборезные чистовые. Технические условия [Текст]. – Введ. 1981–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 68 с.

2. Панкратов, Ю. М. САПР режущих инструментов : учебное пособие [Текст] / Ю. М. Панкратов. – СПб. : Издательство «Лань», 2013 – 336 с.

3. FANUC Series 0i-TC. Руководство по эксплуатации (B-64114RU) [Текст]. – Fanuc, 2004. – 864 с.

УДК 621.941
Циганов В.В.[1]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ МЕХАНОХІМІЧНИМИ ЯВИЩАМИ У ЗОНІ КОНТАКТУВАННЯ

Трибологічний стан при механічній обробці деталей машин і механізмів, а також величина зносостійкості трибоз'єднань за різних умів експлуатації значною мірою визначаються властивостями технологічного середовища зони контакту. При цьому одним з перспективних шляхів рішення завдань, що стосуються оптимізації трибологічних характеристик контактуючих поверхонь є вдосконалення використаного мастильно-охолоджуючого технологічного середовища (МОТС) за допомогою введення до її складу різних за природою і хімічній будові функціональних присадок. З численних результатів досліджень з цієї проблеми слід зазначити напрям по використанню високомолекулярних з'єднань як ефективні присадки до МОТС, завдяки їх глибокій і багатосторонній дії на фізико-хімічні і механічні процеси і явища, що відбуваються в зоні контакту.

Аналогічно низькомолекулярним поверхнево активним речовинам деструктовані полімери активізують руйнування часток заліза. Полімери, що входять до складу МОТС, адсорбуючись на металі під дією високої температури і механічної напруги, піддаються механодеструкції і термодеструкції. Утворюються високоактивні осколки макромолекул (іони, іон-радикали, радикали), атомарний водень і вуглець, здатні хімічно взаємодіяти з оброблюваним металом. При цьому температурні границі деструкції полімерів значно нижчі, ніж рідких вуглеводнів. Характерна особливість деструкції полімеру полягає в тому, що вона протікає зі зниженням молекулярної маси, зміною структури макромолекули і основне значення при цьому має хімічний склад, будова високомолекулярного з'єднання. Невеликі молекули, будучи значно рухливіше за макромолекули, легше піддаються хімічним і фізико-хімічним перетворенням.

Як показали заздалегідь проведені дослідження, одним з найбільш перспективних високомолекулярних функціональних присадок до МОТС може виступати поліметилметакрилат. Була зроблена оцінка його впливу в розчиненому стані на зносостійкість трибоз'єднань при складному динамічному навантаженні, на ефективність токарної обробки і при обробці спеціальним гранульованим абразивним матеріалом з зв'язуючим поліметилметакритату.

Показано, що дія продуктів термомеханічної деструкції поліметилметакрилату на зносостійкість трибоз'єднань великою мірою залежить від фізико-

хімічних властивостей і структурного стану поверхневого шару контактуючих поверхонь. Зміна характеру навантаження призводить до зміни стану поверхневого шару і, як наслідок, зміни зносостійкості трибоз'єднання. При цьому комплексний вплив різних чинників умов контактування може призводити до прояву, як зовнішнього, так і внутрішнього ефекту Ребіндера.

УДК 621.9.2
Глушко П.В.[1], Корнієнко М.В.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. М-219м НУ «Запорізька політехніка»

КОНЦЕПЦІЯ ВИБОРУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ПЛАЗМОРІЖУЧОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

Плазмотрони – генератори низькотемпературної плазми – широко застосовуються у різних областях людської діяльності, особливо у промисловості, завдяки своїм унікальним властивостям та можливостям. У плазмотронах отримують струмені плазмоутворюючої речовини з високою температурою.

Між електродом і соплом апарату або між електродом і металом, що підлягає різанню, запалюється електрична дуга. У сопло подається газ під тиском в кілька атмосфер, перетворюваний електричною дугою в струмінь плазми з температурою від 5000 до 30000 градусів і швидкістю від 500 до 1500 м/с. Товщина металу може сягати 200 мм (економічно доцільна: 50 – для сталі, 90 – для чавуна, 100–120 – для кольорових металів).

Гази, що використовуються для отримання плазмового струменя, поділяються на активні (кисень, повітря) і неактивні (азот, аргон, водень, водяна пара). Повітря в основному використовуються для чорнового різання чорних металів, кисень – для чистового різання конструкційної сталі; азот та інші неактивні – для різання нержавіючої сталі та кольорових металів.

Переваги плазмового різання від інших методів різання:

- може бути застосовано для обробки будь-яких металів;
- швидкість різання для металів малої і середньої товщини в кілька разів вище швидкості газополум'яного різання;
- невеликий і локальний нагрів матеріалів, що виключає її теплову деформацію;
- висока чистота і якість поверхні розрізу;
- безпека процесу різання;
- можливість фігурного різання.

Під час вибору установки необхідно звернути увагу на такі показники:

- сила струму (від цієї величини залежить те, які по товщині заготовки можна буде різати);
- тривалість робочого циклу;
- наявність інтерфейсу для підключення до систем ЧПК;
- система охолодження;
- швидкість прожогу (від цієї величини залежить швидкість обробки);
- плазмоутворюючий газ (від нього залежить які матеріали можливо обробляти);
- наявність систем безпеки (блок швидкого вимкнення, блок контролю температур);
- коефіцієнт потужності.

На сьогоднішній день ринок плазморіжучих установок представляють такі компанії як ThermaCut (Чехія), Jäckle (Німеччина), Hypertherm (США), Jasic (Китай), Енергія (Україна). Deca (Італія).

Проаналізувавши декілька плазмотронів та порівнявши їх властивості було прийняте рішення обрати різак моделі HyPro2000 та генератор моделі MaxPro200, від компанії Hypertherm.

Система плазмової різки MaxPro200 має найвищі показники швидкості різання у своєму класі, здатна працювати у безперервному робочому циклі, оснащена системою швидкого вимкнення та температурними датчиками, має додаткові канали послідовного зв'язку які дозволяють повністю контролювати систему з ЧПК.

Характеристики генератора MaxPro200:

- Вихідна напруга – 165 В;
- Максимальний вихідний струм – 200 А;
- Номінальний робочий цикл – 100% при 33 кВт;
- Коефіцієнт потужності – 0,98;
- Плазмоутворюючий газ - O_2, N_2.

Характеристики різака HyPro2000 при обробці сталі:

- Максимальна товщина металу – 52 мм;
- Дугова напруга – 201 В;
- Відстань між різаком і металом – 6,35 мм;
- Швидкість різання – 152.4 мм/хв;
- Швидкість прожогу – 2.5 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hypertherm Inc. Catalogue [Електронний ресурс] / Hypertherm Inc. Catalogue 80770j. Hanover, NH, USA. – Режим доступу: https://www.hypertherm.com/hypertherm/longlife/maxpro200/ – 10.01.2013

УДК 531.783
Івщенко Л.Й.[1], Танченко С.В.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] асист. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ РОБОТИ ТЕРТЯ В КОНТАКТІ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Робота тертя – енергія, що передається термодинамічною системою (фрикційною парою) навколишньому середовищу і матеріалу елементів пари тертя при зміні зовнішніх параметрів системи, наприклад, положення у просторі, опору руху, об'єму електричного поля та ін.

Робота тертя розраховується за наступними формулами:

$$A = f \cdot P \cdot L, \tag{1}$$

де f – коефіцієнт тертя; P – нормальне навантаження; L – шлях тертя.

$$A = f \cdot P \cdot V \cdot t, \tag{2}$$

де V – середнє значення швидкості тертя; t – час тривалості тертя.

Методика, що пропонується, спрямована на розв'язання технічної задачі, яка полягає в підвищені достовірності та точності реєстрації моменту тертя та визначення кінетики зміни питомої роботи тертя в нестаціонарному режимі роботі трибоелементів в довільний час тривалості циклу. Поставлена задача реалізується за рахунок того, що на ПК в режимі реального часу нестаціонарної роботи трибо елементів через визначені рівні короткі проміжки часу одночасно фіксується момент тертя в контакті, який реєструється тензодатчиками, та частота обертання контактних поверхонь. Розрахунок питомої роботи тертя проводиться шляхом інтегрування площі, обмеженої кривою моменту тертя, та вибору довільного діапазону інтегрування по осі абсцис за координатною часу напрацювання елементів трибоспряження, по якій визначається кут повороту контактних поверхонь за зафіксованою їх частотою обертання в певний обраний час напрацювання, з урахуванням кінетичної енергії обертальних деталей за формулою:

$$A_{num.} = \left[\left| \int_0^{t_i} M_i(t) \cdot 2\pi n_i(t) d(t) - \frac{1}{2} \sum_0^{i=n_{ti}} J\Pi_i \cdot \omega_i^2 \right| \right] / F, \tag{3}$$

де M – момент тертя; n, ω – відповідно частота обертання та кутова швидкість обертання однієї контактної поверхні при ковзані та чистому коченні

(при проковзуванні обчислюється середнє арифметичне значення даних параметрів для двох елементів трибоспряження); t – час тривалості циклу; JП – полярній момент інерції обертальних деталей трибо технічної установки, які впливають на точність вимірювання моменту тертя в контакті; F – номінальна площа контакту по Герцу.

Вимірювання моменту тертя здійснюється чотирма тензодатчиками (для підвищення чутливості та компенсування похибки вимірювання), які включаються в електричний ланцюг за мостовою схемою). Мостова схема підключення вказана на рисунку 1.

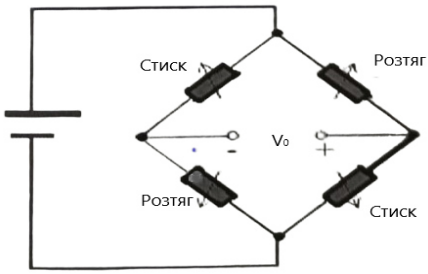


Рисунок 1 – Мостова схема вимірювання моменту тертя.

Для вимірювання використовуються два датчики на стиск, та два датчики на розтяг, що дозволяє реєструвати різні за напрямком деформації та визначати крутний момент незалежно від напрямку прикладання сили тертя при розгоні, стаціонарній роботі та гальмуванні дослідних зразків. Крутний момент реєструється як від'ємний, що враховується в розрахунковій формулі шляхом обчислення його зміни модулем.

УДК 621.431.75
Івщенко Л. Й.[1], Комочкін М. С.[2]
[1] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] асп. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В ТРИБОЗ'ЄДНАННЯХ ГАРЯЧОГО ТРАКТУ ГТД ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАР ТЕРТЯ

У сучасних газотурбінних двигунах застосовуються конструкції бандажів із замкненими на коло лопатками. З'єднання здійснюється за рахунок сил тертя, зумовлених впливом відцентрових сил або натягом під час складання.

Внаслідок коливань деталей в процесі роботи виникає динамічний режим навантаження, що супроводжується ударом з подальшим проковзуванням бандажних полиць робочих лопаток турбіни.

Зношування бандажних полиць робочих лопаток турбіни призводить до підвищення рівня вібраційних напружень в небезпечному перерізі пера лопатки. Полиці лопаток одного робочого колеса зношуються нерівномірно і розкид значень може досягати близько 700% (від 0мм до 0,72 мм).

Бандажування лопаток дозволило знизити рівень динамічних напружень в них. Водночас, з'являється явище коливання таких бандажованих лопаток секторами (пакетами). При цьому, кількість таких секторів, та лопаток в них на робочому колесі турбомашини може бути різною. Визначення кількості секторів коливань лопаток турбомашини під час її роботи, та конкретизація місць стиків цих секторів дуже важливе питання. На даний час вирішення цього питання розрахунково-аналітичними методами в літературі не описано. Тому саме експериментальні дослідження величин навантажувальних параметрів лопаток в місцях контакту бандажних полиць відіграють важливу роль.

Розроблений стенд для випробувань робочих коліс турбін газотурбінних установок дасть можливість проводити дослідження величин навантажувальних параметрів лопаток в умовах наближених до реальних. Підтвердження гіпотези максимального зносу бандажних полиць лопаток на стиках секторів спрямує до розробки способів уникнення роботи турбін на резонансних режимах. Управління величиною коливань в сторону зменшення і, як наслідок, зменшення зносу призведе до підвищення ресурсу роботи контактної пари бандажованих лопаток.

УДК 621.9.2
Бойко І.А.[1] , Деменко Д.В.[2]
[1] канд. техн. наук, інж. ПАТ «Мотор Січ»
[2] інж. ПАТ «Мотор Січ»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ЯКОСТІ МОДЕРНІЗУЄМИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ

Парк металорізальних верстатів підприємств машинобудівної галузі виробництва потребує оновлення кожні 15-20 років їх експлуатації. Це пов'язано як з фізичним зношуванням складових елементів верстата, так і з моральним застарінням електроніки, систем числового програмного керування, виконавчих органів, вузлів, тощо.

Аналіз основних тенденцій розвитку верстатобудування свідчить про всебічний перехід на агрегатно-модульний принцип побудови верстатів. Основною перевагою використання модульного принципу побудови верстатів є можливість застосування великої кількості типових вузлів при внесенні мінімальних змін в базову конструкцію верстата, що дозволяє отримати широке розмаїття компоновок, які можуть значно відрізнятися одна від одної за рядом параметрів.

Оновлення верстатного парку за рахунок придбання нових верстатів - процес досить затратний, тому на підприємствах машинобудівної галузі виробництва все більше уваги приділяють питанням можливості модернізації технологічного обладнання, яке наразі експлуатується на виробництві. Окрім відновлення паспортних технічних характеристик обладнання при модернізації, власник найчастіше прагне їх розширення: збільшення частоти обертання шпинделя і кількості робочих осей, швидкостей лінійних і кругових переміщень, зони обробки, місткості інструментального магазину, точності позиціонування, та багатьох інших.

Прагнення до розширення технологічних можливостей верстатів, що модернізуються, може призводити до погіршення показників їх динамічної якості. Верстати, які потребують модернізації, за своєю компоновкою і використовуваними в конструкції вузлами, були розраховані на умови роботи відмінні від тих, в яких вони будуть експлуатуватися після модернізації. Це передусім стосується швидкостей різання і стратегій високошвидкісної обробки.

Аналізуючи компоновки сучасних високошвидкісних обробних центрів, прослідковується тенденція полегшення рухомих вузлів верстатів, зокрема шпиндельних вузлів і поворотних столів, що дозволяє поліпшити динамічні характеристики технологічного обладнання. В той же час «важкі» елементи верстатів, такі як колони, стойки, прагнуть залишити нерухомими, а механізм зміни інструменту, інструментальний магазин, вимірювальні системи, тощо, виносять за межі рухомих вузлів і встановлюються або окремо, або на базові, нерухомі елементи.

Водночас оснащення верстатів із рухомими базовими елементами високошвидкісними шпиндельними вузлами, частота обертання шпинделя яких лежить в межах 8-30 тис. об/хв, призводить до необхідності забезпечити відповідні швидкості прискорених і робочих переміщень. Збільшення швидкостей переміщень впливатиме на стійкість системи під час виконання перехідних процесів розгону/гальмування, а також реверсування рухомих вузлів, які впливатимуть як на якість оброблених поверхонь і точність обробки, так і на працездатність залучених до виконання переміщень вузлів: приводів, шарико-гвинтових пар, напрямних, призводячи до пришвидшення процесів зношування у вузлах і можливості втрати верстатом працездатності.

Встановлення додаткових поворотних осей (поворотних столів, голів, тощо) збільшуватиме масу рухомих вузлів, а розміщення їх здійснюватиметься в межах робочої зони верстата, що неодмінно призводитиме до її зменшення. Наслідком такої модернізації може бути значна зміна схеми налагодження верстата і навіть принципова зміна типу оброблюваних деталей.

Зважаючи на те, що вартість глибокої модернізації металорізального верстата може становити 70-80% від вартості придбання нового, постає питання необхідності вибору оптимальних технічних характеристик і компоновки верстата після модернізації, або доцільності її виконання ще на підготовчому етапі розробки.

УДК 621.9.06
Солоха В.В.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВИБІР СХЕМИ ЗАКРІПЛЕННЯ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА

На точність обробки на металорізальних верстатах суттєвий вплив чинить жорсткість системи інструмент-оброблювана деталь. Вона включає в себе жорсткість окремих деталей та жорсткість стикових сполучень між деталями. Жорсткість стиків визначається характером сполучення (рухоме чи нерухоме), навантаженням на стик та характером поверхонь контакту деталей, що утворюють сполучення. Для випадку контактування деталей з відносно невеликою номінальною площею контакту (100-150 см^2) і центральному навантаженні на стик для визначення контактного зсуву зазвичай користуються залежністю [1]

$$\delta = c \cdot \sigma^m, \tag{1}$$

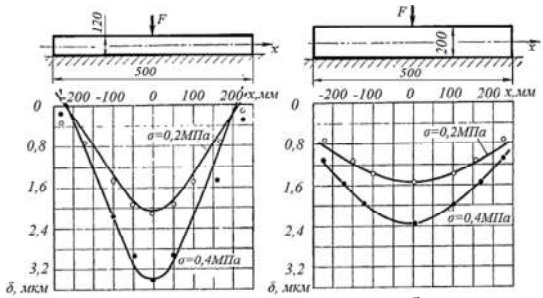
де δ – зсув на контакті; σ - середній тиск в стику; c – коефіцієнт, що залежить від геометрії поверхонь та властивостей матеріалу; m – показник ступеню (для зазначених вище умов m = 0,5). Для стиків зі значною площею контакту, в яких на характер контакту проявляють вплив макровідхилення поверхонь, користуються залежністю $\delta=k\sigma$, де k – коефіцієнт контактної піддатливості.

Величина прикладеного навантаження і жорсткість сполучених деталей суттєво впливають на величину зсуву, розподіл тиску та можливість розкриття стику (рис. 1) [1].

Для забезпечення надійності закріплення та жорсткості стикового сполучення шпиндельної бабки зі станиною рекомендується [1] зусилля затяжки і кількість болтів вибирати такими, щоб тиск на контакті складав 3 – 3,5 МПа.

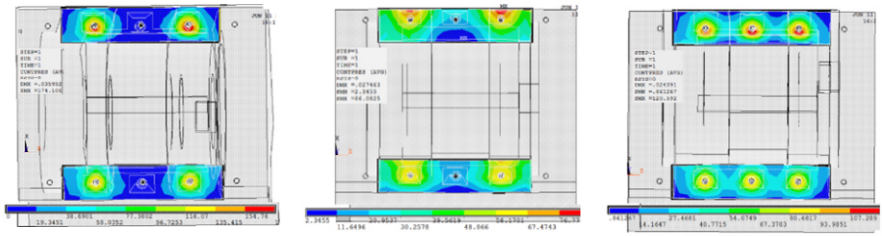
Використання різної кількості болтів суттєво впливає на розподіл тиску на контакті. Для визначення цього впливу проведений аналіз закріплення шпиндельної бабки токарного верстата з ЧПУ. Розглядався варіант закріплення з 4 і 6 болтами.

В разі використання схеми з 4 болтами зусилля затяжки болтів для забезпечення рекомендованого тиску на контакті повинно бути значно більше, ніж в разі використання схеми з 6 болтами. Тиск на поверхні контакту розподіляється дуже нерівномірно (рис. 2). Забезпечення рівномірності розподілу тиску досягається збільшенням товщини фланця з 40 мм до 70 мм, що є недоцільним.



а б

а – брус висотою 120 мм; б – брус висотою 200 мм.
Рисунок 1 – Епюри зсувів в контакті бруса різної товщини.



а б в

а – 4 болти, товщина фланця 40 мм; б – 4 болти, товщина фланця 70 мм;
в – 6 болтів, товщина фланця 40 мм.
Рисунок 2 – Розподіл тиску на контакті від закріплення болтами.

Забезпечення рівномірності розподілу тиску на контакті може бути досягнуто за рахунок використання для закріплення шпиндельної бабки більшої кількості болтів. Дослідження конструкції бабки з закріпленням 6 болтами

показало (рис. 3) більш рівномірний розподіл тиску на контакті навіть і в порівнянні з закріпленням 4 болтами і товщиною фланцю 70 мм

Проектуючи конструкцію шпиндельної бабки токарного верстата слід враховувати схему закріплення бабки на станині для забезпечення високої жорсткості як контакту та і всієї конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левина З. М. Контактная жесткость машин [Текст] / З. М. Левіна. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.

УДК 62-932.4
Фролов М.В.[1], Глушко П.В.[2]
[1]канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2]старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

СТАНОВЛЕННЯ І РІВЕНЬ РЕВЕРС-ІНЖИНІРИНГУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА

Зворотня розробка (зворотне проектування, зворотний інжиніринг, реверс-інжиніринг; англ. reverse engineering) – дослідження деякого готового пристрою або програми, а також документації на нього з метою зрозуміти принцип його роботи; наприклад, щоб виявити недокументовані можливості, зробити зміну або відтворити пристрій, програму або інший об'єкт з аналогічними функціями, але без прямого копіювання [1].

Застосовується зазвичай в тому випадку, якщо творець оригінального об'єкта не надав інформації про структуру і способі створення (виробництва) об'єкта [1].

Протягом усього життя людства, така форма поповнення знань і досвіду як копіювання, супроводжувала виробництва при різних політичних строях і історичних епохах. У ранньому періоді розвитку людства захоплений трофей аналізувався і якщо його функціональні властивості перевершували існуючі аналоги, то допрацьовувався виходячи з тих технологічних умов і можливостей виробництва в яких знаходилися люди. У деяких випадках відбувалося пряме копіювання, у деяких випадках об'єкти копіювання ставали базою для подальшого розвитку і поліпшення їх властивостей і можливостей.

Протягом останніх 150 років людство зробило величезний прорив в механіці, електриці, серійному виробництві. Кількість запозичень все збільшувалася і ступінь інформаційної обізнаності теж що по суті і сформувало поняття – промислове шпигунство. Це форма недобросовісної конкуренції, при якій здійснюється незаконне отримання, використання, розголошення інфор-

мації, що становить комерційну, службову або іншу охороняєму законом таємницю з метою отримання переваг при здійсненні підприємницької діяльності, а так само отримання матеріальної вигоди.

Основне призначення промислового шпигунства - економія коштів та часу, які потрібно затратити, щоб наздогнати конкурента, що займає лідируюче положення, або не допустити в майбутньому відставання від конкурента, якщо той розробив або розробляє нову перспективну технологію, а також щоб вийти на нові для підприємства ринки.

За останні 20 років відкрилося багато інформації про копіювання або запозичення без фактичної розробки. Деякими прикладами оригіналу та копії в машинобудуванні можна назвати: американський вантажівка «AutoCar-SA» - радянський вантажівка АМО-3; американського Boeing B-29 Superfortress - радянський літак Ту-4; китайські позашляховики Admiral, Great Wall - неліцензійні точні копії позашляховика Toyota Hilux Surf і т. [1] Кількість запозичень і копіювання неймовірно велике і зачіпає не тільки сфери машинобудування, автомобілебудування, авіації, військової промисловості а й сфери програмного забезпечення, електроніки і виробництва.

Для захисту розробок була створена система патентування методик, виробів і розробок. Але самою суттю реверсної інженерії не є копіювання з метою незаконного заволодіння інтелектуальної власності.

В першу чергу в сучасних умовах проектування і виробництва реверс-інжиніринг використовується для створення нових виробів. У зв'язку з високими вимогами до аеродинамічних форм або естетичним вимогам в умовах сучасних високих темпів виробництва, найбільш простий і швидкий перехід від дизайнерських моделей і макетів до електронних моделям для організації виробництва забезпечує саме реверсний інжиніринг. Модель, виконана дизайнером з модельного матеріалу, сканується для отримання триангуляционной сітки поверхні. Далі по отриманій сітці за допомогою програмного забезпечення натягуються поверхні для створення електронної моделі виробу з можливістю редагування та внесення змін в електронному вигляді.

Другий напрямок реверсної інженерії в сучасному виробництві це забезпечення можливості відновлення і ремонту виробів документація на які втрачено або відсутній. Яскравим і великим прикладом такої роботи можна привести відновлення будівель історичної частини Дрездена зруйнованої в роки Другої світової війни. Реставратори сканують елементи зруйнованих будівель і за цими моделями за допомогою старих фотографій відтворюють фасади і внутрішнє оздоблення будівель, що реставруються.

В якості третього напрямку для реверсної інженерії можна виділити напрямок функції контролю. Проведення вимірювань готової робили складної форми для отримання даних про ступінь відповідності деталі вихідної моделі

або визначення обсягів внутрішніх просторів для контролю витрат і кількості обсягу.

Таким чином з'явившись як ідея швидкого і найменш витратного шляху отримання результату, технологи реверсного інжинірингу виділилися в окремий напрям, який істотно впливає на розвиток сучасного виробництва і забезпечує взаємозв'язок фізичних об'єктів з електронними 3-D об'єктами різних CAD систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/

СЕКЦІЯ «ДЕТАЛІ МАШИН І ПТМ»

УДК 621.771
Волков Г.П.[1], Ігнатенко В.Е.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-347 сп НУ «Запорізька політехніка»

РИНОК ПРОФНАСТИЛУ ЯК «РИНОК ЛИМОНІВ» В УКРАЇНІ

Сучасний ринок будівельних матеріалів насичений такою кількістю пропозицій, що розібратися в них пересічному покупцеві може бути не під силу. Зупинимося на прикладі такої позиції як будівельний профнастил. Щоб не придбати неякісний матеріал слід опиратися на знання по характеристикам металургійної продукції та на результати експертних оцінок проведених за допомогою спеціальних приладів та інструментів. Часом навіть правильно сформульовані запитання поставлені продавцю неякісної продукції здатні запобігти її реалізації. Проте, всі ці заходи повинні бути обґрунтовані спираючись на знаннями та досвід в галузі матеріалознавства, будівництва та машинобудування.

Такий матеріал, як профнастил, виготовляють з рулонної оцинкованої сталі доволі часто є відверто бракованим. Особливо нарікання до продукції з Китаю. Термін експлуатації профнастила з КНР часто не сягає і трьох років при заявлених 20 і більше. Звісно це не тільки фінансові витрати, а і безпека споруд, що використовують цю продукцію.

Китайські виробники часто економлять на якості цинкового покриття. В залежності від призначення, шар цинкового покриття повинен становити від 100 до 275 г/м^3. Продукція ж китайських виробників може мати покриття лише 80 г/м^3, що гарантує достроковій вихід із ладу конструкцій з такого металу. Крім того очевидними є порушення в якості нанесення покриття на метал, що безсумнівно є результатом порушення технології виробництва. Разом це призводить до пошкодження покриття від атмосферних факторів у вигляді розтріскування, розшарування, вигоряння та інш. Недодержання заявленої товщини металічного листа (замість мінімальної товщини 0,45 мм, зустрічаються зразки з 0,3 мм) не дозволяє витримувати вимоги по жорсткості і несучій здатності елементів будівельних конструкцій такого металевого листа. У загальному випадку з китайським металом, на нашому ринку лише 15% продукції відповідає нормативним вимогам.

Така картина з продукцією на вітчизняному ринку металу, цілком підпадає під концепцію «ринка лимонів» яка була сформульована Нобелівським лауреатом Дж. Акерлофом (2011 р) і присвячена зв'язку невизначеності якості товарів однієї групи та дії ринкових механізмів. Згідно цієї концепції невизначеність з якістю продукції на ринку призведе до повного витіснення якіс-

ної продукції з ринку. У нашому випадку з ринку може зовсім зникнути якісний листовий метал, а замість нього буде суцільний брак.

Заходи які пропонуються для запобігання такої ситуації, це підняти рівень обізнаності покупців продукції і застосування експрес аналізу механічних властивостей при закупівлі. В нашому випадку може стати у пригоді метод контролю механічних властивостей шляхом ідентирування. В основі цього методу лежать кореляційні зв'язки характеристик твердості з характеристиками міцності металу. Наприклад відомо, що для сталі твердість та межа текучості співрозмірні величини. Проте при певних умовах ця відповідність порушується і не може використовуватись в широких межах. Пошук умов при яких оцінку міцності металу можна робити «беззразковим» методом по показниках твердості є перспективним науковим завданням.

УДК 671.791.927.5
Мартовицкий Л.М.[1], Камель Г.І.[2], Медведенко Є.Д.[3], Боренко О.О.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р техн, наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. М-316 НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. АКТ 16-3 ЗАК ім. Івченко

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО КОРПУСУ ЗІ ВТУЛКОЮ З МОНЕЛЬ-МЕТАЛУ

Корпус ПВД складається зі сталі 20 Л і запресованої в неї втулки, виготовленої відцентровим литвом з кременистого мідно-нікелевого сплаву (фірми Камюра: нікель – 49,5%, залізо – 1,01% інше мідь, твердість 320 НВ; фірми Альстрем: нікель – 49,8%, кремній – 3,34%, мідь – 47,3%, твердість 340 НВ; вітчизняного виробництва: нікелю – 47,1%, кремнію – 3,4%, міді – 46,3% марганцю – 0,06%, вуглецю – 0,06%, сірки – 0,03% фосфору – 0,03% твердість 320 НВ).

Після запресовки втулки в корпус виникає необхідність в приварюванні втулки до корпусу по всьому периметру торців сполучення втулки з кременистого монель-металу зі сталевим корпусом виконується електродами: ОЗЛ-2, ОЗЛ-6, ОЗЛ-4, ЦЛ-25, ОК 67-70 і ОК 92-28 (Фінляндія). В процесі приварювання втулки до корпусу виникали поверхневі тріщини.

В даний час розроблена більш досконала технологія ремонту з використанням напівавтоматичного зварювання в середовищі аргону із застосуванням композитного дроту з монель-металу при одночасному плавленні оболонки і сердечника з утворенням на кінці електрода загальної краплі. В якості оболонки композитного дроту використовувалася мідна стрічка товщиною 0,2-0,4 мм, а сердечником служили нікелеві дроти діаметром 0,6-0,8 мм.

В якості наплавлення для облицювання конічної поверхні ротора використовувалися листи холоднокатаних сталей 12Х18Н10Т, 40Х13, товщиною 10, 16 і 20 мм.

УДК 621.833
Мартовицький Л.М.[1], Сочава А.І.[1], Глушко В.І.[1], Медведенко Є.Д.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-316 НУ «Запорізька політехніка»

ДІАГОНАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ПРИЗМАТИЧНИХ ШПОНОК В З'ЄДНАННЯХ

В традиційних шпоночних з'єднаннях поширені призматичні шпонки. При цьому слід виконати пази на валу і в маточині з високою точністю та чистотою поверхні. Виконати шпоночне з'єднання технологічно не зовсім просто.

Під час роботи такі шпонки зрізаються по площині дії дотичних сил від крутних моментів в передачі. Матеріали маточини і валів зминаються. Все це виводить з експлуатації з'єднання.

Пропонується призматичну шпонку виконати квадратного перетину. В з'єднанні розмістити її так, щоб осьова діагональна площина шпонки співпадала з дотичною (коловою) силою в з'єднанні.

Це забезпечує максимальну площу зрізу шпонки. А поверхні зминання в маточині і на валу розміщуються під кутом до осьової лінії поперечного перетину шпоночного з'єднання. Діагональне розміщення шпонки знижує зрізаючі та зминаючі напруження в з'єднанні, тобто збільшують несучу здатність з'єднання. Крім того, трикутні пази на валу і в маточині виконані значно простіше від прийнятих, наприклад, глухих шпоночних пазів.

УДК 621.833
Мартовицький Л.М.[1], Камель Г.І.[2], Тарабан Л.О.[3]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р. техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко
[3]студ. гр. М-319м НУ «Запорізька політехніка»

СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ ЗУБЧАСТО-РОЛИКОВИМ ЗАЧЕПЛЕННЯМ

Добре розроблені в машинобудуванні евольвентні зубчасті передачі мають недоліки в тому, що має місце взаємне ковзання зубців в місці контак-

ту, яке призводить до зносу, та до значних контактних напружень. Передачі із круговим зубом (передачі Новікова М.Л.) де-що зменшують контактні напруження, але присутнє взаємне ковзання зубців в контакті, крім того, має місце складна технологія їх виготовлення.

В новій передачі крутний момент передається за допомогою циліндричних роликів, які розміщенні у западинах між зубцями шестерні або колеса. Ролики зв'язані між собою ланцюгом, закріпленим нерухомо по периметру колеса або шестерні. Зубці шестерні та колеса виконані увігнутими, що забезпечує надійний контакт з проміжними роликами.

Зубці колеса та шестерні не контактують між собою, передача крутного моменту відбувається від зуба до зуба через циліндричні ролики, що розвантажує контактну зону передачі.

При зношуванні передачі достатньо замінити роликовий ланцюг на новий, можна далі експлуатувати передачу без зміни зубчастих коліс.

УДК 671.791.927.5
Мартовицкий Л.М.[1],Камель Г.І.[2], Борейко Д.Ю.[3], Заєц Д.М.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. М-316 НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. АКТ 16-3 ЗАК ім. Івченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНІЧНИХ ТРИБОСИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

При експлуатації конічних трибосистем (роторні живильники високого та низького тиску целюлозно-паперових виробництв) промислового транспорту основною причиною поступової втрати працездатності є запас зносу конічних поверхонь деталей роторного живильника та системи автоматичного регулювання рівня лугу в живлючій трубі і припинення завантаження гідросумішу в варильний котел високого тиску (1,4 МПа).

Підвищення довговічності потребує комплексного підходу на всіх стадіях життєвого циклу деталей роторних живильників. Реалізація такого підходу потребує: аналізу умов роботи трибовузлів (діапазон швидкості, навантаження, температура, рівень вібрацій, корозійне середовище тощо); дослідження закономірностей спрацювання деталей конічних трибосистем; дослідження провідних видів зношування конічних деталей; розрахунку величини зносу і ресурсу роботи конічного трибовузла; розробки методів керування припрацювання; розробка методів мінімізації зносу і пошкоджуваності конічних поверхонь деталей роторних живильників.

Кожна з наведених задач є важливою в проблемі підвищення довговічності, і має свою специфіку. На трибологічні процеси впливає: конструктивна схема спряжень; кінематика відносного руху; характер навантаження; вид контакту; матеріал елементів тертя; вид змащування та зношувальний матеріал.

При роботі конічних трибосистем має місце: абразивне зношування; гідроабразивне зношування; зношування при заїданні; корозійномеханічне; корозійне; ударногідроабразивне; зношування основ та середніх перемичок ротору та корпусу при вібрації та інших видів зношування. Тому задача визначення провідного виду зношування в дослідницькому плані є найбільш складною і потребує значних зусиль наукового характеру.

До числа не менш складних задач слід віднести і розробку методів керування припрацюванням, основним з яких може бути: мікроштовхаюча компенсація зазору в живильнику; зменшення динамічних навантажень; зміна терміну швидкості та величини гідроударів; зменшення амплітуд вібрацій; зміна поверхонь контактування; регулювання складу концентрації твердих часток в лузі та швидкістю переміщення лугу в зазорі (зоні контакту поверхонь деталей) тощо.

УДК 671.791.927.5
Носенко М.І.[1], Камель Г.І.[2], Мілонін В.Є.[3], Карамушка Д.Р.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р.техн, наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. М-117, НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. ГМ-17-1 ЗАК ім. Івченко

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ НА НАДІЙНУ РОБОТУ КОНІЧНИХ ТРИБОВУЗЛІВ ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

В результаті експлуатації в складних умовах при дії змінних навантажень і зовнішнього середовища в елементах конічних трибосистем (роторних живильників високого та низького тиску) промислового транспорту з'являються технологічні та експлуатаційні тріщини і деформації. В хімічній та целюлозно-паперовій галузі поширені в використанні роторні живильники для переміщення та завантаження варильного котла деревинною сировиною. Деталі роторних живильників відносяться до конічних трибовузлів і працюють в екстремальних умовах: корозійне середовище – луг з температурою 160-180 градусів, перепад тиску від 0,15 до 1,25 МПа, великі швидкості перетічок лугу між обертаючим конічним ротором та конічним корпусом. Все це призводить до появи в деталях особливих умов спрацювання. Розглянемо їх на прикладі конічних роторних живильників шведської фірми Камюр.

При діагностуванні конічних трибовузлів, основним методом контролю є візуальний та візуально оптичний огляд, визначення розмірів дефектів, інструментальний контроль тріщин і товщини металу, проведення ультразвукового контролю після ремонту відновлених деталей.

Наявність дефектів або тріщин не обов'язково свідчить про критичний стан або втрату цілісності конструкції, але обов'язково про зниження її здатності, що несе, унаслідок, поєднання концентрації напруженості в дефектній зоні і зміни форми і площі ефективного перерізу.

Конічні трибовузли виходять з ладу як унаслідок зносу, так і в результаті руйнування або втомних пошкоджень. Тому діагностику пошкоджень трибовузлів проводять також, досліджуючи фізичні ефекти утворення і зростання дефектів.

Розглянемо методи підвищення надійності конічних трибовузлів технологічним методами.

1. Механічна обробка корпуса і проточування ротора під необхідний розмір корпуса із 5-7 роторів, які повинні знаходитись в роботі. Перевірка конусності виконувалась за допомогою оптичного квадранта КС-1М. Механічна обробка деталей виконувалась на різних верстатах. Ротор – на токарному, а корпус на карусельному верстатах. Переваги способу – відсутні зварювальні напруги в роторі при ремонті. Недоліки – необхідна велика партія роторів, яка використовується для роботи з корпусом.

2. Ручне дугове наплавлення ротора та проточка корпусу на необхідний розмір. Цей спосіб використовується з перших кроків ремонтних робіт. Переваги – не потрібна велика партія роторів. Використовується корпус з "рідним ротором". Недоліки – виникають зварювальні напруги в роторі, які призводять до виникнення тріщин та деформацій в наплавленому роторі.

3. Автоматичне наплавлення ротора під шаром флюсу та проточування корпусу. Цей спосіб є поширеним на всіх підприємствах галузі. Для цього на 40% вікон кишень ротора виготовляються накладки і приварюються по периметру вікон. Ця операція дозволяє використовувати автоматичне наплавлення ротора під шаром флюсу. Переваги – скорочується термін ремонту ротора в 3-5 разів. Недоліки – у відходи йде більше 40% наплавленого металу. В роторі виникають зварювальні напруги.

4. Диференційне наплавлення ротора. Для уникнення появи граничного тертя на основах та середніх перемичках ротора і корпусу при компенсації зазору використовується диференційне наплавлення ротора. Основи та середні перемички ротора наплавляються антифрикційним матеріалом (монельметал), а останні поверхні відновлюють автоматичною наплавкою під шаром керамічного флюсу. Переваги – підвищується надійність живильника при виконанні компенсації зазору. Зменшується вартість перемички в 20 разів.

Недоліки – виникає потреба в розробці композитного дроту для наплавлення. В відходи входять 40% наплавленого матеріалу.

5. Комбінований спосіб відновлення деталей живильника. Для зменшення відходів зварювальних матеріалів при проведенні ремонтних робіт використовується комбінований спосіб ремонту. Для цього виготовляються накладки і приварюються по периметру поверхонь ротора між вікнами по довжині кола ротора. Основи ротора та середня перемичка ротора наплавляється антифрикційним (монель-метал) матеріалом. Переваги – зменшується потреба в зварювальних матеріалів в тричі та зварювальні напруги. Недоліки – виникає потреба в виготовлені накладок: вирізка з листа, вальцювання, прихвачування та зварювання.

З усіх видів способів відновлення деталей живильника самим економічним є комбінований спосіб відновлення ротора і проточка корпусу. Це дозволяє значно збільшити надійність роботи конічних трибовузлів в промисловому транспорті за рахунок зменшення вірогідності виникнення тріщин на поверхнях деталей конічних трибовузлів.

УДК 671.791.927.5
Носенко М.І.[1], Камель Г.І.[2], Білий Р.Ю.[3], Жабіна Є.О.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. Т-418сп НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. ГМ-17-1 ЗАК ім. Івченко

ВИГОТОВЛЕННЯ ОБИЧАЙКИ АРМОВАНОЇ РІВНОМІРНО РОЗПОДІЛЕНИМИ ЗА ОБ'ЄМОМ ЗЕРНАМИ КАРБІДІВ, БОРІДІВ, НІТРИДІВ І СИЛІЦИДІВ РІЗНИХ МЕТАЛІВ

Спосіб виготовлення обичайки, армованої рівномірно розподіленими за об'ємом зернами карбідів, нітридів, боридів і силіцидів різних металів відноситься до галузі виготовлення композиційних матеріалів, які використовуються, наприклад, в ракетній, авіаційній, металургійній та машинобудівній промисловості.

Недоліками існуючого способу виготовлення композиційних матеріалів є відносна велика вартість матеріалів, проблематичність отримання армованих матеріалів з заданими властивостями та дуже складна технологія виготовлення.

Найбільш близьким способом виготовлення обичаєк (листових) армованих металевих матеріалів є варіант, в якому між двома обичайками (листами) встановлюють армовані сітки (вольфрамові волокнисті матеріали, переплетені дротом із матричного сплаву) з проміжною обичайкою (листом) та

наступне контактне зварювання на роликовій машині з перекриттям кільцевих (продольних) швів на 25-30%.

Недоліком даного способу є неможливість прихвачування окремих елементів армованих сіток і обичаєк (листів), так як при цьому руйнуються волокна. Крім того, всі елементи заготовки: армуючі сітки, обичайки (листи) не скріплені між собою і при контактному зварюванні виникають великі зазори, які призводять до деформації виробу та зниженню якості точкового зварювання. В армованих сітках волокна заізольовані між собою матричним дротом, що збільшує зазори та пустоти в заготовці виробу. При проходжені зварювального струму через заготовку виділяється тепло в контакті волокна - обичайка (лист), що призводить до додаткового перегріву та частковому руйнуванню волокон. При зварюванні готових виробів виникає проблема отримання якісного з'єднання кінцевок обичайки (листів), що знижує надійність виробу. В заготовках є багото пустот в армованій сітці, між нею та обичайками (листами), що знижує якість зварних швів.

В дослідницькій роботі поставлена задача вирішувалась тим, що в способі виготовлення обичайки, армованої рівномірно розподіленими за об'ємом зернами карбідів, нітридів, боридів і силіцидів різних металів, при якому послідовно збирають внутрішню, проміжну та зовнішню обичайки, між ними укладають армуючий елемент з мінімальними зазорами та здійснюють контактне зварювання на роликовій машині. В якості армуючого елементу використовують армований порошковий дріт, який щільно укладають за наперед заданим законом, наприклад, по гвинтовій лінії зверху вниз направо або у вигляді сітки, та прихвачують контактним зварюванням до внутрішньої обичайки або до попередньо прихвачених витків шару армованого порошкового дроту. Крім того, порошковий дріт складають з оболонки матричного сплаву, усередині якої знаходяться зерна карбідів з електропровідною підложкою. Крім того, проміжну та зовнішню обичайки складають зі стрічки матричного сплаву, яку щільно укладають за наперед заданим законом, наприклад, по гвинтовій лінії зверху вниз наліво та прихвачують контактним зварюванням до попередньо прихвачених витків порошкового дроту.

Щільне укладання та прихвачування армованого порошкового дроту за попередньо заданим законом, наприклад, по гвинтовій лінії або у вигляді сітки, до внутрішньої обичайки, забезпечує необхідну жорсткість конструкції. В залежності від висоти (товщини) виробу наноситься один, або декілька шарів, армованого порошкового дроту з використанням, в якості проміжної, обичайки у вигляді стрічки, яка щільно укладається та прихвачується за попередньо заданим законом, наприклад, по гвинтовій лінії або у вигляді сітки, до шарів порошкового дроту.

Укладання шарів з дроту по гвинтовій лінії зверху вниз направо або у вигляді сітки та шарів стрічок матричного сплаву по гвинтовій лінії зверху

вниз наліво забезпечує мінімальні зазори в каркасі та необхідну жорсткість конструкції.

Використання стрічок, в якості внутрішньої і зовнішньої обичайки, після прихвачування перед зварюванням також призводить до підвищення жорсткості і зниження деформації виробу, внаслідок чого покращується якість контактного зварювання.

При контактному зварюванні електропровідна оболонка порошкового дроту, підложка зерен та стрічка розплавляються і, разом з розплавленням матеріалу обичайки та порошком між зернами, формує ядро, в якому знаходяться непошкоджені зерна. Електропровідна підложка армованого порошкового дроту захищає зерна від руйнування та розчину в основі матричного сплаву за рахунок набагато більшого виділення тепла в контакті між оболонкою і підложкою, ніж між зернами та підложкою та покращує технологічність зварювання, дозволяє забезпечити мінімальні деформації та мінімальні дефекти в виробі і отримати монолітну заготовку з мінімальними зазорами та максимальною жорсткістю.

Використання запропонованого способу дозволить підвищити експлуатаційну надійність та збільшити термін роботи деталей в 2-3 рази.

УДК 671.791.927.5
Волков Г.П.[1], Камель Г.І.[2], Гімранов А.Г.[3], Адамович Н.В.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р техн., наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. М-327сп НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. М-16 ЗАК ім. Івченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

На Україні виробляють целюлозу три комбінати: Херсонський, Жидачевський та Ізмаїльский. На підприємствах задіяно механічне обладнання японської фірми «Пандія». Підвищення надійності роботи механічного обладнаня залежить від наступних факторів: 1) функціонування автоматизованих систем безперервного завантаження варильних котлів деревинною сировиною; 2) процесів зношення та відновлення деталей механічного обладнання; 3) експлуатаційних характеристик задіяної транспортної системи. В цих напрямках і реалізується програма підвищення надійності промислового обладнання целюлозно-паперового виробництва на Україні. ЇЇ результати спостерігаються у наступному:

вперше розроблена науково обгрунтована теорія транспортування тріски деревини в зону високого тиску варильного котла, базуючись на створенні

теорії транспортування і завантаження ротора живильника і вивантаження тріски з ротора за допомогою кільцевої траси транспортування в котел;

вперше розкрита фізична природа завантаження тріскою кишень, обертаючого ротора живильника, а саме: транспортування лугу насосом при низькому тиску, формування гідросуміші при вільному падінні лугу і тріски в трубі живильника; подальше формування та вирівнювання концентрації гідросуміші; збільшення концентрації гідросуміші в кишені обертаючого ротора за рахунок відокремлення лугу за допомогою сита;

вперше, з урахуванням структурно-алгебраїчної схеми та математичної моделі отримані результати ефективності застосування в промисловому транспорті двох позитивних зворотних зв'язків: рівня гідросуміші при завантаженні та обертанні ротора, а також встановлена система регулювання рівнів гідросуміші та присадків за допомогою датчиків радіації у роторі живильника;

встановлена система регулювання рівня тріски в верхній ділянці варильного котла, на базі визначення параметрів току в обмотці збудження двигуна обертання шнека;

вперше з урахуванням фізичних та математичних моделей встановлено вплив на рівень гідросуміші коефіцієнта кратності циркуляції, що відповідає продуктивності насосу і служить формуванню концентрації і витратам тріски, лугу та гідросуміші у відношенні 1:2:2;

вперше розроблені наукові положення з моделювання нестаціонарних процесів в пропарювальній камері і отримані результати з оцінки впливу температури і швидкості транспортування тріски вподовж, обертаючого шнека на динаміку пропарювання;

запропонована і досліджена схема гідравлічної слідкуючої системи регулювання рівня тріски в варильному котлі за частотою обертання ротора дозатора тріски;

вперше для оцінки концентрації гідросуміші в кишені обертаючого ротора запропонований метод завантаження обладнання пропорційно об'єму кишені та частоті обертання ротора;

вперше розкрита природа виникнення гідроударів та вібрацій в роторному живильнику при транспортуванні тріски. Визначена величина, термін та швидкість виникнення фази гідроударів в живильнику та запропонована конструкція пристрою для зменшення величини гідроударів.

вперше розроблена оцінка параметрів навантажень, які виникають на конічних поверхнях роторних живильників і дозволяють призначати оптимальні розміри для корпусу живильника та параметри запірної арматури для зниження гідроударів.

УДК 671.791.927.5
Волков Г.П.[1], Камель Г.І.[2], Сакун О.В.[3], Любченко Д.С.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р техн., наук, проф. ЗАК ім. Івченко
[3] студ. гр. М-337сп НУ «Запорізька політехніка»
[4] студ. гр. АКТ 16-3 ЗАК ім. Івченко

ДЕЯКІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОТОРНИХ ЖИВИЛЬНИКІВ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

На надійність експлуатації корпусу роторних живильників шведської фірми «Камюр», які використовуються в целюлозному-паперовому виробництві, значний вплив мають фактори конструктивного, експлуатаційного та технологічного характеру.

Узагальнюючи дослідження роботи живильників за тривалий термін експлуатації, які були проведені, в тому числі і авторами, були отримані наступні результати:

- розроблена науково обгрунтована теорія підвищення ефективності роботи спеціального обладнання, що базується на спостереженнях процесів спрацювання деталей роторних живильників, а також аспектах теорії тертя та спрацювання в машинах, зосереджуючись на процесах зношування конічних поверхонь роторного живильника, методів відновлюючих технологій і конструктивних удосконалень;
- одержано подальший розвиток і поглиблення теорії спрацювання для конічних поверхонь, що дозволить впровадити конструктивні удосконалення деталей і вузлів роторних живильників, аргументовано вибирати матеріали, наплавлені матеріали і сучасні відновлюючи технології, які дозволяють створити сучасні високо надійні і продуктивні роторні живильники;
- розкрита фізична природа функціональних параметрів технологічного процесу подачі сировини при одержанні целюлози: завантаження живильника; завантаження (розвантаження) кишень обертаючого ротора; зростання тиску в кишені ротора; оцінка пропускної спроможності живильника; примусової компенсації зазору в живильнику; функціонування слідкуючої системи управління динамікою завантаження тріски в варильному котлі; виконання функцій запірного пристрою і різального механізму;
- встановлена можливість направленого підвищення надійності і продуктивності роторних живильників за рахунок: оптимізації виконання функціональних параметрів промислового транспорту, удосконалення конструкції деталей і вузлів живильників, оптимізація експлуатаційних параметрів, використання сучасних відновлюючих технологій при виготовлені і ремонті деталей і вузлів роторних живильників;

- розкрита фізична природа функціональних ознак промислового транспортування в технології одержання целюлози: термічна підготовка тріски; завантаження тріскою і лугом живильника; завантаження (розвантаження) кишень, обертаючого ротора; виникнення вібрацій та гідроударів в живильнику; робота регулюючих пристроїв, які впливають на надійність та продуктивність роторних живильників:
- представлена науково-обґрунтована теорія підвищення ефективності роботи промислового комплексу целюлозно-паперових виробництв, яка базується на дослідженні елементів конструкцій роторних живильників, декомпозиції функціональних параметрів транспортно-завантажувальної системи, зокрема роторних живильників, оцінки впливу відновлюючих технологій і конструктивних удосконалень на дотримання експлуатаційних характеристик за весь термін експлуатації.

Практична значимість проведених робіт полягає в використанні розроблених рекомендацій для конструктивних удосконалень, оптимізації експлуатаційних параметрів, розробки відновлюючих технологій, заміни дорогоцінного металу на більш дешевий та зносостійкий матеріал Х15Н5Д2Т. Що дозволило відмовитись від закупівлі живильників і деяких деталей до них по імпорту.

УДК 678.02:621.365
Задоя Н.О.[1], Медведенко Є.Д.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-316 НУ «Запорізька політехніка»

ПОСТАНОВКА КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОГО СКЛОПЛАСТИКУ

Під впливом радіаційних методів обробки в зоні опромінення досягається висока температура, що може викликати термічні деформації і погіршення якості склопластикових конструкцій (деструкція полімерного сполучного, газовиділення). Процес терморадіаційного твердіння полімерів, як поліконденсаційного, так і полімеризаційного типів ставить завдання оптимізації температурних режимів, які забезпечують якісне твердіння зв'язуючих. Одним із шляхів вирішення поставленого технологічного завдання є створення математичної моделі теплових процесів у склопластику при радіаційному твердінні та інженерних методів розрахунку температурних полів.

Поставимо задачу в такий спосіб. Циліндр нескінченної довжини, із внутрішнім радіусом r_1 і зовнішнім радіусом r_2, обертається навколо своєї осі з постійною кутовою швидкістю ω. Поза його розташовується джерело електронів, який опромінює паралельним пучком заданої ширини b, викликаючи

нагрівання. Потужність теплового джерела ***Q*** на одиницю довжини циліндра може регулюватися енергією електронів ***E*** і струмом пучка ***I***. Нагріті ділянки циліндра передають тепло холодним у результаті процесу теплопровідності. Тепло також розсіюється в просторі в результаті конвенції і теплового випромінювання.

Так як теплопровідність наповнювача відрізняється від теплопровідності сполучного, пакет із наповнювача та зв'язуючого є анізотропний по теплопровідності матеріал. Шари у циліндрі можуть бути спірально-кільцеві та геодезичні. Спірально-кільцеві шари характеризуються малим кутом до напрямної і мають, отже, приблизну симетрію щодо відображень по тангенціальному, осьовому та радіальному напрямкам. Кожен окремо геодезичний шар не володіє такою симетрією, але зазвичай після шару з кутом намотування φ йде шар із кутом намотування $-\varphi$. Пара таких шарів вже приблизно володіє симетрією зазначеного виду. Це стосується також циліндра в цілому, який, таким чином, являє собою ортотропне тверде тіло, що має різну теплопровідність в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Теплові потоки в циліндричній системі координат у радіальному напрямку r, тангенціальному φ та осьовому z рівні відповідно: $q_r = -\lambda_r \cdot \frac{\partial T}{\partial r}$; $q_\varphi = -\lambda_\varphi \cdot \frac{\partial T}{r \partial \varphi}$; $q_z = -\lambda_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z}$.

Проходячи по товщі матеріалу, енергія електронів зменшується за експоненціальним законом. Частина електронів віддають тепло композиту, а частина – розсіюється в просторі. Будемо вважати, що струм пучка ***I*** позначає ту частину струму електронів, яка витрачається на нагрівання циліндра зсередини і дозволяє розподіляти тепло рівномірно в межах ефективної ширини. Усередині виробу через процес гальмування електронів виділяється теплота. Об′ємна густина теплового потоку визначається як кількість теплоти, що виділяється гальмуванням електронів у елементарному обсязі середовища в одиницю часу, та позначається через $q(r, \varphi, z, \tau)$. В системі координат, пов'язаної із циліндром, який обертається (лагранджевої системі координат), циліндр стає нерухомим, а навколо нього обертається джерело електронів.

Диференціальне рівняння теплопровідності має у загальному випадку безліч рішень. Щоб із цієї множини вибрати рішення, що характеризує конкретний розглянутий процес, і дати повний опис цього процесу, необхідно до основного диференціального рівняння приєднати додаткові умови, які включають геометричні (форма та лінійні розміри тіла), фізичні (теплофізичні властивості) та крайові (сукупність початкового та граничних умов).

Диференціальне рівняння теплопровідності разом із заданими додатковими умовами повністю визначають крайову задачу теплопровідності.

УДК 621.874
Руднєв О.М.[1], Базаря В.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-316 НУ «Запорізька політехніка»

ПРОБЛЕМИ МОНІТОРИНГУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ І ПАСПОРТИ МАГНІТНОГО КОНТРОЛЮ

Протягом багатьох десятиліть діагностика кранових металоконструкцій будувалася на поняттях і критерії «наявності-відсутності» дефектів, їх розмірів і кількості, тобто в основу працездатного стану обладнання закладалися «дефектоскопічні критерії» без оцінки напружено-деформованого стану металоконструкції і визначення причин граничного стану об'єкта.

Оцінка напружено-деформованого стану зварних металоконструкцій в процесі проведення технічної діагностики вантажопідіймальних кранів стає актуальнішою, тому що темпи старіння парку кранів України значно випереджають темпи технічного переозброєння. Особливо ця тенденція проглядається на прикладі мостових кранів.

В якості одного з напрямків вирішення цієї проблеми набула поширення практика магнітної діагностики металоконструкцій підйомних споруд на основі вимірювання магнітної характеристики металу - коерцитивної сили. В основу даного методу неруйнівного контролю покладено кореляційні залежності між механічними властивостями металу і одним з основних фізичних параметрів петлі магнітного гістерезису - коерцитивної силою, (А / см), як найбільш чутливої до зміни щільності дислокацій структури стали.

Результати робіт дослідників і практика застосування магнітної структуроскопії при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій при малоцикловой втоми дозволила встановити усереднені зміни швидкості росту (А / см * рік) при різних режимах навантаження.

Отримані значення фактично не дають відповіді на питання: на якому етапі життєвого циклу підйомного споруди і за рахунок яких чинників деградації металу елементи конструкції досягли напружено-деформованого стану. Високі значення коерцитивної сили – це тривожний сигнал для експертів, завдання яких і полягає в тому, щоб визначити причини «тяжкого стану» металоконструкції.

Очевидно, що без базових знань по ПТМ в практичній роботі по оцінці напружено-деформованого стану металоконструкції крана не можна досягти позитивних результатів.

Прогнозування залишкового ресурсу вантажопідйомної машини залежить від комплексного підходу до оцінки напружено-деформованого стану її металоконструкції при наявності в експертній організації сучасного діагнос-

тичного обладнання та приладів, а також готовності персоналу застосовувати прогресивні технології при проведенні робіт в процесі експертного обстеження та аналізі отриманих результатів.

Первинні значення коерцитивної сили H_C^0 так само, як і механічні властивості, залежать від багатьох факторів: хімічного складу сталі, величини зерна, наявності структурної неоднорідності, стану поставки металопрокату (гарячекатаний або холоднокатаний прокат, в відпаленому або нормалізованому стані).

Тому в 2002 р. була висловлена думка: при виготовленні кранових металоконструкцій необхідно вимірювати початкові значення коерцитивної сили H_C, щоб в подальшому стежити за зміною значень для своєчасного запобігання аварійних ситуацій. Ця ідея в подальшому була трансформована в паспорт магнітного контролю. Протягом декількох років Харківський завод підйомно-транспортного устаткування при поставках комплектував супровідну документацію паспортами магнітного контролю на крани спеціальні вельми важкого і важкого режимів роботи.

Паспорт магнітного контролю є підтвердженням гарантій заводу-виготовлювача якості металоконструкцій в тому сенсі, що первинний стан звареної конструкції відповідає вимогам надійної експлуатації (по ІСО 4301) з точки зору зварювальних напружень.

Результати робіт дослідників і практика застосування магнітної структуроскопії при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій при малоцикловой втоми дозволила встановити усереднені зміни швидкості росту $\Delta H / \Delta T$ (А/см*рік) при різних режимах навантаження.

УДК 621.873-52
Мартовицький Л.М.[1], Глушко В.І.[1], Шаніна З.М.[1], Гусев О.Л.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-319м НУ «Запорізька політехніка»

РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

Більшість європейських стандартів щодо створення, експлуатації та діагностування вантажопідйомних кранів (машин) передбачає ризик-орієнтований підхід (РОП). Першою задачею РОП є використання цього методу для обґрунтування подовження служби підйомних пристроїв із закінченим строком служби при експертних обстеженнях, а не визначення остаточного ресурсу металоконструкцій, як це існує зараз. Необхідно врахувати кадровий голод, моральний та фізичний знос підйомних пристроїв.

Далі необхідно віднайти узгоджене взаємопорозуміння сучасних та існуючих засобів гарантування безпеки з ризик-орієнтованим мисленням. Потретє – необхідно розробити інструментарій (регламент) оцінки ризику вантажопідйомних машин.

Ризик визначається на основі теорії нечітких множин, невизначенностей та лінгвістичних змінних. Теоретична основа РОП закладалась ще в 1923 р. роботами Ф. Найта «Ризик, невизначеність та прибуток», зараз ризик регламентується стандартами ISO 31010, ISO 31000.

Вантажопідйомні крани, як машини з підвищеною небезпечністю, слід створювати, експлуатувати, діагностувати з врахуванням ризик-орієнтованого підходу.

УДК 621. 791
Волков Г.П.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

БЕЗЗРАЗКОВІ МЕТОДИ ОЦІНКИ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛІВ

За останні роки намітилася стійка тенденція посилення продукції китайського виробництва на ринку металу і металопродукції України. Цьому сприяє згортання власного виробництва і низька купівельна спроможність споживачів. Як наслідок, дешева продукція китайських виробників усе більш витісняє якісний сегмент продукції в різних галузях вітчизняного машинобудування. Незнання китайських стандартів які використовують власне маркування механічних властивостей металів приводить до різночитання зі стандартами прийнятими в нашій країні. Наприклад, цифри в позначеннях різального інструменту, що вказують при продажі на максимальну твердість (за шкалою HRC) металу, по якому інструмент може працювати, насправді означають граничну твердість, тобто значення при якій інструмент обов'язково зламається. Багато зразків інструменту позиціонується китайською промисловістю як "надтверді матеріали" виготовлені із сплавів з пониженим вмістом кобальту. Відомо, що такий сплав не виготовляють в Китаї, а відповідно, тільки масовий виробник інструменту може закуповувати дорогі сплави. Безліч же дрібних виробників що не мають можливості це собі дозволити йдуть на відверту підробку, обманюючи покупців. Аналогічна картина і в багатьох видах металопродукції широкого вжитку. Аналізуючи поставки металу і металопродукції в нашу країну, видно, що велику частину їх складає продукція Китаю сумнівної якості і доля її постійно зростає. На тлі того, що в Україні фактично відсутня система контролю якості, це створює проблеми в галузі машинобудування. Забезпечення надійної і довговічної експлуатації

металопродукції неможливе без ефективних методів контролю механічних властивостей використовуваної сировини, як при постачаннях, так і протягом її змін і модифікацій.

Можна відмітити, що серед існуючих методів контролю механічних властивостей матеріалів, є методи які ґрунтуються на показниках твердості, які будучи порівняно простими, в той же час є перспективними в можливості прискореної оцінки деяких механічних характеристик металу, готових деталей або конструкцій, не виводячи їх з ладу і не вирізуючи з них зразків. Такі методи дістали назву «беззразкових» методів оцінки механічних властивостей. Методи «без зразкової» експрес-оцінки комплексу механічних властивостей металів за параметрами твердості і діаграмами інденторних випробувань, дозволяють давати оцінку таким характеристикам як: межа плинності, тимчасовий опір, опір розриву, відносне подовження та інші.

Проте, незважаючи на велику кількість досліджень по розробці «без зразкових» методів, вони ще не отримали належного розвитку. Це пояснюється багатьма причинами. Одні з них викликані недостатнім теоретичним і експериментальним обґрунтуванням взаємозв'язку характеристик твердості з іншими механічними властивостями металів, а також з великою кількістю методик і емпіричних формул що не можуть становити загальну теорію. І як наслідок, цьому немає інженерного впровадження у вигляді компактних переносних приладів для реалізації експрес методів контролю. Це дозволяє зробити висновок про безперечну актуальність даної проблеми і необхідності її як наукового, так і інженерного вирішення.

УДК 621.873-52
Мартовицький Л.М.[1], Сочава А.І.[1], Глушко В.І.[1], Шаніна З.М.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ТОЧНІСТЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЛИВКІВ МЕТАЛУРГІЙНИМИ КЛІЩОВИМИ КРАНАМИ

Скорочення технологічного циклу виробництва зв’язано з механізацією та автоматизацією підйомно-транспортних та складських робіт. На сучасних виробництвах слабким місцем все ще є перевантажувальні операції, хоча вирішення цієї проблеми до деякої міри лежить в площині роботизації як засобу комплексної автоматизації техпроцесів. Розробка та застосування підйомно-транспортних роботів (ПТПР) відстає від загального роботобудування, а їх вантажопідйомність та точність позиціювання поки що обмежені. Разом з тим, існують та успішно виконують функції ПТПР деякі спеціальні технологічні крани, переважно крани із жорстким підвісом вантажу: крани-штабелювальники, баланс-крани, пратцен-крани, контейнерні перевантажу-

вачі, реакторні крани і інші. Експлуатаційне призначення, кординатно-матричне розміщення вантажів, однотипність перевантажувальних операцій, жорсткий підвіс вантажів – все це сприяє переведенню вказаних кранів в розряд ПТПР при оснащенні їх системами автоматичного програмного керування.

Для цього вказані крани повинні мати відповідну жорсткість, яка знаходиться в задовільних межах, та точність позиціювання, яка не задовольняє вимогам виробництва.

Кафедрою ДМ і ПТМ проведено позиційно-точностний аналіз кліщового металургійного крана (колодязного) за принципом розімкнутого кінематичного ланцюга маніпулятора ПР. Всі переміщення кліщів із зливком метала в декотовій системі виконувалися з відхиленнями від програмних рухів (з помилками позиціювання). Всі відхилення переміщень крана взято із виробничих умов. По функції положень кліщів із зливком на основі фактичних даних отримані максимальні похибки позиціювання кліщів по координатам: $\Delta X = 175$ мм, $\Delta Y = 75$ мм, $\Delta Z = 61$ мм.

Для роботи кліщового крана як ПТПР із зливками на всіх фазах роботи з ними в пічному відділенні заводу «Запоріжсталь» точність позиціювання достатня.

УДК 621.762.4
Носенко М.І.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА РІВЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВОГО ТИТАНУ

Вибір відповідних температури, швидкості і ступіня деформації, при ущільненні та формозміні порошкових заготовок, дозволяє в широких межах керувати зміною механічних властивостей матеріалу в процесі і після гарячого деформування. Тому дослідження впливу параметрів термомеханічного режиму деформації на отримання порошкових матеріалів і виробів із заданими механічними властивостями є важливою науковою та практичною проблемою.

Для проведення досліджень використовували холоднопресовані заготовки відносної щільності $\Theta_0 = (70...90)\%$ з порошків титану ПТЕС-1, ПТЕК-1, ТГ-ТВ (-0,63+0,18).

Вплив вихідної пористості заготовок, термомеханічного (температура, ступінь, швидкість) і силового (тиск) режимів деформації на ущільнення та їх загальний взаємозв'язок із характером зміни та значенням рівня показників

механічних властивостей порошкового титану вивчали при різних схемах гарячого штампування.

Встановлено оптимальні вихідна щільність порошкових заготовок, деформаційний, температурний та силовий інтервали гарячого штампування в закритому штампі та з елементами витікання, що забезпечують отримання практично беспористого матеріалу з найкращим комплексом рівня показників міцності ($\sigma_в$), пластичності (δ, ψ) та ударної в'язкості (KCU).

УДК 620.178.3
Сочава А.І.[1], Глушко В.І.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НА МЕХАНІЗМ ВТОМИ МЕТАЛІВ В УМОВАХ АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ

В літературі приймається, що концентрації напружень впливають тільки на величину амплітуди циклу, але, як показують дослідження металічних конструкційних матеріалів значення ефективного коефіцієнта концентрації напружень може коливатись в залежності від величини середніх напружень $б_{tп}$ в досить значних величинах. Наприклад при теоретичному коефіцієнті концентрації $\alpha_б$ =2,5 ефективний коефіцієнт концентрації приймає значення від 1,46 до 2,1 в діапазоні середніх напружень циклу $б_{tп}$ від +300 МПа до –200 МПа діаграми граничних амплітуд. При чому криві однакової довговічності даної діаграми в діапазоні середніх напружень +100…-100 МПа мають ввігнутий вид. При більших за абсолютною величиною значеннях $б_{tп}$ криві однакової довговічності переходять в вид випуклий.

Таку поведінку кривих однакової довговічності можна пояснити аналізуючи механізм пластичних деформацій в умовах асиметрії циклу і механізм формування залишкових напружень.

УДК 621.874
Руднєв О. М.[1], Лятуринський В.О.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ МОСТОВИХ КРАНІВ

В роботі аналізується напружений стан головних балок мостового крана. Розглядаються два випадки навантаження: підйом вантажу з підхватом, бокове навантаження на штангу. Експериментально, теоретично та програм-

но визначені напруження, що виникають у цих випадках. Висновки вказують на доцільність методик розрахунку напружень для коробчастих балок.

Серед головних балок мостових кранів великої вантажопідйомності найбільш поширеними є коробчасті з розташуванням рейки над стінкою балки. Незважаючи на їх широку застосовність дійсний напружений стан різних конструктивних виконань цих балок потребує подальших досліджень. Метою роботи є визначення напружень, що виникають в мостових кранах з коробчастими балками та розміщенням рейки над стінкою трьома методами та порівняння отриманих результатів. Аналізу підлягає мостовий двобалковий колодцевий кран, що працює на МК "Запоріжсталь", заводський № 292. Він призначений для завантаження виливків в нагрівальні колодці та перевантаження вже підігрітих виливків на виливковоз. Кран виготовлено на заводі ім. Тельмана (ГДР) в 1969 році. Головні характеристики крана наступні: вантажопідйомність – 20 т.; проліт – 27 м.; вага візка – 103,5 т.; база крана – 5,6 м.; база візка – 3,9 м.; швидкість підйому – 0,3 м/с; режим роботи – ВТ. Методи визначення напружень, що будуть використані: теоретичний класичний, експериментальний, кінцево-елементний аналіз тривимірної моделі.

Пролітні балки крана мають коробчастий перетин з великими та малими діафрагмами, рейки розміщені над стінками балок. Колодцеві крани з металоконструкціями такого типу виробляються і сьогодні. Характерною їх особливістю є жорсткий підвіс вантажу.

Для проведення необхідного аналізу визначимо теоретичні навантаження, що діють на цей кран в процесі роботи. Розглядаються наступні випадки: підйом вантажу з підхватом, створення зусилля на штанзі захвату за допомогою лебідки. В обох випадках візок встановлено на середині прольоту. При підйомі вантажу з підхватом додаткове навантаження на балки з боку ходових коліс є сумою ваги виливка та інерції виливка, кліщів, штанги, тощо. Теоретично визначено, що воно складає 890000 Н. Тобто одна балка сприймає додаткове навантаження 445000 Н. Очевидно що під дією цього навантаження балка зазнає деформації згину та кручення (через розміщення рейки над стінкою). Зусилля на штангу за допомогою лебідки прикладається під кутом 30º до горизонту, в сторону торця цеху Горизонтальна складова зусилля викликає перерозподіл вертикальної складової навантаження на балки. Точка прикладення зусилля знаходиться на відстані 13 м від центру ваги візка. Прикладаються зусилля 45000 Н, 75000 Н, 125000 Н. Додаткове навантаження визначається за формулою 1, в ній h = 13 м. – за умовою експерименту, B = 5 м. – колія візка.

$$P_{додаткове} = \pm F_{гориз} \cdot \frac{h}{B} \qquad (1)$$

Для зазначених розрахункових випадків розраховані теоретичні напруження, що мають виникнути в зонах наклеювання тензодатчиків. Для зон датчиків напруження від згину при дії вертикальної сили складають 786,5 кН/м². Для зон датчиків теоретичні напруження від 10 кН дорівнюють 713,7 кН/м². Дотичні напруження від кручення балок, при прикладенні сили 10 кН на рейку складуть: при горизонтальному напрямі сили τ = 130 кН/м², при вертикальному напряму сили τ = 213 кН/м².

Теоретично визначені напруження в точках розміщення датчиків для обох випадків представлені в таблиці. Ці точки пронумеровано . Всі датчики розміщено на середині прольоту головних балок.

За допомогою тензометричної апаратури було визначено дійсні напруження вказаних зон пролітної будови крана для зазначених вище розрахункових випадків. Дійсні напруження, виявлені в результати експерименту приведено в таблиці ("+" - розтяг, "-" - стиск).

Для реалізації третього метода визначення напружень була створена повнорозмірна тривимірна модель пролітної балки колодцевого крана. Модель довелося спростити через обмежені можливості APM FEM по аналізу великих моделей складної геометрії. Для аналізу необхідних нам точок спрощеної моделі достатньо. В програмному комплексі APM FEM studio було проведено кінцево-елементний аналіз напружень, що виникають в конструкції для напрямів та рівнів навантажень що тут розглядаються.

Порівняння результатів визначення напружень трьома методами вказує достатню збіжність. Відхилення аналітичного розрахунку від реально визначеного напруженого стану балок не перевищує 20%, в середньому знаходиться на рівні 5%. Це вказує на належну якість проведення експериментів. Проведений аналіз виявив, що результати кінцево-елементного модельного визначення напружень кранових балок коробчастого перетину в деяких випадках значно занижені від реальних напружень. Особливо це помітно при визначенні напружень розтягу та в другому випадку навантаження. Точність аналізу максимально напружених зон прийнятна.

В результаті проведеної роботи встановлено, що при достатній повноті моделі коробчастої балки результати розрахунків в електронних програмних комплексах дають наглядний результат, але час, що потрібен для створення та аналізу моделі, значно більший ніж при класичних методах. Програмний комплекс APM FEM можна рекомендувати для малих моделей та моделей простої конфігурації. Розрахунок великих моделей ускладнений. Класичні методики розрахунків зручно використовувати для аналізу декількох перетинів при невеликій кількості розрахункових випадків та навантажень. Їх результати ближчі до реальних напружень ніж модельні. В модельних розрахунках зручно виявляти розподіл напружень. Програмний аналіз доцільно використовувати при значній кількості перетинів, що аналізуються, великій

кількості розрахункових випадків та навантажень, необхідності виявлення зон і значень максимальних напружень. Виявлено, що класичний теоретичний і кінцево-елементний розрахунок великих коробчастих балок, лише при їх спільному використанні, забезпечує додатковий запас міцності при статичному навантаженні в межах 0 – 20 %.

УДК 621.874; 539.3
Клименко Г.В.[1], Лятуринський В.О.[2], Сидоренко М.В.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДІГРІВУ НА ПІСЛЯЗВАРНИЙ СТАН ПОЯСНОГО З'ЄДНАННЯ КОРОБЧАСТОЇ БАЛКИ

Постановка проблеми. Попередній підігрів з'єднання знижує рівень ПД(пластичних деформації) при зварюванні, що знижує результуючий рівень ЗН(залишкових напруженнь). За наявності попереднього підігріву знижується швидкість охолодження з'єднання, що сприяє утворенню менш загартованих структур. Попередній підігрів до ~130 °С є обов'язковим за низьких температур навколишнього середовища.

Методика. За методикою [2] виконано кінцеве-елементне моделювання технологічного стану поясних з'єднань коробчастих балок, виконаних одностороннім швом. Верифікацію результатів напруженого стану виконувалась малоруйнівним методом свердління глухого отвору [3].

Результати. Аналіз впливу попереднього підігріву з'єднання до 140 °С на післязварний НДС(напружено-деформований стан) проводився для $\upsilon_{зв} = 2$ мм/с та $\upsilon_{зв} = 12$ мм/с. Для кращого розуміння кінетики структурних перетворень небезпечних ділянок з'єднання аналізувалися режими охолодження ЗТВ(зона термічного впливу) стінки КБ(коробчастої балки) біля валику (рис. 1). Розглядалася тривалість знаходження матеріалу в межах характерних температур: З – початок/кінець росту зерна, ФП – початок утворення ферито-перлітної структури, Б – початок бейнітного перетворення, М – початок «чистого» мартенситного перетворення.

Встановлено, що при малих $\upsilon_{зв}$ (2 мм/с), попередній підігрів до типових температур 100…160 °С мало впливає на НДС з'єднання. Зокрема, максимальні $\sigma_{//}$ знижуються лише на 5…10%, рівень зміцнення в ЗТВ знижується на 20…40 МПа, а в валику шва на 40…70 МПа; максимальні $\sigma_{екв}$ знижуються лише на 10…15%.

Для $\upsilon_{зв} = 12$ мм/с вплив попереднього підігріву більш помітний і для ЗН є подібним до зменшення $\upsilon_{зв}$.

За наявності підігріву валик з'єднання та зони концентраторів є менш напруженими, при цьому рівень їх деформаційного зміцнення майже однаковий.

При високих $\upsilon_{зв}$, спостерігається значний вплив підігріву на розподіл структур з'єднання, зокрема за наявності підігріву не утворюється мартенсит. Це робить шов більш пластичним і знижує вірогідність раннього утворення мікротріщин. Суттєво зменшується концентрація бейнітної структури, крихкі зони віддаляються від лінії сплавлення.

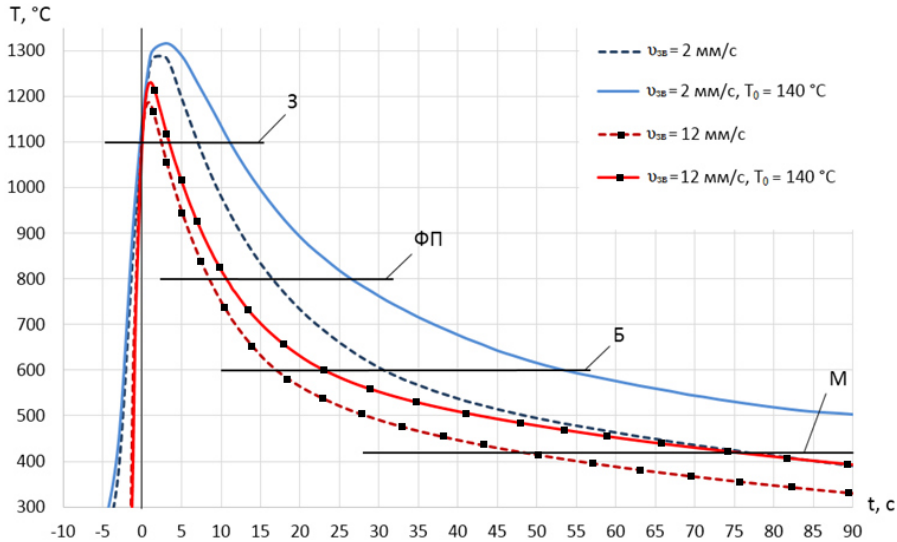


Рисунок 1 – Термічна історія зони термічного впливу стінки коробчастої балки біля поясного зварного шва за різних швидкостей зварювання та дозварних температур.

Висновки. Найкращою технологією накладання поясних швів слід вважати високошвидкісне зварювання із попереднім підігрівом. Окрім зниження абсолютних значень ЗН та ПД така технологія забезпечує зміщення найбільш схильних до руйнування ділянок ЗТВ від лінії сплавлення та геометричних концентраторів далі до основного металу стінки та поясу. Комбінація попереднього підігріву та низької швидкості зварювання поясного з'єднання є небажаною через значне підвищення тривалості росту зерна і відповідну крихкість ЗТВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыкалин, Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст] / Н. Н. Рыкалин. – М. : Машгиз, 1951. – 290 с.

2. Sysweld 2010: Reference manual [Текст]: copyright by ESI Group / Paris: ESI Group, 2010. – 467 p.

3. ASTM E 837-08. Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method [Текст]. – Philadelphia: ASTM Stand., 2008. – 17 p.

УДК 678.02:621.365
Задоя Н.О.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБОЛОНКИ БАКА ДІАФРАГМОВОГО З ЗАСТОСУВАННЯМ РАДІАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТВЕРДІННЯ

Бак діафрагмовий призначений для збереження робочої рідини та подавання її в систему ЖРД при роботі на верхніх ступенях шляхом витиснення діафрагмою. Бак має габарити 620 мм × 311 мм та складається з двох напівсфер, виконаних із тонкостінного алюмінієвого листа, шпангоута й зміцнюючої оболонки товщиною 4 мм. Оболонка забезпечує необхідну міцність баку при дії на нього робочого тиску. Основні технічні характеристики бака діафрагмового: тиск витіснення, МПа – 15,2; тиск випробування, МПа – 23,0; тиск руйнування, МПа – 31,0.

Конструкції аналогічних баків переважно мають металеву конструкцію. Однак проблема зменшення ваги викликає необхідність використання неметалевих матеріалів, що характеризуються високою міцністю та низькою питомою вагою. Оболонка бака діафрагмового виготовлялася з органопластику ЖСВМ+ЕДТ-10.

Органопластики ЖСВМ + ЕДТ-10 виготовляли методом «мокрого» намотування на верстатах із числовим програмним керуванням СНП-6. Для установки бака на верстат розроблено та виготовлено оснащення, що передбачає жорстке закріплення бака в передній цапфі та вільне провертання бака в задній цапфі. Таке технологічне рішення дозволило зменшити крутний момент.

Процес твердіння оболонки бака діафрагмового за традиційною технологією складає 13 годин. Для інтенсифікації процесу формоутворення запропонована технологія твердіння оболонки бака діафрагмового комбінованим способом, що включає інфрачервоне нагрівання до температури 390 К протягом 15 хв. і доотвердіння прискореними електронами до температури 423 К при дозі опромінення 80 Мрад протягом 1 хв.

Механічні випробування показали, що розривна міцність оболонки зі склопластику при комбінованому твердіння склала 1,72 ГПа, за штатною технологією – 1,42 ГПа.

Таким чином, при комбінованому твердінні розривна міцність збільшується на 20 % порівняно з конвективним нагріванням. При цьому час твердіння скоротився з 13 годин (за штатною технологією) до 16 хв. (при комбінованому твердінні).

СЕКЦІЯ «ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ»

УДК 621.771
Широкобоков В.В.[1], Чиженьков Є.Д.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ МЕТОДАМИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Холодне штампування порожнистих виробів об'єднує велику кількість різноманітних деталей, які можуть бути класифіковані:

а) за складністю форми;

б) за габаритними розмірами;

в) за способами виготовлення.

За складністю форми порожнисті вироби можна поділити на чотири основні групи:

а) циліндричні порожнисті вироби;

б) призматичні порожнисті вироби;

в) призматичні порожнисті вироби з внутрішніми ребрами і перегородками;

г) вироби складної форми з довільним перетином в площині і в плані.

Найбільш широке застосування в різних галузях економіки знаходять порожнисті вироби першої групи.

Сучасний стан розвитку економіки вимагає збільшення продуктивності виробництва, зниження собівартості, застосування нових матеріалів і технологій. Все це пов’язано з впровадженням нових економічних способів виготовлення порожнистих виробів. Таким прогресивним способом, що дозволяє отримувати порожнисті вироби, різні за складністю форми та габаритними розмірами, є холодне зворотне видавлювання.

Вивчення літератури, присвяченої теоретичному і експериментальному дослідженню енергоємності холодного штампування порожнистих виробів на кривошипних пресах дозволяє зробити наступні висновки:

1. Відсутні порівняльні дані з енергомеханічного режиму роботи кривошипних пресів при витяжці і видавлюванні аналогічних виробів, а також методика вибору кривошипних пресів для холодного видавлювання.

2. Теоретичні дослідження зворотного видавлювання виконані тільки стосовно штампування першої підгрупи порожнистих виробів. Рішення, отримані в згаданих роботах, потребують уточнення і не можуть бути використані для практичних розрахунків зусилля зворотного видавлювання великогабаритних порожнистих виробів другої підгрупи, так як вони не врахову-

ють особливості термомеханічного режиму, відповідно і визначення роботи для цих деталей ускладнено.

3. Відпрацьованої методики по експериментальному вимірюванню температури металу стосовно зворотного видавлювання порожнистих виробів на кривошипних пресах немає.

4. Відсутня порівняльна техніко-економічна оцінка процесу витяжки і зворотного видавлювання для аналогічних деталей з урахуванням всіх факторів, що впливають на собівартість продукції.

5. Аналіз процесу зворотного видавлювання великогабаритних виробів з великими ступенями деформації представляє безперечний інтерес з точки зору теорії і з точки зору його практичного застосування для вирішення виробничих питань.

УДК 621.771
Широкобоков В.В.[1], Тимохін Д.Г.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРУБКИ-ПРОБИВКИ СМУГ ВЕЛИКОЇ ТОВЩИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРАДИЦІЙНИХ І НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Для більшості деталей, що отримуються за допомогою розділових операцій, поверхня розділення, що складається із зони блискучого поясочка (пластичній деформації) і зони сколювання (крихкого руйнування), цілком задовольняє вимогам виробництва деталей з тонколистового металу. Великим недоліком при вирубуванні і пробивці смуг середньої і великої товщини (S>5 мм) являється низька якість поверхні зрізу, що є криволінійним конічним скол з надривами і задирками. У ряді випадків виготовлення штампованих деталей підвищеної точності (4,3 і 2-го класу) потрібно гладку і перпендикулярну поверхню зрізу з шорсткістю поверхні до 8-го класу. При використанні традиційних технологій, це досягається подальшим доопрацюванням на фрезерних, шліфувальних і довідних верстатах, що малопродуктивно і досить дорого.

Застосовують спеціальні методи вирубки-пробивки, найбільш поширені з яких наступні: пробивка отворів за допомогою ступінчастого пуансона; чистове вирубування з попереднім осаджуванням заготовки, чистове вирубування з нагрівом заготовки, реверсивний спосіб чистового вирубування та ін.

Проте в перелічених вище способах вирубування - пробивки не забезпечується необхідна якість отвору, або потрібно складне спеціальне штампове оснащення. Тому розробка нових способів пробивки отворів смуг середньої і

великої товщини, що забезпечують необхідну якість при використанні простого оснащення, є актуальною.

УДК 621.777.4
Бень А.М.[1], Бровченко І.С.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ХАРАКТЕР ПЛИНУ МЕТАЛУ ПРИ ВИДАВЛЮВАННІ

Багаторічний виробничий досвід видавлювання сталі та сплавів показує, що стійкість інструменту та продуктивність процесу залежить від температури та швидкості видавлювання. Чим менший опір деформуванню пресованого металу, чим коротший сам процес видавлювання виробу, тим менше вистигає заготовка і менше нагрівається інструмент, необхідне менше зусилля видавлювання, кращі умови роботи інструменту та вища продуктивність процесу.

Процес видавлювання здійснюється в умовах всебічного стискання металу від нормальних напружень на контактних поверхнях. Крім того, в металі виникають додаткові напруження зсуву. Одночасно із виникненням напружень в деформованому металі відбуваються процеси, спрямовані на зняття напружень. Глибина протікання цих процесів залежить від фізико-механічних властивостей матеріалів, температури та тривалості процесу. За умов деформації, які не забезпечують зняття напружень, вони можуть перевищити міцність металу, в результаті чого відбудеться руйнування.

Опір деформуванню металу може бути зменшений, а процеси, спрямовані на зняття напружень, пришвидшені підвищенням температури видавлювання. Однак, ці можливості обмежені, так як надмірне підвищення температури видавлювання, в свою чергу, може призвести до того, що міцність матеріалу виявиться недостатньою, щоб протистояти навіть зменшеним напруженням зсуву. Водночас значне зниження температури видавлювання є небажаним, так як це призведе не тільки до збільшення зусилля видавлювання, а і до зниження швидкості протікання процесів, спрямованих на зняття напружень. В результаті можуть знову створитися умови, за яких напруження, що виникають в металі, перевищать його міцність.

Найкращі результати в галузі створення умов, що забезпечують формозміну металу без порушення його суцільності, при менших витратах роботи пресу досягаються, якщо температура видавлювання наближається до верхньої межі, яка обмежена міцністю та пластичністю матеріалу. Підвищення

температури видавлювання також сприяє заварюванню наявних у заготовці несуцільностей металу (пор, тріщин, газових пухирів і т.д.).

Найбільшими додатковими напруженнями, що розвиваються при пресуванні, від яких залежить технологічна пластичність, є напруження зсуву від сил тертя на контактних поверхнях.

Оскільки збільшення дотичних напружень з підвищенням швидкості видавлювання незначне, то вони не будуть мати великий вплив на накопичення внутрішніх напружень. Отже, збільшення швидкості видавлювання обмежується тільки безпосереднім впливом швидкостей головної деформації.

Допустимі швидкості видавлювання визначити теоретичними розрахунками наразі неможливо через те, що кількісна сторона явищ виникнення та релаксації напружень в деформованому металі є недостатньо вивченою, тому вони визначаються на основі дослідів.

Такою є якісна характеристика впливу температури та швидкості деформації на характер плину металу при видавлюванні.

УДК 621.771
Матюхін А.Ю.[1], Жученко В.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Мз-819м НУ «Запорізька політехніка»

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ МІТЧИКІВ СПОСОБАМИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

На сьогодення, у сучасному виробництві мітчиків одним з технологічних переходів, що відноситься до операцій обробки металів тиском, слід зазначити штампування квадрату під мітчикотримач. Тому що, найбільш прогресивним способом утворення квадрата є холодне штампування, завдяки якому досягаються найбільша продуктивність обробки і висока якість деталей, а також повністю ліквідовуються відходи металу на цій операції і підвищується експлуатаційна стійкість цього конструктивного елементу.

Також, відомі способи, коли штамповкою утворюють у мітчика стружкові канавки завдяки радіально-штампувальному прес-автоматі. Винахід відноситься до обробки металів тиском, а саме до конструкцій пресового устаткування (Пат. 710741 СССР, М. Кл^2. В 21 J 7/16).

Метою цього винаходу є підвищення продуктивності і зменшення металоємності. Це досягається тим, що приводний механізм повзунно-пуансонного блоку виконаний у вигляді С-подібних шатунів з двома кінцевими і проміжною головками. При цьому одна кінцева голівка кожного з них ексцентрично пов'язана з приводним валом за допомогою одночерв'ячного

багатоколісного редуктора, інша забезпечена направляючими зі встановленою в них повзушкой, ексцентрично пов'язаною віссю із станиною.

Основною перевагою преса – автомата в порівнянні з існуючими моделями пресів є велика продуктивність. Якщо на існуючій моделі кривошипного преса типу КД 2330 і інших, не дивлячись на малу вагу заготовки, штампувальник 4-го розряду може відштампувати в зміну 5000-8000 штук заготовок, то при продуктивності 18000 штук і більше заготовок прес-автомат обслуговується одним наладчиком – оператором 3-го розряду.

Необхідно також враховувати що праця штампувальника одноманітна (штампувальник під час роботи не рухається, працюють тільки руки). У цеху, де встановлені преси застарілих моделей, має місце високий рівень шуму від вихлопів стисненого повітря (або приводиться в зачеплення муфта і гальмо кривошипного преса).

При відносно малій потужності електродвигуна, встановленого на прес-автоматі, завдяки своїй кінематичній схемі отримують на пуансоні зусилля в 100 кН, яке використовується повністю при штампуванні заготовки, в той час, як енергетичні можливості преса КД 2330 використовуються на 10-30%, що явно не припустимо при масовому і великосерійному виробництві. Особливу увагу необхідно приділити також якості штампування, дотримання ГОСТів. Точність штампування діаметра серцевини заготовок мітчика на прес-автоматі вище, ніж в штампі.

Основний недолік прес-автомату полягає в складності налаштування пуансонів, тому що тут необхідний спеціальний оптичний прилад. Налагодження доводиться робити чисто візуально, шляхом проб і помилок, перевіряючи якість налаштування по відштампованим заготовкам. У зв'язку з цим багато заготовок з дорогого металу йде на брак. В подальшому, планується проведення дослідження отримання профілю мітчика за допомогою методу скінченних елементів для отримання якісної заготовки.

УДК 536.51.083.64
Ленок А.А.[1], Виновець О.В.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ЗГИНАННІ ТРУБ

Широке застосування в різних галузях машинобудування та металургії знайшло згинання труб – одна з основних операцій технологічного процесу виготовлення деталей трубопроводів.

Згинання труб виконують ручним та механізованим способами в гарячому і холодному станах, з наповнювачем і без нього, в залежності від розмірів, діаметру, матеріалу і кута згинання трубної заготовки.

До основних характеристик при виборі коректного методу вимірювання температури в процесі згинання труб відносять: діапазон вимірювальних температур, вхідна теплоємність, необхідна точність та швидкодія вимірювання.

Існують контактні та безконтактні методи вимірювання температури. Контактні методи (КМ) засновані на безпосередньому контакті вимірювального перетворювача температури з трубною заготовкою, в результаті чого досягають стану теплової рівноваги перетворювача і об'єкта. Безконтактні методи (БКМ) – на сприйнятті теплової енергії, що передається через променевипускання і сприймається на деякій відстані від трубної заготовки. Цей спосіб менш чутливий, ніж контактний.

Для КМ використовуються термометри опору і термопари (термоелектричні перетворювачі). Такі методи підходять для вимірювання діапазону низьких і середніх температур. У терморезисторних перетворювачах використовується властивість провідників або напівпровідників змінювати свій опір при зміні їх температури. У термометрах опору – в якості провідників мідь або платину.

Перевага мідних термометрів опору – лінійна залежність їх опору від температури, недолік – вузький температурний діапазон. З метою розширення цього діапазону застосовують платинові термометри. Однак, залежність їх опору від температури має нелінійний характер, що є їх недоліком.

Значно вищі температури дозволяють вимірювати термопари. Недоліки – висока інерційність і дуже низький коефіцієнт корисної дії.

Для БКМ використовуються пірометри і тепловізори.

Пірометри – прилади для вимірювання температури, використовуючи енергію нагрітої трубної заготовки. Пірометри не вимірюють дійсну температуру трубної заготовки та діляться на:

яскравістні – вимірюють яскравістну температуру, яку б мало абсолютно чорне тіло при тій же спектральній інтенсивності випромінювання;

колірні – вимірюють кольорову температуру, яка визначається відношенням інтенсивності спектрального випромінювання абсолютно чорного тіла на двох будь-яких обраних довжинах хвиль;

радіаційні – вимірюють радіаційну температуру по щільності інтегрального випромінювання. Приймачами виступають оптичноелектричні перетворювачі.

Піроелектричні перетворювачі застосовуються при вимірюванні низьких температур. Їх особливість – реагування на зміну випромінювання.

Тепловізори – прилади для вимірювання температури, які дають можливість на екрані побачити кольорове зображення досліджуваної поверхні трубної заготовки, колір якої характеризує її температуру. Приймачами виступають піро- та фотоелектричні перетворювачі, основна перевага яких – мала інерційність.

Термошумовий метод, на відміну від розглянутих методів, має наступні переваги: дозволяє проводити вимірювання температур, близьких до абсолютного нуля, а також температур всередині твердих тіл (трубної заготовки), не порушуючи їх цілісності. Термоперетворювачем виступає дротяний резистор, на якому вимірюють шумову напругу, струм на зовнішньому ланцюзі.

Логометри – прилади для перетворення опору термоперетворювача в електричний струм, шкала яких безпосередньо відградуйована в °С.

УДК 621.77
Бень А.М.[1], Кіріченко Т.В.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛІВ

Біметали (лат. *bis* — двічі і грец. *μεταλλον* — метал) — металеві вироби (пластинки, листи, стрічки, дріт і т. ін.), що складаються з двох міцно з'єднаних між собою різнорідних металів або сплавів. Розрізняють біметали дво- і багатошарові. Біметали відзначаються рідкісним поєднанням властивостей вихідних металевих матеріалів, наприклад, високої міцності зі значною стійкістю проти спрацьовування або низьким електричним опором.

Застосування біметалів дозволяє підвищити довговічність і надійність великої різноманітності деталей і обладнання. В результаті економії дорогих кольорових металів (Ni, Cr, Cu, Mo, Ti та ін.) скорочуються витрати на їхнє виготовлення. Використання шаруватих композицій сприяє розробці більш досконалих конструктивних рішень при створенні сучасних машин, приладів, апаратів. На даний момент біметали – це найважливіша група матеріалів з широкими властивостями.

Застосування біметалів дозволяє підвищити виробництво широкого класу деталей і обладнання для підприємств хімічної, нафтової, сільськогосподарської, транспортної, енергетичної та інших галузей машинобудування. За призначенням всі вироблені на даний час біметали можна поділити на наступні види: корозійностійкі, антифрикційні, електротехнічні (провідникові і контактні), інструментальні, зносостійкі, термобіметали.

Наразі існує велика кількість різних методів отримання біметалів, що пояснюється великою їхньою різноманітністю за видами і композиціям, а

також прагненням знайти найбільш раціональний метод отримання для кожного виду. Біметали найчастіше виготовляють металургійним, рідше гальванічним або гальвано-металургійним способом.

Металургійний спосіб має кілька різновидів:

заливання легкоплавкого металу по тугоплавкому;

заливання легкоплавкого металу по тугоплавкому з подальшою деформацією в гарячому або холодному стані способом пресування або прокатування;

з'єднання металів способом гарячого прокатування-плакування.

Найчастіше застосовуються біметали, що належать до 2-го і 3-го різновидів (сталь-мідь, сталь-томпак, сталь-латунь, сталь-алюміній, дюралюміній-алюміній, сталь-нікель, алюміній-мідь, свинець-олово, мідь-срібло, сталь-срібло, сталь-платина та ін.). До литих біметалів (1-й різновид) належать чавунні і сталеві підшипники, залиті антифрикційними сплавами. Останнім часом почали виробляти біметалеві припої.

Метод отримання біметалів заливкою застосовується як для отримання великих зливків масою до 13 т, так і для отримання невеликих зливків масою в кілька кілограмів.

Залежно від необхідної композиції, форми і маси зливка цей метод має різновиди, які передбачають подальше гаряче прокатування або іншу гарячу обробку тиском отриманого шарового зливка з інтенсивними місцевими обтисненнями і досить великим сумарним обтисненням. З'єднання шарів біметалу може відбуватися як в процесі заливки, так і в процесі гарячої обробки тиском.

УДК 621.771
Матюхін А.Ю [1], Лізогубов Д.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Мз-819м НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ БРАКУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СОРТОВОГО ПРОКАТУ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОДОЛАННЯ

При виробництві сортового прокату неминуче виникають дефекти поверхні сталі, що прокатується. Найбільш часто виникають наведені нижче (відповідно до ГОСТ 21014-88)

1. Розкатне забруднення – дефект поверхні, що представляє собою витягнуте в напрямку деформації розкатне поверхневе забруднення злитка або литої заготовки шлаком, вогнетривом, теплоізоляційною сумішшю.

2. Розкатна скоринка – дефект поверхні, що представляє собою часткове відшарування або розрив металу, що утворився в результаті розкочування

загорнувшись скоринок, що були на поверхні злитка або литої заготовки і представляють собою окислений метал, що супроводжується накопиченням неметалічних включень складного складу.

3. Волосовина – дефект у вигляді ниткоподібних порожнин в деталі, що утворилися при деформації наявних в ньому неметалевих включень.

4. Розкатна тріщина – дефект поверхні, що представляє собою розрив металу, що утворився при розкаті поздовжньої або поперечної тріщини злитка або литої заготовки.

5. Ус – дефект поверхні, що представляє собою поздовжній виступ з одного або двох діаметрально протилежних сторін прутка, що утворився в наслідок неправильної подачі металу в калібр, переповнення калібрів або неправильного налагаджування валків і привалкової арматури.

6. Підріз – дефект поверхні у вигляді поздовжнього поглиблення, розташованого по всій довжині або на окремих ділянках поверхні прокату і утворився в результаті неправильного налагаджування привалкової арматури або одностороннього перекриття калібру.

7. Закат – дефект поверхні, що представляє собою прикатаний поздовжній виступ, що утворився в результаті закочування вуса, підрізу, грубих слідів зачистки і глибоких рисок.

8. Вкатана окалина – дефект поверхні у вигляді вкраплень залишків окалини, що булла втиснута в поверхню металу при деформації.

9. Раковини від окалини – дефект поверхні у вигляді окремих заглиблень, частково витягнутих уздовж напрямку прокатки, що утворюються при витравлення і випаданні вкатаної окалини.

10. Залишки окалини – дефект поверхні, що представляє собою ділянки поверхні, покриті окалиною, що залишаються після механічної обробки.

11. Зморшки – дефекти поверхні у вигляді групи поздовжніх заглиблень і виступів, розташованих, в основному, по всій довжині розкату, переважно в зоні, відповідної роз'єму валків, і утворених при підвищених обтисненнях бічних граней.

Таким чином виробництво дорогих марок сталі і сплавів супроводжується появою різноманітних дефектів у тому числі дефектів пов'язаних з окалиною, отриманої в процесі нагрівання металу і вторинної окалини. Низька якість поверхні призводить до того, що при виробництві доводиться видаляти поверхневий шар металу обдиранням або шліфуванням. З 3000 т підшипникової сталі, що виготовляється, за місяць необхідно відправляти на механічну обробку 150 т. У відхід йде велика кількість дорогого металу, через що завод зазнає величезних матеріальних втрат. Зменшення механічної обробки готового прокату є однією з нагальних проблем виробництва в умовах заводу ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Для поліпшення якості прокату дорогих сталей і сплавів пропонується використовувати перший і другий прохід в обтискній кліті для розпушування окалини з невеликими ступенями обтиснень (до 5%), і кантуванням між ними. Ці проходи використовуються як пластична деформація в окалиноломачі, що дозволяє уникнути негативний вплив окалини на якість поверхні чистового прокату.

Нова технологія передбачає застосування гідрозбиву окалини на додаток окалиноломача. Гідрозбив окалини відбувається безпосередньо після першого проходу і після другого з попередньої кантуванням прокату на 90°. Застосування нової схеми прокатування і технології видалення окалини з поверхні металу дозволить скоротити обсяг дорогого металу, що потребує подальшої механічної обробки, на 60 т щомісяця.

УДК 621.771
Матюхін А.Ю [1], Семенюк А.А.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. Мз-819м НУ «Запорізька політехніка»

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЗАДАНОЮ ПОРИСТІСТЮ З ПОРОШКІВ ТИТАНУ

Прагнення виготовляти вироби з найменшими витратами призвели до безперервного розвитку порошкової металургії. Сьогодні виробництво спечених виробів пов'язано, перш за все, із задоволенням зростаючих потреб машинобудування, а зокрема, автомобілебудування. Вітчизняний і зарубіжний досвід виробництва і застосування виробів із заданою пористістю, а саме фільтрів та деталей антифрикційного призначення, в машинобудуванні і приладобудуванні свідчить про високу економічну ефективність використання порошкових матеріалів. Це обумовлено безліччю факторів: скороченням витрат металу, вивільненням обладнання і робітників, зниженням капітальних вкладень, підвищенням терміну служби машин, скороченням експлуатаційних витрат. Значну економію металів отримують при повній або частковій ліквідації механічної обробки. Порошкова металургія дозволяє виготовляти вироби з високим коефіцієнтом використання матеріалу до 95%.

Серед виробів із заданною пористістю особливе місце займає фільтри, а найкращим матеріалом для їх виготовлення є титан та його сплави. Пористі спечені вироби використовують у хімічній, текстильній, металургійній та інших галузях промисловості для очищення різноманітних агресивних середовищ, а також для фільтрації питної та мінеральної води.

Застосування фільтрів обумовлено їх здатністю пропускати через свій пористий простір рідину або газ під дією градієнту тиску, що прикладається.

Основними гідродинамічними характеристиками фільтрів є коефіцієнти проникності, що визначаються при різних режимах фільтрації, і рівномірність розподілу проникності по площі фільтрації, яка характеризується локальною проникністю.

УДК 621.771
Матюхін А.Ю [1], Панасейко М.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-819м НУ «Запорізька політехніка»

АЛЬТЕРНАТИВНІ СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ

Розвитку холодноштампувального виробництва сприяє широке застосування листового штампування в дрібносерійному і навіть одиничному виробництві в результаті впровадження групових методів штампування і застосування недорогої штампової оснастки (універсальних штампів, групових блоків, найпростіших неметалевих штампів).

Деталі, отримані листовим штампуванням, мають високу міцність при відносно невеликій масі і відрізняються раціональністю форми. Завдяки використанню пластичних матеріалів листове штампування дозволяє отримувати і складні за формою тонкостінні деталі, і масивні міцні деталі, які не можуть бути отримані іншим способом. Листове штампування деталей в поєднанні зі зварюванням дозволяє виробляти нероз'ємні вузли практично необмежених розмірів. Листове штампування забезпечує поєднання складних процесів виробництва до більш простих, стабільну точність штампованих деталей, виготовлення деталей невеликим числом операцій і переходів, низькі витрати виробництва, збереження і в окремих випадках збільшення питомої міцності матеріалу заготовки, низьку вартість інструменту-штампу.

Розглянемо альтернативні методи на прикладі операції вирубки:

- Вирубка - лазерна установка (оцинковка, цинк, не годиться бо буде палити захисне покриття, обробляти матеріали краще без захисного покриття) На даний момент, за співвідношенням "ціна - якість - швидкість обробки", лазерна обробка є оптимальним вибором для компаній, що займаються обробкою листового металу товщиною до 25 мм.

- Плазморізи для товстих пластин (за допомогою плазмового різання можна обробляти метали товщиною 200 мм і більше).

- Тиск (видавка) то це механічна обробка (токарні з ЧПУ).

- Вирубка - штамп вирубний (слюсарна вирубка).

- Гібдрообразивна вирубка деталей, при якій не здійснюється ніякого термічного впливу на матеріал, навіть при товстих матеріалах досягає найвищої якості, краще буде для неметалів.

- Диро пробивні револьверні барабанні преса: широкі можливості з здійсненням різноманітних технологічних операцій - пробивання, вирубування, формування з виконанням пуклевки, вирубки-формування отворів жалюзі, формування ребер жорсткості, зміни поверхні листа методом вдавлення кульки, відбортовки та інших операцій.

Далі розглянемо альтернативні методи на прикладі операції видавлювання:

- Механічна обробка (високошвидкісні ЧПУ верстати).

- Ротаційна витяжка: сучасний спосіб можна назвати давильно-обкатною обробкою роликом, при якій застосовують верстати (машини) з гідравлічними і електрогідравлічними супортами для переміщення інструментів - давильних роликів, щоб отримати потрібні форму і товщину оброблюваної деталі.

- Витяжка на токарному верстаті (ротаційна витяжка).

УДК 621.983.3
Широкобоков В.В.[1], Обдул В.Д.[1], Дубина В.І.[2]
[1]канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2]канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

НЕОБХІДНІСТЬ РЕГУЛЮВАННЯ ПИТОМОГО ЗУСИЛЛЯ ПРИТИСКУВАННЯ ПІД ЧАС ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ

Як відомо при витягуванні деталей з тонкого матеріалу необхідно здійснювати притискування заготовки до матриці. Прикладання зусилля притискування унеможливлює появу складок, які спостерігаються при штампуванні деталей з тонких матеріалів.

В той же час дослідження, як теоретичні так і експериментальні, показують, що зусилля притискування, необхідне для попередження утворення складок, в процесі витягування не залишається постійним.

При витягуванні, наприклад круглих в плані виробів, площа фланцю який контактує з матрицею і притискувачем зменшується, а зусилля притискування залишається постійним.

Зусилля притискування визначається виходячи з початкових розмірів заготовки і в процесі витягування залишається незмінним, що призводить до зростання питомого зусилля притискування.

Очевидно, що регулювання зусилля притискування дозволить знизити напруження в небезпечному перетині і розширити можливості процесу витягування.

Проведені дослідження при постійному зусиллі притискування і при змінному показали, що в останньому випадку вдається зменшити на 10-12% коефіцієнт витягування. Дослідження, які проводились на механічних пресах, що на початку витягування прес розвиває зусилля притискування, яке значно перевищує не тільки необхідне в даний момент, а перевищує зусилля, необхідне за весь процес. При завищеному зусиллі притискування збільшуються не тільки радіальні напруження в небезпечному перетині на початку процесу, а і збільшується місцеве потоншання в зоні контакту заготовки з пуансоном, що приводить до зниження можливості процесу в цілому. Такий характер зміни питомого зусилля притискування має місце у всіх механічних пресах, і приводить до підвищеного зношування механізму та зайвих витрат енергії.

На всіх типах механічних та гідравлічних пресів без конструктивних змін кінематичного зв'язку повзуна з витяжним пуансоном та притискувальним механізмом реалізація регулювання зусилля притискування не можлива.

На гідравлічних пресах є можливість в гідросистему циліндрів приводу притискувального повзуна вмонтовувати регулятори тиску.

УДК 539.3
Антоненко Н.М.[1], Горбань А.М.[2]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] студ. гр. М-119сп НУ «Запорізька політехніка»

ОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ДВОШАРОВОЇ ПЛИТИ З НЕІДЕАЛЬНИМ ТЕПЛОВИМ КОНТАКТОМ МІЖ ШАРАМИ

Розглянемо двошарову плиту, що складається з двох пружних однорідних невагомих шарів. На нижній та верхній поверхнях плити задано теплове навантаження. На спільній межі шарів виконуються умови неідеального теплового контакту. Необхідно знайти розподіли температури в шарах плити.

У кожному шарі введемо локальну циліндричну систему координат так, як показано на рис. 1.

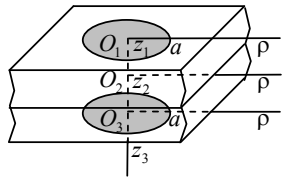


Рисунок 1 – Двошарова плита.

Крайові умови: $T_1(\rho,0)=\begin{cases}Q_1,\rho\le a,\\0,\ \rho>a,\end{cases}$ $T_2(\rho,h_2)=\begin{cases}Q_2,\rho\le a,\\0,\ \rho>a,\end{cases}$.

Умови на спільній межі шарів плити:

$$k_{T1}\frac{\partial T_1}{\partial z}(\rho,h_1)=\frac{1}{R}\left[T_2(\rho,0)-T_1(\rho,h_1)\right],\ k_{T2}\frac{\partial T_2}{\partial z}(\rho,0)=k_{T1}\frac{\partial T_1}{\partial z}(\rho,h_1),\quad(1)$$

де R – коефіцієнт теплового опору, k_{Tk} – коефіцієнти теплопровідності, h_k – товщини шарів, $k=1,2$.

У просторі трансформант Ханкеля температуру в точках окремого шару можна представити у такому вигляді:

$$\overline{T}_k(p,z)=\cosh pz\,\eta_k+\sinh pz\,\varepsilon_k,\qquad(2)$$

де

$$\eta_k = \overline{T}_k(p,0),\ \varepsilon_k = \frac{1}{p}\frac{d\overline{T}_k}{dz}(p,0),\ k = 1,2. \qquad (3)$$

Із першої крайової умови знаходимо $\eta_1 = \overline{T}_1(p,0)$. Застосувавши до умов (1) пряме інтегральне перетворення Ханкеля нульового порядку та формули (2), (3), отримаємо систему двох лінійних алгебраїчних рівнянь відносно трьох невідомих функцій ε_1, η_2, ε_2. Для побудови третього рівняння введемо третій фіктивний шар. Вважатимемо, що тепловий контакт на межі другого та третього шарів ідеальний, тобто $T_3(\rho,0) = T_2(\rho,h_2)$. Остаточно, отримуємо систему:

$$\begin{cases} \eta_3 = C_2\,\eta_2 + S_2\,\varepsilon_2, \\ \eta_2 = (C_1 + L_1 p S_1)\eta_1 + (S_1 + L_1 p C_1)\varepsilon_1, \\ \varepsilon_2 = \Delta(S_1\,\eta_1 + C_1\,\varepsilon_1), \end{cases}$$

де η_3 – відома функція, $L_1 = R\,k_{T1}$, $\Delta = k_{T1}/k_{T2}$, $S_k = \operatorname{sh} p_k$, $C_k = \operatorname{ch} p_k$, $p_k = p h_k$, $k = 1,2$.

Розв'язуємо систему відносно функцій ε_1, η_2, ε_2, підставляємо їх у (2) та застосовуємо до отриманого виразу для трасформанти температури обернене перетворення Ханкеля.

Чисельні розрахунки виконано для плити з таким тепловим навантаженням: $T_1(\rho,0) = \begin{cases} 1, & \rho \le h_1, \\ 0, & \rho > h_1, \end{cases}$ $T_2(\rho,h_2) = 0$. Вплив коефіцієнта теплового опору на розподіл температури в точках нижньої межі верхнього шару плити $T_1(\rho,h_1)$ досліджено для трьох типів плит: 1 – $k_{T1}/k_{T2} = 0.1$; 2 – $k_{T1}/k_{T2} = 1$; 3 – $k_{T1}/k_{T2} = 10$. Зроблено такі висновки: збільшення коефіцієнта теплового опору призводить до збільшення $T_1(\rho,h_1)$; найменш суттєвий вплив на розподіл температури $T_1(\rho,h_1)$ спостерігається для плити, у якої коефіцієнт теплопровідності верхнього шару більше ніж нижнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Величко І. Г. Осесиметрична мішана задача термопружності для багатошарової основи / І. Г. Величко, І. Г. Ткаченко // Динамические системы. – 2009. – Вып. 26. – С. 3–12.

УДК 517.9
Онуфрієнко В.М.
д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ДИФЕРІНТЕГРАЛЬНА МОДЕЛЬ ГІСТЕРЕЗИСНИХ (У ПРОСТОРІ) ТА ЕРЕДИТАРНИХ (У ЧАСІ) ПРОЦЕСІВ МЕХАНІКИ Й ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

Застосування поняття фрактала в математичному моделюванні динамічних систем наділяє їх властивостями, властивими складним нелінійним системам, наприклад, ефектами просторового гістерезису та часової ередитарності, в яких враховується не тільки теперішній стан системи або найближчий попередній стан (тобто початкові значення параметрів стану системи, деякі похідні за часом та просторовими координатами), але також і всі попередні стани, в яких перебувала дана система.

Гістерезис явища, процесу є емпірично-теоретичною концепцією, що приймається і набуває розвитку у природничих (а останнім часом і в історичних, соціокультурних) науках, застосовується для опису нелінійних механізмів розглядуваних процесів з гіпотетично можливими різноманітними траєкторіями розвитку системи та просторовими положеннями рівноваги, насиченості тощо. Динамічну систему можна вважати гістерезисною, коли просторово-часові траєкторії деяких або всіх змінних виявляють зв‘язок у залежності від швидкості перебігу явища з можливими передбаченнями наявності неергодичності.

С. Вестерлунд [1] надав опис експериментів з електролітичними конденсаторами, що були заряджені різними способами до однакової напруги. Вимірювання продемонстрували помітні відмінності кривих розрядки конденсаторів, що можна інтерпретувати наявністю пам‘яті в складній діелектричній структурі. Класичним прикладом прояву пам‘яті фізичного середовища може вважатись магнітний гістерезис. Прикладом феноменологічного підходу до проблеми переносу є також дифузійна модель, для якої рівняння дифузії складено з двох рівнянь (рівняння неперервності та закону Фіка). Для одновимірного процесу, що описує функцію двох змінних у просторі і часі, рівняння має вид $\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}$, розв‘язок якого інтерпретується в задачах електродинаміки й механіки: рух електронів і дірок у напівпровідниках, світла в атмосфера планет, нейтронів в ядерних реакторах, заводського диму в атмосфері, квіткового пилку у повітрі, крапель чорнила у воді, поширення тепла у газах, рідинах і твердих тілах [2] тощо. При цьому, концепція

фрактальності процесів накопичення заряду у просторі і часі демонструє неминучі зміни більшості результатів, отриманих до цього часу звичайними методами. Але з моделі випливають декілька ефектів, які неможливо пояснити цими методами. Найважливішими з них є ефекти гістерезису і пам'яті, що наводить на висновок про те, що,наприклад, від‘ємні ємнісні (індуктивні) компакти мають пам‘ять, керувати якою можна за допомогою часово-частотної та просторової фракталізації. Зокрема, для виявлення ефектів просторового α – гістерезису та часової β – еридитарності фрактального компакту за схемою побудови рівнянь з розривами зарядів(струмів) $Q(\alpha,\beta,x,t)$ у часі виду $\delta^{(\beta)}(t-t_m)$ пропонуємо моделювати заряд метаматеріального середовища з ємністю C і потенціалом U як $Q(\alpha,\beta,x,t)=C_1^{(1+\alpha)}(x)\,U(t)+C_{er}D_t^{1+\beta}U(t)$. Диференці-альні рівняння дробових порядків, що виникають у таких моделях [3], знаходять своє самостійне застосування в багатьох областях фізико-математичної й технічної науки (задача про таутохрону, про визначення потенціалу по залежності періоду коливань від енергії, обернена задача теорії розсіювання, руху тіла у в‘язкому середовищі тощо) називаються, за термінологією В. Вольтерра, еридитарними [4] і можуть виникати самі по собі у процесі або у результаті розв‘язування.

Визначено перспективи подальшого застосування розробленої математичної концепції для аналізу й синтезу штучних метаматеріальних фрактальних елементів [5] з необхідними механічними й електродинамічними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Westerlund S. Dead matter has memory! / S. Westerlund // Physica Scripta. – Vol. 43, 2. –1991. – P. 174–179.

2. Учайкин В. В. Метод дробных производных / В. В. Учайкин. – Ульяновск : Артишок, 2009. – 512 с.

3. Onufrienko V. M. Modeling characteristics of field-effect fractal nanotransistor / V. M. Onufrienko, T. I. Slyusarova, L. M. Onufriyenko // 15th Intern. Conf. on advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, 25-29 February 2020. – Lviv-Slavske, 2020. – № 170.

4. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегродифференциальных уравнений / В. Вольтера. – М. : Наука, 1982. – 304 с.

5. Onufrienko V. M. Planar fractally-shaped Terahertz waveguide: on the Goos-Hanchen effect / V. M. Onufrienko, T. I. Slyusarova, L. M. Onufriyenko // 14th International conference on advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, April 2018. – Lviv, 2018. – P. 1237–1240.

УДК 517.9:621.382.323
Онуфрієнко В.М.[1], Слюсарова Т.І.[2]
[1] д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] асист. НУ «Запорізька політехніка»

ДИФЕРІНТЕГРАЛЬНЕ РІВНЯННЯ ПУАСОНА В ЗАДАЧАХ ПРО РОЗПОДІЛ ЗАРЯДУ В ШАРАХ НАПІВПРОВІДНОЇ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Для виявлення ефектів, що можуть виникати у фізично реалізованих приладах, розглядаємо задачу про розподіл зарядів в шарах метало-окисло-напівпровідникової фрактальної структури (МОНП-структури). Такі структури є основою для дослідження сучасних польових нанотранзисторів у розділі імітації від'ємних характеристик індуктивностей та ємностей.

Для моделювання кусково-неперервного у просторі заряду (струму) $Q(x,t)$ з розривами 1-го роду в точках x_1, x_2, … та скачками Δ_1, Δ_2, … у фрактальному середовищі розглянемо $Q_1(x,t)=Q(x,t)-\sum_k \Delta_k\theta(x-x_k)$. Для одиничної функції $\theta(x)=\begin{cases}1, & x>0\\ 0, & x<0\end{cases}$ та її дробової похідної

$${}_0D_x^{\alpha}\theta(x)=\theta^{(\alpha)}(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{\Gamma(1+\alpha)}x^{\alpha}, & x>0\\ 0, & x<0\end{cases}$$

порядку α дія на заряд (струм) $Q(x,t)$ з урахуванням формул інтегрування частинами дає

$$\left(\theta^{(\alpha)}(x),Q(x,t)\right)=\left(\theta(x),(-1)^{\alpha}Q^{(\alpha)}(x,t)\right)=(-1)^{\alpha}\int_0^{\infty}Q^{(\alpha)}(x,t)dx=Q^{(\alpha-1)}(0,t),$$

звідки одержуємо зв'язок між похідною порядку α одиничної функції та похідною порядку $\alpha-1$ дельта-функції $\theta^{(\alpha)}(x)=\delta^{(\alpha-1)}(x)$, $\theta^{(\alpha)}(x-x_0)=\delta^{(\alpha-1)}(x-x_0)$, або $\theta^{(1+\alpha)}(x)=\delta^{(\alpha)}(x)$, $\theta^{(1+\alpha)}(x-x_0)=\delta^{(\alpha)}(x-x_0)$. Введена функція неперервна всюди та має звичайну похідну за виключенням скінченного числа точок.

В класичній постановці густина зарядів в напівпровіднику визначається сумою зарядів електронів (n), дірок (p) та іонізованих домішків (N)

$\rho(x) = q(-n + p + N)$. Для невиродженого напівпровідника $n = n_i \exp[-\beta(\varphi_F - \varphi)]$, $p = n_i \exp[\beta(\varphi_F - \varphi)]$, де $\beta = q/(kT)$, n_i концентрація носіїв у власному напівпровіднику, $N = -2n_i\, sh(\beta\varphi_F)$, φ_F потенціал, що рахується від рівня Ферми. Отже, густина зарядів у фрактальному (по координаті x) середовищі $\rho(x) = 2q\, n_i[sh\beta(\varphi_F - \varphi) - sh\beta\varphi_F]$ задовольняє рівнянню Пуассона

$$\frac{d}{dx}\frac{d^\alpha u}{dx^\alpha} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon_s} = \frac{1}{L_D^2}[shu_F - sh(u_F - u)], \qquad (1)$$

де $L_D = \sqrt{\varepsilon_s/(2\beta q n_i)}$ – радіус екранування Дебая, ε_s – діелектрична проникність напівпровідника, $u_F = \beta\varphi_F$, $u = \beta\varphi$.

Після інтегрування (1) маємо

$$D_x^\alpha u = \pm\frac{\varepsilon_s}{\beta}\frac{Q_1(u_s, u_F)}{L_D}, \qquad (2)$$

де $Q_1(u_s, u_F) = \frac{\sqrt{2}}{L_D}\sqrt{u_s \mathrm{sh}u_F + \mathrm{ch}(u_F - u_s) - \mathrm{ch}u_F}$. З урахуванням отриманих рівнянь величина електричного поля на поверхні напівпровідника буде $E_s^{(\alpha)} = -\frac{1}{\beta}(D_x^\alpha u)\Big|_s$ та повний заряд на одиницю поверхні (за теоремою Гауса) $Q_s^{(\alpha)} = -\varepsilon_s E_s^{(\alpha)}$. Густину заряду на фрактально конфігурованій межі знаходимо інтегруванням (2): $\pm\int_{u_s}^{u}\frac{du}{Q_1(u, u_F)} = \frac{x^\alpha}{\Gamma(1+\alpha)}$. Порівняння отриманих виразів показує сильний вплив фрактальної межі (скейлінга α) розділу середовищ на величину електричного поля, густину зарядів в напівпровіднику, що супроводжується зміною ємнісних характеристик пристрою. В МОНП-структурі фрактальний елемент $\rho^{(\alpha)}(x)dx = \rho(x)d^\alpha x$ в об'ємі окисла (x відповідає межі розділу метал-сегнетоелектрик, координата межі сегнетоелектрик-напівпровідник $x = x_0$) індукує заряди: $d^\alpha Q_g$ в металі, та $d^\alpha Q_s$ в напівпровіднику. Зміни поля dE_1 зліва та dE_2 справа від точки x, записуємо у вигляді рівняння $xdE_1 + (x_0 - x)dE_2 + d^{(\alpha)}\varphi_s = 0$. Звідси, з урахуван-

ням поверхневого потенціалу $\varphi_s = f(Q_s)$, $d^\alpha \varphi_s = f^{(\alpha)}(Q_s) d^\alpha Q_s$, теореми Гауса та умови нейтральності $d^\alpha Q_g + d^\alpha Q_s + \rho^{(\alpha)} dx = 0$, отримаємо рівняння для знаходження заряду в напівпровіднику $-d^\alpha Q_s [x_0 - \varepsilon_{0x} f^{(\alpha)}(Q_s)] = x\rho(x) d^\alpha x$. Після інтегрування маємо вирази для додаткових зарядів Q'_s и Q'_g, наведених в напівпровіднику та в металі

$$Q'_s = -\int_0^{x_0} \frac{x}{x_0} \rho(x)\, d^\alpha x + \Delta Q; \quad \Delta Q = \frac{\varepsilon_{0x}}{x_0} \int_{Q_S}^{Q_S + Q'_S} f^{(\alpha)}(Q_s) dQ_s;$$

$$Q'_g = -\int_0^{x_0} (1 - \frac{x}{x_0})\, \rho(x)\, d^\alpha x - \Delta Q.$$

Для фрактального елемента заряду $\rho^{(\alpha)}(x) = Q'_{ss} \delta^{(\alpha)}(x - x_0) + Q'_{gs} \delta^{(\alpha)}$, зосередженого на поверхні сегнетоелектрика, знаходимо величини еквівалентних поверхневих зарядів Q'_{ss}, Q'_{gs}. Отже, виділення в моделі фрактальних елементів призводить до утворення на межі сегнетоелектрик-напівпровідник фрактально конфігурованого заряду $Q_{ss} = Q'_s + Q'_{ss}$. Об'ємний заряд напівпровідника $Q_s^{(\alpha)}$, величина якого залежить від степені фракталізації та V_G на металевому електроді, приводить до залежності повної ємності на одиницю площі МОНП-структури від V_G у вигляді $C_t^{(\alpha)} = dQ_G / dV_G$, де питомий заряд затвора $Q_G = -Q_s^{(\alpha)} - Q_{ss}$. Цей факт є основою метода вивчення МОНП-структур та застосовується надалі для знаходження ємності фрактальної структури.

Таким чином, правильно підібрана фізико-математична модель будови фрактального об'єкта (коли можна вважати фрактальним об'єктом або саме середовище розповсюдження хвиль, або межу розділу середовищ) дозволяє отримати результати взаємодії контурів, поверхонь, тіл з електромагнітним полем, що узгоджуються з відомими даними класичної теорії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors / Richard S. C. Cobbold. – Wiley-Interscience : 1970. – 534 p.

2. Гинзбург А. И. Дробное интегродифференцирование в гельдеровских классах переменного порядка / А. И. Гинзбург, Н. К. Карапетянц. – Доклады АН, 1994. – Т. 339, № 4. – С. 439–441.

3. Онуфрієнко В. М. Диферінтегральна модель польового транзистора з фрактальним наношаром каналу / В. М. Онуфрієнко, Л. М. Онуфрієнко // матеріали VII міжнар. науково-практичної конф. «Фізико-технічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах», 8-10 листопада 2018 р. – Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2018. – С. 113–114.

4. Onufrienko V. M. Planar Fractally-Shaped Terahertz Waveguide: on the Goos-Hänchen Effect / V. M. Onufrienko, T. I. Slyusarova, L. M. Onufrienko // TCSET-2018: Proceedings 14-th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, Lviv-Slavske, Ukraine, 20-24 February 2018. – Lviv : Lviv Polytechnic National University, 2018. – P. 1237–1240.

УДК 517.9:537.8

Онуфрієнко В.М.[1], Онуфрієнко Л.М.[2] , Шама Є.О.[3]
[1] д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[3] інж. НУ «Запорізька політехніка»

ЕРЕДИТАРНІ ВЛАСТИВОСТІ ФРАКТАЛЬНОГО ШАРУ ГЕЛЬМГОЛЬЦЯ

Теорія фрактального шару [1] на межі розділу двох середовищ базується на визначенні дробового диференціала $d^{\alpha}x_i$ та його зв‘язку з дробовою похідною $d^{\alpha}L(x)={}_aD^{\alpha}_{x_i}L(x)d^{\alpha}_{x_i}$, де дробова похідна ${}_aD^{\alpha}_{x_i}L(x)$ використовується у формі Рімана-Ліувілля. Зазначена модель використовується далі для означення фрактального $\alpha-$шару Гельмгольця та визначення його ередитарних властивостей.

Концепція фрактальності процесів накопичення заряду у просторі і часі демонструє можливі неминучі зміни більшості результатів, отриманих до цього часу звичайними методами. З моделі фрактальності випливають декілька ефектів, які неможливо пояснити цими методами. Найважливішим з них є ефект пам'яті, що наводить на висновок про те, що від‘ємні ємнісні (індуктивні) компакти мають пам'ять, керувати якою можна за допомогою часово-частотної та просторової фракталізації.

Першою і найпростішою двошаровою моделлю, створеною в 1879 р. Гельмгольцом [2], вважається концепція поділу заряду на межі між металевим електродом та розчином електроліту. Електрод тримає щільність заряду σ_M, що виникає внаслідок надлишку ($-\sigma_M$) або дефіциту ($+\sigma_M$) електронів

на поверхні електрода. Заряд на електроді врівноважується перерозподілом іонів у розчині на рівну, але протилежно заряджену кількість іонів. Розглядаємо два нефрактально конфігуровані шари протилежного заряду, розділені деякою відстанню $l = d/2$, обмеженою радіусом $d/2$ залучених іонів, і одним шаром сольвації навколо кожного іона. Лінія, проведена через центр таких іонів, позначає межу, відому як зовнішня площина Гельмгольця, і область всередині неї 2^{α} -ного електричного шару ($\alpha = 0$).

Потенціал у такому класичному шарі Гельмгольца описується рівнянням Пуассона $\partial^2\varphi/\partial x^2 = -\rho(x)/\varepsilon\,\varepsilon_0$ відносно електричного потенціалу φ з розподілом заряду щільності ρ; $x-$ відстань від електрода, ε_0 та ε відповідно діелектричні проникності вакууму та середовища.

Якщо розглядати іони як точкові заряди (класичний підхід), то розв'язування задачі базується на переході до рівняння Лапласа $\partial^2\varphi/\partial x^2 = 0$.

Така поведінка порівнянна з класичною проблемою плоскопаралельного конденсатора, тобто електричний подвійний шар здатний зберігати електричний заряд. Тому наведену двошарову ємність на одиницю площі можна оцінювати за формулою $C_н = \varepsilon\,\varepsilon_0/l$, де l – товщина подвійного шару. Модель не враховує залежність вимірюваної ємності від потенціалу або концентрації електролітів. Ще один недолік – це нехтування взаємодіями, які виникають далеко від зовнішньої площини Гельмгольця.

В задачах про визначення концентрації $\rho(x,t)$ електроактивних елементів на поверхні фрактально конфігурованого зі скейлінгом α електроду $x = 0$, що контактує з електролітом, безпосереднє вимірювання $\rho(0,t)$ є обтяжливим, але експериментально достатньо легко визначається густина струму $j_x(0,t)$ на поверхні

$$-\frac{1}{K}\,j_x(0,t) = \frac{\partial^{1+\alpha}\rho(x,t)}{\partial x^{1+\alpha}}\Big|_{x=0}. \qquad (1)$$

З рівняння (1) одержуємо залежність

$$\rho(0,t) = -K^{-\frac{1}{2}}{}_0I_t^{\frac{1+\alpha}{2}}\,j_x(0,t) = -K^{-\frac{1}{2}}\frac{1}{\Gamma\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)}\int_0^t \frac{j_x(0,\tau)\,d\tau}{(t-\tau)^{\frac{1-\alpha}{2}}}. \qquad (2)$$

Наявність в досліджуваному процесі ефекту пам'яті або нелокальності за часом, що міститься в ядрі інтегрального оператора вихідного рівняння (2), позиціонуємо як функцію пам'яті

$$R(t-\tau)=\frac{(t-\tau)^{\frac{\alpha-1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)},\quad 0<\alpha<1, \tag{3}$$

що описує прояв ередитарності явища концентрації електроактивних елементів на поверхні електрода. Якщо функція пам‘яті є степеневою (як у наших задачах з фрактальною геометрією контактів і неперервним розподілом фізичних параметрів на них та в задачах з фрактальними розподілами зарядів і струмів на гладких компактах), то виникає природній перехід до рівнянь з дробовими похідними.

Відмічаємо, що у випадку збігу функції пам‘яті (3) з виразом для функції Хевісайда розглядуваний процес має повну пам‘ять, а для збігу з функцією Дірака пам‘ять у процесі відсутня.

Для одержаного нами виду функції пам‘яті $R(t-\tau)$ процес має часткову втрату пам‘яті і розглядається як прояв дофрактальності з можливістю контролювати, а також регулювати ступінь втрачання пам‘яті за допомогою величини скейлінгу α у природніх та штучно створюваних метаматеріальних середовищах, геометричні або фізичні властивості котрих моделюються фракталами [4].

Розглядуваний нами підхід дозволяє розглядати ефекти, що створюються тепловим рухом іонів поблизу зарядженої поверхні з урахуванням дифузійного подвійного шару Гуй-Чапмана [3] і моделюються диференціальним рівнянням Пуассона-Больцмана. Узагальненню до фрактальної моделі може підлягати і розвинений Штерном підхід, де поєднуються дві попередні класичні моделі та враховується той факт, що іони мають кінцевий розмір, а отже, протяжність шару до електрода буде змінюватися в залежності від іонного радіусу.

Аналіз розподілу (3) демонструє також збіг результатів нашого моделювання для окремого випадку $\alpha=0$ з результатами напівінтегрального (напівдиференціального) методу, розвинутого в 70-х роках минулого століття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Онуфрієнко В. Вплив фрактальних меж затвору на провідність польового транзистора / В. Онуфрієнко, Л. Онуфрієнко // MEICS-2018, «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп’ютерних систем. – Дніпро, 2018. – С. 144–145.

2. Helmholtz H. Studien uber electriche Grenzschten / H. Helmholtz // Ann. Phys. – 1879. – № 7. – P. 337–382.

3. Gouy M. G. Sur la constitution de la charge electrique a la surface d'un electrolyte / M. G. Gouy // J.Phys. Radium. – 1910. – № 9. – P. 457–468.

4. Onufrienko V. M. Modeling characteristics of field-effect fractal nanotransistor / V. M. Onufrienko, T. I. Slyusarova, L. M. Onufriyenko // 15th Intern. Conf. on advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, 25-29 February 2020. – Lviv-Slavske, 2020. – № 170.

УДК 519.2

Килимник І.М.[1], Яримбаш Д.С.[2]
[1] канд. тех. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»
[2] д-р тех. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ДЖИЛСА АТТЕРТОНА

В електротехніці широке застосування знайшли феромагнітні матеріали, які використовуються в активних елементах конструкції електромеханічного обладнання. Математичний опис магнітних властивостей феромагнітних матеріалів, насамперед, різних марок електротехнічних сталей відіграє важливу роль у сучасних програмних засобах автоматизованого проектування та комп'ютерного польового моделювання. Він має забезпечувати необхідну точність проектних розрахунків паспортних параметрів намагнічування. Тому підвищення точності математичного опису гістерезисних властивостей різних типів електротехнічних сталей можна визнати актуальною задачею у науковому і практичному плані.

У сучасних програмних засобах польового моделювання, наприклад, Comsol Multiphysics [1] для опису гістерезисних властивостей феромагнітних матеріалів широко застосовується модель Джилса Аттертона [2]. Вона утворюється системою нелінійних алгебраїчних рівнянь і звичайного нелінійного диференційного рівняння відносно індукції та напруженості магнітного поля, повної намагніченості M та її похідної M'. До моделі Джилса Аттертона [2] також входить вектор коефіцієнтів $\boldsymbol{C} = (c_1,\ldots,c_4)$, чотири компоненти якого визначаються із розв'язку системи додаткових нелінійних рівнянь із вектором параметрів $\boldsymbol{\Pi}$. Проекції вектору $\boldsymbol{\Pi}$ розраховують у трьох характерних точках експериментальної характеристики намагнічування, де індукції та напруженості магнітного набувають нульових значень, та для насиченого стану феромагнітного матеріалу.

У роботах [2,3] запропоновано метод простих ітерації для розв'язання додаткової системи рівнянь моделі Джилса Аттертона відносно проекцій вектору коефіцієнтів $\boldsymbol{C}$. Тому систему додаткових рівнянь приводять до рів-

носильного виду, що потребує розкладання неявних функцій у степеневі ряди. Похибки у розрахунках рядів на кожній ітерації можуть унеможливити визначення шуканого вектору коефіцієнтів. Крім того для початкового визначення $\boldsymbol{C}_0$ детермінант матриці Якобі може наближатися до нуля, що виключає можливість знаходження відповідного рішення додаткової системи рівнянь. Це потребує розробки узагальнених підходів для розрахунку коефіцієнтів моделі Джилса-Атертона [3] на основі методів статичної оптимізації.

Мета роботи полягає в удосконаленні методів визначення коефіцієнтів моделі Джилса-Аттертона на основі базових підходів статичної оптимізації.

Для розрахунку невідомих коефіцієнтів ($c_1,\ldots,c_4$) формується функція цілі, як сума квадратів нев'язок нелінійних рівнянь додаткової системи [1,2], та формулюється задача її мінімізації.

Визначають вектор початкового наближення параметрів оптимізації $\boldsymbol{C}_0 = (c_1,\ldots,c_4)$ і вектор інтервалів змін даних параметрів $\Delta\boldsymbol{C} = (\Delta c_1,\ldots,\Delta c_4)$, який має задовольняти умовам точності $\delta = \delta_{\min} = [1/(2N)]\{(\Delta c_1/c_{1,0}),\ldots,(\Delta c_4/c_{4,0})\}$, де $(2N+1)$ – кількість вузлів, у яких розраховується функції цілі.

Для реалізації задачі оптимізації було застосовано метод упорядкованого перебору, який не має чутливості до початкового наближення. Початкові наближення та інтервали зміни параметрів оптимізації було обрано таким чином, щоб на їх границях значення нев'язок кожного з чотирьох рівнянь змінювали свій знак на протилежний. Для зменшення часу обчислень початкові розрахунки здійснювали для меншої кількості вузлів і визначали нове початкове наближення та нові інтервали зміни параметрів з меншою у декілька разів відносною похибкою розрахунків δ.

Порівняння часу обчислень для однакової точності визначення коефіцієнтів моделі Джилса-Аттертона методами простої ітерації та упорядкованого перебору доводить, що метод упорядкованого перебору забезпечує скорочення часу розрахунків майже у півтора рази. Крім того метод упорядкованого перебору є менш чутливим до точності експериментальними даних, які визнаються із похибками, що обумовлені класом точності приладів і схемами вимірювання.

Дослідження гістерезисних властивостей намагнічування феромагнітних матеріалів мають подальші перспективи розвитку у напрямку поєднання методів цифрової фільтрації змінних у часі даних вимірювання із методами динамічної оптимізації для визначення параметрів моделі Джилса-Аттертона.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Modeling Hysteresis Effects. – 13 p. – Режим доступу: https://www.comsol.ru/forum/thread/attachment/64177/hysteresisloss-comsol3.5a-10327.pdf.

2. Bastos J. P. A. Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods [Text] / J. P. A. Bastos, N. Sadowski. – Boca Raton: CRC Press, 2003. – 510 p.

3. Iványi A. Hysteresis Models in Electromagnetic Computation / A. Iványi. – Akademia Kiadó, Budapest, 1997. – 229 p.

УДК 539.3

Засовенко А.В.[1]

[1] канд. тех. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДИНАМІЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ДВОХ БАЛОК З ЗАЗОРОМ ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Дослідження динамічних хвиль у складних механічних системах набувають все більшого значення при розв'язані багатьох прикладних задач. До числа актуальних проблем теорії деформування стержньових систем відноситься проблема нестаціонарних коливань конструкцій при впливі імпульсних навантажень. Розрахунки таких задач, як правило, проводилися аналітичними методами, що ґрунтувалися зазвичай або на «стаціонарному» розв'язані, або у вигляді рядів Фур'є. На етапах проектування і виготовлення елементів конструкцій важливим є питання вивчення їх міцності і стійкості під дією динамічних навантажень. Все це вимагає впровадження в розрахункову практику нових, точніших математичних моделей і методик розрахунків, які дозволяли б визначати і реалізовувати різні види умов локальних контактів елементів стержньових конструкцій в процесі проведення чисельного експерименту.

Розглядається задача динамічного деформування та контактної взаємодії двох шарнірно-опертих балок з зазором між ними, що знаходяться під дією зовнішнього навантаження. На одну з балок діє поперечне розподілене знакозмінне навантаження. Друга балка розташована під першою. Матеріал балок ізотропний і однорідний. Враховується контактна взаємодія між балками.

Розв’язання даної задачі засновано на узагальненні сітково-характеристичного методу та ітераційного підходу, з уточненням виду контакту методом Ньютона-Канторовича [1].

Отримані результати не суперечать очікуваної фізичної картини поширення хвиль в складених стержньових конструкціях, з урахуванням неоднозначності умов контакту елементів, тобто зазору між ними. Також отримані дані добре узгоджуються з вже відомими результатами, отриманими іншими авторами за допомогою інших методів [2, 3].

Даний підхід дозволяє визначати шукані розв'язки для розглянутих балок повністю через всі геометричні і фізико-механічні параметри досліджу-

ваної механічної системи. Запропонована методика може бути застосована для розв'язання інших прикладних задач теорії пружності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Засовенко А. В. Контактне деформування балки кінцевої довжини на односторонній інерційній основі / А. В. Засовенко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя. – 2014. – № 1. – С.135–137.

2. Auciello N. M. On the transverse vibrations of non-uniform beams with axial loads and elastically restrained ends / N. M. Auciello // International Journal of Mechanical Sciences. –2001. – Vol. 43. – P. 193–208.

3. Pakar M. B. Accurate analytical solution for nonlinear free vibration of beams / M. B. Pakar // Structural Engineering and Mechanics. – 2012. – Vol. 43, № 3. – P. 337–347.

УДК 631.316.022

Шанина З.М.[1], Засовенко А.В.[1]
[1] канд. тех. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗПОДІЛ ТИСКІВ НА ДІЛЯНКАХ КОНТАКТУ З ҐРУНТОМ РОБОЧОГО ОРГАНУ

При взаємодії різних форм зубців з ґрунтом через нерівномірний розподіл контактних тисків на поверхні, процес утворення тріщин відбувається не по всій поверхні контакту, що впливає на якість обробки ґрунту.

У разі клиноподібної форми зубців максимальний тиск, що дорівнює нескінченності, розвивається у носка клина. Процес утворення тріщин в ґрунті залежить від характеру розподілу тисків на ділянці контакту. Первинні тріщини виникають в точках максимальних тисків. В даному випадку первинна тріщина виникає у вершини клина.

У разі прямокутних ділянок контакту створюється концентрація тисків, що викликає напружено-деформований стан в обмеженому обсязі ґрунту. Тиск на краях прямокутних ділянок максимальний і прямує до нескінченності. Тріщини утворюються і розвиваються на межах зони контакту.

Кругла ділянка контакту робочого органу, в порівнянні з прямокутною і клиноподібною, має більш рівномірний розподіл тиску. Такий розподіл викликає утворення декількох тріщин з більш розвиненою центральною.

Зубці, виконані у вигляді клина, прямокутника і кулі в процесі роботи зношуються. До інтенсивного зносу схильні ділянки з максимальним контактним тиском.

Для отримання більш рівномірного розподілу контактних тисків, при дії робочого органу на ґрунті, форма виступів повинна представляти собою параболу четвертого ступеня з вершиною, спрямованої в бік руху робочого органу.

У цьому випадку утворення тріщин буде відбуватися по всій контактуючий поверхні виступів більш рівномірно. Тиск на площині контакту в цьому випадку має вигляд

$$P(x) = \frac{4P}{3\pi a^4}\left[(a^2 + 2x^2)\cdot\sqrt{a^2 - x^2}\right],$$

де a – півширина контакту, P – зусилля, що прикладені до робочого органу.

УДК 539.371
Сніжко Н.В.[1]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВНУТРІШНЬОПРЕДМЕТНІ ЗВ'ЯЗКИ В КУРСІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ

Одним з ефективних методів формування ключових компетенцій майбутнього інженера є системний підхід до процесу викладання курсу «Вища математика». При системному підході при створенні НМКД враховуються не тільки міжпредметні, але і внутрішньопредметні зв'язки окремих тем або модулів між собою, а саме внутрішньопредметні зв'язки всередині окремої теми, всередині розділу або модуля, всередині всього предмета "Вища математика".

Реалізація внутрішньопредметних зв'язків здійснюється на трьох рівнях: теоретичному, методологічному та операціональному. За часовим параметром зв'язки поділяються на ретроспективні, перспективні та синхронні.

Наприклад, у першому семестрі двосеместрового курсу вищої математики розглядаються (серед інших) такі розділи:

– аналітична геометрія і лінійна алгебра;

– вступ до математичного аналізу;

– диференціальне числення функцій однієї та багатьох змінних.

Отже, з'являється необхідність зв'язати воєдино алгебраїчні, геометричні та аналітичні поняття і операції, щоб показати, що вища математика є, як і вся математика в цілому, єдиною наукою. Основний внутрішньопредметний зв'язок цих трьох розділів виражається в ідеї функціональної залежності (перш за все поліноміальної залежності першого і другого степенів однієї або

кількох незалежних змінних) і її графічного зображення. Тут ключовими словами слугують терміни "метод координат", "функція", "графік функції", "пряма лінія", "площина", "еліпс", "коло", "гіпербола", "парабола", "вектор".

У методологічному плані зазначений внутрішньопредметний зв'язок покликаний через метод координат розвивати гармонійне (алгебраїчне і геометричне одночасно) мислення майбутніх фахівців-інженерів.

У теоретичному плані ідея функціональної залежності дозволяє проводити дослідження геометричних фігур (форма фігури, асимптоти, фокуси, симетрія і т.д.) аналітичними засобами, а також проводити побудову ліній, заданих явним аналітичним виразом, неявно або параметрично.

В операціональному плані йде розвиток ідеї функціональної залежності від функцій однієї змінної до функцій декількох змінних (відповідно криві на площині і поверхні в просторі). Тут можна використовувати комп'ютерні засоби візуалізації фігур на площині і в просторі, зведення рівнянь кривих до канонічного виду, що є необхідним елементом дослідження для побудови фігур.

До важливих внутрішньопредметних зв'язків відноситься ідея "симетрії-асиметрії" математичних об'єктів, яку слід проводити при дослідженні геометричних або алгебраїчних об'єктів. Ця ідея дозволяє розвивати у студентів естетичні погляди на природу як абстрактних понять, так і технічних об'єктів, що зустрічаються в повсякденному житті (форми листів, дизайн автомобілів, деталі машин і т. ін.), коли симетрична фігура асоціюється з поняттям "красива фігура".

Насправді внутрішньопредметні зв'язки в курсі вищої математики надзвичайно різноманітні, що дозволяє викладачеві проявити свою педагогічну майстерність і висловити свої науково-методичні ідеї в повному обсязі. Не слід нехтувати і історичним аспектом внутрішньопредметних зв'язків. Наприклад, цікавим є той факт, що інтегральне числення з'явилося раніше диференціального числення, хоча в навчальному процесі частіше використовується зворотний хронологічний порядок.

Роблячи акцент на той чи інший внутрішньопредметний зв'язок, ми реалізуємо різні моделі організації навчання інженерів, закладаємо базу для вивчення нарисної геометрії та комп'ютерної графіки, креслення, курсу загальної фізики та інших навчальних дисциплін.

Реалізація внутрішньопредметних зв'язків в курсі вищої математики дозволяє педагогам реалізувати одночасно кілька дидактичних можливостей:

– формування цілісної картини світу;

– формування бази сучасної математики (фундаментальне ядро курсу);

– розвиток абстрактного і образного мислення студентів;

– виховання культури математичних операцій і перетворень (універсальні навчальні дії).

Моніторинг поточної успішності може продемонструвати як викладачеві, так і студентам ступінь засвоєння різних зв'язків і провести корекцію навчально-виховного процесу, використовуючи, наприклад, методику узагальнюючих повторень, яка передбачає використання зв'язків на рівні понять, систем понять і навіть теорій.

УДК 539.313
Штефан Т.О.[1]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСАДУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ГОРЯЧОМУ ШТАМПУВАННІ

Кольорові метали та їх сплави, використовувані в промисловості, піддаються куванню або штампуванню, як в холодному, так і в гарячому стані. Осадка є найбільш поширеною технологічною операцією [1]. При гарячому штампуванні осадку використовують на попередніх переходах для збиття окалини та наближення форми заготовки до конфігурації поковки, при цьому, в залежності від складності поковки, осадку можуть суміщати з елементами формовки, видавлювання, прошивки, що вимагає деякого ускладнення штампового інструменту. Інженерні розрахунки процесів опади пов'язані з визначенням необхідного зусилля операції і кінцевої форми осаджені заготовки.

Дослідження доводять, що з точки зору енергетичних витрат осаджування циліндра при постійній швидкості деформування з утворенням бочкообразної форми має помітну перевагу в порівнянні з осадкою при постійній стискачий силі без зміни форми [2]. При підготовчому осаді заготовок під штампування поковок типу дисків бочкоутворення сприяє кращому заповненню штампів, тобто служить для фасонування заготовок [2]. Рішення поставленого завдання із застосуванням дискретизації граничних умов є точним і може використовуватися як тестове при розв’язку чисельними методами [3].

Моделювання осаду проводиться із використанням рядів Фур'є – Бесселя та дискретизацією граничних умов із застосування методу скінчених елементів. Чисельні експерименти здійснено на основі програмного пакету MAXIMA.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов В. З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В. З. Власов. – М. : ГИФМЛ, 1960. – 490 с.

2. Кухарь В. В. Макропоказатели формоизменения и работа деформации при осадке заготовок выпуклыми плитами / В. В. Кухарь // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2012. – Вип. 64. – С. 227–233.

3. Штефан Т. А. Численно-аналитическое решение задачи об осесимметрической деформации в цилиндре под действием сжимающих загрузок / Т. А. Штефан, Е. В. Величко // Механика машин, механизмов и материалов. – Минск, Беларусь. – 2017. – № 4 (41). – С. 89–95.

УДК 539.312
Фасоляк А.В. [1]
[1]канд. фіз.-мат. наук, старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ДИНАМІКИ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ У ПРУЖНОМУ ПІВПРОСТОРІ

Розглядається пружній півпростір, обмежений площиною. У півпросторі є циліндрична порожнина, підкріплена тонкою пружною оболонкою. Циліндрична порожнина розташована таким чином, що її вісь перпендикулярна площині, яка обмежує півпростір. Контакт між оболонкою та півпростором вважаємо жорстким, а зв'язок двостороннім. Розглядається випадок, при якому до внутрішньої площини оболонки, на деякій глибині від поверхні півпростору, прикладене імпульсивне нормальне навантаження, яке діє симетрично відносно осі оболонки.

Зазначимо, що до подібних розрахункових схем приводять зокрема задачі моделювання стволів шахт, виходу на поверхню тунелів метрополітену, та ін.

Дослідження проведено методом скінченного елементу, в якості якого обрано трикутний вісесиметричний елемент [1]. Для розв’язання динамічного матричного рівняння використовувався θ-метод Вільсона [2]. Глибину, до якої враховується вплив півпростору, обрано на основі результатів чисельних експериментів.

В роботі проаналізовано вплив глибини прикладання навантаження та поверхні півпростору. На основі аналізу, отримано висновок, що для глибини прикладення навантаження, яка не менше 1,5 радіуса оболонки, без суттєвої втрати точності, можна знехтувати впливом вільної поверхні півпростору та розглянути циліндричну оболонку у необмеженому середовищі, розв’язок якої, зокрема наведено в роботі [3].

Розроблені в роботі розрахункові схеми та отримані результати можуть бути застосовані, зокрема при проектуванні та експлуатації підземних споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 393 с.

2. Пожуєв В. І. Нестаціонарна деформація циліндричної оболонки у пружному півпросторі з вільною поверхнею / В. І. Пожуєв, А. В. Пожуєв, А. В. Фасоляк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – № 1. – С. 119–126.

3. Пожуєв А. В. Нестаціонарна деформація циліндричної оболонки у пружному просторі під дією навантажень, що розширюються / В. І. Пожуєв, А. В. Фасоляк // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. – 2016. – № 1. – С. 200–213.

УДК 621.372.832

П'янков В.П.[1], Зіненко І.І.[2]

[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»,

[2] асист. НУ «Запорізька політехніка»

ДИФРАКЦІЯ ХВИЛІ H_{10} НА Е-ПЛОЩИННОМУ З'ЄДНАННІ П'ЯТИ ХВИЛЕВОДІВ З КРУГОВОЮ ВСТАВКОЮ

Мета даної роботи – продемонструвати можливості строгого електродинамічного методу добутку областей (ДО) [1] для розрахунку некоординатних Е-площинних хвилеводних вузлів з круговими провідниковими вставками. В даному докладі представленні розрахунки характеристик Е-площинного з'єднання п'яти прямокутних хвилеводів з круговим циліндром у центрі з'єднувальної порожнини (рис. 1). Розраховані значення модулів та аргументів коефіцієнтів проходження та відбиття такого з'єднання для різних значень радіуса кругового циліндра.

В регулярній частині хвилеводів вводяться площини Т-Т для початкового відліку. По одному з хвилеводів до з'єднувальної порожнини набігає хвиля типу H_{10}, амплітуда та фаза якої відомі у площині Т-Т. Задача зводиться до знаходження компоненти u магнітного поля, яка перпендикулярна площині рис. 1. Границі з'єднувальної порожнини до площин Т-Т (більш жирна лінія) розіб'ємо на елементи S_i : відрізки та круговий циліндр.

Нехай I_H – множина номерів смуг Т-Т, які співпадають з номерами хвилеводів, I_P – множина номерів провідних смуг, I_C – номер кругового циліндра, $I_R = I_H \cup I_P$, $I = I_R \cup \{i_C\}$. Згідно метода добутку областей ком-

поненту u будемо шукати у вигляді $u(r) = \sum_{i \in I} u_i(r)$, де кожна функція $u_i(r)$ задовольняє однорідному рівнянню Гельмгольця, зовні свого *i*-го елемента.

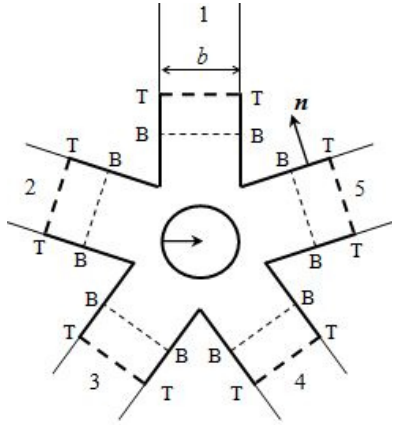


Рисунок 1 – Схема з'єднання хвилеводів.

Для функцій $u_i(r)$ виконуються наступні інтегральні рівності

$$u_i(r) = 2\left(\int_{S_i} \frac{\partial U_i(r')}{\partial \mathbf{n}'} G_i(r,r') dS' - W_i(r) \right) \quad \forall r \notin S_i,\ i \in I_H; \qquad (1)$$

$$u_i(r) = -2W_i(r) \quad \forall r \notin S_i,\ i \in I_P;\ u_i(r) = -W_i(r) \quad \forall r \notin S_i,\ i = i_C, \qquad (2)$$

де $U_i(r)$ – шукана компонента поля в регулярній частині *i*-го хвилевода, $W_i(r) = \int_{S_i} \sum_{j \in I \setminus \{i\}} \frac{\partial u_j(r')}{\partial \mathbf{n}'} G_i(r,r')\, dS'$, $\boldsymbol{n}$ – нормаль, яка спрямована згідно рис.1, $G_i(r,r')$ – функція Гріна, яка задовольняє однорідним граничним умовам Неймана на елементі S_i та записується у вигляді ряду по парним функціям Матьє для $i \in I_R$ і по функціям Ханкеля для $i = i_C$. Так як електромагнітне поле неперервне в однорідному середовищі, то

$$U_i(r) = \sum_{j \in I} u_j(r) \ \forall r \in \text{В-В}\ ,\ i \in I_H\ , \qquad (3)$$

де В-В – площина, яка розташована в регулярній частині *i*-го хвилевода згідно рис. 1. Рівняння (1) – (3) утворюють систему інтегро-диференціальних рівнянь відносно функцій $U_i(r), i \in I_H$, та $u_i(r)$, $i \in I$. Функцію $U_i(r)$ шукаємо у вигляді розвинення по власним хвилям хвилевода, $u_i(r)$ – у вигляді розвинення по парним функціям Матьє для $i \in I_R$ та по функціям Ханкеля для $i = i_C$. В результаті отримаємо нескінченну систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно коефіцієнтів вказаних розвинень, яка може бути розв'язана методом редукції.

На рис. 2 показані графіки залежності модулів коефіцієнтів матриці розсіювання S_{ij} розглядуваного вузла від частотного параметра $\chi = bk/(2\pi)$, де $k = 2\pi\sqrt{\lambda^{-2} - (2a)^{-2}}$, a и b – розміри стінок хвилеводів, λ – довжина хвилі у вільному просторі, при різних радіусах R кругового циліндра. Прийнята наступна нумерація кривих: 1– $R = 0{,}1b$; 2– $R = 0{,}3b$; 3– $R = 0{,}5b$; 4– $R = 0{,}7b$. Пунктиром показані характеристики вузла без кругової вставки. Із графіків видно, що коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ та коефіцієнти проходження $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ практично не залежать від радіуса вставки при $R \le 0{,}1b$ (дивись пунктирні лінії та лінії 1). Ця залежність посилюється з ростом R. При $R = 0{,}3b$ коефіцієнт відбиття зменшується в більшій частині робочого діапазону, а коефіцієнт передачі $|S_{21}|$ збільшується. При цьому коефіцієнт проходження $|S_{31}|$ значно менше на відрізку $0{,}2 < \chi < 0{,}5$, також його частотна характеристика близька к постійній за винятком проміжку $0{,}4 < \chi < 0{,}5$. При $R = 0{,}5b$ коефіцієнт передачі $|S_{21}|$ збільшується, а коефіцієнт проходження $|S_{31}|$ зменшується практично у всьому робочому діапазоні. Коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ збільшується на проміжку $0{,}3 < \chi < 0{,}5$. При $R = 0{,}7b$ коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ значно збільшується, коефіцієнти проходження $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ зменшуються. Також треба відмітити, що в частотній точці $\chi = 0{,}1$ при $R \ge 0{,}5b$ відбуваються резонансні ефекти.

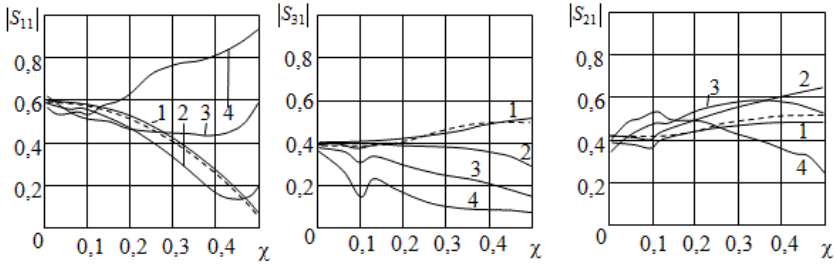


Рисунок 2 – Графіки залежності модулів коефіцієнтів матриці розсіювання від частотного параметра.

Результати представлені в даному докладі можуть бути використані при проектуванні мостових та багатоплечих з'єднань прямокутних хвилеводів в різноманітних радіотехнічних пристроях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Chumachenko V. P. Domain-product technique solution for the problem of electromagnetic scattering from multiangular composite cylinders / V. P. Chumachenko // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2003. – Vol. 51, №10. – P. 2845–2851.

УДК 517.547.7
Сніжко Н.В.[1]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

УЗАГАЛЬНЕНІ ПРОСТОРИ ГЕЛЬДЕРА ФУНКЦІЙ ДВОХ ЗМІННИХ

В роботі вивчається структура узагальнених просторів Гельдера функцій двох комплексних змінних. Встановлюються умови, що накладаються на структурні характеристики просторів, при виконанні яких простори збігаються або вкладені один в одного.

Нехай $\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2$ – кістяк Ляпунова, утворений довільними замкненими контурами Ляпунова γ_1 і γ_2 на комплексній площині; функція $x(t,\tau) \in C$ на γ, де $t \in \gamma_1$, $\tau \in \gamma_2$. Розглядаються функціонали [1]

$$\omega_{\kappa}(\delta_1, \delta_2; x) = \sup_{\substack{|h| \le \delta_1 \\ |\eta| \le \delta_2}} \left| \sum_{\nu=0}^{k} (-1)^{k-\nu} C_k^{\nu} x(t + \nu h, \tau + \nu\eta) \right|,$$

$$\omega_{\mathrm{k},1}(\delta_1,\delta_2;x)=\sup_{\substack{|h|\le\delta_1\\|\eta|\le\delta_2}}\left|\sum_{\nu=0}^{k}\sum_{\mu=0}^{l}(-1)^{k+l-\nu-\mu}C_k^{\nu}C_l^{\mu}x(t+\nu h,\tau+\mu\eta)\right|,$$

$$\omega_{\mathrm{k}}(\delta_1,0;x)=\omega_{\mathrm{k},0}(\delta_1,\delta_2;x)=\sup_{\tau\in\gamma_2}\sup_{|h|\le\delta_1}\left|\sum_{\nu=0}^{k}(-1)^{k-\nu}C_k^{\nu}x(t+\nu h,\tau)\right|,$$

$$\omega_{\mathrm{k}}(0,\delta_2;x)=\omega_{0,\mathrm{k}}(\delta_1,\delta_2;x)=\sup_{t\in\gamma_2}\sup_{|\eta|\le\delta_2}\left|\sum_{\nu=0}^{k}(-1)^{k-\nu}C_k^{\nu}x(t,\tau+\nu h)\right|,$$

які є відповідно повним, мішаним і частинними модулями неперервності функції $x(t,\tau)$ порядку k $(k+l)$, де k, l – натуральні числа. Нехай $\omega(\delta_1,\delta_2)$ – деякий модуль неперервності, а $\Omega_1(\delta)$, $\Omega_2(\delta)$ – відповідні йому [2] прості (одновимірні) модулі неперервності. Під узагальненим простором Гельдера H_ω будемо розуміти множину функцій $x(t,\tau)\in C$ на γ, модулі неперервності яких задовольняють умови:

$$\omega(\delta_1,\delta_2;x)\le C_1\omega(\delta_1,\delta_2), \tag{A}$$

$$\omega_{1,1}(\delta_1,\delta_2;x)\le C_2\Omega_1(\delta_1)\Omega_2(\delta_2), \tag{B}$$

де C_1, C_2 – сталі, що залежать тільки від $x(t,\tau)$. Слід зауважити, що умова (B) не випливає з умови (A).

Норму в просторі H_ω введемо наступним чином:

$$\|x(t,\tau)\|_{H_\omega}=\|x(t,\tau)\|_C+H(x;\omega)+H^{t\tau}(x;\omega)=$$

$$=\max_{(t,\tau)\in\gamma}|x(t,\tau)|+\sup_{\delta_1^2+\delta_2^2\ne0}\frac{\omega(\delta_1,\delta_2;x)}{\omega(\delta_1,\delta_2)}+\sup_{\delta_1^2+\delta_2^2\ne0}\frac{\omega_{1,1}(\delta_1,\delta_2;x)}{\Omega_1(\delta_1)\Omega_2(\delta_2)}. \tag{1}$$

Зауважимо, що в просторі $H_\omega\equiv H_{\Omega_1\Omega_2}$ норму можна визначити і таким чином:

$$\|x(t,\tau)\|_{H_{\Omega_1\Omega_2}}=\|x(t,\tau)\|_C+H^{t}(x;\Omega_1)+H^{\tau}(x;\Omega_2)+H^{t\tau}(x;\omega)=$$

$$=\max_{(t,\tau)\in\gamma}|x(t,\tau)|+\sup_{\delta_1>0}\frac{\omega(\delta_1,0;x)}{\Omega_1(\delta_1)}+\sup_{\delta_2>0}\frac{\omega(0,\delta_2;x)}{\Omega_2(\delta_2)}+\sup_{\delta_1^2+\delta_2^2\ne0}\frac{\omega_{1,1}(\delta_1,\delta_2;x)}{\Omega_1(\delta_1)\Omega_2(\delta_2)}. \tag{2}$$

Теорема 1. В просторі H_ω норми (1) і (2) еквівалентні.

Теорема 2. [3] Відносно норми (1) простір H_ω є банаховим.

З твердження теореми 1 випливає, що простір H_ω є банаховим і відносно норми (2).

Модулі неперервності $\omega^{(1)}(\delta_1,\delta_2)\equiv\omega^{(1)}$ і $\omega^{(2)}(\delta_1,\delta_2)\equiv\omega^{(2)}$ назвемо еквівалентними ($\omega^{(1)}\sim\omega^{(2)}$), якщо існують сталі $0<m,M<\infty$ такі, що

$$0<m=\inf_{\delta_1^2+\delta_2^2\neq 0}\frac{\omega^{(1)}(\delta_1,\delta_2)}{\omega^{(2)}(\delta_1,\delta_2)},\ \sup_{\delta_1^2+\delta_2^2\neq 0}\frac{\omega^{(1)}(\delta_1,\delta_2)}{\omega^{(2)}(\delta_1,\delta_2)}=M<+\infty.$$

Теорема 3. [3] Простори $H_{\omega^{(1)}}$ і $H_{\omega^{(2)}}$ співпадають тоді і тільки тоді, коли $\omega^{(1)}\sim\omega^{(2)}$.

Теорема 4. Нехай простори $H_{\omega^{(1)}}$ і $H_{\omega^{(2)}}$ такі, що їх характеристики $\omega^{(1)}$ і $\omega^{(2)}$ не еквівалентні. Тоді:

1) якщо $m=\inf_{\delta_1^2+\delta_2^2\neq 0}\frac{\omega^{(1)}(\delta_1,\delta_2)}{\omega^{(2)}(\delta_1,\delta_2)}>0$, $M=\sup_{\delta_1^2+\delta_2^2\neq 0}\frac{\omega^{(1)}(\delta_1,\delta_2)}{\omega^{(2)}(\delta_1,\delta_2)}=\infty$, то простір $H_{\omega^{(2)}}$ вкладений у простір $H_{\omega^{(1)}}$;

2) якщо $m=0$, $M<\infty$, то простір $H_{\omega^{(1)}}$ вкладений у простір $H_{\omega^{(2)}}$;

3) якщо $m=0$, $M=\infty$, то простори $H_{\omega^{(1)}}$ і $H_{\omega^{(2)}}$ не будуть вкладені один в одного, тобто існують функції $x(t,\tau)$, що належать простору $H_{\omega^{(1)}}$ і не належать простору $H_{\omega^{(2)}}$, і навпаки. В цьому випадку переріз просторів $H_{\omega^{(1)}}$ і $H_{\omega^{(2)}}$ містить клас Ліпшиця в якості вкладеного простору.

Ці теореми узагальнюють відомі результати щодо класичних двовимірних просторів Гельдера $H_{\alpha\beta}$, $0<\alpha,\beta\le 1$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Натансон И. П. Конструктивная теория функций / И. П. Натансон. – М.–Л. : Гостехиздат, 1949. – 688 с.

2. Тиман А. Ф. Теория приближения функций действительного переменного / А. Ф. Тиман. – М. : ГИФМЛ, 1965. – 624 с.

3. Сніжко Н. В. Класифікація узагальнених просторів Гельдера функцій двох змінних / Н. В. Сніжко // Вісник Київського ун-ту. Сер.: фіз.-мат. науки. – 1999. – Вип. 3. – С. 124–128.

Наукове електронне видання
комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та
мережному режимах

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2020.
Машинобудівний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів, викладачів,
науковців, молодих учених і аспірантів
13–17 квітня 2020 року

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM);
супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. № 535

Видавець і виготовлювач
Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.