МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2019.
Машинобудівний факультет

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

15–19 квітня 2019 року

Електронне видання комбінованого
використовування на DVD-ROM

м. Запоріжжя

УДК 001.89
Т39

Рекомендовано до видання Вченою радою
Запорізького національного технічного університету
(Протокол №10 від 03.06.2019 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-2019. Машинобудівний факультет.** Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15–19 квітня 2019 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.
ISBN 978-617-529-219-8.

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 Запорізького національного технічного університету. Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців.

ISBN 978-617-529-219-8.

© Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ), 2019

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ» 10
Дядя С.І., Габура І.А. Використання програми NX для визначення частот власних коливань складнопрофільних деталей авіаційних двигунів після операцій механічної обробки 10
Дядя С.І., Блід О.Г. Аналіз коливального руху тонкостінної деталі при попутному фрезеруванні з автоколиваннями 11
Дядя С.І., Лелях І.С. Використання вібродіагностики підшипників опор валу ротора авіаційних двигунів для визначення їх працездатності 12
Дядя С.І., Бондаренко В.А. Особливості конструкції фрези для дослідження впливу змінного кроку зуба на пригнічення автоколивань 13
Гончар Н.В., Дергунова Є.С., Сотніков А.С. Програмування в ANSYS як засіб підвищення продуктивності розрахунків 14
Козлова О.Б., Хаджолов В.Ю., Петрашкевич В.В. Забезпечення точності обробки тонкостінних деталей 15
Козлова О.Б., Завєдєєв В.О. Підвищення якості поверхні методом безабразивної ультразвукової фінішної обробки 17
Козлова О.Б., Морозов М.Г. Підвищення точності виготовлення зубчастих коліс 18
Сідорова А.В. Анодне оксидування алюмінію та алюмінієвих сплавів методом твердого анодування 19
Гермашев А.І., Пасічник К.В. Підбір оптипальних режимів різання – NX PLAGIN 21
Вишнепольський Є.В., Пушкашова А.В. Особливості фінішних методів обробки титанових сплавів 23
Вишнепольський Є.В., Біла Т.Х. Особливості внутрішнього шліфування 24

Вишнепольський Є.В, Мельников Р.О. Вплив похибки виготовлення на навантажувальну здатність зубчастого колеса 25
Кононов В.В., Мельниченко М.М., Середа І.В., Чирка А.В. Ефективність обробки деталей авіадвигунів електроерозійними методами..... 27
Степанов Д.М., Федоренко О.С. Методи отримання отворів малих діаметрів у тонкостінних деталях 28
Пухальська Г.В., Сурдуков М.В. Перспективи застосування адитивних технологій у виробництві..... 30
Пухальська Г.В., Чехова Н.В. Гідроабразивне різання як ефективний метод обробки моноколіс..... 32
Пухальська Г.В., Синецький А.В. Види нанопокриттів..... 33
Костюченко Д.С., Литвин О.В. Використання техніки підмоделювання для розрахунків на міцність складнонавантажених деталей ГТД в ANSYS..... 35
Логомінов В.О., Давиденко В.Д. Розробка технологічних операцій на багатоопераційних верстатах з ЧПК..... 36
Логомінов В.О., Ошмаріна Н.В. Технологічні особливості високошвидкісного кінцевого фрезерування 38
Логомінов В.О., Прищепо І.В. Труднощі при фрезеруванні титанових сплавів 39
Логомінов В.О., Пекушев А.О. Анодне оксидування титану.. 41
Дядя С.І. Вплив особливостей попутного та зустрічного фрезерування з автоколиваннями на зміну форми обробленої поверхні при різних подачах..... 43
СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ» 45
Жарик А.В. Застосування вуглецевих наноструктурних волокон у космічних апаратах 45
Калініна Є.В. Лопатки ГТД із титанових сплавів із застосуванням нанотехнологій..... 46

Нагалюк М.А. Результати досліджень властивостей наноматеріалів і нанотехнологій, застосовуваних в авіадвигунобудуванні 47
Неманежин Є.О. Наноструктуровані покриття на деталях ГТД, застосування, властивості 49
Попков В.С. Наноматеріали, класифікація, властивості, структура 51
Братковський В.О. Методи і прилади для дослідження наноматеріалів 52
Жабицький С.С. Застосування наноматеріалів і нанотехнологій у виробничих технологіях 53
Кирилов Д.М. Технології поверхневої обробки поверхонь деталей, застосування, властивості 55
Легеза Б.С. Нанотрубки, типи, отримання і властивості 57
Малєєв В.В. Застосування наноматеріалів і нанотехнологій в авіадвигунобудуванні 58
Маракін В.І. Методи і устаткування отримання нанопорошків, застосування і їх властивості 59
Мирошниченко К.М. Фулерени, методи отримання, види, властивості, застосування 60
Мороз Б.К. Застосування наноматеріалів і нанотехнологій в авіаційній промисловості 62
Семененко М.С. Деформаційні методи отримання наноструктурних матеріалів, застосування і властивості 63
Шведов Є.В. Закордонні і вітчизняні вчені, які здійснили значний внесок у розвиток нанонауки 64
Власова О.О. Наноматеріли, класифікція, властивості, структура 66
СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ» 68
Frolov M. Evaluation of distribution parameters for cutting tools reliability analysis 68
Івщенко Л.Й., Комочкін М.С. Експериментальне дослідження впливу амплітуди переміщень зразків та шляху тертя на інтенсивність зношування 69

Танченко С.В., Івщенко Л.Й. Вибір матеріалу зносостійкого шару для напрямних металообробного обладнання 71
Солоха В.В. Вплив конструкції та умов стикування шпиндельної бабки токарного верстата на температурні деформації..... 73
Циганов В.В., Івщенко Л.Й. Методи управління зносостійкістю трибоз'єднань при багатокомпонентному навантаженні..... 75
Глушко П.В. Механізми внутрішнього тертя конструкційних високодемпфуючих матеріалів 76
Штанкевич В.С. Дослідження умов зміни поверхні різання при використані фрез із зміним окружним кроком..... 77
Матвєєнко Л.С., Циганов В.В. Вплив полімеру у складі МОР на ефективність обробки металів різанням 79
Комочкін М.С., Ліпіліна О.С. Аналіз способів планетарної обробки отворів 80
Комочкін М.С., Тітко В.В. Аналіз конструкцій різальних інструментів для зворотнього цекування отворів корпусних деталей 82
Івщенко Л.Й., Середа О.А. Спосіб та устаткування для визначення частот коливань пакетів лопаток турбомашин ... 83
СЕКЦІЯ «ДЕТАЛІ МАШИН І ПТМ»..... 85
Мартовицький Л.М., Глушко В.І., Сочава А.І., Бут М.О. Конструктивні особливості грейферів для зачерпування круглих лісоматеріалів 85
Сочава А.І., Глушко В.І., Мартовицький Л.М., Сиромолотов А.О. Як концентратор напружень впливає на циклічну втому сталі 85
Фролов Р.О., Сезоненко П.С. Контактна витривалість сталей ДІ-3А з різними варіантами зміцнення поверхневого шару .. 87
Лятуринський В.О., Стефаник М.Д. Раціоналізація перетинів кранових рейок 88
Руднєв О.М., Путятін А.О. Дослідження роботи редукторів з великим передатним числом в механізмах підйому при екстремальних умовах експлуатації..... 89

Волков Г.П., Тарабан Л.О. Парк меліоративних машин в аграрному секторі україни 91
Мартовицький Л.М., Камель Г.І., Шаніна З.М., Гаврилов Д.В., Онежко Б.С. Спосіб відновлення і зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин 93
Носенко М.І., Сезоненко П.С., Камель Г.І., Коляда В.С. Особливості зварювання литого сталевого корпусу зі втулкою з монель-металу, отриманої відцентровим литтям 94
Носенко М.І., Лаговський А.В., Камель Г.І., Карамушка Д.Р. Дослідження методики вимірювання зношування деталей конічних трибовузлів 96
Сочава А.І., Мартовицький Л.М., Глушко В.І. Дослідження циклічної повзучості конструкційних сталей 98
Мартовицький Л.М., Сочава А.І., Глушко В.І., Шаніна З.М. Основи проектних розрахунків приводів кранів з граничними параметрами 99
Задоя Н.О. Формування пусковой мембрани із застосуванням радіаційних методів твердіння 100
Носенко М.І. Дослідження формозміни в процесі гарячої деформації порошкових заготовок 101
Сидоренко М.В., Клименко Г.В. Дослідження методів для визначення напруженого стану металоконструкції мостових кранів 102
Лятуринський В.О., Сидоренко М.В., Клименко Г.В. Вплив швидкості накладання валику на післязварний стан поясного з'єднання коробчастої балки 105
Волков Г.П. Логістика виробничих процесів та планування трудових ресурсів в реальному секторі економіки 107
Мартовицький Л.М., Камель Г.І., Глушко В.І., Шаніна З.М. Спосіб зміцнюваного відновлення деталей грунтообробних машин 109
Мартовицький Л.М., Камель Г.І., Глушко В.І. Спосіб відновлення і зміцнення долот лемешів плуга 110

Руднєв О.М., Мартовицький Л.М. Дослідження можливості подовження терміну експлуатації прогінних кранових балок 111
СЕКЦІЯ «ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ» 114
Обдул В.Д., Матюхін А.Ю. Нівелювання реактивного моменту на гвинтовому пресі 114
Широкобоков В.В., Чиженьков Є.Д. Дослідження технології виготовлення складних деталей типу тіл обертання 114
Явтушенко А.В., Парубець А.Ю. Методи підвищення стійкості розподільних штампів 115
Явтушенко А.В., Штепа В.О. Методи зниження технологічного зусилля при розподільних операціях листового штампування 116
Матюхін А.Ю., Пирожков О.І. Вдосконалення конструкції мітчико–штампувального прес-автомату 117
Матюхін А.Ю., Доновський І.О. Сучасне використання ковальського горну 118
Бень А.М., Єпішкін О.В. Особливості проектування тривимірного штампового оснащення в системі Компас-Графік 120
Ленок А.А., Горпинич А.П. Дефекти, що виникають при виготовленні крутозагнутих відводів для трубопровідних систем 122
Ленок А.А., Макаров А.С. Обладнання для гнуття труб 123
СЕКЦІЯ «ВИЩА МАТЕМАТИКА» 126
Онуфрієнко В.М. Математична модель ємності фрактального компакта з ередитарним ефектом 126
Онуфрієнко В.М., Онуфрієнко Л.М. Моделювання провідності напівпровідникового каналу з фрактально конфігурованими межами 129
Онуфрієнко В.М., Слюсарова Т.І. Дифракція хвиль на стоко-джерельних фрактальних об’єктах 131

Шама Є.О., Онуфрієнко В.М. Теорія фрактального шару в задачах взаємодії терагерцевого випромінення з рослинними об'єктами..... 134
Килимник І.М. Особливості математичного моделювання теплового стану магнітної системи силового трансформатора 136
Антоненко Н.М. Особливості чисельної реалізації задачі про визначення температури в двошаровій основі при неідеальному тепловому контакті шарів 138
Засовенко А.В. Моделювання динамічних хвиль у обтічнику при дії зовнішнього розподіленого навантаження 140
Штефан Т.О. Моделювання формозміни циліндра при симетричному та несиметричному навантаженні основ..... 141
Сніжко Н.В. Про організацію науково-дослідної роботи студентів молодших курсів в технічному університеті 142
Snizhko N.V. Analysis of the displacement field in a ring domain under tangential loading..... 145
Фасоляк А.В. Математичне моделювання нестаціонарної динаміки тунелів та трубопроводів неглибокого залягання 146
Зіненко І.І., П'янков В.П. Електродинамічний аналіз чотирьохплечового з'єднання прямокутних хвилеводів в Е-площині з круговою вставкою..... 148

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 621.9
Дядя С.І.[1], Габура І.А.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ NX ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ПІСЛЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Деталі, що застосовуються в авіаційних двигунах, як правило, виготовляють з важкооброблюваних матеріалів, що мають необхідну міцністю при малій вазі і складній формі. Ці особливості відображаються на можливостях механічної обробки, що супроводжується вібраціями. Швидкісні зони, в яких виконується формоутворююче фрезерування, включають різні види коливань, кожне з яких по-своєму впливає на формування обробленої поверхні [1]. В якості критерію, що визначає номер швидкісної зони, є відношення часу різання до періоду вільних коливань. Знання того, в яких умовах буде проходити різання, дозволяє вибирати геометрію інструменту і призначати такі режими різання, що забезпечать обробку деталі необхідної якості. Тому актуальним є визначення часу різання і частоти власних коливань деталі на етапі проектування технологічного процесу. Розрахунок часу різання при кінцевому фрезеруванні можна виконувати за формулами, наведеними в літературі [2]. Комп'ютерні програми, зокрема NX, що застосовуються для програмування операцій механічної обробки, дозволяють вирішувати завдання пов'язані, як з візуалізацією процесу різання і роботи вузлів верстата, так і з виконанням модального аналізу, розрахунків на міцність. Тому пропонується після отримання геометричних параметрів заготовки на операціях механічної обробки за допомогою програми NX розрахувати частоти її власних коливань. Після цього визначають швидкісну зону коливань і відповідно до неї коригують режими різання для отримання деталі заданої точності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

2. Анализ условий контактирования зубьев концевой цилиндрической фрезы с деталью / Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя, Е.Б. Козлова, Н.Н. Черновол // Журнал інженерних наук. – 2014. – Т. 1. – № 4. – С. 1–7.

УДК 621.9
Дядя С.І.[1], Блід О.Г.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

АНАЛІЗ КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ ТОНКОСТІННОЇ ДЕТАЛІ ПРИ ПОПУТНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ З АВТОКОЛИВАННЯМИ

У сучасному авіадвигунобудуванні та інших галузях промисловості використовують деталі, що мають тонкостінні елементи. Ці деталі найчастіше отримують шляхом кінцевого фрезерування на верстатах з ЧПК.

В умовах напівчистового фрезерування деталей з важкооброблюваних матеріалів завжди присутні вимушені коливання та автоколивання [1]. Вимушені коливання пов'язані з дією збуджуючої сили, що виникає при врізанні зубу фрези, різанні і його виходу з-під стружки. Автоколивання виникають через появу хвилястого сліду на поверхні різання, що залишається від проходу попереднього зуба. Автоколивання негативно впливають на якість обробленої поверхні та стійкість інструменту. Тому актуальною задачею є зменшення їх впливу, зокрема при попутному фрезеруванні.

Для дослідження механізму дії автоколивань на формування обробленої поверхні розроблено спеціальний стенд [2], за допомогою якого записують осцилограми коливального руху тонкостінної деталі та інструменту. З осцилограм виділяють базові фрагменти (БФО) та за чотирнадцятьма показниками [2] проводять оцінку змін характеристик коливального руху при кожному різі інструмента.

За результатами обробки БФО, записаних при попутному кінцевому циліндричному фрезеруванні було визначено, що з чотирнадцяти показників лише три періодично змінюються. Серед них час різання, розмах автоколивань та відхилення деталі від положення рівноваги в зоні профілювання. Встановлено, що між ними є тісний кореляційний зв'язок. Подальші дослідження планується проводити в напрямку виявлення залежності кроку і висоти хвилястості обробленої поверхні при попутному кінцевому фрезеруванні і цими характеристиками коливального руху деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании / А.И. Каширин. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1944. – 262 с.

2. Внуков Ю.Н. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей. Монография / Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя, Е.Б.Козлова и др. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 208с.

УДК 658.562
Дядя С.І.[1], Лелях І.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ПІДШИПНИКІВ ОПОР ВАЛУ РОТОРА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

В авіаційному виробництві важливу роль відіграє якість комплектуючих деталей. Однією з найбільш значущих складових агрегатів є підшипники кочення різного типу. Їх дефектація займає важливу роль в оцінці якості складання і ремонту авіадвигунів [1].

Основним методом дефектації підшипників в авіаційній промисловості є візуальний контроль і вимірювання геометричних параметрів його складових частин. Даний метод контролю має такі недоліки, як низька продуктивність, точність, неможливість виявлення всіх наявних дефектів через присутність людського фактору, похибки вимірювальних приладів.

Тому актуальним завданням є автоматизація цієї операції. Для її вирішення було виконано огляд методів і стендів [2], що застосовуються для контролю якості виготовлення підшипників в різних галузях, який показав, що краще визначення показників стану підшипників дає вібродіагностика. В результаті вібраційного аналізу спектрів коливань підшипників виявляються дефекти внутрішньої і зовнішньої доріжок кочення, тіл кочення, сепаратора, послаблення посадки підшипника, перекіс кілець підшипника, дефекти мастила.

Стенди для контролю підшипників кочення включають в себе датчики вимірювання вібрації, обертів і температури з можливістю документувати отримані значення.

На підставі виконаного аналізу можна сказати, що застосування вібродіагностичних стендів, що використовуються в підшипниковій промисловості, дозволить автоматизувати операцію дефектації опор валів і на підприємствах авіаційної промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайцев А.М. Эксплуатация авиационных подшипников качения / А.М. Зайцев, Р.В. Коросташевский. – Москва : Транспорт, 1968. – 224 с.

2. Выявление дефектов подшипников качения с помощью анализа вибрации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml.

УДК 621.9
Дядя С.І.[1], Бондаренко В.А.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІННОГО КРОКУ ЗУБА НА ПРИГНІЧЕННЯ АВТОКОЛИВАНЬ

Автоколивання, що виникають при фрезеруванні тонкостінних деталей, здійснюють негативний вплив на якість обробленої поверхні, стійкість інструмента та продуктивність обробки. Для пригнічення рівня автоколивань використовують різноманітні демпфуючі заходи. Серед них і використання інструменту зі змінним окружним кроком.

Для дослідження впливу змінного кроку зуба фрези на пригнічення рівня автоколивань дуже важливу роль відіграє конструкція інструменту. Існуючі конструкції, на які отримані патенти [1], [2], мають ряд недоліків, що обмежують можливості досліджень. Серед них і використання всього двох різальних зубів.

Для усунення цього обмеження розроблено 3D модель фрези з чотирма різальними зубами. Серед них один нерухомий, що закріплюється у корпусі. Відносно його налагоджуються три рухомих зуба. В конструкції фрези передбачено спеціальні пази для регулювання положення зубів з окружним кроком між ними 90 °± 10°.

Найбільшою проблемою при роботі багатозубим інструментом є радіальне биття. Для його усунення використовується метод регулювання. Для цього рухомі різальні зуби у тримачах впираються в спеціальні гвинти з конічною частиною, що дозволяє регулювати їх радіальне положення відносно нерухомого зуба.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. UA 104373 Україна, МПК(2016.01) B23C 5/00. Фреза з регульованим окружним кроком різальний зубів / Дядя С.І., Козлова О.Б., Опанасенко Н.М., заявник і патентовласник ЗНТУ. – №u201507173; заявл. 17.07.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл. № 2.

2. Пат. UA 122231 Україна, МПК(2016.01) B23C 5/00. Фреза з регульованими параметрами / Дядя С.І., Козлова О.Б., Штанкевич В.С., Комочкін М.С., заявник і патентовласник ЗНТУ. – №u201707599; заявл. 18.07.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

УДК 004.94
Гончар Н.В.[1], Дергунова Є.С.[2], Сотніков А.С.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ПРОГРАМУВАННЯ В ANSYS ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗРАХУНКІВ

У випадку, коли у міцностному пакеті ANSYS необхідно зробити для однієї моделі ряд однакових розрахунків із зміною одного або декількох параметрів з метою пошуку їх оптимального значення або граничних умов, є раціональним написання програмного коду для виконання розрахунку.

Також в комп'ютерному пакеті ANSYS закладено автоматичне складання програми, яке виконується паралельно з мануальним введенням команд створення моделі, введення властивостей матеріалу, розбиття на кінцеві елементи, прикладення граничних умов, навантажень, проведення розрахунку і отримання результатів у вигляді таблиць, графіків, візуалізації моделі з контурним зазначенням таких параметрів, як напруження, деформація, розподілення температур тощо.

По закінченню першого розрахунку, зробленому послідовно вручну, послідовністю виконаних команд формується файл «file.txt» або «file.log», який розташовано в робочій директорії. Цю текстову частину програмного коду можна використовувати для подальших розрахунків, змінюючи в ній необхідний параметр. Програма редагується (при необхідності), копіюється та вноситься у вікно командної строки нового файлу ANSYS.

Після вводу весь комплекс розрахунків з початку (будування моделі) з новими зміненими вихідними даними до кінця (візуалізація результатів) виконується автоматично з відтворенням на моніторі всієї послідовності дій.

За допомогою цього методу можна прискорити етап конструкторської підготовки та розрахунку задач, які необхідно виконати декілька разів, а іноді декілька десятків разів. Наприклад, перевірка надійності: яку вихідну силу можна прикласти до певного елемента складної конструкції, щоб не перевищити допустиме сумарне навантаження в небезпечному перерізі: або задача змінення конструкції деталі з метою мінімізації маси: наскільки тонким можна зробити ребро жорстокості без втрати міцностних властивостей всієї конструкції.

Особливо, цей метод використання програми є актуальним при нелінійному зміненні досліджуваної величини, що потребує декількох додаткових розрахунків. До того ж таким чином можна проводити і багатофакторний аналіз згідно з планом експерименту, розрахунок також прискорюється в декілька разів.

Метою роботи було визначити економію часу при рішенні конструкторської задачі вищезазначеним методом: змінюючи радіус численних виборок деталі визначити напруження і деформацію тонкостінної фасонної пластини, виготовленої з алюмінієвого сплаву Ак12, яку піддають розтягуючим навантаженням.

Першу модель деталі з вибірками радіусом 3 мм будували в ANSYS, використовуючи можливості твердотільного моделювання. Тривалість етапу моделювання, завдання вихідних даних, розрахунку та візуалізації результатів першої задачі з R=3 мм склала 15 хвилин. Після цього програму було скоректовано для зручності подальшого використання. Далі достатньо було тільки змінити в програмі значення R (R=5,7,10,12… мм) перед кожною наступною задачею, і перерахунок кожного наступного варіанту займав 30 с. Тому, вже через кілька хвилин було встановлено, що в конструкції з радіусом виборок 12,5 мм значення в), і ¯максимальних напружень досягло граничних значень 75 МПа (1/2 від деформація (подовження) пластини загальною довжиною 150 мм склало 0,47 мм.

Отже, з урахуванням витрат часу на проведення першого розрахунку для отримання програми, загальна тривалість рішення цього конструкторського завдання скоротилась в 5 разів.

УДК 621.9
Козлова О.Б.[1], Хаджолов В.Ю.[2], Петрашкевич В.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ

Механічна обробка тонкостінних деталей пов'язана з високим ризиком виникнення браку від неприпустимо великих технологічних деформацій деталі під дією сил різання і закріплення. Тому при механічній обробці таких деталей на стандартних (нормальних) режимах різання зазвичай застосовують спеціальні верстатні пристосування, які підвищують жорсткість тонкостінної деталі до величин, порівнянних з жорсткістю монолітних виробів [1, 2].

Вивчається також можливість обробки тонкостінних деталей в стандартних умовах, однак, на спеціальних «м'яких» режимах з низькими силами різання, при яких технологічна деформація деталей знаходиться в діапазоні допустимих значень. Концепція обробки тонкостінних деталей в стандартних умовах на «м'яких» режимах різання базується на

закономірностях, математично описаних залежностями сили різання від значень технологічних параметрів процесу [3, 4].

Перевагами обробки на спеціальних «м'яких» режимах різання в стандартних умовах є менші ресурсомісткість і тривалість технологічної підготовки виробництва. Цей підхід зручно застосовувати в умовах серійного і дрібносерійного виробництва.

Однак, вивчення «м'яких» режимів пов'язане з вирішенням ряду важливих питань, що стосуються розробки інженерних методів та оперативного оцінювання очікуваних технологічних деформацій.

Одним з перспективних інструментів для оперативного визначення очікуваної поведінки тонкостінних деталей є обчислювальна програмна система ANSYS. Яку використовують для математичного моделювання процесів, що не піддаються аналізу на рівні традиційних класичних інженерних методик [5, 6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. К вопросу о деформации тонкостенных деталей при обработке на станках токарной группы [Електронный ресурс] / Е.В. Арбузов, А.Д. Жаргалова , Г.П. Лазаренко и др. // Раздел: Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 4. – Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/353914.html.

2.Ансеров, М.А. Приспособления для металлорежущих станков: Расчет и конструирование. / М.А. Ансеров. – Москва-Ленинград: Изд-во Машиностроение, 1996. – 341 с.

3. Гузеев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник / В.И Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков. – Москва: Изд-во Машиностроение, 2007. – 536 с.

4.Ластовский, П.Н. Обеспечение заданных требований точности при автоматизированной токарной обработке тонкостенных деталей: дис. на получение наук. канд. техн. наук / П.Н. Ластовский. – Омск, 2010. – 226 с.

5. Гаврюшин, С.С. Численный анализ элементов конструкций машин и приборов [Текст] / С.С. Гаврюшин, О.О. Барышникова, О.Ф. Борискин. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 479 с.

6. Половко, А.М. MATLAB для студента [Текст] / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – Санкт-Петербург: Изд-во БВХ-Петербург, 2005. – 320 с.

УДК 62-1/9
Козлова О.Б.[1], Завєдєєв В.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ БЕЗАБРАЗИВНОЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ

Застосування сучасних машин і механізмів вимагає від конструкторів і технологів рішення проблеми підвищення терміну їх служби та терміну служби окремих деталей, що входять до складу машин і механізмів.[1]

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є безабразивна ультразвукова фінішна обробка (БУФО). Принцип роботи полягає в наступному: ультразвукова коливальна система (УЗКС) закріплюється в резцеутримувачі токарного верстата або в патроні вертикально–фрезерного верстата. Потім, твердосплавний індентор циліндричної або бочкообразної форми притискається до заготовки зі статичним зусиллям 50...250 Н. Далі включаються електропривод руху верстата і ультразвуковий генератор, який генерує високочастотні 15...40 кГц і низькоамплітудні 5 ... 50 мкм коливання акустичної головки і відбувається процес пластичного деформування поверхневого шару металу [2].

За допомогою обладнання БУФО можна обробляти більшість відомих марок сталі, алюмінію, міді та інших металів. Обробляються різні конструктивні форми деталей: циліндричні, зовнішні і внутрішні поверхні, торцьові, конічні і кульові поверхні, різні виступи, прямокутні і радіальні канавки.

Після обробки поверхні металу, за допомогою технології БУФО, зростає твердість поверхневого шару, в залежності від вихідної на 10 – 150 %, з'являється можливість отримання шорсткості поверхні до 10 – 12 класу (Ra = 0,04–0,1 мкм) , підвищується втомна міцність на 10 – 200 %, збільшується опорна поверхня до 80 – 90 %, неокруглість геометрії деталі знижується на 25–30 %. Використання БУФО виключає необхідність застосування шліфувальних верстатів, стає реальною технологією обробки деталі без переустановлення, зменшує внутришньоцехове транспортування деталей [3]. Застосування даної технології дозволяє 2–3 рази збільшити міжремонтні терміни двигунів, верстатів, компресорів, насосів тощо [4]. Отже, застосування БУФО є доцільнім в порівнянні зі шліфуванням та іншими методами фінішної обробки поверхонь деталей різних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО), ультразвуковая импульсная упрочняюще-чистовая обработка [Электронный

ресурс] // Раздел: Научно-техническая статья. – Режим доступа: http://utinlab.ru/articles/bezabrazivnaya-ultrazvukovaya-finishnaya-obrabotkabufo-ultrazvukovaya-impulsnaya.

2. Таратынов, О.В. Ультразвуковая обработка как прогрессивная технология финишной обработки материалов [Текст] / О.В. Таратынов, В.В. Порошин, В. В. Харченко // Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе : междунар. науч.-техн. конф., 26-28 окт. 2011 г. : тезисы докл. – М., 2011. – С. 493.

3. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков и др.; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

4. Безабразивная ультразвуковая финишная обработка поверхности металлов БУФО [Электронный ресурс] // Раздел: Научно-техническая статья. – Режим доступа: http://www.ptechnology.ru/MainPart/MashinoStro/ MashinoStro14.html.

УДК 62-1/9
Козлова О.Б.[1], Морозов М.Г.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Високу якість зубчастих коліс можна забезпечити за умови застосування сучасних методів і засобів контролю на протязі технологічного циклу виготовлення, починаючи з заготовки та закінчуючи фінішними операціями і складанням [1].

Сучасні умови експлуатації вимагають від зубчастих передач підвищення крутильних моментів, зниження маси і розмірів, плавності й безшумної обертання, збільшення міцності і довговічності роботи.

Зубошліфування, найбільш перспективний метод фінішної обробки робочих поверхонь зубів зубчастих коліс, який сприяє виконанню цих умов. У порівнянні з іншими методами, зубошліфування дозволяє не тільки знизити похибки зубів, отриманих на попередніх операціях, а й усунути деформації після термічної обробки. Зубошліфуванням досягають 3-6 ступінь точності по ГОСТ 1643-81 і шорсткість поверхні зубів Ra 0,2...1,0 [2].

В автомобільній і авіаційній промисловості застосовують зубохонінгування після операції зубошліфування. Метою є підвищення плавності зачеплення і зниження шорсткості поверхні зубів до Ra = 0,2...0,3 мкм без зниження їх точності, а також усунення похибки зубів

заготовки, отриманої на попередніх операціях. В результаті випробувань було встановлено, що мікрорельєф хонінгованих зубів дозволяє стабільно утримувати на поверхні зубів мастильну плівку завтовшки 3-5 мкм і тим самим мінімізувати знос [3].

Отже можна зробити висновок, що для забезпечення високої точності зубчастих коліс доцільно використовувати такі методи фінішної обробки, як зубошліфування та зубохонінгування, при яких досягаються найкращі експлуатаційні характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козловский, Н.С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения [Текст] / Н.С. Козловский, А.Н. Виноградов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 284 с.

2. Методы нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колёс [Электронный ресурс] // Раздел: Научно-техническая статья. – Режим доступа: https://studbooks.net/2517612/tovarovedenie/zuboshlifovanie.

3. Зубохонингование цилиндрических колес [Электронный ресурс] // Розділ: Научно-техническая статья. – Режим доступа: https://mirprom.ru/public/zubohoningovanie-cilindricheskih-koles.html.

УДК 539

Сідорова А.В.[1]
[1] студ. гр. М-114м ЗНТУ

АНОДНЕ ОКСИДУВАННЯ АЛЮМІНІЮ ТА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ ТВЕРДОГО АНОДУВАННЯ

Анодування (оксидування) − це електрохімічний процес пасивації металів, в основному алюмінію. Алюміній, як і більшість металів схильний до корозії. У звичайному стані, на поверхні алюмінієвої деталі є окисний шар (Al2O3) всього в 2-3 нм, який утворюється в результаті окислення алюмінію. Називають його − бар'єрний оксид. Цей шар не може довго протистояти корозії, оскільки він має аморфну структуру, занадто тонкий і крихкий. Анодуванням нарощують на цьому бар'єрному шарі оксидний або анодний шар, який має вже кристалічну структуру. Товщина анодного шару значно більше товщини бар'єрного, та і міцність його набагато вища, тому і захисні властивості кращі. На процес анодування впливає: склад алюмінію, вид кислоти і її процентне співвідношення з водою, загальна маса, величина напруги, щільність струму, температура реагенту і багато що інше [1].

Твердим (холодним) анодуванням алюмінію називають процес нарощування на поверхні алюмінієвого сплаву захисний оксидний шар

завтовшки більше 50 мкм. У анодного шару після холодного анодування, осередку більше, а пори менше. В результаті даний вид анодування дає міцніший і товщий шар що досягає 100 нм, тоді як звичайний тільки 20-30 нм [2].

Методика холодного анодування знайшла широке поширення в авіабудуванні, автомобілебу-дуванні і будівництві. Особливість даної технології полягає в тому, що задіюються не один, а відразу декілька електролітів. Наприклад, у рамках одного процесу можуть застосовуватися щавлева, сірчана, лимонна, винна і борна кислоти. В ході анодування щільність струму поступово збільшується, і завдяки структурним змінам в осередках, плівка набуває підвищену міцність [3].

Деталі, що піддаються в процесі експлуатації тертю, анодують в електроліті, що містить 170-250 г/л H2SO4. Режим анодування: температура електроліту від -2 до +5°С, іа = 0,5 А/дм2, початкова напруга − 25 В, кінцева − 50–80 В; час анодування 1,5-2 год. Охолодження електроліту здійснюють за допомогою холодильної установки.

При анодуванні необхідно підтримувати постійну щільність струму за допомогою реостатів, включених в ланцюг живлення ванни. Краща якість плівок забезпечується при глибокому оксидуванні алюмінію і його сплавів з магнієм і марганцем. На ливарних сплавах типу силуміну пробивна напруга окисних покриттів в 2 - 3 рази нижча, ніж на сплавах, що деформуються, В95, АВ, АК4. Мікротвердість твердої анодної плівки на технічному алюмінії – 500-520 кгс/мм2, на сплаві АВ − 480-500 кгс/мм2, на сплаві Д16 – 330-360 кгс/мм2, на сплаве АЛ − 450-480 кгс/мм2 [4].

Отже, окисні покриття на алюмінії застосовують для захисту деталей від корозії і стирання; для декоративної обробки полірованих або забарвлених поверхонь; в якості грунту для лакофарбних покриттів і інших органічних плівок; як підшар для електролітичних покриттів; для спеціальних цілей, пов'язаних з особливими властивостями (електрична і теплова ізоляція, велика пористість і висока міра адсорбції та ін.). Окисні електроізоляційні покриття, що отримуються з сірчанокислих електролітів, мають значну зносостійкість (особливо при негативній температурі – метод холодного анодування). Зазвичай наносять їх на алюмінієві сплави, що містять більше 5% важких металів (АК4-1) [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Твердое анодирование алюминия [Электронный ресурс]: Гальванические покрытия. – Режим доступа: http://dneprof.com/tverdoe-anodirovanie/.

2. Твердое анодирование алюминия. [Электронный ресурс]: Твердое анодирование алюминия это. – Режим доступа: https://www.aft-hard-anodized.com.ua/chto-takoe-tverdoe-anodirovanie/.

3. Анодирование алюминия. [Электронный ресурс]: Промышленный и кустарный метод анодиования. − Режим доступа: https://kraska.guru/specmaterialy/drugie-pokrytiya/anodirovanie-alyuminiya.html.

4. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении [Текст]: / П.С. Мельников. – М. : − Машиностроение, 1979. – 296 с.

5. Анодное оксидирование [Электронный ресурс]: Анодное оксидирование алюминия и алюминиевых сплавов. − Режим доступа: http://www.zao-techno.ru/content/view/7/13/.

УДК 621.9

Гермашев А.І.[1], Пасічник К.В.[2]
[1] докт. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ПІДБІР ОПТИПАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ – NX PLAGIN

На стійкість інструменту впливає велика кількість факторів (режими різання, оброблюваний матеріал, обробляючий матеріал та ін.).

Підбір оптимальних режимів різання постає основним завданням при проектуванні процесу різання. В свою чергу режими різання також залежать від багатьох факторів. Серед інших, важливий вплив на режими різання оказують коливання. Саме тому дуже важливо розуміти природу появи коливань та способи їх зменшення.

Появи вібрацій при обробці погіршують якість деталі, оскільки вони перешкоджають отриманню необхідної поверхні і зменшують термін служби інструментів. Вібрації виникають в результаті періодично повторюється зовнішньої вимушених коливань або внаслідок переривчастого характеру самого процесу різання, вони поширюються на ріжучий інструмент, заготовку, станок [1].

Фрезерування – один з найпродуктивніших методів обробки. Головний рух (рух різання) під час фрезерування – обертальний, його здійснює фреза, рух подачі — зазвичай прямолінійний. Фрезеруванням можна одержати деталь точністю за 6…12 квалітетом шорсткістю до Ra = 0,8 мкм. Фрезерування здійснюється за допомогою багатозубого інструмента фрези [2].

Обробка різних матеріалів має середню товщину проникнення ріжучого інструменту. Наприклад алюміній: рекомендована середня товщина проникнення ріжучого інструменту становить 0,1-0,2 мм. Фрезерування зі зняттям стружки меншої товщини може викликати утворення задирок в зв'язку з високою пластичністю матеріалу. Так як обробка алюмінію супроводжується високими значеннями хвилинної подачі, її рекомендується виконувати на верстатах з функцією розрахунку траєкторії на основі попереджувального зчитування і аналізу коду програми, де коригування подачі відбувається автоматично.

Таким чином, при використанні базового функціоналу, неможливо створити траєкторію, яка буде задовільна всі види матеріалів для обробки.

Рішення пропонується у вигляді написання Plugin'a, за допомогою програмного забезпечення NX, який враховує вплив оброблюваного матеріалу на траєкторію руху інструменту.

Рішення пропонується у вигляді написання Plugin'a, за допомогою програмного забезпечення NX, який враховує вплив оброблюваного матеріалу на траєкторію руху інструменту.

В процесі створення плагіну, була обрана мова програмування, розглянуті її основні характеристики. Був розроблений інтерфейс будучого плагіну за допомогою Block UI Styler.

На рис.1. створений код, який на основі отриманих від користувача даних, дозволяє створити необхідну траєкторію руху інструменту, а також надати рекомендації щодо оптимальних режимів різання. За допомогою розробленого плагіну можливо не тільки скоротити час на розробку управляючої програми, але і підібрати оптимальні режими різання, що в свою чергу, дозволить використовувати ресурс різального інструменту максимально ефективно.

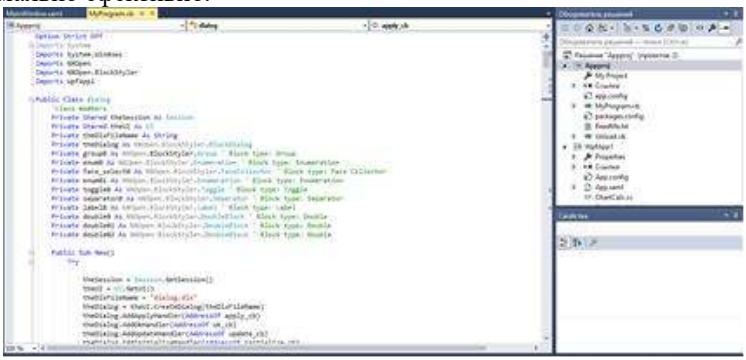


Рисунок 1 – Частина створеного коду плагіну для програмного забезпечення NX.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металлов [Текст] / А.И. Каширин ; под общ. ред. Е.А. Чудакова. – Москва; Ленинград : Изд-во Акад. Наук СССР, 1944. – 133 с.

2. Кучма, Л.К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения / Л.К. Кучма. – М. : СССР, 1959. – 122 с.

УДК 621.923

Вишнепольський Є.В.[1], Пушкашова А.В. [2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Сучасний процес розвитку авіаційної техніки викликав необхідність в застосуванні матеріалів з особливими властивостями, у створенні і використанні легших деталей складнішої форми.

Озвучені виклики дозволяє вирішити застосування титанових сплавів. Найважливішими їх перевагами є високі питома міцність і жароміцність у поєднанні з високою корозійною стійкістю. Крім того, титан і його сплави добре зварюються і мають деякі інші властивості, що маэ важливе практичне значення. Перераховані якості титанових сплавів відкривають великі перспективи їх застосування в тих областях авіабудування, де потрібна висока питома міцність і жароміцність у поєднанні з високою корозійною стійкістю.

Механічна обробка деталей з титанових сплавів істотно ускладнена через високе відношення межі плинності до межі міцності, відносно низької теплопровідності, налипання титану на інструмент, високої хімічної активності по відношенню до газів при підвищених температурах різання, неоднорідності властивостей зрізаного шару внаслідок ліквідації легуючих елементів. Істотними недоліками традиційної механічної обробки різанням є: порушення цілісності волокон металу; розпушування поверхневого шару; утворення розтягуючих напружень; взаємодія поверхневого шару сплаву з газами атмосфери, внаслідок чого відбуваються хімічні перетворення, що знижують характеристики сплаву; зниження твердості і створення мікрогеометрії.

Озвучене вище говорить про те, що окрім великих переваг застосування титанових сплавів має цілий набір недоліків, які призводять до обмеження його застосування або появи додаткових труднощів при обробці.

Одними з методів поліпшення якості обробки є застосування електроерозійної обробки і високошвидкісного фрезерування, і шліфування.

Електроерозійна обробка ведеться в рідкому діелектрику, тобто доступ газів атмосфери до зони обробки значною мірою ускладнений, що в деякій мірі дозволить розв'язати проблему хімічної активності титану.

Застосування на фінішних етапах абразивної обробки пов'язане з необхідністю рішення ряду особливостей: налипання титану на абразивний круг; абразивна обробка викликає великий нагрів в зоні різання що в сукупності з низькою теплопровідністю титану може привести до структурних змін в поверхневому шарі, в деяких випадках це навіть може привести до займання стружки.

В той же час за відсутності альтернативних способів обробки шліфування титанових сплавів здійснюється при пониженій швидкості різання і використанні великої кількості СОТС, що, у свою чергу, не знаходить схвалення у екологів і призводить до дорожчання кінцевої вартості продукту.

УДК 621.923
Вишнепольський Є.В.[1], Біла Т.Х. [2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОГО ШЛІФУВАННЯ

У сучасному машинобудуванні однією з актуальних проблем є обробка точних отворів у деталях із загартованих, і важкооброблюваних матеріалів, отворів з пересіченою поверхнею (отворів з виточкою, з пазом шпонки), отворів в деталях з неоднаковою товщиною стінок або неоднорідною твердістю металу, отворів великих діаметрів для їх отримання застосовують внутрішнє шліфування. Це пов'язано з деякими особливостями процесу: складністю виведення стружки із зони різання і відпрацьованих елементів круга, температурою в зоні різання, необхідністю використання профільованих кругів.

Ефективність будь-якого методу шліфування визначається його продуктивністю. Нині шліфування складає близько 20% від усіх видів механічної обробки. У загальному машинобудуванні близько 10÷12% металорізальних верстатів є шліфувальними, в автомобільній промисловості – до 25%, а в підшипниковій – до 55÷60%. Тому питання, пов'язані з вдосконаленням технології обробки поверхонь методом шліфування є актуальними.

Особливі труднощі виникають при обробці нежорстких деталей, наприклад, при шліфуванні глибоких отворів малого діаметру.

Озвучені проблеми підвищують собівартість продукції, внаслідок низької стійкості шліфувальних кругів малого діаметру і підвищеною витратою інструментального матеріалу.

З появою нового абразивного інструменту, сучасних металообробних верстатів, нових марок сталей і сплавів машинобудування зіткнулося з проблемою відсутності нормативних рекомендацій за призначенням режимів різання. Наявна на підприємствах довідкова і нормативна література 1970-80х років випуску розроблена для верстатів з ручним управлінням, напівавтоматів і призначена в основному для розрахунку основного часу. В результаті на підприємствах вимушені підбирати цикли внутрішньошліфувальної обробки шляхом шліфування ряду пробних заготівель з обмеженою варіацією значень режимів різання.

Існуючі емпіричні залежності є вузьконаправленими і не дозволяють встановити взаємозв'язок між основними технологічними параметрами шліфування, що безпосередньо впливають на сили різання. За даними, представленими в довідниках, значення коефіцієнтів в емпіричній формулі, призначеній для розрахунку тангенціальної складової сил різання, змінюється залежно від умов обробки в 2-5 разів. Аналітичні залежності, отримані для інших видів шліфування, використати для розрахунку сил різання при внутрішньому шліфуванні неможливо, оскільки вони не враховують кінематики і особливостей процесу.

Таким чином, образом роботи спрямовані на пошук раціональних схем обробки і пошук залежностей що описують режими різання при внутрішньому шліфуванні є важливим завданням що вимагає рішення.

УДК 62-1/-9
Вишнепольський Є.В[1], Мельников Р.О.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ВПЛИВ ПОХИБКИ ВИГОТОВЛЕННЯ НА НАВАНТАЖУВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА

Похибки виготовлення зубчастих коліс призводять до підвищення динамічних навантажень, вібрації, шуму передач і передчасного виходу механізмів з ладу. Надійність зубчастих коліс закладається на стадії їх нарізування. Можлива похибка виготовлення на цьому етапі посилюється в

процесі високотемпературної хіміко-термічної обробки, тому якості і точності нарізування зубчастих коліс необхідно приділяти особливу увагу.

Контроль похибки виготовлення зубчастих коліс виконують на спеціалізованих зубовимірювальних машинах з ЧПК, які здатні дати картину комплексної якості за всіма чотирма нормами точності в графічному вигляді. За результатами вимірювань, фактично отримані результати порівнюють з твердо тільною моделлю колеса з номінальними розмірами, встановлюючи похибки виготовлення.

Для отримання інформації про вплив похибок виготовлення на здатність колеса сприймати навантаження, будуємо модель колеса із фактичними розмірами. Після вибору відповідного матеріалу деталей, а також симуляції цементованого шару на вінцях шестерень, із застосуванням методу кінцевих елементів. до проекцій теоретичних плям контактів на поверхні зубів була прикладена номінальні окружна сила 46765 Н. На підставі цих даних були побудовані графіки напруг, переміщень, деформацій і запасу міцності зубів з фактичним і номінальним профілем. Порівняльний аналіз напружень виявив що зуби з відхиленнями відчували на 13% більшу напругу в порівнянні з номіналом. Також складені епюри показали на менш рівномірний розподіл напружень на зубі зі спотвореним профілем. Максимальна напруга виникає з боку протилежної області прикладення сили, в ніжці зуба.

Схожа картина і на епюрах переміщень, значення переміщень під навантаженням зуба з відхиленнями від номіналу більше на 17%, а розподіл переміщень менш рівномірний. Головка зубів зазнає найбільших переміщень.

Епюри деформацій зубів мають схожий з епюрами напруг вид, різниця в порівнянні з номіналом склала близько 18%. Запас міцності зубів з фактичними розмірами виявився на 18% менше, щодо номінальних розмірів.

Таким чином за результатами дослідження, похибка профілю в 0,09мм, знижує здатність колеса нести навантаження на 18%. При комбінації з іншими погрішностями виготовлення, враховуючи окружний крок і радіальне биття, здатність навантаження може бути істотно нижче.

Істотний вплив на ресурс колеса також дає шорсткість робочих поверхонь зубів. Якщо мікронерівності на активних поверхнях зубів перевищують товщину масляного шару, то відбувається безпосереднє зіткнення активних поверхонь зубів. Інтенсивний початковий знос носить найменування припрацювального зносу. У міру згладжування поверхонь зубів знос зменшується і може зовсім припинитися. Тривалість припрацювального зносу істотно залежить від твердості активних поверхонь зубів. Для передач з високою твердістю цей процес може бути дуже тривалим. У тих випадках, коли знос стабілізується в часі, він носить назву прогресуючого. Цей знос характерний для відкритих зубчастих передач або

передач, що працюють без змащення, і є основною причиною виходу їх з ладу.

Щоб уникнути такого падіння ресурсу слід приділяти особливу увагу фінішній обробці зуба.

УДК 621.923.74:669.15
Кононов В.В.[1], Мельниченко М.М.[2], Середа І.В.[2], Чирка А.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ АВІАДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Пріоритетним напрямом сучасного авіабудування є постійне підвищення якості і надійності двигунів літальних апаратів. Підвищення експлуатаційних характеристик найбільш відповідальних деталей веде до вживання нових конструкційних матеріалів з високою міцністю і твердістю. Обробка таких матеріалів лезвійним інструментом утруднена або взагалі неможлива, особливо при здобутті пазів, щілин, отворів складної форми і малих діаметрів.

Одним з ефективних методів обробки таких матеріалів є електроерозійна обробка (ЕЕО), заснована на видаленні матеріалу заготівки електричними імпульсними розрядами. На відміну від механічною обробки електроерозією обробляють надтверді матеріали. ЕЕО дозволяє отримувати поверхні складної форми з високою точністю.

Були проведені дослідження по електроерозійному видаленню зламаних мітчиків, оптимізації процесів здобуття отворів малого діаметру для охолоджування робочих лопаток і електроерозійному легуванню відповідальних кілець при виготовленні авіаційних двигунів.

У даній роботі розглядаються питання дослідження деяких характеристик операцій електроерозійної обробки. Якість деталі багато в чому визначається її поверхнею, яка формується мікрорельєфом, що впливає на експлуатаційні властивості деталі.

Розглянуті питання впливу параметрів електричних імпульсів на продуктивність, шорсткість і відносний знос електроду-інструменту. Обгрунтовано вживання різних робочих середовищ для забезпечення стабільності процесу обробки.

В результаті проведеної роботи надані технологічні рекомендації що до використання оптимальних режимів обробки для забезпечення технічних вимог здобуття авіаційних деталей.

УДК 621.95
Степанов Д.М.[1], Федоренко О.С.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ОТВОРІВ МАЛИХ ДІАМЕТРІВ У ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЯХ

Для отримання отворів діаметром до 3,5 мм в сталевих деталях товщиною до 3 мм і деталях з кольорових металів товщиною до 5 мм застосовують такі способи:

1) свердління по кондуктору; 2) керніння з подальшим свердлінням; 3) пробивання в штампах.

У тих випадках, коли до точності діаметрів отворів і межцентрових відстаней пред'являються високі вимоги, отвори, отримані вищевказаними способами, доводяться до остаточних розмірів калібруванням в штампах.

Свердління по кондуктору в порівнянні з іншими названими мето-дами отримання отворів малих діаметрів є менш продуктивним і менш точним. При свердлінні по кондуктору витрачається багато часу на установку кондуктора або закладку в нього деталі, закріплення і виймання її після свердління. Свердління малих отворів по кондуктору менш точне тому, що до похибки свердління внаслідок зазору між свердлом і отвором втулки додається похибка виготовлення кондуктора. При свердлінні по кондуктору досягають точності міжцентрових відстаней 0,05 мм на координату.

Кернування з подальшим свердлінням ведеться за допомогою керновочних штампів і застосовується, як правило, в серійному і масовому виробництві. Керновочні штампи призначені для точної розмітки деталей під свердління. Вони можуть застосовуватися і в дрібносерійному виробництві, замінюючи дорогі кондуктори.

При свердлінні по кернам деталь вільно лежить на столі свердлил-ного верстата або на підставці і легко подається від руки під свердло. Напрямком для свердла служить лунка, отримана при кернуванні. Точ-ність міжцентрових відстаней під час свердління по кернам вище в порівнянні із свердлінням по кондуктору: вона досягає 0,03 мм на координату.

При невеликій кількості отворів з паралельними вісями в деталі свердління по кернам ведеться на настільних свердлильних верстатах, коли ж число отворів в деталі значне, для свердління по ним застосовують високопродуктивні багатошпиндельні свердлильні напівавтомати і автомати. Один свердловщик може обслуговувати 4-5 таких верстата. Число одночасно одержуваних отворів в деталі коливається від 2 до 25 в залежності від розмірів деталей.

Однак при сучасних масштабах виробництва для отримання в деталях малих отворів з паралельними вісями застосовується більш продуктивний і точний метод – пробивання отворів в штампах.

Сутність цього методу полягає в тому, що за допомогою диропробивного штампа одночасно (за один хід повзуна преса) виходить значна кількість отворів (20 і більше), причому досягається велика точність міжцентрових відстаней в порівнянні з точністю, що досягається свердлінням по кондуктору або по кернах.

У тих випадках, коли потрібно отримати високу точність отворів з паралельними осями в плоских деталях (по діаметру 0,005 мм, по міжцентровій відстані 0,0075-0,01 мм), після операції свердління або пробивання отворів вводиться доводочна операція – калібрування отворів в штампах.

Одночасно можна калібрувати велику кількість отворів (до 24).

Калібрування в штампах значно підвищує точність взаємного розташування отворів: зміщення отворів зменшується на 50-75%. В окремих випадках для отримання більш високої точності взаємного розташування отворів з паралельними вісями вони калібруються два або три рази. При калібруванні отворів досягається шорсткість Ra=0,63-0,08 мкм.

Зважаючи на можливість перекосів пуансонів і необхідність надання їм жорсткості застосування калібрування обмежується товщиною деталей: для сталевих деталей товщина не повинна перевищувати 3 мм, для деталей з цвітних матеріалів – 5 мм; відношення довжини каліброваного отвору до його діаметру повинно бути не більше 3; при цих умовах виходять найкращі результати.

Отже, виходячи з типу виробництва, кількості одержуваних отворів, глибини отворів та їх діаметру можна вибрати метод отримання отворів. Наприклад для деталі типу «Покриваючий диск», з серійним типом виробництва, 12-мя отворами глибиною 12 мм та діаметром 2 мм можна зробити висновок, що найбільш доцільним методом отримання отворів є свердління по керновочним отворам, отриманим на керновочних штампах.

УДК 681.62:621
Пухальська Г.В.[1], Сурдуков М.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВІ

Сучасні темпи розвитку промисловості вимагають вибору технологій виробництва, що пропонують найменші витрати і виконуються в найкоротші терміни. Поряд з новими і передовими технологіями можна відзначити стрімке зростання впровадження адитивних технологій. Однак поряд з розвитком і впровадженням існує також ряд проблем, пов'язаних із застосуванням цих технологій [1].

На відміну від традиційних технологій виготовлення деталей методом віднімання матеріалу заготовки, використання адитивних технологій передбачає побудову деталі шляхом додавання шар за шаром до отримання готового виробу. Якщо при обробці за традиційними технологіями залишки матеріалу іноді перевищують 70%, то при використанні адитивних технологій цей показник прагне до нуля.

За принципом формування деталі виділяють два напрямки розвитку адитивних технологій [1]:

1. Формування деталі відбувається за рахунок об'єднання матеріалу, що знаходиться на робочій поверхні платформи технологічного обладнання (Bed deposition). Після закінчення процесу виготовлення залишається деякий обсяг матеріалу, який може використовуватися для формування наступної деталі.

2. Формування деталей шляхом прямого осадження матеріалу (Direct deposition). Готовий виріб формується пошарово за рахунок розігрітого до необхідної температури матеріалу, що надходить на робочу платформу зі спеціального розподіляючого пристрою.

Основні передумови і переваги застосування адитивних технологій полягають в наступних факторах:

– можливість виготовлення деталей будь-якої геометричної складності;

– можливість внесення змін в проект на етапі передачі виробу у виробництво (наприклад, при необхідності здійснення його функціональної оптимізації);

– виготовлення виробів в рамках дослідного виробництва;

– відсутність необхідності виготовлення інструментального оснащення, властивого традиційним методам обробки; мінімізація втрат матеріалу і відходів виробництва (наприклад, стружки);

– можливості для спрощення логістики, скорочення часу поставок, зменшення обсягів складських запасів.

Недоліки:

- невисока точність при швидкому друці;
- необхідність в деяких випадках подальшої обробки поверхні.

Мотивацією застосування даних технологій тут є не можливість створити щось унікальне, з незвичайними властивостями, а економічна доцільність.

Одним з перспективних напрямків застосування АМ-технологій є виготовлення технологічного оснащення, пристосувань та інструментів для серійного виробництва. У ряді випадків відпадає необхідність в коштовному інструментальному оснащенні, що витримує десятки і сотні тисяч циклів.

Адитивні технології мають величезний потенціал у справі зниження енергетичних витрат на створення найрізноманітніших видів продукції. Ступінь використання АМ-технологій в матеріальному виробництві є вірним індикатором реальної індустріальної потужності держави, індикатором його інноваційного розвитку.

Аналіз переваг і недоліків методів АМ-технологій показав гнучкість найбільш затребуваних методів адитивного виробництва, а також можливість отримання конструкцій з дуже складними геометричними розмірами, з внутрішніми каналами і порожнинами, споживачами яких є підприємства авіабудування, промислової галузі, медицини та енергетики. Переваги адитивних технологій полягають в різноманітності процесів, що дозволяють застосовувати їх в різних областях виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончарова О.Н. Аддитивные технологии - динамично развивающееся производство [Электронный ресурс] / О.Н. Гончарова, Ю.М. Бережной, Е.Н. Бессарабов и др. // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4. – Режим доступа: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931.

2. Ковалев Д.С. Перспективы внедрения аддитивных технологий в промышленность / Д.С. Ковалев, П.А. Коваленко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – С. 398–400.

3. Баева Л.С. Современные технологии изготовления объектов / Л.С. Баева, А.А. Маринин // Вестник МГТУ. – 2014. – № 1. – С. 7–12.

УДК 621.924.93
Пухальська Г.В.[1], Чехова Н.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ГІДРОАБРАЗИВНЕ РІЗАННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ОБРОБКИ МОНОКОЛІС

У сучасних конструкціях компресорів газотурбінних двигунів та енергетичних машин, замість збірних лопаткових коліс застосовуються моноколеса, що дозволяє істотно знизити масу компресора, трудомісткість і собівартість його виготовлення.

Як правило, обробку лопаткових каналів моноколеса здійснюють різанням на багатокоординатних фрезерних верстатах в два переходи з подальшим слюсарним доведенням. Обробка різанням проточної частини пера ускладнюється консольною конструкцією маложорстких тонкостінних лопаток і вимагає залучення спеціальних технологічних засобів і прийомів, що тягне за собою високу собівартість й трудомісткість [1].

Для економії часу і ресурсів була запропонована технологія обробки моноколес методом гідроабразивного різання.

Гідроабразивне різання використовує принцип герметизованої води, попередньо змішаної з порошкоподібним абразивом, що витікає під високим тиском через дуже малий отвір, виконаний в твердому матеріалі. Цей вид різання є альтернативою механічному, лазерному, плазмовому різанням, а в деяких випадках – єдиним можливим. Струмінь рідини за своїми технічними можливостями наближається до ідеального точкового інструменту, що дозволяє обробляти складний профіль з будь-яким радіусом закруглення, оскільки ширина різу складає 0,6...2,0 мм, залишки матеріалу менші, ніж при традиційних методах обробки, різ можна починати в будь-якій точці заготовки без попереднього виконання отворів [2].

Невеликі сила і температура в зоні різання, виключають деформацію заготовки, оплавлення і пригорання матеріалу в зоні різу. Струмінь не змінює фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Спосіб гідроабразивного різання матеріалів дозволяє вирішувати багато технологічних проблем при складному фігурному розкрої металів.

Гідроабразивний струмінь – це значно більш економічний, в порівнянні з традиційним ріжучим інструментом, елемент технологічного процесу [2].

За рахунок високих швидкостей різання, можливості різання складних контурів по фасонних поверхнях, раціональної витрати матеріалів досягається позитивний економічний ефект і зниження трудомісткості обробки. Також важливо те, що інструмент для гідроабразивного різання не

потребує переточування і має набагато більший ресурс, ніж металорізальний інструмент.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Астахов Ю.П. Анализ эффективности гидроабразивной вырезки межлопаточных каналов в моноколесах / Ю.П. Астахов, Ю.А. Моргунов, Б.П. Саушкин и др. // Металлообработка. – 2012. – № 5. – С. 50–53.

2. Головин К.А. К вопросу о разработке современного гидроабразивного инструмента / К.А. Головин, Е.В. Говорова // Геотехнология – 2010. – С. 155–162.

3. Яковлев А.А. Робото-технологический комплекс гидроабразивной резки / А.А. Яковлев // Красноярский машиностроительный завод. – 2011. – С. 371-372.

УДК 629.7.03:621.762-022.532

Пухальська Г.В.[1], Синецький А.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ВИДИ НАНОПОКРИТТІВ

Одним з основних напрямків нанотехнологій в авіаційній техніці є розробка і виробництво виробів з теплозахисними, терморегулюючими і ерозійно і хімічно стійкими покриттями, які значно збільшують ресурс роботи техніки. Актуальними є розробка і впровадження нових багатофункціональних наноструктурних покриттів (БНП). Їм властиві висока об'ємна частка меж розділу і висока міжфазна енергія зв'язку, відсутність дислокацій всередині нанокристалітів, здійснення деформації за рахунок зернограничного ковзання, наявність міжкристалітних аморфних прошарків.

Тверді зносостійкі БНП використовуються для захисту поверхонь виробів та інструменту, що піддаються одночасному впливу підвищених температур, агресивних середовищ і різних видів зносу. Це, насамперед, ріжучий і штампувальний інструмент, прокатні валки, деталі авіаційних двигунів, газових турбін і компресорів, підшипники ковзання та ін. Значного підвищення твердості і пружнопластичних характеристик покриттів можна домогтися при формуванні наноструктурного стану.

Проаналізувавши існуючі нанопокриття, можна виділити три основні групи:

1. Наноструктурні покриття, на відміну від традиційних, суміщають в собі підвищену мікротвердість і достатню пластичність. Поведінка

нанокристалічних матеріалів з розмірами зерен 10 нм і менше визначається головним чином процесами в зерномежових областях, оскільки кількість атомів в зернах менше або така ж, ніж в їх межах. Ця обставина суттєво змінює характер взаємодії між сусідніми зернами, наприклад, гальмує генерацію дислокацій, перешкоджає поширенню тріщин завдяки зміцненню кордонів зерен.

2. Нанокомпозитні покриття складаються з основної нанокристалічної твердої фази, на межах зерен якої розташовується тонкий шар другої нанокристалічної або наноаморфної фази. Таким чином, тверді зерна зміцнюючої фази розділені між собою тонкими прошарками атомів іншої фази. Такі покриття володіють надвисокою твердістю, великими коефіцієнтами пружного повернення, високою термостійкістю. Ультрадисперсні матеріали зі збільшеною площею міжзернових меж мають більш збалансоване співвідношення між твердістю, що визначає позитивний вплив на зносостійкість і міцнісні характеристики матеріалу, в тому числі і в умовах дії циклічних термомеханічних напружень.

3. Наношарові покриття мають підвищену тріщиностійкість. Наношарові покриття володіють різними внутрішніми напруженнями (модулями пружності) і близькими за величиною коефіцієнтами термічного розширення. Товщина окремих шарів повинна бути настільки мала, щоб усередині них не з'являлось джерело дислокацій, а дислокації, які під дією напруг рухалися б до межі розділу з більш м'якого шару, відштовхувалися б силами, тими що створюються пружними напругами в більш твердому шарі. Загальна кількість шарів покриття вибирається в залежності від розв'язуваних технологічних завдань і в ряді випадків може досягати двохсот.

Таким чином, створення покриттів нового покоління найбільш ефективно здійснювати при використанні інноваційної концепції багатошарово-композиційних структур з нанорозмірними масштабами зерен і шарами, що чергуються та мають нанорозмірну товщину, різний композиційний склад та функціональне призначення.

УДК 004.94:62-25
Костюченко Д.С.[1], Литвин О.В.[1]
[1] студ. гр. М-114м ЗНТУ

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІКИ ПІДМОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ НА МІЦНІСТЬ СКЛАДНОНАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ГТД В ANSYS

Деталі авіаційної техніки в своїй більшості є складнопрофільними і тонкостінними через умову мінімізації ваги без витрати міцностних характеристик. Тому ці деталі мають багато виборок, порожнин, елементів складних геометричних форм тощо. Актуальною є проблема вибору оптимальної геометрії деталі з найменшою вагою і найбільшими характеристиками міцності на конструкторсько-проектному етапі за допомогою аналізу запропонованих варіантів конструкції в спеціальних компютерних міцностних пакетах типу «ANSYS».

Зазвичай це не визиває особливих складнощів, якщо деталь має невеликі габарити і просту схему навантаження, а також якщо її можна розбити на прості моделі або моделі з декомпозицією, взяти для розрахунків окремі конструктивні елементи з відомим експлуатаційним навантаженням. В результаті порівняння обирають оптимальний варіант конструкції.

Складнощі виникають, коли деталь має великі габарити і цілу низку конструктивних елементів різних геометричних форм – тонкостінних або мілкозмірних. І до того ж якщо вона є складнонавантаженою. Наприклад вали газотурбінних двигунів (ГТД) літальних апаратів досягають довжини півтора метра і більше, при цьому навантаження складається з декількох складових: крутних, відцентрових, згину тощо. В конструкції є в наявності тонкостінні ділянки, зовнішні та внутрішні шліці, фланці, пази, канавки, декілька перепадів діаметрів, які являються концентраторами напружень, і різко змінюють картину розподілу напружень. Разом це робить неможливим спрощення моделі, яке дасть дуже далекі від реального результати. Розрахувати окремі елементи валу також немає сенсу через невідомі складові навантаження і напруження, які діють з боку інших елементів конструкцій, що знаходилися поруч у досліджуваного елемента.

Метод моделювання (submodeling) дає можливість спростити аналіз таких деталей без втрати вищезазначеної інформації. Спершу розраховується деталь (модель якої має спрощені мілкі елементи) із повним спектром складних навантажень, еквівалентних експлуатаційним. Перед цим проблемні елементи деталі, варіанти конструкції яких необхідно прорахувати і проаналізувати в подальшому, обмежують на визначеній з боків дистанції додатковими площинами. Їх вузли при цьому розрахунку отримають

інформацію щодо навантажень, векторів дії, напружень тощо. Ця інформація повністю зберігається, коли потім розраховують тільки цей елемент конструкції окремо, це – підмодель. Додаткові площини залишаються без змін, бо вони є інформаційним джерелом повноцінних навантажень цього конструктивного елемента з усіх боків. Далі змінюють параметри геометрії підмоделі, перераховують. Отримують необхідні для аналізу чергові варіанти конструкції деталі: розташування небезпечних перерізів, розподіл та значення напружень, деформації тощо. За цими даними після порівняння обирають раціональну конструкцію досліджуваного елемента вала.

Цей метод спрощує та прискорює процес проектування конструкції складнонавантажених деталей ГТД без витрати точності розрахунків.

УДК 621.9-114
Логомінов В.О.[1], Давиденко В.Д.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Багатоопераційні верстатом називається верстат з ЧПК, що забезпечує комплексну обробку складних деталей з різних сторін без їх перебазування і має автоматичну зміну інструменту. За основною класифікації багатоопераційні верстати (БВ) бувають двох видів:

- які обробляють заготовки по типу тіл обертання;
- які обробляють корпусні і плоскі деталі.

Деталь, що обробляється на БВ, являє собою набір різноманітних елементарних площин. Необхідність в чорнових, напівчистових і чистових проходах при обробці кожної поверхні, значне число інструментів в магазині ускладнюють вибір плану операцій обробки деталі на БВ. До того ж цей вибір стає різноманітним. Так, можна спочатку заготовку повністю обробити з одного боку, потім розгорнути її; можна обробити спочатку з усіх боків начорно, потім приступити до чистової обробки; можна спочатку обробити всі площини, потім приступити до обробки отворів [1]. Загальний план операцій обробки корпусних деталей представлений в табл. 1 [2].

При вирішенні завдання вибору варіанта плану операції керуються такими загальними принципами:

- чим вище точність елемента конструкції деталі, тим пізніше слід передбачати його обробку;
- спочатку слід планувати чорнову обробку, потім чистову;

- чим менше час спрацьовування виконавчого органу (Зміна інструменту, поворот столу і ін.), Тим частіше цей орган повинен функціонувати [3].

Таблиця 1 – План операцій обробки заготовок з використанням БВ

Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент
1	Чорнове, напівчистове, чистове фрезерування зовнішніх поверхонь	Фрези торцеві
2	Свердління (розсвердлювання) отворів діаметром понад 30 мм в суцільних стінках: наскрізне -основних отворів, глухе - для введення кінцевих фрез	Свердла
3	Фрезерування пазів, отворів, вікон, карманів	Фрези кінцеві
4	Фрезерування внутрішніх поверхонь, перпендикулярні осі шпинделя	Фрези торцеві, кінцеві
5	Чорнове зенкерування і розточування основних отворів в суцільних стінках після переходу №2	Зенкери, різці розточувальні
6	Обробка додаткових поверхонь (канавок, уступів, фасок і ін.), Розташованих в основних отворах і концентричних осі	Фрези, різці, зенковки
7	Обробка додаткових поверхонь на зовнішніх і внутрішніх площинах і на необроблюваних поверхнях	Фрези кінцеві, шпонкові
8	Обробка кріпильних та інших допоміжних отворів діаметром понад 15 мм.	Свердла, зенкера, мітчики
9	Зняття фасок	Фрези кутові

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Токарно-фрезерное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». – М., 2005. – Режим доступа: http://www.robur.ru/cdugard rus.htmlarticles/articles id=140.

2. Высокоточные обрабатывающие станки с ЧПУ [Электронный ресурс] / Copyright ЗАО «М.Т.Е. – ФИНАНС». – М., 2005. – Режим доступа: http://www.mtef.ru/catalog/CPU.

3. Пестов, С. П. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ / С. П. Пестов. – Челябинск, 2002. – 66 с

УДК 621.914.1
Логомінов В.О.[1], Ошмаріна Н.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ 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:

– 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.

Використання ВШФ висуває ряд вимог як до технологічної системи, так і до процесу створення керуючої програми для верстата ЧПК.

Так для ВШФ необхідно використовувати спеціальні високошвидкісні інструментальні шпинделі, що забезпечують частоту більше 5000 об/хв і швидкість подачі більше ніж 1000 мм/хв. Крім цього биття посадкових поверхонь шпинделя повинно не перевищувати 3 мкм.

Вимоги до оправки для закріплення інструменту складаються в необхідності точного динамічного балансування по G 2,5, малих биття посадочних поверхонь, високої демпфувальної здатності та надійності закріплення інструменту при високих частотах обертання.

Інструментальний матеріал фрези повинен бути хімічно інертний по відношенню до оброблюваного матеріалу, володіти високою стійкістю до окислення і високу теплостійкість (не менше 1000 °С), забезпечувати гостроту різальних крайок, мати велику межу міцності на вигин.

Вимоги до траєкторії руху фрези [1]:

– слід надавати перевагу довгим траєкторіям інструментам для різання з невеликою глибиною в осьовому і радіальному напрямках;

– різання твірною замість торцевого фрезерування;

– плавна зміна умов різання: умови відводу стружки, зусилля різання в осьовому і радіальному напрямках і тощо;

– плавні траєкторії інструменту.

Режими ВШФ повинні вибиратись з урахуванням динамічної сталості технологічної системи. Для цього можна використовувати методику побудови пелюсткових діаграм сталості. В іншому випадку є висока ймовірність появи вібрацій, що негативним чином позначиться на якості обробки і стійкості інструмента.

Таким чином, ефективність ВШФ визначається здатністю верстата, пристосування, інструмента, системи ЧПК і CAM-системи реалізувати необхідні для обробки заданої деталі умови.

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 [текст] / 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.

УДК 621.914.1

Логомінов В.О.[1], Прищепо І.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-114м ЗНТУ

ТРУДНОЩІ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ 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 поєднанні 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 повітрозабірника і направляючого апарату, кріплення [1,2].

У порівнянні з іншими матеріалами, механічна обробка титанових сплавів вимагає більш високих вимог і має безліч обмежень. Сплави з титану мають деякі властивості, які здатні значно впливати як на процес різання, так і на матеріал, який піддається різанню. Якщо режим і інструмент обрані правильно, а також надійно закріплена заготовка, то процес металообробки титану буде високоефективним. Багатьох проблем при обробці титану можна уникнути, якщо подолати особливості впливу титанових сплавів на процес металообробки.

Багато властивостей, які надають титанових сплавів статус привабливого матеріалу для виготовлення деталей, надають значний ефект на його оброблюваність [1,2,3], а саме:

- мала пластичність призводить до того, що при обробці утворюється специфічна стружка, яка за зовнішнім виглядом схожа на зливну, але з малим коефіцієнтом усадки. Така стружка має також і малу площу контакту з передньою поверхнею ріжучого інструменту, що в поєднанні з високою міцністю титанових сплавів призводить до великих нормальних тисків на ріжучий інструмент, що веде до підвищеного зносу інструменту;

- високе зміцнення титанових сплавів в процесі різання. Внаслідок підвищеної здатності до зміцнення при пластичній деформації їх властивості міцності зростають в 2-4 рази, що сильно знижує оброблюваність даних матеріалів;

- знижена вібросталість процесу різання, обумовлена високим зміцненням титанових сплавів при нерівномірності протікання процесу деформування при різанні. Виникнення вібрації призводить до змінних силових і теплових навантаженнях на різальну частину, а також до мікро- і макро- викришуванню різальних крайок;

- висока хімічна активність, що сприяє при різанні активної взаємодії титанових сплавів з навколишнім середовищем. Внаслідок цього, при збільшенні температури в зоні різання йде сильне поглинання кисню, водню і азоту з повітря, що призводить до окислення;

- при обробці, титанові сплави становлять високу абразивну дію на ріжучий інструмент, через вміст в них високотвердих включень у вигляді оксидів, нітридів і карбідів;

- при призначенні режимів різання титанових сплавів, особлива увага слід приділяти питанням безпеки. Утворення тонкої стружки, покритої технічними маслянистими рідинами, призводить до її легкого займання;

- кращим є попутне фрезерування для обробки титанових сплавів. Так як при врізання створюється товста стружку на вході для максимального

поглинання тепла і тонка стружку на виході для запобігання налипання стружки;

- виробники ріжучих інструментів з великим перевагою виготовляють монолітні кінцеві фрези для обробки титанових сплавів з швидкорізальних сплавів, ніж з твердих сплавів, особливо при діаметрі фрези більше 16 мм;

- провідними світовими виробниками ріжучого інструменту рекомендовані наступні режими різання: швидкість: 18-50м / хв, в залежності від числа зубів і L / D; подача: 0,015-0,084 мм / зуб; глибина: 0,02 - 0,1D.

Всі вищевказані рекомендації по конструкції інструменту і режимам різання при обробці титану і його сплавів враховуються сучасними виробниками при проектуванні інструменту. Проектуються різні конструкції кінцевих фрез для обробки титанових сплавів, які підвищують продуктивність.

Урахування усіх особливостей, що характерні для механічної обробки титану і його сплавів, є запорукою отримання якісних виробів при розумних витратах ресурсу інструменту і часу на обробку.

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. Механическая обработка титана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.npprusmet.ru/articles.php?id=57.

УДК 621.794.61
Логомінов В.О.[1], Пекушев А.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-114м ЗНТУ

АНОДНЕ ОКСИДУВАННЯ ТИТАНУ

Титан завдяки своїм цінним властивостям - легкості, міцності, високій термічній і корозійній стійкості є дуже важливим конструктивним матеріалом. Дуже часто його використовують в авіаційній промисловості а саме в авіаційних двигунах [1].

При звичайних умовах титан корозійно стійкий через наявність на поверхні щільної захисної окисної плівки. В результаті чого на титан не діє ні кисень повітря, ні морська вода. Але при підвищеній температурі, в авіаційних двигунах, хімічна активність титану значно зростає і він реагує з

киснем і іншими агресивними середовищами. Також 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. Для усунення цих недоліків рекомендується застосовувати анодне оксидування.

Анодне оксидування титану проводять з метою:

- додаткового захисту від корозії (підвищення хімічної стійкості металу);
- підвищення зносостійкості (поліпшення фрикційних властивостей);
- поліпшення декоративності поверхні (змінюється забарвлення поверхні);
- підвищення адсорбційної здатності (для подальшого нанесення лакофарбових покриттів [1,2].

Оксидування проводиться анодною обробкою деталей в розчинах сірчаної, щавлевої, фосфорної, хромової кислот або їх сумішей, іноді з добавками інших компонентів. Оксидні плівки чорного кольору, що підвищують стійкість титану в 40%-вій H_2SO_4, можуть бути отримані його анодною обробкою в 18%-му розчині H_2SO_4. Товщина одержуваних при цьому плівок близько 2,5 мкм. Оксидні плівки товщиною близько 1 мкм виходять при електролізі протягом 2 год при 100 ° С і щільності струму 1 А / дм.

Фрикційні властивості титанових деталей поліпшуються, якщо на їх поверхню нанесені оксидні плівки товщиною 0,2-0,3 мкм. Такі покриття формуються в 5%-ому розчині щавлевої кислоти. Електроліз ведуть при 18-25 °С протягом 60 хв. Анодну густину струму на початку процесу встановлюють I - 1,5 А / дм2 і підтримують постійною протягом 5-10 хв, напруга на ванні за цей час підвищується до 100-120 В. Надалі густина струму знижується до 0,2-0,3 А / дм2.

Електрохімічне оксидування різьбових деталей з титанових сплавів можна проводити в імпульсному режимі, коли постійний струм подається на ванну імпульсами, що чергуються з перериванням струму. Залежно від співвідношення тривалості періодів подачі і переривання струму змінюються товщина і властивості плівок які формуються.

Декоративне анодне оксидування титану і його сплавів дозволяє отримати по-різному забарвлені окисні плівки: коричнево-жовті, сині, голубі, різні відтінки жовтого кольору, включаючи рожевий, малиновий, а також різні відтінки зеленого кольору. Вирішальний вплив на колір плівки чине напруга при оксидуванні титану і склад сплаву [3].

Оксидованої вироби можуть служити багато років без зміни своїх декоративних властивостей. Анодний захист від корозії настільки ефективний, що може захистити деталі від найагресивніших впливів. Ці

чудові властивості давно оцінили виробники автомобілів, будівельники, військові, авіавиробники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чечулин Б.Б. Титановые сплавы в машиностроении / Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, И.Н. Разуваева. – Л. : Машиностроение, 1977. – 248 с.

2. Бай А.С. Окисление титана и его сплавов / А.С. Бай, Д.И. Лайнер, Е.Н. Слесарева. – Металургия, 1970. – 320 с.

3. Оксидирование титана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://metallicheckiyportal.ru/articles/zashita_ot_korrozii_metalla/oksidirovanie/oksidirovanie_titana

УДК 621.9

Дядя С.І.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОПУТНОГО ТА ЗУСТРІЧНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ З АВТОКОЛИВАННЯМИ НА ЗМІНУ ФОРМИ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ РІЗНИХ ПОДАЧАХ

Форма обробленої поверхні після кінцевого циліндричного фрезерування являє собою сполучення западин, що залишаються незрізаними з поверхні різання. Але при фрезеруванні важкооброблюваних матеріалів швидкість різання припадає на швидкісну зону [1], в якій діють автоколивання. Оброблена поверхня в цій зоні має хвилястість, що визначається висотою та кроком. Якість поверхні залежить від величин цих параметрів. Тому актуальною задачею є отримання найменш можливі величини кроку та висоти хвилястості. Для цього використовуються різні технологічні заходи та конструктивні елементи різального інструменту. В їх основі лежить можливість демпфувати розмах автоколивань за рахунок товщини шару, що зрізається, або за рахунок тертя задньої поверхні зуба фрези з заготовкою. Для визначення впливу цих факторів на процес різання розроблено методику поділу осцилограми коливань деталі на базові фрагменти [1] і їх оцінка за 14 характеристиками.

Одним з технологічних заходів щодо зниження інтенсивності автоколивань є призначення подачі, як за величиною, так і за напрямом. При виборі величини подачі в першу чергу перевага віддається шорсткості поверхні. Тому вибором напрямку подачі забезпечують найменш можливі похибки поверхні.

Проведеними дослідженнями характеристик коливального руху тонкостінних елементів деталей встановлено вплив особливостей попутного та зустрічного фрезерування на формування обробленої поверхні. Так, у першому випадку різання більш «жорстке» і при формуванні обробленої поверхні при виході інструменту висота та крок хвилястості мають малe значення. У другому випадку різання менш «жорстке» і при формуванні обробленої поверхні на вході інструменту крок та висота хвилястості мають більші значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Внуков Ю.Н. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей : монография / Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя, Е.Б. Козлова и др. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 208 с.

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ»

УДК 629.72.62
Жарик А.В.[1]
[1]студ. гр. М-614м ЗНТУ

ЗАСТОСУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОСТРУКТУРНИХ ВОЛОКОН У КОСМІЧНИХ АПАРАТАХ

Космонавтика є однією з найбільш перспективних і масштабних областей застосування нанотехнологій і наноматеріалів. У найближчі роки нанотехнології і різноманітні наноматеріали будуть все ширше використовуватися при створенні нових зразків космічної техніки, що значно змінить підходи до конструювання космічних апаратів і зіграє величезну роль в здійсненні великомасштабних космічних проектів першої половини XXI століття.

Як сорбуючі матеріали композитів для виготовлення ракетних шпателей і термозахисту космічного корабля з 1950–х років використовуються вуглецеві волокна. Маючи високу термостійкість, хороші теплоізоляційні властивості, корозійну стійкість до впливу газових і рідких середовищ, вони перевершують всі відомі жаростійкі волокнисті матеріали.

Це дає можливість застосування вуглецевих наноструктур в якості теплових екранів і теплоізоляційного матеріалу в високотемпературній техніці. Також вони використовуються для термозахисту космічних кораблів, літаків, ракет, виготовлення їх носових частей, деталей двигунів теплопровідних пристроїв. Конструкційні матеріали на основі вуглецевих наноструктур завдяки своїй легкості дозволяють максимально знизити масогабаритні характеристики пристроїв.

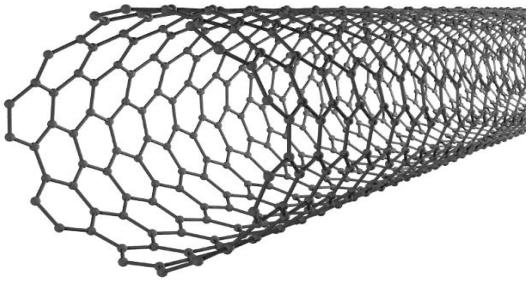


Рисунок 1 – Структура вуглецевої нанотрубки.

Електропровідність вуглецевих волокон дозволяє створювати на їх основі засоби захисту виробів ракетної і ракетно-космічної техніки від статичної електрики: досить ввести в матеріал 0,02-1% вуглецевого волокна, щоб електричні заряди повністю «стікали» з поверхонь деталей, виготовлених з використанням цього матеріалу.

УДК 669.295
Калініна Є.В.[1]
[1]студ. гр. М-614м ЗНТУ

ЛОПАТКИ ГТД ІЗ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Аналіз сучасних тенденцій в області літакобудування і, зокрема, авіадвигунобудування, дозволяє виділити одну з основних завдань - підвищення потужності силових установок з одночасним зниженням їх маси. Вирішення цього завдання пов'язане з пошуком нових матеріалів, що володіють високою питомою міцністю. Хороші перспективи в цьому плані мають матеріали з нано або субмікрокристалічної (СМЯ) структурою, отримані методами інтенсивної пластичної деформації (ІПД).

Найбільший інтерес для наноструктурування заслуговують титанові сплави, тому що для них характерна максимальна питома міцність і на їх частку припадає до 60% деталей компресорної частини двигуна.

Відомо, що метали і сплави, схильні до ІПД, знаходяться в стані, в якому відбуваються якісні зміни комплексу властивостей. Вважається, що основними причинами таких змін є переважання зерен субмікрокристалічної розміру, велика частка високоуглових кордонів, підвищення гомогенності сплавів, а також формування кристалографічної текстури.

Застосування наноструктурних високоміцних титанових сплавів представлять значний інтерес для виготовлення таких відповідальних виробів, як лопатки, для яких критичними властивостями, визначальними ресурс і надійність виробів, є міцність, витривалість і зносостійкість. Крім того, прояв сверхпластичности наноструктурних сплавів при більш низьких температурах і більш високих швидкостях деформації є технологічно привабливим для формоутворення лопатки, так як традиційною технологією отримання заготовок лопаток з титанових сплавів, що мають досить складну поверхневу конфігурацію, є об'ємна штампування

В роботі досліджено вплив температури інтенсивної пластичної деформації методом гвинтової екструзії на структуру і мікротвердість титанового сплаву ВТ8. Визначено область температур деформації 700-

750 °С, обробка в якій призводить до формування в заготовках субмікрокристалічної структури. Встановлено підвищення мікро- твердості сплаву з субмікрокристалічної структурою на 80% в порівнянні зі сплавом, які мають глобулярную структуру. Виконано аналіз перспективності технологічних схем, що включають кручені екструзію, для виробництва лопаток ГТД.

Представлені результати досліджень механічних властивостей і мікроструктури лопаток газотурбінного двигуна (ГТД) зі сплаву ВТ6, виготовлених об'ємної ізотермічної штампуванням (ІЗШ) з заготовки з ультрадрібнозернистих (УМЗ) структурою, отриманої методами інтенсивної пластичної деформації (ІПД). Показана принципова можливість формоутворення лопатки з УМЗ-заготовки об'ємним штампуванням при знижених температурах і, як наслідок, досягнення підвищених значень міцності і опору втоми за рахунок формування в штампуванні однорідної структури з розміром зерен менше 1 μm в порівнянні з лопатками, отриманими за серійною технологією.

УДК 620.18.541.18
Нагалюк М.А.[1]
[1]студ. гр. М-614м ЗНТУ

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ, ЗАСТОСОВУВАНИХ В АВІАДВИГУНОБУДУВАННІ

Нанотехнології і наноматеріали є нині одним з найбільш перспективних напрямів науки, технології і промисловості. Основні перспективи розвитку наноіндустрії в частині створення наноматеріалів і нанотехнологій пов'язані з удосконаленням підходів до проектування нових виробів і вузлів техніки різного призначення, з розробкою нових моделей, що дозволяють конструювати і прогнозувати необхідні технічні характеристики виробів із застосуванням наноматеріалів із спеціальними властивостями, визначати чіткі взаємозв'язки матеріал-конструкція.

Фізико-механічні властивості і експлуатаційні характеристики металовиробів залежать не лише від хімічного складу сплавів, з яких їх виготовляють, але і від міри подрібнення структурних "складових". Відомо, що чим дрібніше структура, тим вище механічні властивості металовиробів. Одним з найбільш широко поширених способів подрібнення структурних складових металевих композицій є модифікування.

У цій доповіді розглядається підвищення якості длиномерных лопаток ГТД за рахунок об'ємного модифікування жароміцного нікелевого сплаву ЖС3ДК-ВИ нанодисперсними композиціями.

В якості модифікаторів нікелевого сплаву застосовувалися нанодисперсні з'єднання на основі титану з розміром часток 10…100 нм. За допомогою запропонованого способу модифікування можна досягти значного подрібнення макроструктури лопаток турбіни ГТД. У модифікованих лопатках середній розмір макрозерна зменшився з 3…10 мм до 0, 1…1 мм, тобто в 10…12 разів. Також в модифікованих лопатках усунена столбчатость і нерівномірність структури по висоті і перерізу лопаток, що має місце в лопатках серійного виробництва. Досягнуте підвищення пластичних властивостей, δ збільшилося з 15,8 % в початкових до 21,3 % – в модифікованих зразках, що є важливим показником для длиномерных лопаток. Також спостерігається підвищення ударної в'язкості модифікованих зразків від 6,1 кгм/см2 до 7,0 кгм/см2. Випробування зразків на довготривала міцність при 850°С показали значне збільшення їх жароміцності в порівнянні з немодифікованими зразками.

Перспективні напрямки застосування нанотехнологій в авіації:

- підвищення міцності літальних апаратів;
- зниження ваги;
- поліпшення аеродинаміки і зниження тертя;
- боротьба з обмерзанням;
- підвищення маскувальних здібностей літальних апаратів;
- підвищення живучість літальних апаратів.

Основним завданням нанотехнологій в області матеріалів є створення високоміцних композитів і полімерів, одночасно зі збереженням легкості і пластичності. Підвищення міцності конструктивних елементів підвищує і ресурс літака. Досягти підвищення міцності можливо завдяки застосуванню новітніх композитних полімерних матеріалів, які значно збільшують міцність конструкції і знижують її вагу.

Вирішення найважливіших завдань аеродинаміки відчутно знижує опір літальних апаратів на різних висотах польоту. Зменшення опору, що виконують тривалий політ, що значно знижує витрату палива.

Нанотехнологічні методи створення гідрофобних поверхонь дозволяє істотно просунутися у вирішенні проблеми обмерзання. Це можливо при створенні такої поверхні і покриття, на основі гідрофобної структури, яка перешкоджатиме появі льоду, а також, у разі його виникнення, повністю видалить його за допомогою нагріву або деформації форми.

Найбільш перспективним напрямом застосування наноматеріалів є зниження рівня помітності літальних апаратів в широкому діапазоні довжин хвиль. Куди важливіше добитися зниження помітності об'єкту в повітрі в

радіодіапазоні, ніж візуального ефекту невидимості. Це досягається застосуванням спеціальною формою фюзеляжу і використанням поглинаючих і відбиваючих матеріалів і покриттів.

На даний момент найсучасніші розробки застосовані в конструюванні і створенні літаків п'ятого покоління: це надміцні і легкі полімери, новітні електронні помічники, що збільшують живучість літака до тридцяти разів, електромеханічна радіопоглинаюча фарба, що забезпечує зниження візуальної помітності і помітності у полі зору радара.

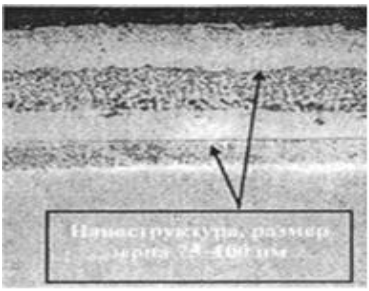
УДК 629.7.023.224
Неманежин Є.О. [1]
[1]студ. гр. М-614м ЗНТУ

НАНОСТРУКТУРОВАНІ ПОКРИТТЯ НА ДЕТАЛЯХ ГТД, ЗАСТОСУВАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ

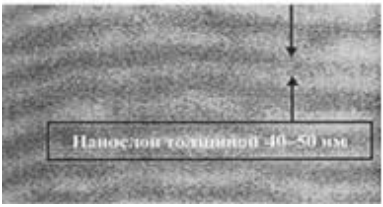
Потенційні вигоди від застосування нанотехнології в авіадвигунобудуванні полягають у використанні наноструктурованих матеріалів з високими експлуатаційними властивостями. Це дозволить створити більш легку і ефективну техніку з меншим споживанням енергії і впливом на навколишнє середовище.

Дослідження і розробки в галузі іонно-плазмових технологій дозволили створити іонно-плазмове обладнання з асистованим осадженням, яке не має світлових аналогів, (установка МАП-3) для отримання товстих до 120 мкм наноструктурних і нанокомпозитних захисних і зміцнюючих покриттів і розробити технологічні процеси їх отримання. Це обладнання може знайти широке застосування і в інших галузях машинобудування.

Особливістю запропонованої нанотехнології є керовані енергії частинок, що взаємодіють з поверхнею оброблюваного виробу, в процесах асистованого іонного і модифікованого осадження наноструктурних покриттів. Завдяки унікальному поєднанню комплексу властивостей – ерозійної і корозійної стійкості, мінімального рівня залишкових напружень, високої температурної стійкості, міцності, трибологічних і хімічних властивостей – наноструктурні покриття можуть бути рекомендовані для підвищення фізико-механічних характеристик і ресурсу лопаток ГТД, деталей гарячого тракту і інших деталей машин (ріжучий інструмент, деталі агрегатів, пари тертя тощо).



а



б



в

а – високотемпературне наноструктуроване покриття ВСДП-9+ВСДП-18 для лопаток турбіни;
б – зміцнююче наношарове покриття TiN–CrN;
в – нанокомпозитне TiAlMoCN–CrCN для лопаток компресора.
Рисунок 1 – Приклад мікроструктури наноструктурованих захисних і зміцнюючих покриттів для лопаток ГТД.

УДК 539.51
Попков В.С.[1]
[1]студ. гр. М-614м ЗНТУ

НАНОМАТЕРІАЛИ, КЛАСИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ, СТРУКТУРА

Наноматеріали – матеріали, що містять структурні елементи, геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм, і мають якісно нові властивості, характеристики.

Наноматеріали можна розділити на чотири основні категорії.

Перша категорія включає матеріали у вигляді твердих тіл, розміри яких в одному, двох або трьох вимірах не перевищують 100 нм. До таких матеріалів можна віднести нанопорошки, нанопроволкі і нановолокна, дуже тонкі плівки, нанотрубки.

Друга категорія включає в себе матеріали з характерним розміром в діапазоні 1 мкм...1 мм. Зазвичай це проволки, стрічки, фольга. Такі матеріали вже містять значну кількість структурних елементів.

Третя категорія являє собою масивні наноматеріали з розмірами в макродіапазоні (більше декількох мм). Такі матеріали складаються з дуже великого числа кристалітів і фактично є полікристалічний матеріалами з розміром зерна 1...100 нм. У свою чергу третю категорію наноматеріалів можна розділити на два класи.

У перший клас входять однофазні матеріали структура і / або хімічний склад яких змінюється за обсягом матеріалу тільки на атомному рівні. До таких матеріалів відносяться, наприклад: скло, гелі, пересичені тверді розчини.

До другого класу можна віднести мікроструктурні неоднорідні матеріали, які складаються з кристалітів, блоків з різною структурою і складом. Це багатофазні матеріали, наприклад на основі складних металевих сплавів.

До четвертої категорії відносяться композиційні матеріали, які містять в своєму складі компоненти з наноматеріалів. При цьому в якості компонентів можуть виступати наноматеріали, віднесені до першої категорії і другої категорії.

УДК 621.793
Братковський В.О.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Серед різноманітних методів дослідження наноматеріалів і наносистем особливий інтерес представляють такі, які дозволяють виявляти індивідуальні нанооб'єктів, наприклад, наночастинки шляхом безпосередньої реєстрації їх розмірних параметрів, а також отримувати їх зображення. До числа останніх відносяться, перш за все, методи мікроскопії високого дозволу, які іноді називають методами наноскопії. З них в практичному відношенні найбільш важливими є два методи: скануюча тунельна мікроскопія і атомносилової мікроскопія. Що лежать в основі реалізації цих методів зонди спеціальної конструкції є унікальними інструментами, застосовуваними не тільки для дослідження, але також для отримання різних видів наноматеріалів.

Один із методів дослідження це електронна мікроскопія. Електронні мікроскопи по своєму принциповому пристрою мають багато спільного з оптичними мікроскопами. Разом з тим електронні мікроскопи мають вищою роздільною здатністю. У них для зображення об'єктів використовують хвильову природу швидко рухаючих електронів. Скляні лінзи, використовують в оптичному мікроскопі, в електронному мікроскопі відповідають електричні або магнітні лінзи; матовій пластинці, на якій може бути візуалізоване зображення. В електронних мікроскопах замість променів світла використовуються пучки електронів, що емітуються катодом, та нагрівається шляхом пропускання електричного струму, і прискорюються за рахунок високої напруги.

До спектральних методів зазвичай відносять методи дослідження поверхні твердих тіл, засновані на аналізі енергетичних спектрів відображених випромінювань, що виникають при опроміненні досліджуваного матеріалу електронами, іонами і фотонами. До цих методів належать електронна Оже-спектроскопія, мас-спектроскопія вторинних іонівю, лазерний мікрозондовий аналіз та метод рентгенівської фотоелектронної спектроскопії.

Скануючі зондові методи дослідження. Дана група методів є найбільш широко використовувана в галузі наноматеріалів і нанотехнологій. Основна ідея всіх методів даної групи полягає в використанні зонда - пристроя зчитування інформації з поверхні досліджуваного матеріалу. У більшості випадків в якості робочого тіла зонда використовується алмазна голка з радіусом при вершині близько 10 нм. За допомогою високоточної

позиціоного (скануючого) механізму зонд переміщують над поверхнею зразка за трьома координатами. Як правило, є два діапазони переміщення зонда: грубе переміщення відносно низькою точністю і високою швидкістю та переміщення з досить низькою швидкістю і високою точністю позиціонування до 0,1-1 нм. Велика точність позиціонування забезпечується як правило по висоті. Сигнал від зонда обробляється за допомогою комп'ютера і перетворюється в тривимірне зображення. Для обробки сигналів, їх фільтрації та коригування, використовуються спеціальні пакети програм. Вартість і розміри зондових мікроскопів, як правило, значно нижче, ніж у електронних, а можливості цілком співмірні. Тим більше, що для ряду варіантів зондовой мікроскопії наявність вакууму не потрібно, матеріали дослідження можуть бути найрізноманітніші, в тому числі ізолятори, напівпровідники, біологічні об'єкти. При цьому дослідження можуть проводитися без значного пошкодження об'єкта та з досить простої підготовки його поверхні (наприклад, тільки полірування окремої ділянки). До цих методів належать сканувальна тунельна мікроскопія (СТМ), контактна атомно-силова мікроскопія, безконтактна атомно-силова мікроскопія, напівконтактна атомно-силова мікроскопія та атомно-силова мікроскопія, сканувальна мікроскопія ближньої оптичної зони (SNOM) та інші.

УДК 539.51, УДК 620.3

Жабицький С.С.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Нанотехнології і наноматеріали досить швидко увійшли в науковий світ і завдяки своїм унікальним властивостям набули застосування майже в усіх галузях виробництва і промисловості, починаючи від військових потреб, електроніки, будівництва. Вивчаються алотропні модифікації карбону (графен, фулерени, нанотрубки та ін.), що становлять значний інтерес із точки зору як матеріалознавства, так і електроніки з метою розроблення нових функціональних пристроїв. Наведені сучасні досягнення у сфері мікро- і наноелектромеханічних систем, нанобіоелектроніки, медицини та ін.

Нанотехнології – це сукупність методів маніпулювання речовиною на атомному або молекулярному рівні з метою отримання наперед заданих властивостей 1 нанометр (нм). Нанотехнологія практично проникла в усі

галузі науки і техніки: фізику, хімію, матеріалознавство, біологію, медицину, кологію, сільське господарство та ін. Прогнозується, що наука про нанотехнології і наноречовини здатна перебудувати всі галузі промислового виробництва, привести до нової науково-технічної революції і вплинути на розвиток соціальної структури суспільства.

Наноматеріали – матеріали, створені з використанням наночасток та/або за допомогою нанотехнологій, що мають певні унікальні властивості, зумовлені присутністю цих частинок у матеріалі.

Потенційні можливості розвитку основ нанотехнологій:

Застосування нанотехнологій в машинобудуванні. У машинобудівних технологіях нанопозиціонірованіе обробних інструментів дозволяє забезпечити принципово нові можливості в якості виготовлення виробів.

Аерокосмічні нанотехнології і наноматеріали. Наноструктурування має вирішальне значення для розробки і виготовлення виробів відрізняючихся малою масою і високою міцністю термічно стійких матеріалів для літаків, ракет, космічних станцій і дослідницьких супутників.

Нанотехнології в біології, медицині та охороні здоров'я. Біологічно сформовані наносистеми і матеріали в даний час створюють в основному методами природного копіювання.

Наносистеми в біоінженерії та агрокомплексі. Біосинтез речовин і біопереробки сировини обіцяють принципово нові шляхи виготовлення хімічних, харчових і фармацевтичних продуктів.

Нанотехнології в переробці енергоносіїв, нафтохімії та ядерній енергетиці. Нафтопереробка з отриманням цінних хімічних продуктів і ядерна енергетика дві області, де наноматеріали і інші наносистеми вже знайшли промислове застосування.

Наносистеми в розвитку науки і освіти. Наука про створення та використання наноструктур в своєму розвитку як міждисциплінарна область знань буде постійно забезпечувати посилення взаємозв'язків різних наук.

Отже можливості використання нанотехнологій і наноматеріалів практично невичерпні – починаючи від мікроскопічних комп'ютерів, і закінчуючи автомобільними двигунами, які не засмічують навколишнє середовище. Нанотехнології і наноматеріали на сьогоднішній день знаходяться в дитячому віці, приховуючи в собі великий потенціал. В подальшому вченим належить розширити безліч запитань, пов'язаних з нанонаукою і осягнути її найглибші таємниці. Але, незважаючи на це, нанотехнології вже надають дуже серйозний вплив на життя сучасного людства.

УДК 621.979
Кирилов Д.М.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ, ЗАСТОСУВАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ

Обробка поверхонь – технічно складний процес, який призначений для зміни форми матеріалу, його ваги, міцності і експлуатаційних характеристик для створення виробів і облаштувань різного застосування.

Наприклад, з металу роблять корпуси виробів, опорні конструкції, запасні частини, інструмент, а з полімерних матеріалів роблять предмети побуту, посуд, одяг аксесуари.

Залежно від використовуваних матеріалів і планованого кінцевого результату, використовують свої технології і методики.

Обробка поверхні металевих виробів є необхідним технологічним процесом, за допомогою якого досягаються задані параметри :

- маса і габаритний розмір деталі;
- конфігурація виробу;
- необхідна якість поверхні для дотичних елементів.

Для досягнення поставленого результату можуть використовуватися різні методи обробки поверхні, які враховують тип металу або сплаву, фізичні властивості матеріалу і технічні можливості.

Різновиди обробки металів

Методи обробки поверхонь деталей мають три стадії:

- попередня;
- проміжна;
- фінальна.

На кожному етапі використовуються свої технології, які ми розглянемо на прикладі підготовки поверхні до нанесення покриття.

Попередня стадія.

На цьому етапі виконується механічна обробка поверхонь, яка здійснюється такими способами:

- обдувши вентилятором;
- піскоструминна обробка поверхні.

Цей спосіб дозволяє позбавитися від забруднень і покращує зовнішній вигляд виробу. Процес відбувається з використанням кварцевого піску, який під тиском через сопла подається на поверхню, що очищається, в закритій камері;

- шліфовка і поліровка поверхні. Цей спосіб використовується як альтернатива піскоструминній обробці.

Вибір технології і способу обробки здійснюється виходячи з наявності устаткування, витрат, планованого результату і доцільності застосування конкретної процедури.

Проміжна стадія.

Цей етап готує поверхню до фінального нанесення покриття. Він включає три стадії:

- знежирення і очищення. Залежно від необхідності використовують емульсії, розчинники, лужні засоби. Процес очищення відбувається шляхом занурення виробу у ванну з розчином;

- видалення окалини з подальшим випаленням. Процес грунтований на хімічній взаємодії металу з лугами і кислотами (труїть);

- поліровка.

Тут застосовуються технології хімічної поліровки, абразивна обробка поверхні, електролітична поліровка або труїть до дзеркального блиску.

Залежно від типу поверхні і складності конфігурації деталі використовують один або декілька методів на проміжній стадії обробки.

Фінальна стадія.

Обробна обробка поверхонь – це завершальний етап, який складається з трьох стадій:

- грунтовка металу. Нанесення грунту захищає підготовлену поверхню і покращує адгезію;

- нанесення покриття. Залежно від типу покриття, процес здійснюється в спеціальних ваннах (гальванізація) або за допомогою розпилювача (фарбування);

- сушка готових деталей.

У випадку з емалями і фарбами роблять запікання в термічних фарбувальних боксах.

Усі види робіт виконуються в ручному, напівавтоматичному і автономному режимі. У першому випадку майстер бере безпосередню участь в процесі. Такий спосіб характерний для невеликих виробництв, що випускають вироби з металу на замовлення одиничними екземплярами або дрібними партіями. Перевага полягає в тому, що людина контролює якість виконання кожного етапу і має можливість наново пройти будь-яку стадію. Недолік – тривалість процесу.

У напівавтоматичному режимі роль оператора істотно зменшується – він контролює початок і кінець кожної стадії, при необхідності втручаючись в процес. Автономний метод припускає повну відсутність людини (окрім підготовчої стадії, коли вимагається подати заготівлі на конвеєрну стрічку, а потім упакувати готову продукцію). Цей спосіб відрізняється високою продуктивністю і успішно реалізується на великих підприємствах, які займаються потоковим випуском деталей.

Обробка плоских поверхонь відрізняється від роботи з об'ємними деталями складної конфігурації, що необхідно враховувати перед вибором технологічних рішень.

УДК 541.67
Легеза Б.С.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

НАНОТРУБКИ, ТИПИ, ОТРИМАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ

В даній роботі детально розглянуті типи вуглецевих нанотрубок, а також наведені відомості про нітрид-борні, невуглецеві і неорганічні нанотрубки. З'ясовано вплив структури вуглецевих нанотрубок на їх властивості.

Формування одношарових нанотрубок можна уявити як процес згортання смуг пласкої атомної сітки графіту (графена) в безшовні циліндри, торці яких зазвичай закриваються напівсферичними ковпачками. Одношарові нанотрубки складаються з шестикутних осередків на бічній поверхні циліндра і п'яти-, і шестикутних осередків на торцевих півсферах. Зазвичай діаметр одношарових нанотрубок складає від 0,8 до 5,0 нм, а довжина – від 1 до 500 мкм.

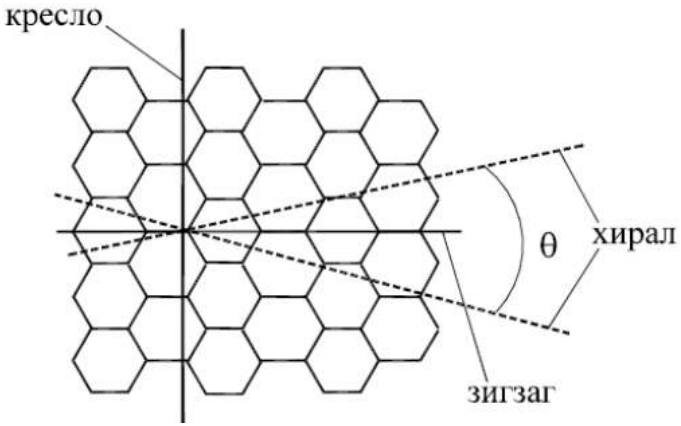


Рисунок 1– Модель утворення нанотрубок різних типів при скручуванні в циліндр листа графену.

Також в роботі розглянуті фізичні властивості нанотрубок, більш детально – електронні та механічні.

Серед методів отримання приведені, з додаванням схем промислових установок: катодне розпилення, лазерне випаровування, хімічне газофазне осадження вуглеводородів, електролітичний синтез

Приведені можливі галузі використання нанотрубок, більш детально розглянуті застосування у: наномеханізмах та наномашинах, електроніці, холодних катодах, паливній промисловості, виробництві біосенсорів.

Вуглецеві нанотрубки – майбутнє інноваційних технологій. Виробництво та впровадження нанотабуленів дасть змогу покращити якість товарів та виробів, значно знизивши їх вагу та збільшив міцність, а також доповнити новими якостями.

Вуглецеві нанотрубки не обмежені певними рамками по використанню в різних галузях промисловості. Матеріал розроблений відносно нещодавно, та, у зв'язок з цим, зараз широко використовується у наукових розробках та дослідженнях багатьох країн світу. Це необхідно для більш детального вивчення властивостей та характеристик вуглецевих нанотрубок, а також налагодження масштабного виробництва матеріалу, так як в нинішній час він займає досить слабкі позиції в межах ринку.

УДК 541.67
Малєєв В.В.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ В АВІАДВИГУНОБУДУВАННІ

Розвиток перспективної авіаційної техніки, підвищення техніко-економічні показників сучасної літальних апаратів 20 ... 25%. У зв'язку з цим необхідно розробити конструкторські та технологічні рішення, що стосуються всіх агрегатів і систем повітряних суден. В останні роки стрімко розвивається новий напрямок науки і техніки нанотехнологія. Розглянемо перспективи використання досягнень нанотехнології в рішенні задач, що стоять перед авіаційною галуззю. Потенційні вигоди від застосування нанотехнології полягають у використанні наноструктурованих матеріалів з високими експлуатаційними якостями.

Використовуються матеріали по 3 критеріям:

Міцність. Перш за все – це питання міцності конструкції. Створення алюмінієвих і титанових сплавів, армованих вуглецевими нанотрубками, нанопокриттів в зоні концентраторів напруги, розробка авіаційних

конструкцій, в тому числі композитних конструкцій, які використовують наноелементів.

Аеродинаміка. Зниження опору літальних апаратів є найважливішим завданням аеродинаміки. Зменшення опору літаків, що виконують тривалий крейсерський політ, призводить до значного зниження витрати палива. Величину опору сучасного транспортного літака можна розділити на дві складові, які мають різну фізичну природу: опір тиску і опір тертя.

Помітність. Третьою областю застосування нанотехнологій є створення наноструктурних суперпоглинаючих покриттів для вирішення важливого завдання – зниження помітності літальних апаратів в широкому діапазоні довжин хвиль. Говорячи про оптичну і радіо помітність можна стверджувати, що на цьому шляху нас чекають проривні рішення, які забезпечать істотне підвищення ефективності бойової техніки.

Отже моделювання ЛА це одна з областей наукових і експериментальних досліджень, де вперше можуть бути застосовані нові розробляється на основі нанотехнологій полімерні композиційні та інші конструкційні матеріали.

УДК 620.3
Маракін В.І.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

МЕТОДИ І УСТАТКУВАННЯ ОТРИМАННЯ НАНОПОРОШКІВ, ЗАСТОСУВАННЯ І ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Фундаментом нанотехнології є фізика, хімія і молекулярна біологія штучних чи природних об’єктів, які складаються з певної кількості атомів, в яких вже в значній мірі виявляється дискретна атомно-молекулярна структура речовини і квантові закономірності її поведінки.

Наночастинки можуть бути ізольованими або оточеними газоподібним, рідким або твердим середовищем, можуть мати кулькову, або багатогранну форму, форму кілець, стержнів і різних комбінацій цих найпростіших форм. Найбільш широко поширеними методами отримання наночастинок і нанопорошків є фізичні, хімічні і біологічні методи.

Найбільш простими є методи розпилювання струменю розплаву рідиною або газом. Цими методами отримують порошки металів і сплавів з розміром частинок близько 100 нм. Якщо потрібно отримати менший розмір, то застосовують метод подвійного розпилювання. Інший метод – випаровування – конденсація матеріалу, що забезпечується плазмовим струменем, лазерним пучком, електричною дугою. Охолодження і

конденсація пари з утворенням наночастинок може у вакуумі, в середовищі інертного газу, на твердій підкладці. Таким чином отримують порошки металів і сплавів з розмірами частинок від 10 до 100 нм.

Поширеними є методи механічного подрібнення твердих тіл, які проводять в млинах різних типів: кулькових, планетарних, струменевих, вихрових, вібраційних і т.п. Іноді процес тонкого розмелювання поєднується з механохімічним синтезом нового матеріалу із кількох завантажених компонентів. Цими методами можна отримувати порошки металів з розмірами частинок в десятки нанометрів, їх оксидів – в декілька нанометрів, можна також диспергувати полімери, компоненти керамік.

Більш комплексну і ретельну переробку сировини забезпечують фізико-хімічні методи, при яких змінюються не лише розміри і структура частинок, але і їх хімічний склад. Процес відбувається в рідкому стані реагентів – у розчинах, гелях, колоїдах. Найбільш поширеними є: золь-гель, осадження із розчину, сублімаційного сушіння, відновлення оксидів металів газами, гідридами металів. Розмір частинок отриманих порошків може змінюватися від одного до десятків нанометрів, хоча часто можна досягнути вузького розподілу частинок за розмірами.

Більш, ніж 30 металів в наноструктурованій формі можна отримати методом гідролізу відповідних електролітів при пропусканні постійного електричного струму. При правильно вибраних режимах електролізу метали, що осідають на катоді мають дуже високу чистоту.

В доповіді показані декілька прикладів застосування нанопорошків:

При виробництві високо теплопровідні кераміки;

Для регулювання швидкостігоріння сумішевих матеріалів на основі нітрату амонію.

УДК 541.67
Мирошниченко К.М.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ФУЛЕРЕНИ, МЕТОДИ ОТРИМАННЯ, ВИДИ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗАСТОСУВАННЯ

За останній час спостерігається бурхливий ріст потоку інформації в галузі знань фулереноподібних матеріалів, відкритих в 1985 році. Великий інтерес серед учених викликає особливість будови фулеренів, що обумовлена їх сферичністю. Завдяки наявності у молекули фулерену великої кількості атомів вуглецю відкриваються необмежені можливості синтезу мільярдів нових з'єднань з новими властивостями, а значить і новими можливостями.

Фулерен – це молекула, яка представляє собою замкнуту сферу, що складається з шістдесяти атомів вуглецю. Молекула фулерену C_{60} складається з 20 шестикутників і 12 п'ятикутників, в вершинах яких знаходяться атоми вуглецю, і має високу симетрію. Радіус фуллерену C_{60} дорівнює 0,3512 нм.

У доповіді розглянуті види фулеренів, їх властивості, способи одержання й області застосування. Зростання фулерена з кластера вуглецю можна уявити як послідовне приєднання до нього невеликих фрагментів вуглецевого пару. Фулерени можна отримувати як випаровуванням вуглецю при впливі лазера, електричної іскри або сонця, так і шляхом неповного спалювання вуглеводнів.

У генераторі кластерів Смоллі для випаровування графіту використовується імпульсний лазер. За допомогою електричної дуги проводять синтез фулеренів на установці Кретчмера, вихід фулеренів – 10-15%. Надалі цю установку вдосконалили в цілях безпеки та продуктивності. Також за допомогою електричної дуги в лабораторних умовах для синтезу фулеренів використовують реактор Вудлі. Вихід фулеренів – 5-10%. Найбільш продуктивним методом отримання фулеренів є їх синтез на багатоцільовій електродуговій установці. Вихід фулеренів досягає 25%. З метою розробки екологічно чистої технології отримання фулеренів була створена сонячна піч «SOLAR-1», в якій для випаровування графіту використовувалася енергія Сонця. З огляду на труднощі орієнтації дзеркала по сонцю, вихід фулеренів на установці незначний. При спалюванні вуглеводнів вихід суміші фулеренів C_{60}/C_{70} – близько 8%.

Області застосування фулеренів достатньо різноманітні: це і створення надтвердих і ультратвердих матеріалів, в біології і медицині – для отримання ефективних терапевтичних і вакцинних препаратів, створення антивірусних препаратів для пригнічення ВІЛ і цитомегаловірусних інфекцій, в енергетиці – для зберігання і транспортування водню, в трибології фулерени перспективні в якості антифрикційних покриттів, твердих мастил і присадок до мастил, в металургії – перспективи створення нових конструкційних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними характеристиками на основі вуглецевої сталі і багато іншого.

У практичній діяльності людини корисна здібність фулерена змінювати свої властивості при легуванні від діелектричних до надпровідних і від діамагнетизму до феромагнетизму. Достатньо проста технологія отримання фулеритів з різними властивостями дозволяє сподіватися на створення незабаром квантоворозмірних структур з шарами, що чергуються: надпровідник – напівпровідник (або діелектрик), метал – феромагнетик, надпровідник – магнетик і т.д.

УДК 621
Мороз Б.К.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ В АВІАЦІЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Для всієї світової спільноти і для України використання нанотехнологій в авіабудуванні викликає величезний інтерес. Це пов'язано з можливістю поліпшення основних технічних параметрів деталей і вузлів, механізації крила, рулів висоти і стабілізаторів.

Основним завданням нанотехнологій в області матеріалів є створення високоміцних композитів і полімерів, одночасно зі збереженням легкості і пластичності. Підвищення міцності конструктивних елементів підвищує і ресурс літака. Домогтися підвищення міцності можливо завдяки застосуванню новітніх композитних полімерних матеріалів, які значно збільшують міцність конструкції і знижують її вагу. Крім того, композитні матеріали застосовуються в різних конструктивних деталях двигунів, що дозволяє використовувати сопла з керованим вектором тяги.

Рішення найважливіших завдань аеродинаміки відчутно знижує опір літальних апаратів на різних висотах польоту. Зменшення опору літаків, що виконують тривалий політ, що значно знижує витрату палива.

Нанотехнологічні методи створення гідрофобних поверхонь дозволяє істотно просунутися у вирішенні проблеми обмерзання. Це можливо при створенні такої поверхні і покриття, на основі гідрофобній структури, яка буде перешкоджати появі льоду, а також, в разі його виникнення, повністю видалить його за допомогою нагрівання або деформації форми.

Наприклад, можна використовувати таке покриття з маленьких тонких пластинок – «лусочок», які відділяються від поверхні при невеликому опорі повітря. Лід з такою поверхні буде здуватися повітрям. Також застосування такої поверхні зменшить прилипання різної бруду і комах, що також буде сприятливо впливати на обтічність літака безпосередньо в процесі експлуатації.

Гідрофобна поверхня не є абсолютно гладкою - спочатку на ній є шорсткості різних розмірів. Лабораторні дослідження показали, що подібне покриття дозволяє поліпшити обтічність на 20%. Подібна шорсткість менше нижче рівня аеродинамічної гладкості, тому можливо її застосування для запобігання та усунення криги з кромок крила і гвинтів двигунів. Завдяки змінної шорсткості краплі будуть переміщатися в бік меншої гідрофобності, що поліпшить обтічність поверхні.

Найбільш перспективним напрямком застосування наноматеріалів є зниження рівня помітності літальних апаратів в широкому діапазоні довжин хвиль.

Літаки передбачається оснастити спеціальної «електромеханічної фарбою», яка дозволить їм змінювати колір, як хамелеон, а також запобіжить корозію і зможе «затягувати» дрібні пошкодження на корпусі літака.

Куди важливіше домогтися зниження помітності об'єкта в повітрі в радіодіапазоні, ніж візуального ефекту невидимості. Це досягається застосуванням спеціальної формою фюзеляжу і використанням поглинаючих і відображають матеріалів і покриттів.

Крім того, зниження радіо-помітності стало однією з основних причин розміщення частини озброєння у внутрішніх відсіках.

Для забезпечення пасивного захисту літаків застосовується радіолокаційна станція з активною фазованою антенною решіткою. Вона дозволяє виявляти об'єкти і визначати їх тип і ступінь небезпеки в радіусі до 400 км.

Активний захист на літаках є комплексом бортовий оборони, який забезпечує поліпшення живучості до тридцяти разів.

Таким чином, на даний момент найсучасніші розробки застосовані в конструюванні і створенні літаків п'ятого покоління: це надміцні і легкі полімери, новітні електронні помічники, які збільшують живучість літака до тридцяти разів, електромеханічна радіо-поглинаюча фарба, що забезпечує зниження візуальної помітності і помітності в поле зору радара.

УДК 681.54
Семененко М.С.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ДЕФОРМАЦІЙНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЗАСТОСУВАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ

Метали та сплави з субмікро- та нанокристалічної структурою проявляють незвично високі та корисні фізико-механічні властивості, у тому числі поєднання високої міцності та пластичності. Для отримання таких ультрамілкозернистих матеріалів використовують методи інтенсивно пластичної деформації(ІПД) які полягають у деформуванні з великими ступенями деформації при відносно низьких температурах (нижче 0,3-0,4 Тпл) в умовах високого прикладеного тиску, які забезпечують отримання об’ємних беспористих нано- та субмікрокристалічних металів та сплавів. До методів ІПД відносять: кручення під гідростатичним тиском, рівно канальне

кутове пресування, знакозмінний згин, гвинтове пресування, акумульовану прокатку зі з´єднанням, всебічне ізометричне кування. Граничний розмір зерен залежить від природи матеріалу і умов деформування.

Природа матеріалу. За інших рівних умов обробки більше подрібнення спостерігається в матеріалах з низькою енергією дефектів пакування, зі складним хімічним, фазовим складом та інших матеріалах з обмеженою швидкістю процесу повернення.

Умови деформування. Для формування зерен мінімальних розмірів необхідно щоб температура деформації Тд була свідомо нижче температурного порогу рекристалізації матеріалу. Ця умова накладає обмеження і на швидкість деформації, яка не повинна призводити до помітного деформаційного розігріву матеріалу, у тому числі в зоні локалізації деформації. Тому зазвичай застосовують малі швидкості деформації , які не перевищують (10-1- 10-2) с-1. Менш певними величинами є ступінь деформації необхідний для формування зерен і власне їх мінімальний розмір. За інших рівних умов , вказані величини залежить від масштабного фактору- розміру поперечного перерізу заготовки яку деформуємо. Гранично можливе подрібнення зерен та субзерен до розміру рівного декільком нанометрам забезпечують методи, в яких поперечний переріз заготовки яка деформується зменшуються до кількох десятків мікрон.

У всіх методах обробляємий матеріал в осередку деформації піддається впливу значного квазігідростатичного тиску, в іншому випадку його обробка з настільки великими ступенями деформації стає неможливою. Крім того істотним для формування дрібних зерен фактором в методах є не монотонний характер деформування.

УДК 539.2
Шведов Є.В.[1]
[1]студ. гр. М-714м ЗНТУ

ЗАКОРДОННІ І ВІТЧИЗНЯНІ ВЧЕНІ, ЯКІ ЗДІЙСНИЛИ ЗНАЧНИЙ ВНЕСОК У РОЗВИТОК НАНОНАУКИ

В даній роботі представлені закордонні і вітчизняні вчені, які позитивно вплинули на розвиток нанонауки в цілому. Початок наукових аспектів розвитку нанонауки та нанотехнологій слід розглядати з аналізу життя та діяльності видатного американського фізика-теоретика XX століття, лауреата Нобелівської премії (1965 рік) за створення вчення з квантової електродинаміки Ричарда Філліпса Фейнмана (1918-1988).

Вперше термін для визначення матеріалів з точністю до нанометра ввів у 1974 р. японський вчений-фізик, спеціаліст матеріалознавства Норіо Танігучі в доповіді “Про концептуальні основи нанотехнологгій” на міжнародній конференції “International Conference on Precision Engineering”. Норіо Танігучі запропонував називати структури розмірами від 1 до 100 нанометрів ”наночастинками” та методи їх отримання нанотехнологіями.

Реальне впровадження у науково-практичну діяльність досліджень з нанотехнологій доцільно вважати 1981 рік, коли був сконструйований швейцарськими вченими Гердом Біннінгом і Геінрічем Рогрером тунельний мікроскоп, завдяки якому можна доторкнутися до атома і перенести його з однієї молекули на іншу.

У 1986 році в м. Бостон була випущена книга співробітника MTI інженера Е. Дрекслера: «Машини творення: прихід ери нанотехнологій». В цій книзі Е. Дрекслер розвинув ідеї та вказав на реальне впровадження нанотехнологій в промисловість.

Велике значення має відкриття 1985 року, фулеренів Гарольдом Крото, Річардом Смоллі і Робертом Карлом, які разом 1996 року, отримали Нобелівську премію з хімії. С60 спочатку, не було віднесено до нанотехнологій; цей термін було використано у подальшому, по відношенню до роботи з відповідними графеновими трубками (так званими, вуглецевими нанотрубками, які іноді називають Bucky трубки), котрі запропоновано, як потенційно можливе застосування, для нанорозмірної електроніки та пристроїв.

На початку 2000-х років, ця область дістала підвищену наукову, політичну та комерційну увагу, що призвело до полеміки і прогресу. Розбіжності виникли з приводу визначень і потенційних наслідків нанотехнологій, приклади яких наведено у доповіді Королівського товариства з нанотехнологій й які було розв'язано у публічних дебатах, між Дрекслером і Смоллі у 2001 і 2003 роках.

Відомі своїми дослідженнями з вивчення фізичних, фізико-хімічних, біохімічних основ нанонауки інститути НАН України та АМН України (Чуйко О.О., Горбик П.П., Волков С.В., Головенко М., Ларіонов В., Розенфельд Г.Л., Шпак А.П.)

В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова (дир. – академік НАН України А.П. Шпак) розроблені методи одержання нанорозмірних дисперсних систем за допомогою електровибуху провідників і електричного пробою рідких середовищ. Ця методика дозволяє отримувати нанопорошки металів, а також вуглецеві наноматеріали: наноалмази, нанотрубки та фулерени.

В інституті фізики НАН України розроблено метод створення штучних наноструктур за допомогою стимульованих електричним полем поверхневих

хімічних реакцій на інтерфейсі рідина-грань (III) золота. Авторами відкриття стали А.Г. Науковець і О.А. Марченко.

Українські вчені відомі своїми дослідженнями по вивченню властивостей наноструктур кремнію. Членом-кореспондентом НАН України М.Я. Валах і співав. отримані цікаві дані про можливість керування характеристиками сам організованих Si-Ge наноструктур шляхом зміни традиційного ненапруженого кремнієвого буферного шару на напружений шар твердого розчину Si-Ge, приводить до змін розміру, форми, поверхневої щільності та компонентного складу сформованих наночастинок.

Аналізуючи дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених з нанотехнологій можна зробити такі узагальнення, які свідчать, що у світі проводяться інтенсивні дослідження з розробок нових технологій отримання наночастинок з вуглецю та металів. Ці дослідження значно інтенсифікувалися за останні роки. Так, за 2006-2009 роки кількість публікацій становить 60-70 % у порівнянні з 1977-2005 роками.

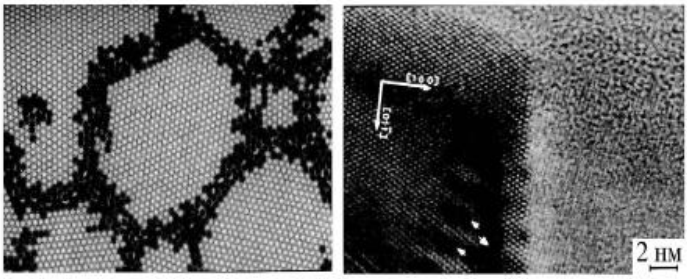
УДК 539.51
Власова О.О.[1]
[1]студ. гр. Мз-614м ЗНТУ

НАНОМАТЕРІЛИ, КЛАСИФІКЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ, СТРУКТУРА

Наноматеріали досить швидко увійшли в науковий світ і завдяки своїм унікальним властивостям набули застосування майже в усіх галузях виробництва і промисловості, починаючи від військових потреб, електроніки (підвищення інтеграції електронних компонент; нові матеріали з підвищеними характеристиками стійкості до температури, збереження своїх структурних, діелектричних, електрофізичних і магнітних властивостей; розроблення нових датчиків: газу, тиску, випромінювання (з широким діапазоном хвиль) на основі мембран з атомарною товщиною), машинобудування (зносостійкі, антикорозійні, захисні матеріали), будівництва (полегшені конструкції будівель, покращені бетоносуміші), сонячної, космічної, медичної галузей та закінчуючи побутом (нановокриття для збереження чистоти вікон, акваріумів; незабруднювальний та водонепроникний одяг).

Під наноматеріалами прийнято розуміти матеріали, структурні елементи зерна, кристаліти, волокна, шари, пори яких не перевищують нанотехнологічної кордону – 100 нм (1 нм=10^{-9} м), принаймні, в одному просторовому напрямку.

У доповіді розглянуті основні види наноматеріалів, їх властивості та структура. Останнім часом зріс інтерес до дослідження матеріалів з нанокристалічною структурою, так як виявилося, що зменшення розміру кристалітів (або будь-яких інших структурних утворень) нижче деякої граничної величини призводить до радикальної зміни фізичних властивостей цих матеріалів.



а б

а – модель наноструктурного матеріалу;
б – межі зерна в наноструктурній міді.
Рисунок 1 – Структура нанокристалічного матеріалу.

Космонавтика є однією з найбільш перспективних і масштабних областей застосування нанотехнологій і наноматеріалів. У найближчі роки різноманітні конструкційні та функціональні наноматеріали і вироби на їх основі будуть все ширше використовуватися при створенні нових зразків космічної техніки, що значно змінить підходи до конструювання КА і зіграє величезну роль в здійсненні великомасштабних космічних проектів першої половини XXI століття.

УДК 519.248:621.9.06
Frolov M.[1]
[1]assistant professor ZNTU

EVALUATION OF DISTRIBUTION PARAMETERS FOR CUTTING TOOLS RELIABILITY ANALYSIS

To simulate the reliability of any technical object and the metal-cutting tool in particular, including: prediction of the failure probability or that of the no-failure operation during certain time; prediction of the no-failure time; determination of the mean time between failures or time to failure; planning of the test programs etc., it is necessary to establish what kind of theoretical distribution law describes available empirical (selective) data. referring to the operation time to failure.

One of the mostly wide used distribution laws is Weibull distribution. This law, or rather a family of distributions, describes a wide range of processes such as yield stress of steel distribution [1] as well as failures in the reliability theory.

Based on Weibull distribution properties, the following equation can be obtained

$$V = \sqrt{\frac{\Gamma\left(1+\frac{2}{\alpha}\right)}{\Gamma^2\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)} - 1}\,, \qquad (1)$$

where $\Gamma(x)$ – general gamma function.

As it can be seen from Eq.3 – variation coefficient is the function only of the shape factor and thus vice-versa. Shape factor from variation coefficient V - can be approximated by the following empirical regression:

$$\alpha = b_0 V^{b_1}\,. \qquad (2)$$

Eq. (2) can be modified into simplified form that gives quite close results for $V \geq 0.15$ or $\alpha \leq 6.5$ that covers the main part of Weibull distribution application domain for reliability analysis [2]:

$$\alpha \approx \frac{1}{V}\,. \qquad (3)$$

It is interesting to check possibility of usage equations received for technical objects reliability analysis. Work [3] contains experimental data establishing dependence between variation coefficient and gamma-percent time-to-failure factor G for the wide range of metal cutting tools such as: cutters, drills, multiflute drills, screw taps and threading dies – totally 43 lots when γ=0.9, that taking into account eq. (3) is:

$$G = \frac{0.105^{V}}{\Gamma(1+V)}. \qquad (4)$$

Statistical analysis shows determination factor for eq. (4) and experimental data equal to 0.76 and adequacy of above model

REFERENCES

1. Weibull analisys handbook [Text] / R.B.Abernethy et all. – West Palm Beach, FL: Pratt & Whitney Aircraft, 1983. – 228 p.

2. Nielsen M.A. Parameter Estimation for the Two-Parameter Weibull Distribution [Text]: All Theses and Dissertations, paper 2509 / M.A.Nielsen. – Provo: Brigham Young University, 2011. – 99 p.

3. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента [Текст] / П.Г.Кацев. - М.: Машиностроение, 1974. – 231 p.

УДК 621.891.001

Івщенко Л.Й.[1], Комочкін М.С.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ
[2] старш. викл. ЗНТУ

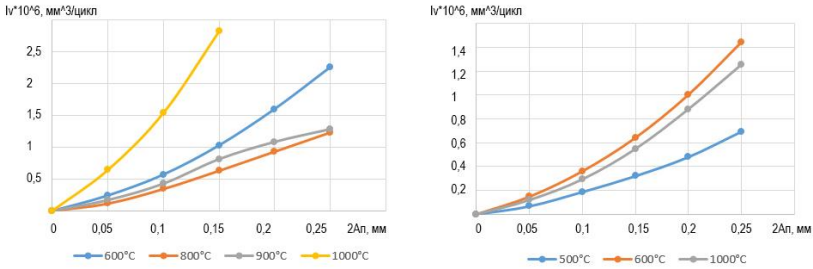
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АМПЛІТУДИ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЗРАЗКІВ ТА ШЛЯХУ ТЕРТЯ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ

Найпростіший спосіб визначення ресурсу трибоз'єднання з прийнятною для практики точністю полягає в знаходженні часу втрати його працездатності по закону зміни величини зносу (інтенсивності зношування) від часу напрацювання або інших показників, якими можна керувати. Такий закон можливо отримати в результаті випробувань при зміні режимів навантаження за програмою. Точність прогнозування при цьому буде вищою при якомога повному відтворенні умов роботи реального трибовузла.

Випробування проводились на газодинамічному стенді з автоматичною зміною режимів навантаження зразків. В процесі випробувань за програмою

стенд зупиняється після кожного циклу, а оператор виконує виміри сумарного зносу пари зразків безпосередньо на стенді.

Отримані раніше графіки залежності інтенсивності зношування (I_v) від амплітуди переміщень зразків ($2A_n$) із жароміцних сплавів ВЖЛ-2 та ЖС-26ВСНК при випробуваннях в діапазоні робочих температур від 500°С до 1000°С представлені на рисунку 1. На графіках видно, що збільшення амплітуди коливань невідворотньо призводить до зростання інтенсивності зношування нелінійно. Але наведені залежності справедливі для однакової кількості циклів навантаження деталей $N=0.5*10^6$.

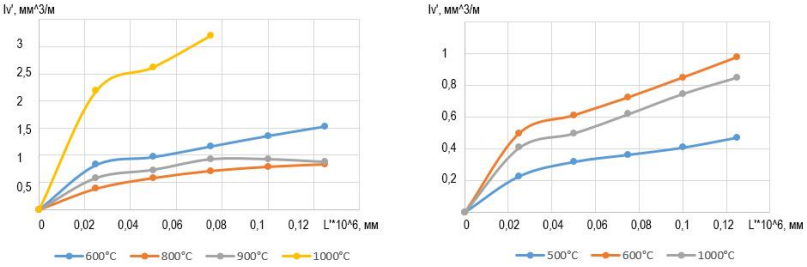


а б

а – сплав ВЖЛ-2; б – сплав ЖС-26ВСНК.

Рисунок 1 – Залежність інтенсивності зношування від амплітуди переміщень.

Проте, при однаковій кількості циклів навантаження зразків, із збільшенням амплітуди коливань шлях тертя пропорційно зросте. Для коректного відображення зміни інтенсивності зношування (I_v) необхідно виконати перерахунок її залежності від шляху тертя (L). Нові графіки представлено на рисунку 2.



а б

а – сплав ВЖЛ-2; б – сплав ЖС-26ВСНК.

Рисунок 1 – Залежність інтенсивності зношування від шляху тертя.

Аналіз отриманих графіків дає змогу припустити, що для кожного з досліджуваних матеріалів при визначеній температурі випробувань існує така величина шляху тертя, при досягненні якої інтенсивність зношування стане постійною, але видно, що при досягненні $L=0,04*10^6$ мм збільшення інтенсивності зношування відбувається лінійно. Такий характер зміни дозволяє спрогнозувати критичний час роботи контактуючих поверхонь (число циклів навантаження при відомій амплітуді) до моменту настання критичного зносу поверхонь.

УДК 621.762:669.018.25
Танченко С.В.[1], Івщенко Л.Й.[2]
[1] асист. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ЗНОСОСТІЙКОГО ШАРУ ДЛЯ НАПРЯМНИХ МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ

Беручі до уваги те, що напрямні металообробного обладнання під час роботи знаходяться під дією складної схеми динамічного навантаження, а також в умовах забруднення та абразивного зносу, можна зазначити, що одним з перспективних технологічних напрямків підвищення зносостійкості напрямних є формування захисних структур на контактуючих поверхнях, що здатні знижувати інтенсивність протікання процесів руйнування.

Матеріал зносостійкого покриття напрямних металообробного обладнання, що працюють в умовах дії складного динамічного навантаження повинен забезпечувати: опір ударним циклічним змінним навантаженням; збалансоване поєднання високої твердості та в´язкості; низький коефіцієнт тертя; хімічну інертність до матеріала ремонтного шару; опір окисленню та корозії; підтримувати підвищену адгезію по відношенню до контактуючого з ним матеріалу.

У сучасному виробництві все частіше використовують наноструктурні та мікроструктурні матеріали, що представляють собою тугоплавкі порошкові матеріали.

Як зносостійке покриття в основному використовуються самофлюсуючі сплави на нікелевій або кобальтовій основі і їх суміші з модифікаторами з тугоплавких і ультрадисперсних металів, карбідів, нітридів, оксидів і ін., які забезпечують утворення зміцнюючих фаз і покращують структуру покриття.

Для забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей поверхні напрямних потрібно визначити хімічний та фазовий склад матеріалу

покриття, що наноситься. Для вибору матеріалу можливе використання підбору його по функціональному призначенню покриттів (табл. 1).

Відповідно до необхідних властивостей зносостійкого шару до яких відносяться зносостійкість, корозійна стійкість та стійкість до схоплювання було обрано матеріали, що будуть входити до складу цього шару.

Проаналізувавши матеріали покриттів було визначенно, що дані властивості забеспечуються такими матеріалами: Al2O3, Cr3C2, Ni, Ti.

Даний хімічний склад відповідає порошку карбіду хрому-титану ПКХТН-30 (Cr3C2 + TiC), плакований нікелем. У нанесеному з такого порошку покритті частки карбідів грають роль зносостійкої основи, а нікель виступає в якості пластичної оболонки, що забезпечує адгезію покриття до ремонтного шару.

Таблиця 1 – Функціональні призначення покриттів

№	Матеріал покриття	Характеристика поверхневого шару, що покращується за допомогою покриття
1	Al_2O_3, Al-Ni, Cr-B-Ni-Si, Ni-Ti, Mo, Cr_2O_3, Cr_3C_2, WC, $MgAl_2O_3$, Ni	Зносостійкість
2	Al, Al_2O_3, Cr, Ti, Zn, Cr_2O_3, Al_2O_3-TiO_2, Ni, Cr_3C_2	Корозійна стійкість
3	Al_2O_3, ZrO_2, Al-Ni, Mo, ZnB, $MgAl_2O_4$	Термостійкість
4	Cr_2O_3, ZrO2, WC-CO, TiC, Cr_2O_3, Cr-B-Ni, Ni	Ерозійна стійкість
5	WC, W, Mo, Cr-Ni, $MoSi_2$, $MgAl_2O_4$	Жаростійкість
6	Al_2O_3, Al-Ni, Ti-Ni, ZrO_2, Cr_3C_2, Ni	Проти схоплювання рухомих частин
7	Al_2O_3, NiSi2, Al-Ni, ZrO_2	Теплоізоляція
8	Al_2O_3, $BaTiO_3$, SiO_2, MgO-Al_2O_3	Електроізоляція
9	Al, Ni, Ti-Ni, Mo	Герметичне з`єднання

УДК 621.9.06
Солоха В.В.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ СТИКУВАННЯ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА НА ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ

На точність обробки на металорізальних верстатах суттєвий вплив чинять температурні деформації його деталей та вузлів. Найбільшим чином проявляється вплив елементів верстата, що входять до ланцюга деталь - інструмент: шпиндельного вузла, станини, супорта. В цьому ланцюгу найвищою температурою виділяється шпиндельний вузол, основними джерелами тепловиділення в якому є опори шпинделя. Температурні деформації шпиндельного вузла з погляду точності обробки доцільно характеризувати температурними зсувами осі шпинделя в просторі. Найбільш суттєво на точність впливають зсуви осі в площині руху інструмента, на точність розміру і, в разі перекосу осі, на точність форми.

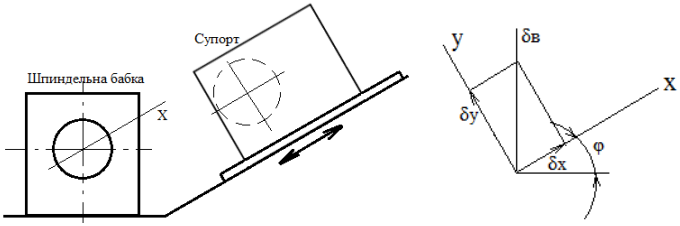
Температурні зсуви осі шпинделя визначаються характером нагріву стінок шпиндельної бабки та розмірами деформованої частини деталі

$$\delta = \beta \cdot \Delta T \cdot l, \qquad (1)$$

де δ – температурний зсув; β – коефіцієнт лінійного розширення; ΔТ – приріст температури; l – довжина деформованої ділянки.

Вплив розмірів деформованих елементів шпиндельної бабки на величину і напрямок зсуву осі шпинделя розглядався в роботі [1]. Таким чином можна мінімізувати температурні зсуви в площині базування шпиндельної бабки, але не в площині перпендикулярній до базової, де розмір деформованої ділянки залежить від діаметра обробки на верстаті. Зменшення впливу температурних деформацій шпиндельної бабки можна досягти використанням термосиметричних конструкцій вузла. Ефект від використання таких конструкцій досягається в разі розміщення і базування її на площині паралельній площині руху інструмента (площина X-Z в токарних верстатах з ЧПУ). В разі, якщо площина базування шпиндельної бабки не співпадає з площиною X-Z, на точність обробки будуть впливати температурні зсуви в вертикальній площині (рис. 1).

Так для повністю симетричної шпиндельної бабки відносно вертикальної осі в разі її встановлення на горизонтальній площині напрямних, тоді як супорт рухається напрямними піднятими від горизонталі на 30°, температурні зсуви за віссю X складуть 0,037 мм (висота центру 250 мм, надмірна температура 25°С), що становить більше половини поля допуску на розмір за 8 квалітетом і третину – за 9 квалітетом.



а б

а – схема установки шпиндельної бабки і супорта; б – розрахункова схема.
Рисунок 1 – Схеми до розрахунку температурних зсувів.

Вплив вертикальних температурних зсувів на точність обробки усувається базуванням шпиндельної бабки на площині паралельній площині руху супорта, але в такому разі, зі збереженням геометричної симетрії, порушується симетрія термічна, оскільки змінюються умови теплообміну з бічних стінок бабки: зі стінки повернутої догори тепловіддача зростає, а зі стінки нахиленої донизу зменшується. Конструкція шпиндельної бабки, що забезпечує мінімальні температурні впливи на точність обробки наведена на рис. 2.

Проектуючи конструкцію шпиндельної бабки доцільно так вибирати її розміри, щоб зсуви за віссю X відбувалися до інструмента, що дозволить частково компенсувати інші складові похибки обробки, зокрема пружні відтискання та знос інструмента.

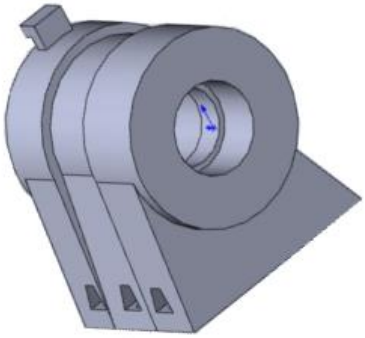


Рисунок 2 – Термосиметрична конструкція шпиндельної бабки для похилого компонування верстата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Солоха, В.В. Влияние схемы закрепления на температурные деформации шпиндельной бабки [Текст] / В.В. Солоха // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. 1998. – № 52. – С. 190–194.

УДК 621.891:669.018.44

Циганов В.В.[1], Івщенко Л.Й.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ

МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЗНОСОСТІЙКІСТЮ ТРИБОЗ'ЄДНАНЬ ПРИ БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Велика частина деталей трибоз'єднань різних машин і механізмів в процесі експлуатації знаходиться в умовах удару з прослизанням і удару з прослизанням в двох взаємно перпендикулярних напрямах у зв'язку з функціональними взаємними переміщеннями у різних напрямах, наявністю вібрацій або їх комбінаціями. Такий комплекс умов навантаження викликає складний напружений стан поверхневих шарів контактуючих пар.

Проведені дослідження дозволили встановити, що величина і розподіл зносу по контактній поверхні при терті залежить від розподілу нормального динамічного навантаження. Підвищений знос відбувається у деталей з однорідним рівноміцним поверхневим шаром. Складний характер навантаження призводить до утворення одноріднішого поверхневого шару, зниження його міцності, отримання більш рівномірної мікрогеометрії поверхні, яка супроводжується зниженням величини і розкиду роботи виходу електрону по поверхні.

Триботехнічні основи підвищення зносостійкості деталей трибоз'єднань при багатокомпонентному термомеханічному навантаженні полягають у створенні зносостійкого поверхневого шару при виготовленні та експлуатації за рахунок обліку й управління первинними технологічними та експлуатаційними чинниками і реалізуються, в основному, двома шляхами: конструкторським і технологічним. Конструкторські спрямовані на зміну параметрів навантаження в трибоз'єднаньні: зменшення нормального навантаження, виключення ударного навантаження, зменшення амплітуди поперечних прослизань, зменшення амплітуди подовжніх прослизань. Технологічні спрямовані на створення умов контактування що забезпечують формування поверхневого шару підвищеної зносостійкості: створення поверхневого шару з неоднорідним структурним станом, впровадження в

зону контакту вільних макрорадикалів без подання ЗОР, забезпечення в зоні контакту мінусових температур довкілля, забезпечення для жароміцних сплавів підвищених температур довкілля близько 0,4 - 0,5 Тпл.

Розроблений алгоритм управління зносостійкістю трибоз'єднання, який дозволяє формалізувати процедуру інтерпретації отриманих результатів величини зносу і стану поверхневого шару, порівняти отримані дані з еталонними (експериментальними або теоретичними), по логічному результату порівняння вичислити логічні функції для оцінки зносостійкості і умов подальшої експлуатації трибоз'єднання.

Використання запропонованих рекомендацій дає можливість цілеспрямовано розробляти (чи вибирати з числа існуючих) високоефективні конструктивно-технологічні засоби підвищення працездатності деталей в екстремальних умовах, створювати конструкції нових фрикційних пристроїв і значно скорочувати терміни їх впровадження у виробництво, забезпечувати виготовлення в процесі фінішних механічних операцій зносостійких деталей під конкретні умови навантаження в трибоз'єднанні. При цьому створюються додаткові передумови для обґрунтованого вибору матеріалів пар тертя під конкретні умови експлуатації і розробки нових зносостійких матеріалів і покриттів

УДК 539.32
Глушко П.В.[1]
[1]старш. викл. ЗНТУ

МЕХАНІЗМИ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ВИСОКОДЕМПФУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Пружний характер деформації металів і сплавів визначається опором атомів кристалічної решітки взаємному віддаленю, зближенню або зрушенню. Розсіювання енергії при циклічному навантаженні (внутрішнє тертя, демпфування) є універсальною властивістю твердих тіл, інтегральною характеристикою процесу непружності, що розвивається як на атомно-дислокаційному, так і на макроскопічному рівні.

Різні види процесу розсіювання енергії можна об'єднати в три основні групи, що включають релаксаційні, резонансні і гістерезисна механізми. Прикладення до твердого тіла зовнішньої знакозмінної напруги викликає дію всіх цих механізмів, але їхній внесок у загальне загасання залежить від умов навантажень. Властивості кожної групи визначаються складом і структурними властивостями матеріалу. Внутрішнє розсіювання енергії в матеріалі викликають:

- втрати магнітного походження (пов'язане з макро- і мікровіхревимі струмами);

- легкорухливі дислокації в структурі (обумовлено структурною неоднорідністю будови металу);

- виражена гетерогенна структура (розсіювання енергії шляхом мікропластичної деформації; поглинання енергії в слідстві тертя на кордонах - матриця наповнювач; магнітомеханічне загасання, коли металева матриця феромагнітні);

- оборотний мартенсит і пружні двійники в структурі (обумовлено процесами фазової перебудови і пружного двійникування в процесі фазової перебудови)

Розуміння принципу виникнення і найбільш ефективної роботи внутрішнього тертя в металах дозволить підвищити ефективність використання конструкційних матеріалів в машинобудуванні. Досягнення високої ефективності демпфуючих порошкових матеріалів може бути можливим тільки завдяки тому, що данні методи дозволяють найбільш широко і повно розкритися механізмам внутрішнього тертя.

УДК 621.9
Штанкевич В.С.[1]
[1]старш. викл. ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЗМІНИ ПОВЕРХНІ РІЗАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАНІ ФРЕЗ ІЗ ЗМІННИМ ОКРУЖНИМ КРОКОМ

Найчастіше обробка деталей що використовуються у сучасному авіа-двигунобудуванні відбувається у третій швидкісний зоні [1], для якої характерна активна дія автоколивань, що здійснює негативний вплив на якість оброблюваної поверхні, стійкість інструменту та продуктивність обробки. Тому зниження рівня автоколивань при кінцевому фрезеруванні є актуальною задачею.

Причинами появи автоколивань є те, що товщина шару зрізаємого матеріалу періодично змінюється, це явище виникає через хвилястість, яка залишається на поверхні різання від проходу попереднього зуба. Для зменшення інтенсивності регенеративних автоколивань використовуються різноманітні демпфуючі заходи такі як: технологічні - збільшення подачі, модуляція швидкості різання; так і конструктивні – змінний або збільшений кут нахилу гвинтової різальної кромки, нерівномірний окружний крок зубів фрези.

В роботі [2] встановлено що найкращий ефект пригнічення автоколивань при фрезеруванні в умовах обмеженої регенерації, коли між врізання зубів відсутній холостий хід, досягається при зсуві фаз хвиль автоколивань між сусідніми різами, рівному половині їх довжини. У досить широких околицях цього значення придушення автоколивань також відбувається, але слабкіше.

На відміну від сказаного недослідженим є кінцеве фрезерування з тонкими зрізами, при якому завжди ріже тільки один зуб, тому до врізання наступного зуба є час холостого ходу. При цьому зсув по фазі забезпечується рухом подачі. За рахунок цього на кожному зрізі при зрізанні хвилястою поверхні різання змінюється товщина перерізу зрізаного шару, що впливає на інтенсивність автоколивань і глибину западини, що залишається на обробленої поверхні. В результаті цього на ній виходить хвилястий профіль [3].

Використання фрез зі змінним кроком при кінцевому фрезеруванні з малими зрізами направлено на забезпечення однакової глибини западин що залишаються на поверхні різання. При цьому зубці інструменту повинні розташовуватися таким чином, щоб кожне врізання починалося з приблизно однакової товщини зрізаємого шару.

Вивчення можливостей управління цим процесом проводилося при кінцевому зустрічному фрезеруванні за допомогою фрези з двома регульованими зубами [3] на експериментальному стенді [4]. Конструкція фрези дозволяє змінювати кутове положення зубів від рівномірних 180º до 270º і 90º між ними. При експериментах досліджувався зсув по фазі хвиль автоколивань між сусідніми різами після повороту зуба від 0º до 30º з кроком 2,5º.

зсуву по фазі хвиль автоколебаний двох послідовних різів. При меншому куті між зубами має від'ємне значення (наступна хвиля знаходиться лівіше попередньої). При більшому куті між зубами зрушення має позитивне значення (наступна хвиля знаходиться правіше попередньої).

Такий рух хвиль дозволяє трохи знизити інтенсивність автоколивань при зрізанні першого виступу на поверхні різання. Але при попаданні в товщину зрізу западини між хвилями на поверхні різання амплітуда знову збільшується, і профіль обробленої поверхні виходить аналогічно фрезеруванню фрезою з рівномірним окружним кроком - хвилястий. Кращі результат при фрезеруванні були отриманий при куті повороту рухомого зуба на 12,5º. При цьому висота хвилястості обробленої поверхні зменшилася на 36%.

В цілому результати досліджень показали, що застосування фрез зі змінним кроком при фрезеруванні тонких зрізів в умовах дії автоколивань

впливає на зміну глибини западини що залишається на обробленій поверхні, але для отримання кращих результатів потрібні додаткові дослідження.

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

2. Свинин, В. М. Фрезерование с модулированной скоростью резания: монографія [Текст] / В.М. Свинин // В.М Под ред. А.И. Промптова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 302 с.

3. Пат. UA 122231 Україна, МПК(2016.01) B23C 5/00. Фреза з регульованими параметрами [Текст] / Дядя С.І., Козлова О.Б, Штанкевич В.С., Комочкін М.С. (Україна), заявник і патентовласник ЗНТУ. – №u201707599; заявл 18.07.2017; опубл 26.12.2017, Бюл. № 24. – 2 с.

4. Внуков, Ю.Н. Стенд для изучения механических колебаний при фрезеровании маложестких деталей при концевом фрезеровании [Текст] / Ю.Н. Внуков, В.А. Логоминов, П.А. Каморкин // Резание и инструмент в технологических системах. – Вып. 180. – С. 32 –37.

УДК 621.431
Матвєєнко Л.С.[1], Циганов В.В.[2]
[1] асист. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ

ВПЛИВ ПОЛІМЕРУ У СКЛАДІ МОР НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ

Висока ефективність механічної обробки металів проявляється у підвищенні якості обробленої поверхні, стійкості інструменту, зниженні температури та сили різання. Досягається це правильно обраними умовами різання та властивостями мастильно-охолоджувальної рідині (МОР). При цьому перспективним є використання МОР з полімерною складовою.

Введення полімерів до складу МОР може здійснюватись за допомогою розчинів і дисперсій високомолекулярних сполук. Використання полімерів у різних технологічних процесах обробки металів, зумовлено здатністю полімерів активувати процес поверхневого деформування і диспергування оброблюваних поверхонь подібно до дії поверхнево-активних речовин.

Аналізом літературних джерел обґрунтовано, що досягнення бажаного ефекту залежить від характеристики оброблюваного металу, хіміко -

фізичних властивостей, молекулярної маси та концентрації полімеру, а також від режимів різання.

Попередня оцінка впливу полімеру на ефективність різання була проведена при токарній обробці конструкційної сталі 40Х з використанням поліметилметакрилату, який характеризується підвищеною дистуктованістю. При цьому проводився порівняльний аналіз впливу розчину 0,5% та 1% концентрації полімеру у ацетоні та безполімерного ацетону.

Визначено, що наявність поліметилметакрилату у зоні різання за умов, що досліджувались призводить до зменшення сили і температури різання та підвищення зносостійкості різця.

Відмічена доцільність проведення додаткових досліджень по визначенню впливу різних полімерів на показники різання важкооброблюваних матеріалів.

УДК 621.95
Комочкін М.С.[1], Ліпіліна О.С.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-214м ЗНТУ

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПЛАНЕТАРНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

В машинобудуванні при обробці деталей складної геометричної форми значну частину операцій становить механічна обробка отворів. Часто висуваються більш жорсткі вимоги щодо точності, якості, форми й розташування отворів, а також економічності та продуктивності їх обробки. Найбільш розповсюдженими є традиційні способи, як наприклад свердління, розгортання, зенкерування, розточування тощо. Але отримання необхідного розміру та параметрів якості отвору зазвичай досягається за декілька операцій та не одним осьовим інструментом, зміщення якого усувається за допомогою кондуктора з направляючими втулками. Всі ці фактори ускладнюють процес, підвищують його вартість та трудомісткість, збільшують номенклатуру інструменту й сприяють підвищенню допоміжного часу на, а також знижують продуктивність та збільшують цикл обробки взагалі.

Виходячи з порушеного питання, був проведений літературний огляд та виконаний аналіз існуючих способів механічної обробки отворів на базі планетарного руху інструменту як більш ефективної.

Перший спосіб, який був розглянутий, це «прецесійне» свердління, суть якого полягає в узгодженій сукупності трьох рухів: обертання різального

інструменту навколо власної осі, яка розташована під кутом до осі отвору; прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору; осьової подачі. Для реалізації обробки використовується спеціальної конструкції фреза з особливими геометричними параметрами та механізм оригінального пристрою, який кріпиться до шпинделя свердлильного верстату й забезпечує перші два рухи. Переваги: високі показники якості та точності оброблених отворів; один інструмент дозволяє обробити отвори різного діаметру; поліпшене відведення стружки та зменшення температури нагріву інструменту. Недоліки: висока вартість обробки; розробка та виготовлення спеціальних інструменту та пристрою для реалізації планетарного руху; складна конструкція та трудомісткість ремонту пристрою; в конструкції пристрою закладена певна характеристика планетарного руху; точність обробки визначається точністю підшипникових вузлів.

Іншим способом є обробка отвору поверхневим пластичним деформуванням за допомогою розкатки, що здійснює планетарний осцилюючий рух. Розкочування супроводжується статико-імпульсним навантаженням деформуючих елементів інструменту, яке істотно покращує якість обробленої поверхні отвору і підвищує в кілька разів продуктивність. Тому такий варіант застосовується як чистова обробно-зміцнююча операція. Відмінною особливістю запропонованої розкатки є те, що деформуючі елементи встановлені на штангах рухомо щодо корпусу і переміщуються як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках, тобто поєднують обертальний рух зі зворотно-поступальним. В результаті полегшується деформація мікронерівностей оброблюваної поверхні, а змінні сили активно перерозподіляються в площині розкочування, і в кілька разів зменшується сила тертя. Крім того, підвищується стійкість інструменту, отримується зносостійкий поверхневий шар, знижується собівартість виготовлення деталей. Недоліки: залежність точності й якості обробки отвору від точності розмірів, форми і якості поверхні заготовки; перед розкочуванням необхідна попередня чистова обробка отвору.

Третій спосіб, планетарна внутрішньошліфувальна обробка отворів, застосовується у випадках, коли ускладнено обертання деталі через її великі розміри та вагу. Але, незважаючи на отримані високі показники якості та точності, внаслідок низької продуктивності цей варіант використовується досить рідко.

Одним з перспективних способів є планетарне фрезерування отворів на верстатах з ЧПК, яке реалізується двома стратегіями: методами кругової та гвинтовий інтерполяції. Кожна зі стратегій являє собою трьох осьову обробку, але перша полягає в русі інструменту по колу на заданій глибині, а

друга – в зануренні інструменту в матеріал заготовки по спіральній траєкторії.

Переваги планетарного фрезерування отворів на верстатах з ЧПК полягають в тому, що, на відміну від обробки на універсальних верстатах, як ріжучий інструмент використовується кінцева фреза, траєкторія руху якої задається програмою, що дозволяє отримати отвори різної форми та розмірів. Точність та якість поверхні досягається одним інструментом без використання пристосування. Отже, універсальність даного способу дозволяє скоротити кількість переходів та номенклатуру ріжучого й допоміжного інструменту, в тому числі виключає використання коштовного комбінованого інструменту. Покращується стружковідведення та тепловідведення за рахунок різниці діаметрів оброблюваного отвору і ріжучого інструменту. Вказані переваги дозволяють зробити висновки, що планетарне фрезерування отворів забезпечує підвищення продуктивності, скорочення циклу обробки та собівартості виготовленої деталі.

УДК 621.9.02
Комочкін М.С.[1], Тітко В.В.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-214м ЗНТУ

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ЗВОРОТНЬОГО ЦЕКУВАННЯ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

В техніці існує безліч корпусних деталей, конструкція яких передбачає наявність фланців і отворів, призначених для з’єднання і закріплення інших елементів конструкцій. Часто вимоги точності взаємного розташування осей отворів і торців (їх перпендикулярності) досить високі. У ряді випадків існує необхідність додаткової чистової обробки торців отворів з протилежного боку від шпинделя верстата. Таку обробку неможливо здійснити традиційними інструментами, такими як цековки за один установ, або потрібна додаткова операція (фрезерування). Часто ситуацію ускладнює конструкція оброблюваної деталі – так розташовані поруч паралельні фланці заважають обробити поверхні між ними, або розташування отвору близько до високої стінки не дає можливості здійснити обробку навіть з переустановленням унаслідок нестачі вильоту ріжучого інструменту.

Літературний огляд з цього питання показав, що на сьогодні існує декілька конструкцій інструментів що дозволяють виконати зворотне цекування торців отворів без переустановки деталі на одній операції одразу

після переходу свердління. Для аналізу було вибрано 3 інструменти різних конструкцій.

Принцип роботи всіх розглянутих інструментів однаковий: в складеному вигляді цековка входить в оброблюваний отвір наскрізь таким чином, щоб мати змогу висунути ріжучий елемент. Після чого обертаючись і переміщуючись вздовж осі отвору на робочих режимах інструмент здійснює обробку торця отвору, протилежного до шпинделя. Після врізання на необхідну глибину цековка відводиться знову вглиб отвору для закриття ріжучого елементу і виводиться із отвору.

Механізм розкриття і закриття цековок в кожній з проаналізованих конструкцій виконано з принциповими відмінностями.

Для подальшого конструктивного опрацювання і модернізації з ціллю розширення функціональних можливостей обрана цековка BSF фірми HEULE.

Переваги обраної цековки в порівнянні з іншими: працює без необхідності зміни напряму обертання; має простий механізм повороту різальної пластини у поєднанні з внутрішньою системою тиску охолоджувальної рідини; працює як вертикально, так і горизонтально.

УДК 621.431.75
Івщенко Л.Й.[1], Середа О. А.[2]
[1] д-р техн. наук, проф. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-214м ЗНТУ

СПОСІБ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ КОЛИВАНЬ ПАКЕТІВ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Актуальність даної теми полягає у підвищенні ресурсу роботи газотурбінного двигуна (ГТД). А, як відомо, ресурс роботи всього вузла залежить від терміну роботи кожної деталі окремо, точніше – від найслабшої ланки (деталі). У ГТД такою ланкою, на жаль, є лопатки, які працюють у найбільш важких умовах роботи (динамічні та циклічні навантаження, циклічні термічні напруження, агресивне газове середовище, високий тиск тощо), за рахунок чого найшвидше зношуються або взагалі руйнуються.

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. Бандажування лопаток дозволило знизити рівень динамічних напружень в них. Водночас, з'являється явище коливання таких бандажованих лопаток пакетами. При цьому, кількість таких пакетів

(секторів), та лопаток у них на робочому колесі турбомашини може бути різною [1].

Контроль фактичного зношування бандажних полиць лопаток по робочому колесу та побудова колової діаграми за його результатами свідчать про нерівномірний знос контактних поверхонь бандажних полиць. На ГТД з різним ресурсом роботи величина зносу лопаток сягає 0…0,7 мм. Подібних екстремумів зносу на одному робочому колесі може бути декілька. Саме явище пакетного коливання може пояснювати максимальні величини зносу лопаток, розташованих на стиках секторів.

Основною задачею є розробка обладнання для експериментального виявлення кількості пакетів за величиною частот коливання. Для цього пропонується розробити повітряно-динамічний стенд, який буде побудовано на базі пускового допоміжного ГТД АІ-8, за допомогою лазерних допплерівських віброметричних датчиків.

Конструкція буде складатися з наступних елементів (див. рис. 1): шина з вібродатчиками (1), робоче колесо турбомашини (2), сопловий апарат (3), вал турбіни (4), колесо відцентрового компресора (5), електродвигун (6).

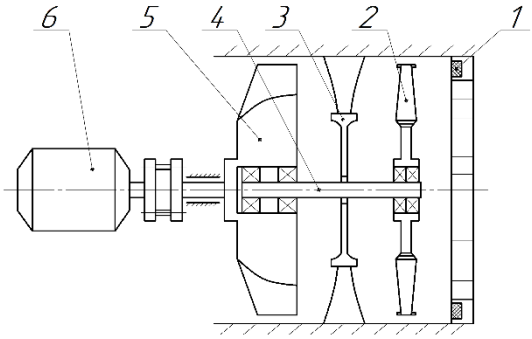


Рисунок 1 – Принципова схема повітряно-динамічного стенду.

Розробка методики визначення кількості секторів (пакетів) коливань лопаток турбомашини під час її роботи дасть можливість підтвердження гіпотези максимального зносу бандажних полиць лопаток на стиках секторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Челомей, В.Н. Вибрации в технике [Текст] / В.Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1980. – 544с. – (Справочник: 6 т. / В.Н. Челомей; т. 3).

СЕКЦІЯ «ДЕТАЛІ МАШИН І ПТМ»

УДК 621.3
Мартовицький Л.М.[1], Глушко В.І.[1], Сочава А.І.[1], Бут М.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м ЗНТУ

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРЕЙФЕРІВ ДЛЯ ЗАЧЕРПУВАННЯ КРУГЛИХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

Для зачерпування круглих лісоматеріалів застосовуються грейфери з гідроприводом (на маніпуляторах), моторні грейфери з електроталем. При зачерпуванні круглих лісоматеріалів, які мають різний діаметр кругляка в одній пачці, об'єм заповнення кругляком кожного зачерпування різний, а об'єм між закритими щелепами для більшості типів грейферів стабільний. В результаті поширена ситуація, коли зачерпнуті круглі лісоматеріали не повністю заповнюють простір між закритими щелепами. При цьому незатиснуті щелепами кругляки нестабільні в своєму положенні та можуть при маневруванні випасти із грейфера, що призводить до травм людей та пошкодженню обладнання.

Для усунення приведених недоліків в грейферах для круглих лісоматерів рекомендується щелепи виконувати у вигляді зубців неоднакової кількості на кожній із зміщенням на півкроку зубців однієї щелепи відносно зубців другої щелепи. Це дозволяє закривати щелепи з можливістю перезаходу щелеп. В цьому випадку будь-яка кількість лісоматеріалів буде надійно затиснута в грейфері при кожному зачерпуванні.

УДК 620.178.3
Сочава А.І.[1], Глушко В.І.[1], Мартовицький Л.М.[1], Сиромолотов А.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м ЗНТУ

ЯК КОНЦЕНТРАТОР НАПРУЖЕНЬ ВПЛИВАЄ НА ЦИКЛІЧНУ ВТОМУ СТАЛІ

Деталі машин, що працюють при асиметричних навантаженнях розраховують, як правило, з урахуванням коефіцієнта асиметрії циклу. Але дані про опір втомі конструкційних матеріалів найчастіше обмежуються симетричним циклом, оскільки такий режим порівняно легко реалізується на машинах згину з обертанням.

Для перерахунку на потрібний коефіцієнт асиметрії використовуються аналітичні залежності, які апроксимують криві однакової довговічності діаграм граничних амплітуд.

Рідкісні також дані про опір конструкційних матеріалів втомі в умовах асиметрії циклу при наявності концентраторів напружень. В деяких роботах вказується, що ефективний коефіцієнт концентрації не залежить від рівня середніх напружень циклу, а значить він є належним і від коефіцієнта асиметрії циклу. Але, як показано в роботі дане ствердження є сумнівним.

В зв'язку з цим в даній роботі проведені дослідження плоских зразків зі сталі 09Г2С завтовшки 5 мм з центральним отвором Ø 5 мм. Ширина зразка 25 мм (теоретичний коефіцієнт концентрації $\alpha_\sigma = 2{,}5$). Характеристики міцності сталі $\sigma_в = 500\,МПа$, $\sigma_т = 400\,МПа$, $\sigma_{вс} = 820\,МПа$.

Експерименти проведені на установці, створений в ЗНТУ, яка дозволяє здійснювати випробування на розтягання-стискання з будь-яким коефіцієнтом асиметрії циклу.

Дослідження виконані при наступних середніх напруженнях циклу: 0, +100, +200, +300, -100, -200 МПа. Результати експерименту представлені на рис.1 діаграмою граничних амплітуд.

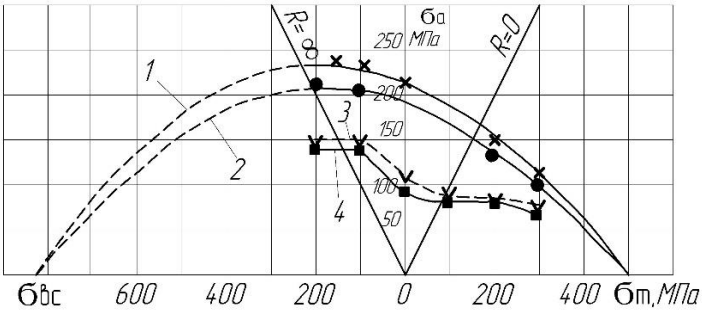


Рисунок 1 – Діаграми граничних амплітуд сталі 09Г2С.

Криві 3 і 4 відображають результати випробувань зразків з концентратором (криві 1 і 3 – для довговічностей 10^6 циклів; 2, 4 – для довговічностей 10^7 циклів).

Ефективні коефіцієнти концентрації напружень k_σ визначають як стосунок ординат кривих 1 і 3, 2 і 4 при відповідних середніх напруженнях циклу. Діаграма свідчить, що ефективні концентратори напружень k_σ мають найбільші значення при циклах, близьких до симетричних.

При симетричних циклах $k_\sigma = 2{,}1$; при середніх напруженнях $\sigma_m = 300\,\text{МПа}$ k_σ зменшується до 1,54.

Даний факт можна пояснити тим, що зі збільшенням асиметрії циклу в зоні концентратора з'являються місцеві напруження, які перевищують границю текучості, що викликає появу протилежних за знаком залишкових напружень, які зменшують напружений стан в зоні концентратора при зовнішніх навантаженнях, зменшуючи дію концентратора.

Результати досліджень, які отримані в даній роботі можуть бути корисними конструкторам для більш повного використання службових характеристик конструкційних матеріалів з метою оптимізації маси і довговічності металоконструкцій кранів і інших виробів.

УДК 621.8
Фролов Р.О.[1], Сезоненко П.С.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м ЗНТУ

КОНТАКТНА ВИТРИВАЛІСТЬ СТАЛЕЙ ДІ-3А З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Контактна витривалість – це здатність матеріалу опиратись контактній втомі, тобто процесу поступового пошкодження поверхневих шарів деталей, що працюють в умовах циклічних контактних навантажень. Навантаження в зоні контакту створюють напруження стиску в поверхневому шарі деталей, протікають мікро-пластичні деформації та утворюються тріщини. В результаті цього процесу на поверхні деталі утворюється дефект під назвою «піттінг». Найчастіше данні дефекти виникають на доріжках кочення підшипників та зубчастих передач. Для передач, що працюють у важких умовах, а особливо під дією високих температур, переважно застосовують заевтектоїдні цементовані сталі. Однією з таких є сталь 14ХГСН2МА (ДІ-3А). У даному дослідженні було проведені випробування контактної витривалості сталі ДІ-3А з різними варіантами зміцнення – цементованої та зміцненої ультразвуковим способом.

Ультразвукове зміцнення (УЗЗ) виконували вільними кульками із сталі ШХ15 з частотою 18-24 кГц. В результаті многократного зіткнення з поверхнею деталі або зразка створюються сприятливі напруження стиску у поверхневому шарі. Спостерігалось збільшення мікротвердості у 1,5…2,0 рази з глибиною зміцненого шару 0,3…0,4 мм.

Результати випробувань показали що гарантована довговічність для цементованої сталі ДІ-3А склала $N_{10}=8{,}73\cdot10^6$ циклів, а середньо

логарифмічна довговічність склала $N_{50}=28,52\cdot10^6$ циклів. У той час для варіанту сталі
ДІ-3А+УЗЗ зміцненої ультразвуком $N_{10}=9,98\cdot10^6$ циклів та $N_{50}=32,43\cdot10^6$ циклів.

Із отриманих результатів можна зробити висновок, що ультразвукове зміцнення підвищує гарантовану довговічність на 15 % та середньо логарифмічну на 12 %.

УДК 624.014.2.001.2
Лятуринський В.О. [1], Стефаник М.Д. [2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м ЗНТУ

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕТИНІВ КРАНОВИХ РЕЙОК

Постановка проблеми. Державні стандарти на підкранові шляхи в Україні відсутні, що не дозволяє будівникам користуватися стандартизованим типорозмірним рядом підкранових рейок в залежності від вантажності крану. Форми кранових рейок що використовуються сьогодні у світі досить різняться. Необхідні рекомендації щодо найбільш раціональних перетинів рейок з позиції контактних напружень.

Методики. Об'єктивні результати рішення контактних задач поверхонь довільної геометрії сьогодні отримується з використанням методу кінцевих елементів (МКЕ) [1]. Кінцево-елементний аналіз проводився в нелінійній постановці із поступовим нарощуванням прикладеного навантаження та перебудовою моделі контакту та відповідних матриць жорсткості на кожному кроці додатного навантаження. Лише зазначений підхід дозволяє отримувати об'єктивні рішення контактних задач із значним рівнем еквівалентних деформацій кінцевих елементів та відповідною змінністю площі плями контакту навантаженої / не навантаженої контактної пари.

Результати. В результаті проведених досліджень контактної взаємодії пар колесо-рейка різних габаритів встановлено наступне:

1) Жоден із наявних профілів рейок не забезпечує ідеальних умов контакту із циліндричним колесом. За ідеальний контакт можна прийняти таку контактну пару колесо/рейка в якій за дії максимального статичного навантаження на колесо, пляма контакту колесо/рейка сягає всієї ширини голівки рейки. Найбільш близькі до цієї форми рейки за DIN стандартами [2].

2) Рейки із малими радіусами кривизни голівок не рекомендується використовувати із циліндричними крановими колесами. Мінімальним

радіусом кривизни голівки рейки можна приймати 400 мм. Рекомендовані – більше 500 мм.

Таблиця 1 – Рекомендації щодо уніфікації кранових рейок

Діаметр колеса, мм	до 250	до 400	до 750	більше 750	більше 1200
Ширина рейки, мм	40	50	70	100	120
Радіус кривини голівки рейки R, мм	Пласка	≥ 400	≥ 500	≥ 600	

Висновки. Доведено, що вузькі залізничні рейки слід вважати неприйнятними для кранів із циліндричними колесами через те, що радіус кривини їх голівок є дуже малим і це спричиняє високі контактні напруження в колесі та рейці. Виявлено, що рекомендації по використанню підкранових рейок, що сьогодні використовуються в Україні потребують перегляду і погано корелюють із стандартами інших країн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

2. DIN 536-1 DIN 536-1 - Crane Rails Hot Rolled Flat Bottom Crane Rails (Type A) Dimensions, Section Parameters and Steel Grades. – Germany, 1991. – 5 P.

УДК 621.874

Руднєв О.М.[1], Путятін А.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕДУКТОРІВ З ВЕЛИКИМ ПЕРЕДАТНИМ ЧИСЛОМ В МЕХАНІЗМАХ ПІДЙОМУ ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У якості вирішення комплексної програми виведення Чорнобильської АЕС з експлуатації запропонована ідея будівництва заводу з переробки рідких радіоактивних відходів (ЗПРРВ). ЗПРРВ призначений для переробки рідких радіоактивних відходів, накопичених за час експлуатації і тих, які утворилися в процесі зняття з експлуатації ЧАЕС, а також експлуатаційних РРВ об'єкта "Укриття" експлуатації реакторів.

Мета роботи є дослідження доцільності використання хвильових редукторів у механізмах підйому крана мостового типу, який розташовано на ЧАЕС.

Предметом дослідження є явище вібрації та резонансу у хвильових передачах, а також рівень безпеки кранів , які працюють в зоні підвищеної радіації, за нормативними документами України, МАГАТЭ.Проведення аналізу нормативної бази з питань безпеки при експлуатації та ремонту вантажопідйомних об'єктів, які працюють у зоні радіаційного впливу, з подальшими рекомендаціями до вдосконалення

Поставлені задачі для дослідження:

Огляд загальних відомостей використання хвильових та планетарних редукторів.

Вивчення теорії виникнення вібрації та вимушених коливань у хвильовому редукторі.

Розрахунок привода підйому з заміною хвильового редуктора на планетарний.

В дійсний час в системах приводів для отримання високого ступеня редукції використовуються планетарні, хвильові, циклоїдні редуктори, всі вони є беззазорними завдяки різним конструкційним особливостям.

Є тенденція використання хвильових редукторів через ряд переваг в порівнянні з звичайними зубчатими передачами. Наприклад, похибка обертання хвильової передачі в сборці нижча, ніж виміряна похибка зубчатих коліс цієї ж передачі. Дослідження показали, що кінетична похибка передачі складає 40 % середньої сумарної похибки коліс.

Мала статистична ймовірність співпадання однакових за величиною и напрямом похибок знижує можливість проявлення таких похибок як биття и коливання величини шагу зубчатих коліс.

В хвильовій передачі є можливість усунення зазорів між зуб'ями шляхом регулювання деформації гнучкого колеса і таким чином створення безпроміжних реверсивних передач без допоміжного ускладнення конструкції.

Величина сумарного зношування будь-якої зубчатої пари залежить від швидкості відносного ковзання робочих поверхонь зубців. Величина цієї швидкості в звичайних зубчатих передачах сягає 20…30 % від колової швидкості колес. В хвильовій передачі відносна швидкість ковзання зубців біль ніж на два порядки менша , ніж в звичайних зубчатих передачах V_c=0,5…3 м/с, а в хвильовій передачі V_c=0,0005…0,005 м/с.

Якщо порівнювати хвильовий редукторз планетарним вітчизняного виробництва, то є певні переваги як у технічних характеристиках , так і у габаритах. Особливість збирання механізму підйому як раз і полягаю у дуже

тісних габаритах приміщення , що навіть послугувало виконанням кранового візка П-образної форми.

Проте конструктивно хвильовий редуктор виконаний таким , чином, що може сам створювати перешкоди у роботі механізму, а саме це стосується генератора хвиль.

За даними виробника компактних хвильових редукторів одна з найбільш частих причин похибок, які виникають при роботі редуктора, це ексцентричне положення генератора хвиль. Така неточність кореспондується в загальну систему – хвильовий редуктор з подвоєною швидкістю вхідної ланки, т.к. редуктор даного типу має дві зони зубчатого зачеплення, з цього витікає , що неточності вхідної ланки проявляються двічі за один оборот двигуна. Таким чином система отримує збурюючий вплив.

При збільшенні числа обертів двигуна можна спостерігати динамічні ефекти зросту амплітуди помилки передаточного відношення. При певних частотах зустрічаються екстримально високі збільшення амплітуди помилки передаточного відношення. Причина цьому – резонансні частоти, які збуджуються частотами, які обумовленні конструкцією редуктора.

Наступна неточність, яка може реально впливати на точність роботи ректора – це відхилення форми гнучкого колеса. В даному типі хвильових редукторів гнучке колесо представляє собою стакан. Якщо вісі внутрішньої і зовнішньої циліндричних поверхонь не співпадають, то це призводить до неточності виготовлення зубців, що в свою чергу призведе до помилки передаточного відношення.

УДК 621.868.27
Волков Г.П.[1], Тарабан Л.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-315 ЗНТУ

ПАРК МЕЛІОРАТИВНИХ МАШИН В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ

Забезпечення меліоративних заходів технічними засобами завжди вважалося пріоритетом інтенсивного і якісного розвитку меліорації. Особливе значення цьому придавали в нашій країні в середині 60-х років, коли меліорація земель була частиною аграрної політики, і почався перехід від облаштування окремих масивів сільгоспугіддя до комплексної меліорації цілих регіонів. Створювалися і широко впроваджувалися у водогосподарське будівництво нові технологічні процеси і комплекси меліоративних машин, тим самим підвищуючи складову комплексної механізації і індустріалізації

робіт, усуваючи важку ручну працю, підвищуючи її продуктивність і знижуючи вартість робіт. Значне зростання об'ємів меліоративного і водогосподарського будівництва стало можливим не лише завдяки розширенню парку, але і зростанню номенклатури меліоративних машин. Зростання потреби сільського господарства змусило зайнятися забезпеченням штучного зрошування полів, організацією підйому води насосними станціями, облаштуванням дренажу, промиванням грунтів та іншими агромеліораційними заходами.

Проте, за останні роки в процесі реформування сільського господарства, будівництво нових меліоративних систем практично, припинене. Не ведуться також і роботи по реконструкції і відновленню раніше побудованих систем. Меліоративний стан більш ніж 70 % меліорованих земель різко погіршався із-за підйому грунтових вод і засолення в зоні зрошування, а в зоні осушення із-за вторинного заболочування осушуваних земель із-за їх заростання чагарниками і буряном. В результаті порушення функціональних можливостей меліоративних систем, рівень їх технічного стану різко впав. Ситуація, що багато в чому склалася, обумовлена розвалом підгалузі меліоративного машинобудування, моральним і фізичним старінням меліоративної техніки, що була в експлуатації, і відсутністю цілеспрямованого і стабільного фінансування програми меліоративного машинобудування. Усе це, поряд з неможливістю закуповувати техніку закордонного виробництва, обумовлює крайню необхідність перегляду відношення до розвитку меліоративного машинобудування в нашій країні. Не викликає сумніву необхідність розробки масштабної програми відновлення виробництва меліоративної техніки, передусім для експлуатації меліоративних систем, культурнотехнічних робіт і робіт пов'язаних з поліпшенням меліоративного стану земель В цьому питанні велике значення має пошук шляхів для створення і відновлення парку найнеобхідніших машин. Швидше за все, слід зупиниться на універсальних машинах з великим спектром змінного робочего обладнання. Це скоротить витрати на створення нехай не надто продуктивної, але порівняно дешевої техніки. Ці роботи можливо організувати на місцях, на базі невеликих ремонтних майстерень районних центрів. В першу чергу це устаткування для відтворення занедбаних меліоративних споруд, насосних станцій і приведення їх в робочий стан. Конкретніше, це канавоочищувачі, мульчери, причепи до тракторів для щелювания і кротования, плуги-розпушувачі, плуги для безвідвальної обробки грунту, важкі дискові борони та інш. Окрім цього рекомендується налагодити виробництво дреноукладачів для зони осушення, і зрошувальні установки, провести комунікації електро і водопостачання.

В подальшому треба закладати базу відновлення і створення на сучасному рівні найбільш актуальних конструкцій машин і техніки, які

матимуть попит на найближчі 5…7 років. І в перспективі – це розробка і створення сучасної високопродуктивної меліоративної техніки, що при скорочені парку машин здатна підняти продуктивність земель до кращих показників. На цьому етапі впровадження меліоративної техніки необхідно керуватися не тільки високою продуктивністю їх робіт, але і якісними показниками:

1. Дотримання екологічно безпечного функціонування системи грунт - вода - рослина

2. Підтримка режиму зрошування - зволожувального, непромивного і періодично промивного типів.

3. Додержання зрошувальної норми посівів спираючись на показники коефіцієнта зволоження Ку. Для степової зони при Ку = 0,44…0,77, зрошувальна норма збільшується на 10 %, для сухостепной зони при Ку = 0,33…0,44 на 10…15 %.

4. Підтримка рівня грунтових вод на глибині не менше 3 м від поверхні грунту або наявність штучного дренажу.

5. Своєчасне очищення і утилізація дренажно-скидних вод зрошувальних систем.

6. Забезпечення режиму аргарномінерального харчування добривами, особливо у верхній частині корінневого шару грунту.

На закінчення слід зазначити, що чим швидше аграрна політика в державі повернеться до комплексної меліорації з метою зупинити деградацію орних земель, чим швидше почне впроваджуватися меліоративна техніка в технології сільського господарства, тим ефективніше проявлятимуться переваги аграрного потенціалу нашої країни.

УДК 671.791.927.5
Мартовицький Л.М.[1], Камель Г.І.[2], Шаніна З.М.[1],
Гаврилов Д.В.[3], Онежко Б.С.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко
[3] студ. гр. М-314м ЗНТУ
[4] студ. гр. ГМ -16-2 ЗАК ім. О.Г. Івченко

СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Раніше плужні лемеші відновлювалися шляхом наплавлення валиків в області найбільшого зносу носка лемеша. Недоліком цього способу є сильний термічний вплив при наплавленні валиків, що призводить до викривлення

деталі; створення додаткових залишкових напруг і гартівних структур в товщі лемеша, що знижують стійкість до руйнування. У місцях, що піддаються найбільшому абразивному зносу, наносять шар зносостійкого матеріалу. Спосіб забезпечує відновлення працездатності та підвищення ресурсу робочих органів грунтообробних машин за рахунок отримання на їх поверхнях покриття, що має високу зносостійкість до абразивного зношування.

В основу наукової роботи поставлена задача удосконалити спосіб наплавлення шляхом використання твердосплавних зерен з підвищеною твердістю і зносостійкістю з модифікатором в осередках стільникових елементів, що виключить руйнування і розчин зерен при наплавленні та підвищить фізично механічні властивості основи і технологічність наплавлення, виключить контакт між зернами двох сусідніх осередків і цим забезпечить рівномірний розподіл зерен по всій поверхні металевих виробів, в результаті чого підвищиться експлуатаційна надійність і збільшиться термін роботи деталей.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі наплавки, при якому заздалегідь на поверхні, що наплавляється, жорстко закріплюють допоміжні електропровідні стільникові елементи, осередки стільникових елементів заповнюють масою необхідного хімскладу, що наплавляється, і на необхідну висоту і оплавляють, стільникові елементи приварюють конденсаторним зварюванням або пічною пайкою, в кожну клітинку стільникових елементів заздалегідь вкладають зерно або зерна меншого обсягу з модифікатором, що мають температуру плавлення, твердість і зносостійкість більшу, ніж порошки, що входять в масу наплавлення.

УДК 671.791.927.5
Носенко М.І.[1], Сезоненко П.С.[2], Камель Г.І.[3], Коляда В.С.[4]
[1] канд. техн. наук, доцент ЗНТУ
[2] студ. гр. М-314м, ЗНТУ
[3] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко
[4] студ. гр. ОМ 15-1 ЗАК ім. О.Г. Івченко

ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ЛИТОГО СТАЛЕВОГО КОРПУСУ ЗІ ВТУЛКОЮ З МОНЕЛЬ-МЕТАЛУ, ОТРИМАНОЇ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ

Найбільший обсяг матеріальних витрат при виготовленні і ремонті варочних установок Камюр доводиться на живильники високого тиску (ЖВТ), термін служби яких залежить від правил експлуатації і умов роботи.

На сполучених конічних поверхнях ротора і корпусу відбуваються складні фізико-хімічні процеси через агресивність лужного середовища і високої температури (160...180 °С) і інтенсивний знос: абразивний, гідроабразивний, ударно-абразивний, граничне тертя-ковзання тощо. Аналіз механізму зносу конічної поверхні ротора показав, що основним видом зносу, що визначає ресурс роботи ЖВТ є гідроабразивний знос при малих кутах атаки (α = 10...14 °).

Корпус ЖВТ складається зі сталі 20Л і запресованої в неї втулки, виготовленої відцентровим литтям, з кременистого мідно-нікелевого сплаву (фірми Камюр: 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: нікель 47,1 %, кремній 3,4 %, мідь 46,3 % марганець
0, 06 %, вуглець - 0,06 %, сірка -0,03 %, фосфор - 0,03 %, твердість 320 НВ).

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

Режими зварювання: струм постійної полярності 240…260 А; напруга 170м/год: виліт електрода 25…30 мм; витрати аргону 16…20 л/хв. Композитний дріт діаметром 2,5…3,2 мм отримували на спеціальній установці з волочінням мідної стрічки і нікелевих дротів через твердосплавні фільєри.

В якості наплавлення для облицювання конічної поверхні ротора використовували листи холоднокатаної сталі типу 12Х18Н10Т товщиною 10, 16 і 20 мм завширшки 700 мм і довжиною 2000 мм отриманій відповідно до ГОСТ

$$\frac{А10ГОСТ19903-74}{12Х18Н10ТГОСТ7550-77} \text{ і лист } \frac{Б-10ГОСТ19904-90}{40Х13ГОСТ5582-75}, \text{ де}$$

А і Б відповідно висока і нормальна точність прокатки листа. Можуть бути використані листи гарячекатаного виробництва.

12Х18Н10Т товщиною 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм;
ХН38ВТ (ЕК 703) товщиною 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм;
ХН60ВТ (ЕМ 868, ВЖ-98) товщиною 5, 7, 9, 14 мм.

Дані матеріали добре піддаються плазмовому різанню, згинанню, зварюванню і мехобробці. Для підвищення зносостійкості накладок застосовується спосіб зносостійкого наплавлення кромок по місцях максимального зносу. Для цієї мети використовували: 1) плазмову наплавку зносостійкими порошками СНГН-50 з додаванням карбіду кремнію або бору до 30 % або плазмову зносостійку наплавку.

Найбільш зносостійкими властивостями володіє матеріал на основі СНГН-50 з добавкою до 30 % карбіду бору, який і рекомендований для наплавлення кромок накладок.

УДК 671.791.927.5
Носенко М.І.[1], Лаговський А.В.[2], Камель Г.І.[3], Карамушка Д.Р.[4]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-127сп, ЗНТУ
[3] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко
[4] студ. гр. М-17 ЗАК ім. О.Г. Івченко

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНІЧНИХ ТРИБОВУЗЛІВ

Останнім часом велика увага приділяється підвищенню експлуатаційної надійності конічних трибосистем (КТС). Перевага КТС полягає в наступному: 1) рівномірний знос сполучених конічних поверхонь за весь час експлуатації; 2) можливість компенсації зазору між конічними деталями, який виник в результаті зносу; 3) компенсація зазору здійснюється автоматично без розбирання деталей живильника КТС.

Відомо, що деталі живильника КТС в процесі роботи зношуються, між конічними сполученими поверхнями утворюється критичний зазор. При цьому сповільнюється або повністю припиняється виконання функцій із завантаження сировиною об'єктів, що знаходяться під високим тиском (1,5 МПа) і високою температурою 160...180 °С. Для зменшення зазору в живильнику використовується механізм присадки (притиску) осьового переміщення ротора (конічної деталі) вглиб (конічної деталі) корпусу. Така компенсація зазору здійснюється до тих пір, поки не виробиться вся присадка ротора (П = 100 мм).

У літературних джерелах відсутня інформація щодо визначення змін конусності на різних ділянках ротора (корпусу) і про розрахункові формули

за визначенням дійсного зазору між ротором і корпусом живильника КТС під час експлуатації.

Мета та задачі. Метою досліджень є розробка нових методик визначення зносу, зміни конусності і отримання розрахункових формул для визначення зазору при експлуатації між ротором і корпусом живильника КТС.

Рішення задачі. Для вирішення поставлених цілей використовувалися наступні дані, отримані з аналізу особливостей конструкції, умов експлуатації, особливості збирання і розбирання деталей живильника КТС.

Зношування – основний фактор, що обмежує термін служби роторних живильників Камюра. Інформація про види зношування робочих конічних поверхонь ротора і корпусу в області тертя і зношування в технічній літературі відсутня.

Зношування здійснюється в результаті взаємодії робочих поверхонь з гідросумішшю, що складається з лугу і тріски. Результати процесу зношування показали, що в порядку убування всі види зношування можна уявити: 1) гідроабразивний; 2) абразивний при зрізанні тріски; 3) ударно-гідроабразивний; 4) абразивний; 5) корозійний; 6) абразивний знос при заїданні.

Оскільки на величину зазору в живильнику КТС впливає знос конічних поверхонь, то виникає необхідність в розробці або вдосконаленні існуючих методів визначення зносу.

Існуючі методи визначення зносу деталей живильника КТС.

1. Пошарове (5...10 мкм) зняття мікростружки з конічної поверхні ротора (деталь, що обертається) на лоботокарному верстаті і конічної поверхні корпусу (нерухома деталь) на карусельному верстаті. Перевага цієї методики - якісне визначення зносу. Недолік – неможливість кількісно визначити знос на ділянках деталі КТС одночасно.

3. Використання циліндричних отворів з плоскодонним дном. Сутність цієї методики полягає в тому, що на конічних поверхнях деталей живильника КТС свердлять отвори діаметром 2...3 мм і глибиною 2...3 мм, у яких робиться плоске дно. По різниці висоти циліндричних отворів з плоским дном до і після експлуатації судять про величину зносу. Перевага способу полягає у високій точності проведення експериментів. Недолік полягає в складності і у великій трудомісткості проведення експериментів.

4. Заміри зносу здійснюються за допомогою рейки і набору щупів. Рейку прикладають до утворювоємої поверхні ротора або корпусу і за допомогою набору щупів визначають величину зазору, а, отже, і знос між рейкою і поверхнею ротора (корпусу). Перевага методу – простота проведення експериментів. Недолік - недостатня точність проведення замірів і похибка проведення замірів.

5. Використання при замірах індикатора годинного типу. Для цього ротор (корпус) встановлюється в лоботокарний (карусельний) верстат, де здійснюється механічна обробка, а до супорта кріпиться індикатор годинникового типу. Причому, напрямок переміщення супорта з індикатором годинникового типу виконується паралельно конічної поверхні ротора (корпусу). Робоча конічна поверхня ротора (корпусу) ділиться на сектори і в кожному секторі визначається величина зносу. Перевага цієї методики полягає у високій точності вимірів. Недолік у тому, що необхідно одночасно визначати і записувати результати експериментів.

УДК 621.873.874
Сочава А.І.[1], Мартовицький Л.М. [1], Глушко В.І. [1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ПОВЗУЧОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

На практиці зазвичай діаграми граничних амплітуд і напружень обмежуються границями текучості, але із практики випробувань конструкційних металічних матеріалів на опір втомі в умовах асиметрії циклу свідчить, що вказані матеріали протистоять багатоцикловій втомі, коли максимальні напруження циклу значно перевищують границю текучості.

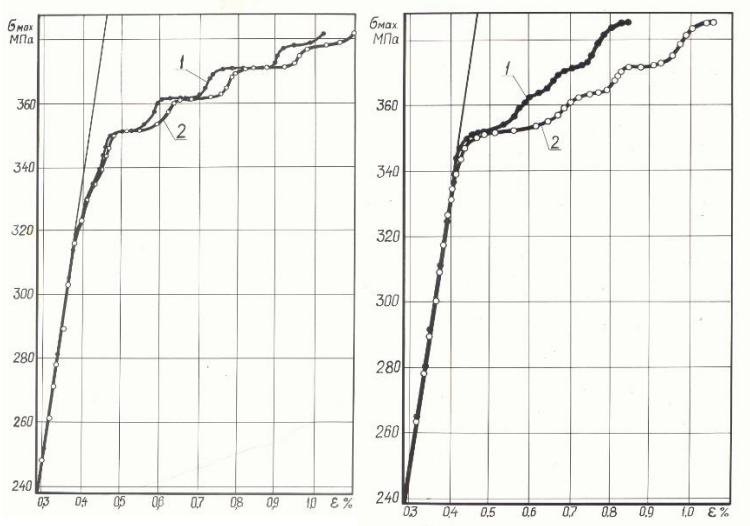
Такі ситуації виникають при навантаженнях при асиметричних циклах, коли на об'єкт діє навантаження, яке складається із двох складових: із повторно-змінної і статичної. Наявність останньої примушує робочий об'єм металу пластично деформуватися в одному напрямку. Таке одностороннє деформування металічного матеріалу отримало назву «циклічна повзучість». Випробувані здійснені на гладких зразках сплаву Д16Т.

Як показують експерименти накопичення пластичної деформації здійснюється не монотонно, а дискретно від циклу до циклу, в момент, коли знаки статичної і змінної складових співпадають. Плин відбувається лавиноподібно при накопиченні визначеної кількості циклів.

Дослідження питання про циклічну повзучість свідчить, що деформування шарів в глибину здійснюється нерівномірно. Деформування шарів на поверхні відбувається більш інтенсивно ніж серцевини. При чому плин зовнішніх шарів опереджує внутрішніх, що приводить до появи в об'єкті випробувань залишкових напружень.

При випробуваннях, коли навантаження здійснюється розтяганням, на поверхневих шарах об'єкта виникають стискаючі залишкові напруження. Навпаки при випробуваннях зі стискаючими асиметричними циклами на

поверхні з'являються розтягуючі залишкові напруження. Дане явище може пояснювати той факт, що зразки руйнуються навіть тоді, коли зовнішні навантаження мають знакопостійний стискаючий цикл.



а б

а – циклічна повзучість при розтягуючих навантаженнях;
б – циклічна повзучість при стискаючих навантаженнях.
Рисунок 1 – Циклічна повзучість при різних типах навантажень,
де крива 1 – це деформація об'єму,а крива 2 – поверхні.

УДК 692.66:64
Мартовицький Л.М.[1], Сочава А.І.[1], Глушко В.І.[1], Шаніна З.М.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ОСНОВИ ПРОЕКТНИХ РОЗРАХУНКІВ ПРИВОДІВ КРАНІВ З ГРАНИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В динамічно-прогресуючого світового виробництва на часі вантажопідйомні крани з граничними параметрами, особливо швидкостями підйому, вантажопідйомністю, висотою підйому і ін.

Вага піднімальних модулів зараз досягає 20000-25000 тон, а висоти підйому вантажів 500 м не є граничними. Для здійснення вказаних параметрів при проектуванні механізмів підйому вантажопідйомних кранів не вистачає можливостей класичних методичних розробок та вітчизняних

проектних підходів. Приводи кранових механізмів з граничними параметрами, якщо їх проектувати загально прийнятими методами, повинні складатися з елементів, які норми та стандарти не передбачають, крім того, їх неможливо в такому вигляді виготовити на сучасних підприємствах.

Для вирішення задачі проектування приводів кранів з граничними параметрами пропонується сумарну розрахункову потужність розбити на декілька дрібніших. Тоді проектування кожної складової потужності можна виконувати існуючим методикам, при цьому комплектуючі будуть знаходитись в межах існуючих норм та стандартів, або можуть бути реально виготовленні на сучасному обладнанні із добре відпрацьованою технологією. Узагальнений привод механізму підйому з граничною вантажопідйомністю рекомендується роздрібнити на декілька самостійних приводів, які легко спроектувати та здійснити. При цьому двигуни мають доступну потужність, барабани підйому мають конструктивно зручні розміри, канати – стандартні, також доступні інші проектні зручності.

УДК 678.02:621.365
Задоя Н.О.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ФОРМУВАННЯ ПУСКОВОЙ МЕМБРАНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РАДІАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТВЕРДІННЯ

Центральна пускова мембрана є елементом конструкції соплового блоку твердопаливного двигуна. За її допомогою внутрішній тракт двигуна, у тому числі паливний заряд, ізолюється від зовнішнього середовища в період експлуатації. При запуску двигуна пускова мембрана повинна спрацьовувати (руйнуватися) у заданому діапазоні тисків (2…2,7 МПа). Однією з основних вимог до таких мембран є стабільність фізико-механічних характеристик їх матеріалу. Модельна конструкція центральної пускової мембрани виконана зі склопластику КТ-11-ТОА+ЭДТ-10.

За існуючою технологією процес полімеризації пускових мембран триває понад 10 год. Тому виникла необхідність застосування комплексного методу радіаційного твердіння для удосконалення технології виготовлення елементів модельної конструкції центральної пускової мембрани.

Нова технологія комбінованого твердіння модельних конструкцій пускових мембран, що пропонується, полягає в попередньому інфрачервоному нагріванні з наступним радіаційним доотвердінням прискореними електронами при встановленій дозі опромінювання 80 Мрад.

Технологія була відпрацьована на модельній конструкції пускової мембрани аналогічної форми. Виготовлення мембран здійснювали в прес-формі з обмежниками, що забезпечують зазор між матрицею та пуансоном. Після формування мембрани піддавалися попередньому інфрачервоному нагріванню при температурі 393 К протягом 15 хв. Потім видалені з прес-форми зразки перевантажувались на транспортер і подавались під вікно прискорювача зі швидкістю 0,004 м/с, у результаті чого вони послідовно попадали у зону випускного вікна прискорювача й доотверджувались паралельним пучком електронів при температурі 423 К протягом 1 хв. при дозі опромінення 80 Мрад. Отже час твердіння за новою технологією скорочується з 10 годин до 16 хв.

Механічні випробування показали, що розривна міцність зразків за штатною технологією становила 247,5 МПа, а при комбінованому твердінні – 260,0 МПа.

На підставі проведених досліджень встановлено, що отримані результати забезпечують стабільність фізико-механічних характеристик і руйнування мембрани у заданому діапазоні тисків.

УДК 621.762.4
Носенко М.І. [1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНИ В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРОШКОВИХ ЗАГОТОВОК

Дослідження процесу гарячої деформації проводили на холоднопресованих заготовках порошкового титану ПТЕС-1, ПТЕК-1, ТГ-ТВ ($H / D = 1.0$, де H, D – висота і діаметр заготовки) з відносною щільністю $\theta_0 = 70...90\%$.

Деформація порошкових заготовок при вільній осадці (перша стадія процесів гарячого штампування та видавлювання) супроводжується бочкоподібною зміною форми їх бічної поверхні у меридіоанальному перерізі. Це є наслідком наявності контактного тертя та складного розподілу напружено-здеформованого стану по об’єму заготовки і в певних умовах викликає появу тріщин на поверхні. Наявність тріщин призводить до запресування мастила у внутрішні шари заготовок при подальшій деформації, зниження щільності матеріалу та негативно впливає на формування структури.

Граничну форму заготовки фіксували максимальною деформацією у осьовому напрямі (відносна ступінь деформації $\varepsilon = \left[\left(H_0 - H\right)/H_0 \right] \cdot 100\%$), що передує появі першої тріщини на бічній поверхні.

Встановлено вплив вихідних матеріалу, щільності заготовки θ_0 та її стану (спечена, неспечена) і умов деформації (температура $T^\circ C$; швидкість V , c^{-1}; наявність змащування і тип мастила) на граничну формозміну порошкових титанових заготовок, що дозволяє забезпечити відсутність тріщиноутворення, керувати процесом ущільнення та формування структури металу при гарячій деформації.

УДК 621.8
Сидоренко М.В.[1], Клименко Г.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] старш. викл. ЗНТУ

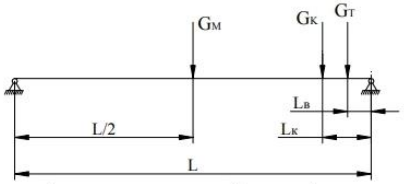
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ МОСТОВИХ КРАНІВ

Постановка проблеми. Прогнозування залишкового ресурсу металоконструкцій (МК) вантажопідйомних машин магніто-коерцитивним методом неруйнівного контролю (НК) знаходить все більше застосування. Разом з тим, алгоритму (методики) виконання робіт для прогнозування залишкового ресурсу МК цим методом з поєднанням останніх досліджень та методу кінцевих елементів (МКЕ) не існує.

Невирішені частини загальної проблеми. Деякі методи не дають повного алгоритму дій при прогнозуванні залишкового ресурсу МК вантажопідйомних машин. Вони не враховують недостатню роздільну здатність структороскопів КРМ-ЦК-2М, та можливість використання магніто-коерцитивного методу НК в поєднанні з МКЕ.

Результати. Визначення небезпечних елементів МК, вибір схеми контролю, підготовка до магніт-коерцитивного НК, та іншого НК. Для цього необхідно: - провести аналіз документації, аналіз умов в яких знаходиться кран, операції (та їх місце), що здійснює кран. Для підготовки магніто-коерцитивного контролю необхідно вибрати декілька паспортизованих експериментальних зразків із змінним перерізом (ПЕЗ). Для проведення магнітно-коерцитивного контролю МК на кран беруть тільки документацію (паспорта) на обрані ПЕЗ-и та прибор з повірочними зразками. Провести

аналіз напружено-деформованого стану МК крана за допомогою МКЕ (програмні комплекси Ansys, SolidWorks). Для цього необхідно побудувати модель досліджуваної вантажопідйомної машини. На рисунку 1 зображено сили, що діють на металоконструкцію мостового крана при статичному навантаженні. На рисунку 2 – зображено результати статичного моделювання МКЕ напружено-деформованого стану МК мостового крана загального призначення в/п 16 т. При моделюванні необхідно врахувати умови експлуатації крана, товщини елементів в МК задавати необхідно, такі які зазначені в документах на даний кран (паспорт крана, документи на реконструкцію).



G_T – вага візка з вантажем, Н — L – проліт крана, м

G_K – вага кабіни, Н — Lк – відстань кабіни, м

G_M – вага мосту, Н — Lв – відстань до візка, м

Рисунок 1 – Схема для побудови моделі МК мостового крана.

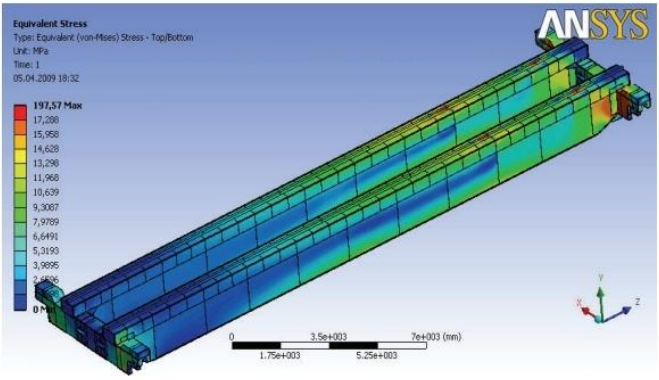


Рисунок 2 – Результати статичного моделювання МКЕ напружено-деформованого стану металоконструкції мостового крана загального призначення в/п 16 т.

Діагностику стану МК проводимо по НПАОП 0.00-1.01-07 та іншими діючими нормативними документами, використовуючи магнітокоерцитивний

НК, контроль товщин та інші методи НК. На вантажопідйомній машині необхідно вибрати зону, в якій метал знаходиться порівняно під найменшим впливом силових навантажень у процесі експлуатації й зробити вимір коерцитивної сили H^0_C (А/см). За отриманими показниками H^0_C (А/см) вибираємо, з обраного раніше набору зразків (по паспортах на них), один ПЕЗ. Розбіжність H^0_C (А/см) із показаннями коерцитивної сили на цьому ПЕЗ (на тій же товщині) – не повинна перевищувати 10 %. Якщо ця умова не виконується - потрібно вибрати іншу мало навантажену зону й зробити виміри коерцитивної сили. Якщо таку зону знайти не вдалося - значить ПЕЗ-и були обрані не вірно. Потім, відповідно до обраної схеми контролю, необхідно зробити виміри коерцитивної сили в інших зонах, у яких потрібен контроль напружено-деформованого стану металу. Необхідно приділити особливу увагу тим елементам МК крана, які виявилися найбільш небезпечні після проведення МКЕ. Всі результати діагностування стану МК записуються для їх подальшого оформлення та аналізу. Якщо були знайдені відхилення по яким не дозволяється експлуатація крана відповідно до діючих нормативних документів; якщо, при магнітному контролі, були виявленні зони різкого падіння коерцитивної сили (падіння менше 1,0 А/см) – то в цих випадках робота крана зупиняється і не відновлюється поки ці відхилення будуть виправленні. Якщо спостерігається локальне збільшення показань коерцитивної сили - необхідно збільшити кількість точок контролю в цьому місці. При знаходженні розбіжностей із паспортом на кран і контролем товщин елементів МК – потрібно діяти відповідно до нормативних документів, але для подальшого аналізу – приймаємо товщини ті які були отриманні під час вимірів.

Висновки. Методика прогнозування залишкового ресурсу МК вантажопідйомних машин магніто-коерцитивним методом НК дозволяє: - вирішувати проблему моніторингу МК з різними товщинами елементів із застосуванням структуроскопа КРМ-ЦК-2М; - використовувати магніто-коерцитивний метод НК в поєднанні з іншими методами НК та МКЕ; - об'єктивно оцінювати напружений стан МК вантажопідйомних машин і прогнозувати їх залишковий ресурс. Запропонована методика оцінки та прогнозування залишкового ресурсу МК мостових кранів з різними товщинами елементів за допомогою магніто-коерцитивного методу НК та МКЕ – прогнозування залишкового ресурсу МК крана досягає ймовірності 0,9.

УДК 621.874: 539.3
Лятуринський В.О.[1], Сидоренко М.В.[1], Клименко Г.В.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] старш. викл. ЗНТУ

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ НАКЛАДАННЯ ВАЛИКУ НА ПІСЛЯЗВАРНИЙ СТАН ПОЯСНОГО З'ЄДНАННЯ КОРОБЧАСТОЇ БАЛКИ

Постановка проблеми. Діапазон можливих швидкостей накладання зварних поясних швів є достатньо великим, складає 2…25 мм/сек, поширеними є швидкості 4…15 мм/сек, рекомендовані 5…10 мм/сек [1]. Рішення технологів по даному питанню ґрунтуються на забезпеченні бездефектності та геометрії валику шву за стандартами, та ніяк не враховують можливу зміну залишкових напружень (ЗН) та механічних властивостей з'єднання. Збільшення швидкості накладання швів коробчастих балок (КБ) має призводити до зменшення нагріву основного металу (ОМ) та відповідного зменшення ЗН і деформацій.

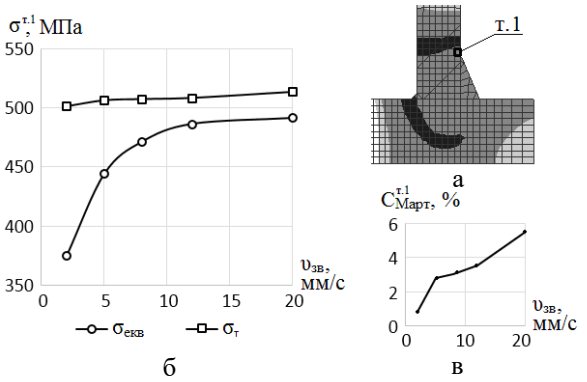
Методики. За методикою [2] виконано кінцево-елементне моделювання технологічного стану поясних з'єднань коробчастих балок, виконаних одностороннім швом. Верифікація результатів напруженого стану виконувалася малоруйнівним методом свердлення глухого отвору [3].

Вагомість фактору швидкості зварювання при накладанні поясних швів КБ аналізувалася порівнянням результатів розрахунків моделей із швидкістю зварювання $\upsilon_{зв}$ = 2, 5, 8, 12, 16, 20 мм/сек.

Результати. Встановлено, що вплив $\upsilon_{зв}$ поясного з'єднання на його напружено-деформований стан є вельми неоднозначним. З одного боку, збільшення $\upsilon_{зв}$ призводить до зменшення тепловкладення в ОМ і, як наслідок, менших загальних термічних деформацій металу при зварюванні. Але, маючи справу з протяжними поясними з'єднаннями, такий результат спостерігається тільки для повздовжніх деформацій (подовження/укорочення) КБ. Для поперечних деформацій (нахил стінки) результат протилежний. Висока $\upsilon_{зв}$ призводить до того, що шов і зона термічного впливу (ЗТВ) є одночасно м'якими на великій довжині з'єднання, що дозволяє стінці легше нахилятися всередину балки, за відсутності діафрагм ця компонента деформацій максимальна.

Розглядаючи окремо ЗН з'єднання, низькі швидкості зварювання виглядають більш бажаними, тому що при них шов і ЗТВ остигають повільніше, фазовий перехід у шві проходить пізніше. В результаті максимуми ЗН віддалені від зон геометричних концентраторів (країв валику) далі в ЗТВ (рис. 1), абсолютні їх значення э дещо меншими.

Висновки. Базуючись на проведеному дослідженні, можна рекомендувати зварювання поясних швів КБ ВПМ із швидкостями $\upsilon_{зв}$ = 12…20 мм/с та попереднім локальним підігрівом з'єднань до 150…200 °С. За відсутності підігріву рекомендується обирати швидкості зварювання – $\upsilon_{зв}$ = 6…12 мм/с.



а – положення точки дослідження; б – характеристики напружено-деформованого стану; в – концентрація мартенситу.

Рисунок 1 – Залежність післязварного стану кінцевого елемента зони сплавлення стінки поясного з'єднання від швидкості зварювання $\upsilon_{зв.}$

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каховский, Н. И. Электродуговая сварка сталей: Справочник [Текст] / Н. И. Каховский, В. Г. Фартушный, К. А. Ющенко. – Киев: Наукова думка, 1975. – 480 с.

2. Lindgren, L. E. Computational welding mechanics [Текст] / Lars-Erik Lindgren. – Cambridge: Woodhead publ., 2007. – 231 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 331.5
Волков Г.П.[1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ЛОГІСТИКА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПЛАНУВАННЯ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ В РЕАЛЬНОМУ СЕКТОРІ ЕКОНОМІКИ

Світовий ринок праці як невід'ємна частина світової економічної системи утворюється і існує за рахунок трудової міграції. Переміщення трудових ресурсів країн-донорів (з яких трудові ресурси від'їжджають за кордон для працевлаштування) в країни-реципієнтів (які приймають трудові ресурси) викликане у більшості випадків економічними причинами. Світовий ринок праці є комплексним явищем, пов'язаним із зростанням мобільності і можливості безперешкодно вибирати робоче місце не лише у рамках регіону, країни, але і за її межами. Головним чинником виїзду на роботу за кордон являється більш високий рівень оплати праці. Трудові мігранти, одержуючі роботу в країнах з високим рівнем доходу, як правило, мають можливість заробляти в 20…30 разів більше, ніж у себе на батьківщині.

Вважається, що для країн-донорів трудова міграція має ряд позитивних моментів. Серед них можливість працевлаштування мігрантів в сферах діяльності які не вимагають особливих професійних навичок, наприклад, у сфері послуг або будівництва. Крім того трудова імміграція знижує рівень безробіття в країнах-донорах, звільняючи неефективні уряди від обов'язків створювати робочі місця для своїх громадян. Країни-експортери трудових ресурсів отримують вигоду від еміграції трудових ресурсів за рахунок скорочення безробіття у своїй країні, а також збільшення надходження валютних коштів від грошових переказів емігрантів з-за кордону. Проте, в перспективі, для країн донорів, трудова міграція без залучення державного управління веде до суттєвих втрат трудових ресурсів на користь третіх країн. В результаті виїзду за кордон, знижується конкуренція трудових ресурсів на внутрішньому ринку, створюється дефіцит кваліфікованих кадрів, а отже падає продуктивність праці та в цілому валовий внутрішній продукт. Негативно неконтрольована трудова міграція проявляється і в країнах-реципієнтах. Іммігрантам в першу чергу, пропонують важкі, небезпечні або низькооплачувані роботи, що не мають попиту у корінних жителів. Наприклад, у Бельгії іммігранти складають 50 % усіх гірників, в Швейцарії – 40 % будівельних робітників, в США – 70 % зайнятих в аграрному секторі і так далі. Очевидно, що на таких роботах розвиток отримують фізичні, а не інтелектуальні або творчі якості найнятого робітника. Проте, відомо, що джерелом прибутку у суспільстві є не сама праця, а інтелект. Праця виступає тільки як засіб реалізації інтелекту. Отже, стабільне економічне зростання в

країні можливе тільки за рахунок залучення кваліфікованих та інтелектуальних кадрів.

Короткострокові вигоди від наявності іммігрантів на ринку праці призводять до пониження ставки оплати праці, тим самим позбавляючи підприємців від необхідності ділитися доходом з найнятими робітниками. В результаті відбувається збіднення трудових ресурсів не тільки з числа емігрантів а й і вітчизняних працівників. Крім того, іноземні працівники і їх сім'ї не формують додатковий попит на товари і послуги, оскільки тимчасові іммігранти, погодившись на низький, рівень оплати праці, велику частину своїх заощаджень відправляють на батьківщину, що не сприяє накопиченню грошових коштів в країнах-реципієнтах. Такий стан справ не піднімає економіку держави, а призводить до отримання доходу в короткостроковому періоді обмеженим колом осіб з середовища підприємців, за рахунок збитку у відтворенні і розвитку власних трудових ресурсів. Як видно, неконтрольована трудова міграція згубна для трудових ресурсів як країни-донора, так і країни-реципієнта. З цього виходить, що неконтрольоване міжнародне переміщення трудових ресурсів швидше є недоліком для світової економіки.

Коли говорять про трудові ресурси, то не слід вважати на загальну масу населення що здатне іммігрувати в країну з більш високим доходом на душу населення Слід брати до уваги тільки частину населення, що має фізичний розвиток, розумові здібності і знання, необхідні для здійснення корисної діяльності в громадський виробництво. З кількісного боку трудові ресурси країни характеризуються чисельністю населення в працездатному віці. З якісною - освітнім рівнем, профессионально-квалификационной підготовкою, якістю здоров'я, моральним, духовним рівнем працездатного населення, його творчим потенціалом і мобільністю. Застосування трудового потенціалу країни, трудового колективу і окремої особи має певну самостійність, що виражається, наприклад, в тому, що одна і та ж маса потенційних працівників, але різної якості, за однаковий період часу давати неоднаковий соціальний і економічний ефект. Раціональне використання трудових ресурсів на сучасному етапі вимагає погоджених дій на міжнародному рівні, спрямованих на навчання і адаптацію трудової міграції, а також забезпечення життєздатності і соціальної стабільності в суспільствах, що їх приймають.

Слід враховувати, що більша частина трудових ресурсів планети зосереджена в Східній Азії і Тихоокеанському регіоні. А найвищий рівень безробіття серед представлених регіонів спостерігався в державах Близького Сходу і Північної Африки. Причому 2/3 світових ресурсів робочої сили доводиться на країни з найнижчими показниками ВВП на душу населення. А отже, не слід очікувати від них високого рівня освіти і виробничих навичок. Таким чином, на відміну від кількісного зростання, якісного стрибка

трудових ресурсів не передбачається. Сильно розростеться сегмент некваліфікованої праці, тоді як висококваліфікованих фахівців на ринку буде дефіцит. У перспективі до 2030 р. ринку праці загрожує значний перекіс - величезний дефіцит висококваліфікованих фахівців і, що парадоксально, - велетенський профіцит тих, хто не отримав затребуваної кваліфікації. Вже зараз це можна бачити на прикладі Німеччини, яка при досить великому потенціалі трудових ресурсів, зіткнулася з істотною нестачею висококваліфікованих фахівців, особливо інженерів в галузі машинобудування і енергетики. На сьогодні десятки тисяч вакансій для вищезгаданих фахівців залишаються незайнятими, і за оцінками провідних експертів ринку праці, ситуація не може бути поліпшена силами власних фахівців . Таким чином, можна зробити висновок, що повноцінний світовий ринок праці може виникнути тільки в умовах високоефективної світової економіки, що функціонує на основі високої продуктивності праці, інтернаціоналізації господарських зв'язків, досконалих ринкових стосунків, різноманіття форм власності, загального стандарту на навчання фахівців і підвищення їх кваліфікації. На цьому етапі повинна широко впровадяться логістична стратегія управління ресурсами. Починаючи від їх планування і кінчаючи їх відтворенням.

УДК 671.791.927.5
Мартовицький Л.М.[1], Камель Г.І.[2], Глушко В.І. [1], Шаніна З.М. [1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко

СПОСІБ ЗМІЦНЮВАНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Спосіб відновлення відноситься до області ремонту грунтообробних, землерийних і навантажувальних машин, зокрема до відновлення і зміцнення зношених деталей, що працюють в ґрунтовому середовищі, і може бути використано для відновлення ресурсу конструктивних елементів будівельної, сільськогосподарської та дорожньої техніки.

Пропонований спосіб здійснюється за рахунок наступного. Підготовлені конструктивні елементи, що мають конфігурацію зношеної частини, приварюються (як правило, встик) до металу відновлюваного виробу, який не піддається зносу, або піддається в незначній мірі. Вищеназвані конструктивні елементи попередньо готуються таким чином, щоб вони відповідали технічним нормативам деталі в заводському виконанні або перевищували їх, зокрема по твердості, тобто проводиться попередня термічна обробка (гарт з

подальшим середньотемпературним відпуском) на троститну структуру з твердістю 40…50 HRC. У ряді випадків можна використовувати деталі, які виробили свій ресурс, але зберегли твердість у вищевказаних межах. Приварка проводиться електродами з маловуглецевим стрижнем щоб уникнути появи шовних і біляшовних тріщин, внаслідок наявності в деталях, що зварюються, більшої кількості вуглецю (не менше 0,5 %) і гартівних структур. З метою збільшення міцності зварного з'єднання зварювання слід вести в попередньо оброблені кромки. Подальше наплавочне армування забезпечує умови для створення необхідної міцності зварного з'єднання, збільшує абразивну зносостійкість і сприяє кращому подрібненню грунту за рахунок виступаючих над робочою поверхнею валиків. Валики рекомендується наварювати перпендикулярно руху грунту, але таким чином, щоб вони перекривали зварний шов між приварюємим конструктивним елементом і тілом незношених частин деталі (кріпильний шов). Довжина валиків визначається шириною робочої поверхні, відстань між ними не повинна перевищувати 40 мм.

УДК 671.791.927.5
Мартовицький Л.М.[1], Камель Г.І.[2], Глушко В.І. [1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] д-р техн. наук, проф. ЗАК ім. О.Г. Івченко

СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДОЛОТ ЛЕМЕШІВ ПЛУГА

Однією з основних проблем, що виникають в даний час при обробці ґрунту, є збільшення ресурсу орних знарядь. Для цієї мети широко використовуються різні варіанти вітчизняних і зарубіжних плугів з замінною ріжучо-лезовою частиною (долотом).

Технічним результатом є підвищення твердості і зносостійкості відновлених і зміцнених доліт лемешів плугів в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Пропонований спосіб відновлення і зміцнення доліт лемешів плугів, що включає видалення зношеної ріжучо-лезової частини долота, виготовлення компенсуючого елемента з листової ресорно-пружинної сталі і його приварювання до відновлюваного долота, зміцнення тильної сторони компенсуючого елемента шляхом наплавлення зносостійкого матеріалу уздовж його леза на ширину 30 мм , як зносостійкого матеріалу використовують твердосплавні зерна карбіду титану, стільникові елементи і пасту, що наноситься на тильну сторону компенсуючого елемента шаром товщиною 1,8...2,2 мм, в якій міститься 55...60 % порошку на основі нікелю

типу СНГН, 30 % двоокису кремнію, 3...5 % нітрату амонію і водний розчин клею ПВА - інше, а наплавлення здійснюють після затвердіння пасти електричною дугою прямої полярності з використанням вібруючого вугільного електрода, при цьому сила струму становить 50... 55 А, а частота вібрації вугільного електрода - 10...15 Гц.

УДК 621.874
Руднєв О.М. [1], Мартовицький Л.М. [1]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОГІННИХ КРАНОВИХ БАЛОК

На діючих підприємствах заміна кранів та їх елементів, особливо з видатними технічними характеристиками, які є надзвичайно металоємкими конструкціями, являється високовартісною операцією, і тому проходить повільно. В зв`язку із різким зниженням темпів оновлення працюючих важких кранів мостового типу, як найбільш поширеного класу, основним елементом металоконструкції яких є прогінні балки, особливу актуальність набуває розробка методів подовження ресурсу важкозавантажених прогінних кранових балок. В своїй більшості рішення про подовження експлуатації металоконструкцій базується на результатах технічного обстеження стану кранів, основну частину якого складає візуальний огляд. Технічне заключення, в даному випадку є не досить об`єктивним та обгрунтованим, оскільки не базується на точних замірах та апаратних дослідженнях. Збільшення ресурсу роботи крана дозволяє зекономити значні ресурси, еквівалентні в окремих випадках затратам на виробництво нових аналогічних кранів. Отже, оцінка залишкового та подовження експлуатаційного ресурсу прогінних кранових балок представляє значний резерв заощадження коштів, матеріалів, енергії та трудовитрат.

Поширеним в машинобудуванні методом подовження ресурсу роботи відповідальних, циклічно завантажених деталей, є надання їм тренувальних або зміцнюючих навантажень в напряму дії експлуатаційних навантажень. Такі способи реалізують із зняттям деталей з експлуатаційної зони або без цього. Зміцнення здійснюють напруженнями, що досягають 0,9 від руйнуючих, до експлуатації або під час експлуатації деталі зовнішніми механічними діями циклічно чи статично із застосуванням спеціальних пристроїв.

У важкозавантажених кранах мостового типу прогінні та кінцеві балки впродовж терміну експлуатації працюють переважно на циклічний згин. При

цьому верхні поясні зони балок (пояси та при поясні зони стінок) працюють на циклічні напруження стиску, а нижні – на розтяг. Коли напруження досягають границі текучості, що часто буває в реальних умовах експлуатації металоконструкцій, відбувається зміцнення зовнішніх волокон стиснутої зони, що супроводжуються стабілізацією кристалічної гратки. Все це, в свою чергу, зменшує можливість виникнення втомних тріщин стиснутої зони, а відтак збільшує її довговічність.

На основі вивчення та аналізу існуючих методів подовження ресурсу роботи циклічно-завантажених деталей та масштабних досліджень відмов та пошкоджень прогінних кранових балок важких кранів, виникла гіпотеза про те, що можливо подовжити термін експлуатації деталі, яка напрацювала певну кількість циклів із знакопостійними або віднульовими циклічними напруженнями розтягу або стиску, змусити її далі працювати з такими ж віднульовими або знакопостійними циклічними напруженнями, але з протилежним знаком. При цьому сумарна довговічність деталі значно зросте.

Технічним результатом вищенаведеної наукової гіпотези є створення простого у реалізації, мало затратного способу подовження терміну експлуатації важкозавантажених прогінних балок кранів мостового типу за рахунок зміни знака циклічності напружень поясних зон шляхом перевертання балки на 180º уздовж осі (рис. 1).

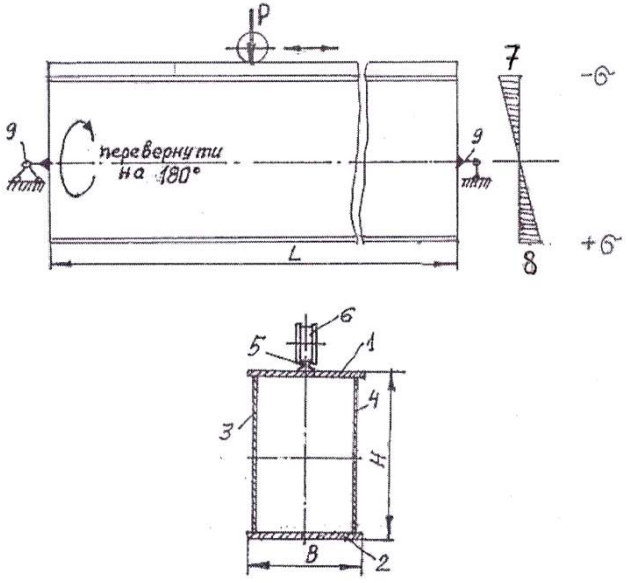


Рисунок 1 – Прогінна кранова балка з можливістю перевертання.

Сутність способу пояснюється схемою, де зображена кранова балка прогоном L з можливістю її перевертання на 180° уздовж осі та циклічним завантаженням поясних зон.

Під час експлуатації верхні пояснi зони прогінної балки потерпають від знакопостійного циклічного напруження стиску 7, а нижні – від знакопостійного циклічного напруження розтягу 8. При цьому пояс 1, який був верхнім, після перевертання стане нижнім, а нижній пояс 2 стане верхнім. Підвізкову рейку 5 слід переставити на пояс 2, який став верхнім після перевертання. Перевернуту балку можна далі експлуатувати в паспортному режимі до повного вичерпання ресурсу. При цьому кожний пояс балки буде отримувати циклічні знакопостійні або віднульові напруження протилежні за знаком відносно циклічних напружень попереднього напрацювання балки (до її перевертання).

Новизна технічного рішення характеризується тим, що розроблений спосіб дозволяє поясні зони важких прогінних кранових балок, які працюють при найбільших знакопостійних циклічних напруженнях, не доводять до повного вичерпання їхнього втомного ресурсу, а після напрацювання ними 0,7…0,9 від граничної кількості циклів продовжують експлуатувати з протилежними за знаком знакопостійними циклічними напруженнями шляхом простого перевертання балки на 180º уздовж осі без додаткових тренувальних навантажень та зміцнюючих конструктивних заходів. Створювана таким чином зміна знаку циклічності сприяє подовженню сумарного терміну експлуатації балки аналогічно штучним тренувальним навантаженням, але які здійснюються природнім шляхом в процесі експлуатації.

СЕКЦІЯ «ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ»

УДК 621.73
Обдул В.Д.[1] , Матюхін А.Ю.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

НІВЕЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОГО МОМЕНТУ НА ГВИНТОВОМУ ПРЕСІ

Як відомо гвинтові преси досить успішно використовуються в разі реалізації прецизійного штампуванні, якому притаманні значні навантаження та невелика абсолютна деформація. Одним із основних недоліків таких пресів – невелика величина ексцентричного навантаження, що заважає успішному використанню багатоперехідного штампування.

Пропонується двогвинтова конструкція преса, яка дозволяє підвищити надійність, розширити технологічні можливості. Привод гвинтів здійснюється від двох, кінематично зв'язаних з собою муфт включення, одна з яких служить для здійснення робочого ходу, а інша – зворотнього.

Гвинти обертаються в різні сторони, що повністю нівелює реактивний момент преса і не приводить до фрикційного зношування лан станини преса. Наявність двох гвинтів дає можливість безпечного штампування у випадку використання багатоперехідного штампування.

УДК 621.983.3
Широкобоков В.В.[1], Чиженьков Є.Д.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-815 ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛАДНИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Витягування деталей типу тіл обертання може здійснюватися як за один перехід, так і за декілька переходів. За типом деталі типу тіл обертання поділяють на низькі та високі.

При розгляді процесу одно перехідного витягування деталей типу тіл обертання необхідно відмітити, що у визначених умовах частина заготовки, що знаходиться в проміжку між пуансоном і матрицею, може втрачати стійкість. У цій частині заготовки діють тангенціальні стискаючі сили, які можуть викликати втрату стійкості.

Витягування низьких деталей ускладнюється тим, що ступінь деформації заготовки невелика, внаслідок чого деталь після витягування "розпружинює" і втрачає свою форму і розміри. Тому при витягуванні необхідно застосовувати перетяжні ребра.

Найбільш розповсюджений метод витягування деталей типу тіл обертання це метод послідовних циліндрів.

При витягуванні по методу послідовних циліндрів значні труднощі викликає усунення слідів переходу від однієї ділянки до іншої. При переході від одного ступеня до іншого є торообразні ділянки, що оформилися по кромках пуансона і матриці. Випрямлення ділянок на останньому переході витягування може бути здійснене, якщо в завершальній фазі деформації (при підкарбовуванні) в заготовці діятиме велике меридіональне розтягуюче напруження. Проте збільшення меридіонального розтягуючого напруження може привести до руйнування заготовки в небезпечному перерізі.

Недоліком цього способу є різна товщина стінки по висоті, а також необхідність великої кількості штампів.

УДК 621.96
Явтушенко А.В.[1], Парубець А.Ю.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. Мз-814м ЗНТУ

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОЗПОДІЛЬНИХ ШТАМПІВ

При виконанні розподільних операцій листового штампування велике значенні має стійкість робочого інструменту, яка обумовлює його необхідну кількість, частоту переналагодження штампів, продуктивність праці і, головне, вартість продукції.

Питання дослідження впливу різноманітних факторів на стійкість розподільного інструменту досить широко розглядалась рядом дослідників і науковців. На підставі літературного огляду класифіковані головні чинники, які впливають на стійкість інструменту, показані шляхи її збільшення та умови виконання. Зважаючи на умови виробництва встановлені найбільш доступні та економічно варті методи збільшення стійкості.

Дещо менше досліджені методи зниження технологічного зусилля, яке є фактичного головним чинником зносу інструменту. Розглянуто вплив форми робочого інструменту на величину технологічного зусилля. Для цього проведено аналіз зміни зусилля при використанні пуансонів із змінною формою торцевої поверхні.

Окремо розгляну вплив взаємного перекосу та зсуву пуансона та матриці на характер процесу вирубування листового матеріалу. Досліджено зміну напруженого стану робочої частини інструменту від величини зсуву та перекосу, встановлено їх граничні значення. Показано, що ніяке підвищення кутової жорсткості відкритих пресів не забезпечує необхідної точності розташування інструменту, тому рекомендації деяких дослідників використовувати з певними обмеженнями такі преси для розподільних операцій листового штампування не мають ніякого обґрунтування.

УДК 621.98.01
Явтушенко А.В.[1], Штепа В.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-814м ЗНТУ

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗУСИЛЛЯ ПРИ РОЗПОДІЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

Розділові операції листового штампування характеризуються несприятливим силовим режимом пластичного деформування. При виконанні операції розділу інструментом з плоскими ріжучими кромками процес поділу металу починається одночасно по всьому периметру контуру, в результаті чого технологічне зусилля зростає до максимального значення, а потім різко знижується майже до нуля. В результаті відбувається різке динамічне порушення технологічної машини – під дією накопиченої потенційної енергії рухомі частини робочого органу та інструменту (штампа) набувають значне прискорення і відбувається перерозподіл сил в головному виконавчому механізмі. Таке динамічне порушення системи призводить до перерозподілу напрямів і величини діючих сил, зміни положення ланок в зазорах кінематичних пар, виникненню напружень, що розтягують шатун механічного преса або виникнення вакууму в циліндрах гідравлічного преса. Це призводить до необхідності збільшення запасу міцності технологічних машин, вибору машин більшого номінального зусилля, або обмеження максимального допустимого зусилля для даного преса. Наприклад, при виконанні розділових операцій на кривошипних універсальних пресах максимальне зусилля деформації не повинно перевищувати 45-50% від номінального. А гідравлічні преси категорично не рекомендується використовувати для розділових операцій.

Одним з методів зниження не стільки величини, стільки інтенсивності зміни зусилля розділових операцій є застосування інструменту з похилими ріжучими кромками. Прикладом є так звані гільйотинні ножиці. При

виконанні розділових операцій в штампах використовують робочий інструмент з похилими ріжучими кромками. Залежно від призначення готової деталі нахил кромок виконується на пуансоні або на матриці. Застосовують пуансони зі скошеними кромками трьох типів: з нахилом кромок всередину; з нахилом крайок назовні; зі змінним кутом нахилу кромок. У даній роботі представлена методика визначення величини і характеру зміни зусилля деформації в залежності від геометричних характеристик інструменту. Встановлено, що вибір оптимального варіанту параметрів інструменту дозволяє не тільки знизити величину зусилля, але забезпечити сприятливий характер його зміни без різкого зриву.

УДК 621.771
Матюхін А.Ю.[1], Пирожков О.І.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-827сп ЗНТУ

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МІТЧИКО–ШТАМПУВАЛЬНОГО ПРЕС-АВТОМАТУ

На кафедрі ОМТ ЗНТУ розроблена та впроваджена технологія автоматизованого виготовлення мітчиків на мітчико-штампувальному прес-автоматі. Основною перевагою цього прес-автомата в порівнянні з існуючими моделями пресів є велика продуктивність. Якщо на існуючій моделі кривошипного преса типу КД2330 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 нерухомий, працюють тільки руки). У цеху, де встановлені преси застарілих моделей, має місце високий рівень шуму від вихлопів стисненого повітря (їм 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 100кН, яке використовується повністю при штампуванні заготовки, в той час як енергетичні можливості преса КД2330 використовуються на 10 - 30%, що явно неприпустимо при масовому і крупносерійному виробництві. Особливу увагу необхідно приділити також якості штампування та дотримання ГОСТів. Точність штампування діаметра серцевини заготовок мітчика на прес-автоматі вище, ніж в штампі. Закон розсіювання розмірів діаметра

серцевини мітчика при штампуванні на прес-автоматі відповідає нормальному. При штампуванні в штампі такого немає.

Необхідно також відзначити, що вище названі типи обладнання (за винятком прес-автомата конструкції ЗМИ-ЗИЗ) не в повній мірі відповідає нинішньому рівню розвитку науки і техніки, тому що вони метало- і енергоємні, займають великі виробничі площі та малопродуктивні при досить великої вартістю.

Основний недолік мітчико-штампувального прес-автомата полягає в складності настройки пуансонів, тому що тут необхідний спеціальний оптичний прилад. Тому налагодження доводиться робити чисто візуально, шляхом проб і помилок, перевіряючи якість настройки по відштампованим заготовкам. У зв'язку з цим багато заготовок з дорогого металу йде в брак.

Основною ідеєю роботи є відновлення та вдосконалення конструкції мітчико-штампувального прес-автомату. Зокрема, планується створити рівчаки для формування чотирикутного хвостовика для кріплення мітчика у мітчикотримачі.

Висновки

1. Прес-автомат конструкції ЗМИ-ЗИЗ є найбільш досконалим прототипом обладнання для розробки прес-автомата для штампування заготовок гайкових мітчиків М6–М8.

2. Конструкція прес-автомата ЗМИ-ЗИЗ приймається в якості аналога при розробці прес-автомата для штампування заготовок мітчиків М6–М8.

УДК 621.733
Матюхін А.Ю.[1], Доновський І.О.[2]
[1] канд. техн. наук, доц. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-827сп ЗНТУ

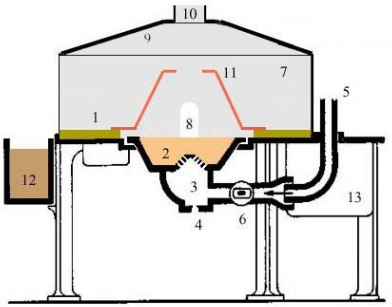
СУЧАСНЕ ВИКОРИСТАННЯ КОВАЛЬСЬКОГО ГОРНУ

Горн (від німецького слова „horn”) спочатку – «ріг», потім horn отримало безліч інших значень. Древній плавильний горн, в якому отримували кричне залізо, на вигляд схожий на сигнальну трубу з рогу, поставлену розтрубом вниз, а від нього пішов і ковальський горн, хоча на ріг він уже ніяк не схожий.

У кузні горн застосовується для розігріву металу перед куванням, цементування і інших операцій термообробки. Горн – необхідне пристосування яке необхідно всім, хто працює з металом: він дозволяє отримати в кустарних умовах температуру до 1100°С і навіть 1200°С; може

бути як великим стаціонарним, так і маленьким настільним, а зробити горн своїми руками не становить великих труднощів і складнощів.

На рис. 1 зображено стандартний горн.



1 – стіл горна з вогнетривкого матеріалу; 2 – топливник (вогнище); 3 - повітряна камера; 4 – повітряний дренаж; 5 – повітропровід; 6 - повітряний вентиль; 7 – камера (шатер) горна; 8 – вікно для подачі довгомірних заготовок;
9 – зонт горна; 10 – димохід (газовідвід); 11 - зйомне горнило; 12 - гартівна ванна (цебер, балію); 13 – газоповітряна камера.

Рисунок 1 – Схема стандартного горну.

Для створення більш сприятливих умов роботи коваля доцільніше будувати закриті горни. Вони, хоча і дещо складніші у виготовленні, проте відрізняються більш високою ефективністю, і забезпечують рівномірне нагрівання заготовок, зокрема, круглого або прямокутного поперечного перерізу. Відкриті горни використовуються ковалями художнього кування при виготовленні незначної за своїми розмірами продукції.

Принцип роботи зазначеного пристрою простий - на його робочій поверхні горить вугілля (може бути інше джерело енергії), в ньому розташовується заготовка, яка нагрівається до необхідної температури. Після нагрівання заготовка подається на ковадло, на якому їй надають необхідної форми за допомогою молота.

Для роботи можна використовувати різні види палива. Краще паливо для горна – дрібний кокс. Вартість коксу, в залежності від регіону, рази в 3 дорожче за кам'яне вугілля, але йде його на одне кування при вмілому використанні в 4…5 разів менше.

Кокс - практично чистий аморфний вуглець, карбон. Дійсно чистий: коксовий газ - цінна хімічна сировина, запалюється при 450…600°С, тому розпалювання потрібне подвійне: дровами розпалюють вугілля, а вже на

нього накладають шар в 150…170 мм коксу і включають дуття на максимум. Коли вугілля прогорить, масу коксу розгрібають, залишивши на колоснику шар в 1/3…1/4 від висоти всієї купи, вводять в осередок заготовку і загрібають палаючим паливом. Дуття зменшують до норми для даної операції і чекають, поки деталь досягне необхідної температури для початку роботи.

Якщо топити кам'яним вугіллям, йому потрібно дати прогоріти до карбону, тобто летючі складові, той самий коксовий газ, повинні вигоріти. Це знову-таки видно за кольором полум'я. Але настільки повного вилучення летючих складових, як в коксовій батареї, прямо в горні не досягти, так що на вугіллі можна кувати декоративні або середньої якості предмети побуту. Як правило, одного завантаження вугілля не вистачає і його доводиться допалювати. Довантаження на допалювання підкладають до вогнища збоку на стіл і в міру прогорання підгортають карбон на заготовку.

Примітка: про звичаї минулого. Колись кращими вважалися булатні клинки, загартовані в живому тілі полоненого сильного ворога або, в крайньому випадку, м'язистого раба.

УДК 621.7.073
Бень А.М.[1], Єпішкін О.В.[2]
[1] старш. викл. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-816 ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТРИВИМІРНОГО ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ В СИСТЕМІ КОМПАС-ГРАФІК

КОМПАС-3D – потужна та універсальна система тривимірного проектування, яка стала стандартом завдяки простоті засвоєння та широким можливостям твердотільного, поверхневого та прямого моделювання.

Ключовою особливістю продукту є забезпечення наскрізного процесу проектування від реалізації ідеї в 3D до підготовки повного комплекту документації. В основі КОМПАС-3D лежать власне математичне ядро та параметричні технології. Продукт містить інструменти для колективного проектування виробів та об’єктів виробництва будь-якого ступеня складності та дозволяє підготувати повноцінну електронну модель виробу, інструменту, устаткування і т. ін.

Головною особливістю тривимірного проектування штампа є можливість побачити його до виготовлення, оцінити елементи з’єднання, робочі частини штампу та їхнє сполучення. В разі виникнення принципових похибок на самих ранніх етапах проектування є можливість їхнього

швидкого усунення. Отримується модель об’єкту та оцінюються можливі похибки ще на етапі проектування. В разі виникнення будь-яких нестиковок можна швидко скоригувати модель, уникаючи при цьому витрат на матеріал та сам процес виготовлення.

При роботі в КОМПАС легко забезпечується колективна робота: кожному проектувальнику видається певна група деталей, окремо виконуються 3D-моделі кожної деталі, які зрештою об’єднуються в одному файлі і виконується збирання виробу.

При тривимірному проектуванні є можливість побачити всі вузли штампа, оглянути їх більш детально, що підвищує майбутню якість виробу. Одночасно визначається точна маса всього штампу та його окремих деталей.

Тривимірну модель штампа дешевше і простіше проаналізувати ніж вже виготовлену. Є можливість виконання необхідних розрахунків та оптимізувати конструкцію без затратних натурних досліджень.

Спроектовану модель штампа можливо змінити і модифікувати за короткий проміжок часу.

В ході роботи було спроектовано 3D-модель штампу послідовної дії для пробивання-вирубування (рис. 1).

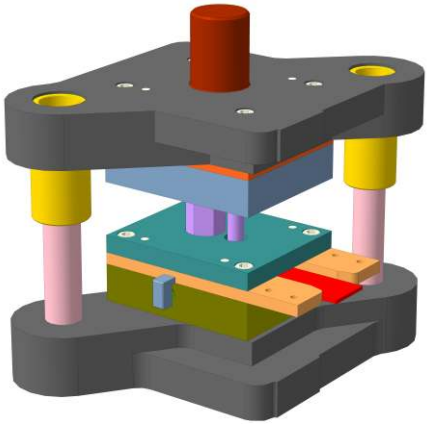


Рисунок 1 – Модель штампу послідовної дії для пробивання-вирубування.

Існує можливість швидкої підготовки супровідної документації на виріб, яка включає детальні креслення як збірної моделі, так і окремих її вузлів, специфікації. Використовуючи 3D-моделі, можна готувати якісні презентаційні матеріали.

УДК 621.774.6
Ленок А.А.[1], Горпинич А.П.[2]
[1] асист. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-817 ЗНТУ

ДЕФЕКТИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КРУТОЗАГНУТИХ ВІДВОДІВ ДЛЯ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Крутозагнуті відводи – з'єднувальні деталі в місцях поворотів трубопроводів на певний кут (45˚, 60˚, 90˚ і 180˚), які мають великий радіус гнуття (Ry<2Dy). Один із основних методів виготовлення крутозагнутих відводів – є гнуття труб.

Гнуття труб здійснюється різними методами. Застосування тієї чи іншої технології визначається багатьма факторами: матеріал заготовки, умови виготовлення, профіль, радіус гнуття і т. д. В основному виділяють 2 типи гнуття труб:

1. Гаряче гнуття труб.

Гнуття труб з попередніми розігрівом застосовують у випадках, коли немає можливості застосувати трубозгинальні пристрої і пристосування для гнуття в холодному стані. Процес гнуття труб з попередніми розігрівом досить трудомісткий і проводиться з наповнювачем. В якості наповнювача використовують сіяний річковий пісок без органічних включень і занадто дрібних фракцій, які при термічному впливі можуть спікатися і пригорати до стінок. Пісок не повинен бути вологим, щоб виключити виникнення високого тиску пару в трубі при її нагріванні. Гнуття сталевих труб проводиться при температурі близько 900°С без перепалу і з одним нагріванням інакше – погіршується якість продукції. Розмір ділянки, що розігрівається, визначається перерізом та радіусом гнуття. Після закінчення процесу видаляють заглушки, витягають пісок, очищують та промивають порожнину труби.

2. Холодне гнуття труб.

Технологія гнуття металевих труб холодним способом має істотні переваги в порівнянні з гарячим. Цей метод більш технологічний і в кілька разів продуктивніше, що веде до зниження собівартості. Таким способом проводиться і операція зі згинання труб з кольорових пластичних металів. Мідь і алюміній відрізняються високою ковкістю, що дозволяє зігнути вироби без розігріву. Строго кажучи, гнуття труб негативно впливає на характеристики їх якості. Виникають помітні дефекти, основними з яких є:

- зменшення товщини стінки на зовнішній стороні згинання;
- поява гофрових складок на внутрішній стороні згинання;

- спотворення форми проходу труби – з круглої вона перетворюється в овальну,
- утворення подряпин та інших дефектів під час гнуття, пов'язаних не тільки з технологічним рівнем обладнання, а й ступенем точності використовуваного інструменту та оснастки;
- розтягнення стінки по зовнішньому радіусу гнуття.

Особливо схильні до деформацій труби з м'яких металів і з тонкими стінками. Тому гнуття тонкостінних труб вимагає застосування механічного стабілізатора – їм служить дорн. Дорном називають спеціальний елемент оснащення, який в процесі згинання розташовується в порожнині труби за місцем її згинання. Він призначений для запобігання деформацій стінок труби в процесі гнуття. Дорн може бути жорсткої або гнучкої конструкції.

УДК 621.774.6
Ленок А.А.[1], Макаров А.С.[2]
[1] асист. ЗНТУ
[2] студ. гр. М-816 ЗНТУ

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГНУТТЯ ТРУБ

У сфері виробництва труб одним з найважливіших типів обладнання є верстат для гнуття труб. Трубозгинальні верстати призначаються для надання форми і гнуття труб, які можуть бути різними за діаметром, і виготовлені з різних матеріалів. Верстат для гнуття труб працює з такими матеріалами, як метал, металопластик, алюміній і мідь і багатьма іншими матеріалами.

Технологічний процес роботи трубозгинального верстата не є складним. Основна суть процес згинання труби заснована на тому, що виробу надають необхідну форму по заданому радіусу, за допомогою намотування його на спеціальну головку гнуттєвого типу. Сама поверхня труби при цьому піддається деякої деформації, з внутрішньої сторони можливо утворення складок. Проте дані деформації легко виправляються при подальшому обробленні труби, за допомогою спеціально призначених для цього інструментів.

Використання трубозгинального верстата має ряд переваг, по-перше стовідсотково зберігається цілісність готового виробу, гнуття відбувається саме так, як того вимагає технологія і за необхідними розмірами і радіусів, при такому методі гнуття на виробі виключено наявність механічних пошкоджень, оскільки апарат гарантує цілісність виробу після роботи по згинанню труби.

Найпоширеніший вид трубозгинального верстата – класичний трьохроликовий (трьохвалковий) вальцевий трубогиб. Він використовує спосіб холодного деформування металу, який називають гнуття. Верстат такого типу може працювати з будь-якими металами, від кольорових до титанових сплавів. Він може легко впоратися з гнуттям круглих та овальних трубних виробів, але при цьому відмінно згинає і заготовки квадратного, прямокутного і навіть трикутного перерізу.

Трубогиби поділяють за типом привода і способом гнуття.

Ручні трубогиби забезпечують обробку виробів невеликого діаметра: труби з кольорового металу, полімерів або нержавіючої сталі. Можуть бути спроектовані для виробів певного діаметра або відрізнятися універсальністю. Перевагою ручного трубогиба є невелика маса (близько 50 кг), компактність, простота у застосуванні та обслуговуванні, зручність у транспортуванні, невелика вартість. Найчастіше використовується для прокладання водопровідних і газопровідних труб.

Гідравлічні трубогиби можуть мати стаціонарне і пересувне виконання і дозволяють виконувати вигини товстостінних труб. Потрібне зусилля досягається за допомогою поршня зі штоком, який приводиться в дію від гідравлічного насоса, що дозволяє гнути вироби з поперечним розміром до 4 дюймів, створюючи при цьому зусилля до 8000 кгс. При цьому гідравлічний трубогиб забезпечує незмінність перетину в місці згинання, що є важливим при експлуатації сантехнічних трубопроводів.

Електромеханічні трубогиби, що призначені для використання на великих будівельних об'єктах. Є незамінним при прокладанні нафтопроводів, оскільки здатний згинати труби великих діаметрів з високою якістю і великою точністю. При цьому вони мають меншу мобільність, є енергозатратнішими і потребують підключення до джерела електроживлення.

Гнуття намотуванням здійснюється за допомогою інструмента, у вигляді ролика з вмонтованою в нього затискною колодкою, затискача, дорна і опірної колодки. Такий інструмент є складовою частиною спеціального верстату для гнуття труб. Гнуття труб з застосуванням наведеного інструменту виконується в такій послідовності. Труба надівається на дорн, встановлюється в рівчак згинаючого шаблону і закріплюється за допомогою затискача. Потім ставиться опірна колодка, яка притискує трубу до шаблону в процесі гнуття. Після включення верстату шаблон повертається на необхідний кут гнуття, стягуючи при цьому трубу з дорну.

Гнуття з місцевим нагріванням зони пластичної деформації застосовується для гнуття труб середнього та великого діаметра на малі радіуси. Для цього застосовують нагрівання вузької кільцевої ділянки зони пластичної деформації. Внаслідок невеликої протяжності зони нагрівання складкоутворення в зоні стиску не настає, а проходить процес осадки нагрітої

дільниці труби під дією стискуючих напружень, які виникають при гнутті. Гнуття з місцевим нагріванням здійснюється на спеціальній машині для гнуття труб.

Заготовка подається кареткою через направляючі ролики в індуктор, де проходить місцеве нагрівання кільцевої дільниці труби током високої частоти до температури 800–900°С. При виході з індуктора заготовка охолоджується повітрям або водою за допомогою охолоджувального пристрою. Гнуття труби здійснюється спеціальним згинальним роликом, місцезнаходження якого установлюється в залежності від необхідного радіуса гнуття.

СЕКЦІЯ «ВИЩА МАТЕМАТИКА»

УДК 517.9
Онуфрієнко В.М.[1]
[1]д-р фіз.-мат. наук, проф. ЗНТУ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЄМНОСТІ ФРАКТАЛЬНОГО КОМПАКТА З ЕРЕДИТАРНИМ ЕФЕКТОМ

Останнім десятиріччям актуалізуються математичні дослідження питання про реалізації від‘ємної ємності як виду представлення від‘ємної реактивної провідності, що є еквівалентною індуктивністю [1].

Застосування поняття фракталу в математичному моделюванні динамічних систем наділяє їх властивостями, властивими складним нелінійним системам, наприклад, ефектами ередитарності, в яких враховується не тільки теперішній стан системи або найближчий попередній стан (тобто початкові значення параметрів стану системи, а також деякі похідні за часом), але також і всі попередні стани, в яких перебувала дана система. Диференціальні рівняння дробових порядків, що виникають у таких моделях, знаходять своє самостійне застосування в багатьох областях фізико-математичної й технічної науки [2, 3] і називаються за термінологією В. Вольтерра ередитарними [4]. Поняття ередитарності означає наявність в досліджуваному процесі ефекту пам'яті або нелокальності за часом. Нелокальність за часом, що міститься в ядрі інтегрального оператора вихідного рівняння називається функцією пам'яті. Якщо функція пам'яті є степеневою (в наших задачах з фрактальною геометрією компактів і неперервним розподілом фізичних параметрів на них та в задачах з фрактальними розподілами зарядів і струмів на гладких компактах), то виникає природний перехід до рівнянь з дробовими похідними.

Диферінтегральна модель струмопровідних фрактальных радіоелементів розвивається на основі вводу хаусдорфової метрики та міри фрактальних компактів у вигляді диферінтегральної альфа-форми множин фізичних зарядів (елементів струму) в метаматеріальному середовищі [2] та у часі.

Для виявлення екзотичних ефектів, що можуть виникати у фізично реалізовних приладах з від‘ємними ємностями та індуктивностями, розглядаємо математичні основи побудови фрактальної моделі імітації від‘ємної ємності наношару у просторі і часі як функції множини за аналогією фізичного поняття електростатичної ємності $C = Q / U$, де Q – заряд, U – потенціал.

Для моделювання кусково-неперервного у просторі заряду (струму) $Q(x,t)$ з розривами 1-го роду в точках $x_1, x_2, \ldots$ та скачками $\Delta_1, \Delta_2, \ldots$ у фрактальному середовищі розглянемо $Q_1(x,t) = Q(x,t) - \sum_k \Delta_k \theta(x - x_k)$.

Для одиничної функції виду $\theta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ 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

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

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 $\theta^{(1+\alpha)}(x) = \delta^{(\alpha)}(x)$, $\theta^{(1+\alpha)}(x - x_0) = \delta^{(\alpha)}(x - x_0)$. Очевидно, що введена функція неперервна всюди та має звичайну похідну за виключенням скінченного числа точок. Перша похідна від регулярного функціоналу $Q_1(x,t)$ збігається з регулярним функціоналом, що визначається функцією $Q_1(x,t)$. Результати диференціювання можна узагальнити у вигляді

$$Q_1^{(1+\alpha)}(x,t) = Q^{(1+\alpha)}(x,t) - \sum_k \Delta_k \delta^{(\alpha)}(x - x_k). \quad (2)$$

У спробах знаходження густини заряду з розподілом у вигляді звичайної функції $Q(x)$, похідна якої існує у звичайному сенсі за виключенням, можливо, окремих точок, але не є локально інтегровною функцією, може виникати своєрідна ситуація, що полягає у розбіжності інтегралу $(Q', f) = \int_{-\infty}^{\infty} Q'(x) f(x) dx$, який, таким чином, не може визначатись як функціонал. Але такий інтеграл є збіжним, коли $Q'(x)$

дорівнює нулю в околі точки x_0 з неінтегровною особливістю. У зв‘язку з цим впроваджують довизначення функціоналу побудовою такого, що на основні функції діє за формулою: $(Q', f) = -(Q, f') = -\int_{-\infty}^{\infty} Q'(x) f(x) dx$, що і виступає регуляризацією густини заряду(струму) $Q'(x)$.

Введення інтегродиференціалів в опис моделі фрактальних множин дозволяє розглядати таким чином наявність в точках компакту неінтегровної густини зарядів(струмів) та ємності $\alpha-$фрактально конфігурованого компакту.

Для виявлення ефекту $\beta-$ еридитарності фрактального компакту у часі за схемою побудови рівнянь (1) і (2) з розривами зарядів(струмів) у часі виду $\delta^{(\beta)}(t - t_m)$ маємо

$$Q(\alpha, \beta, x, t) = C_1^{(1+\alpha)}(x)\, U(t) + C_{er} D_t^{1+\beta} U(t), \qquad (3)$$

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. Найважливішим з них є ефект пам'яті, що наводить на висновок про те, що від‘ємні ємнісні (індуктивні) компакти мають пам'ять (порів. з [5]), керувати якою можна за допомогою часово-частотної та просторової фракталізації.

Визначено перспективи подальшого застосування розробленого математичного методу для аналізу й синтезу штучних метаматеріальних фрактальних радіоелементів з необхідними електродинамічними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mengwei S. Step-slope hysteresis-free negative capacitance MoS2 transistors / S. Mengwei // Nature Nanotechnology. – 2018. – 13. – P. 24–28.

2. Онуфрієнко В.М. Потенціали фрактальних зарядів і струмів у штучному середовищі / В.М. Онуфрієнко // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2004. – №1(1). – С. 18–21.

3. 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.

4. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегродифферен-циальных уравнений / В. Вольтерра. – М. : Наука, 1982. – 304 с.

5. Westerlund S. Dead matter has memkry / S. Westerlund // Physica Scripta. – 1991. – Vol. 43. – № 2. – P. 174–179.

УДК 517.9:537.8

Онуфрієнко В.М.[1], Онуфрієнко Л.М.[2]
[1] д-р фіз.-мат. наук, проф. ЗНТУ
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. ЗНТУ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОВІДНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО КАНАЛУ З ФРАКТАЛЬНО КОНФІГУРОВАНИМИ МЕЖАМИ

Запропоновано математичну модель [1] для дослідження впливу на провідність каналу з фрактально конфігурованими межами зміщених атомних шарів транзистора $n-$типу для випадку замкнутих між собою затворів. Визначено деякі умови керування характеристиками транзистора за умови нульової напруги «стік-витік».

Теорія фрактального шару [2] на межі розділу двох середовищ базується на визначенні дробового диференціала $d^{\alpha}x_i$, 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.

У схемі $n-$канального польового транзистора з керованим $p-n$ переходом ($S-$ витік, G_1 і G_2 – затвори, $D-$ стік) спрямуємо вісь OY вздовж, а вісь OX перпендикулярно $n-$каналу між фрактально конфігурованими затворами та вважаємо, що струм каналу тече в області $x_{n1}<x<x_{n2}$.

Для випадку нульової напруги між стоком і витоком $u_{DS}=0$ різниця потенціалів між затвором і каналом не залежить від координати y і дорівнює прикладеній напрузі u_{GS}, за методом моментів (порів. з [3]):

$$U(y)=U^{(\alpha)}_{GS}=-\frac{q}{\varepsilon_s}\int\limits_{x_p}^{x_n}xN(x)d^{\alpha}x, \qquad (1)$$

де q – заряд електрона; ε_s – діелектрична проникність напівпровідника; $N(x) = N_D - N_A$ концентрація некомпенсованих донорів; $U(y)$ – повний потенціал між затвором і каналом (у розглядуваному випадку $U_{GS}^{(\alpha)} = u_{GS} + \psi$, де ψ – контактна різниця потенціалів на $p-n$ переході), $d^{\alpha}x$ – диферінтеграл.

Для переходу «канал-затвор» з (1) одержуємо

$$U_{GS}^{(\alpha)} = \frac{-qN_n}{\alpha(\alpha+1)\Gamma(\alpha)\varepsilon_s}\left(x_{n1}^{\alpha+1} - \frac{N_p}{N_n}x_{p1}^{\varepsilon+1}\right). \tag{2}$$

Далі з (2) випливає формула для обчислення потенціалу перекриття (випадок змикання області просторового заряду двох затворів)

$$U_0^{(\alpha)} = -\frac{qa^{\alpha+1}N_n}{\alpha(\alpha+1)\Gamma(\alpha)\varepsilon_s}\left(1 - \left(\frac{N_n}{N_p}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right). \tag{3}$$

Провідність каналу з шириною $2a$ та питомою провідністю незбідненої частини n – області обчислюється за формулою

$$g_{DS} = \frac{\partial I_D}{\partial u_{DS}}\Big|_{u_{DS}=0} = \frac{2\sigma az}{L}\left(1 - \left(\frac{u_{GS}+\psi}{U_0}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right),$$

$$\frac{g_{DS}L}{2\omega az} = 1 - \left(\frac{u_{GS}+\psi}{U_0}\right)^{\frac{1}{\alpha+1}}. \tag{4}$$

Нормована провідність (4) каналу з фрактально провідним шаром демонструє теоретичну можливість керування зміною її величині в широких межах та за знаком, реалізуючи таким чином від‘ємні характеристики нанотранзистора та резистора, що допускає управління напругою. Зміною величини скейлінгу α фрактального шару (для $\alpha = 1$ маємо класичні результати [3]) можна досягти ефектів, що проявляються при змінній товщині каналу провідності нанотранзистора.

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

3. Кобболд Р. Теория и применение полевых транзисторов / Р. Кобболд. – Л.: Энергия, 1975. – 304 с.

УДК 517.982

Онуфрієнко В.М.[1], Слюсарова Т.І.[2]
[1] д-р фіз.-мат. наук, проф. ЗНТУ
[2] асист. ЗНТУ

ДИФРАКЦІЯ ХВИЛЬ НА СТОКО-ДЖЕРЕЛЬНИХ ФРАКТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТАХ

Метод виводу інтегральних рівнянь, запропонований Ґрінбергом [1], застосовується для розв'язування задач математичної теорії дифракції електромагнітних хвиль на пласких поверхнях. Спираючись на схему цього методу, розглядається питання про виведення рівнянь у термінах диферінтегралів для непласких фрактально конфігурованих циліндричних поверхонь.

Подальший розгляд проблеми та побудова строгого розв'язку задачі дифракції хвиль на фрактальній поверхні S (зі скейлінгом α_2) базується на рівняннях Максвела та Гельмгольця, записаних в диферінтегральних α-формах [2], та визначенні диферінтегральних α-потенціалів типу $\vec{A}^{(\alpha)} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \int\limits_S \frac{\vec{j}^{(\alpha_1)} e^{-ikL}}{L} d^{(\alpha_2)}S$, що задовольняють однорідному рівнянню Гельмгольця $\nabla^2 \vec{A}^{(\alpha)} + k \cdot \vec{A}^{(\alpha)} = 0$ поза S та враховують фрактальну щільність струмів (зі скейлінгом α_2), наведених на цій поверхні (L-відстань від елемента $d^{(\alpha_2)}S$ до точки спостереження) і пов'язаних умовою калібрування $div\, \vec{A}^{(\alpha)} + i\omega b \cdot \Psi^{(\alpha)} = 0$.

Коли $div\,\vec{A}^{(\alpha)} = 0$, то маємо інтегральне рівняння

$$\frac{\omega\mu}{4}\cdot\int_{\alpha}^{\beta} j^{(\alpha_1)}(t)\cdot H_0^{(2)}\left(k\cdot L_0(\tau,t)\right)\cdot\sqrt{(\xi'(t))^2+(\eta'(t))^2}\,d^{(\alpha_2)}t = E_z^{0(\alpha)}(\tau), \quad (1)$$

де $L_0(\tau,t) = L|_{\Gamma} = \sqrt{(\xi(\tau)-\xi(t))^2+(\eta(\tau)-\eta(t))^2}$, $E_z^{0(\alpha)}(\tau)$ – поздовжня складова напруженості первинного електричного поля. І двовимірна задача дифракції E-поляризованого поля на ідеальній фрактально провідній незамкненій циліндричній поверхні S зводиться до розв'язування інтегрального рівняння Фредгольма 1-го роду

$$\frac{\omega\mu}{4}\cdot\int_{\alpha}^{\beta} j^{(\alpha_1)}(t)\cdot H_0^{(2)}\left(k\cdot L_0(\tau,t)\right)\cdot\sqrt{(\xi'(t))^2+(\eta'(t))^2}\,d^{(\alpha_2)}t = E_z^{0(\alpha)}(\tau) \quad (2)$$

для довільної форми циліндричної поверхні S з фрактальним розподілом зарядів (струмів).

Вважаємо, що для H-поляризованого первісного поля поверхня S збігається з частиною поверхні $q = q_0$ ортогональної системи координат q,τ,z. На контурі Γ змінна q має стале значення $q = q_0$, $\alpha \le \tau \le \beta$. Коефіцієнти Ламе h_q, h_τ можуть бути функціями $h_q(q,\tau), h_\tau(q,\tau)$, а $h_z \equiv 1$. Під дією H-поляризованого поля на поверхні S наводяться електричні струми, перпендикулярні твірним поверхні S (осі z), густини

$\vec{j}^{(\alpha_1)} = \vec{t}^{\,0}\cdot j^{(\alpha_1)}(t)$, $\alpha \le t \le \beta$, де $\vec{t}^{\,0}$ – орт дотичної до контуру Γ в точці M. Тоді напруженість вторинного електричного поля визначається через векторний $\vec{A}^{(\alpha)}$ і скалярний $\Psi^{(\alpha)}$ потенціали з виконанням умови калібрування. Векторний потенціал $\vec{A}^{(\alpha)}$ визначається через густину струму $j^{(\alpha_1)}(t)$ залежністю $\vec{A}^{(\alpha)} = -\frac{i\mu}{4}\cdot\int_{\alpha}^{\beta}\vec{t}^{\,0}\cdot j^{(\alpha_1)}(t)\cdot g_1(q,\tau,t)d^{(\alpha_2)}t$, де

$$g_1(q,\tau,t) = H_0^{(2)}\left(k\cdot L(q,\tau,t)\right)\cdot h_\tau(q_0,t),\ L(q_0,\tau,t) = L(\tau,t),$$
$$L(q,\tau,t) = \sqrt{(x(q,\tau)-x(q_0,t))^2+(y(q,\tau)-y(q_0,t))^2}\ .$$

Коли $div\,\vec{A}^{(\alpha)} \neq 0$, то безпосереднім застосуванням умов $\left[\vec{n}_0, \vec{E}^{(\alpha)}(M)\right] = -\left[\vec{n}_0, E^{0(\alpha)}(M)\right]$, $M \in S$ та зв‘язку між векторами поля і потенціалами, одержуємо не диферінтегральне, а інтегро-диферінтегральне рівняння для функції $j^{(\alpha_1)}(t)$.

З урахуванням умови калібрування $div\,\vec{A}^{(\alpha)} + i\omega b \cdot \Psi^{(\alpha)} = 0$ граничні умови записуються у вигляді

$$\widehat{A}_{\tau}^{(\alpha)}(\tau) = -\frac{i}{\omega} \cdot E_{\tau}^{0(\alpha)}(\tau) + \frac{i}{\omega \cdot \widehat{h}_{\tau}(\tau)} \cdot \frac{d\psi^{(\alpha)}(\tau)}{d\tau},\ \widehat{A}_{\tau}^{(\alpha)}(\tau) = A_{\tau}^{(\alpha)}(q_0, \tau), \qquad (3)$$

$\widehat{h}_{\tau}(\tau) = h_{\tau}(q_0, \tau)$. Це означає, що функція обчислюється в точці $M_0 \in \Gamma$, де $\alpha \leq \tau \leq \beta$.

Отже, векторний потенціал має вигляд

$$\widehat{A}_{\tau}^{(\alpha)}(\tau) = -\frac{i \cdot \mu}{4} \cdot \int_{\alpha}^{\beta} j^{(\alpha_1)}(t) \cdot g_1(q_0, \tau, t) \cdot \left(\vec{\tau}^{\,0}, \vec{t}^{\,0}\right) d^{(\alpha_2)}t,$$

де $\vec{\tau}^{\,0}$ – орт дотичної до контуру Γ в точці $M_0 = M_0(q_0, \tau)$, а скалярний добуток $\left(\vec{\tau}^{\,0}, \vec{t}^{\,0}\right)$ є функцією від τ, t.

Тоді двовимірна задача дифракції H-поляризованої електромагнітної хвилі на ідеально провідній незамкнутій циліндричній поверхні S буде зведена до диферінтегрального рівняння Фредгольма 1-го роду.

Таким чином, правильно підібрана фізико-математична модель [3-5] 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 дифракції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Захаров Е.В. Численный анализ дифракции радиоволн / Е.В. Захаров, Ю.В. Пименов. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

2. Онуфрієнко В.М. Модель фрактальних стоко-джерел в математичній теорії дифракції хвиль / В.М. Онуфрієнко, Л.М. Онуфрієнко, Т.І. Слюсарова // Тиждень науки: щоріч. наук. – практ. конф., 18-21 квітня 2017 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. –

Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – С. 251–252 – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM). – назва з тит. екрана.

3. Онуфрієнко В.М. Метод диферінтегрування граничних умов фрактального типу в задачах дифракції / В.М. Онуфрієнко, Т.І. Слюсарова, Л.М. Онуфрієнко // 18-ої міжнар. наук. конф. ім. академіка М. Кравчука, 7-10 жовтня 2017 р.: тези доп. – Київ: НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», – 2017. – Т. 1. – С. 120–123.

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

5. Онуфрієнко В.М. Граничні умови стоко-джерельного типу у фрактальних задачах дифракції / В.М. Онуфрієнко, Т.І. Слюсарова // Тиждень науки: щоріч. наук.-практ. конф., 16-20 квітня 2018 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – С. 276–278 – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM). – назва з тит. екрана.

УДК 537.8
Шама Є.О.[1], Онуфрієнко В.М.[2]
[1] інж.
[2] д-р фіз.-мат. наук, проф. ЗНТУ

ТЕОРІЯ ФРАКТАЛЬНОГО ШАРУ В ЗАДАЧАХ ВЗАЄМОДІЇ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ВИПРОМІНЕННЯ З РОСЛИННИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Для виявлення ефектів, що можуть виникати у задачах про взаємодію високочастотного випромінення з фізичними об'єктами, що характеризуються від'ємними провідностями, пропонується математична модель фрактально конфігурованого імпедансного нашару з кластерами різної провідності на межі розділу середовищ.

Теорію фрактального шару [1] застосуємо для дослідження ефекту впливу фрактально конфігурованого оптичного шару на приріст фази та поперечне зміщення хвиль. Моделлю такої оболонки може слугувати перехідний фрактально конфігурований шар на межі розділу двох середовищ у вигляді планарного фрактально конфігурованого оптичного симетричного хвилеводу (повітря-рослинний покрив).

Методика та алгоритм розв'язування задач про хвилі у планарному фрактально конфігурованому оптичному симетричному хвилеводі базується на визначенні дробового диференціала $d^{\alpha}x$, його зв'язку з дробовою

похідною $d^{\alpha}L(x) = D_x^{\alpha}L(x)d^{\alpha}x$, де дробова похідна $D_x^{\alpha}L(x)$ використана у формі Рімана-Ліувілля зі змінним порядком $\alpha(x)$ дробового інтеграла.

В задачі про похиле падіння і поширення хвилі у фрактально конфігурованих вздовж z стінках оптичного $p-$шарового хвилеводу визначено структуру поля горизонтальної поляризації

$$D_z^{\alpha}E^{(\alpha)} = E_0(e^{-jkL^{+}} - e^{-jlL^{-}}),$$

звідки за допомогою дробового інтегрування відновлено $\alpha-$характеристики квазіплоскої неоднорідної хвилі

$$E^{(\alpha)} = 2jE_0(k_{\alpha}\cos\theta)^{\alpha}\sin(\gamma_{\alpha}z + \frac{\alpha\pi}{2})e^{-j\beta_{\alpha}y}. \qquad (1)$$

З граничних умов для α-характеристики $E^{(\alpha)}$ на паралельних відбивальних площинах наношару $z = a_p$ випливає, що

$$a_p = \frac{p\pi - \frac{\alpha\pi}{2}}{k\cos\theta} = \frac{p\pi}{k_{\alpha}\cos\theta}, \text{ де } k_{\alpha} = \frac{k}{1-\frac{\alpha}{2p}}, \quad p = 1,2,...$$

Вплив скейлінгу фрактальної межі хвилеводу на приріст фази просторової α -характеристики хвилі в околі точки її входу у наношар стінки хвилеводу проявляється величиною

$$\delta = kl = \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi n_{\alpha}\frac{l}{\lambda_{\alpha}},$$

а зміщення хвилі в околі її входу в наношар визначено як

$$\Delta = 2dn\frac{\sin\theta}{\sqrt{n_{\alpha}^2 - n^2\sin^2\theta}}. \qquad (2)$$

Відмічаємо значний вплив фрактально конфігурованої межі оптичного наношару на приріст фази (додатній і від'ємний) та зміщення (прямого і оберненого) хвилі, що дозволяє нам виявити наявність прямого й оберненого ефекту Гуса-Хенхен [2] та можливість як управління характеристиками фрактально конфігурованих структур, так і фіксувати зміну конфігурації оптичного наношару.

Одержані результати застосовні для аналізу умов поширення і затухання електромагнітної енергії й сигналів в інших фрактально конфігурованих оптичних лініях. Результати узгоджуються з даними теорії еластичності та класичної теорії гомогенного середовища при граничних значеннях скейлінгу α. Підтверджено висновок про існування пам‘яті [3] у фрактально конфігурованих шарах з різнопровідними кластерами, на що можуть впливати також розподіли електричних полів, механічні напруги, магнітні поля, температура тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Онуфрієнко В.М. Потенціали фрактальних зарядів і струмів у штучному середовищі. Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2004. – №1 (1). – С. 18–21.

2. Yang R. Realization of “trapped rainbow” in 1D slab waveguide with surface dispersion engineering / R. Yang, W. Zhu, J. Li // Optics express. – 2015. – Vol. 23. – № 5. – P. 6326–6335.

3. Westerlund S. Dead matter has memkry / S. Westerlund // Physica Scripta. – 1991. – Vol. 43. – № 2. – P. 174–179.

УДК 621.3.013;621.365.32
Килимник І.М.[1]
[1] канд. тех. наук, доц. ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Надійність експлуатації силових трансформаторів в значній мірі визначається відповідністю їх теплового стану температурним обмеженням для прийнятого проектантами класу нагрівостійкості електроізоляції. Перевищення допустимої температури навіть на декілька градусів може майже наполовину скоротити прогнозований термін експлуатації силового трансформатора. Робота трансформатора характеризується втратами електричної енергії, які по відношенню до струмового навантаження поділяються на змінну і сталу складові, що визначають втратами короткого замикання і неробочого ходу (втрати у магнітній системі). Температурні режими трансформаторів забезпечуються різними типами систем охолодження. Найбільш ефективною є системи з направленою циркуляцією трансформаторного масла, яке омиває поверхні обмоток і магнітної системи.

Магнітна система є одним з найбільш масивних елементів конструкції трансформатора з найбільшою питомою теплоємністю. У тепловому сенсі під

час роботи трансформатора вона відіграє роль акумулятора тепла. Тому саме її температурний стан визначає стан нагріву інших систем і вузлів активної частини трансформатора. Визначення температурного стану на етапі проектування нового обладнання є складною задачею, вирішення якої слід вважати актуальним і в науковому і у виробничому планах.

Магнітна система силового трансформатора є однією з найважливіших складових його конструктивної будови. Вона складає основу його остову, на якому монтуються всі системи активної частини, а саме: системи обмоток, відводів, електроізоляції та регулювання напруги без збудження або під навантаженням. Саме магнітна система забезпечує локалізацію магнітного потоку у просторі, що охоплюється обмотками, і перетворення електричної енергії одних параметрів (струмів і напруги) до інших при постійній частоті живлення.

Магнітна система складається із окремих шихтованих пакетів, що вписані у коло круга відповідного діаметру. Пакети набираються із електро- і тепло- ізольованих листів анізотропної електротехнічної сталі таким чином, щоб напрям їх прокатки збігався із напрямом вектора магнітного потоку. У листах і пакетах магнітної системи виділяються електричні втрати, що обумовлені явищами гістерезису і вихрових струмів. Складна конструкція магнітної системи, багатокомпонентність її матеріалів з нелінійними тепловими властивостями, з одного боку, істотно ускладнюють математичну модель теплового стану, проте, з іншого боку, вимоги до інженерних проектних методик потребують її суттєвого спрощення і перетворення до алгебраїчних розрахункових співвідношень. Тому для розрахунку теплового стану магнітної системи трансформатора широко застосовуються, так звані, одномасні теплові моделі, які дозволяють визначати зміни середнього температурного стану.

Окрім значення середньої температури потребують розрахунку значення перевищення температур. Для їх визначення пропонується застосувати перетворення нелінійних диференційних рівнянь Фур'є у лінійну форму у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта. Це дозволяє застосувати метод конформних перетворень і поєднати ефективну одномасну нестаціонарну модель теплового стану у вигляді лінеаризованого рівняння Коші відносно середньої температури магнітної системи із одномірною краєвою задачею Фур'є у поперечних перерізів стрижнів відносно температурних перегрівів. Для практичних інженерних потреб із рішення задачі Фур'є має визначитися тільки значення максимального перегріву. Тому для кожної із названих задач можна отримати аналітичні рішення у вигляді алгебраїчних співвідношень у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта.

Верифікація даних розрахунків температурного стану магнітної системи здійснювалася шляхом їх порівнянні з даними моделювання нестаціонарних просторових температурних полів у структурі засобів спеціального програмного забезпечення Comsol Multiphysics. Відносна похибка розрахунків склала 2,7% для значень середньої температури магнітної системи і 3,2% для максимальних оцінок перевищення локальних температур у магнітній системі.

Таким чином розрахункова модель теплового стану магнітної системи силового трансформатора у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта повністю задовольняє вимоги до проектування по точності, а її числова реалізація не висуває жодних додаткових вимог до обчислювальної техніки.

Крім того отримані алгебраїчні співвідношення можуть бути додані до системи обмежень для задачі умовної оптимізації конструктивних параметрів, що дозволить істотно скоротити розмірність вектора незалежно варійованих конструктивних параметрів для нових типів проектованих силових трансформаторів.

УДК 539.3
Антоненко Н.М.[1]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЕЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ДВОШАРОВІЙ ОСНОВІ ПРИ НЕІДЕАЛЬНОМУ ТЕПЛОВОМУ КОНТАКТІ ШАРІВ

Розглядається задача про визначення температури в шарах двошарової основи при неідеальному тепловому контакті шарів. Кожен шар характеризується товщиною h_k, двома пружними характеристиками λ_k, μ_k, коефіцієнтами теплопровідності k_{Tk} та приведеним коефіцієнтом теплового розширення $\alpha_{Tk} = \tilde{\alpha}_{Tk}\left(3\lambda_k + 2\mu_k\right)/\left(\lambda_k + 2\mu_k\right)$, де $\tilde{\alpha}_{Tk}$ – коефіцієнт теплового розширення матеріалу. Шари нумеруємо зверху вниз починаючи з одиниці, півпростору присвоїмо номер 3. У кожному шарі вводиться декартова система координат $O_k xz_k$ так, як показано на рис. 1.

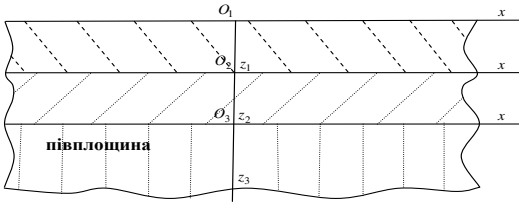


Рисунок 1 – Двошарова основа.

Крайові умови задачі: $T_1(x,0)=f(x)$, $T_3(x,0)=0$.

Умови на спільній межі шарів [1]:

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

де R – коефіцієнт теплового опору.

Задача розв'язується за допомогою одномірного інтегрального перетворення Фур'є. У просторі трансформант температуру в точках кожного шару можна представити у вигляді лінійної комбінації двох допоміжних функцій $\eta=\overline{T}(\xi,0)$, $\varepsilon=\frac{1}{p}\frac{d\overline{T}}{dz}(\xi,0)$ [2]: $\overline{T}(\xi,z)=\mathrm{ch}pz\,\eta+\mathrm{sh}pz\,\varepsilon$, де ξ – параметр інтегрального перетворення, $p=|\xi|$. Використовуючи умови (1) та вирази для допоміжних функцій отримано формули для обчислення допоміжних функцій кожного з шарів. Доведено, що допоміжні функції є залежними. Цю залежність представлено у вигляді $\varepsilon_k=-r_k\eta_k$, $k=1,2$, де $r_k=r_k(p)$ – функції податливості термопружної основи. Побудовано формули, які пов'язують функції податливості сусідніх шарів основи.

Оскільки $\lim\limits_{p\to\infty} r_k=1$, то для чисельної реалізації зручно ввести модифіковані функції податливості $\tilde{r}_k$: $\tilde{r}_k=1-r_k$. Для двошарової основи модифіковані функції мають вигляд:

$$\tilde{r}_2=-\frac{e^{-p_2}}{\mathrm{sh}p_2},\ r_2=\frac{\Delta_1-1+Lp+\tilde{r}_2+\tilde{r}_2(1-Lp)e^{-p_1}}{\Delta_1C_1+S_1+LpC_1-\tilde{r}_2(S_1+LpC_1)},$$

де $L=Rk_{T1}$.

Вираз для трансформанти температури набуває вигляду $\overline{T}_k(\xi,z)=\left(e^{-pz}+\tilde{r}_k\mathrm{sh}pz\right)\eta_k$. Представлення $\overline{T}(\xi,z)$ у вище вказаному вигляді дає змогу спростити процес знаходження оригіналу температури:

$T_k(x,z)=\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\infty}^{\infty}e^{-pz}\eta_k\,e^{-i\xi x}d\xi+\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\tilde{r}_k\,\mathrm{sh}pz\,\eta_k\,e^{-i\xi x}d\xi$. Для заданого розподілу температури, перший доданок останньої формули можна обчислити точно, використовуючи спеціальні таблиці, а другий легко інтегрується за допомогою математичних пакетів. У подальшому планується узагальнити отримані результати на випадок багатошарової основи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боли Б. Теория температурных напряжений / Б. Боли, Дж. Уэйнер. – М. : МИР, 1964. – 517 с.

2. Величко І.Г. Плоска термопружна деформація багатошарової основи / І.Г. Величко, І.Г. Ткаченко // Вісник дніпропетровського університету. Механіка. – 2004. – Вип. 8. – Т. 1. – С. 154–161.

УДК 539.3

Засовенко А.В.[1]

[1] канд. тех. наук, доц. ЗНТУ

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХВИЛЬ У ОБТІЧНИКУ ПРИ ДІЇ ЗОВНІШНЬОГО РОЗПОДІЛЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Розрахунки динамічних хвиль у складних механічних системах виявляють зацікавленість при вирішенні багатьох прикладних задач. Зокрема, для забезпечення надійності роботи різних радіопристроїв широко використовуються тонкостінні радіопрозорі захисні обтічники, що являють собою оболонкові конструкції, які складаються з півсфери і циліндричної частини. На етапах проектування і виготовлення дослідних зразків важливим є питання вивчення міцності і стійкості конструкцій обтічників під дією динамічних навантажень.

Розглядається задача динамічного деформування оболонкової конструкції при дії зовнішньої розподіленого навантаження. Досліджувана конструкція являє собою півсферу радіусом R, яка з'єднана з циліндричною оболонкою довжини L. Край циліндричної оболонки жорстко затиснуто ($u=w=\varphi=0$).

Математична модель динамічних процесів у зазначеної конструкції зводиться до розгляду системи нелінійних диференціальних рівнянь теорії оболонок і криволінійних стержнів типу Тимошенко. Розв’язок даної задачі

заснований на узагальненні сітково-характеристичного методу та ітераційного підходу [1].

В результаті численних досліджень встановлено, що істотний вплив на значення параметрів динамічного напруженого стану складної оболонкової конструкції надають величина і характер зміни кривизни осьової лінії оболонки. Однією з умов синтезу кусочно-однорідних оболонкових конструкцій є забезпечення їх достатньою гладкості у точках, що належать лінії контакту складових конструкції.

Домогтися необхідної гладкості осьової лінії складовою оболонкової конструкції можна за допомогою деякої перехідної кривої, радіус кривизни якої буде змінюватися поступово.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Данильченко Д.В. Торцевой удар по оболочке с криволинейной осью / Д.В. Данильченко, А.В. Засовенко, Ю.В. Мастиновский // Вестник двигателестроения. – Запорожье. – 2013. – № 1. – С. 121–125.

УДК 539.313
Штефан Т.О.[1]
[1] старш. викл. ЗНТУ

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОЗМІНИ ЦИЛІНДРА ПРИ СИМЕТРИЧНОМУ ТА НЕСИМЕТРИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ОСНОВ

Під дією штампа циліндрична заготовка змінює свою форму: в кінцевому положенні вона стає нижче, а її осьові перетини, починаючи з деякої глибини, збільшуються за площею. Цей ефект в літературі називається бочкоутворенням [1]. 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].

Уявлення про форму деформованого циліндра можна отримати, якщо досліджувати радіальні переміщення на його бічних гранях. Рішення поставленого завдання із застосуванням дискретизації граничних умов є точним і може використовуватися як тестове при розв’язку чисельними методами [3].

Проведено чисельне моделювання задачі про напружений стан навантаженого кругового короткого циліндра 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. – Москва: 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». Сер. «Машинобудування». 2012.– № 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 539.371
Сніжко Н.В.[1]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. ЗНТУ

ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ МОЛОДШИХ КУРСІВ В ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Науково-дослідна робота студентів є активним методом навчання, мета якого – реалізація творчих здібностей майбутнього випускника технічного вишу, розвиток його професійних навичок, а також включення в науково-дослідницьку діяльність кафедри і вишу в цілому. Починати треба працювати з першого курсу, коли можливість накопичення досвіду самостійної роботи і виконання творчих завдань сприяє формуванню нових знань, що, в свою чергу, є особистісно значущим для студентів.

Під науково-дослідницькою діяльністю студента будемо розуміти виконання ним творчої, дослідницької задачі з заздалегідь невідомим рішенням; ця діяльність передбачає наявність основних етапів дослідження в науковій сфері (постановка проблеми, вивчення теорії, збір матеріалу, його аналіз і узагальнення, підбір методик дослідження, практичне оволодіння ними, підведення підсумків, оформлення результатів роботи за відповідними стандартами).

Специфіка кафедри вищої математики полягає в тому, що кафедра не є випускаючою. Це означає, що на кафедрі немає студентів середніх та старших курсів, не виконуються курсові та кваліфікаційні роботи, не здійснюється спеціалізація за конкретною освітньо-професійною програмою; на кафедрі читаються тільки базові курси вищої математики студентам молодших курсів. Ця специфіка і обумовлює характер організації науково-дослідної роботи студентів. На наш погляд, самостійна науково-дослідна діяльність студентів буде успішно формуватися, якщо, починаючи з 1-го курсу і до кінця періоду навчання, викладачі будуть використовувати в навчальному процесі пошуково-творчі завдання. Це може бути написання рефератів за актуальними і креативно поставленими темами; підготовка доповідей та виступи на студентских конференціях; написання тез доповідей для публікації; підготовка демонстраційних і методичних матеріалів для мультимедійних лекцій та презентацій з тем, які визначені в навчальних програмах дисциплін для самостійної роботи студентів.

Досвід показує, що в процесі виконання таких завдань виявляються студенти, які готові до виконання невеликих науково-дослідних робіт. При цьому, для студента дуже важлива мотивація, не тільки «проявити себе», але й виконати роботу, яка важлива для кафедри, факультету і університету.

Проблема залучення студентів до науково-дослідницької роботи пов'язана з тим, що:

– студенти завантажені навчальними заняттями і не вміють розподіляти час для самостійної роботи;

– студенти не розуміють сенсу і форм організації науково-дослідної роботи;

– студенти не в змозі самостійно сформулювати тему, визначити завдання і вибудувати план дослідження,

– при виконанні науково-дослідної роботи студентам складно дотримуватися прийнятого плану виконання робіт.

Таким чином, завдання кафедри полягає в розробці методичних аспектів організації науково-дослідної роботи студентів молодших курсів технічного університету з урахуванням специфіки кафедри та вказаних проблем. Викладачами кафедри розроблена технологія керівництва процесом виконання студентами науково-дослідних робіт за тематикою кафедри. Методична кваліфікація конкретного викладача кафедри дозволяє гнучко використовувати цю технологію в залежності від конкретного студента та задач, які перед ним поставлені.

Як приклад, нижче наведена технологія підготовки студентів для участі в науково-практичних конференціях, яка включає постановку проблеми, вивчення теорії, збір матеріалу, його аналіз і узагальнення, підбір методик

дослідження, практичне оволодіння ними, підведення підсумків, оформлення результатів роботи за відповідними стандартами.

1. Виявлення здібних студентів і формування їх мотивації до виконання дослідницького завдання.

2. Постановка проблеми, вивчення теорії, збір матеріалу за тематикою поставленої проблеми.

3. Вивчення структури і вимог до статей, тез і доповідей.

4. Визначення етапів роботи і термінів їх виконання для конкретної конференції. Складання плану і затвердження назви тез доповіді.

5. Аналіз і узагальнення матеріалу і написання чорнового варіанту тез доповіді (готується студентом самостійно).

6. Доопрацювання тез доповіді з викладачем. Перевірка правильності формування списку літератури.

7. Виправлення недоліків і остаточне оформлення тез доповіді відповідно до вимог конференції.

8. Отримання УДК в бібліотеці університету.

9. Оформлення заявки, супровідних документів та відправлення тез на адресу організаційного комітету конференції.

10.Підготовка студентом мультимедійної презентації доповіді.

11.Перевірка викладачем доповіді та презентації. Репетиція доповіді.

12.Виступ на конференції. Підведення підсумків роботи.

Розроблена технологія дає результати, і це підтверджується показниками роботи кафедри. Щорічно під керівництвом провідних доцентів кафедри студенти беруть участь у науково-практичній конференції "Тиждень науки" з секційними доповідями. Під керівництвом викладачів, які проводять практичні заняття, студенти готують реферати та творчі роботи за темами, які визначені в навчальних програмах для самостійної роботи студентів. Під керівництвом проф. В.М. Онуфрієнка студенти готують матеріали для мультимедійних лекцій та презентацій за окремими розділами курсу вищої математики.

Таким чином, робота кафедри вищої математики з організації науково-дослідної діяльності студентів молодших курсів є тим підгрунтям, на якому базується подальша науково-дослідна робота студентів вже на випускаючій кафедрі в рамках конкретної спеціалізації.

УДК 539.371;517.968.23
Snizhko N.V.[1]
[1] assistant professor ZNTU

ANALYSIS OF THE DISPLACEMENT FIELD IN A RING DOMAIN UNDER TANGENTIAL LOADING

A system of partial differential equations for a domain in the form of a ring, known [1] as the 1st fundamental boundary problem of the elasticity theory, is solved using the method of Muskhelishvili's complex potentials. The ring models the power element of engine, transmitting rotational motion, therefore the boundary conditions are formulated taking into account the tangential load. Such a problem has already been considered [2]. However, the load in these works was thought to be uniformly distributed along the contour. It is physically realistic to assume that the load is uniformly distributed only within the angles corresponding to the ring bindings and that it is equal to zero outside these limits. The aim of the paper [3] is to find and analyze the solution of the corresponding boundary value problem.

In this paper, a solution of the boundary value problem of elasticity theory for a domain in the form of a ring with piecewise constant boundary conditions on the contour was constructed using the Muskhelishvili's method of complex potentials. It is established that in the absence of a normal component of external loading, the problem can be solved by the method of complex potentials in static formulation. In terms of complex potentials, the boundary condition [1, § 41, (23)] in the form of Kolosov-Muskhelishvili in the absence of a normal component has the form ($j=1,2$):

$$\left\{\Phi+\overline{\Phi}-e^{2i\theta}\left[\overline{z}\cdot\Phi'+\Psi\right]\right\}\Big|_{|z|=R_j}=-iT\,.$$

Here $T=T_{0j}\cdot t(\theta)$, $j=1,2$, when $t(\theta)$ is a piecewise function of the boundary conditions.

The solution of this problem is obtained in an analytical form (as a Fourier expansion). Further the analytical solution is reduced to a form suitable for numerical simulation. Numerical simulation of a similar problem for specific values of physical parameters was carried out in [3]. A numerical analysis showed that the displacement of points near the load zone has practically no radial components; the tangential external load causes only the angular displacements of the points of the area. A similar situation arose when the external load was uniformly distributed along the contour [2]. In this case, the stress-strain state is pure shift. On the contrary, near the free part of the boundary the angular

displacements of the points noticeably weaken, but there are significant radial movements in the direction of the center. In this case, the stress-strain state is compression in the radial direction.

Thus the results of this paper [3] generalize the result obtained in [2]. The results were also set out in [4].

Conclusion. Therefore analysis of the solution shows that in the neighborhood of the contour there is deformation of the region close to the shift (on the sections of the boundary with a nonzero boundary condition) or to radial contraction (on the sections of the boundary with the zero boundary condition).

The results of this paper can be applied to describe the state of rotating mechanical structures.

REFERENCES

1. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мусхелишвили. – М. : Наука, 1966. – 707 с.

2. Anpilohov D. The angular deformation of the ring with reference to the centrifugal forces / D. Anpilohov, N. Snizhko // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2017. – № 3. – Vol. 38. – P. 395-399.

3. Anpilogov, D.I. On one border problem of ring domain deformation / D.I. Anpilogov, N.V. Snizhko // Буковинський математичний журнал. – 2018. – Т. 6. – № 1-2.– С. 6–12.

4. Snizhko, N.V. The Border Problem of the Ring Domain Deformation / N.V. Snizhko // Conference on Applied and Industrial Mathematics 2018: Int. Sci. Conf., 20–23 September 2018: Book of Abstracts. – Chişinău, Moldova, 2018. – P. 21.

УДК 539.312

Фасоляк А.В. [1]

[1] канд. фіз.-мат. наук, асист. ЗНТУ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ДИНАМІКИ ТУНЕЛІВ ТА ТРУБОПРОВОДІВ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ

На сьогодні актуальною проблемою проектування та експлуатації підземних споруд є динамічний розрахунок тунелів та трубопроводів, які знаходяться під дією нестаціонарних навантажень. Математичне моделювання вищезазначених процесів приводить до нестаціонарних задач теорії пружності для пружного середовища, що містить циліндричну порожнину, яка підкріплена тонкою пружною оболонкою.

Математичне описання середовища таких механічних систем залежить від глибини залягання оболонки (тобто відстань від поверхні середовища до оболонки). Якщо ця відстань перевищує 10 радіусів оболонки, тоді вплив поверхні середовища є незначним і без суттєвої втрати точності, середовище можна моделювати необмеженим тривимірним простором. Для отримання розв'язку такої задачі використовуються тригонометричні ряди Фур'є (за кутовою координатою) інтегральні перетворення Фур'є та Лапласа (за осьовою змінною та змінною часу відповідно). Алгоритм розв'язку такої задачі наведено у роботі [1].

Більш цікавими є випадки саме неглибокого залягання оболонки, тобто глибина залягання не перевищує 10 радіусів оболонки. В цьому випадку виникає необхідність враховувати вплив поверхні середовища. Це призводить до виникнення принципових математичних труднощів, для подолання яких, використовується біполярна система координат (БСК). Застосування БСК дозволяє відобразити нескінченну область, яка геометрично моделює середовище із поверхнею у прямокутник скінченних розмірів. Але динамічні рівняння теорії пружності та рівняння руху оболонки у БСК містять коефіцієнти, які залежать від просторових змінних, що не дозволяє отримати аналітичний розв'язок задачі, тому використовується метод скінченних різниць (за просторовими змінних) та ітераційний процес за змінною часу. Розрахункову схему методу наведено зокрема в роботі [2].

Також можна застосовувати прямі чисельні методи, наприклад метод скінченних елементів (МСЕ) [3].

Порівняння отриманих результатів на основі застосування БСК та МСЕ показало їх узгодженість та зменшення відносної похибки при згущенні сітки. Це свідчить про адекватність побудованих моделей, а результати отримані даними методами можуть бути використані при проектуванні та експлуатації тунелів та трубопроводів неглибокого залягання, які знаходяться під дією нестаціонарних динамічних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожуєв А. В. Нестаціонарна невісесиметрична деформація циліндричної оболонки у пружному просторі під дією рухомих поверхневих навантажень / А. В. Пожуєв, А. В. Фасоляк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – № 2. – 2015. – С. 108–114.

2. Fasoliak A. V. Application of the Bipolar Coordinate System to Modeling of the Cylindrical Shell Dynamic in Elastic Medium with Free Surface / A. V. Fasoliak, V. I. Pozhuev // International Journal of Mechanical Engineering and Information Technology. – Vol. 06. Issue 06. – 2018. – PP. 1820–1825.

3. 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. – № 1. – 2016. – С. 119–126.

УДК 621.372.832
Зіненко І.І.[1], П'янков В.П.[2]
[1] асист. ЗНТУ
[2] канд. фіз.-мат. наук, доц. ЗНТУ

ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЧОТИРЬОХПЛЕЧОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРЯМОКУТНИХ ХВИЛЕВОДІВ В Е-ПЛОЩИНІ З КРУГОВОЮ ВСТАВКОЮ

В даному докладі представленні розрахунки характеристик Е-площинного хрестового з'єднання прямокутних хвилеводів з круговим циліндром у центрі з'єднувальної порожнини, отриманих методом добутку областей [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.

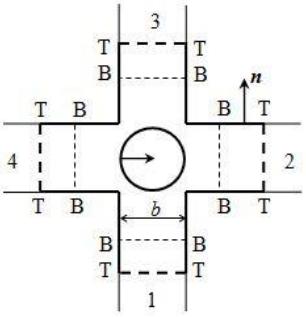


Рис. 1.

По одному з хвилеводів до з'єднувальної порожнини набігає хвиля типу Н10, 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 компоненту 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. Для функцій $u_i(r)$ виконуються наступні інтегральні рівності

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

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

де $U_i(r)$ – шукана компонента поля в регулярній частині i-го хвилевода, $W_i(r)=\int_{S_i}\sum_{j\in I\setminus\{i\}}\frac{\partial u_j(r')}{\partial \mathbf{n}'}G_i(r,r')\,dS'$, п – 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

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

де $B-B$ – 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_{ik} розглядуваного вузла від частотного параметра $\chi=bk/(2\pi)$, де $k=2\pi\sqrt{\lambda^{-1}-(2a)^{-1}}$, 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– $R = 0{,}5b$. Видно, що коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ значно залежить від радіуса штиря. Ця залежність посилюється у кінці робочого діапазону. При $R = 0{,}3b$ коефіцієнт відбиття мало залежить від частоти і у всьому робочому діапазоні має значення 0,49. Коефіцієнт передачі $|S_{21}|$ практично не залежить від радіуса та частоти і має значення близько до 0,5. Коефіцієнт проходження $|S_{31}|$ сильно залежить від радіуса циліндра. При збільшенні радіуса енергія, яка передається з плеча 1 до плеча 3 зменшується. Треба відмітити, що для $R = 0{,}3b$ модулі усіх елементів матриці розсіювання розглядуваного вузла мають постійні значення близько до 0,5 у всьому робочому діапазоні частот, що може мати практичне застосування при проектуванні частотно-незалежних розподілювачів.

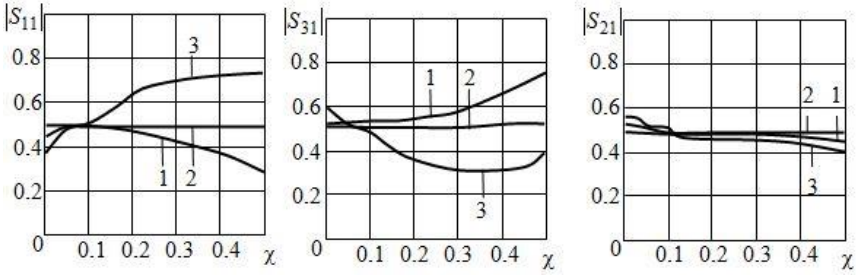


Рис. 2.

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.

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

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2019.
Машинобудівний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів,
викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів
15–19 квітня 2019 року

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM);
супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. № 684

Видавець і виготовлювач
Запорізький національний технічний університет
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64 Тел.:
(061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2394 від 27.12.2005.