

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

ГУЗЕНКО ДЕНИС ЄВГЕНОВИЧ



УДК 621.941.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ
ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ СТУПІНЧАСТИМИ РІЗЦЯМИ
НА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструменти та технології» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор,
Мироненко Євгеній Васильович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, м. Краматорськ,
професор кафедри «Комп'ютеризованих
мехатронних систем, інструментів та
технологій»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Антонюк Віктор Степанович,
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
завідувач кафедрою «Виробництва
приладів»;

кандидат технічних наук, доцент
Кондратюк Олег Леонідович
Українська інженерно–педагогічна
академія, м. Харків,
декан факультету «Комп'ютерних і
інтегрованих технологій у виробництві
та освіті»

Захист відбудеться 23 грудня 2019 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02 у Донбаській державній машинобудівній академії за адресою: 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, проспект Машинобудівників, 37, корпус №3, ауд. №3308.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Академічна, 72, корпус №1 або за web-адресою: <http://www.dgma.donetsk.ua/spetsializovana-vchena-rada-d12.105.02.html>

Автореферат розісланий 22 листопада 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02
канд. техн. наук, доцент



С. Л. Міранцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. На сучасному етапі розвитку економіки України важливе місце приділяється машинобудуванню. Машинобудування розвивається шляхом підвищення гнучкості виробництва та якості продукції. Результати діяльності багатьох підприємств у значній мірі залежать від ефективності використання важких токарних верстатів. Вартість цих верстатів у 20...50 разів, а вартість верстатогодини їхньої роботи в 3...7 разів більше в порівнянні із середніми верстатами.

Проблема теоретичного аналізу процесу різання для більшості видів обробки вивчена досить досконально. Однак існують види обробки, особливо при знятті великих перерізів зрізуваного шару, для яких існуючі методи аналізу вимагають удосконалення.

Враховуючи важкі умови різання, підвищення ефективності чорнового точіння сталених деталей протягом багатьох років відноситься до найбільш актуальних задач металообробки та машинобудування.

Одним із напрямків рішення цієї задачі є вдосконалення конструкцій збірних різців зі ступінчатою схемою різання та оптимізація режимів різання. В вирішенні першої частини цієї проблеми одержані суттєві позитивні результати. Добре зарекомендували себе інструменти з механічним кріпленням різальних пластин спеціальної форми з уступом під прихоплювач та різальні пластини з тангенціальним розміщенням. Для підвищення ефективності токарної обробки сталених заготовок розроблена система раціональної експлуатації різальних інструментів, видані загальномашинобудівні нормативи режимів різання. Аналогічні рекомендації присутні у каталогах різальних інструментів закордонних фірм. Однак, незважаючи на постійну увагу до проблеми підвищення ефективності чоргової токарної обробки, залишаються ще значні резерви для більш успішного її рішення.

Ефективність інструменту не може бути істотно підвищена за рахунок тільки традиційних методів. Складність прийняття рішень в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва унікальних деталей на важких токарних верстатах та необхідність комплексного розгляду багатьох елементів технологічної системи вимагає створення методів багатокритеріальної оптимізації режимів експлуатації на основі узагальнених моделей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до перспективного плану науково-дослідних робіт Донбаської державної машинобудівної академії: Дк-01-2014 «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатострументальних систем важкого машинобудування» (0114U002757), Д-01-2015 «Підвищення енергоефективності процесів механообробки на основі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічних систем важкого машинобудування» (№0115U003122), Дк-01-2018 «Підвищення енергоефективності мехатронних верстатострументальних систем механічної обробки в умовах важкого машинобудування».

Тема дисертаційної роботи відповідає науковій тематиці кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструменти та технології» ДДМА в області проектування збірного різального інструменту.

Мета і завдання дослідження. Підвищення ефективності чорнової обробки деталей на важких токарних верстатах шляхом вдосконалення конструкцій збірних ступінчастих різців. Під підвищенням ефективності розуміється підвищення продуктивності, надійності конструкцій та експлуатаційних характеристик збірних ступінчастих різців для чорнової обробки з великими перерізом зрізуваного шару деталей на важких верстатах.

Для здійснення поставленої мети треба вирішити такі завдання:

- проаналізувати характер та структуру відмов збірних різців для чорнової обробки деталей з великим перерізом зрізуваного шару на важких верстатах в умовах складних динамічних навантажень;
- розробити ефективну конструктивну схему розподілу припуску між різальними пластинами ступінчастих збірних різців;
- виявити вплив елементів режиму різання з великими перерізами зрізуваного шару при чорновій обробці деталей на напружено–деформований стан ступінчастих збірних різців;
- розробити математичні моделі для опису динамічної системи верстат–інструмент–деталь для дослідження коливань збірних ступінчастих різців, перевірити адекватність математичної моделі шляхом проведення експерименту;
- розробити систему цільових функцій багатокритеріальної оптимізації для розробки рекомендацій з експлуатації ступінчастих збірних різців для важких токарних верстатів, які дозволяють здійснити оптимальний вибір режимів різання з урахуванням міцності та динамічних навантажень ступінчастих збірних різців.

Об'єкт дослідження – процес чорнової обробки деталей на важких токарних верстатах при знятті великих перерізів зрізуваного шару.

Предмет дослідження – параметри процесу чорнової обробки збірними ступінчастими різцями при знятті великих перетинів зрізу, вплив конструктивних і геометричних параметрів на ефективність експлуатації інструмента.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є комплексний підхід до вивчення процесу чорнової обробки деталей з великими перерізами зрізуваного шару на важких верстатах ступінчастими збірними різцями з урахуванням умов, особливостей та закономірностей їх експлуатації.

Статистичні та теоретичні дослідження проводилися на базі основних положень і методів теорії різання металів, теорії міцності і динаміки збірних конструкцій різців, теорії математичного і фізичного моделювання з використанням методів прикладної математики за допомогою обчислювальної техніки.

Дослідження об'єктів проводилось експериментальними методами на основі теорій визначення міцності та жорсткості елементів збірних конструкцій різців з використанням методик натурних випробувань у лабораторних та виробничих умовах.

Для розрахунку напружено–деформованого стану збірної інструменту використовувався метод скінченних елементів. Експериментальні дослідження проведені з використанням методик, розроблених на основі теорії експерименту та математичної статистики, сучасної вимірювальної апаратури, розроблених апаратних засобів. В розрахунках і для обробки результатів досліджень використовувалась сучасна комп'ютерна техніка та програмне забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень для підвищення ефективності процесу чорнового точіння деталей розроблена нова конструктивна схема розподілу припуску між різальними пластинами ступінчастого збірної різця з однією робочою вершиною різального ступінчастого леза, яка забезпечує високу продуктивність та експлуатаційні характеристики інструменту при обробці з великими перетинами зрізу на важких токарних верстатах.

1. Розроблені моделі напружено–деформованого стану різальних пластин збірних ступінчастих різців з новою схемою розподілу припуску, які вперше враховують особливості контактної взаємодії різальних пластин з елементами зрізаного шару, механічного закріплення та корпусом інструменту.

2. Уточнено розподіл реакцій з боку упорних поверхонь пластини з елементами базування збірних різців при різних способах закріплення та навантаження силами різання, що дозволяє виявити найбільш ефективну схему базування різальної пластини.

3. Вперше розроблена розрахункова схема та математична модель динамічної системи верстат–інструмент–деталь, яка враховує конструкцію та характер навантаження ступінчастого різця з однією робочою вершиною різальних лез як підсистему, що складається з окремих елементів. Отримані динамічні характеристики процесу чорнкової обробки збірними ступінчастими різцями для уточнення конструктивних та геометричних параметрів ступінчастих збірних різців.

4. Вдосконалено систему функцій для багатокритеріальній оптимізації процесу вибору ефективних параметрів експлуатації ступінчастих збірних різців.

Практичне значення одержаних результатів для важкого машинобудування:

- розроблено математичне та програмне забезпечення для розрахунку динамічних характеристик при оцінюванні конструкції збірних різців з метою збільшення періоду стійкості інструменту на операціях токарної обробки деталей важкого машинобудування та верстатобудування;

- на базі проведених досліджень та розрахунків міцнісних та жорсткісних параметрів вузлів кріплення різальних пластин була розроблена конструкція ступінчастого збірної різця з механічним кріпленням пластин із однією робочою вершиною різального ступінчастого леза для чорнового точіння при знятті великих перерізів зрізаного шару;

- розроблені конструкції вузлів кріплення різальних пластин збірних різців для чорнового точіння дозволяють підвищити продуктивність обробки в середньому на 35 %, а також знизити витрати інструменту на 21...26 %, а також можуть бути

використані для проектування конструкцій збірних інструментів для механічної обробки в інших областях машинобудування;

– на основі створеної на базі нейромережевої моделі багатокритеріальної оптимізації процесу чорнової обробки деталей розроблені рекомендації для призначення раціональних режимів різання при експлуатації ступінчастих збірних різців, які дозволяють суттєво підвищити продуктивність чорнової обробки деталей з великими перерізами зрізуваного шару і забезпечити оптимальну стійкість інструменту.

Результати роботи впроваджені:

- ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» з річним економічним ефектом 42500 грн.;
- ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» з очікуваним економічним ефектом 32700 грн.;
- у навчальному процесі Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ)

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати отримані здобувачем самостійно. Здобувач здійснив наукове обґрунтування розробок в сфері створення збірних ступінчастих різців для чорнового точіння при знятті великих перерізів зрізуваного шару, що забезпечує вирішення важливої прикладної задачі – підвищення ефективності обробки на важких токарних верстатах. Постановка задач і аналіз наукових результатів виконані разом з науковим керівником і частково зі співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на 6 наукових міжнародних конференціях, у тому числі на міжнародних: XV Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». (м. Краматорськ, 2017 р.), XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2018 р.), XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2019 р.), XVIII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Краматорськ, 2018 р.)

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковані у 20 наукових роботах, з них: 1 стаття у виданнях, включених у міжнародні науково-метричні бази; 4 статті у наукових фахових виданнях, 11 – у збірниках тез доповідей; 4 патентах.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 184 сторінках друкованого тексту, складається з анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Робота ілюстрована 22 таблицями та 67 рисунками. Список використаних джерел містить 134 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначається наукова новизна, теоретична і практична цінність отриманих результатів досліджень і приводиться її анотація.

У першому розділі наводиться детальний аналіз проведених досліджень конструкцій важконавантажених збірних різців для важких токарних верстатів, оцінки показників їхньої надійності, оптимізаційних методів визначення раціональних режимів різання. Окремими проблемами процесів механічної обробки, конструкціями різальних інструментів займалися дослідники, що внесли великий внесок у розвиток теорії різання матеріалів, проектування різальних інструментів, формоутворення технологічних систем. До них відносяться: Адам Я.І., Антонюк В.С., Бобров В.Ф., Васильченко Я.В., Грабченко А.І., Грановський Г.І., Залога В.О., Зорєв М.М., Кабалдін Ю.Г., Карпусь В.Е., Карюк Г.М., Клименко Г.П., Ковальов В.Д., Ковалевський С.В., Кузнєцов Ю.М., Лебідь В.Т., Лоладзе Т.М., Мазур М.П., Макаров В.Д., Мироненко Е.В., Остаф'єв В.О., Пермьков О.А., Петраков Ю.В., Подураєв В.М., Равська Н.С., Рижов Э.В., Родін П.Р., Розенберг О.О., Струтинський В.Б., Темчин Г.І., Тимофєєв Ю.В., Шелковой А.Н., Узунян М.Д., Хаєт Г.Л., Якимов О.В. та ін.

При чорновій обробці виникають великі сили різання від 2 до 150 кН., що суттєво впливає на міцність та динамічні показники різального інструменту. Потужність, яка витрачається при чорновій обробці на важких верстатах, знаходиться в межах від 10 до 100 кВт. На чорнову обробку витрачається значна кількість твердого сплаву, причому, до 90% різальних інструментів виходить з ладу в результаті руйнування та нерівномірного зношування (рис. 1).

Вивченню коливань системи верстат–інструмент–деталь, їх вплив на технологічні характеристики процесу механічної обробки присвячено значна кількість теоретичних та експериментальних робіт вченими Камінською В.В., Каширіним А.І., Ковальовим В.Д., Кудіновим В.А., Кучмою Л.К., Малкіним А.Я., Мироненко Є.В., Подураєвим В.Н. та ін.

Застосування збірних інструментів потребує розробки нових конструктивних рішень, математичних моделей з урахуванням комплексних показників надійності. Статистичні дослідження параметрів чоргової обробки деталей на важких токарних верстатах дозволило встановити найбільш поширені умови експлуатації інструменту. Доведено, що 70% операцій складає повздовжнє обточування деталей твердосплавним інструментом. Всі параметри експлуатації інструменту на чорнових операціях мають велике розсіювання, що підтверджує необхідність врахування стохастичного характеру процесу на експлуатаційні показники збірних різців.

Всі ці чинники визначили основні задачі наукового дослідження.



Рисунок 1 – Чорнова обробка деталі на важкому токарному верстаті

У **другому розділі** у відповідності до поставлених завданнями досліджень вся робота була розбита на етапи, які представлені на рис. 2 у вигляді структурнологічної схеми роботи.

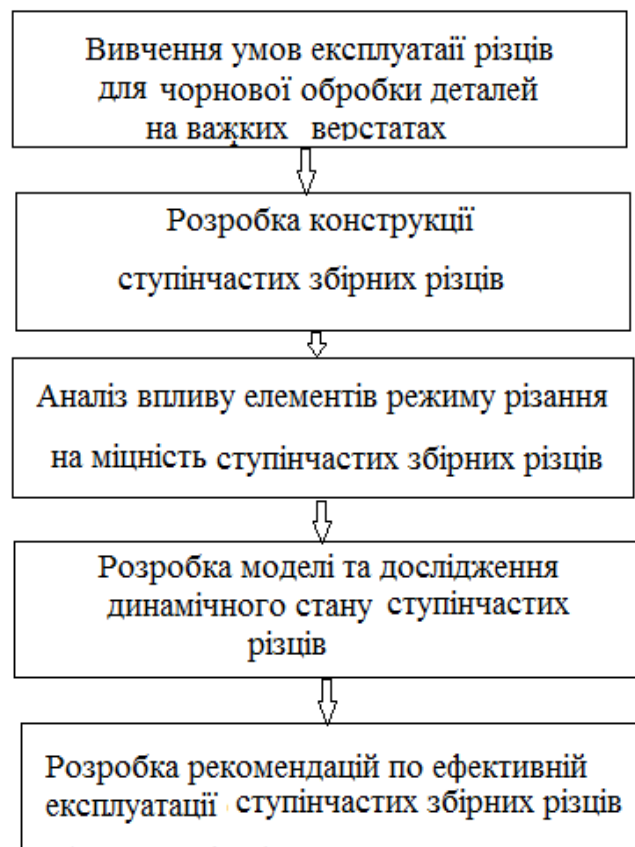


Рисунок 2 – Структура методики досліджень

Одним з найбільш поширених методів урахування напружено–деформованого стану різальних пластин збірних різців є метод скінченних елементів (МКЕ), який було прийнято як основний для математичного моделювання й обчислення при розрахунку точності деформацій конструктивних елементів різців.

Збір статистичної інформації про деталі, технологічні операції і режими різання здійснювався методами миттєвих та тривалих спостережень. В методиці статистичних досліджень умов експлуатації різального інструменту на важких верстатах передбачено на основі створеної бази знань використання методів математичної статистики здійснювати групування даних за заданою ознакою, встановлювати параметри законів розподілу параметрів, здійснювати регресійний і кореляційний аналіз даних, виявляти структуру відмов інструменту, оптимізувати режими різання та визначати критерії ефективності процесу чорнової обробки збірними різцями.

У третьому розділі розглянуто структуру відмовлень технологічної системи і виявлені шляхи підвищення її надійності. У результаті аналізу стану механічної обробки на важких токарних верстатах було виявлено, що однієї з найважливіших особливостей обробки заготовок є широкий діапазон припуску з кіркою, який досягає (40...70) мм з значним його коливанням. На першому проході ширина шару, що зрізується, досягає (40...45) мм, і як правило, чорнова обробка виконується тим самим різцем з довжиною різальної крайки, яка дорівнює 50 мм.

Подача, що застосовується при чорновій обробці твердим сплавом, знаходиться в основному у межах 0,6 ... 1,2 мм/об. Частіше всього подачі не перевищують 1,5 мм/об. Середня величина подачі складає на верстатах $D_0=(1250...1600)$ мм – 1,1 мм/об, на верстатах $D_0=(2000...3200)$ мм – 1,2 мм/об. і на верстатах з $D_0=(4000...5000)$ мм – 1,0 мм/об. Така різниця у величині подачі пояснюється тим, що на верстатах $D_0=2000...3200$ мм обробляються більш масивні і жорсткі деталі.

Розглянуті питання підвищення міцності інструменту для чорнової обробки з великими перерізами зрізуваного шару деталей на важких верстатах шляхом розробки нової ступінчастої схеми різання збірними різцями та вдосконалення вузлів кріплення спеціальних різальних пластин із уступом за допомогою прихоплювача.

Особливість конструктивної схеми полягає в тому, що різальні пластини з різними кутами в плані розміщуються ступінчасто в двох перетинах: в горизонтальній (рис. 3а) та тангенціальній (рис.3б) площинах таким чином, що напрямки крайок різальних лез є мимобіжними в просторі. Кут в плані φ_1 різальної пластини для обробки зовнішнього шару припуску виконаний меншим кута в плані φ_2 різальної пластини для обробки внутрішнього шару припуску. Конструктивними особливостями розміщення в тангенціальній площині передніх поверхонь різальних пластин ступінчастої схеми різання є те, що різальне лезо пластини 1, яка оброблює зовнішню поверхню припуску, знаходиться над різальним лезом пластини 2, яка оброблює внутрішній шар припуску (рис.3б). При цьому вершина 3 різального леза пластини, яка оброблює зовнішній шар припуску в напрямку подачі, розміщена за крайкою 4 різального леза пластини, яка оброблює внутрішню поверхню припуску (рис. 3).

Нове конструктивне розміщення різальних лез дозволяє оброблювати припуск по ступінчастій схемі з застосуванням в процесі різання тільки однієї різальної вершини пластини різця, яка оброблює внутрішню поверхню припуску заготовки без

переривів процесу обробки. Процес різання пластини, яка оброблює зовнішній шар припуску, виконується за схемою вільного різання, що значно підвищує її стійкість за рахунок відсутності роботи вершини пластини при різанні з переривчатою обробкою заготовки з кіркою.

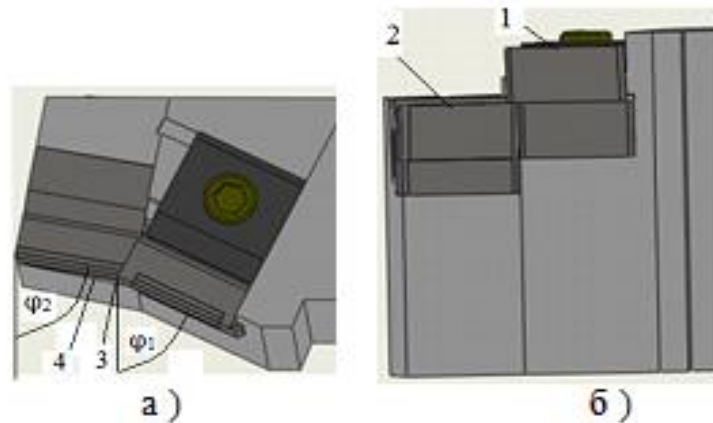


Рисунок 3 – Конструкція ступінчастого збірної різця
а) – вид різця в плані, б) – вид з задньої поверхні

З метою вибору базового вузла кріплення різальної пластини з уступом проведений аналіз статистичних даних виробничих досліджень по показникам безвідмовності збірних різців з висотою $H=50$ мм з різними схемами базування по упорній поверхні (рис. 4). Виробничі дослідження були проведені в умовах ПАО НКМЗ при чорновій обробці заготовок із сталей 45, 9ХФ, 38Х2Н2МА (кірка, окалина, нерівномірний припуск). Режими різання: глибина різання $t = (10...18)$ мм, подача $S = (0,8...1,5)$ мм/об; швидкість різання $v = (50...70)$ м/хв.

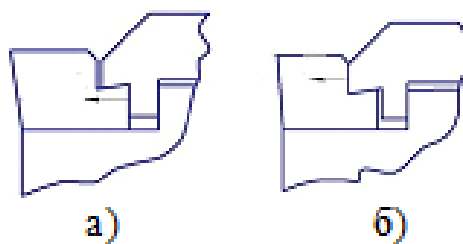


Рисунок 4 – Схеми базування різальних пластин по упорній поверхні:
а) – базування різальної пластини по нижній упорній поверхні прихоплювача;
б) – базування різальної пластини по верхній упорній поверхні прихоплювача

На рисунку 5 приведені характеристики надійності ступінчастих збірних різців, отримані експериментально, а саме $f(\tau)$ – щільність імовірності розподілу періоду стійкості (рис. 5а), $\lambda(\tau)$ – інтенсивність відмов (рис. 5б) та $P(\tau)$ – імовірність безвідмовної роботи (рис. 5в). Перевірка відповідності статистичного розподілу стійкості теоретичному, проведена за критерієм Пірсона та Колмогорова, показала

високий ступінь відповідності цих розподілів – розрахункові значення критерію Пірсона менше табличних ($1,42...3,29 < 9,21...11,34$ при рівні значимості більше 0,01); за критерієм Колмогорова статистичні та теоретичні розподіли знаходяться в зоні вірогідності 0,97...1,0.

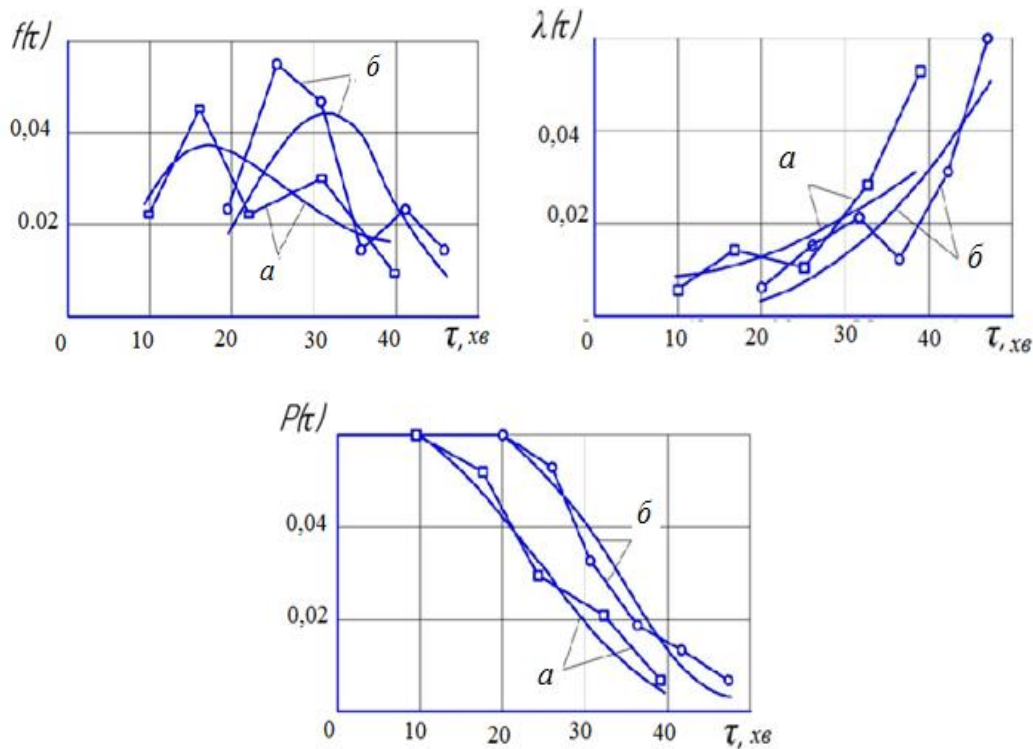


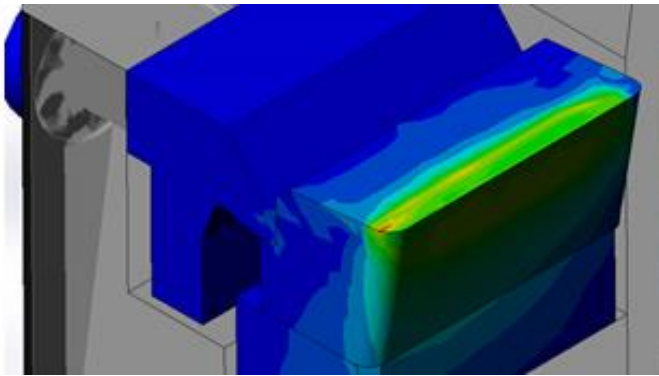
Рисунок 5 – Характеристики безвідмовності збірних різців (ломана лінія – статистична оцінка, суцільна – теоретичне значення)

- а) – базування різальної пластини по нижній упорній поверхні прихоплювача;
- б) – базування різальної пластини по верхній упорній поверхні прихоплювача

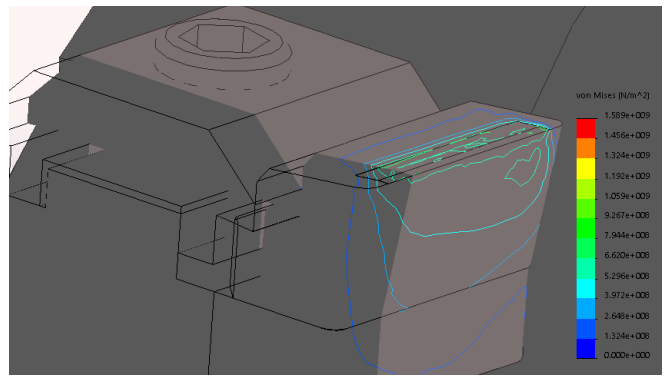
Для дослідження напружено–деформованого стану різальних пластин ступінчастого різця застосований метод скінчених елементів, розрахунки виконували в програмних середовищах Cosmos Works, Ansys.

На рисунку 6 приведені розподіли напружень у різальних пластинах для конструктивних схем вузлів кріплення з уступом за допомогою прихоплювачів різних ступенів збірного різця.

За результатами досліджень напружено–деформованого стану різців встановлено, що нормальні напруження у пластині, яка оброблює зовнішній шар припуску в напрямку подачі, зменшуються на 20 % у порівнянні з традиційною ступінчастою схемою різання з двома вершинами. Таке конструктивне рішення розміщення пластин дозволяє зменшити кількість відмов у вигляді їх руйнації.



а)



б)

Рисунок 6 – Розподіл напружень у різальних пластинах:

а) – пластині, яка оброблює внутрішній шар припуску;

б) – пластині, яка оброблює зовнішній шар припуску

На рисунку 7 показана конструкції різальної частини ступінчастого різця.



Рисунок 7 – Різальна частина ступінчастого збірного різця

У четвертому розділі для дослідження, розрахунку та аналізу динамічних явищ при різанні збірними ступінчастими різцями запропонована вдосконалена структурна модель динамічної системи верстата, що включає в себе два процеси різання двома різальними пластинами. Структурна модель динамічної системи представлена на рисунку 8.

У представлений на рисунку 8 структурній моделі прийняті наступні позначення:

- a_0, b_0 – початкові товщина та ширина шару, що зрізується;
- K_{ab} – коефіцієнт, що визначає зменшення товщини та ширини шару, зрізується другою пластинною інструмента;
- $W1_{np}(s), W2_{np}(s)$ – процеси різання;

- $W_{вер}(s)$ – передавальна функція еквівалентної пружної системи (ЕПС) верстата;
- $\exp(-s\tau)$ – фазова характеристика процесу різання;
- $y_1(\tau), y_2(\tau)$ – пружні переміщення, що виникають в ЕПС верстата та пружні переміщення, що виникають в наслідок руху інструменту по сліду від попереднього проходу;
- $x_{1вн}, x_{2вн}$ – зовнішні впливи на технологічну систему, пов'язані з наявністю випадкових і систематичних похибок.

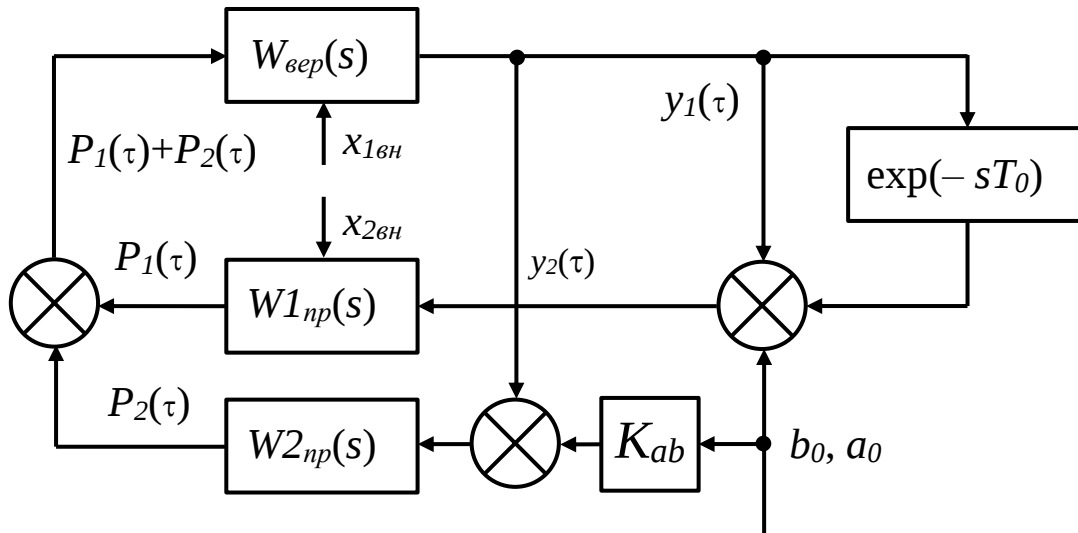


Рисунок 8 – Структурна модель динамічної системи зі збірним інструментом для важких верстатів

Особливістю запропонованої структурної моделі є наявність двох процесів різання з різними схемами навантаження леза пластин. Така структура дозволяє розглядати коливання елементів технологічної системи при різанні ступінчастими різцями.

Розрахункова схема представлена на рисунку 9 описує випадок ступінчастого різця з одновершинною схемою різання.

Для розробки розрахункової схеми використовувалися результати експериментальних досліджень та допущення:

- технологічна система розглядається як замкнута процесом різання сукупність елементів із зосередженими масами, з'єднаними між собою лінійними пружними і дисипативними зв'язками;
- всі пружні деформації і переміщення елементів технологічної системи, що виникають при дії складових сили різання P_x, P_y, P_z , відбуваються в пружних елементах системи;
- з урахуванням маси і габаритів оброблюваної деталі, які розглядаються як абсолютно жорсткі елементи технологічної системи;

– ступінчастий збірний різець розглядається як система, що складається з корпусу, який містить дві різальні пластини, кожна з яких виконує процес різання зі своєю глибиною різання.

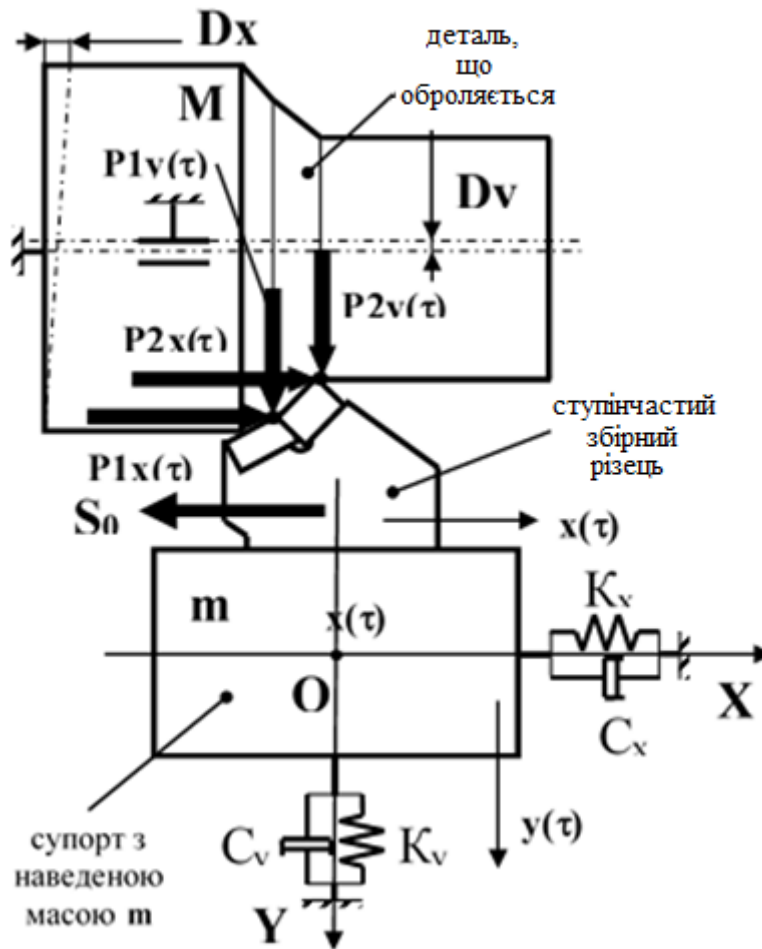


Рисунок 9 – Розрахункова схема технологічної системи важкого токарного верстата при обробці за одновершинною ступінчастою схемою різання.

Перевірка адекватності запропонованої моделі технологічної системи важкого токарного верстата при різанні ступінчастими різцями проводилася шляхом порівняння розрахункових значень амплітуд коливання інструменту, отриманих за допомогою моделі та результатів експериментальних досліджень коливань збірних відрізних різців.

Експериментальні дослідження динамічних характеристик збірних відрізних різців проводили на верстаті мод. 164 при поперечному точінні, зокрема, при прорізанні канавок відрізним різцем $b = 12$ мм. Предметом досліджень були частота і амплітуда коливань різців в залежності від елементів режиму різання. Вимірювання параметрів коливань збірного різця 2 при обробці заготовки 1 виконували в тангенціальному та радіальному напрямках за допомогою датчиків прискорення 4 типу ДП-5С-100, 5 ДПЗ, установлених на різці 2 і з'єднаних з вібровимірювачем 3 (рис. 10). Умови проведення досліджень приведені у таблиці 1.

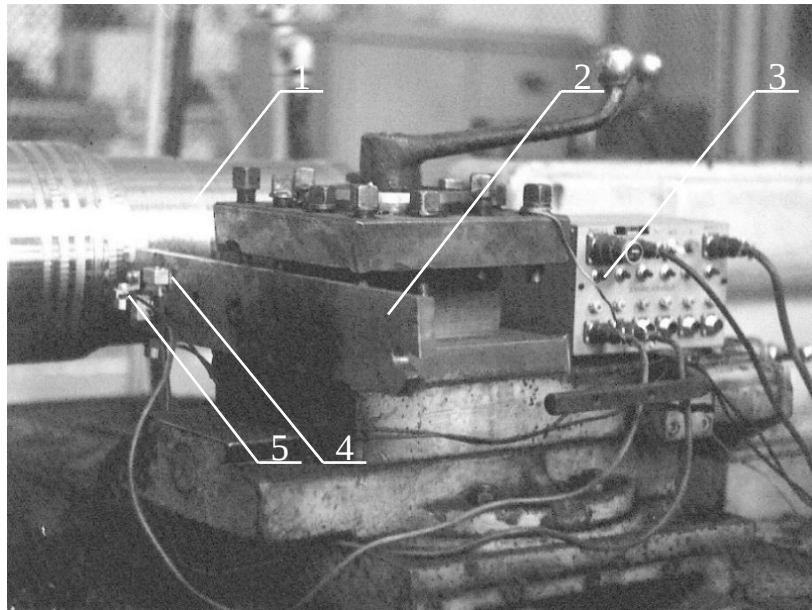


Рисунок 10 – Комплекс для експериментальних досліджень

Таблиця 1 – Умови проведення досліджень динамічних характеристик збірного різця

№	Заготовка	Обладнання	t, мм	S, мм/об	V, м/хв
1			12	0,10	14
2			12	0,14	22
3			12	0,19	34

На рисунку 11 наведені результати розрахунку амплітуди коливань інструменту при прорізанні канавок збірним відрізним різцем у залежності від подачі інструменту, які отримані за допомогою запропонованої моделі технологічної системи важкого токарного верстата.

Максимальна похибка моделі не перевищує 12 %.

Умови аналітичних досліджень динамічних характеристик збірних різців при обробці деталей на важких верстатах: верстат мод. 1А665; діаметр деталі, що обробляється $D = 650$ мм; довжина обробки $L = 650$ мм; матеріал деталі 90ХФ, $\sigma_b = 850$ МПа, $HV = 240$; заготовка – поковка. Для врахування впливу на величину складових сили різання фізико-механічних властивостей матеріалу, геометричних параметрів інструменту та швидкості різання, розраховані питомі сили різання K_{pz} , K_{py} , K_{px} для умов обробки, які наведені у таблиці 2.

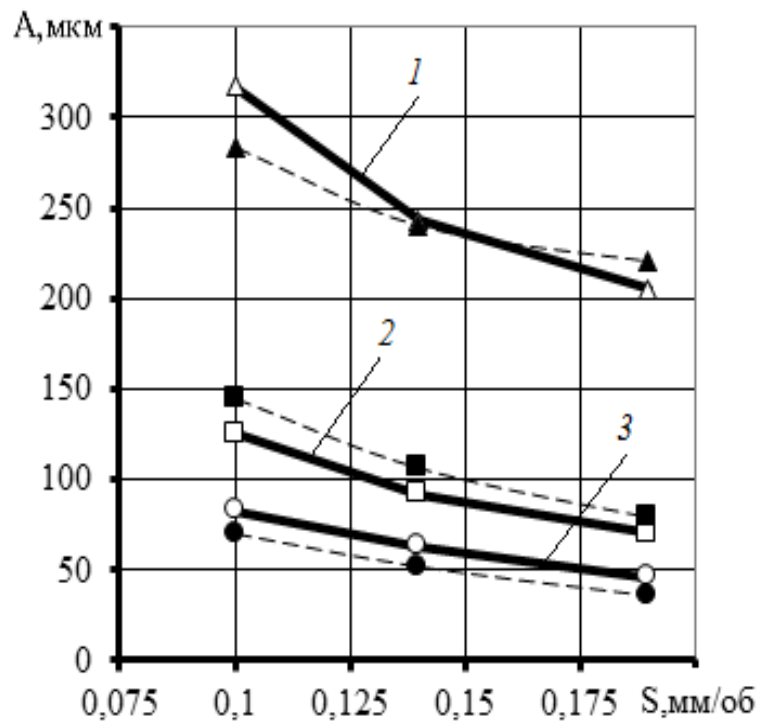


Рисунок 11 – Залежність амплітуди коливань від подачі в області низьких частот збірним відрізним різцем: суцільні – експеримент, штрихові – розрахунок (1– $V=34$ м/хв, 2– $V=22$ м/хв, 3– $V=14$ м/хв)

Таблиця 2 – Режими різання обробки деталі та розрахункові сили різання

t , мм	S , мм/об	V , м/хв	N_e , кВт	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н
30	0,9	54	55	56358	19725	25361

Результати моделювання процесу обробки різцями з однією різальною пластиною і ступінчастим різцем, що працює за одновершинною схемою у вигляді розрахункових віброграм та амплітудно-частотних характеристик технологічної системи важкого токарного верстата, отриманих за допомогою «Linear Analysis Tool», представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Абсолютні значення амплітуд коливань при обробці деталі звичайним та ступінчастим різцем

t , мм	S , мм/об	V , м/хв	Амплітуда коливань (Амп), мм	
			Різець з однією пластиною	Ступінчастий різець
30	0,9	54	0,108	0,027

Крім того, процес різання ступінчастим різцем від початку обробки і далі у часі характеризується стабільними значеннями амплітуди коливань, що свідчить про

стабільність процесу з динамічної точки зору. Подібна картина при різанні ступінчатим різцем за одновершинною схемою різання пояснюється тим, що при такій схемі обробки кожна різальна пластина працює окремо та складові сили різання розподіляються між ними. Крім того одна різальна пластина оброблює шар, що характеризується нерівномірністю властивостей і припуску, а друга пластина оброблює більш рівномірний припуск та не «йде» по сліду попереднього проходу, що зменшує рівень автоколивань.

У п'ятому розділі розглядається задача багатокритеріальної стохастичної оптимізації режимів різання для чорнової обробки деталей на важких токарних верстатах з великими перерізами зрізуваного шару ступінчастими збірними різцями на основі використання гібридного алгоритму взаємодії нейронних мереж і генетичного алгоритму.

Для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації чорнового різання на важких токарних верстатах сформована схема предметної області, яка представлена на рисунку 13. Ця схема включає в себе параметри елементів, які необхідні для вирішення оптимізаційної задачі.

Для вибору ефективних режимів різання необхідні відомості про деталь, яка підлягає обробці, обладнання та інструмент, що використовується в відповідній операції технологічного процесу.

Основним критерієм ефективності процесу обробки на важких токарних верстатах зазвичай є продуктивність чорнової обробки конструкційних сталей з великими перерізами зрізуваного шару (рис. 12). Формування цільової функції продуктивності чорнової обробки виконували з урахуванням витрат інструменту, що залежать від режимів різання.

Обмеженнями задачі оптимізації є: міцність і жорсткість технологічної системи; ефективна потужність різання.

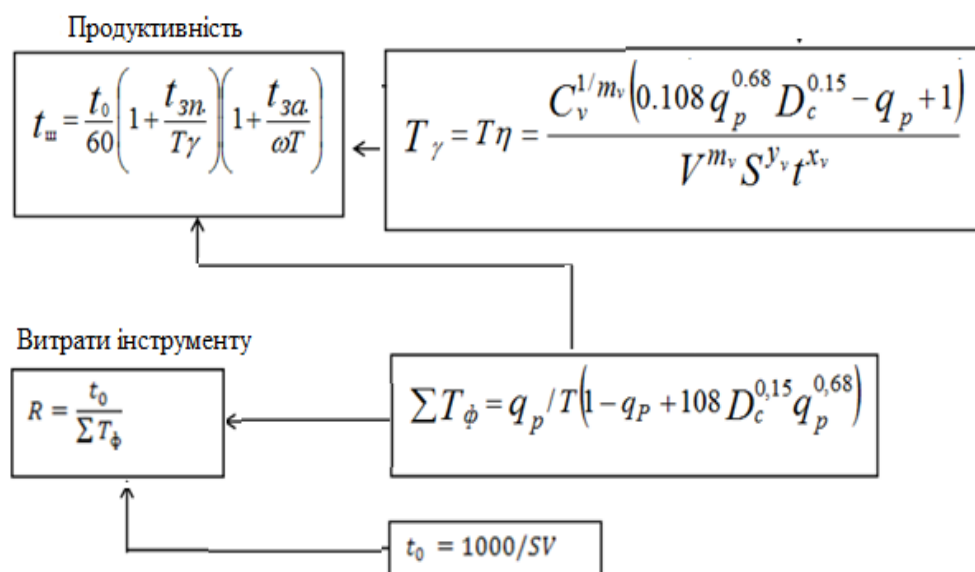


Рисунок 12 – Схема математичної моделі при визначенні продуктивності чорнової обробки на важких верстатах

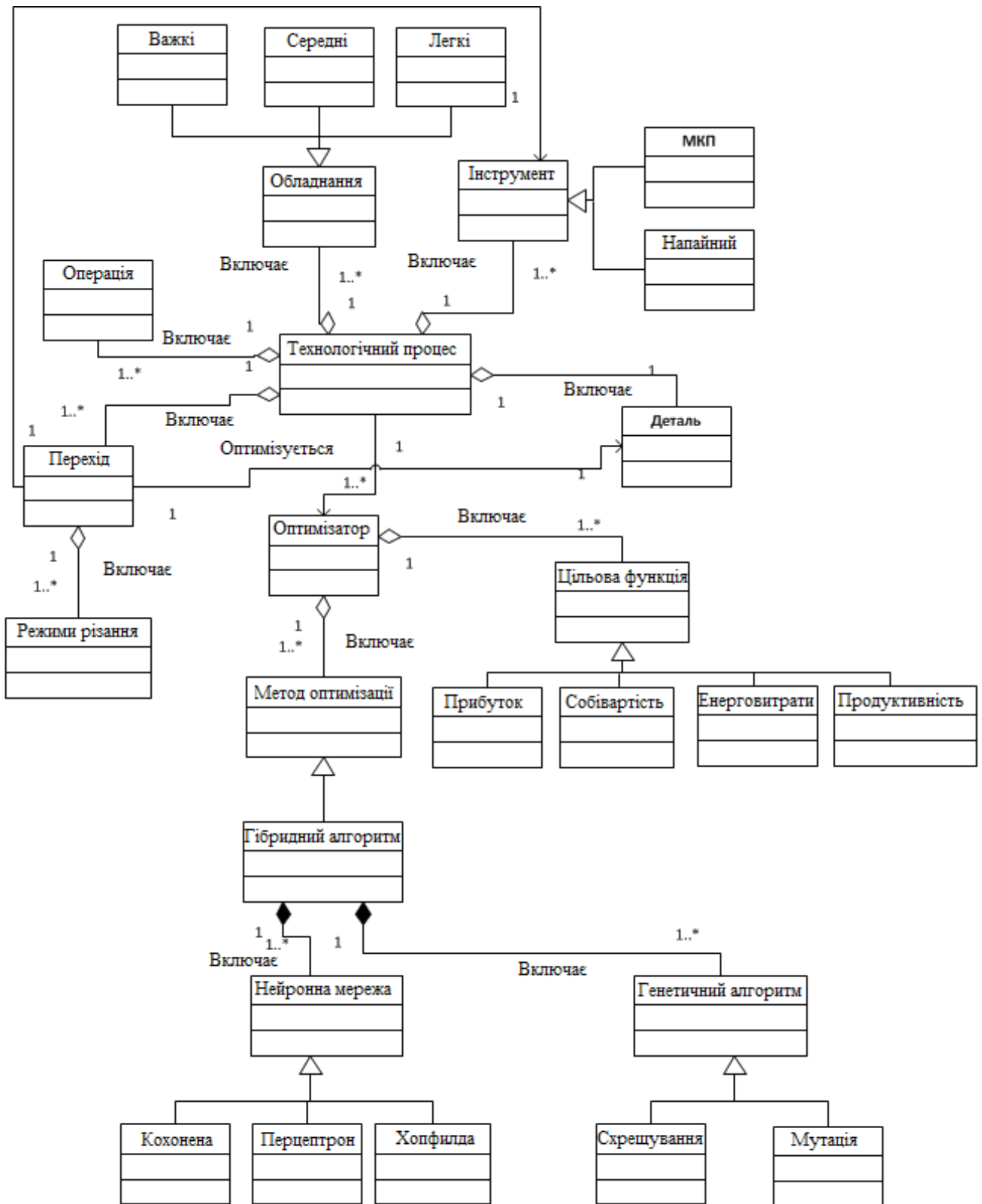


Рисунок 13 – Схема предметної області для виконання багатокритеріальної оптимізації

Результати моделювання процесу обробки різцями з однією різальною пластиною і ступінчастим різцем, що працює за одновершинною схемою у вигляді

розрахункових віброграм та амплітудно–частотних характеристик технологічної системи важкого токарного верстата, отриманих за допомогою «Linear Analysis Tool», представлені в таблиці 3.

Одержані в виробничих випробовуваннях залежності при чорновій обробці збірними різцями Т5К10 конструкційних сталей типу 40Х, 40ХН, 60ХГС (НВ 210...240) с глибинами різання $t = (20...30)$ мм, подачами $S = (1,2...1,6)$ мм/об.

В певній області подач і швидкостей різання (для конструкційних сталей $V = 40...80$ м/хв) залежність $T-V$ в подвійній логарифмічній сітці майже прямолінійні, але показник m_V є суттєво більшим, ніж при проведенні експериментів, та досягає значень $m_V = 0,5...0,6$, тому використовувати загальноприйняті формули, тим більше при $m_V=0,25$ не припустимо.

Відзначимо, що в зоні малих швидкостей не тільки збільшується частка зруйнованих різців, а й зростає коефіцієнт варіації періоду стійкості (рис. 14).

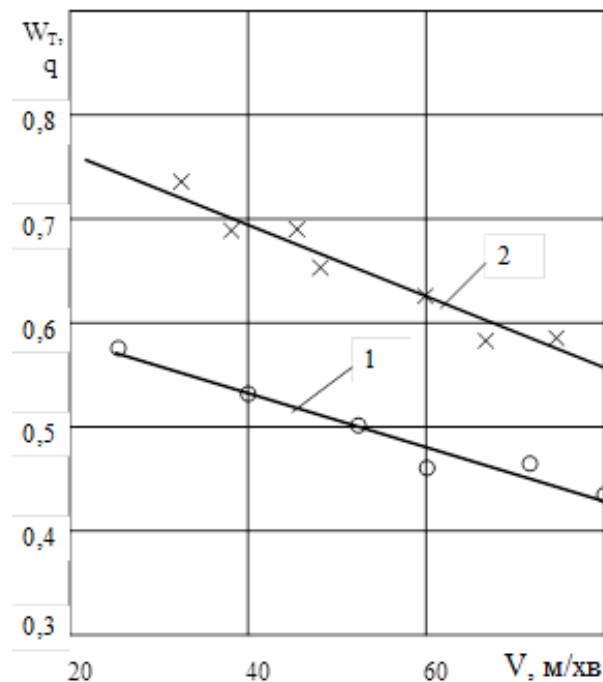


Рисунок 14 – Залежність коефіцієнту варіації стійкості від швидкості різання: 1 – згідно нормативів режимів різання; 2 – у виробничих умовах

Таким чином, встановлено, що при знятті великих перерізів зрізуваного шару на важких токарних верстатах процес різання з відносно малими швидкостями не тільки не дає переваг у збільшенні періоду стійкості, але і викликає значні втрати через руйнування інструменту і зниження стабільності роботи.

Великий вплив на залежність $T-V$ надає величина подачі. З ростом подачі збільшується частка зруйнованих інструментів і знижується період стійкості різців (рис. 15).

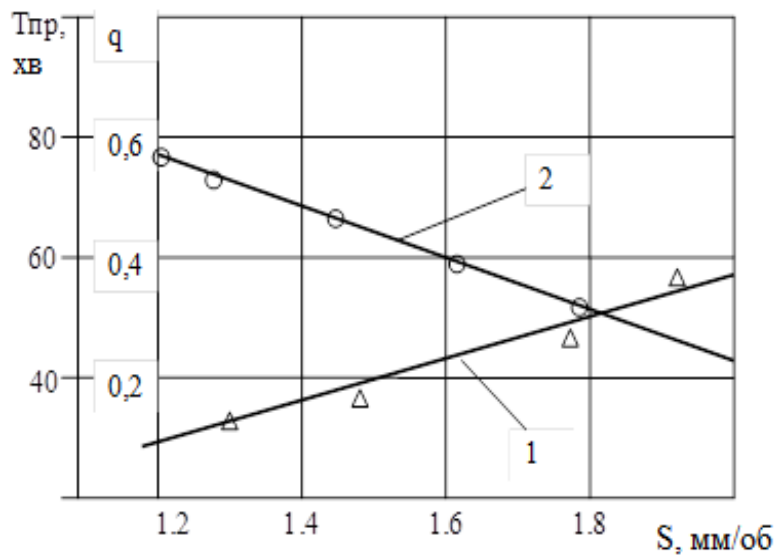


Рисунок 15 – Залежність частки руйнування q – (1) та граничного періоду стійкості $T_{пр}$ – (2) від подачі S

Таким чином залежність, що задовольняє цим умовам, описується як:

$$\frac{\alpha(\ln T)}{dv} = \frac{k}{v} - \alpha, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, що відображає швидкість падіння періоду стійкості і лінійний характер цього падіння в зоні відносно великих швидкостей різання; k – коефіцієнт, що показує ступінь падіння періоду стійкості в області малих швидкостей різання.

Одержане рівняння періоду стійкості з урахуванням впливу подачі:

$$T = c(S) V^{k(s)} e^{-\alpha(s)v} \quad (2)$$

Шляхом вибору теоретичної кривої з урахуванням умов, в яких знайдено залежність $T-V$, отримаємо значення коефіцієнтів і показників ступенів, які зведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Значення постійних і показників ступенів для визначення стійкості

S , мм/об	C	K	α
2,0	7,85	-4,6	-0,39
1,6	7,2	1,67	-0,13
1,2	112,52	0,52	-0,072

Призначення завищеної величини подачі при зниженні швидкості різання при чорновому точінні при знятті великих перерізів зрізуваного шару на практиці призводить до руйнування пластини, що перешкоджає збільшенню сумарної стійкості інструменту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково–технічну задачу підвищення ефективності процесу чорнкової обробки деталей з великими перерізами зрізуваного шару ступінчастими збірними різцями на важких токарних верстатах за рахунок вперше створеної нової схеми розподілу припуску між різальними пластинами інструменту з однією робочою вершиною різального ступінчастого леза, яка забезпечує високу продуктивність та експлуатаційні характеристики інструменту.

1. Розроблені моделі напружено–деформованого стану конструктивних варіантів вузлів механічного кріплення різальних пластин ступінчастих збірних різців, які вперше враховують особливості навантаження та контактної взаємодії пластин з елементами зовнішнього і внутрішнього зрізу припуску, що дозволяє підвищити безвідмовність інструменту при експлуатації за рахунок зниження на 1,2 рази величини відсотка поломок і викришування.

2. Уточнено розподіл схеми реакцій з боку базових поверхонь пластини з елементами базування вузлів кріплення на напружено–деформований стан різця, що дозволяє суттєво підвищувати міцнісні характеристики збірного інструменту на стадії його проектування.

3. Для опису й досліджень динамічних явищ, що виникають при обробці на важких токарних верстатах ступінчастими різцями, запропонована удосконалена структурна, математична й імітаційна модель технологічної системи верстата, яка враховує особливості нової схеми розподілу навантаження силами різання на пластини інструмента.

4. Запропонована математична й імітаційна модель адекватно відображає коливання, які виникають при механічній обробці, що підтверджено порівнянням результатів моделювання з даними експериментів. Максимальна похибка моделі не перевищує 12%.

5. Розроблені конструкції вузлів кріплення різальних пластин збірних різців для чорнового точіння дозволяють знизити витрати інструменту на 21...26 %, а також можуть бути використані для проектування конструкцій збірних інструментів для механічної обробки в інших областях машинобудування.

6. Обробка ступінчастим різцем з новою схемою навантаження характеризується відрізняється більш стабільними значеннями амплітуди коливань за рахунок того, що в процесі різання приймає участь тільки одна різальна вершина пластини різця, яка оброблює внутрішню поверхню припуску заготовки без переривів процесу обробки, а процес різання пластини, яка оброблює зовнішній шар припуску, здійснюється по схемі вільного різання, що суттєво знижує рівень коливань інструменту.

7. На підставі аналітичних досліджень встановлено, що при обробці деталей ступінчастим різцем з одновершинною схемою різання у порівнянні з інструментом з одною пластиною, а також з врахуванням відсутності впливу різання по сліду попереднього проходу, амплітуда коливань в технологічній системі зменшується до 2,5 рази.

8. Результати аналізу можливих станів інструменту показали, що відмови збірних різців різноманітні, у таких випадках доцільно використання такого показника надійності інструменту як інтенсивність відмов, який відображає зміни його властивостей у часі та визначати закон розподілу стійкості і його параметри.

9. Розроблено алгоритм прийняття рішень, програмне забезпечення та систему функцій багатокритеріальної оптимізації при визначенні ефективних параметрів режимів різання ступінчастими збірними різцями при чорновій обробці деталей з великими перерізами зрізуваного шару на важких токарних верстатах, що дозволяє підвищити продуктивність обробки в середньому на 35 %.

10. Результати роботи впроваджені ПрАТ Новокраматорський машинобудівний завод, ПрАТ Краматорський завод важкого верстатобудування, у навчальному процесі Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, що входять до міжнародних науко–метричних баз

1. Bohdanova, L. M., Vasilyeva, L. V., Guzenko, D. E., Kolodyazhny, V. M. (2018). A Software System to Solve the Multi–Criteria Optimization Problem with Stochastic Constraints. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54(6), 1013–1018. (Іноземне видання) *(Здобувачем розроблено програмний комплекс вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації режимів різання на базі гібридного алгоритму з методами штучного інтелекту)*

Публікації, що входять до переліку фахових видань

2. Myronenko Y. Heavy vertical lathe equivalent elastic system modeling / Y. Myronenko, S. Mirantsov, D. Huzenko // *Scientific journal of the Ternopil National technical university*. – Ternopil.: TNTU. – 2017. – №3(87) – С.90 – 102. – ISSN 2522–4433. *(Здобувачем виконано моделювання динамічних характеристик технологічної системи важкого верстата)*

3. Мироненко Е.В. Анализ возможностей использования резцов с твердосплавными резальными пластинами со зносостойкими покрытиями при напівчистовій обробці валків прокатних станів / Е.В. Мироненко, В.В. Калініченко, Д.Є. Гузенко // *Сучасні технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць*. – Харків.: НТУ «ХПІ». – 2017. – Вип 12. – С.116–125. – ISSN 2079–7499. (видання включено у довідник періодичних видань *Ulrich's Periodicals Directory* (New Jersey, USA)) *(Здобувачем виконаний аналіз характеристик навантажень на різальні пластини при обробці валків прокатних станів)*

4. Мироненко, Є. Специфіка використання твердосплавних різальних пластин з покриттям при чорновій та напівчистовій токарній обробці деталей важкого машинобудування / Є. Мироненко, В. Калініченко, В. Хорошайло, Д. Гузенко // Різання та інструмент в технологічних системах : Міжнар. наук.–техн. зб. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – Вип. 91. – С. 169–181. *(Здобувачем виконаний аналіз впливу силових навантажень на різальні пластини при чорновій токарній обробці)*

5. Мироненко Е.В., Богданова Л.М., Гузенко Д.Е. Изучение функционирования нейронных сетей для определения оптимальных режимов резания / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип. 35, 2014. 108–111. *(Здобувачем виконаний аналіз нейронних мереж для вирішення задачі отримання оптимальних режимів різання)*

Патенти

6. Збірний різальний інструмент: пат. на корисну модель 114219 Україна, МКП В23В 27/16. – № а201606663; заявл. 17.06.2016; опубл. 10.03.2017, бюл. №5/2017.

7. Збірний різальний інструмент: пат. на корисну модель 114465 Україна, МКП В23В 27/16. – № u201609272; заявл. 05.09.2016; опубл. 10.03.2017, бюл. №5/2017.

8. Збірний різець: пат. на корисну модель 116974 Україна, МКП В23В 27/16. – № u201613463; заявл. 27.12.2016; опубл. 12.06.2017, бюл. №11/2017.

9. Різальний інструмент: пат. на корисну модель 134413 Україна, МКП В23В 27/16.– № u201813096; заявл. 29.12.2018; опубл. 10.05.2019, бюл. № 9/2019.

Публікації апробаційного характеру

10. Мироненко Є. В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є., Ситнік М.Ю., Штогрін Д. Г. Вплив динамічних характеристик збірних різців на енергоефективність процесу різання // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип. № 39, 2016. С. 153 – 158.

11. Мироненко Е.В., Гузенко Д.Е. Снижение энергозатрат процессов механической обработки деталей с применением многокритериальной оптимизации на базе нейросетевой модели // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної конференції 30 – 1 червня 2017 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – С. 59.

12. Мироненко Є.В., Богданова Л.М., Гузенко Д.Є. Використання гібридної моделі оптимізації для визначення ефективних режимів різання__Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної конференції 29 – 31 травня 2018 року // Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 62.

13. Мироненко Є.В., Васильєва Л.В., Гузенко Д.Є. Оптимізація режимів різання з урахуванням стохастичних параметрів–ознак // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної

конференції 29 – 31 травня 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 63.

14. Мироненко Є.В., Гузенко Д.Є. Підвищення енергоефективності механічної обробки на базі багатокритеріальної оптимізації нейромережевої моделі // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково–практичної конференції 31 жовтня – 02 листопада 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 138.

15. Мироненко Є. В., Міранцов С. Л., Гузенко Д.Є. Аналіз механізму виникнення оптимального рівня автоколивань // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної конференції 04 – 07 травня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С. 87.

16. Мироненко Є. В., Васильченко Я. В., Гузенко Д. Є., Калініченко В. В., Луговий А. А. Аналіз конструкції збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини за допомогою клинового елемента та притискного гвинта // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної конференції 04 – 07 травня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С.88.

17. Мироненко Є. В., Васильченко Я. В., Гузенко Д. Є., Калініченко В. В., Луговий А. А. Аналіз конструкції збірного токарного різця з кріпленням різальної пластини за допомогою клинового елемента та притискного гвинта // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково–технічної конференції 04 – 07 травня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С.90.

18. Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є. Програмно–математичний комплекс для багатокритеріальної оптимізації параметрів токарної обробки на важких верстатах // Сучасні технології промислового комплексу. Матеріали V–ої Міжнародної науково–практичної конференції 10 ... 15 вересня 2019 року – Херсон: ХНТУ, 2019. – С. 24.

19. Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є. Багатокритеріальна оптимізація параметрів токарної обробки на важких верстатах // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали тез доповідей IX Міжнародної науково–практичної конференції – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – С. 67–68.

20. Мироненко Є.В., Калініченко В.В., Гузенко Д.Є. Перспективи використання різців з твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями при чорновій обробці валків прокатних станів з великими діаметрами бочки валка. Матеріали доповідей VIII Міжнародної науково–практичної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ–2019» 4–8 лютого 2019р. – Івано–Франківськ – Яремче, 2019. С. 71–173.

АНОТАЦІЇ

Гузенко Д.Є. Підвищення ефективності процесу чорнової обробки деталей ступінчастими різцями на важких токарних верстатах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності процесу чорнової обробки деталей ступінчастими різцями на важких токарних верстатах. Проведено аналіз літературних джерел в області чорнової механічної обробки з великими перерізами зрізуваного шару в умовах важкого машинобудування.

Проаналізовано структуру відмов збірних різців при чорновому точінні з великими припусками та кіркою деталей на токарних верстатах. Встановлено, що головною причиною виходить з ладу різців є поломки та нерівномірне зношування різальних пластин. Недоліком конструкцій збірних різців при чорновій обробці є їх низька працездатність внаслідок недостатньої міцності різальних пластин за рахунок недостатньо ефективного закріплення різальної пластини в корпусі інструменту. Розроблена нова схема ступінчастої обробки різанням збірними різцями та вдосконалені вузли кріплення спеціальних різальних пластин з уступом за допомогою прихоплювача. Розроблена методика аналізу напружено–деформованого стану збірних ступінчастих різців для чорнового точіння методом скінчених елементів.

Розроблена методика досліджень динамічних характеристик технологічної системи, яка дозволяє розглянути ступінчастий збірний різець як збірну багатомасову конструкцію і шляхом моделювання процесу коливань прогнозувати вихід із строю інструмента в залежності від поєднання амплітуди та частоти. Експериментальні дослідження коливань збірних різців дозволили встановити адекватність запропонованої методики та моделі.

На базі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена удосконалена конструкція ступінчастого збірного різця для чорнової обробки з великими перерізами зрізуваного шару деталей на важких токарних верстатах. Розроблено алгоритм та програмно–методичний комплекс багатокритеріальної оптимізації, що дозволив вирішити задачу вибору ефективних режимів різання для нової ступінчастої схеми різання при чорновій обробці збірними різцями на важких токарних верстатах.

Ключові слова: середовище функціонування, ступінчастий збірний різець, математична модель, напружено–деформований стан, динамічних характеристик, багатокритеріальна оптимізація.

ABSTRACT

D.E. Guzenko Improvement of the efficiency of rough machining with stepped cutters on heavy lathes. – Manuscript.

Thesis for Candidate of Science Degree in Specialty 05.03.01 – Machining Processes, Lathes and Tools. – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The thesis is dedicated to the improvement of the efficiency of rough machining process with stepped cutters on heavy lathes. The analysis of literary sources in the field of rough machining with large cutting areas under conditions of heavy engineering has been done.

The failures structure of sectional cutters during rough turning with large allowances and crust was analyzed on lathes. It is established that the main failure reason of the cutters is breakage and uneven wearout of the cutting plates. The disadvantage of sectional cutter design is their poor performance due to insufficient strength of the cutting plates because of ineffective attachment of the cutting plate to the tool body. A new scheme of step-by-step cutting with sectional cutters and advanced nodes for mounting special cutting plates with a ledge with the help of an adhesive has been developed. A technique for the analysis of the stress-strain state of the sectional stepped cutters for rough machining by the finite element method was developed.

A technique for investigating dynamic characteristics of a technological system has been developed. It allows to consider a stepped sectional cutter as a sectional multi-mass structure and, by simulating the oscillation process, to predict the failure of a tool depending on the combination of amplitude and frequency. Experimental studies of the variations of combined cutters allowed to establish the trueness of the proposed methodology and of the model.

On the basis of theoretical and experimental researches an advanced design of a stepped sectional cutter for rough machining with large cutting areas on heavy lathes has been developed. An algorithm and a program-methodological complex of multicriteria optimization were developed, that allows to solve the problem of choosing effective cutting modes for a new step-by-step cutting scheme during rough machining with sectional cutters on heavy lathes.

Keywords: operating environment, sectional stepped cutter, mathematical model, stress-strain state, dynamic characteristics, multicriteria optimization

Підп. до друку 18.11.2019. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9.
Тираж 100 пр. Зам. № 85.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія 84313,
м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003