

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Мироненко Евгений Васильевич

УДК 621.941.0.25

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ АГРЕГАТНО-
МОДУЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ**

Специальность 05.03.01 – Процессы механической обработки,
станки и инструменты

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание учебной степени
доктора технических наук

Харьков 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Металорізальні верстати та інструменти” в Донбаській державній машинобудівній академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Грабченко Анатолій Іванович,
Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, завідувач кафедри „Різання матеріалів та різальні інструменти”

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Клименко Сергій Анатолійович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля Національної академії наук України, м. Київ,
завідувач відділом технологічного управління якістю обробки поверхонь

доктор технічних наук, професор
Мельничук Петро Петрович,
Житомирський державний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, м. Житомир,
ректор, зав. кафедрою „Технологія машинобудування та конструювання технічних систем”

доктор технічних наук, професор
Мазур Микола Петрович,
Технічний університет „Поділля” Міністерства освіти і науки України, м. Хмельницький, завідувач кафедри „Технологія машинобудування”

Провідна установа:

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, кафедра „Інструментальне виробництво” Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Захист відбудеться „ ” квітня 2004 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” за адресою 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий „ ” березня 2004 року.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради

О.А. Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. У вирішенні ключової народногосподарської задачі на сучасному етапі розвитку економіки України важливе місце відводиться машинобудуванню та його складовій частині – верстатобудуванню. Найбільшу питому вагу важкого верстатобудування складають важкі токарні верстати. Вартість цих верстатів у 20 – 50 разів, а вартість верстаточаса їх роботи у 3 – 7 разів більше в порівнянні із середніми верстатами. Для інструмента, що працює на цих верстатах, витрачається до 30% твердого сплаву, який використовується у машинобудуванні.

Ефективність роботи важких токарних верстатів у значній мірі визначається інструментом, тобто його конструкцією, яка забезпечує цілий комплекс питань та рішень підвищення його працездатності, надійності, строку служби, здатності швидкого переналагодження.

На важких токарних верстатах в основному експлуатується напаяний крупногабаритний інструмент.

Разом з тим тенденції сучасного верстатобудування, у тому числі і важкого, спрямовані на перехід до агрегатно-модульного принципу компоновання верстатів. Так для токарних верстатів цей принцип реалізовано у новій серії з пластинчастими супортами підвищеної жорсткості.

У цій серії застосування напаяних різців різко знижує ефективність експлуатації верстатів нового покоління, що і вимагає застосування нових підходів до конструкції інструмента. На даному етапі найбільш перспективним, є використання інструмента на основі агрегатно-модульного принципу його компоновання. Але його використання обмежується областю середніх верстатів з ЧПК, а запропоновані рішення не враховують особливостей інструмента, який працює при знятті великих перетинів зрізу. Відомі рішення по створенню модульного інструменту для важких верстатів мають частковий характер, відсутні наукові основи створення такого інструмента, не вирішені проблеми його працездатності, надійності, вибору конструкції елементів модуля.

Гострота питання розробки систем агрегатно-модульних інструментів підсилюється великою різноманітністю моделей та типорозмірів важких верстатів. Тому розробка наукових основ із створення систем агрегатно-модульного інструмента – є актуальною проблемою та має велике народногосподарське значення. Актуальність та значення цієї проблеми для України підсилюється тим, що Україна є одним з провідних виробників у Європі прокатного і металургійного обладнання, комплектуючих виробів до нього. Механічна обробка основних виробів цього обладнання виконується на важких токарних верстатах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до перспективного плану науково-дослідних робіт Донбаської державної машинобудівної

академії у рамках програми ДКНТ України «Ресурсозберігаючі технології» відповідно до Державної науково-технічної програми Міністерства України в справах науки і технології з напрямку 4.3 «Підвищення надійності й довговічності конструкцій», і тепер відповідно до Державної науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України за напрямком 4 «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології»: «Створення методу синтезу оптимальних конструкцій важконавантажених збірних різців» (1992-1993 рр., державна реєстрація № 0193U033253); «Підвищення надійності та удосконалення алгоритму діагностики важконавантаженого інструменту з урахуванням математичної моделі його відмов» (1994 р., державна реєстрація № 0194U015527); «Розробка методології проектування та оптимізації систем збірних інструментів для верстатів із ЧПК» (1995-1997 р., державна реєстрація № 0195U015844); «Стратегія експлуатації металорізальних верстатів на основі конструктивних і технологічних методів» (1998-2000 р., державна реєстрація № 0198U009089), «Розробка високоефективних технологічних систем для створення та реалізації високих технологій виготовлення різальних інструментів» (2000-2002 р., державна реєстрація № 0100U001547), а також у рамках науково-дослідних робіт з АТ «Новокраматорський машинобудівний завод», «Розробка та впровадження системи агрегатно-модульного інструменту, рекомендацій з раціональної експлуатації та сервісного обслуговування» (2001-2002 р.) і ВАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування», «Створення системи оснащення заводу високоефективним різальним інструментом» (2002р.).

Мета роботи. Підвищення ефективності обробки на важких верстатах шляхом розробки і реалізації наукових основ створення систем агрегатно-модульного інструменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз стану проблеми механічної обробки на важких токарних верстатах.
2. Розробити методичне забезпечення досліджень із створення агрегатно-модульного інструмента з урахуванням імовірнісного характеру процесу експлуатації.
3. Розробити принципи створення систем агрегатно-модульного інструмента для важких верстатів.
4. На базі теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану і жорсткості агрегатно-модульного інструмента розробити принципи конструювання вузла закріплення елементів модуля.
5. Розробити математичні моделі, які відображають процес завивання стружки та дозволяють прогнозувати радіус її кривизни.
6. Дослідити показники надійності елементів агрегатно-модульного інструмента.

7. Розробити систему цільових функцій для багатокритеріальної оптимізації параметрів агрегатно-модульного інструмента та режимів їх експлуатації з урахуванням стабільності дробління стружки.

8. Розробити алгоритм та програмне забезпечення прийняття рішень з вибору параметрів агрегатно-модульного інструмента, режимів їх експлуатації та норм запасу твердосплавних пластин на робочому місці з урахуванням особливостей обробки на важких верстатах.

9. Розробити систему агрегатно-модульних різців для важких токарних верстатів.

10. Розробити рекомендації з експлуатації та впровадження системи агрегатно-модульного інструмента у виробництво.

Об'єкт дослідження - процес обробки на важких токарних верстатах.

Предмет дослідження - агрегатно-модульний інструмент, конструктивні і геометричні параметри, стабільність стружкодроблення у широкому діапазоні перетинів зрізу та режими експлуатації агрегатно-модульного інструмента.

Методи дослідження. Методичною і теоретичною базою досліджень є основні положення теорії різання матеріалів, надійності інструменту, загальні закономірності утворення стружки, основні положення і методи математичного моделювання з застосуванням ЕОМ, теорії імовірності. Експериментальні дослідження виконані на спеціально створених вимірювальних і моделюючих установках для виміру статичних і динамічних характеристик. Лабораторні дослідження проводилися з використанням моделювання, математичного планування експерименту, дисперсійного і кореляційного аналізів. Експлуатаційні випробування проводилися у виробничих умовах з наступною обробкою результатів методами математичної статистики.

Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням існуючого прикладного програмного забезпечення, а також спеціально розробленого за участю автора пакета програм для оптимізації параметрів і режимів експлуатації агрегатно-модульного інструмента - «Модуль».

Наукова новизна роботи:

Вперше розроблені наукові основи створення систем агрегатно-модульного інструмента для важких токарних верстатів, які містять:

– розробку принципів створення систем агрегатно-модульного інструменту на основі кваліметричної оцінки станів процесу механічної обробки, можливих відмов технологічної системи, властивостей та критеріїв їх оптимізації, визначення вагомостей критеріїв;

– розробку основ конструювання елементів агрегатно-модульного інструмента з урахуванням оцінки напружено-деформованого стану і жорсткості основних вузлів, створення математичної моделі процесу дробління стружки їх різальними елементами та імовірнісної оцінки стабільності дробління стружки;

- розробку імовірнісних моделей прогнозування стану системи агрегатно-модульного інструмента, їх безвідмовності та довговічності;
- розробку системи функцій для багатокритеріальної оптимізації комплексу конструктивних та експлуатаційних параметрів агрегатно-модульного інструмента;
- розробку методології моделювання складних конструкцій модульного інструмента з використанням розрахунково–аналітичних методів скінчених елементів для стрижневих систем, статичних та динамічних методів досліджень.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення роботи визначається наступними результатами:

1. На базі проведених досліджень, оптимізаційних розрахунків була розроблена система агрегатно-модульного інструменту з механічним закріпленням пластин для чорнового і напівчистового точіння, які виробляються на АТ «Новокраматорський машинобудівний завод» і АТ «Сестро-рецький інструментальний завод».
2. Розроблено рекомендації з експлуатації агрегатно-модульного інструмента для важких верстатів із пластинчастими супортами, що дозволяють здійснити вибір раціональних режимів різання з забезпеченням якості інструменту. Визначено показники надійності модульного інструмента, норми витрат основних елементів.
3. Розроблено програмний продукт багатокритеріальної стохастичної оптимізації на основі системи „МАРС” і „ИНТЕЛОС”, котрий дозволяє вирішити задачу вибору агрегатно-модульного інструмента з урахуванням особливостей обробки на важких верстатах, оптимізувати його параметри, визначити величину запасу твердого сплаву на робочому місті та вибрати оптимальні режими експлуатації.
4. Запропоновано і випробувано нові форми передньої поверхні пластин, розроблено рекомендації з вибору геометричних параметрів з урахуванням стабільного дробління стружки в заданому діапазоні режимів різання.
5. Розробленою системою агрегатно-модульного інструмента оснащені важкі верстати нової серії з пластинчастими супортами мод. 1К670Ф3, 1К665Ф3, що випускаються на ВАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування».
6. Розробка агрегатно-модульного принципу компоновання інструмента дозволила вперше створити систему інструментального забезпечення, що включає: проектування, виготовлення , експлуатацію і сервісне обслуговування.
7. Частина наукових розробок впроваджено у навчальний процес Донбаської державної машинобудівної академії і використовують в науково-дослідній роботі студентів і аспірантів. Розроблено і викладається курс: «Інструментальні системи та інструментальне забезпечення» як для студентів академії, так і для підвищення кваліфікації інженерних працівників заводів важкого ма-

шинобудування.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати отримані здобувачем самостійно. Здобувач здійснив наукове обґрунтування розробок в області створення агрегатно-модульного інструмента, що забезпечує рішення важливої прикладної проблеми - підвищення ефективності обробки на важких верстатах. Постановка задач і аналіз наукових результатів виконані разом з науковим консультантом і частково зі співавторами публікацій. Розробка технічної документації для постановки на виробництво, проведення виробничих випробувань виконані разом зі співробітниками НТЦ «Інструмент» Донбаської державної машинобудівної академії.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на наукових семінарах науково-технічного центра «Інструмент», кафедри «Металорізальні верстати та інструменти» Донбаської державної машинобудівної академії (Краматорськ, 1992 – 2003), міжнародних конференціях «Надійність різального інструменту» (Краматорськ 1995, 1997, 2001, 2002, 2003), «Нові технологічні процеси механічної обробки» (Одеса, 1992), «Технологічні методи підвищення ефективності та якості механічного виробництва» (Київ, 1992), «Підвищення ефективності та якості механообробляючого виробництва» (Київ-Євпаторія, 1993), «Фізичні методи та прилади контролю для технічної діагностики» (Київ – Севастополь, 1993), «Сучасні технології та системи обробки в машинобудуванні» (Севастополь, 1994), «Автоматизація проектування деталей і проектування технологічних процесів у машинобудуванні» (Суми, 1994), «Автоматизація проектування і виробництва деталей у машинобудуванні» (Суми, 1995). На 2, 3, 4-му Міжнародних симпозиумах інженерів-механіків у Львові (Львів, 1995, 1997, 1999); «Прогресивна техніка і технологія в машинобудуванні (Донецьк, 1995); «Автоматизація проектування та виробництва виробів у машинобудуванні» (Луганськ, 1996), «Сучасні технології машинобудування» (Суми, 1997); «Високі технології в машинобудуванні» (Харків – Алушта, 1997, 2001, 2002, 2003); «Прогресивна техніка та технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва» (Київ, 1998). «Технологія XXI століття» (Суми – Алушта, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003), «Машинобудування і техносфера на рубежі XXI століття» (Донецьк - Севастополь, 1998, 1999), «Сучасні технології машинобудування, якість, реструктуризація» (Яси - Кишинів, 2001). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на наукових семінарах кафедри «Металорізальні верстати й інструменти» Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ), кафедри «Різання матеріалів і різальні інструменти» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», а також на спеціальних засіданнях міжнародного науково-технічного семінару «Високі технології в машинобудуванні» (м. Алушта, 2001, 2002).

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковані в 70 роботах, у тому числі є: 3 монографії в співавторстві, 1 брошура, 23 науково-технічні статті в спеціалізованих виданнях, 2 авторських свідоцтва, 1 патент України.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 7 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел-260 найменувань і 4 додатків. Містить 420 сторінок, у тому числі 135 рисунків, 35 таблиць.

Основний зміст роботи

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета й задачі, визначена наукова новизна, теоретична і практична цінність отриманих результатів, рівень реалізації і впровадження наукових розробок.

В **першому** розділі виконаний детальний аналіз існуючих систем збірного модульного інструмента, досліджень надійності інструмента для важких верстатів, способів одержання задовільної стружки, методів багатокритеріальної оптимізації процесу механічної обробки. Важливий внесок у рішення багатьох проблем і питань теорії різання, проектування різальних інструментів, формоутворення технологічних систем зроблений такими вітчизняними і закордонними вченими як: Армареґо І. Дж., Бобров В.Ф., Бетанеллі А.І., Везуб В.М., Везуб М.В., Верещака А.С., Внуков Ю.М., Гавриш А.П., Грабченко А.І., Грановський Г.І., Дрожжин В.І., Залого В.О., Зинов'єв М.І., Зорев М.М., Кабалдін Ю.Г., Карпусь В.Є., Карюк Г.Г., Клименко С.А., Клушин М.І., Кузнецов Ю.М., Лоладзе Т.М., Мазур М.П., Макаров В.Д., Мельничук П.П., Новіков Н.В., Новосьолов Ю.К., Остаф'єв В.О., Перепелиця Б.О., Подураєв В.М., Равська Н.С., Родін П.Р., Розенберг О.М., Розенберг О.О., Семко М.Ф., Старков В.К., Струтинський В.Б., Темчин В.І., Тимофєєв Ю.В., Узунян М.Д., Хаєт Г.Л., Якимов О.В., Якубов Ф.Я. та ін.

Проведений аналіз існуючих систем збірного інструмента дозволяє зробити висновок, що до останнього часу ще не було розроблено ефективних систем агрегатно-модульного інструмента для важких верстатів, які здатні витримувати навантаження до 100000Н та мають підвищену жорсткість та міцність. Дослідження працездатності інструмента обмежувалися експлуатаційними дослідженням безвідмовності. Вивчення надійності агрегатно-модульного інструмента важливо тим, що дозволяє, з одного боку, дати конкретні рекомендації конструкторові, а з іншого боку - одержати моделі для наступної оптимізації параметрів інструмента, його типорозмірних рядів, а також режимів експлуатації.

Процес різання з великими перетинами зрізу, конструкції інструментів для його реалізації і визначення їхньої стійкості вивчалися під керівництвом Зорева Н.Н., Ісаєва А.И., Серебровського В.Б., Хаєта Г.Л. Однак, у цих роботах недостатньо приділено уваги процесу стружкозавивання і дроблінню стружки комбінованими формами передньої поверхні різців. Для важких токарних верстатів оптимізація параметрів інструмента та режимів різання не торкалася багатьох елементів технологічної системи і була переважно однокритеріальною. У результаті виконаного аналізу літератури було обґрунтовано положення про те, що підвищення ефективності обробки на важких верстатах можна забезпечити за рахунок створення агрегатно-модульного інструмента на основі си-

стемного підходу з використанням аналітичних, експериментальних методів і багатокритеріальної оптимізації параметрів агрегатно-модульного інструмента та режимів їхньої експлуатації з урахуванням стабільності дробління стружки.

Проведений аналіз дозволив визначити напрямок наукового пошуку.

У **другому** розділі розглянуті питання методології створення і дослідження агрегатно-модульних різців для роботи в широкому діапазоні перетинів зрізу; загальні умови, устаткування і прилади, використані в експериментальних дослідженнях; подані використовувані методики, розглянуті результати розробки оригінальних методик; статистична обробка результатів досліджень і використання пакетів прикладних програм.

Для аналізу різних конструктивних варіантів використовувався кваліметричний підхід з відповідною математико-статистичною обробкою даних. Була розроблена методологія розрахунків, що враховує особливості агрегатно-модульного інструмента. Експертна оцінка властивостей, які характеризують якість агрегатно-модульного інструмента, дозволила визначити найбільш важливі з них, що враховувалися при розробці агрегатно-модульного принципу створення інструмента. Для визначення напружено-деформованого стану модульних різців для важких верстатів запропоновані методика й програмне забезпечення з використанням методу скінчених елементів. Основна ідея полягає в тому, що будь-яку безперервну величину таку, як тиск або переміщення апроксимують моделлю, що будується як безліч кусково-неперервних функцій:

$$\{f\} = \left| \frac{l-z}{l}; \frac{z}{l} \right| \cdot \begin{Bmatrix} U_i \\ U_j \end{Bmatrix},$$

де U_i і U_j – переміщення вузлів i і j . $\frac{l-z}{l} = N_1$ і $\frac{z}{l} = N_2$ – функції форми, що змінюються від 1 до 0.

Модульний різець розглядається як просторово-стрижнева система, де за невідомі приймаються лінійні та кутові переміщення. У випадку просторової системи незакріплений вузол має 6 переміщень: три лінійних уздовж координатних осей і три кутових переміщення відносно осей.

Потім будуються матриці жорсткості положення модульного різця в локальній і глобальній системі координат і визначається напружено-деформований стан різця. Блок схема розрахунку наведена на рис. 1. Для оцінки статичної жорсткості агрегатно-модульних різців, вузлів закріплення до супорта верстата з пластинчастим різцедержателем був розроблений спеціальний стенд, робота якого заснована на вимірі зсуву модуля щодо супорта під дією сили, яка імітує силу різання. Для більш повного уявлення про напруження, що виникають у вузлах агрегатно-модульних різців, використовувалися тензорезистори, які наклеювали на корпус модуля і фіксували зміну опору під дією деформації.

Для визначення ампліудно-частотних характеристик агрегатно-модульних різців застосовувався вимірювальний комплекс на базі верстата моделі 1А65, що дозволяє реєструвати частоту коливань модуля щодо пластинчастого супорта верстата.

Дослідження надійності агрегатно-модульних різців проводилися у виробничих умовах. Випробування були порівняльними (порівнювалися нові конструкції і базові). Визначалися показники безвідмовності - імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$, середня стійкість T , і гамма-процентна стійкість T_γ . Довговічність - середнє число періодів стійкості елементів агрегатно-модульного інструмента T_v і час відновлення технологічної системи T_c .

Дослідження процесу дробління стружки при знятті великих перетинів зрізу в залежності від форми передньої поверхні з різним сполученням геометричних параметрів проводилося для визначення зон задовільного стружкодробління, радіуса кривизни і форми стружки. Оцінювалася імовірність безвідмовної роботи модульного різця до появи незадовільної стружки

$$P(t) = P(T \leq t) = 1 - F(t),$$

де $P(T \leq t)$ - імовірність появи незадовільної стружки за час t , T - середня стійкість інструмента.

У **третьому** розділі розглянуті питання розробки системних принципів створення агрегатно-модульного інструмента й оптимізації робочого процесу. Проведено визначення системи і стану робочого процесу. Розгляну-

Рис. 1. Блок-схема розрахунку напружено-деформованого стану агрегатно-модульного різця

то структуру відмов технологічної системи і виявлені шляхи підвищення її надійності. Визначено представницьке сімейство критеріїв оптимізації робочого процесу обробки на важких токарних верстатах у широкому діапазоні варіювання факторів.

Система механічної обробки (СМО) може бути представлена у вигляді

$$СМО = \{B, Ц, \Phi, P, R(Y, Ц), R(Y, P), R(Y, \Phi), R(Ц, P), R(\Phi, P)\},$$

де B - умови, середовище експлуатації інструмента; $Ц$ - цілі проектування, критерії; Φ - фізич-

на частина системи; P - режими експлуатації системи; R - відносини між названими елементами системи.

З погляду системного підходу необхідно розглядати сукупність типорозмірних рядів агрегатно-модульного інструмента для визначених технологічних операцій і верстатів.

У результаті аналізу стану механічної обробки на важких токарних верстатах було виявлено, що однією з найважливіших особливостей обробки заготовок є широкий діапазон перетинів зрізу. На першому проході ширина шару, що зрізується, досягає (40...45)мм, однак у багатьох випадках вона складає (20...30)мм. Як правило, чорнова обробка виконується тим самим різцем з довжиною різальної крайки, яка дорівнює 50мм. Як видно з графіка щільності розподілу щодо довжини різальної крайки (рис. 2), у роботі бере участь 1/3 довжини пластини, що сприяє виникненню розтягувальних напружень у її середній частині та призводить до руйнування. У зв'язку з цим збільшується витрата твердого сплаву (рис. 2). З урахуванням проведеного аналізу можна зробити висновок: на важких токарних верстатах необхідно мати широку номенклатуру твердосплавних пластин, а конструкція інструмента повинна бути модульною для швидкої зміни в залежності від величини зрізуваного шару.

Створення систем агрегатно-модульного інструмента є ефективним засобом пристосування до конкретних вимог замовника по комплексному оснащенню важких токарних верстатів із ЧПК, що дозволяє зменшити число індивідуальних замовлень на інструмент.

Агрегативання – це метод компоновання систем інструмента з ряду самостійних модулів різних типорозмірів, що мають розмірний і функціональний взаємозв'язок. Агрегатно-модульний принцип компоновання інструмента з відносно обмеженим комплектом модулів дозволяє створити без серйозних додаткових

Рис. 2 . Щільність розподілу відносної довжини $f(l_a/l)$ різальної крайки (1) і залежність питомих витрат m твердого сплаву від довжини l пластини (2).

витрат широку номенклатуру систем інструмента, здатних пристосовуватися до конкретних вимог виробництва. Виходячи з особливостей агрегатно-модульного принципу компоновання інструмента для розв'язуваної задачі, виділені такі основні положення проектування і реалізації його систем:

- модуль - це конструктивно і функціонально завершена одиниця, що є складовою частиною загальної системи інструмента;
- модулі характеризуються найменшим можливим числом зв'язків для приєднання до них інших нових модулів;

- обмежена номенклатура модулів повинна забезпечувати достатньо велику кількість різних варіантів шляхом їхніх різноманітних сполучень і відносних положень;
- агрегатно-модульний принцип проектування систем інструмента найбільш повно відповідає вимогам вирішення конкретної технологічної задачі (створена на модульному принципі систем інструмента не має надлишкових функцій і тому вона повинна бути економічніше звичайного інструмента з універсальними можливостями);
- збільшується надійність роботи інструмента за рахунок застосування модулів, які найбільш відповідають виконанню конкретних операцій;
- зменшення кількості конструктивних варіантів модулів та їх елементів поліпшує умови експлуатації і ремонтпридатності системи інструмента;
- агрегатно-модульне проектування дозволяє створювати нові високопродуктивні конструкції інструмента для конкретних операцій механічної обробки, а не підганяти процес під наявний інструмент;
- агрегатно-модульний принцип дає реальну можливість замінити застарілі форми і методи створення нових конструкцій інструмента та їхніх систем.

Дослідження надійності технологічної системи необхідно починати з аналізу структури і видів відмов її елементів. Розповсюдженими видами відмов інструмента на важких токарних верстатах є руйнація різальної пластини та інших елементів інструмента. Якщо площа руйнації проходить через усю різальну пластину, відмовлення є неусуненим. Часто зустрічаються контактні руйнації уздовж різальної крайки або опускання крайки біля вершини різця. Аналіз статистичних даних показав, що на важких унікальних верстатах при чорновому й напівчистовому точінні частка руйнацій складає від 20 до 40% від усіх видів відмов. Це вказує на те, що проблема забезпечення міцності є досить важливою для важконавантаженого модульного інструмента.

С метою виявлення і попереднього вибору критеріїв розглянуті характеристики технологічної системи та її складові елементи (рис. 3). Критерії розділені на три групи: техніко-економічні, економічні і зв'язані з людиною (верстатником).

Для одержання значень вагомості критеріїв і їхнього необхідного числа для подальшої оптимізації параметрів агрегатно-модульного інструмента та режимів його експлуатації використовувалися положення теорії інформації. Вагомість критеріїв визначалася кількістю питомої інформації. Для оптимізації параметрів технологічної системи була проведена експертна оцінка, що відображає різні умови виробництва як з позицій підприємства-виготовника, так і з позиції підприємства-споживача. Запропоновані наступні групи критеріїв і функціональних обмежень для умов чорнкової, напівчистої обробки на важких токарних верстатах: приведені витрати, продуктивність, витрати твердого сплаву, витрати комплектів агрегатно-модульного інструмента, імовірність стабільного дробління стружки.

У **четвертому** розділі викладена концепція розробки основ конструювання агрегатно-модульного інструмента і досліджене стружкодробління при роботі в широкому діапазоні перетинів зрізу. Розглянуто структуру та досліджені основні елементи агрегатно-модульного інструмента. Запропоновані й використані наступні методи: групова експертиза конструкцій; аналітичне дослідження напружено-деформованого стану елементів; експериментальне дослідження статичних і динамічних характеристик при стендових і виробничих випробуваннях.

Рис. 3. Характеристика технологічної системи

З обліком виділених раніше характеристик технологічних систем були визначені критерії для оцінки властивостей, що складають якість агрегатно-модульного інструмента з урахуванням їх вагомості. На основі проведеного аналізу (розділ 1) конструкцій збірних модульних різців для середніх верстатів були попередньо відібрані кращі конструктивні варіанти, найбільш придатні для експлуатації на важких верстатах, а також запропоновані нові конструктивні рішення компонування модулів. На другому етапі була проведена експертна оцінка конструктивних варіантів з урахуванням прийнятих показників якості, що виявила найкращі конструктивні варіанти модульних різців, які найбільш пристосовані для експлуатації на важких токарних верстатах. З метою розширення гнучкості й можливості компонування інструмента за агрегатно-модульним принципом стосовно до важких токарних верстатів із пластинчастими супортами було запропоноване сполучення модуля із супортом верстата і конструкцією закріплення різальної вставки на корпусі модуля.

Аналітичні дослідження напружено-деформованого стану запропонованих конструкцій проводилися із застосуванням методу скінчених елементів. Для одержання моделі модульного різця (рис. 4) із клиновим закріпленням був проведений аналіз дії складових сил різання з урахуванням конструктивних особливостей закріплення модуля.

У процесі аналізу ступеня свободи кожного вузла була складена просторово-розрахункова схема модульного різця з клиновим закріпленням (рис. 5). Для побудови дискретної моделі розрахункової схеми визначали кінцеве число основних вузлових точок елементів, їхній зв'язок, що у сукупності апроксимує форму області дослідження. Розрахунок проводився за програмою STERGV-MODULS. Аналіз результатів розрахунків внутрішніх зусиль, що виникають в елементах і вузлах модульного різця, з урахуванням аналізу епюр подовжніх і поперечних сил у різних площинах, згинальних і крутних моментів дозволили визначити найбільш навантажені елементи модуля. На схемі (рис.5) це вузли 3 і 4.

Рис. 4. Агрегатно- модульний різець із клиновим закріпленням: 1- клинові механізми, 2- направляюча шпонка

Для оцінки міцності агрегатно-модульного різця визначали в його характерних перетинах нормальні напруження від виникаючих зусиль за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_z}{W_z} \leq [\sigma],$$

де N - подовжня сила, виникаюча в елементі модульного різця, M_x - згинальний момент, що діє відносно осі X, M_z згинальний момент, що діє відносно осі Z, W_x і W_z - моменти опору поперечного перерізу елементів модульного різця.

Рис.5. Розрахункова схема агрегатно-модульного різця з клиновим закріпленням

За аналогічною методикою визначали напружено-деформований стан агрегатно-модульного різця з гвинтовим закріпленням у пластинчастому супорті токарського верстата. З урахуванням проведених теоретичних досліджень напружено-деформованого стану модульних різців були виготовлені моделі для подальших стендових статичних і динамічних досліджень жорсткості. Статичні дослідження жорсткості зазначених моделей зводилися до фіксування фактичних зсувів модульних різців під дією сили, за величиною і напрямком співпадаючої з осьовою силою P_x . Стан модуля при навантаженні фіксувався з використанням тензодатчиків (рис.6). Отримані експериментальні дані про максимальні деформації в елементах модульних різців співпадають з результатами аналітичних досліджень напружено-деформованого стану різців, що підтверджує імовірність цього розрахунку.

Рис. 6. Агрегатно-модульний різець з наклеєними тензодатчиками

що перша домінуюча частота близька до власної частоти його коливань, а друга - до власної частоти коливань вузла закріплення різальної пластини. Результати динамічних досліджень підтвер-

Дослідження динамічних характеристик конструктивних варіантів агрегатно-модульних різців у межах лінійності характеристики п'єзоакселерометра в спектрі коливань дозволило знайти дві домінуючі частоти, що складають $f_1 = (250...350)\text{Гц}$ і $f_2 = (1500...2200)\text{Гц}$. Виходячи з аналізу конструктивних особливостей агрегатно-модульних різців, був зроблений висновок,

дили висновки, зроблені при проведенні аналітичних і стендових досліджень, про високу жорсткість агрегатно-модульного різця з клиновим закріпленням.

Для ефективного застосування агрегатно-модульних різців при знятті великих перетинів зрізу, що досягають $b \times a = (40 \times 2,2)\text{мм}^2$, повинне бути забезпечене стабільне дробління стружки. Аналіз статистичних досліджень, отриманих на заводах важкого машинобудування, показав, що при знятті перетинів зрізу в межах від $12 \times 1,1\text{ мм}^2$ до $40 \times 2,2\text{мм}^2$ найбільше часто зустрічаються: плоска передня поверхня і плоска передня поверхня в сполученні з накладним стружколомом. Формування стружки в реальних умовах у значній мірі визначається ще одним важливим факто-

Рис. 7. Схема стружкозавивання при сполученні криволінійної передньої поверхні і прихвата-стружколома

ром - перешкодою на шляху руху стружки. Розглядаючи перетини передньої поверхні різця у вигляді дуги окружності, важливо врахувати вплив на напруження, що виникають у стружці, радіус її кривизни, форми стружкозавивальної канавки та час роботи інструмента, у межах якого форма передньої поверхні змінюється (рис.7). З урахуванням дотичних і нормальних напружень, що виникають у стружці, була отримана модель радіуса кривизни стружки, що враховує сполучення

криволінійної передньої поверхні та прихвата-стружколома при знятті великих перетинів зрізу:

де $R_{c\partial}$ - радіус кривизни стружки в момент її формування; a - товщина стружки; ψ - кут нахилу стружки до передньої поверхні; V_1 - кут нахилу поверхні стружки; K_y – коефіцієнт пружності; τ_x - дотичні напруження, що виникають у стружці; σ_x - нормальні напруження, що виникають у стружці; N_n - нормальна сила; T_n - дотична сила, що діє з боку стружколома.

Була запропонована класифікація форм стружки, що зустрічаються при точінні на важких верстатах при знятті перетинів зрізу більш 30 мм². За зовнішнім виглядом стружки розділені на задовільні і незадовільні по наступним критеріям: безпека робітника, транспортабельність від верстата і можливість її утилізації, відсутність відколів на непрацюючій різальній крайці. Безперервна й плутана стружка небезпечна для верстатника і тому є незадовільною. Стружка у виді переривчастої спіралі до 200мм , кілець, півкілець, сегментів, зв'язаних між собою найбільш прийнятна з погляду безпеки робітника, транспортабельності й стабільності обробки. Аналіз розмірів задовільної стружки показав, що величина радіуса кривизни для цієї форми лежить у межах (15...25)мм.

З метою визначення математичної моделі формування стружки у залежності від форми і розмірів стружкозавивальної канавки з урахуванням режимів різання був реалізований план другого порядку. Реальний профіль канавки, виконаний на передній поверхні, описувався рівнянням другого порядку

$$Z = C_{xx}(X)^2 + C_{xy}XY + C_{yy}(Y)^2 + C_xX + C_yY.$$

Розрахункові значення коефіцієнтів є вихідними параметрами, що апроксимують реальний профіль стружкозавивальної канавки:

$$C_i = B_0 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{1i}X_1 + B_{2i}X_2 + B_{3i}X_3 + B_{12i}X_1X_2 + \\ + B_{13i}X_1X_3 + B_{23i}X_2X_3$$

В результаті були отримані залежності, що зв'язують параметри канавки з режимами різання, які забезпечують формування задовільної стружки:

$$R = -3,0 + 0,062v^2 - 14,75s^2 + 0,047t^2 + 1,579v - 0,97s + 0,789t - \\ - 2,509vs - 0,734vt + 1,225st.$$

На рис.8 зображені залежності радіуса канавки від режимів різання V, S, t.

Розроблена методика математичного опису та розрахунку поверхні стружкозавиваючої канавки дозволяє розрахувати розміри канавок на передній поверхні спеціальних твердосплавних пластин з урахуванням довжини різальної крайки і діапазону застосовуваних режимів різання для подовжнього зовнішнього точіння, підрізування і розточування великих отворів у деталях з конструкційних сталей із HB \geq 270.

Рекомендовано конструктивні параметри форми передньої поверхні спеціальних пластин для зняття перетинів зрізу більш 30 мм².

З метою визначення області стабільного стійкого стружкодробління для запропонованої форми передньої поверхні були проведені випробування на АТ НКМЗ при обробці сталей 40Х, 90ХФ, 34ХНЗМ, 90ХНФ. Використовувалися агрегатно-модульні різці з довжиною крайки твердосплавних різальних пластин: 20, 32, 40, 50 мм. Режими різання: t=(5...40)мм, S=(0,3...2,5)мм/об; V=(60...90)м/хв.

Рис. 8. Залежність радіуса R канавки від елементів режимів різання (V, S, t)

Результати експериментальних досліджень з побудовою діаграм областей задовільного стружкодробління (рис. 9) підтвердили аналітичні дослідження. Оскільки тривалість періоду часу до появи незадовільної стружки носить випадковий характер, необхідно прогнозувати імовірність

стабільного дробління стружки для випадків різного співвідношення законів розподілу стійкості цих періодів. Імовірність стабільності стружкодробління при роботі агрегатно-модульного різця визначена як імовірність того, що період стійкості інструмента з задовільним стружкодроблінням буде більше, ніж час появи незадовільної стружки.

а

б

Рис. 9. Области стійкого дробління стружки для різних форм передньої поверхні:

а) радіусна $R=14$ мм, $L=40$ мм, $B=8$ мм; б) радіусна $R=16$ мм, $L=50$ мм, $B=10$ мм.

Аналіз перекриття законів розподілу стійкості без появи незадовільної стружки і розподілу часу з появою незадовільної стружки дозволили одержати аналітичні вирази для визначення імовірності стабільності стружкодробління для різних видів законів розподілів. Це дає можливість прогнозування періоду стійкості з урахуванням стабільного стружкодробління в процесі різання агрегатно-модульними різцями при знятті великих перетинів зрізу.

У результаті проведених лабораторних і виробничих досліджень були отримані залежності стійкості до руйнування модульних різців від товщини твердосплавної пластини (h) $T = ch^{1.15} (B \cdot H)^{0.65}$ і перетину державки $T = ch^{0.45} (B \cdot H)^{0.5}$ модульного різця.

Багатогранні пластини, що випускаються в промисловості, мають товщину до 8 мм і довжину різальної крайки до 25 мм. Створювати багатогранні пластини з довжиною різальної крайки понад 25 мм нераціонально, тому що це призводить до збільшення витрати твердого сплаву. Виходячи з проведеного аналізу, для знімання великих перетинів зрізу необхідно розробити спеціальну твердосплавну пластину з довжиною різальної крайки більш 25 мм. З розмірних параметрів найбільший вплив на міцність інструмента має товщина пластини.

Для тяжких умов різання з урахуванням проведених досліджень і отриманих залежностей були розроблені спеціальні твердосплавні пластини з кріпильним уступом збільшеної товщини при відповідному зменшенні ширини, що привело до підвищення міцності інструмента.

Оскільки міцність і жорсткість інструмента підвищується завдяки росту моменту опору і моменту інерції, був запропонований перехід від горизонтальної різальної пластини до вертикальної з уступом.

На рис. 10 наведені показники міцності – відносні значення подачі для відповідних типів пластин. Встановлено, що при переході від різців з горизонтальними пластинами до різців з механічним закріпленням вертикальних пластин подачу можна збільшити в 1,5 рази. Також велику міцність мають спеціальні пластини з уступом, що забезпечує зріст подачі в 1,75-1,9 рази в порівнянні з горизонтальною пластиною.

Експлуатаційні випробування агрегатно-модульних різців з механічним закріпленням спеціальних пластин на довговічність дозволили одержати модель, що відбиває вплив параметрів інструмента на число періодів стійкості до відмови

$$K = \frac{CD_c^{0.8} h^{1.1} (H \times B)^{0.6}}{t^{1.1} S^2 HB^{1.2}} \left(\frac{D_3}{D_c} \right)^{0.5},$$

де D_3 - діаметр оброблюваної заготовки,

D_c - найбільший діаметр заготовки, установлений на верстаті.

Рис. 10. Відносне значення подачі для різних типів пластин і схем закріплення

З метою вибору марки твердого сплаву при чорновій обробці валкових сталей були проведені дослідження малотитанових твердих сплавів на основі «високотемпературного» карбіду вольфраму Т4К8-КС і сплаву Т5К10. Дослідження показали високі стабільні різальні властивості Т4К8-КС при знятті великих перетинів зрізу в порівнянні зі сплавом Т5К10 і тісну функціональну залежність руйнівальної подачі S_p і стійкості в експлуатації T_E з урахуванням частки поломок q :

нові «високотемпературного» карбіду вольфраму Т4К8-КС і сплаву Т5К10. Дослідження показали високі стабільні різальні властивості Т4К8-КС при знятті великих перетинів зрізу в порівнянні зі сплавом Т5К10 і тісну функціональну залежність руйнівальної подачі S_p і стійкості в експлуатації T_E з урахуванням частки поломок q :

$$T_E = 520 \cdot S_p^{1.5} \quad q = 1.7 \cdot S_p^{-1.72} \quad V_{TЭ} = 1.3 \cdot V_{S_p}^{0.35}.$$

Нові марки малотитанових сплавів можуть ефективно застосовуватися на операціях обробки сталей з ударними навантаженнями і зняттям великих перетинів зрізу замість нині застосовуваного сплаву Т5К10.

У результаті проведених досліджень була реалізована методологія із створення агрегатно-модульних конструкцій інструмента, які мають велику міцність і жорсткість, що дозволила розробити модульні різці для важких токарних верстатів із пластинчастими супортами, одержати моделі стружкозавивання при знятті великих перетинів зрізу, прогнозувати радіус кривизни стружки, що утвориться, і області стабільного стружкодробління.

У п'ятому розділі наведені результати досліджень надійності агрегатно-модульного інструмента. Розглянуто питання безвідмовності, стійкості, довговічності, часу відновлення і ремонтпридатності. Розроблено класифікацію за видами відмов елементів агрегатно-модульного ін-

струмента. Запропоновано методологію прогнозування системної надійності (структури відмов) за результатами експлуатаційних випробувань на основі методу Байеса. Проведені експериментальні дослідження підтвердили її застосовність при оцінці інформативності ознак стану системи агрегатно-модульного інструмента.

Були отримані показники безвідмовності модульних різців. Так при переході на агрегатно-модульну конструкцію компоновання інструмента коефіцієнт варіації стійкості зменшується, а розподіл стійкості трансформується від експонентного в закон Вейбула з параметрами $a=75,4$, $b=2,35$, що свідчить про високу міцність і зносостійкість запропонованих різців.

Доведено, що при знятті великих перетинів у зоні малих швидкостей різання не тільки збільшується частка руйнації різців, але й росте коефіцієнт варіації їхніх періодів стійкості.

Таким чином, у цих умовах різання з відносно малими швидкостями не тільки не має переваг у збільшенні періоду стійкості, але і викликає значні витрати на виробництві через руйнацію інструмента і зниження стабільності роботи. Це дає підставу вважати важливими показниками роботи граничний період стійкості T_{np} і відповідну йому граничну швидкість різання V_{np} , нижче якої починається падіння стійкості.

Завищення рекомендацій із призначення подачі за рахунок зниження швидкості при чорновому точінні при знятті великих перетинів зрізу є розповсюдженою помилкою. На практиці це призводить до руйнації пластини, а, отже, перешкоджає досягненню підвищеної продуктивності.

Дослідження довговічності агрегатно-модульних різців дозволили прогнозувати ресурс всіх елементів модуля. Найбільший термін служби має корпус агрегатно-модульного різця, потім модуль, на якому кріпиться твердосплавна пластина. Стійкість модуля з механічним закріпленням пластини у 60 разів більше, ніж з напаяною пластиною.

Важливою властивістю надійності є показник ремонтпридатності, що характеризується середнім часом відновлення

$$T_B = T_C + T_d P_d + T_3 P_3 + \frac{T_K P_K}{\Pi_K} + T_{VIP} P_B,$$

де T_C - час зміни модуля; T_d - час перевірки елементів закріплення і додаткового закріплення та підналагодження; T_3 - час на заточення пластини, необхідність якої виникла при налагодженні; T_{VIP} - час вирубки часток твердого сплаву, що впровадилися у заготовку у випадку руйнування інструмента; P_d , P_3 , P_K , P_B - імовірність виконання зазначених операцій.

Розподіл часу відновлення працездатності всіх елементів агрегатно-модульного різця підлеглий експонентному закону. Середній час, що звичайно враховується при нормуванні, складає (2...3)хв, а час відновлення всієї системи на унікальних верстатах коливається від 2 до 30 хв. Тому допоміжний час на важких токарних верстатах повинний бути збільшений до 15 хв. Збільшення розсіювання стійкості We і зріст раптових відмов - руйнувань інструмента істотно збільшують ви-

трати часу на відновлення $T_B = C_B \sqrt{W_\tau}$. Отримано модель прогнозування станів агрегатно-модульного інструмента за допомогою Байєсовського методу обліку апіорної інформації:

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)},$$

де $P(D_j)$ - імовірність діагнозу D_j , обумовлена за статистичними даними (апіорна імовірність діапазону);

$P(k_j/D_i)$ - імовірність появи ознаки k в інструменті зі станом d_j ; $P(k_j)$ - імовірність появи ознаки k у всіх інструментах незалежно від їхнього стану.

Застосування статистичного методу прогнозування Байєса дозволило прогнозувати структуру відмов модульних різців у процесі експлуатації.

У виробничих умовах для таких інструментів значною часткою відмов є: D_1 - руйнація (несправний стан); D_2 - викришування різальних крайок (справний стан); D_3 - знос (справний стан). Були виявлені ознаки, що характеризують стан інструмента: k_1 - зміна форми і розмірів стружки, k_2 - поява другої стружки; k_3 - підвищеної вібрації; k_4 - іскріння (світіння), біля вершини різальної крайки. Розрахункові значення імовірностей діагнозів при різних співвідношеннях ознак наведені у таблиці.

Застосування статистичного методу Байєса дозволило прогнозувати структуру відмов модульних різців у процесі експлуатації.

У результаті проведених досліджень отримані моделі безвідмовності, довговічності та відновлення модульного інструмента при експлуатації на токарних верстатах, за допомогою яких можна прогнозувати надійність систем агрегатно-модульного інструмента з урахуванням імовірностей можливих станів.

Таблиця – Розрахункові значення імовірностей станів при різних співвідношеннях ознак системи

У шостому розділі запропонована методологія багатокритеріальної оптимізації параметрів агрегатно-модульного інструмента.

Розглянуто структуру й алгоритми прийняття рішень. Для рішення задач предметної області використання агрегатно-модульного інструмента при роботі в широкому діапазоні перетинів зрізу на важких токарних верстатах розроблений спеціальний пакет програм «Модуль» і система вихідних, проміжних і цільових функцій для оптимізації системи.

За результатами багато критеріальної оптимізації виконано аналіз впливу конструкції ін-

струмента, параметрів різальних елементів і властивостей технологічної системи. Результати аналізу дозволили сформулювати вимоги і визначити параметри системи агрегатно-модульного інструмента.

Розроблено діалоговий пакет багатокритеріальної оптимізації на основі системи «Марс» і «Интелос», а так само дослідження обробки деталей на важких токарних верстатах агрегатно-модульним інструментом. Алгоритм прийняття рішень поданий на рис. 11. Система відрізняється великим набором методів оптимізації і розвинутими діалоговими можливостями. Пакет програм дозволяє знаходити Парето – оптимальні компромісні варіанти, найближчі до заданої точки в просторі аргументів або критеріїв, знаходити оптимальну точку між заданими, рухатися по просторі Парето-оптимальних варіантів, поліпшувати значення визначальних критеріїв одержувати оптимальний варіант за адитивною згорткою критеріїв з будь-якими вагомостями.

Вибір моделей для оптимізації є важливою задачею роботи. На рис. 12 наведена система функцій для багатокритеріального

вибору умов механічної обробки на важких токарних верстатах.

Оптимізація дозволила уточнити розміри твердосплавної пластини і форму передньої поверхні з обліком стружкодробління для системи агрегатно-модульного інструмента, забезпечити вибір модуля для виконуваної операції, вирішити задачу інструментозабезпечення з визначенням ве-

личини запасу пластин, що повинні знаходитися на робочому місці.

Рис. 12. Система функцій, параметрів умов для багатокритеріальної оптимізації

Стабільність механічної обробки характеризується станом системи агрегатно-модульного інструмента й імовірності появи незадовільної стружки. З урахуванням стабільності обробки (рис.13) і коефіцієнта варіації стійкості W у межах найбільш розповсюджених значень ($W=0,3-0,75$) витрати збільшуються на 15%, штучний час у 1,5 рази, а напруженість праці в 2 рази. З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок, що для чорнової обробки на важких токарних верстатах коефіцієнт варіації стійкості W не повинний перевищувати 0,4-0,5.

Рис.13. Вплив критеріїв оптимальності на рівень стабільності механічної обробки

Нестабільність процесу механічної обробки і її негативний вплив на наведені витрати і продуктивність обробки можуть бути істотно зменшені за рахунок наступних технічних заходів: заміною існуючих різців з напаяними пластинами на агрегатно-модульні з механічним закріпленням пластин, зниження подачі з відповідним збільшенням швидкості різання, застосуванням спеціальних пластин підвищеної міцності зі сплаву Т4К8- КС із комбінованою формою передньої поверхні, що забезпечує стабільне стружкодробління; організаційних заходів: доставки інструмента на робоче місце (сервісне обслуговування) і створення оптимального запасу спеціальних твёрдосплавних пластин, оптимізація номенклатури агрегатно-модульного інструмента.

У **сьомому** розділі розглянуті розроблені системи агрегатно-модульного інструмента. При їхній розробці використані результати досліджень конструкцій, їхньої надійності та багатокритеріальної оптимізації. Розглянуто особливості вибору параметрів модульного інструмента й раціональних режимів експлуатації. Наведено дані з впровадження результатів роботи в промисловості.

На відміну від існуючих систем розроблена система агрегатно-модульного інструмента, що передбачає: уніфікацію вставок і модулів як для важких верстатів із пластинчастими супортами, так і для верстатів зі звичайними супортами і забезпеченням задовільного дробління стружки в широкому діапазоні режимів різання, швидкість і зручність заміни модулів, різальних пластин і елементів їхнього закріплення. На рис. 14 подана розроблена система агрегатно-модульних різців, що складається з двох підсистем.

У системі для особливо тяжких умов різання з великими перетинами зрізу застосована пластина з уступом, яка розроблена за участю автора.

Рис.14. Система агрегатно-модульних різців

Для контурної обробки з відносно великими глибинами $t=(10...20)$ мм і подачами $S=(0,5...1,5)$ мм/об розроблена багатогранна різальна пластина зі стружкозавиваючою канавкою, що включає ділянки різної ширини, віддалені від різальної крайки на різних відстанях, яка відрізняється від відомих конструкцій тим, що довжина ділянок меншої ширини збільшується в напрямку від різальної крайки, а довжина ділянок більшої ширини зменшується (патент України №23083А).

Основою системи є модульні різці, розроблені за участю автора, виробництво яких освоєно на АТ «Новокраматорський машинобудівний завод» і ВАТ «Сестрорецький інструментальний завод».

Системою агрегатно-модульного інструмента оснащуються важкі токарні верстати нової серії з пластинчастими супортами мод 1К660Ф3, 1К670Ф3, 1К665Ф3, що випускаються АТ «Краматорський завод важкого верстатобудування».

Розробка агрегатно-модульного принципу компоновки інструмента для важких токарних верстатів із ЧПК дозволила створити єдину систему інструментального забезпечення, що включає до себе: проектування, виготовлення, підготовку та транспортування на робоче місце, експлуатацію і сервісне обслуговування.

Результати досліджень надійності модульного інструмента, а також результати оптимізації були використані для практичних цілей, наприклад, при виборі режимів різання для важких верстатів, вибору геометричних параметрів і норм видатку твердосплавних пластин і елементів модуля, що можуть використовуватися для розрахунку потреби видатку інструмента.

Основні результати досліджень, наведені в роботі, впроваджені на АТ «Новокраматорський машинобудівний завод», АТ «Краматорський завод важкого верстатобудування», ВАТ «Сестрорецький інструментальний завод», АТ «Дружковській машинобудівний завод». Розроблено систему вибору параметрів модульного інструмента і режимів його експлуатації з урахуванням конкретної виробничої ситуації, стійкості і стабільного дробління стружки, а також показників надійності інструментальної системи. Впровадження результатів роботи дозволило підвищити продуктивність механічної обробки на важких токарних верстатах, гнучкість і надійність модульного інструмента, скоротити видаток твердого сплаву, підвищити стабільність стружкодробління, забезпечити транспортабельність стружки і безпеку робітника від травмування стружкою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

- 1 У результаті теоретичних і експериментальних досліджень створені наукові основи

і новий напрямок рішення науково-технічної проблеми підвищення ефективності процесу механічної обробки на важких верстатах шляхом створення систем агрегатно-модульного інструменту, які відрізняються високою працездатністю при різанні з великими перетинами зрізу.

2 Запропонована та реалізована на практиці методологія створення агрегатно-модульного інструмента для важких верстатів на основі системного підходу, що передбачає комплексну кваліметричну оцінку рішень з використанням інтелектуальної системи багатокритеріальної оптимізації, що дозволила розробити гнучке інструментальне забезпечення, скоротити час відновлення технологічної системи і зменшити видаток твердого сплаву до 40 %.

3 Запропоновано класифікацію видів стружки, що утворюється при знятті перетинів зрізу від звичайно застосованих чистових до надвеликих чорнових. Розроблено методику математичного опису й розрахунку стружкозавиваючих канавок у залежності від елементів режимів різання з урахуванням довжини різальної крайки. Отримано модель процесу стружкозавивання при різанні з великими перетинами зрізу, що враховує напруження, які виникають при взаємодії стружки з комбінованою формою передньої поверхні, що дозволила прогнозувати радіус кривизни стружки, яка утвориться, та зони стабільного дріблення стружки.

4 Показано, що вибір набору критеріїв залежить від багатьох факторів, що обумовлюють конкретну виробничу ситуацію, виду модульного інструмента, задачі, розв'язуваної при оптимізації. Запропоновано набір критеріїв інструментальної та технологічної системи з 3 груп: техніко-економічної, економічної та пов'язаної з людиною.

5 Отримано моделі, що відображують зносостійкість і міцність модульних різців у залежності від товщини різальної пластини і перетину державки. На цій основі розроблено оптимальний ряд спеціальних твердосплавних пластин за висотою і шириною, призначених для зняття великих перетинів зрізу. Аналіз моделей стійкості й міцності стосовно малотитанових сплавів на основі «високотемпературного» карбиду вольфраму Т4К8-КС показав, що нові марки можуть ефективно застосовуватися на операціях з ударними навантаженнями, при знятті великих перетинів зрізу замість застосовуваного твердого сплаву Т5К10.

6 Проведений аналіз можливих станів системи модульного інструменту показав, що відмовлення його різноманітні та обумовлюються якістю функціонування технологічних елементів. Класифікація відмов технологічної системи є важливим і необхідним етапом вивчення надійності та може намітити шляхи її підвищення. Виявлено що, середній період стійкості не завжди може досить добре описати процес обробки у часі, а також оцінити якість різального інструмента. Варто використовувати такі показники надійності, як інтенсивність відмов, що показує зміни властивостей з часом, визначити закон розподілу стійкості та його параметрів, а також гамма-процентну стійкість. Вперше отримані

моделі безвідмовності, довговічності й відновлення модульного інструмента при експлуатації на унікальних верстатах, що дозволила прогнозувати надійність систем агрегатно-модульного інструмент, з урахуванням імовірностей можливих станів.

7 Показано, що процес відновлення працездатності технологічної системи включає 2 групи операцій: регулярні, виконувані щораз, наприклад, при відновленні, у зв'язку зі зміною модульного інструмента, і нерегулярні, виконувані з визначеною імовірністю. Останні звичайно пов'язані з технологічними й організаційними неполадками, вони істотно збільшують час відновлення. Розподіл часу відновлення в цілому, а також його компонентів може бути описано різними законами: нормальним, логнормальним. При цьому коефіцієнт варіації змінюється від 0,08 до 1,3. Середній коефіцієнт варіації для поодиноких прийомів склав 0,3, комплексу регулярних прийомів - 0,36 і всього комплексу - 0,79.

8 Розроблено алгоритм прийняття рішень і програмне забезпечення з метою розробки стратегії оптимізації параметрів і проектування систем модульного інструмента з урахуванням режимів експлуатації і відновлення технологічної системи. Розроблено систему функцій для багатокритеріальної оптимізації параметрів агрегатно-модульного інструмента та режимів обробки на важких і унікальних верстатах. Вихідні залежності для оптимізації відбивають реальні процеси зношування і інтенсивність відмов інструмента, обслуговування технологічної системи, показники надійності модульного інструмента з урахуванням стабільності стружкодробління.

9 Проведено оптимізацію параметрів модульного інструмента та режимів різання при чорновому точінні й напівчистовому точінні з урахуванням імовірності стабільного дробління стружки. Результати оптимізації показали, що сполучення криволінійної передньої поверхні зі стружколомом-прихватом поліпшує всі критерії оптимізації. Оптимальні розміри різальних пластин змінюються в широких межах у залежності від вагомості прийнятих критеріїв. Так, для чорнкової обробки, у залежності від виробничої ситуації, повинні застосовуватися пластини з товщиною від 12 до 20 мм. Тому конструкція інструмента у системі інструментозабезпечення повинна передбачати велику номенклатуру пластин і можливість їх швидкої і легкої заміни.

10 Збільшення запасу різальних пластин на робочому місці істотно знижує час відновлення і штучно-калькуляційний час. Оптимальний запас пластин за критерієм витрат у значній мірі залежить від статей витрат, що враховуються, а також вартості твердого сплаву. Він залежить також від співвідношення вісомостей критеріїв, різко зростає зі збільшенням вагомості продуктивності праці. Варто давати диференційовані рекомендації з вибору норм запасу, тому що – це динамічна величина, що змінюється у залежності від конкретної виробничої ситуації.

11 Реалізація наукових положень і методології роботи обумовила підвищення ефективності обробки на важких токарних верстатах:

- розроблена й впроваджена система агрегатно-модульних інструментів з механічним закріпленням пластин, застосування якої дозволило підвищити продуктивність обробки, скоротити допоміжний час і зменшити витрату твердого сплаву, що дало фактичний економічний ефект 1 млн 100 тис. грн. і 1,6 млн карбованців (Росії);
- розроблені нові форми передньої поверхні пластин і впроваджені рекомендації з вибору геометричних параметрів з урахуванням стабільного дробління стружки в заданому діапазоні режимів різання;
- розроблені рекомендації з експлуатації агрегатно-модульного інструмента для важких токарних верстатів із пластинчастими супортами, що дозволяють здійснити правильний вибір режимів різання з урахуванням міцності та зносостійкості конструкції інструмента. Визначено показники надійності модульного інструмента, норми витрати елементів модуля;
- системою агрегатно-модульного інструмента оснащуються важкі та унікальні верстати нової гамми з пластинчастими супортами мод. 1К670ФЗ, 1К665ФЗ, що випускаються на ВАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування».

СПИСОК ОСНОВНИХ РОБІТ

1 Теория проектирования инструмента и его информативное обеспечение: маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация. /Г.Л. Хае; В.С. Гузенко, Л.Г. Хае, А.Л. Еськов, Е.В. Мироненко. – Краматорськ. ДГМА. 1994.-370с. (Здобувачем була проведена багатокритеріальна оптимізація параметрів інструментів та обслуговування токарних верстатів).

2 Системный анализ: оптимизация и принятие решений механообработки / Коткин Г.Г., Гузенко В.С., Еськов А.Л., Мироненко Е.В., Сердюк А.А. - Краматорск: ДГМА, 1998.-234 с. (Здобувачем запропоновані математичні моделі і алгоритм параметричної оптимізації елементів технологічної системи. Глава 1 і 4).

3 Вопросы оптимизации в металлообработке и исчисление вероятностей / Коткин Г.Г., Гузенко В.С., Еськов А.Л., Мироненко Е.В., Аносов В.Л. – Краматорск: ДГМА, 1999. – 223с. (Здобувачем сформульовані задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів металообробки на важких верстатах. Частина1).

4 Хае Г.Л., Еськов А.Л., Мироненко Е.В. Выбор и эксплуатация инструмента при использовании гибких инструментальных систем – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 72 с. (Здобувачем визначені критерії оптимальності при використанні гнучких інструментальних систем).

5 Мироненко Е.В. Исследование надежности блочных резцов для уникальных станков //Надежность режущего инструмента, - Краматорск: ДГМА. - 1994. - № 5. - С. 196 - 210.

6 Мироненко Е.В., Бабин О.Ф. Аналитическое исследование жесткости узла крепления блока для тяжелого резания //Надежность режущего инструмента. - Краматорск: ДГМА. - 1994, -

№ 5, - С. 79 - 85. (Здобувачем запропонована методика розрахунку жорсткості збірних різців).

7 Мироненко Е.В., Шустиков А.Д., Соловьев В.В. Исследование жесткости сборных токарных резцов // Надежность режущего инструмента. - Краматорск: ДГМА. - 1994. - № 5. - С. 85-95. (Здобувачем проведені експериментальні дослідження жорсткості збірних токарних різців).

8 Мироненко Е.В. Надежность инструмента в связи с обеспечением процесса стружкодробления // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. - Краматорск: ДГМА. - 1996. - С. 182 -185.

9 Мироненко Е.В. Многокритериальная оптимизация при выборе и эксплуатации блочно-модульных резцов для уникальных станков // Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков, ХГПУ, 1997. – Вып. 51. – С. 179 - 183.

10 Клименко Г.П., Мироненко Е.В., Васильченко Я.В. Определение показателей надежности инструмента с износостойкими покрытиями в связи с обеспечением стабильного стружкодробления // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. - Краматорск: ДГМА. - 1997. -С. 88-94. (Здобувачем одержані залежності для визначення періоду стабільного дробління стружки),

11 Коткин Г.Г., Мироненко Е.В., Гузенко В.С. Численный метод выявления технологических ниш в механообработке // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. - Краматорск: ДГМА. - 1997. - С. 12-29. (Здобувачем були проведені дослідження потреб інструменту з урахуванням умов експлуатації).

12 Мироненко Е.В. Оптимизация параметров блочных резцов для уникальных станков //Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва. Зб. наук. пр. - Київ. НТТУ „КПІ” - 1998. - С. 422 -426.

13 Мироненко Е.В., Григорян Р.В. Выбор узла крепления специальных пластин для тяжелого резания //Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ: ДДМА, 1999. - Вип. 9. - С. 136 - 140. (Здобувачем запропонована методика з розрахунку вузла закріплення пластини.).

14 Мироненко Е.В. Исследование надежности сборных резцов с учетом стружкодробления //Вестник Харьковского политехнического университета. - Харьков. - 1999. - №66. - С. 52 - 56.

15 Мироненко Е.В., Григорян Р. Вибір оптимальних параметрів конструкцій і форм передньої поверхні різців для середніх токарних верстатів //Машинознавство - Львів, 2000. - №1(31). - С. 56 - 58. (Здобувачем запропонована методика оптимізації форми передньої поверхні різців).

16 Мироненко Е.В., Колесник В.Ф., Мироненко О.Е. Оптимизация типоразмерного ряда блочно-модульного инструмента для станков с ЧПУ // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. - Краматорськ: ДДМА.-2000.-С. 31-33. (Здобувачем запропонована методика оптимізації типорозмірного ряду блочно-модульних різців).

17 Зиновьев Н.И., Казакова Т.В., Мироненко Е.В., Григорян Р.В. Оптимизация уровня производительности технологической системы с учетом состояния режущего инструмента //Авиационно-космическая техника и технология. - Харьков: ХАИ. – 2000. - Вып. 18. -С. 119-123.(Здобувачем проведений аналіз стану ріжучого інструменту).

18 Колесник В.Ф., Мироненко Е.В., Марчук Е.В, Повышение эффективности эксплуатации сборных резцов на тяжелых станках //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - С. 128 -134.(Здобувачем запропоновані заходи по підвищенню ефективності експлуатації збірних різців).

19 Мироненко Е.В., Бобух Л.А. Гибкость инструментальных систем // Вестник национального университета "Харьковский политехнический институт". Харьков. – 2001.- № 10. - С. 90 - 94. (Здобувачем запропонована методика розрахунку технологічної гнучкості).

20 Мироненко Е.В., Бабин О.Ф., Колесник В.Ф., Овчаренко В.А. Расчетно- аналитический метод исследования жесткостных характеристик модульных резцов для уникальных станков с пластинчатыми суппортами // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. - Краматорськ: ДДМА. - 2001. - Вип. № 11. -С.38-43.(Здобувачем виконане чисельне рішення жорсткості модульних різців).

21 Зиновьев Н.И., Казакова Т.В., Мироненко Е.В., Колесник В.Ф. Использование результатов выборочного контроля по количественным признакам для прогнозирования надежности режущего инструмента // Авиационно-космическая техника и технология. - Харьков: ХАИ, 2001. - Вып. 26. - С. 40 -45.(Здобувачем виконаний аналіз результатів контролю на прогнозування надійності ріжучого інструменту.).

22 Мироненко Е.В. Модели формирования стружкозавивающих канавок при снятии больших сечений среза //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ ХПИ. – 2002. – Вып. 61. – С. 141 – 146.

23 Мироненко Е.В. Математическое моделирование процесса стружкозавивания при снятии больших сечений среза // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск: ДГМА. – Вып. №12, 2002. – с. 149 –156.

24 Мироненко Е.В. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния агрегатно-модульных конструкций резцов / Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск – Киев: ДГМА. - 2003.- Вып. №13. - С. 47-51.

25 Мироненко Е.В. Модели влияния конструктивных параметров модульных резцов на прочность и износостойкость / Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2003. – №1. – С. 285-289.

26 Грабченко А.И., Мироненко Е.В. Системные принципы создания агрегатно-модульного инструмента и оптимизации рабочего процесса /Резание и инструмент в технологиче-

ских системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – Вып. 64. – С. 47-52. (Здобувачем запропоновані принципи створення та реалізації систем агрегатно-модульних інструментів).

27 Сборный резец. А.с. 1103953 СССР, МКИ В23 В27/16 /О.Ф. Бабин, Е.В. Мироненко, В.В. Герасика (СССР). - № 3601111, заявлено 07.06.85. Опубл. 27.07.86. Бюл. №27 – 2С.(Здобувач запропонував механізм закріплення різальної вставки).

28 Пат. 23083А Украина, МКИ В23В27/14. Багатогранна різальна пластина зі стружко-завиваючою канавкою /Гузенко В.С., Мироненко Е.В., Васильченко Я.В., Краснокутская Л.В. (Украина); №94127939; Заявл.9.12.94; Опубл.30.06.98.(Здобувач запропонував нову форму передньої поверхні пластини.).

29 Мироненко Е.В. Влияние формы передней поверхности пластин на надежность сборных резцов //Современные технологии машиностроения.-Киев: ИСМО. - 1997.-№ 1.-С. 119-121.

30 Мироненко Е.В., Бобух Л.А., Марчук Е.В. Оптимизация параметров модульной оснастки для станков с ЧПУ // CULEGERE DE LUCRARI STIINTIFICE TEHNOLOGII MODERNE, CALITATE, RESTRUCTURARE. - UNIVERSITATEA TEHNICA MOLDOVEI. - 2001. - С. 391-394. (Здобувачем запропонована методика оптимізації модульної оснастки).

31 Мироненко Е.В. Исследование надежности блочных резцов. //Тезисы докладов конференции: „Повышение эффективности и качества механосборочного производства”. – Киев: “Знание”, 1992. – С. 49.

32 Мироненко Е.В. Многокритериальная оптимизация обработки на тяжелых токарных станках. //Тезисы докладов конференции: „Повышение эффективности и качества механосборочного производства”. – Киев: „Знание”, 1993. – С. 56.

33 Гузенко В.С., Мироненко Е.В. Система високоефективних різців для важких верстатів / 2-й Міжнар. симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. Тези доповідей. Львів. - 1995. - С. 121. (Здобувачем запропоновані заходи по створенню систем високоефективних різців).

34 Мироненко Е.В. Надежность инструмента в связи с обеспечением процесса стружкодробления. //Тезисы докладов 6-й Междунар. конференции. „Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем”. – Краматорск: ДГМА. - 1995. - С. 42.

35 Гузенко В.С., Мироненко Е.В. Оптимизация номенклатуры сборных резцов для тяжелого резания //Тезисы докладов Междунар. науч.-технич. семинара „Високие технологии в машиностроении : моделирование, оптимизация, диагностика”. – Харьков: ХГПУ. - 1995. - с 22-23.(Здобувачем запропоновані критерії для оптимізації номенклатури збірних різців).

36 Мироненко Е.В., Гузенко В.С., Онишко А.В. Сборные тяжелонагруженные резцы с малотитановыми твердыми сплавами. //Тезисы науч.-технич. конференции. „Автоматизация, проектирование и производство изделий в машиностроении”. – Луганск: ВУГУ. - 1996. – С.134. (Здобувачем проведені дослідження нових марок сплавів).

37 Мироненко Е.В. Выбор оптимальных типов конструкций и форм передней поверхности сборных резцов //Высокие технологии в машиностроении. - Харьков, ХГПУ. – 1997. - С. 193 - 194.

38 Мироненко Е.В. Исследование долговечности блочно-модульных резцов // Труды Междунар. науч.-технич. конференції „Прогрессивные технологии в машиностроении”. - Донецк: ДонГТУ. - 1997. - С. 163 - 164.

39 Мироненко Є.В. Дослідження ймовірності стабільного стружкоподріблення при обробці сталей //3-й Міжнар. симпозиум українських інженерів-механиків у Львові. Тези доповідей. Львів: Львівська політехніка. - 1997. - С. 136 - 137.

40 Мироненко Е. В. К оптимизации параметров сборных резцов //Сборник статей по материалам Междунар. науч.-технич. конференции «Современные технологии, экономика и экология в промышленности». – Киев: ИСМО. - 1998. – С. 88 – 92.

41 Мироненко Є.В., Григорян Р.В. Вибір оптимальних параметрів конструкцій і форм передньої поверхні різців. // 4-й Міжнар. симпозиум українських інженерів-механиків у Львові. Тези доповідей. Львів: Львівська політехніка. - 1999. - С. 126 - 127.(Здобувачем запропонована методика вибору оптимальних параметрів).

42 Мироненко Е.В., Бобух Л.А., Марчук Е.В. Оптимизация параметров модульной оснастки для гибких производственных систем. //Тези доповідей 8-ї Міжнар. наук.-технич. конференції. „Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем”. - Краматорськ: ДДМА. - 2001. - С. 30. (Здобувачем запропоновані критерії оптимізації модульної оснастки).

43 Зиновьев Н.И., Мироненко Е.В. Повышение надежности сборных модульных резцов для тяжелых токарных станков с ЧПУ // Материалы Междунар. науч. конференции. «Современные проблемы механики и физики процессов резания, абразивной обработки и поверхностного пластического деформирования». /Киев: АТМ України. - 2002. - С. 18-20. (Здобувачем запропоновані заходи по підвищенню надійності модульних різців).

44 Мироненко Е.В. Оптимизация параметров модульных инструментов на основе системного исследования надежности. //Тези доповідей 9-ї Міжнар. наук.-технич. конференції. „Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем”.– Краматорськ: ДДМА. - 2002.– С. 3.

45 Мироненко Е.В. Особенности управления процессом обработки на уникальных станках с ЧПУ// Тези доповідей Міжнар. наук.-технич. конференції „Важке машинобудування. Процеси металообробки, верстати, інструменти”. - Краматорськ: ДДМА. - 2003. –С.6.

АНОТАЦІЇ

Мироненко Є.В. Наукові основи створення систем агрегатно-модульних інструментів для важких верстатів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності

05.03.01-процеси механічної обробки, верстати та інструменти. - Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004-Рукопис.

У дисертації вирішена науково-технічна проблема підвищення ефективності обробки на важких верстатах шляхом розробки та реалізації систем агрегатно-модульного інструменту. Запропоновано концепцію створення агрегатно-модульного інструмента для важких верстатів на основі системного підходу, що передбачає комплексну кваліметричну оцінку рішень з використанням аналітичних, експериментальних методів і інтелектуальної системи багатокритеріальної оптимізації, що дозволила підвищити ефективність обробки при знятті великих перетинів зрізу шляхом підвищення міцності, надійності, гнучкості системи інструмента, зменшення витрат твердого сплаву і скорочення часу відновлення технологічної системи. Розроблено алгоритм та програмний продукт багатокритеріальної стохастичної оптимізації, що дозволив: вирішити задачу вибору модульного інструмента з урахуванням особливостей обробки на важких верстатах, оптимізувати параметри агрегатно-модульного інструмента, період стійкості і число періодів стійкості.

Ключові слова: агрегатно-модульний інструмент, важкі верстати, багатокритеріальна оптимізація, стружкодробління, надійність інструмента, форма передньої поверхні.

Mironenko E.V. Scientific of a basis of creation of systems of aggregate-modular tools for heavy machine tools.

The Thesis on reception of a scientific degree of the doctor of engineering since on a specialty 05.03.01-processes of machining, machine tools and tools. National technical university " Kharkov polytechnical institute ", Kharkov, the 2004-manuscript.

In the Thesis the scientific and technical problem by increasing efficiency of processing on heavy machine tools is solved by development and realization of systems of the aggregate-modular tool. The concept of creation of the aggregate-modular tool for heavy machine tools on the basis of the system approach which provides complex quality control an estimation of decisions with use of analytical, experimental methods and intellectual system multicriterion optimization which has allowed to raise processing efficiency at removal of the big sections of a cut by increase durability, reliability, is offered to flexibility of system of the tool, reduction of expenses of a firm alloy and reduction of restoration time of technological system. The algorithm software products multiobjective stochastic optimization that has allowed is developed: to solve a problem to a choice of the modular tool in view of features of processing on heavy machine tools, to optimize parameters of the aggregate-modular tool, the period of stability and number of the periods of stability, dimensional parameters of the machine tool, to define size of a stock carbide plates on a workplace and to choose optimum modes of operation.

Key words: the aggregate-modular tool, heavy machine tools, multiobjective optimization, chip

breaking, reliability of the tool, the form of a forward surface.

Мироненко Е.В. Научные основы создания систем агрегатно-модульных инструментов для тяжелых станков.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.01 – «Процессы механической обработки, станки и инструменты» – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2004 – Рукопись.

В диссертации решена научно-техническая проблема повышения эффективности обработки на тяжелых токарных станках путем разработки и реализации систем агрегатно-модульного инструмента. Предложена концепция создания агрегатно-модульного инструмента для тяжелых станков на основе системного подхода, предусматривающая комплексную квалиметрическую оценку решений с использованием аналитических, экспериментальных методов и интеллектуальной системы многокритериальной стохастической оптимизации, позволившая повысить эффективность обработки при снятии больших сечений среза за счет обеспечения необходимой прочности, надежности, гибкости системы инструмента, уменьшения расхода твердого сплава и сокращения времени восстановления технологической системы.

Разработана система функций и алгоритм принятия решений при многокритериальной оптимизации комплекса конструктивных и эксплуатационных параметров агрегатно-модульного инструмента. Доказана их эффективность при решении задач оптимизации режимов эксплуатации с учетом показателей надежности модульного инструмента, стабильности дробления стружки, реальных процессов изнашивания и накопления повреждений специальных твердосплавных пластин, особенностей обслуживания системы инструмента. Получены математические зависимости безотказности, долговечности и восстановления модульного инструмента для тяжелых станков, позволившие прогнозировать надежность систем агрегатно-модульного инструмента с учетом вероятностей возможных состояний. Разработан алгоритм программного продукта для многокритериальной стохастической оптимизации на основе системы „Марс” и „Интелос”, который позволил решить задачу выбора модульного инструмента с учетом особенностей обработки на тяжелых станках, оптимизировать параметры агрегатно-модульного инструмента, период стойкости и число периодов стойкости в зависимости от размерных параметров станка, определить оптимальную величину запаса твердого сплава на рабочем месте и выбрать оптимальные режимы эксплуатации.

На базе проведенных исследований, оптимизационных расчетов была разработана система агрегатно-модульного инструмента с механическим креплением пластин для чернового и получистового точения и освоено их производство, также рекомендации по их эксплуатации. Предложены и опробованы новые формы передней поверхности пластин, обеспечивающие стабильное

дробление стружки в заданном диапазоне режимов резания.

Ключевые слова: агрегатно-модульный инструмент, тяжелые станки, многокритериальная оптимизация, стружкодробление, надежность инструмента, форма передней поверхности.

Підписано до друку 10.03.2004 р. Формат 60 x 90/16.

Ум. друк. арк. – 2,07; обл. – вид. акр. – 2,23.

Тираж 100 прим. Замовлення № 2004р.

84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Шкадинова, 72