

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Іванов Віталій Олександрович

УДК 621.9–229

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ КОМПОНОВОК
ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Карпуть Владислав Євгенович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри технології машинобудування
та металорізальних верстатів

Офіційні опоненти: Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України,
доктор технічних наук, професор
Мовшович Олександр Якович,
Науково-виробниче підприємство
“Оснастка”, м. Краматорськ,
заступник директора з наукової роботи

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Ряховський Олексій Володимирович,
Національний науковий центр
“Інститут метрології”, м. Харків,
головний інженер

Захист відбудеться “ 10 ” червня 2010 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розіслано “ 6 ” травня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А. Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для підвищення конкурентоспроможності машинобудівної продукції України ринок вимагає від виробників забезпечення високої ефективності технологічних процесів, які реалізуються на високоавтоматизованому обладнанні з ЧПК. На ефективність використання верстатів з ЧПК суттєво впливає досконалість верстатних пристроїв (ВП). У структурі технологічної підготовки виробництва частка часу, пов'язаного з проектуванням та виготовленням ВП, становить 80–90%, а витрати досягають 10–20% від вартості обладнання, що свідчить про важливу роль ВП у забезпеченні випуску конкурентоспроможної продукції.

Існуючі системи збірних ВП не здатні у повному обсязі забезпечити ефективне використання верстатів з ЧПК у багатомономенклатурному виробництві, що пов'язано з великими фінансовими затратами та значними витратами часу на переналагодження при переході до обробки деталей іншого типорозміру. Це призводить до того, що в умовах багатомономенклатурного виробництва частка підготовчо-заключної норми часу домінує, досягаючи 70–80% від штучно-калькуляційної норми часу. Скорочення витрат часу, пов'язаних з переналагодженням ВП при переході до обробки деталей іншого типорозміру, є важливою задачею сучасного машинобудівного виробництва. Зважаючи на це, подальшим розвитком ВП для верстатів з ЧПК є розроблення перспективної системи ВП, що дозволить об'єднати переваги збірних та переналагоджуваних ВП, забезпечуючи при цьому високу ефективність використання високоавтоматизованих верстатів з ЧПК.

Різноманітність компоновок ВП, які використовуються для обробки однотипних деталей, з одного боку, забезпечує багатоваріантність, а з іншого – суттєво ускладнює задачу визначення оптимальної компоновки ВП для певних виробничих умов. Враховуючи, що компоновки ВП є складними технічними системами, які відрізняються за рівнем гнучкості, технологічними можливостями і вартістю, ефективний вибір найвигіднішої серед множини конкуруючих варіантів доцільно здійснювати за допомогою багатокритеріальної оптимізації. Отже, розроблення системи багатокритеріальної оптимізації вибору найвигіднішої компоновки ВП для верстатів з ЧПК є актуальною науково-практичною задачею та визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи є частиною наукового напрямку кафедри “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, пов'язаного з розробленням методів та систем моделювання об'єктів та процесів, а також відповідає науковому напрямку кафедри “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету у рамках завдання фундаментальної держбюджетної НДР МОН України “Розробка та дослідження технологічних методів обробки поверхонь, пристроїв для їх реалізації та оптимізація технологічних рішень” (ДР № 0106U013013), в якій здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності використання універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК в умовах багатомономенклатурного виробництва шляхом вибору оптимальних компоновок ВП.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі:

- теоретичне обґрунтування та розроблення математичної моделі вибору оптимальної компоновки ВП для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК;
- розроблення системи конструкцій функціональних елементів для досягнення високої гнучкості та зменшення витрат часу на переналагодження ВП при установленні деталей широкої номенклатури, а також удосконалення існуючих систем ВП з метою ефективного їх використання в умовах багатомоделного виробництва;
- розроблення та обґрунтування методології визначення похибок базування заготовок у ВП залежно від їх конструктивно-технологічних параметрів;
- розмірний аналіз похибок базування заготовок у гнучких ВП;
- визначення пружних переміщень у базуючих модулях, що виникають під дією сил різання, шляхом дослідження напружено-деформованого стану методом скінченних елементів;
- експериментальні дослідження похибок обробки ступінчастих валів у призмах для визначення точнісних можливостей базуючих модулів;
- виробниче впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки деталей на металорізальних верстатах з ЧПК.

Предмет дослідження – формування структури та вибору найвигіднішої компоновки ВП для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК.

Методи дослідження. Вибір оптимальних компоновок ВП здійснюється на основі багатокритеріальної оптимізації за методом послідовних поступок. Розроблення системи функціональних елементів ґрунтується на теоретичних основах технології машинобудування та принципах проектування ВП. Аналітичні методи дослідження точнісних можливостей ВП базуються на теорії точності, теорії базування деталей, теорії розмірних ланок. Визначення пружних переміщень у базуючих модулях здійснюється шляхом дослідження напружено-деформованого стану методом скінченних елементів. Достовірність теоретичних розробок підтверджено результатами експериментальних досліджень, виконаних у лабораторних та виробничих умовах із застосуванням розроблених базуючих модулів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що запропоновано систему багатокритеріального вибору оптимальних компоновок ВП з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик елементів ВП та виробничих умов для підвищення ефективності використання універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК. При цьому отримано такі нові результати:

- розроблено математичну модель синтезу компоновок ВП шляхом багатокритеріальної оптимізації на основі множини сформованих конкуруючих варіантів, яка дозволяє здійснювати вибір оптимальних компоновок ВП для верстатів з ЧПК з урахуванням виробничих умов;
- вперше запропоновано та обґрунтовано доцільність створення нової системи ВП – універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв (УЗПП), яка поєднала переваги систем збірних та переналагоджуваних ВП, а саме: підвищення гнучкості ВП, скорочення витрат підготовчо-заключної норми часу, пов'язаної з пе-

реналагодженням ВП при зміні типорозміру оброблюваних заготовок, зменшення кількості елементів у комплекті та металомісткості;

– обґрунтовано вибір конструктивних параметрів ВП з метою забезпечення високої гнучкості конструкції та розроблено методологію визначення похибок базування заготовок в УЗПП залежно від їх конструктивних параметрів, що безпосередньо впливають на виникнення похибок;

– у результаті аналітичних та експериментальних досліджень на прикладі обробки валів доведено доцільність застосування системи УЗПП для обробки деталей на універсальних та багатоцільових верстатах з ЧПК в умовах багатомоделного виробництва з метою скорочення підготовчо-заклучної складової норми часу, пов'язаної з переналагодженням ВП на обробку деталей заданої номенклатури.

Практичне значення одержаних результатів для машинобудівної галузі.

Розроблено інженерну методику вибору оптимальних компоновок ВП для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК з урахуванням необхідних показників точності, гнучкості, вартості та металомісткості. Запатентовано систему конструкцій функціональних елементів, які характеризуються високим рівнем уніфікації, можливістю автоматизованого переналагодження та закріплення-розкріплення заготовок, що забезпечує скорочення непродуктивних витрат часу. Запропоновано спосіб беззazorного базування елементів ВП між собою та запатентовано пристрій для його реалізації. Розроблено математичні залежності для визначення похибок базування заготовок в універсально-збірних переналагоджуваних пристроях залежно від їх конструктивних параметрів з метою оцінки точнісних можливостей. Для запатентованої конструкції базуючої призми розроблено конструкторсько-технологічну документацію та виготовлено дослідний зразок. Виконані експериментальні дослідження підтверджують високі техніко-експлуатаційні показники запропонованої конструкції, а похибки розмірів обробки зіставні з допусками на напівчистову обробку поверхонь. Результати дисертаційних досліджень впроваджено у виробництво виробів насосного обладнання на БВО “Суми“ СРНУ ВАТ “Укртранснафта” (м. Суми), ВАТ “Сумський завод “Насосенергомаш” (м. Суми) та НВП “Насостехкомплект” (м. Суми). Економічний ефект від впровадження, підтверджений відповідними актами, склав 31915 грн.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування планів і програм експериментів, виконання аналітичних та експериментальних досліджень, обробка та узагальнення одержаних результатів, участь у виробничому впровадженні. Постановка задач досліджень та аналіз деяких результатів виконані разом із науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та результати роботи доповідалися на: 13-й Міжнародній науково-технічній конференції “Физические и компьютерные технологии” (м. Харків, 2007 р.); 15–17-й Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 2007–2009 рр.); 14-й Міжнародній науково-методичній конференції “Технологии XXI века” (м. Алушта, 2007 р.);

XII–XIV Міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, 2007–2009 рр.); XIV–XVI Міжнародних науково-технічних конференціях “Машиностроение и техносфера XXI века” (м. Севастополь, 2007–2009 рр.); XXVII і XXVIII науково-технічних семінарах “Семковские молодежные научные чтения” (м. Харків, 2007 р., 2008 р.); 12-й Міжнародній науково-технічній конференції “Автоматизация: проблемы, идеи, решения” (м. Тула, Росія, 2007 р.); 7–9-й Всеукраїнських молодіжних науково-технічних конференціях “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (м. Одеса, 2007 р.; м. Луцьк, 2008 р.; м. Запоріжжя, 2009 р.); 8-й та 9-й Міжнародних промислових конференціях “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях” (с. Славське, 2008 р., 2009 р.); 8-му міжнародному науково-технічному семінарі “Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, упрочнения, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте” (с. Свалява, 2008 р.); науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів, студентів інженерного факультету СумДУ (м. Суми, 2008 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції “Прогресивна техніка та технологія” (м. Київ, 2008 р.); XVII Міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку” (м. Алушта, 2008 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении” (м. Одеса, 2008 р.); IX Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції “Автоматизация, технология и качество в машиностроении” (м. Донецьк, 2008 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції “Современные проблемы машиностроения” (м. Томськ, Росія, 2008 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції “Настоящи изследвания – 2009” (м. Софія, Болгарія, 2009 р.); науково-технічній конференції викладачів, аспірантів, студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій СумДУ (м. Суми, 2009 р.); IV обласному конкурсі “Найкращий молодий науковець Харківщини – 2009” (м. Харків, 2009 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції “Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування” (м. Луцьк, 2009 р.); VII Міжнародній науково-технічній конференції “Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку” (м. Краматорськ, 2009 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції “Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2009” (м. Пшемисль, Польща, 2009 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалася і схвалена на наукових семінарах кафедр “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” та “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету.

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 45 наукових публікаціях, серед яких: 15 статей у наукових фахових виданнях ВАК України, 11 патентів України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, 4 додатків, списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 239 сторінок, із них 94 рисунків по тексту, 9 рисунків на 9 сторінках; 25 таблиць по тексту; 8 таблиць на 10 сторінках; 4 додатків на 29 сторінках; 186 найменувань використаних літературних джерел на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи для галузі машинобудування.

У **першому розділі** виконано аналіз конструктивно-технологічних особливостей типових деталей, оброблюваних в умовах багатомономенклатурного виробництва на верстатах з ЧПК. Установлено, що у цих умовах переважно застосовуються гнучкі ВП, які за спільністю способів забезпечення гнучкості можна поділити на переналагоджувані та збірні, основні переваги та недоліки яких детально проаналізовано. Виконано літературний огляд вітчизняної та зарубіжної літератури щодо вибору оптимальних компоновок ВП. Обґрунтовано доцільність багатокритеріальної оцінки компоновок ВП, а також проаналізовано відомі методи оптимізації, для яких визначено переваги та недоліки. Детально розглянуто критерії оптимальності та математичні залежності для їх визначення. На підставі аналізу сформульовано основні задачі дисертаційного дослідження та напрямки їх вирішення.

У **другому розділі** розроблено систему багатокритеріального вибору найвигідніших компоновок ВП для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК, яка базується на уявленні конструкції як ієрархічної системи, що складається з чотирьох рівнів, які відрізняються між собою за кількістю компонентів і ступенем узагальнення. Між складовими кожного рівня існують певні співвідношення, які обумовлюють об'єднання структурних одиниць нижчих рівнів у структурні одиниці вищих рівнів (рис. 1). Кожний конструктивний елемент характеризується заданою конструктором геометричною формою, розмірами і призначенням. Деталь формується сукупністю конструктивних елементів, які згруповано з метою виконання визначеної функції.

Під функціональним модулем розуміємо самостійну частину ВП, яка складається з деталей і складальних одиниць, об'єднаних єдиним функціональним призначенням. Так, базуючий модуль являє собою сукупність окремих установочних елементів, кожний з яких реалізує визначену базу, але у сукупності вони забезпечують єдине функціональне призначення – базування оброблюваної заготовки у ВП.

Рис. 1. Ієрархічна структура верстатного пристрою

За критерії оптимальності прийнято похибку установлення заготовки ($\varepsilon_y \rightarrow \min$), ступінь гнучкості $G_{ВП} \rightarrow \max$, вартість $C_{ВП} \rightarrow \min$, металомісткість $M_{ВП} \rightarrow \min$. Технічні обмеження на вибір компоновки ВП у процесі оптимізації такі: похибка установлення заготовки не повинна перевищувати допустиму величину $\varepsilon_y \leq [\varepsilon_y]$, ступінь гнучкості ВП повинен бути більше або дорівнювати необхідному за умовами виробництва $G_{ВП} \geq G_{ВП}^*$, а металомісткість ВП повинна

бути меншою, ніж вантажопідйомність стола верстата $M_{ВП} < B_{верст}$. Математична модель багатокритеріального синтезу структури компоновки ВП має такий вигляд:

$$\begin{cases} \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{виг}^2 + \varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_{зн}^2} \rightarrow \min, \\ G_{ВП} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n t_{пер_i}}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i}} \rightarrow \max, \\ C_{ВП} = \sum_{a=1}^b C_{конст_a}^2 \cdot t_{np_a} + \sum_{q=1}^r k_q \cdot \left(C_{mq} + \sum_{j=1}^m C_{jq} \cdot t_{jq}\right) + \sum_{e=1}^d C_e \cdot f_e + C_{скл}^2 \cdot t_{скл} + C_{ин} \rightarrow \min, \\ M_{ВП} = \sum_{k=1}^p m_k + m_{заг} \rightarrow \min. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &\leq [\varepsilon_y], \\ G_{ВП} &\geq \bar{G}_{ВП}, \\ M_{ВП} &< B_{верст}, \end{aligned}$$

де ε_6 – похибка базування заготовки; ε_3 – похибка закріплення заготовки; $\varepsilon_{виг}$ – похибка виготовлення деталей ВП; ε_{yc} – похибка установлення ВП на верстаті; $\varepsilon_{зн}$ – похибка зносу установочних елементів ВП; n – кількість типорозмірів деталей, що обробляються у ВП; $t_{пер_i}$ – час переналагодження ВП для обробки деталі i -го типорозміру; t_i – час обробки деталі i -го типорозміру; N_i – величина партії запуску деталей i -го типорозміру; $C_{конст_a}^2$ – годинна тарифна ставка конструктора на проектування деталі a -го найменування; t_{np_a} – витрати часу на проектування деталі a -го найменування; b – кількість найменувань деталей компоновки ВП; C_e – вартість купленої деталі e -го найменування; f_e – кількість куплених деталей e -го найменування; d – кількість куплених найменувань деталей; $C_{скл}^2$ – годинна тарифна ставка слюсаря-складальника; $t_{скл}$ – витрати часу на складання компоновки ВП; m_k – маса k -ї деталі, що входить до компоновки ВП; $m_{заг}$ – маса обробленої заготовки.

Синтез оптимальних компоновок ВП здійснюється методом послідовних поступок. Система оптимізаційних задач при цьому має такий вигляд:

$$\begin{aligned} K_1 &= \inf \varepsilon_y(u), \\ K_2 &= \sup G_{ВП}(u), \text{ при } \varepsilon_y(u) \leq K_1 + \Delta\varepsilon_y, \\ K_3 &= \inf C_{ВП}(u), \text{ при } G_{ВП}(u) \geq K_2 - \Delta G_{ВП}, \\ K_4 &= \inf M_{ВП}(u), \text{ при } C_{ВП}(u) \leq K_3 + \Delta C_{ВП}, \end{aligned}$$

де u – конкретний варіант компоновки ВП із множини U ; $\Delta\varepsilon_y$; $\Delta G_{ВП}$; $\Delta C_{ВП}$ – поступки за критеріями, величина яких визначається при порівнянні критеріїв попарно та послідовно.

Отримане у результаті оптимізації рішення багатокритеріальної задачі, не забезпечуючи оптимумів локальних критеріїв, буде найкращим за сукупністю характеристик. Оскільки багатокритеріальна оптимізація передбачає розроблення сис-

теми конкуруючих варіантів, причому при ручному формуванні множини конкуруючих варіантів спостерігаються значні витрати часу, доцільно цей процес автоматизувати. Для цього запропоновано алгоритмічну структуру системи вибору оптимальних компонок ВП, яка складається з бази даних та трьох модулів: вихідних даних, інформаційно-пошукового, розрахункового. Основою бази даних є бібліотека функціональних елементів, розроблена на основі таблиць рішень для кожної групи функціональних елементів, де кожний елемент має кодове позначення. Будь-яка компоновка ВП може бути записана у вигляді структурної формули, що являє собою буквено-числовий код, який складається з чотирьох груп, відокремлених одна від одної знаком тире (рис. 2).

Рис. 2. Структурна формула компоновки верстатного пристрою

Практичну реалізацію розробленої системи багатокритеріальної оптимізації показано на прикладі синтезу компонок ВП для встановлення валів при обробці на свердлильних та фрезерних верстатах. Враховуючи конструкторсько-технологічні характеристики оброблюваної заготовки та інформацію з бази даних, можна сформулювати певну кількість конкуруючих варіантів функціональних елементів, причому їх кількість для різних груп буде різною (рис. 3). Для реалізації схеми базування заготовки “за двома циліндричними поверхнями і торцем” з бібліотеки функціональних елементів вибрано шість типів призм (коди 301, 304–308) та дві бокові опори (коди 253, 255). Закріплення заготовки можна здійснити п’ятьма затискними елементами (коди 201, 202, 206, 237, 238), а розмістити вибрані функціональні елементи можна на двох базових плитах (коди 22, 31).

На основі різних сполучень вибраних функціональних елементів можна сформулювати множину конкуруючих варіантів компонок ВП, загальна кількість яких визначається добутком варіантів для кожної групи і для даної задачі дорівнює 120 компоновкам ВП, які відрізняються між собою за показниками точності, гнучкості, вартості та металомісткості.

У результаті здійснення багатокритеріальної оптимізації за розробленою системою критеріїв, урахувавши, що величина допуску на виконуваний розмір $T_d = 160$ мкм, а величина партії запуску деталей $N = 10$ шт., визначено, що найвигіднішою компоновкою ВП для встановлення валів є компоновка зі структурною формулою СФ–22–41.308/308/253.0–238.1, яка складається з базової плити (код 22), двох призм (код 308), бокової опори (код 253) та притискача (код 238), і характеризується такими критеріальними оцінками: $\varepsilon_y = 0,07$ мм; $G_{ВП} = 0,67$; $C_{ВП} = 18145$ грн; $M_{ВП} = 68,5$ кг.

Перша група визначає тип пристрою і відповідає виду робіт, які виконуються у даному ВП. У другій групі наводиться код опорного елемента з бази даних, а третя і четверта групи характеризують базуючий та затискний модулі ВП відповідно.

Рис. 3. Схема формування конкуруючих варіантів компоновок верстатних пристроїв для встановлення валів

У **третьому розділі** запропоновано та обґрунтовано доцільність створення нової системи ВП – універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв (УЗПП), яка поєднала переваги існуючих систем збірних та переналагоджуваних ВП, а саме: агрегатно-модульний принцип побудови та можливість переналагодження елементів, у тому числі автоматизованого. У системі УЗПП з метою скорочення витрат часу на складання компоновок ВП переважно використовуються не окремі деталі, як, наприклад, у комплектах елементів систем УЗП, УЗПМ, УЗПО, ЗРП, а функціональні модулі, до складу яких входять деталі та складальні одиниці, що мають однакове функціональне призначення. Застосування функціональних модулів сприяє скороченню підготовчо-заклучного часу на переналагодження ВП при зміні об'єкта обробки. Крім того, скорочення кількості стиків унаслідок модульної структури, у свою чергу, підвищує жорсткість компоновок ВП та точність обробки деталей. При зміні типорозмірів оброблюваних деталей переналагодження установочних та затискних елементів, які входять до складу функціональних модулів, здійснюється у широкому діапазоні в межах заданих технічних характеристик за рахунок відповідних механізмів регулювання (рис. 4).

Для забезпечення точності встановлення елементів ВП на базовій плиті та між собою запропоновано спосіб безззорного базування та запатентовано пристрій для його реалізації (патент України № 44718). Використання запропонованої самоцентруючої збірної втулки забезпечує безззорне з'єднання елементів ВП, а отже, зменшує вплив пристрою на похибку установаження заготовки.

На основі теоретичних досліджень запропоновано класифікації установочних і затискних елементів та визначено область можливого їх застосування залежно від якості базових поверхонь заготовок, величини регулювання та ступеня автоматизації переналагодження. Розроблено і запатентовано систему конструкцій функціональних елементів, які мають високий ступінь гнучкості та забезпечують швидке переналагодження установочних і затискних елементів у широкому діапазоні розмірів. Це дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати часу при переході до

обробки деталей інших типорозмірів, а також скоротити кількість елементів у комплекті, що, у свою чергу, сприяє зменшенню металомісткості та вартості компонентів ВП.

Рис. 4. Структура універсально-збірною переналаджуваного пристрою

Порівняльний аналіз технічних характеристик ВП (рис. 5), що належать до стандартних систем ВП та запропонованої системи УЗПП, показав, що остання має значні потенційні функціонально-технологічні переваги перед іншими системами ВП, які повною мірою можуть бути реалізовані на універсальних та багатоцільових верстатах з ЧПК.

Рис. 5. Технічні характеристики систем верстатних пристроїв

Для підвищення ефективності використання верстатів з ЧПК у багатономенклатурному виробництві запропоновано та запатентовано конструкції елементів ВП для встановлення плоских та корпусних деталей за схемами базування: по площині (патенти України № 31000 та № 31469); по площині та двох отворах (патент

України № 34438); торцевих поверхнях, у т.ч. похилих (патент України № 29824). Базування деталей типу тіла обертання здійснюється за схемами: за зовнішніми циліндричними поверхнями (патенти України № 29823, № 31416, № 31468); за внутрішніми циліндричними поверхнями (патент України № 30999). Для закріплення заготовок у ВП при механічній обробці на верстатах з ЧПК доцільно використовувати запропоновані конструкції затискних модулів (патенти України № 27551 та № 38073).

Для визначення доцільності застосування запропонованої системи УЗПП як приклад детально розроблено та досліджено конструкцію ВП з елементів системи УЗПП для встановлення ступінчастих валів при обробці на свердлильних, фрезерних та багатоцільових верстатах з ЧПК. Установочні елементи базуючої призми (патент України № 31416) виконано у формі дисків, осі обертання яких зміщені відносно осі диска на величину ексцентриситету e (рис. 6).

За допомогою системи зубчастих коліс опорні диски одночасно повертаються у різні боки на заданий кут, який відповідає потрібному діаметру оброблюваної заготовки у діапазоні $d_{\text{заг min}} \dots d_{\text{заг max}}$. Максимальний кут повороту опорних дисків 90°. На базову плиту 1 (рис. 7) встановлюють базуючий модуль 2, на якому розташовані змінні наладки 3 і 4, що регулюються, причому наладка 3 жорстко закріплена на базуючому модулі, а наладка 4 – на каретці 5 лінійного двигуна, що дозволяє змінювати відстань між опорними дисками 6 і забезпечує необхідну жорсткість заготовки 7 у процесі механічної обробки. Заготовку 7 – оброблюваний ступінчастий вал – встановлюють базовими поверхнями на опорні диски 6 з упором у торець. Упор 8 можна регулювати по висоті і довжині вильоту опори, що регулюється. Затискний модуль 11 забезпечує закріплення заготовки відвідним притискачем 12, який дозволяє безперешкодне зняття обробленої деталі і встановлення нової заготовки.

Підвищення гнучкості запропонованої компоновки ВП можливе за рахунок автоматизації процесу переналагодження установочних елементів за допомогою використання крокових двигунів 9, керування якими здійснюється системою ЧПК

Рис. 6. Схема механізму регулювання установочних елементів базуючої призми (патент України № 31416)

Рис. 7. Установлення ступінчастого вала в універсально-збірному переналагоджуваному пристрої

верстата. Запропонована базуюча призма забезпечує установлення валів у діапазоні діаметрів 25–100 мм та дозволяє замінити 5 типорозмірів стандартних жорстких опорних призм. Ураховуючи, що у машинобудуванні цьому діапазону відповідає понад 85% від загальної кількості типорозмірів валів, то доцільність застосування запропонованої конструкції УЗПП на основі базуючої призми очевидна.

У четвертому розділі виконано аналітичні дослідження точності універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв. Розглянуто компоновки ВП для встановлення корпусних деталей з елементів системи УЗПО та запропонованої системи УЗПП. Дослідження напружено-деформованого стану методом скінченних елементів дозволило визначити величини пружних переміщень елементів ВП, які виникають при свердлінні отворів у корпусній деталі внаслідок дії сил різання. Отримані результати показали, що точнісні показники повністю задовольняють виробничі умови, а значне розширення технологічних можливостей компоновок ВП з елементів системи УЗПП сприяє підвищенню гнучкості.

Запропоновано математичні залежності для визначення часу переналагодження гвинтових та клинових регульованих опор від їх конструктивних параметрів, а також розроблено рекомендації щодо вибору гвинтових регульованих опор залежно від силового навантаження на заготовку.

Базування заготовки у ВП є одним із найважливіших етапів операції, що суттєво впливає на точність обробки. Встановлено, що похибки базування заготовок у пристроях системи УЗПП залежать від конструктивних елементів, які сприяють підвищенню гнучкості конструкції. Наприклад, на величину похибки базування валів при установленні на запропоновану базуючу призму впливають радіус R та кут повороту γ опорних дисків, величина ексцентриситету e , на яку зміщено вісь повороту опорного диска, та відстань між осями повороту опорних дисків L .

Положення опорних дисків навколо осі повороту (вісь 1) визначається величиною γ – кутом повороту опорного диска, який відповідає куту між осями заготовки (вісь 2) та опорного диска (вісь 3) (рис. 8). Слід зауважити, що осі 1 та 2 мають незмінне положення відносно одна одної та конструкції базуючої призми, а вісь 3 змінює своє положення при переналагодженні на інший типорозмір заготовок та визначає кут повороту опорного диска. На схемі безперервним колом показано заготовку, діаметр якої відповідає найбільшому діаметру заготовки d_{\max} у оброблюваній партії, штриховим – найменшому діаметру заготовки d_{\min} .

Рис. 8. Схема визначення похибки базування вала при встановленні у базуючу призму

При базуванні заготовки технологічна база для максимального та мінімального діаметрів заготовок знаходиться на твірній вала у точках T та T_1 відповідно, а вимірювальні бази, наприклад, при дотриманні розміру h_1 відповідають точкам B

та B_1 . Відстань між ними є похибкою базування для розміру h_1 . Похибки базування валів для розмірів h_1 , h_2 , h_3 визначаються за розробленими математичними залежностями (1)–(3):

$$\varepsilon_{\delta_{h_1}} = \frac{Td}{2} - \left(\sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2} \right); \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\delta_{h_2}} = \frac{Td}{2} + \left(\sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2} \right); \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\delta_{h_3}} = \sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R \right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \cdot \sin \gamma \right)^2}. \quad (3)$$

Розрахунок за теорією розмірних ланцюгів дозволяє визначити похибку базування заготовки у призмі залежно від точності виготовлення елементів, які впливають на точність установлення вала. Розмірний ланцюг для запропонованої базуючої призми складається з 11 ланок, які враховують коливання діаметрів вала у партії, зазори між спряженими деталями, а також допуски на зубчасту передачу (рис. 9). У результаті розрахунку за імовірнісним методом установлено, що допуск замикаючої ланки становить $T_{A_d} = 0,07$ мм, що відповідає напівчистовій обробці деталей. Враховуючи, що допуск на виконуваний розмір для валів діаметрами 30–50 мм становить $T_d = 0,16$ мм запропонована конструкція базуючого модуля повністю задовольняє виробничі умови за точнісними показниками і дозволить отримати розмір із заданою точністю.

Рис. 9. Базуюча призма і розмірний ланцюг для визначення похибки базування вала при фрезеруванні лиски, паралельної робочому столу верстата

Для визначення похибок, що виникають внаслідок пружних деформацій під дією сил різання, проведено скінченноелементний аналіз для базуючих модулів на основі запропонованої базуючої призми та стандартної жорсткої опорної призми. Виконано моделювання процесу фрезерування лиски, паралельної площині робочого стола верстата, циліндричною та кінцевою фрезами.

Результати моделювання за методом скінченних елементів свідчать, що при глибині різання $t = 1$ мм деформації при обробці як циліндричною, так і кінцевою фрезою заготовок, установлених на обох типах призм, однакові та знаходяться у діапазоні 0,002–0,008 мм залежно від місця обробки лиски на валу. При обробці заготовок циліндричною фрезою ($t = 4$ мм) переміщення збільшуються, але їх величина не перевищує 0,016 мм для жорсткої опорної призми і 0,024 мм для запропонованої базуючої призми. Для діаметрів заготовок у діапазоні

18–30 мм допуск виконуваного розміру становить $T_d = 0,13$ мм, для діаметрів 30–50 мм – $T_d = 0,16$ мм, а для діаметрів 50–80 мм – $T_d = 0,19$ мм.

Похибки, отримані у результаті моделювання напружено-деформованого стану, значно менші від наведених полів допусків, тому запропонована конструкція базуючої призми повністю задовольняє виробничі умови.

У п'ятому розділі наведено результати експериментального дослідження похибок обробки ступінчастих валів у запропонованій базуючій призмі при фрезеруванні лисок. Для цього розроблено конструкцію і виготовлено дослідний зразок базуючої призми (рис. 10).

Дослідження виконувалися на горизонтально-фрезерному верстаті мод. 6P82Г і вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК мод. 6P13Ф3 при встановленні заготовок ступінчастого вала на запропоновану базуючу призму та на стандартну жорстку опорну призму (рис. 11).

Лиски фрезерувалися на трьох шийках, які розміщені у різних місцях ступінчастого вала: на консолі ($d = 30$ мм), над опорою ($d = 42$ мм) і між двома опорами ($d = 54$ мм). При обробці необхідно отримати розміри за квалітетом IT11: при глибині різання $t = 1$ мм – $29_{(-0,13)}$, $41_{(-0,16)}$, $53_{(-0,19)}$ відповідно; а при глибині $t = 4$ мм – $26_{(-0,13)}$, $38_{(-0,16)}$ та $50_{(-0,16)}$ відповідно.

Установлено, що у результаті пружних деформацій технологічної системи мають місце похибки розмірів, які відрізняються за величиною залежно від умов обробки. При глибині різання $t = 1$ мм (напівчистове фрезерування) як циліндричною, так і кінцевою фрезою похибки оброблюваних розмірів при встановленні заготовок на обох типах призм однакові і не перевищують 0,01 мм. При збільшенні глибини різання циліндричною фрезою до $t = 4$ мм (чорнове фрезерування) похибки розмірів обробки знаходяться в межах 0,01–0,02 мм та 0,02–0,03 мм при установленні заготовки на стандартну жорстку опорну призму та на запропоновану базуючу призму відповідно залежно від місця обробки лиски на валу. Для розмірів у діапазоні 18–30 мм допуск виконуваного розміру $T_d = 0,13$ мм, для розмірів 30–50 мм – $T_d = 0,16$ мм, для розмірів 50–80 мм – $T_d = 0,19$ мм. Похибки обробки кінцевою фрезою

Рис. 10. Дослідний зразок базуючої призми

а)

б)

Рис. 11. Фрезерування лиски на горизонтально-фрезерному верстаті мод. 6P82Г при встановленні заготовок:

а – на запропоновану базуючу призму;

б – на стандартну жорстку опорну призму

практично не змінюються залежно від конструкцій базуючих модулів і не перевищують величину 0,01 мм.

У шостому розділі наведено дані щодо виробничого впровадження результатів дисертаційного дослідження на сумських машинобудівних підприємствах. Проведено виробничі випробування дослідного зразка універсально-збірною переналагоджуваного пристрою на основі базуючої призми для обробки валів на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК на базі виробничого обслуговування “Суми” Сумського районного нафтопровідного управління ВАТ “Укртранснафта” (м. Суми), ВАТ “Сумський завод “Насосенергомаш” (м. Суми) та НВП “Насостехкомплект” (м. Суми).

Економічний ефект від впровадження, підтверджений відповідними актами, становить 31915 грн за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу на переналагодження верстатного пристрою при зміні типорозміру заготовок.

У додатках наведено фрагменти таблиць рішень для вибору опорних, установочних та затискних елементів, акти та розрахунок річного економічного ефекту від впровадження результатів дисертаційного дослідження на сумських машинобудівних підприємствах на БВО “Суми” СРНУ ВАТ “Укртранснафта”, ВАТ “Сумський завод “Насосенергомаш” та НВП “Насостехкомплект”.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності використання універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК в умовах багатоменклатурного виробництва шляхом вибору оптимальних компоновок ВП.

1. Розроблено систему багатокритеріальної оптимізації, яка базується на ієрархічній структурі конструкції ВП, для вибору найвигідніших компоновок ВП з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик функціональних елементів і виробничих умов на основі множини сформованих конкуруючих варіантів.

2. Теоретично обґрунтовано доцільність розроблення системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв (УЗПП) для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК, яка дозволяє в умовах багатоменклатурного виробництва скоротити непродуктивні витрати часу, пов’язані з переналагодженням компоновок ВП для обробки деталей інших типорозмірів, підвищити ступінь гнучкості, зменшити металомісткість та вартість комплексу ВП.

3. Запропоновано та запатентовано систему конструкцій функціональних елементів для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК, які характеризуються високим ступенем гнучкості та рівнем уніфікації, забезпечують підвищення продуктивності при переналагодженні ВП і задану точність обробки деталей, а також підвищують точність складання компоновок ВП за рахунок застосування запропонованого способу безззорного базування елементів.

4. Розроблено математичні залежності для визначення похибок базування заготовок валів в універсально-збірних переналагоджуваних пристроях з урахуванням їх конструктивних параметрів та граничних розмірів заготовок у партії. Встановлено, що при базуванні валів діаметрами 30–50 мм з базовими поверхнями, обробленими за квалітетами IT6...IT11, у запропонованій базуючій призмі похибка базування знаходиться у межах 0,003–0,052 мм.

5. Розмірний аналіз запропонованої конструкції базуючої призми підтвердив, що похибка базування валів залежить від точності виготовлення елементів, які забезпечують її переналагодження, та дорівнює $\Delta A_d = 0,07$ мм, що дозволяє рекомендувати запропоновану базуючу призму для напівчистої обробки валів на свердлильних та фрезерних верстатах з ЧПК.

6. Результати моделювання напружено-деформованого стану базуючих модулів при напівчистовому фрезеруванні лисок кінцевими і циліндричними фрезами показали, що величини пружних переміщень однакові для запропонованої базуючої призми та стандартної жорсткої опорної призми та знаходяться у межах 0,002–0,008 мм залежно від місця обробки лиски на валу. При чорновій обробці лисок величини пружних переміщень не перевищують 0,016 мм для стандартної жорсткої опорної призми та 0,024 мм – для запропонованої базуючої призми. Враховуючи, що допуск на виконуваний розмір для діапазону діаметрів 30–50 мм при чорновій обробці дорівнює 0,16 мм, а напівчистовій – 0,1 мм, відзначаємо досить високі точнісні можливості запропонованої конструкції.

7. Експериментально підтверджено досить високу точність обробки ступінчастих валів у запропонованій базуючій призмі при напівчистовій та чорновій обробці кінцевими фрезами, а також напівчистовій обробці циліндричними фрезами, при яких величини похибок обробки однакові порівняно зі стандартною жорсткою опорною призмою і не перевищують 0,01 мм. При чорновій обробці циліндричними фрезами похибки обробки у порівнюваних призмах близькі і не перевищують 0,02 мм для стандартної жорсткої опорної призми та 0,03 мм – для запропонованої базуючої призми.

8. Результати досліджень впроваджено у виробництво виробів насосного обладнання на БВО “Суми” СРНУ ВАТ “Укртранснафта”, ВАТ “Сумський завод “Насосенергомаш”, НВП “Насостехкомплект”. Виробничі випробування підтвердили ефективність запропонованої системи УЗПП, а саме: точність обробки заготовок при застосуванні запропонованої базуючої призми відповідає напівчистовій обробці деталей, підготовчо-заклучний час, пов’язаний з переналагодженням, скоротився у середньому в 11 разів порівняно із застосуванням стандартних жорстких опорних призм, кількість елементів у комплекті зменшилася з 10 до 2. Економічний ефект, підтверджений відповідними актами, склав 31915 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Иванов В. А. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 2008. – № 11. – С. 46–50.

Здобувачем запропоновано та обґрунтовано доцільність створення системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв, розроблено структуру запропонованої системи.

2. Ivanov V. A. Universal-composite adjustable machine-tool attachments / V. E. Karpus', V. A. Ivanov // Russian Engineering Research. – New York : Allerton Press, 2008. – Vol. 28, No. 11. – P. 1077–1083.

Здобувачем сформульовано основні вимоги, що висуваються до ВП для верстатів з ЧПК, та способи їх досягнення. Обґрунтовано переваги універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв перед іншими системами ВП.

3. Иванов В. А. Производительность многоцелевых станков / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр, В. А. Иванов, Д. А. Миненко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Харків : НАУ ім. Н.Е. Жуковського “ХАІ”, 2007. – № 7 (43). – С. 198–201.

Здобувачем визначено причини виникнення витрат часу при переналагодженні ВП для багатоцільових верстатів та запропоновано шляхи їх скорочення.

4. Иванов В. А. Обоснование выбора системы приспособлений в серийном производстве / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // *Високі технології в машинобудуванні*. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – Вип. 1 (16). – С. 125–134.

Здобувачем проаналізовано системи ВП та запропоновано шляхи їх удосконалення відповідно до умов сучасного виробництва.

5. Иванов В. А. Высокопроизводительная оснастка для станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр, В. А. Иванов // *Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. праць*. – Донецьк : ДонНТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 71–75.

Здобувачем обґрунтовано доцільність застосування розробленої конструкції розтискної оправки з метою підвищення ефективності використання верстатів.

6. Иванов В. А. Конструктивно-технологическое обеспечение эффективной эксплуатации станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов, А. В. Котляр // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Харків : НАУ ім. Н.Е. Жуковського “ХАІ”, 2008. – № 7 (54). – С. 32–35.

Здобувачем обґрунтовано доцільність застосування функціональних модулів для базування валів, корпусних деталей та деталей з криволінійними поверхнями при обробці на верстатах з ЧПК.

7. Иванов В. А. Современные требования к технологической оснастке станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // *Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”*. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – № 22. – С. 23–35.

Здобувачем розроблено класифікації переналагоджуваних ВП та механізмів регулювання установочних елементів, запропоновано математичні залежності для визначення часу регулювання установочних елементів від їх параметрів.

8. Иванов В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния установочных элементов станочных приспособлений / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // *Резание и инструмент в технологических системах : междунар. научно-техн. сб.* – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2008. – Вип. 75. – С. 141–147.

Здобувачем досліджено напружено-деформований стан установочних елементів збірних та переналагоджуваних ВП при різних методах обробки корпусних деталей.

9. Иванов В. А. Структура механизмов регулирования зажимных элементов переналаживаемых установочно-зажимных приспособлений / В. А. Иванов // *Труды Одесского политехнического университета : научный и произв.-практ. сб.* – Одесса : ОНПУ, 2008. – Вип. 2 (30). – С. 47–51.

10. Иванов В. А. Технологическая оснастка для токарных станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов, А. В. Котляр // *Вісник Сумського державного університету. Серія “Технічні науки”*. – Суми : Вид-во СумДУ. – 2008. – № 3. – С. 25–28.

Здобувачем досліджено вплив запропонованої конструкції токарного самоцентруючого патрона на підвищення продуктивності обробки деталей на верстатах з ЧПК.

11. Іванов В. О. Вдосконалення системи збірних верстатних пристроїв / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 24. – С. 256–264.

Здобувачем обґрунтовано подальші шляхи удосконалення збірних ВП, виконано аналітичне дослідження похибок базування валів у призмах.

12. Іванов В. О. Експериментальні дослідження ефективності технологічного оснащення для верстатів з ЧПК / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр, М. С. Іванова // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 25, Ч. 1. – С. 161–166.

Здобувачем експериментально досліджено точнісні можливості запропонованої конструкції базуючої призми при обробці ступінчастих валів на фрезерних верстатах з ЧПК.

13. Іванов В. О. Дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної оснастки / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 99–105.

Здобувачем визначено пружні переміщення у базуючих модулях для встановлення ступінчастих валів, які виникають під дією сил різання.

14. Іванов В. О. Вибір базуючих модулів для встановлення валів при обробці на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, К. С. Вараксіна // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2009. – Вып. 76. – С. 55–62.

Здобувачем визначено похибки базування валів у базуючих модулях за теорією розмірних ланцюгів, розроблено математичні формули для визначення часу переналагодження базуючих модулів при зміні типорозміру заготовок.

15. Іванов В. О. Швидкопереналагоджувана технологічна оснастка / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр // Авиационно-космическая техника и технология. – Харків : НАУ ім. Н.Е. Жуковського “ХАІ”, 2009. – № 10 (67). – С. 78–81.

Здобувачем запропоновано швидкопереналагоджувані базуючі модулі для встановлення корпусних деталей, а також затискний модуль для закріплення заготовок при обробці на верстатах з ЧПК.

16. Пат. на корисну модель № 27551 Україна, МПК (2006) В23В 39/00; В23Q 3/06. Губки верстатних лещат / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПИ”. – № у 2007 05589; заявл. 21.05.07; опуб. 12.11.2007, Бюл. № 18.

Здобувачем розроблено конструкцію губок верстатних лещат.

17. Пат. на корисну модель № 29823 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Призма регульована / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПИ”. – № у 2007 11451; заявл. 15.10.07; опубл. 25.01.08, Бюл. № 2.

Здобувачем розроблено конструкцію призми, що регулюється.

18. Пат. на корисну модель № 29824 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Упор регульований / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 11452; заявл. 15.10.07; опубл. 25.01.08, Бюл. № 2.

Здобувачем розроблено конструкцію упора, що регулюється.

19. Пат. на корисну модель № 30999 Україна, МПК (2006) В23Q 3/06. Оправка розтискна / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 11359; заявл. 15.10.07; опубл. 25.03.08, Бюл. № 6.

Здобувачем розроблено конструкцію розтискної оправки.

20. Пат. на корисну модель № 31000 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Опора регульована / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 11360; заявл. 15.10.07; опубл. 25.03.08, Бюл. № 6.

Здобувачем розроблено конструкцію опори, що регулюється.

21. Пат. на корисну модель № 31416 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Базуюча призма, що автоматично регулюється / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 12864; заявл. 20.11.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.

Здобувачем розроблено механізм регулювання установочних елементів.

22. Пат. на корисну модель № 31468 Україна, МПК (2006) В23В 39/00, В23Q 3/06. Токарний самоцентруючий патрон з автоматичним приводом / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 13696; заявл. 07.12.07; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.

Здобувачем розроблено конструкцію токарного самоцентруючого патрона з автоматичним приводом.

23. Пат. на корисну модель № 31469 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Базуючий вузол / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2007 13697; заявл. 07.12.07; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.

Здобувачем розроблено механізм регулювання установочних елементів.

24. Пат. на корисну модель № 34438 Україна, МПК (2006) В23В 39/00, В23Q 3/06. Змінна плита / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2008 03381; заявл. 17.03.08; опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.

Здобувачем розроблено конструкцію змінної плити.

25. Пат. на корисну модель № 38073 Україна, МПК (2006) В23Q 3/00. Затискний модуль / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2008 07518; заявл. 02.06.08; опубл. 25.12.08, Бюл. № 24.

Здобувачем розроблено конструкцію затискного модуля.

26. Пат. на корисну модель № 44718 Україна, МПК (2006) В23В 39/00. Самоцентруюча збірна втулка для безззорного базування елементів верстатних пристроїв / Карпусь В.Є., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2009 04846; заявл. 18.05.09; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19.

Здобувачем розроблено конструкцію самоцентруючої збірної втулки для безззорного базування елементів ВП.

27. Іванов В. А. Повышение эффективности технологической оснастки станков / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов, А. В. Котляр, А. Н. Цымбал // Автоматизация: проблемы, идеи, решения (АПИР–12): матер. 12-й Междунар. науч.-техн. конф., 15–17 октября 2007 г., Тула. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2007. – С. 214–217.

Здобувачем запропоновано перспективні напрямки підвищення ефективності застосування ВП в умовах багатомономенклатурного виробництва.

28. Иванов В. А. Оптимизация выбора установочно-зажимных приспособлений для станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов // Современные проблемы машиностроения : труды IV Междунар. науч.-техн. конф., 26–28 ноября 2008 г., Томск. – Томск : Изд-во ТПУ, 2008. – С. 627–632.

Здобувачем запропоновано математичну модель для багатокритеріального вибору оптимальних компоновок ВП.

29. Иванов В. О. Шляхи розширення технологічних можливостей металорізальних верстатів / В. Є. Карпусь, В. О. Иванов, О. В. Котляр, М. С. Иванова // Настоящи изследвания – 2009 : матер. за 5-та междунар. научна практ. конф., 17–25 януари 2009 г., София, Болгария. – София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2009. – Т. 13. – С. 42–44.

Здобувачем обґрунтовано доцільність застосування системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв для обробки деталей на верстатах з ЧПК.

30. Иванов В. О. Анализ пружних деформаций элементов технологической оснастки верстатов з ЧПК / В. Є. Карпусь, В. О. Иванов, О. В. Котляр // Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2009 : materialy V miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, 07–15 czerwca 2009 roku, Przemysl, Poland. – Przemysl : Nauka i studia, 2009. – Vol. 22. – P. 55–59.

Здобувачем досліджено вплив пружних деформацій, які виникають при обробці деталей, на точнісні можливості компоновок ВП.

АНОТАЦІЇ

Іванов В.О. Вибір оптимальних компоновок верстатних пристроїв для верстатів з ЧПК. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010 р.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми підвищення ефективності використання верстатів з ЧПК в умовах багатомономенклатурного виробництва шляхом вибору оптимальних компоновок верстатних пристроїв. Запропоновано систему багатокритеріальної оптимізації, яка дозволяє здійснювати вибір оптимальних компоновок верстатних пристроїв з урахуванням їх конструктивно-технологічних характеристик та виробничих умов на основі множини сформованих конкуруючих варіантів. Для підвищення гнучкості та скорочення витрат часу, пов'язаних з переналагодженням верстатних пристроїв, вперше запропоновано та обґрунтовано доцільність створення системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв. Розроблено та запатентовано систему функціональних елементів з високим ступенем гнучкості та запропоновано спосіб безазорного базування елементів верстатних пристроїв. Обґрунтовано методологію визначення похибок базування заготовок валів в універсально-збірних переналагоджуваних пристроях з урахуванням їх конструктивних параметрів та граничних розмірів заготовок у партії. Аналітично та експериментально доведено доцільність застосування системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв для обробки деталей на верстатах з ЧПК на прикладі обробки ступінчастих валів.

Ключові слова: гнучке виробництво, точність, гнучкість, синтез верстатних пристроїв, багатокритеріальна оптимізація, універсально-збірний переналагоджуваний пристрій.

Иванов В.А. Выбор оптимальных компоновок станочных приспособлений для станков с ЧПУ. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения эффективности применения станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства путем выбора оптимальных компоновок станочных приспособлений для определенных производственных условий. Предложена система многокритериальной оптимизации, позволяющая выполнять выбор оптимальных компоновок станочных приспособлений с учетом их конструктивно-технологических характеристик и производственных условий на основе множества сформированных конкурирующих вариантов. Конкурирующие варианты компоновок станочных приспособлений формируются в соответствии с предложенным принципом на основе исходных данных и сведений из библиотеки функциональных элементов.

Для повышения гибкости и сокращения затрат времени, связанных с переналадкой станочных приспособлений, впервые предложена и обоснована целесообразность создания системы универсально-сборных переналаживаемых приспособлений, которая позволила объединить преимущества систем сборных и переналаживаемых приспособлений, а именно: агрегатно-модульный принцип компоновки и возможность переналадки, в том числе автоматизированной. Разработана и запатентована система функциональных элементов, характеризующихся высокой степенью гибкости. Для повышения точности сборки компоновок станочных приспособлений предложен способ безззорного базирования элементов.

Обоснована методология и разработаны математические зависимости для определения погрешностей базирования валов в универсально-сборных переналаживаемых приспособлениях с учетом их конструктивных параметров и предельных размеров заготовок в партии запуска. По теории размерных цепей определены погрешности базирования валов в призмах с учетом точности изготовления установочных элементов, участвующих в переналадке. Конечноэлементный анализ напряженно-деформированного состояния компоновок станочных приспособлений позволил определить погрешности, связанные с упругими деформациями в результате действия сил резания.

Экспериментальные исследования и производственные испытания на примере обработки ступенчатых валов подтвердили целесообразность применения системы универсально-сборных переналаживаемых приспособлений для обработки деталей на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства с целью сокращения подготовительно-заключительной составляющей нормы времени, связанной с переналадкой станочного приспособления для обработки деталей другой номенклатуры.

Результаты диссертационных исследований внедрены в производство изделий насосного оборудования на БПО “Сумы” СРНУ ОАО “Укртранснафта” (г. Сумы), ОАО “Сумский завод “Насосэнергомаш” (г. Сумы) и НПП “Насостехкомплект” (г. Сумы).

Ключевые слова: гибкое производство, точность, гибкость, синтез станочных приспособлений, многокритериальная оптимизация, универсально-сборное переналаживаемое приспособление.

Ivanov V.O. The choice of optimal fixtures for computer numerical control machine-tools. – Manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical Sciences majoring in 05.02.08 – Machine Manufacturing Technology. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2010.

The thesis is dedicated to solving the problem of effectiveness increase of CNC machine-tool application in multiproduct manufacture by means of optimal fixture choice. Multicriteria optimization system allowing for realizing the choice of optimal fixtures with a glance of constructive-technological characteristics of fixture elements and production conditions on the basis of multitude of generated competitive variants is suggested. To increase the flexibility and reduce the time cost related to fixture change-over the reasonability of modular reusable fixture system development is proposed for the first time. The system of functional elements with high level of flexibility is developed and patented and zero clearance locating method of fixture elements is offered. The methodology of error estimation of workpiece shaft locating at modular reusable fixtures with a glance of their constructive parameters and boundary sizes of batch workpieces is grounded. The reasonability of modular reusable fixture system application for machining details on CNC machine-tools is proved analytically and experimentally by the example of multidiameter shafts.

Keywords: flexible manufacture, accuracy, flexibility, synthesis of fixtures, multicriterion optimization, modular reusable fixture.

Підписано до друку 19.04.2010 р. Формат 60x90/16.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр.
Ум. друк. арк 1,1. Замовлення № 550

Папір ксерокс.
Гарнітура Times New Roman Cyr.
Друк офс.

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК № 3062 від 17.12.2007 р.
Надруковано у друкарні СумДУ
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007.