

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Абдул Аль Мохсен Алі Аламеддін

УДК 621.91

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВАЛІВ
У СЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Карпусь Владислав Євгенович
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків
професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мироненко Євген Васильович
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
професор кафедри металорізальних верстатів та інструментів

кандидат технічних наук, доцент
Тріщ Роман Михайлович
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків
докторант кафедри технологій і управління якістю в машинобудуванні

Провідна установа: Державне підприємство "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування" Міністерства промислової політики України, м. Харків

Захист відбудеться 18 травня 2006 р. о 14⁰⁰ 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 у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий 7 квітня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В конструкціях машин і механізмів основними деталями для передачі обертального руху та моментів є вали, різні за формою, розмірами і матеріалом. Найбільш поширені ступінчасті вали середніх розмірів діаметром 30 ... 80 мм та довжиною 150 ... 1000 мм.

При виготовленні валів переважає токарна обробка, яка в умовах серійного виробництва відзначається багатоваріантністю. В залежності від конструктивно-технологічних особливостей деталей та величини виробничої програми вали середніх розмірів можуть оброблятися на токарно-гвинторізних верстатах з ручним управлінням (РУ), токарних патронно-центрових верстатах з ЧПК, багаторізцевих і копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах.

Традиційно вибір найвигіднішого варіанту технологічного процесу є складною і трудомісткою техніко-економічною задачею, пов'язаною з великим об'ємом технологічних та економічних розрахунків. Відсутні методики, що дозволяли б з високою достовірністю та мінімальною трудомісткістю обґрунтувати техніко-економічну доцільність використання певної моделі верстата для обробки конкретної деталі. Не в повній мірі використовуються також можливості багаторізцевої обробки, а на токарних верстатах з ЧПК вона взагалі не застосовується. Тому розробка спрощеної методики оптимального вибору технології токарної обробки валів у серійному виробництві з урахуванням їх конструктивно-технологічних характеристик і величини виробничої програми, а також оптимального рівня концентрації технологічних переходів як на багаторізцевих напівавтоматах, так і токарних верстатах з ЧПК є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ "ХПІ", по підвищенню ефективності процесів механічної обробки, що входить в комплексні цільові науково-технічні програми України КЦНТП-14 і КЦНТП-22. Робота виконувалася у відповідності до договору про науково-технічне співробітництво кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ "ХПІ" та Державного підприємства Харківський машинобудівний завод "ФЕД", де здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності токарної обробки валів у серійному виробництві шляхом вибору оптимального варіанту токарної технологічної операції з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик деталей і величини виробничої програми, а також розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності токарних верстатів з ЧПК та оптимізації багаторізцевої обробки.

Задачі дослідження:

1. Техніко-економічне обґрунтування умов ефективного використання токарних верстатів.

2. Розроблення методики укрупненого визначення норм часу на обробку валів на різних типах токарних верстатів за допомогою критерію інтенсивності формоутворення.

3. Підвищення інтенсивності та продуктивності обробки на токарних верстатах з ЧПК шляхом здійснення паралельної концентрації технологічних переходів.

4. Оптимізація параметрів багатойнструментної обробки на багаторізцевих та копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси токарної обробки валів середніх розмірів.

Предмет дослідження – інтенсифікація обробки зовнішніх циліндричних поверхонь багаторізцевими наладками на токарних верстатах з ЧПК, багаторізцевих та копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження виконувалися на базі теоретичних основ технології машинобудування, теорії різання металів, технологічної динаміки, ймовірного моделювання і математичної статистики. Достовірність висновків теоретичних розробок підтверджена результатами експериментальних досліджень, виконаних в лабораторних та виробничих умовах на токарному верстаті з ЧПК моделі 16K20T1 з використанням розробленої технологічної оснастки.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі системного аналізу часових співвідношень елементів робочих циклів обробки на різних типах токарних верстатів і їх впливу на інтенсивність формоутворення, а також економічних витрат запропонована методика вибору найвигіднішого варіанту токарної обробки валів з урахуванням їх конструктивно-технологічних характеристик, величини виробничої програми та оптимального рівня концентрації технологічних переходів, до якої входять:

- запропонована методика техніко-економічного обґрунтування умов ефективного використання токарних верстатів на основі укрупненого нормування процесів токарної обробки на різних типах токарних верстатів;

- вперше теоретично і експериментально обґрунтована можливість та ефективність паралельної концентрації технологічних переходів на токарних верстатах з ЧПК, що мають револьверні інструментальні головки;

- результати моделювання напружено-деформованого стану різців, встановлених в багаторізцевий тримач, методом кінцевих елементів, а також експериментальні дослідження, що підтвердили високі точнісні можливості багаторізцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК;

- розроблена методика вибору оптимальної стійкості багаторіцевих наладок на основі критерію інтенсивності формоутворення, а також величини подачі з урахуванням заданої точності обробки;

- обґрунтований вибір найвигіднішої стратегії обслуговування різців наладки з урахуванням їх надійності в результаті ймовірного моделювання процесу багаторіцевої обробки.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена інженерна методика вибору найвигіднішого варіанту токарної обробки валів середніх розмірів на основі укрупненого визначення норм часу, яка дозволяє у виробничих умовах з мінімальною трудомісткістю здійснити вибір найвигіднішого варіанту токарної операції.

Для запатентованої конструкції багаторіцевого тримача розроблена конструкторська документація та технологічний процес його обробки на верстаті з ЧПК, за яким виготовлений дослідний зразок, що успішно пройшов виробничу апробацію.

Розроблена інженерна методика вибору оптимальних режимів багаторіцевої обробки та рекомендації по впровадженню ефективної виробничої системи обслуговування інструментів багаторіцевих наладок.

Вказані методики та конструкторсько-технологічна документація передані для виробничого впровадження на Державне підприємство Харківський машинобудівний завод "ФЕД".

Особистий внесок здобувача. Результати дослідження отримані здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку на міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (2003, 2004, 2005 р., м. Харків); міжнародній науково-технічній конференції "Фізичні та комп'ютерні технології в народному господарстві" (2003, 2004 р., м. Харків); міжнародній конференції "Прогресивна техніка і технологія - 2003" (2003 р., м. Севастополь); міжнародній науково-методичній конференції "Технології XXI століття" (2003 р., м. Алушта); міжнародному науковому семінарі "Високі технології в машинобудуванні" – "Інтерпартнер" (2003, 2005 р., м. Алушта); міжнародній науково-технічній конференції "Машинобудування і техносфера XXI століття" (2003, 2004 р., м. Севастополь); науково-практичній конференції "Проблеми забезпечення внутрішньої безпеки держави" (2005 р., м. Харків).

В повному об'ємі дисертація доповідалась на науковому семінарі кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ "ХП" (2006 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 21 наукову працю, серед яких 11 статей у спеціальних фахових наукових виданнях, затверджених переліком ВАК

України і 1 патент України на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та п'яти додатків. Повний обсяг дисертації складає 155 сторінок, з них 61 ілюстрація по тексту, 23 ілюстрації на 14 сторінках, 19 таблиць по тексту, 1 таблиця на 1 сторінці, 5 додатків на 12 сторінках, 102 використаних літературних джерела на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета і задачі дослідження, визначені її наукова новизна і практична цінність.

У першому розділі виконаний аналіз технологічних особливостей та продуктивності обробки валів середніх розмірів в умовах серійного виробництва на різних типах токарного металорізального обладнання: токарно-гвинторізних верстатах з РУ, токарних верстатах з ЧПК, багаторізцевих і копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах. Відзначається, що в умовах сучасного машинобудівного виробництва широко використовуються токарні патронно-центрові верстати з ЧПК середнього розміру мод. 16K20T1 і гами 16K20Ф3, оснащені револьверними інструментальними головками. Виробничий досвід експлуатації верстатів з ЧПК свідчить про те, що при обробці валів середньої складності підвищення продуктивності порівняно з токарно-гвинторізними верстатами з РУ становить 1,9 ... 2,0 рази. Разом з тим вартість верстатів з ЧПК більша приблизно на порядок. Тому найважливішою умовою більш ефективного і широкого використання верстатів з ЧПК є подальше скорочення невідповідності між їх продуктивністю та вартістю. Враховуючи те, що непродуктивні витрати часу при обробці на токарних верстатах з ЧПК складають не більше 25 ... 30% штучного часу, подальше скорочення допоміжного часу без одночасного скорочення основного часу не може дати бажаного ефекту. Як відомо, перспективним напрямком підвищення продуктивності обробки є паралельна концентрація технологічних переходів, яка практично не реалізується на токарних верстатах з ЧПК.

При виготовленні досить великих виробничих партій деталей на багаторізцевих і копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах продуктивність обробки в значній мірі залежить від режимів різання, раціональної структури багаторізцевих наладок та ефективної стратегії обслуговування інструментів. Швидкість різання суттєво залежить від стійкості різального інструменту. Як показав аналіз виконаних раніше досліджень, стосовно багаторізцевої обробки при розрахунках швидкості різання доцільно використовувати стійкісну залежність, запропоновану проф. Клушиним М.І., яка враховує граничну стійкість інструменту. Для досягнення заданої точності обробки при вибраних глибині та швидкості різання необхідно призначити подачу в залежності від жорсткості технологічної системи.

Важливим фактором, що сприяє підвищенню продуктивності багатоінструментної обробки є правильна організація заміни інструментів, що затупилися. В результаті аналізу публікацій зроблено висновок, що вибір найвигіднішого способу заміни різців багатоінструментних наладок слід здійснювати з урахуванням ймовірного характеру стійкості інструментів та часу їх заміни.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовані мета і задачі дисертаційного дослідження, спрямовані на підвищення ефективності токарної обробки валів середніх розмірів у серійному виробництві.

У другому розділі запропонована методика техніко-економічного обґрунтування умов ефективного використання токарного металорізального обладнання на основі укрупненого визначення норм часу при обробці на різних типах токарних верстатів.

Як економічний критерій вибору найвигіднішого варіанту токарної технологічної операції нами прийняті річні приведені затрати з урахуванням факторів, що відрізняються для порівнюваних варіантів. Границя областей ефективного використання двох варіантів металорізальних верстатів, призначених для виконання однієї технологічної задачі, визначається із умови рівності економічних затрат.

Рівняння границі ефективності порівнюваних варіантів має такий вигляд:

$$q = \frac{z_{32} - N_{32} \cdot T_{пз2} \cdot N_d / \Phi_0 \cdot C_{т1} / N_d + C_{но1}}{z_{31} - N_{31} \cdot T_{пз1} \cdot N_d / \Phi_0 \cdot C_{т2} / N_d + C_{но2}}$$

де $T_{пз1}$, $T_{пз2}$ – підготовчо-заклучний час для токарних операцій першого та другого варіантів відповідно, год;

$C_{т1}$, $C_{т2}$ – річна технологічна собівартість токарних операцій першого та другого варіантів відповідно, грн;

$C_{но1}$, $C_{но2}$ – річна вартість наладки верстата і додаткового обладнання першого та другого варіантів відповідно, грн;

N_d – кількість типорозмірів деталей, що підлягають обробці на порівнюваних верстатах протягом року, шт;

N_{31} , N_{32} – число запусків деталей одного типорозміру протягом року для першого та другого варіантів відповідно, шт;

z_{31} , z_{32} – коефіцієнт завантаження верстата для першого та другого варіантів відповідно;

Φ_0 – ефективний річний фонд робочого часу при двозмінній роботі верстата, год;

q – відносна продуктивність.

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{N_d} T_{штi2}}{\sum_{i=1}^{N_d} T_{штi1}}$$

де $T_{штi1}$, $T_{штi2}$ – штучний час обробки деталі i -го типорозміру за першим та другим

варіантом відповідно, хв.

Після підстановки вихідних даних, що характеризують обробку на порівнюваних верстатах і виконання необхідних перетворень отримали залежності для визначення границь областей ефективного використання кожного з варіантів. Графічна інтерпретація таких залежностей показана на рис. 1. Наведені графіки дозволяють визначити, при яких значеннях відносної продуктивності q та характеристики серійності N_d деталей доцільно виготовляти на кожному з порівнюваних верстатів. Якщо точка, що відповідає цим даним розміщується, наприклад, нижче графіка 1, то доцільно виконувати обробку на токарно-гвинторізному верстаті з РУ, а якщо вище, то на токарному верстаті з ЧПК.

Для вибору металорізального верстата необхідно знати відносну продуктивність обробки q , тобто штучний час на обробку даної деталі на кожному з порівнюваних верстатів, що при традиційному технологічному проектуванні пов'язано з трудомісткими розрахунками.

Тому нами запропонована методика укрупненого визначення норм часу з використанням критерію інтенсивності формоутворення, структура якого відповідає структурі норми часу на операцію та показника штучної продуктивності обробки, а саме: технологічна продуктивність процесу механічної обробки визначається технологічною інтенсивністю формоутворення W_T , циклова інтенсивність формоутворення $W_{Ц}$ відповідає цикловій продуктивності, а нормативна інтенсивність формоутворення W_H , що розраховується з використанням штучного часу, визначає фактичну продуктивність. В залежності від виду і умов обробки інтенсивність формоутворення може оцінюватись показниками лінійної інтенсивності формоутворення, інтенсивності формоутворення поверхні та об'ємної інтенсивності формоутворення. Порівняльний аналіз результатів технологічних розрахунків для токарної обробки ступінчастого вала показав, що точніші результати забезпечує використання показника лінійної інтенсивності формоутворення.

Основний (технологічний) час на обробку деталі визначається технологічною інтенсивністю формоутворення W_T , тобто

$$T_0 = L / W_T = L / n \cdot S_0,$$

де L – довжина робочого ходу інструменту, мм;

n, S_0 – елементи режиму різання.

За допомогою програмного забезпечення шляхом апроксимації нами отримані аналітичні залежності $W_T = f(d)$ для різних умов обробки. Наприклад при чорновому точінні сталевого вала твердосплавним різцем на токарному верстаті з ЧПК

$$W_T = 1 / (2,22 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,144 \cdot 10^{-3}).$$

Час циклу автоматичної роботи $T_{ЦА}$ токарного верстата з ЧПК за програмою розраховується за формулою

$$T_{ЦА} = L / W_T \cdot K_{РЦ},$$

де $K_{РЦ}$ – поправочний коефіцієнт.

$$K_{РЦ} = K_{РЦН} \cdot K_{РЦд} \cdot K_{РЦЦ},$$

де $K_{РЦН}$ – нормативна величина коефіцієнту;

$K_{РЦд}$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від діаметру заготовки;

$K_{РЦЦ}$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від довжини обробки.

При чорновому точінні сталевго вала твердосплавним різцем

$$K_{РЦ} = 0,137 \cdot L \cdot (8,702 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,563) / (128,468 + L),$$

$$T_{ЦА} = 1,22 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,144 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{128,468 + L}{192 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,077}.$$

Враховуючи, що час на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби в даному випадку становить 7% від оперативного, отримуємо аналітичну залежність для визначення штучного часу $T_{Ш}$ для тих же умов обробки на токарному верстаті з ЧПК:

$$T_{ШП} = 1,22 \cdot 10^{-5} \cdot d + 1,144 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{126,452 + L}{1228 \cdot 10^{-3} \cdot d + 0,075}.$$

Аналогічно отримані залежності для укрупненого визначення норм часу при чорновому та чистовому точінні швидкорізальними і твердосплавними різцями заготовок зі сталі, чавуну та алюмінію на різних типах токарних верстатів. Підставляючи в ці формули параметри обробки (діаметр d і довжину робочого ходу інструменту L) отримуємо штучний час обробки. При обробці ступінчастого вала його попередньо приводять до гладкого, визначивши діаметр приведенного вала, як середньозважену величину. Похибки укрупненого визначення норм часу на токарні операції не перевищують $\pm 5\%$.

При порівнянні варіантів токарної обробки валів за базовий, звичайно, приймають обробку на токарно-гвинторізному верстаті з РУ. Кожний ступінчастий вал з однієї виробничої партії можна обробити на ньому як за одну, так і за декілька операцій, економлячи час на налагодженні верстата, але при цьому збільшуються витрати часу на установку-зняття деталей. Вибір найвигіднішої послідовності обробки партії ступінчастих валів залежить від їх конструкції, маси і величини виробничої партії. Нами отримана формула визначення критичної величини партії деталей $\bar{N}_П$, для якої рівноцінними є обидва варіанти. При менших партіях вигідною буде одноопераційна обробка, а при більших – багатоопераційна.

$$\bar{N}_П = 0,126 \cdot m \cdot n_{СТ} + 0,108 \cdot n_{СТ} + 0,54 \cdot m + 0,44,$$

де m – маса деталі, кг;

$n_{СТ}$ – число оброблюваних поверхонь вала, шт.

В третьому розділі дисертації розглянуті питання, пов'язані з підвищенням продуктивності і розширенням технологічних можливостей токарних верстатів з

ЧПК моделей 16K20T1 і гами 16K20Ф3, оснащених револьверними інструментальними головками. Вперше запропонований спосіб багаторізевої обробки на цих верстатах і багаторізцевий тримач (деклараційний патент України №67945А) для його реалізації, показаний на рис. 2, 3.

З метою вивчення технологічних можливостей багаторізевої обробки були проведені аналітичні дослідження пружно-деформованого стану різців та багаторізцевого тримача в процесі обробки методом кінцевих елементів з використанням програми ЕОМ. Ступінь деформації різців та тримача залежить від характеру і величини навантажень, точок прикладення та напрямку дії сил. Виконано дослідження пружних переміщень різців для дво- та триінструментних наладок. При моделюванні змінювалась величина поздовжнього L_p та поперечного L_b вильотів різців. На рис. 4 показані пружні деформації різців вздовж осей Y та Z .

Для оцінки точності багаторізевої обробки та достовірності аналітичних розрахунків на ЕОМ з визначення пружних деформацій виконані експериментальні дослідження точності обробки гладкого вала дворізевою наладкою на токарному верстаті з ЧПК мод. 16K20T1. За результатами експериментальних досліджень побудована схема формування похибки обробки вала, особливістю якої є наявність, так званої, зворотної конусності, що суттєво зменшує величину сумарної похибки форми і розмірів деталі.

Як видно з табл. 1, результати аналітичних та експериментальних досліджень підтверджують хороші точнісні характеристики багаторізевої обробки на токарних верстатах з ЧПК.

Таблиця 1

Результати досліджень деформації різців та тримача

№ серії дослідів	L_p , мм	L_b , мм	S_0 , мм/об	Середнє зміщення різців, мм	
				Експеримент	Моделювання
1	55	50	0,5	0,04	0,03
2	110	50	0,5	0,04	0,04
3	110	50	0,3	0,04	0,03
4	110	50	0,1	0,05	0,02
5	110	70	0,5	0,07	0,06

Порівняльний аналіз продуктивності та інтенсивності чорнової обробки ступінчастого вала на токарно-гвинторізному верстаті з РУ мод. 16K20, а також токарному верстаті з ЧПК мод. 16K20Ф3С2 при одно- та багаторізцевій обробці підтверджує, що застосування розроблених багаторізцевих тримачів дозволяє суттєво підвищити продуктивність обробки та інтенсивність формоутворення на токарних верстатах з ЧПК (рис. 5).

В четвертому розділі розглядаються питання оптимізації багатоінструментної обробки на багаторізцевих та копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах, які доцільно використовувати при обробці досить великих виробничих партій валів середніх розмірів. Оптимальна інтенсивність та продуктивність багаторізцевої обробки визначається вибором раціонального числа інструментів в наладці, оптимізацією режимів різання з урахуванням точності обробки та вибором найвигіднішого способу заміни різців наладки.

При розрахунках швидкості різання важливе значення має фізична залежність між стійкістю інструменту T та швидкістю різання V . При багатоінструментній обробці доцільно використовувати стійкісну залежність, запропоновану проф. Клушиним М.І., в якій враховується гранична стійкість інструменту T_{Π} , що не може бути збільшена за рахунок зменшення швидкості різання.

Ця залежність має вигляд

$$V = C_V \cdot K_V \cdot 100 \cdot \left[\frac{T_{\Pi} - T}{T_{\Pi}} \right]^{\mu} \cdot \left[\frac{T}{T_{\Pi}} \right]^{\nu} / x^{\nu},$$

де C_V – коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного та інструментального матеріалу, виду інструменту;

x – характеристика різання;

ν, μ – показники степені.

Збільшення витрат часу на заміну та налагодження різців при багаторізцевій обробці вимагає збільшення розрахункового періоду стійкості в залежності від числа різців в наладці. Рекомендації, наведені в технологічних довідниках, значно відрізняються між собою і не дозволяють враховувати конкретні умови обробки.

Комплексно проаналізувати вплив стійкості інструментів при багаторізцевій обробці на величину основного (технологічного) часу і часу на технічне обслуговування інструментів дозволяє критерій інтенсивності формоутворення. Основний час визначається величиною технологічної інтенсивності формоутворення W_T , а витрати часу на технічне обслуговування інструментів наладки враховуються за допомогою коефіцієнту обслуговування інструментів $K_{И}$, який визначається за формулою

$$K_{И} = 1 / \left(1 + \sum_{i=1}^{N_H} t_{Ci} \cdot \lambda_i / T_H \right),$$

де t_{Ci} – час заміни i -го різця, хв;

λ_i – коефіцієнт, що характеризує відношення довжини різання i -го різця до довжини робочого ходу супорта;

T_H – стійкість багаторізцевої наладки, хв;

N_H – число різців в наладці, шт.

На рис. 6 наведені графіки, що характеризують вплив стійкості різців, матеріалу заготовки та різальної частини інструменту (швидкорізальна сталь – ШС, твердий

сплав - ТС) на технологічну інтенсивність формоутворення, а також вплив стійкості різців і часу заміни одного інструменту на величину коефіцієнту обслуговування інструментів.

Комплексно врахувати вплив стійкості на інтенсивність багаторізевої обробки можна за допомогою показника інтенсивності формоутворення комплектом інструментів наладки, який розраховується за формулою

$$W_{\text{ин}} = \sum_{i=1}^{N_H} n_i \cdot S_{O_i} / \left(1 + \sum_{i=1}^{N_H} t_{C_i} \cdot \lambda_i / T_H \right) \rightarrow \max$$

Графіки на рис. 7 вказують на те, що число інструментів в наладці суттєво впливає на величину оптимального періоду стійкості різців.

Проведений аналіз показав, що величина оптимального періоду стійкості різців наладки залежить від числа інструментів, матеріалу заготовки та різальної частини різців, часу їх заміни. Діаметр оброблюваної поверхні та характер обробки (чорнова або чистова) на величину оптимальної стійкості різців не впливає.

На рис. 8 показані графіки залежності оптимальної стійкості різців багаторізових наладок від числа інструментів та матеріалу заготовок і різців. Як бачимо, найбільші періоди стійкості рекомендуються в довідниках технолога-машинобудівника та НДІТАвтопром. Рівень періодів стійкості багаторізових наладок, отриманих за розробленою методикою, значно нижчий і обґрунтовано дозволяє підвищити інтенсивність та продуктивність багаторізевої обробки.

Виконані за розробленою методикою розрахунки інтенсивності багаторізевої обробки показали, що максимальна інтенсивність формоутворення досягається при 6 ... 9 різцях у наладці.

Точність токарної обробки валів в значній мірі визначається величиною пружних деформацій оброблюваних заготовок, що залежать від динамічної дії сил різання, жорсткості технологічної системи та характеру закріплення деталі. Найбільший вплив на силу різання справляє подача і глибина різання. Але глибина різання залежить від величини припуску на обробку, тому зменшувати сили різання слід за рахунок зміни подачі.

При багаторізовому точінні жорстких заготовок відбувається тільки пружний відтиск їх на опорах, тому допустима величина подачі в цьому випадку визначається за формулою

$$S_o = \sqrt[3]{\frac{Y_{\text{доп}}}{\left(\frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{L} \cdot \left(\frac{L_2}{j_{\text{пб}}} + \frac{L_1}{j_{\text{зб}}} \right) \right) \cdot \sum_{i=1}^{N_H} 10 \cdot C_{\text{п}y_i} \cdot t_i^{\text{xп}y} \cdot V_i^{\text{nп}y} \cdot K_{\text{п}y_i}}}$$

де $j_{\text{суп}}$, $j_{\text{пб}}$, $j_{\text{зб}}$ – жорсткість супорта, передньої та задньої бабки відповідно, Н/мм;

$U_{\text{доп}}$ – допустима величина пружного відтиску технологічної системи, мм;

L – відстань між опорами, мм;

L_1, L_2 – відстані від опор передньої та задньої бабки до рівнодіючої сили різання відповідно, мм;

t – глибина різання, мм;

$K_{\text{ру}}$ – поправочний коефіцієнт;

$x_{\text{ру}}, y_{\text{ру}}, n_{\text{ру}}$ – показники степені.

На рис. 9, 10 показані графіки, які характеризують вплив числа різців у наладці та допустимої величини пружних відтисків на величину допустимої подачі при багаторізцевій обробці твердосплавними різцями сталевий заготовки довжиною 300 мм ($j_{\text{сп}} = 225000 \text{ Н/мм}$; $j_{\text{лб}} = 100000 \text{ Н/мм}$; $j_{\text{зб}} = 50000 \text{ Н/мм}$).

Як бачимо, збільшення числа різців у наладці вимагає суттєвого зменшення подачі, але збільшуючи допустимі відтиски $U_{\text{доп}}$, що можливо, бо багаторізцева обробка виконується при чорновому точінні, знижувати подачу можна менше.

На інтенсивність та продуктивність багаторізцевої обробки суттєво впливають витрати часу на технічне обслуговування інструментів наладки, які залежать від способу заміни різців при затупленні. Зважаючи на те, що періоди стійкості інструментів та час їх заміни є випадковими величинами, вибір найвигіднішого способу заміни різців слід виконувати методом ймовірнісного моделювання процесу багаторізцевої обробки, використовуючи наступну математичну модель:

$$P(T > t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t = 0; \\ 1 - e^{-t \cdot \Gamma \cdot (1 + 1/b) / \bar{T}_H^b}, & \text{если } t > 0; \end{cases} \quad P(t_c > t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t = 0; \\ e^{-t / \bar{t}_c}, & \text{если } t > 0. \end{cases}$$

При моделюванні аналізувались такі способи заміни різців:

- а) індивідуальна непланова заміна інструменту в результаті його затуплення;
- б) групова непланова заміна всіх інструментів наладки після відмови одного з них;
- в) групова планово-попереджувальна заміна всіх інструментів наладки при досягненні розрахункового періоду стійкості, причому інструменти, що відмовили раніше замінюються індивідуально.

Встановлено, що при низькій надійності різців ($b \leq 1$) найвигіднішою є індивідуальна заміна; при середній ($b = 2$) та високій ($b = 3$) надійності різців вигідною є групова непланова або групова планово-попереджувальна заміна в залежності від числа різців у наладці.

За розробленою методикою комплексної оптимізації багаторізцевої обробки виконані виробничі розрахунки продуктивності обробки на копіювальних багаторізцевих токарних напівавтоматах, що дозволило скоротити витрати часу на виготовлення ступінчастих валів на 10 ... 20%.

На підставі проведених досліджень розроблено інженерні методики вибору найвигіднішого варіанту токарної обробки ступінчастих валів середніх розмірів у серійному виробництві та визначення режимів багаторізевого точіння.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу вітчизняних та зарубіжних досліджень, присвячених оптимізації процесів токарної обробки валів в умовах серійного виробництва, яке відзначається широкою номенклатурою деталей та великим розкидом розмірів виробничих програм, а також багатоваріантністю технологічних процесів, встановлено, що основним фактором підвищення ефективності токарної обробки валів є вибір оптимального варіанту технологічного процесу з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик оброблюваних деталей, величини виробничої програми та оптимального рівня концентрації технологічних переходів на токарних операціях.

2. Техніко-економічне обґрунтування області ефективного використання різних типів токарного металорізального обладнання (токарно-гвинторізних верстатів з РУ, токарних верстатів з ЧПК, багаторізових і копіювально-багаторізових токарних напівавтоматів) здійснюється за розробленою методикою на основі укрупненого нормування часу обробки валів на різних типах токарних верстатів з використанням критерію інтенсивності формоутворення. Перевагою запропонованої методики є багаторазове скорочення витрат часу порівняно з традиційною методологією аналізу економічної ефективності та технічного нормування технологічних операцій, а також висока достовірність отриманих результатів (похибка визначення норм часу не перевищує 10%).

3. Теоретично та експериментально обґрунтована можливість та ефективність паралельної концентрації технологічних переходів на токарних верстатах з ЧПК, що мають револьверні інструментальні головки, та отриманий патент України на спосіб багаторізової обробки і конструкцію багаторізового тримача, як пристрою, за допомогою якого здійснюється багаторізова обробка на токарних верстатах з ЧПК.

4. Результати моделювання напружено-деформованого стану різців, встановлених в багаторізовому тримачі, методом кінцевих елементів, а також експериментальними дослідженнями підтверджують високі точнісні можливості багаторізової обробки на токарних верстатах з ЧПК. Причому, формування похибки обробки під дією пружних деформацій відбувається при наявності, так званої зворотної конусності у відтисках заготовки та багаторізового тримача, що суттєво зменшує величину сумарної похибки форми та розмірів деталі. Доведено, що багаторізова обробка на токарних верстатах з ЧПК з успіхом може застосовуватись при чорновому точінні.

5. Аналіз інтенсивності формоутворення та продуктивності багаторізової об-

робки на токарних верстатах з ЧПК показав, що в залежності від конструктивно-технологічних характеристик оброблюваних деталей і числа різців, установлених в багаторізцевому тримачі, продуктивність обробки підвищується в 1,7 ... 2,3 рази, що суттєво розширює область використання токарних верстатів з ЧПК в бік зменшення величини виробничої партії деталей.

6. Запропонована методика комплексної оптимізації багатоінструментної обробки на багаторізцевих та копіювально-багаторізцевих напівавтоматах, до якої входить обґрунтування оптимальної кількості різців у наладці, вибір найвигіднішої стійкості багаторізцевих наладок, а також величини подачі з урахуванням заданої точності обробки та способу заміни різців. Це дозволяє підвищити продуктивність багаторізцевої обробки на 10 ... 20%.

7. Розроблена методика вибору оптимальної стійкості різців наладки на основі критерію інтенсивності формоутворення враховує всі особливості технологічної операції. Установлено, що визначальний вплив на вибір оптимальної стійкості справляє кількість різців у наладці та час заміни одного різця, а також матеріал заготовки і різальної частини інструменту. Діаметри оброблюваних поверхонь на величину оптимальної стійкості різців не впливають.

8. За допомогою ймовірнісного моделювання процесу багаторізцевої обробки встановлено, що на вибір найвигіднішого способу заміни різців суттєво впливає надійність різального інструменту, яку доцільно аналізувати, використовуючи закон Вейбулла. Доведено, що різці, які мають низькі показники надійності ($b \leq 1$) слід міняти індивідуально за відмовами; при $b = 2$ ефективною буде групова заміна при відмові одного з різців, а при $b = 3$ найчастіше доцільна групова планово-попереджувальна заміна.

9. Виробниче використання результатів дисертаційного дослідження пов'язане з наданням розроблених методик укрупненого технічного нормування токарних операцій та оптимізації режимів багаторізцевої обробки, а також конструкторсько-технологічної документації на багаторізцевий тримач Державному підприємству Харківський машинобудівний завод "ФЕД" для впровадження у виробництво, про що складений відповідний акт. Виготовлений та успішно пройшов виробничу апробацію дослідний зразок багаторізцевого тримача.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Сравнение режимов токарной обработки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства.- Х.: ХДТУСГ, 2003.- Вип. 18.- С. 65-69.

Здобувач виконав розрахунки режимів різання за різними методиками.

2. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Технологическая интен-

сивність токарної обробки // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2003.- №8,- Т1.- С. 95-100.

Здобувач виконав розрахунки технологічної інтенсивності формоутворення.

3. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Выбор наивыгоднейшей стойкости многолезцовой наладки // Резание и инструмент в технологических системах.- Х.: НТУ "ХПІ".- 2003.- Вып. 65.- С. 73-78.

Здобувач обґрунтував вибір цільової функції та виконав розрахунки.

4. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Выбор наивыгоднейшей степени концентрации многолезцовой обработки // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2003.- №16.- С. 61-64.

Здобувач виконав розрахунки штучного часу для різних умов обробки валів.

5. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Нормирование обработки на многолезцовых копировальных токарных полуавтоматах // Резание и инструмент в технологических системах.- Х.: НТУ "ХПІ", 2004.- Вып. 66.- С. 73-78.

Здобувач розробив аналітичні залежності визначення норм часу на обробку.

6. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненное нормирование обработки на токарных станках с ЧПУ // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2004.- №28.- С. 38-42.

Здобувач розробив аналітичні залежності визначення норм часу на обробку.

7. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненный расчет времени обработки на токарно-винторезном станке // Високі технології в машинобудуванні.- Х.: НТУ "ХПІ".- 2004.- Вип. 2(9).- С. 95-98.

Здобувач розробив аналітичні залежності визначення норм часу на обробку.

8. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Выбор наивыгоднейшей структуры обработки партии ступенчатых валов на токарно-винторезном станке // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2004.- №44.- С. 97-102.

Здобувач запропонував методику дослідження і виконав розрахунки.

9. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Определение штучного времени обработки на токарных станках // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2005.- №39.- С. 8-16.

Здобувач виконав розрахунки і отримав формули визначення штучного часу.

10. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Точность и режимы многолезцовой обработки // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".- Х.: НТУ "ХПІ".- 2005.- №23.- С. 107-112.

Здобувач проаналізував вплив жорсткості технологічної системи на величину подачі.

11. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Выбор стратегии об-

служивания многолезцовых наладок // Резание и инструмент в технологических системах.- Х.: НТУ "ХПИ", 2005.- Вып. 68.- С. 247-254.

Здобувач виконав ймовірнісне моделювання процесу багаторізевої обробки.

12. Декл. пат. 67945А. Україна. В23 В1 / 00, В23 В29 / 24. Карпусь В.Є., Міловський Б.В., Абдул Аль Мохсен Алі Аламеддін; НТУ "ХПИ". Спосіб багаторізевої обробки та пристрій для його здійснення. - №2003076065; Заявл. 01.07.2003; Опубл. 15.07.2004. Бюл. №7.

Здобувач розробив конструкцію багаторізевого тримача.

13. Карпусь В.Є., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненное определение норм времени на токарные операции // Сборник трудов международной научно-технической конференции "Машиностроение и техносфера XXI века".- Донецк: ДонНТУ, 2003.- Т.2.- С. 30-34.

Здобувач розробив методику укрупненого технічного нормування.

14. Карпусь В.Є., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Определение условий эффективного применения токарных станков // Сборник трудов международной научно-технической конференции "Машиностроение и техносфера XXI века".- Донецк: ДонНТУ, 2004.- Т.2.- С. 61-64.

Здобувач розробив методику економічного аналізу технологічних процесів токарної обробки.

15. Карпусь В.Є., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Обоснование оптимального числа инструментов в многолезцовой наладке // Сборник научных статей по материалам 10-й международной научно-методической конференции "Технологии XXI века" / Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В.- Сумы: СНАУ, 2003.- Т.2.- С. 100-105.

Здобувач запропонував методику та виконав розрахунки оптимального числа різців.

16. Карпусь В.Є., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Укрупненная оценка экономической эффективности токарных операций //Труды 7-й Международной научно-технической конференции " Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве ".- Х.: ХНПК "ФЭД", 2003.- С. 76-78.

Здобувач отримав аналітичні залежності для економічного порівняння токарних операцій.

17. Карпусь В.Є., Миловский Б.В., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Многолезцовая обработка на токарных станках с ЧПУ // Бизнес-мост.- Х., 2004.- №4. - С. 20-21.

Здобувач запропонував конструкцію багаторізевого тримача.

18. Карпусь В.Є., Гаврылюк Ю.Р., Граница В.А., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Интенсификация процессов механической обработки // Бизнес-мост.- Х., 2004.- №6-7. - С. 74-77.

Здобувач запропонував способи інтенсифікації обробки на токарних верстатах з ЧПК.

19. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Обоснование выбора наиболее выгодного варианта токарной обработки // Труды 9-й Международной научно-технической конференции "Физические и компьютерные технологии".-Х.: ХНПК "ФЭД", 2004.- С. 84-87.

Здобувач обґрунтував методику вибору найвигіднішого варіанту токарної обробки.

20. Карпусь В.Е., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Выбор оптимальных параметров многолезцовой обработки // Бизнес-мост.- Х., 2005.- №9. - С. 14-16.

Здобувач запропонував методику оптимізації багаторізевої обробки.

21. Карпусь В.Є., Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин Аналіз економічності токарних технологічних операцій // Збірник тез науково-практичної конференції "Проблеми забезпечення внутрішньої безпеки держави".- Х.: ВІВВ МВС України, 2005.- С. 85.

Здобувач запропонував методику аналізу економічної ефективності токарних операцій.

АНОТАЦІЇ

Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Оптимізація токарної обробки валів у серійному виробництві. - *Рукопис*.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2006.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності токарної обробки валів у серійному виробництві шляхом вибору оптимального варіанту токарної технологічної операції з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик деталей і величини виробничої програми на основі підвищення інтенсивності формоутворення і продуктивності обробки на токарних верстатах з ЧПК, впровадивши багаторізцеву обробку, а також здійснивши оптимізацію параметрів багатоінструментної обробки на багаторізцевих і копіювально-багаторізцевих токарних напівавтоматах. Вибір оптимального періоду стійкості багаторізцевої наладки виконується на основі критерію інтенсивності формоутворення. За допомогою ймовірного моделювання процесу багаторізцевої обробки розроблені рекомендації щодо вибору раціонального способу заміни різців наладки.

Ключові слова: вали, точіння, багаторізцевий тримач, багаторізцева наладка, інтенсивність формоутворення, продуктивність, точність обробки, стійкість інструментів, моделювання.

Абдул Аль Мохсен Али Аламеддин. Оптимизация токарной обработки валов в серийном производстве. - Рукопись.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2006.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения эффективности токарной обработки валов в условиях серийного производства путем выбора оптимального варианта токарной технологической операции с учетом конструктивно-технологических характеристик деталей и величины производственной программы. Техничко-экономический анализ эффективности конкурирующих вариантов осуществляется с использованием норм времени, рассчитанных по разработанной методике укрупненного нормирования токарных операций, что многократно снижает трудоемкость расчетов.

Получены аналитические зависимости для укрупненного определения норм времени на черновое и чистовое точение быстрорежущими и твердосплавными резцами заготовок из стали, чугуна и алюминия на разных типах токарных станков на основании параметров обрабатываемых цилиндрических поверхностей. При обработке ступенчатого вала его предварительно приводят к гладкому, определяя величину средневзвешенного диаметра.

Важным фактором повышения интенсивности формообразования и производительности обработки является концентрация технологических переходов. В работе впервые теоретически и экспериментально обоснована возможность и эффективность параллельной концентрации технологических переходов на токарных станках с ЧПУ, оснащенных револьверными инструментальными головками. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния резцов, установленных в многорезцовой державке, методом конечных элементов, а также экспериментальные исследования подтверждают высокие точностные возможности многорезцовой обработки на токарных станках с ЧПУ.

Впервые предложена методика оптимизации параметров многоинструментной обработки на многорезцовых и копировально-многорезцовых токарных полуавтоматах на основе критерия интенсивности формообразования. Выбор оптимальной стойкости резцов наладки, соответствующей максимальной интенсивности формообразования, осуществляется с учетом количества резцов в наладке, времени смены одного инструмента, а также материала заготовки и режущей части резца. Подача определяется с учетом допускаемой величины упругих деформаций технологической системы.

С помощью вероятностного моделирования процесса многорезцовой обработки установлено, что на выбор способа замены резцов наладки существенно влияет их надежность и получены рекомендации по выбору оптимальной стратегии обслуживания многорезцовых наладок.

Установлено, что при низкой надежности резцов наивыгоднейшей является индивидуальная неплановая замена, а при средней и высокой надежности в зависимости от числа резцов в наладке следует применять групповую неплановую замену всех инструментов после отказа одного из них или групповую планово-предупредительную замену всех инструментов после достижения расчетного периода стойкости, причем резцы, отказавшие раньше заменяются индивидуально.

Ключевые слова: валы, точение, многорезцовая державка, многорезцовая наладка, интенсивность формообразования, производительность, точность обработки, стойкость инструментов, моделирование.

Abdul Al Mohsen Ali Alameddin. Optimization of turning of shaft in a series manufacturing. - Manuscript.

A thesis on the manuscript on competition of a scientific degree of candidate technical sciences on a trade 05.02.08 - manufacturing engineering. National technical university "Kharkov polytechnic institute", Kharkov, 2006.

The thesis is devoted to a solution of a problem of increase of efficiency of turning of shaft in a series manufacturing, by a select of optimum alternative of turning processing step in view of mechanically-technical characteristics on parts and size of the production program on a base of increase of intensity of formation and processing capacity on lathes from a PNC, having inserted block-type machining, and also having realized optimization of parameters it is many-instrumental machining on block-type and copy-block-type turning semi-automatic machines. The select of optimum phase of durability of block-type adjustment is fulfilled on a base of measure of intensity of formation. By means of stochastic modelling process of block-type machining guidelines designed at the choice of a rational mode of replacement of chisels of adjustment.

Keywords: shafts, turning, block-type holder, block-type adjustment, intensity of formation, efficiency, accuracy of processing, resistance of tools, modelling.

Підписано до друку 05.04.2006 р. Формат 60x84¹/₁₆. Папір КумЛух.
Друк - ризографія. Гарнітура Times. Обсяг 0,9 авт. арк.
Наклад 100 прим. Зам. 54.

Копіювальний центр "Моделіст",
61002, м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3