

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

Міненко Дем’ян Олександрович

УДК 621.91

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ
ОТВОРІВ НА БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

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


Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Миرونенко Євгеній Васильович,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
декан інженерно-економічного факультету,
професор кафедри металорізальних верстатів та інструментів

кандидат технічних наук
Сичов Юрій Іванович,
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків
декан машинобудівного факультету,
доцент кафедри автоматизованого виробництва в машинобудуванні

Захист відбудеться 15.01.2009 р. о 14:00 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 12.12.2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради


Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В конструкціях сучасних машин і механізмів необхідне взаємне розташування деталей, їхня орієнтація і з'єднання здійснюється, як правило, за допомогою отворів, які виконані у корпусних деталях. Найбільш продуктивним обладнанням, призначеним для обробки корпусних деталей в умовах багатомономенклатурного виробництва є багатоцільові верстати (БВ) свердлильно-фрезерно-розточувальної групи. Сучасні БВ – це високоавтоматизовані верстати, оснащені потужною системою ЧПК, які можуть вести обробку складних деталей з високим ступенем концентрації операцій, використовуючи сучасні різальні інструменти та передове технологічне оснащення. БВ забезпечують виконання великої номенклатури технологічних операцій без перебазування виробів, здійснюють автоматичну заміну інструменту та контроль за його станом, а також за якістю обробки. Технологічні операції, які виконуються на цих верстатах, відрізняються складністю та точністю, великим числом переходів і різноманітністю застосовуваних різальних інструментів, а висока вартість роботи такого обладнання вимагає найбільш ефективного використання його технологічних можливостей.

Одними з перспективних напрямків підвищення ефективності обробки отворів на БВ є зменшення часу на неформоутворюючі рухи і дії, застосування засобів технологічного оснащення, які дозволяють скоротити число різальних інструментів і технологічних переходів, вибору раціональної стратегії обслуговування інструментів. Невирішеною також залишається проблема обґрунтованого призначення оптимальних режимів обробки з врахуванням конструктивно-технологічних характеристик обладнання та виробничих умов.

Зважаючи на те, що останнім часом у світі помітна тенденція до значного збільшення частки БВ у загальному верстатному парку машинобудівних підприємств, підвищення ефективності використання БВ є серйозною науково-технічною та організаційною проблемою. Тому розробка науково-обґрунтованих методів розрахунків оптимальних режимів обробки на БВ, з враху-

ванням умов сучасної економічної ситуації, створення високопродуктивних допоміжних інструментів є актуальною науково-технічною проблемою, яка виступає основним напрямком дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною наукового напрямку кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і виконана в рамках держбюджетної роботи МОН України «Розробка наукових основ оптимізації процесів різання на основі їх комп'ютерного 3D-моделювання методом скінчених елементів» (№0106U003234).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення продуктивності і якості обробки отворів на багатоцільових верстатах свердлильно-фрезерно-розточувальної групи шляхом вибору оптимальних режимів різання, а також за рахунок зменшення числа технологічних переходів та різальних інструментів.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні задачі дослідження:

- обґрунтування вибору критерію оптимальності та математичної моделі оптимізації режимів обробки допоміжних отворів на багатоцільових верстатах;
- вибір найвигіднішої стратегії обслуговування різальних інструментів на багатоцільових верстатах;
- обґрунтування вибору найвигідніших режимів обробки основних отворів за допомогою дворізцевої розточувальної оправки з метою підвищення продуктивності обробки та якості поверхні отвору;
- розробка засобів технологічного оснащення операцій обробки отворів на багатоцільових верстатах, які дозволяють скоротити число технологічних переходів і різальних інструментів та підвищити ефективність обробки отворів.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обробки основних і допоміжних отворів.

Предмет дослідження – способи підвищення продуктивності і якості обробки основних і допоміжних отворів на багатоцільових верстатах.

Методи дослідження – аналітичні дослідження виконувалися на базі теоретичних основ технології машинобудування, теорії різання металів, ймовірного моделювання і математичної статистики, а також моделюванням методом скінченних елементів.

Достовірність висновків теоретичних розробок підтверджена результатами аналітичних та експериментальних досліджень, виконаних із застосуванням сучасних прикладних програм на ЕОМ, а також у лабораторних і виробничих умовах з використанням розробленої технологічної оснастки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що запропонований новий підхід до підвищення продуктивності та якості обробки отворів на багатоцільових верстатах, який передбачає скорочення числа технологічних переходів і різальних інструментів та обґрунтування вибору найвигідніших режимів обробки як допоміжних, так і основних отворів.

При цьому отримані такі нові результати:

1. Виявлено, що вибір найвигідніших режимів обробки допоміжних отворів слід виконувати комплексно з урахуванням структурного зв'язку між інструментами, які входять у технологічний комплект, необхідний для виконання обробки деталі.

2. Доведено, що для оптимізації режимів обробки допоміжних отворів на багатоцільових верстатах доцільно використовувати критерій “інтенсивність формоутворення”, на основі якого розроблено математичну модель вибору оптимальних режимів різання, рівень яких відповідає світовій тенденції впровадження високошвидкісної обробки.

3. Обґрунтовано вибір найвигіднішої стратегії обслуговування технологічного комплекту різальних інструментів на багатоцільових верстатах шляхом ймовірного моделювання процесу обробки з урахуванням числа інструментів, їх надійності та часу зміни.

4. Теоретично та експериментально обґрунтовано вибір оптимальних режимів обробки основних отворів запропонованою дворізцевою розточувальною оправкою, що забезпечують підвищення продуктивності обробки та якості поверхні отворів.

Практичне значення і реалізація одержаних результатів в промисловості.

1. Розроблено інженерну методика, яка дозволяє у виробничих умовах визначати оптимальні режими обробки отворів на багатоцільових верстатах.

2. Розроблено і запатентовано конструкції оправок для свердління отворів з додатковим спрямуванням інструмента, а також одночасним зенкуванням фаски отвору, які дозволяють скоротити число технологічних переходів та різальних інструментів.

3. Для запатентованої конструкції дворізцевої розточувальної оправки розроблено конструкторську документацію і технологічний процес її виготовлення та передано для впровадження на ВАТ "Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе". Проведені виробничі випробування підтвердили ефективність використання цієї оправки.

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень отримані самостійно. Здобувач здійснив наукове обґрунтування призначення оптимальних режимів обробки отворів на багатоцільових верстатах, а також розробив конструкції допоміжного інструменту, що забезпечує рішення важливої прикладної проблеми – підвищення продуктивності та якості обробки отворів на багатоцільових верстатах. Постановка задач дослідження й аналіз деяких результатів виконані разом з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися на: V Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво" (2005 р., Суми); 12-й міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии» (2006 р., Харків); XIII міжнародній науково-технічній конференції «Машиностроение и техносфера

XXI века» (2006 р., Севастополь); XV міжнародному науково-технічному семінарі «Высокие технологии: тенденции развития» (2006 р., Алушта); 13-й міжнародній науково-практичній конференції «Технологии XXI века» (2006 р., Алушта); Науково-технічному семінарі «Семковские молодежные чтения» (2006 р., Харків); XV міжнародній науково-практичній конференції «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (2007 р., Харків); 13-й міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии» (2007 р., Харків); 14-й міжнародній науково-методичній конференції «Технологии XXI века» (2007 р., Алушта); XIV міжнародній науково-технічній конференції «Машиностроение и техносфера XXI века» (2007 р., Севастополь); XII міжнародному конгресі двигунобудівників (2007 р., Рибаче); XVI міжнародному науково-технічному семінарі «Высокие технологии в машиностроении» INTERPARTNER - 2007 (2007 р., Алушта); Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету Сумського державного університету (2008 р., Суми).

У повному обсязі дисертація доповідалась і схвалена на розширених засіданнях кафедр: “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “ХПІ”; “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету; “Металорізальні верстати та інструменти” Донбаської державної машинобудівної академії.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 19 наукових праць, з них 9 статей у наукових виданнях, затверджених ВАК України як фахові і 3 деклараційних патенти України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, 5 додатків. Повний обсяг дисертації складає 143 сторінки; 66 ілюстрацій по тексту; 18 таблиць по тексту; 5 додатків на 15 сторінках; 95 використаних літературних джерела на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і завдання дослідження, визначені наукова новизна й практична цінність.

У першому розділі виконано аналіз конструктивних особливостей та технологічних можливостей сучасних БВ свердильно-фрезерно-розточувальної групи, а також технологічних особливостей обробки основних і допоміжних отворів на цих верстатах. У результаті проведеного аналізу виділено два основних напрямки підвищення ефективності роботи БВ: параметричний, що полягає в підвищенні продуктивності обробки за рахунок інтенсифікації режимів різання, та структурний, що пов'язаний з використанням прогресивного допоміжного інструменту, який дозволяє скоротити число технологічних переходів та різальних інструментів.

При виготовленні складних і трудомістких деталей на БВ продуктивність обробки в значній мірі залежить від режимів різання та ефективної стратегії обслуговування інструментів. Проведений аналіз конструкцій та технологічних характеристик БВ показав можливість і необхідність застосування високих режимів обробки. В результаті аналізу публікацій, присвячених вибору режимів різання та стратегії обслуговування інструментів на БВ, встановлено, що відсутні обґрунтовані методики розрахунків режимів обробки та вибору способу заміни інструментів. Призначення режимів обробки проводиться без врахування структурного взаємозв'язку між інструментами, що входять у технологічний комплект, необхідний для виконання обробки деталі на БВ.

Важливим етапом у проектуванні ефективного процесу обробки деталі є вибір допоміжного інструменту. На БВ свердильно-фрезерно-розточувальної групи не використовуються допоміжні інструменти, які здійснюють додаткове спрямування осевого різального інструменту під час обробки, не в повній мірі використовуються також допоміжні інструменти для багаторізевого розточування отворів, тоді як їх застосування дозволить скоротити число технологічних переходів і різальних ін-

струментів, підвищити продуктивність та якість обробки.

Незважаючи на значну кількість робіт, спрямованих на забезпечення ефективної експлуатації БВ, проблема підвищення продуктивності обробки отворів залишається остаточно не вирішеною і актуальною. Виходячи з цього в роботі сформульовані мета і задачі дисертаційного дослідження, спрямовані на підвищення продуктивності та якості обробки отворів на БВ свердильно-фрезерно-розточувальної групи.

У другому розділі запропоновано новий підхід до визначення оптимальних режимів обробки допоміжних отворів з урахуванням особливостей роботи інструментів у комплекті на БВ.

В результаті проведеного порівняльного аналізу різних критеріїв вибору найвигіднішого варіанту технологічної операції виявлено, що для оптимізації режимів різання на БВ найбільш доцільно використовувати критерій “інтенсивність формоутворення”, який має ієрархічну структуру, що складається, стосовно процесу обробки на БВ, з рівнів технологічної, циклової і нормативної інтенсивності формоутворення.

Технологічна інтенсивність формоутворення W_T , мм/хв комплектом ріжучих інструментів, необхідних для обробки деталі, характеризує фіктивну продуктивність верстата без урахування витрат часу на неформоутворюючі рухи і дії.

де n_i, S_{0i} - параметри режиму різання для i -го технологічного переходу;

N_{II} - число технологічних переходів, необхідних для обробки деталі, шт.

Циклова інтенсивність формоутворення W_{II} , мм/хв розраховується з урахуванням циклових витрат часу на швидкі переміщення деталі чи інструмента, зміну інструмента, установку і зняття деталі та ін., що оцінюються за допомогою коефіцієнту циклової інтенсивності формоутворення K_{II} .

$$W_{II} = W_T \cdot K_{II}.$$

Нормативна інтенсивність формоутворення W_H , мм/хв визначається з урахуванням позациклових витрат часу на технічне й організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок і особисті

потреби в процентах від оперативного часу ($a_{\text{мех}}$, $a_{\text{орб}}$, $a_{\text{омл}}$ відповідно), а також підготовчо-заключного часу $T_{ПЗ}$.

$$W_H = W_T \cdot K_H,$$

де K_H – коефіцієнт нормативної інтенсивності формоутворення

де T_{0i} – основний (технологічний) час виконання i -го переходу, хв; $T_{БП}$ – час швидких переміщень деталі чи інструмента, пов'язаний з виконанням i -го переходу, хв; $T_{СТj}$ – час зміни j -го інструмента після виконання технологічної задачі, хв; $T_{СЛj}$ – час зміни j -го інструмента після випадкової відмови, хв; T_j – розрахунковий період стійкості j -го інструмента, хв; N_K – кількість інструментів у технологічно необхідному для обробки деталі комплекті, шт; $T_{СЗ}$ – час зміни заготовки, хв; $T_{ПЗ}$ – підготовчо-заключний час, хв; N_D – величина виробничої партії деталей, шт.

З урахуванням технічних обмежень по максимальній та мінімальній частоті обертання ($n \geq n_{\text{н\delta min}}$, $n \leq n_{\text{н\delta max}}$); максимально та мінімально допустимій подачі ($S \geq S_{\text{н\delta min}}$, $S \leq S_{\text{н\delta max}}$), допустимому крутному моменту ($\dot{M} \leq \dot{M}_{\text{н\delta max}}$) та ін. Математична модель вибору режимів різання, яка забезпечує максимальну інтенсивність формоутворення при свердлінні отворів на БВ, має вигляд:

В результаті аналітичних досліджень процесу обробки отворів у корпусних деталях із сірого чавуну спіральними свердлами, з ріжучою частиною, оснащеною твердим сплавом ВК6, виконаних за різними критеріями оптимальності, встановлено, що особливістю роботи інструментів в комплекті є їх взаємний вплив. Заміна або технічне обслуговування одного з інструментів змушує простоювати інструменти всього технологічного комплекту, а тому вибір найвигідніших режимів обробки допоміжних отворів слід здійснювати з урахуванням сумарних затрат часу на обслуговування інструментів всього комплекту. Слід зазначити, що діаметри інструментів не впливають на величину оптимальної стійкості при розрахунках тільки за критерієм інтенсивності формоутворення, що дає можливість використовувати поняття “стійкість комплекту інструментів” і визначати її для всього комплекту однотипних інструментів (рис. 1).

Рис. 1. Залежність оптимальної стійкості свердел від їх діаметрів, розрахована за критеріями оптимальності: 1 – приведені витрати (C_{np}); 2 – технологічна собівартість (C_d); 3 – інтенсивність прибутку (In); 4 – W_H

Зростання числа інструментів в комплекті веде до значного збільшення періодів їх оптимальної стійкості, розрахованих за розглянутими критеріями оптимальності, що призводить до істотного зниження швидкості різання і продуктивності обробки (рис. 2).

Рис. 2. Залежність оптимальної стійкості свердел від числа інструментів у комплекті, розрахована за критеріями оптимальності: 1 – C_{np} ; 2 – C_d ; 3 – In ; 4 – W_H

Оптимальна стійкість комплекту інструментів збільшується також зі збільшенням часу зміни одного інструмента (рис. 3), тому доцільно застосовувати швидкодіючі системи зміни інструментів на БВ.

Рис. 3. Залежність оптимальної стійкості свердел від часу зміни одного інструмента, розрахована за критеріями оптимальності: 1 – C_{np} ; 2 – C_d ; 3 – In ; 4 – W_H

Таким чином, при роботі на БВ період стійкості ріжучого інструмента необхідно призначати з урахуванням сумарних затрат часу на обслуговування всіх інструментів в комплекті. Найбільший вплив на вибір періоду оптимальної стійкості має число інструментів у комплекті та час заміни одного інструмента.

Інтенсивність та продуктивність обробки на БВ в значній мірі залежить від способу заміни ріжучого інструменту при втраті працездатності. Зважаючи на те, що процес різання є стохастичним внаслідок впливу багатьох випадкових факторів на стійкість ріжучого інструмента, розрахункова величина якої істотно впливає на швидкість

різання й інтенсивність формоутворення, а фактична стійкість - на періодичність і сумарний час зміни інструмента, вибір найвигіднішого способу заміни інструментів і оптимального періоду стійкості слід виконувати методом ймовірнісного моделювання. Експериментальні криві надійності ріжучих інструментів добре апроксимуються розподілом Вейбулла.

Математична модель ймовірнісного моделювання процесу обробки має вид:

де \bar{T} - середня стійкість комплекту різальних інструментів, отримана розрахунковим шляхом, хв; $\Gamma(1+1/b)$ - гамма-функція Ейлера; b - показник степеня, що визначає форму кривої розподілу і характеризує надійність інструментів. При $b=3$ – форма кривої розподілу наближається до нормального закону розподілу, при $b=2$ – до розподілу Релея, а при $b=1$ – до експоненціального закону розподілу; $T_{см}$ – час заміни інструмента.

Розглянуті наступні стратегії обслуговування інструментів:

- 1) заміна інструментів по фактичному стану ріжучих кромок;
- 2) планова профілактична заміна;
- 3) групова заміна інструментів, якщо один з них відмовив;
- 4) заміна інструмента по фактичному стану ріжучих кромок (по спрацюванню) з урахуванням наявності раптових відмов, що не привели до появи браку. У цьому випадку час заміни інструмента враховує витрати часу на планову технологічну заміну, на виявлення відмови і доставку інструмента-дублера в позицію заміни інструмента;
- 5) заміна кожного інструмента, що відмовив, по мірі виходу його з ладу через випадковий проміжок часу (заміна по відмовах) без ушкодження оброблюваної заготовки.

В результаті розрахунків визначено, що максимальну нормативну інтенсивність формоутворення комплектом інструментів на БВ можна досягти при заміні інструментів за фактичним станом ріжучих кромок, які контролюються автоматичною системою діагностики стану інструментів (табл. 1).

Таблиця 1.

Значення оптимальної стійкості комплексу інструментів при різних способах заміни інструмента

Патаметр b	$T_{опт}, хв$					
	Стратегії обслуговування інструментів					
	1	2	3	4	5	Без моделювання
1	103	115	125	465	475	16
2	26	28	38	105	112	
3	19	22	26	74	78	

У цьому випадку розрахункова стійкість інструмента забезпечує максимальну інтенсивність формоутворення.

З використанням запропонованого підходу отримані графіки залежності швидкості різання від діаметрів інструментів за різними критеріями оптимальності (рис. 4). Використання критерію інтенсивності формоутворення забезпечує високий розрахунковий рівень швидкості різання високонадійним інструментом (криві 3, 4), що відповідає світовій тенденції впровадження високошвидкісної обробки і дозволяє більш ефективно використовувати потенційні можливості БВ.

Рис. 4. Залежності швидкості різання чавунної деталі від діаметра інструмента з матеріалом ріжучої частини ВК6, розраховані за критеріями оптимальності: 1 – W_H , детермінований розрахунок; 2 – In ; 3 – W_H , $b=3$; 4 – W_H , $b=2$; 5 – W_H , $b=1$; 6 – Cd ; 7 – $Cпр$

В третьому розділі дисертації розглянуті питання, пов'язані з розширенням технологічних можливостей БВ шляхом використання допоміжного інструмента. Виключити технологічний перехід зацентрування отвору і запобігти поведінку осі отвору дозволяє оправка для свердлення отворів (пат. 16601U) (рис. 5). Для додаткового спрямування свердла у процесі обробки застосовується кондукторна втулка, яка може обертатись навколо своєї осі разом з інструментом, що запобігає її розбиванню.

Рис. 5. Оправка для обробки отворів свердлінням:
1 – корпус; 2 – стопорний гвинт; 3 – штанга; 4 – гвинт; 5 – корпус цанги; 6 – розрізна цанга; 7 – гайка; 8 – регулювальний гвинт; 9 – свердло; 10 – гільза; 11 – пружина; 12 – шпонка; 13 – гвинтом; 14 – кондукторна втулка; 15 – проміжна втулка; 16 – гвинт; 17 – оброблювана заготовка; 18 – ніж; 19 – п'ята; 20 – гвинт; 21 – підшипник; 22 – кришка

Виключити технологічний перехід зенкування, необхідний для обробки фасок в отворах, дозволяє оправка для одночасного свердління отворів і зенкування фасок (пат. 16598U) (рис 6).

Рис. 6. Робоча частина оправки для обробки фасок в отворах: 1 – шпонка; 2 – кришка; 3 – гвинт; 4 – підшипник; 5 – кондукторна втулка-зенківка; 6 – пружина; 7 – гвинт; 8 – п'ята;

Зменшити шорсткість поверхні основних отворів та підвищити продуктивність обробки дозволяє запропонована нами дворіцева розточувальна оправка (пат. 13672U) (рис. 7). В конструкції оправки реалізована схема утворення шорсткості запропонована професорами Маталіним А.О. та Лінчевським П.А. (рис. 8). Вершини різців встановлені на розмір обробки з урахуванням пружних деформацій в оправці, що виникають під час різання, і зміщені один відносно другого в напрямку подачі на величину l_s .

де β - кут між різцями; s_o - подача, з якою ведеться обробка, мм/об.

Рис. 7. Ескіз дворіцевої розточувальної оправки:
1 – корпус; 2 – повзун; 3, 4 – різці; 5, 6 – гвинти; 7 – регулювальне кільце;
8 – гвинт затискний; 9 – гвинт регулювальний; 10 – контргайка; 11, 12 – гвинти регулювальні

Перший різець знімає основний шар матеріалу. Після нього залишаються нерівності висотою $H1$. Другий різець, відстаючи від першого на величину, яка дорівнює половині подачі, знімає нерівності, що залишилась після проходу першим різцем, та формує нерівності висотою $H2$.

Рис. 8. Схема утворення шорсткості оброблюваної поверхні

Розроблені та запатентовані конструкції свердлильних та розточувальної оправок дозволяють підвищити ефективність використання БВ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи шляхом внесення суттєвих змін до структури технологічної операції обробки деталей за рахунок скорочення переходів зацентровування та зенкування фасок допоміжних отворів і використання дворізцевої розточувальної оправки для обробки основних отворів.

В четвертому розділі, використовуючи метод скінченних елементів, проведено аналітичні дослідження напружено-деформованого стану розточувальної оправки під дією сил різання. В процесі роботи на кожен з різців розточувальної оправки одночасно діють сили різання різні за величиною і напрямом. Для визначення зміщення вершин різців під дією сил різання одночасно на обидва різці було розраховано пружні деформації

Рис. 9. Зміщення вершин різців під впливом сил різання: $\Delta 1$ – зміщення першого різця; $\Delta 2$ – зміщення другого різця

розточувальної оправки. Зміщення вершин різців (рис. 9) визначалося при глибині різання $t=0,2$ мм, подача S_0 змінювалася від 0,12 до 0,33 мм/об.

Зі збільшенням подачі зростає різниця зміщень вершин різців (рис. 10), що необхідно враховувати при налагодженні оправки на оброблюваний розмір.

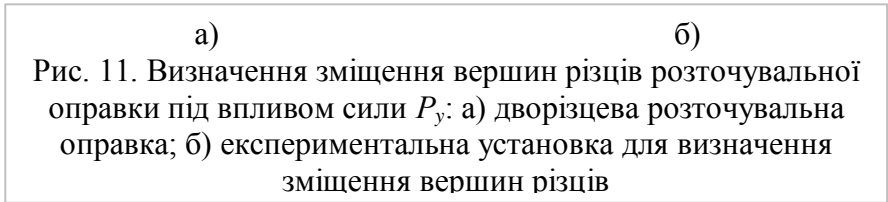
Рис. 10. Залежність зміщення вершин різців від подачі: 1 – зміщення першого різця; 2 – зміщення другого різця

Особливо це актуально при необхідності одержання отворів

з малою шорсткістю поверхні, тому, що різниця зміщень різців досягає 5...15 мкм, що може бути більше ніж нормативна шорсткість поверхні отвору.

Розроблена модель розточувальної оправки дозволяє визначати розмір налагоджування з врахуванням величини пружних переміщень різців оправки, на основі яких розроблено рекомендації з налагодження різців оправки на оброблюваний розмір.

У п'ятому розділі для перевірки адекватності аналітичних розрахунків переміщень різців дворіцевої розточувальної оправки розглянуто виготовлений дослідний зразок дворіцевої розточувальної оправки та зміст і результати експериментальних досліджень пружних деформацій, що виникають під впливом сили різання. На рис. 11 наведені світлини дворіцевої розточувальної оправки та експериментальної установки для визначення зміщення вершин різців розточувальної оправки під впливом сили P_y .



На рис. 12 наведено графіки залежності зміщення вершин різців оправки, визначені по методу скінченних елементів та експериментально, які свідчать про те, що розроблена скінченноелементна модель розточувальної оправки дозволяє визначати розмір налагодження різців з похибкою, яка не перевищує 12 %.

Рис. 12. Залежності зміщення вершин різців оправки від сили P_y визначені: експериментально; по методу скінчених елементів

Для оцінки впливу параметрів режиму різання на шорсткість обробленої поверхні проведено експериментальні дослідження розточування отворів у чавунних заготовках на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6Р13Ф3 за допомогою

дворіцевої розточувальної оправки (рис. 13).

Рис. 13. Обробка отвору дворіцевою розточувальною оправкою у чавунній заготовці

Досліджувався вплив швидкості різання V , глибини різання t і подачі S_o на шорсткість обробленої поверхні. Для порівняння дворіцевої і одноріцевої обробки було проведено три види розточування: 1) запропонованою оправкою одним різцем; 2) стандартною одноріцевою оправкою; 3) запропонованою оправкою двома різцями. У результаті отримано три математичні моделі, що описують вплив швидкості різання V , глибини різання t і подачі S_o на шорсткість обробленої поверхні.

Модель, що описує формування шорсткості поверхні у процесі різання запропонованою розточувальною оправкою одним різцем має такий вигляд: $Rz=4,79+0,05 \cdot V+72,67 \cdot S_o+12,30 \cdot t$; стандартною розточувальною оправкою: $Rz=5,45+0,05 \cdot V+60,70 \cdot S_o+11,50 \cdot t$; запропонованою розточувальною оправкою двома різцями: $Rz=0,94+0,075 \cdot V+44,19 \cdot S_o+10,14 \cdot t$.

В результаті проведення експерименту встановлено, що використання запропонованої дворіцевої оправки дозволяє при збереженні нормативної шорсткості поверхні збільшити швидкість різання на 15...20 % або знизити шорсткість обробленої поверхні у порівнянні з одноріцевою обробкою на 4...8 мкм по параметру Rz , що складає 15...30%. Суттєве зменшення шорсткості спостерігається при обробці на подачі, яка перевищує

а)

б)

Рис. 14. Вплив режимів різання на шорсткість поверхні при розточуванні отвору у заготовках із сірого чавуну марки СЧ20 різцями ВК8: а) $Rz=f(V)$ ($S_o=0,2$ мм/об; $t=0,2$ мм); 1 – одноріцева обробка запропонованою оправкою; 2 – одноріцева обробка стандартною оправкою; 3 – дворіцева обробка запропонованою оправкою; б) $Rz=f(S_o)$ ($V=150$ м/хв; $t=0,2$ мм)

0,1...0,2 мм/об (рис. 14). При подачі менше 0,1 мм/об зниження шорсткості поверхні незначне. При забезпеченні нормативної шорсткості можна збільшити або подачу на 40...90%, або глибину різання на 20...40 %.

На підставі отриманої моделі були розроблені рекомендації з вибору режимів різання для чистового та напівчистового розточування отворів у чавунних деталях запропонованою дворізцовою оправкою відповідно до необхідної шорсткості поверхні отвору.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу підвищення ефективності обробки отворів на БВ шляхом застосування перспективного підходу, який передбачає скорочення числа технологічних переходів і різальних інструментів та використання обґрунтованих режимів обробки, як основних, так і допоміжних отворів.

1. У результаті аналізу вітчизняних та зарубіжних досліджень, присвячених оптимізації обробки отворів в корпусних деталях в умовах серійного виробництва, що характеризується широкою номенклатурою виробів та багатоваріантністю технологічних процесів, визначено два напрямки підвищення ефективності використання БВ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи: структурний, що пов'язаний з застосуванням продуктивного допоміжного інструменту, та параметричний, який полягає у використанні оптимальних режимів обробки.

2. Порівняльний аналіз існуючих критеріїв оптимальності технологічних систем показав, що найбільш актуальним у сучасних умовах виробництва є технічний критерій “інтенсивність формоутворення”. Розроблена на основі критерію інтенсивності формоутворення математична модель дозволяє визначати оптимальний період стійкості інструментів для обробки допоміжних отворів з урахуванням їх числа у технологічному комплекті, часу зміни одного інструмента та його надійності, завдяки чому досягається істотне підвищення продуктивності роботи БВ. Рів-

ні швидкості різання, розраховані за критерієм “інтенсивність формоутворення” на 10...20 % вищі, ніж визначені за іншими критеріями оптимальності.

3. У результаті аналізу конструкцій БВ та особливостей їх роботи виявлено, що вибір найвигідніших режимів обробки допоміжних отворів слід виконувати комплексно з урахуванням структурного зв'язку між інструментами, що входять у технологічний комплект, необхідний для виконання обробки деталі. Встановлено, що визначальний вплив на вибір оптимальної стійкості має число інструментів у комплекті і час зміни одного інструменту, а також матеріал заготовки і ріжучої частини інструмента.

4. За допомогою ймовірнісного моделювання процесу обробки доведено, що максимальна нормативна інтенсивність формоутворення на БВ досягається при індивідуальній заміні інструментів за фактичним станом ріжучих кромek, що дозволяє підвищити продуктивність обробки у порівнянні з іншими стратегіями заміни на 4...6 %.

5. Розроблено і запатентовано конструкції свердлильних оправок, що дозволяють підвищити продуктивність обробки допоміжних отворів на 3...7 % за рахунок скорочення технологічних переходів центрування та зенкування фасок. Підвищити продуктивність розточування основних отворів та зменшити шорсткість їх поверхні на 15...30% можливо завдяки використанню розробленої та запатентованої дворізцевої розточувальної оправки, у якій чистова обробка ведеться одночасно двома різцями.

6. Результати моделювання напружено-деформованого стану розточувальної оправки методом скінченних елементів, а також експериментальні дослідження підтверджують забезпечення високої якості поверхні при дворізцевому розточуванні отворів на БВ. На підставі проведених аналітичних та експериментальних досліджень процесу розточування дано рекомендації по налагодженню різців дворізцевої розточувальної оправки та вибору режимів різання, що дозволяє підвищити продуктивність обробки основних отворів на 30...50 % при нормативній шорс-

ткості поверхні, або на 15...30 % зменшити шорсткість поверхні у порівнянні з однорізцевою обробкою.

7. Виробниче використання результатів дисертаційного дослідження пов'язано з передачею для впровадження у виробництво розробленої методики оптимізації режимів обробки отворів на БВ, а також конструкторсько-технологічної документації на розточувальну оправку на ВАТ “Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе”, про що складено відповідний акт. Виготовлений та успішно пройшов виробничу апробацію дослідний зразок дворізцевої розточувальної оправки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Миненко Д.А. Назначение режимов резания на многоцелевых станках на основании критерия интенсивности формообразования // Вісник Сумського державного університету: Серія Технічні науки. – Суми: СумДУ. – 2005. № 5. – С. 97-101.

Здобувач обгрунтував доцільність використання критерію інтенсивність формоутворення для розрахунку режимів різання.

2. Карпусь В.Е., Миненко Д.А., Фуников А.А. Выбор режимов максимальной производительности обработки на многоцелевых станках // Вісник Національного технічного університета “ХПІ”: – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. №18. – С. 107-115.

Здобувач виконав розрахунки режимів різання за різними методиками.

3. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Технологическая оснастка для обработки отверстий на станках с ЧПУ // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. №70. – С. 224-235.

Здобувач розробив конструкцію технологічної оснастки.

4. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Экономичные режимы резания на многоцелевых станках // Вісник Національного технічного університета “ХПІ”: – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. №1. – С. 90-105.

Здобувач обґрунтував вибір цільової функції та виконав розрахунки.

5. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Влияние стратегии обслуживания режущих инструментов на выбор расчетных периодов стойкости // Вісник Національного технічного університета “ХПІ”: – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. №17. – С. 98-105.

Здобувач розрахував оптимальні періоди стійкості за різними стратегіями обслуговування інструментів.

6. Карпусь В.Е., Луцкий С.В., Миненко Д.А. Анализ показателей эффективности технологических систем // Резание и инструмент в технологических системах. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. Вип 72. – С. 97-101.

Здобувач проаналізував ефективність використання показників.

7. Карпусь В.Е., Котляр А. В., Иванов В.А., Миненко Д.А. Производительность многоцелевых станков // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – 2007. №7. – С. 198-201.

Здобувач запропонував методіку розрахунку продуктивності багатоцільових верстатів.

8. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Оптимизация обработки систем вспомогательных отверстий на многоцелевых станках // Вестник машиностроения. – М. – 2008. – №1. – С. 34-38.

Здобувачем розроблено конструкції допоміжного інструменту та виконано розрахунки.

9. Карпусь В.Е. Миненко Д.А. Повышение качества обработки и износостойкости поверхностей основных отверстий // Высокие технологии в машиностроении: Сборник научных трудов НТУ «ХПИ». – Харьков: – 2007. – С. 106-109.

Здобувач запропонував конструкцію дворізцевої розточувальної оправки та виконав розрахунки.

10. Борштанга. Декл. пат. 13672U, Україна, В23 В29/ 00. НТУ “ХПІ”. - №u200509425; Заявл. 7.10.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.

Здобувач розробив конструкцію розточувальної борштанги.

11. Оправка для обробки отворів. Декл. пат. 16601U, Україна, В23 В49/ 00. НТУ “ХПІ”. - №u200601828; Заявл. 20.02.2006; Опубл. 15.08.2006, Бюл. №8.

Здобувач розробив конструкцію оправки для обробки отворів.

12. Оправка для обробки отворів під нарізку різі. Декл. пат. 16598U, Україна, В23 В49/ 00. НТУ “ХПІ”. - №u200601821; Заявл. 20.02.2006; Опубл. 15.08.2006, Бюл. №8.

Здобувач розробив конструкцію оправки для обробки отворів під нарізку різі.

13. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Вероятностный подход к расчету режимов обработки на многоцелевых станках // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции. Севастополь, 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ. – 2006. – Т. 2. – С. 120-124.

Здобувач обґрунтував вибір закону вірогідності та виконав розрахунки.

14. Карпусь В.Е., Луцкий С.В. Миненко Д.А. Анализ показателей эффективности технологических систем // Технологии XXI века: Сборник научных статей по материалам 13-й международной научно-методической конференции. /Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В. – Сумы: СНАУ. – 2006. – С. 97-101.

Здобувач обґрунтував доцільність використання для аналізу ефективності технологічних систем критерію “інтенсивність формоутворення”.

15. Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Основные положения назначения режимов резания на многоцелевых станках // Физические и компьютерные технологии: Труды 12-й международной научно-технической конференции. Харьков, 7-8 июня 2006 г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2006. – С. 86-90.

Здобувач запропонував методику та виконав розрахунки оптимальних режимів різання.

16. Карпусь В.Е., Иванов В.А., Котляр А. В., Миненко Д.А. Эффективное использование автоматизированного металлорежущего оборудования // Сборник научных статей по материалам 14-й международной научно-методической конференции Технологии XXI века. – Сумы: СНАУ. – 2006. – С. 9-11.

Здобувач запропонував один з розглянутих шляхів інтенсифікації обробки.

17. Карпусь В.Е., Котляр А. В., Иванов В.А., Миненко Д.А. Пути повышения производительности сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции. Севастополь, 17-22 сентября 2007 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ. – 2007. – Т. 2. – С. 122-125.

Здобувач запропонував підвищувати продуктивність сверлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК шляхом інтенсифікації режимів різання.

18. Карпусь В.Є., Границя В.О., Міненко Д.О., Котляр О.В., Иванов В.О. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авторемонтному виробництві // Науково-практична конференція Внутрішні війська МВС України на етапі реформування та розбудови. Харків, 27-28 лютого 2007 р. - Харьков: Академія внутрішніх військ МВС України. – 2007. – С. 257.

Здобувач запропонував, як один з методів підвищення продуктивності, оптимізацію режимів різання.

19. Миненко Д.А. Назначение режимов резания на многоцелевых станках на основании критерия интенсивности формообразования // П'ята Всеукраїнська молодіжна науково-технічна конференція Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Сумы, 26-29 жовтня 2005 р. - Сумы: СумДУ. – 2005. – С. 55-57.

Здобувач розглянув основні положення щодо розрахунків режимів різання за критерієм “інтенсивність формоутворення”.

АНОТАЦІЇ

Міненко Д.О. Підвищення ефективності обробки отворів на багатоцільових верстатах. – 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, 2008.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності обробки отворів на БВ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи шляхом підвищення інтенсивності формоутворення за рахунок впровадження прогресивної технологічної оснастки, а також вибору оптимальних режимів обробки комплектом різальних інструментів. Вибір найвигідніших режимів обробки допоміжних отворів виконується комплексно з урахуванням структурного зв'язку між інструментами, що входять у технологічний комплект, необхідний для виконання обробки деталі, на основі критерію інтенсивність формоутворення. За допомогою ймовірного моделювання процесу обробки обґрунтовано вибір найвигіднішої стратегії обслуговування технологічного комплекту різальних інструментів на БВ, розроблені рекомендації щодо вибору способу раціональної заміни інструментів з урахуванням їх числа, надійності та часу зміни. Запропоновано конструкції допоміжного інструменту, який дозволяє підвищити ефективність обробки допоміжних отворів за рахунок скорочення числа технологічних переходів та різальних інструментів. Розроблено конструкцію дворізцевої розточувальної оправки, та обґрунтовано вибір оптимальних режимів розточування основних отворів, які забезпечують підвищення продуктивності обробки та якості поверхні отворів.

Ключові слова: технологічний процес, продуктивність, якість, багатоцільовий верстат, свердління, розточування, режими різання, інтенсивність формоутворення, стійкість інструментів, допоміжний інструмент.

Миненко Д.А. Повышение эффективности обработки отверстий на многоцелевых станках. – 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, 2008.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения эффективности обработки отверстий на многоцелевых станках сверлильно-фрезерно-расточной группы в условиях многономенклатурного производства путем внедрения прогрессивной технологической оснастки, а также осуществления оптимизации параметров режимов обработки комплектом режущих инструментов.

Впервые предложен комплексный подход к назначению оптимального периода стойкости режущих инструментов, работающих на многоцелевых станках, на основе критерия интенсивности формообразования. Выбор оптимальной стойкости инструментов технологического комплекта, соответствующей максимальной интенсивности формообразования, осуществляется с учетом структурной взаимосвязи режущих инструментов, работающих в комплекте, а также их числа, времени смены, материалов заготовки и режущей части инструментов.

С помощью вероятностного моделирования процесса обработки обоснован выбор наивыгоднейшей стратегии обслуживания технологического комплекта режущих инструментов на многоцелевом станке. Разработаны рекомендации, касающиеся выбора наиболее рационального способа замены инструментов с учетом их числа, надежности и времени смены.

Разработаны конструкции сверлильных оправок позволяющие сократить переходы зацентровки и зенкования фасок, в результате чего сокращается число технологических переходов и режущих инструментов, изменяется структура технологической операции и повышается эффективность обработки вспомогательных отверстий.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния предложенной двухрезцовой расточной оправки методом конечных элементов, а также экспериментальные исследования подтверждают, что наряду со значительным повышением производительности обработки возможно уменьшение шероховатости обработанной поверхности. На основании предложенной конечно-элементной модели разработаны рекомендации по определению настроечных размеров оправки с учетом допустимой величины упругих деформаций технологической системы. Теоретически и экспериментально обоснован выбор оптимальных режимов обработки основных отверстий с помощью предложенной двухрезцовой расточной оправки, которые обеспечивают повышение производительности обработки и качества поверхности отверстий.

Ключевые слова: технологический процесс, производительность, качество, многоцелевой станок, сверление, растачивание, интенсивность формообразования, стойкость инструментов, вспомогательный инструмент.

Minenko D.O. Hole making effectiveness increase on multiuniversal machines. – Manuscript.

The dissertation as the manuscript for technical science candidate's degree on a speciality 05.02.08 – technology of mechanical engineering. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2008.

The dissertation is dedicated for problem solving of hole making effectiveness increase on drilling-milling-boring multiuniversal machines by shaping intensity at the expense of progressive tooling implementation, as well as manufacturing parameter optimization realization by cutting tool kit. The optimal production mode choice of auxiliary holes including structural connection among cutting tools that related to technological set for detail machining under shaping intensity criterion is fully calculated. The optimal service strategy of cutting tool technological set on multiuniversal machines is supported by machining probabilistic modeling, the rational cutting tool change mode recommendations subject to them number,

dependability and change time are operated. The auxiliary tool constructions permitting auxiliary hole machining effectiveness increase at the expense of the process step minimization and cutting tool one are proposed. The twin-cutter boring arbor is designed, the basic hole optimal boring machining mode providing productivity increase and surface condition one is based.

Keywords: multiuniversal machine, basic parts, holes, drilling, boring, cutting modes, shaping intensity, tool life, auxiliary tool.

Підп. до друку
Наклад 100 пр.
Замовлення № 1472

Формат 60×90/16.
Обл. - вид. арк. 0,9.
Ум. друк. арк. 1,1.

Папір ксероксний.
Гарнітура Times New
Roman Суг.
Друк офс.

Вид-во СумДУ. Р.с. № 3062 від 17.12.2007 р.
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Друкарня СумДУ.
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.