

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

Євтухов Артем Віталійович

УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ
КРУГЛОГО ЗОВНІШНЬОГО ВРІЗНОГО ШЛІФУВАННЯ
ШЛЯХОМ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ТА
ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ЦИКЛУ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрах “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету і “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Сизий Юрій Анатолійович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут” (м. Харків),
професор кафедри технології машинобудування
та металорізальних верстатів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Везуб Микола Володимирович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут” (м. Харків),
професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. М.Ф. Семка;

кандидат технічних наук, доцент
Краснощок Юрій Степанович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка
(м. Харків),
доцент кафедри технології матеріалів.

Захист відбудеться 28 травня 2008 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 28 квітня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Умови ринкової економіки потребують від вітчизняного машинобудування підвищення параметрів надійності й довговічності машин. Одним із основних факторів, що забезпечує надійність і довговічність деталей машин, є якість поверхні, яка характеризується шорсткістю, хвилястістю й фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Зазначені параметри формуються на чистових етапах обробки деталей, в той самий час одним із основних способів чистової обробки деталей машин є процес шліфування, при якому досягаються висока точність форми і розмірів деталей, низька шорсткість оброблених поверхонь, що визначає їх зносостійкість, експлуатаційну надійність і, як наслідок, якість машини в цілому.

При загальній тенденції в машинобудуванні до зменшення питомої ваги механічної обробки, а також у результаті усе більш широкого застосування високолегованих сталей і сплавів, обробка яких різанням утруднена, зростає обсяг застосування методів абразивно-алмазного шліфування, з яких у цей час 25-35% становлять операції круглого зовнішнього шліфування. При цьому кругле зовнішнє врізне шліфування (КЗВШ) є одним із найпоширеніших процесів, що використовуються на чистовому етапі обробки, наприклад, валів (ступінчастих, колінчастих, розподільних), тому його дослідження є досить актуальним.

При всій вивченості процесу круглого врізного шліфування можливості його дослідження далеко не вичерпані, особливо з огляду на створення сучасних пакетів прикладних програм типу “VisSim”, “MatLAB”, “CC”, призначених для дослідження й моделювання динамічних систем. Зокрема, це стосується досліджень із імітацією формування макрогометричних показників шліфованої поверхні, таких, як відхилення від круглості, хвилястість тощо. Найважливішим аспектом таких досліджень є можливість спостереження перехідних процесів у циклі врізного шліфування й динамічних явищ, які супроводжують ці процеси, що дозволяє виявити умови усунення або зменшення негативного впливу їх на якість обробленої поверхні. Крім того, можливість імітаційного моделювання всього робочого циклу шліфування дозволить знайти аналітичні рішення розрахунку всіх його етапів, вибору оптимальної структури та параметрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедр «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХПІ» і «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічної обробки (тема науково-дослідної роботи «Дослідження процесу круглого врізного шліфування», номер державної реєстрації 0106U013014). Робота виконувалася відповідно до договору про науково-технічне співробітництво кафедри «Технологія машинобудування» СумДУ та ВАТ «Сумський завод «Насосенергомаш», де здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності технології КЗВШ шляхом вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу з урахуванням динамічних явищ, які супроводжують процес обробки.

Для досягнення зазначеної мети роботи потрібно вирішити такі задачі:

1. Розробити динамічну модель КЗВШ із урахуванням підсистеми привода обертання деталі для виявлення закономірностей між умовами обробки, коливальними явищами в технологічній системі й геометричними показниками якості поверхні деталі.
2. Розробити модель перехідних етапів на основі розрахунку глибини шліфування для оцінки тривалості окремих фаз та усього робочого циклу КЗВШ.
3. Виявити узагальнений показник жорсткості замкнутої технологічної системи (ТС) «верстат-деталь-процес шліфування» і розробити методику його експериментального визначення.
4. Розробити алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ і методики визначення обмежень, пов'язаних із забезпеченням заданої якості оброблюваної поверхні й найбільшої продуктивності процесу обробки.
5. Виконати експериментальну перевірку розроблених моделей.
6. Розробити програмне забезпечення й підходи практичної реалізації представлених методик.

Об'єкт дослідження – технологічний процес КЗВШ.

Предмет дослідження – закономірності формування похибки геометричної форми поверхні при КЗВШ і умови вибору раціональної структури та параметрів його робочого циклу.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження базуються на наукових основах теорії шліфування, теорії автоматичного управління, динаміки верстатів. Адекватність теоретичних моделей і результатів моделювання перевірена експериментально в лабораторних умовах. Експериментальні дослідження проведені на основі сучасних методик. Розрахунки й математичне моделювання проводилися на ЕОМ із застосуванням пакета математичного аналізу MathCAD, аналіз динамічної системи врізного шліфування методами ТАУ проводився із застосуванням пакетів СС й MatLAB, імітаційне моделювання динамічної системи проводилося в пакеті VisSim.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень щодо підвищення ефективності технології круглого зовнішнього врізного шліфування отримано таке:

1) розроблено динамічну модель системи врізного шліфування, у якій одночасно враховані радіальна й крутильна схеми коливань та яка відрізняється від відомих тим, що за одну з узагальнених координат системи взято відхилення глибини шліфування від статичної рівноваги із вхідним впливом у вигляді некруглості заготовки;

2) визначено умови усунення зростання амплітуди хвиль на поверхні деталі, що мають місце при шліфуванні “по сліду”, формованому власними коливаннями системи, які полягають у зменшенні швидкості обертання виробу в 2,5-3 рази при переході до постійного контакту між кругом та заготовкою, що забезпечує підвищення якості оброблюваної поверхні, та які отримані в результаті модельного експерименту на основі зазначеної в п. 1 наукової новизни динамічної моделі системи врізного шліфування;

3) виявлено фізичний та математичний взаємозв'язок між елементами динамічної системи врізного шліфування, що дозволило отримати оригінальні математичні залежності для розрахунку глибини шліфування на всіх етапах робочого циклу і використати їх як основу вибору його раціональної структури та параметрів;

4) уперше запропоновано жорсткість замкненої ТС «верстат-деталь-процес шліфування» характеризувати єдиним числовим показником q , функцією якого є глибина шліфування, який враховує різальну спроможність шліфувального круга й жорсткість ТС верстата та може бути визначений експериментально на основі розв'язання оригінального трансцендентного рівняння, яке пов'язує зазначений показник q із умовами обробки і дозволяє проектувати робочий цикл врізного шліфування із високою точністю.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі модельного експерименту запропоновано новий спосіб круглого врізного шліфування деталей, що дозволило усунути негативне явище зростання амплітуди хвиль на поверхні деталі при шліфуванні “по сліду”. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено автоматизовану систему розрахунку режимів різання і норм часу для КЗВШ, розроблено інженерну методику визначення узагальненого показника жорсткості замкнутої ТС «верстат-деталь-процес шліфування», що дозволяє враховувати пружні властивості конкретної ТС й умови шліфування найбільш повно та робити розрахунок робочого циклу КЗВШ із високою точністю. Запропонований спосіб круглого врізного шліфування деталей впроваджено в основне виробництво на ВАТ «Сумський завод «Насосенергомаш». До використання на етапі технологічної підготовки виробництва рекомендовано спроектовану автоматизовану систему розрахунку режимів різання і норм часу для КЗВШ. Результати роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень отримані здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися, обговорювалися та одержали позитивну оцінку на науково-технічних семінарах кафедр «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХПІ», «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ, на 7-й Міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» (2003 р.,

м. Харків), 7-й Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво» (2007 р., м. Одеса).

У повному обсязі дисертація доповідалася на науковому семінарі кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХПІ» (2008 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 робіт, серед яких 9 статей у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ВАКом України та 1 деклараційний патент на спосіб круглого врізного шліфування деталей.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури із 116 найменувань, 172 сторінок машинописного тексту, 44 рисунків, 7 таблиць і 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 194 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі подано літературний огляд з питань дослідження та визначені задачі дослідження.

У процесі врізного шліфування формуються такі якісні показники поверхні деталі, як точність розміру, шорсткість, похибка форми, а також фізико-механічний стан поверхневого шару. У розділі наведений огляд існуючих теорій й експериментальних залежностей, що встановлюють взаємозв'язок між умовами шліфування, характеристикою круга і якісними показниками поверхні такими дослідниками, як Грабченко А.І., Корчак С.М., Лур'є Г.Б., Маслов Є.Н., Новосолов Ю.К., Узунян М.Д., Філімонов Л.М., Якимов О.В.

Огляд праць Корчака С.М., Марчука В.І., Михелькевича В.М., Філімонова Л.М., Ушакова О.М. дозволяє визначити залежність рівня шорсткості поверхні від радіальної сили різання P_y .

Розглянуті застосовувані на практиці структури робочих циклів шліфування, їхні основні закономірності, питання вибору оптимального циклу з урахуванням умов обробки й заданої якості поверхні деталі (Лур'є Г.Б., Михелькевич В.М., Петраков Ю.В., Прилуцький В.О.). Треба відзначити, що здебільшого основним регулюючим параметром робочого циклу є врізна подача. Управління таким параметром, як швидкість обертання виробу, практично не використовується. У той же час, у працях, наприклад, Прилуцького В.О. зазначаються широкі можливості керування геометричною точністю поверхонь через керування швидкістю обертання виробу. Також необхідно відзначити, що існуюча нормативна література практично не враховує перехідні етапи робочого циклу шліфування, розрахунок яких є доволі складним. Динамічні явища, що мають місце при перехідних етапах, є недостатньо вивченими.

Виконано огляд робіт щодо розробки теорії теплових явищ, визначення умов виникнення поверхневих дефектів та управління якістю поверхневого шару (Сизий Ю.А., Сипайлов В.А., Степанов М.С., Резніков А.Н.).

Подано огляд існуючих досліджень в сфері динаміки круглошліфувальних верстатів. Це роботи Братана С.М., Кудінова В.О., Петракова Ю.В., Ушакова О.М., Якімова О.В., Malkin S. та ін. Ряд дослідників висловлюють думку про те, що коливання, викликані дебалансом шліфувального круга, роблять найбільший вплив на динаміку шліфування, особливо при використанні кругів великого діаметра. Разом з тим на вихідну некруглість поверхні заготовки, як джерело збудження коливань, звертають недостатню увагу. Виконані дослідження динаміки КЗВШ недостатньо використовують можливості імітаційного моделювання, яке дозволяє відстежувати формування макропрофілю оброблюваної поверхні упродовж усього циклу шліфування.

У другому розділі подано теоретичне дослідження з питань дисертації, яке пов'язано із виявленням закономірностей між умовами обробки, коливальними явищами в технологічній системі й геометричними показниками якості поверхні деталі. Розроблено динамічну модель КЗВШ із урахуванням підсистеми привода обертання деталі. В основу моделі покладена 3-масова приведена модель круглошліфувального верстата, яка відрізняється від відомих моделей наявністю як однієї з узагальнених координат глибини шліфування x_2 та вихідної некруглості (висоти виступу заготовки, що набігає на круг dh), яка є зовнішнім впливом. Процес шліфування (різання) як окремий елемент динамічної моделі КЗВШ імітується коефіцієнтом Cr , що характеризує різальну спроможність шліфувального круга – із лінеаризованої залежності нормальної складової сили різання від глибини шліфування $P_y = Cr \cdot x_2$.

На рис. 1 подано схему динамічної моделі круглошліфувального верстата, що враховує радіальні переміщення зведених мас ТС (m_1, m_2, m_3 – маси деталі, шліфувального круга та шліфувальної бабки відповідно; c_1 – жорсткість системи «деталь-центри», що враховує жорсткості передньої та задньої бабок; c_2 – жорсткість підшипника ковзання в опорах шпинделя; c_3 – жорсткість механізму врізної подачі; b_1, b_2, b_3 – демпфери зазначених систем. Узагальненими координатами, крім зазначеної x_2 , взяті: x_1 – переміщення

Рис. 1. Динамічна модель круглошліфувального верстата

маси m_1 ; x_3 – переміщення маси m_3 . Подана модель дозволяє розрахувати пружне переміщення шліфувального круга L під впливом збільшення профі-

лю деталі dh , що має місце при його некруглому перерізі (похибка форми у вигляді овальності, огранювання й т.п.). Таким чином, як переважаюче джерело змушених коливань у даній моделі використовується «нерівна» поверхня оброблюваної деталі, а не відцентрові сили, викликані нерівноваженістю круга.

Математична модель динамічної системи КЗВШ з урахуванням радіальних коливань наведена у вигляді системи диференціальних рівнянь:

На основі математичної моделі в пакеті VisSim розроблено імітаційну модель динамічної системи верстата та процесу шліфування. З метою аналізу впливу крутильних коливань виробу на формування макрорельєфу оброблюваної поверхні, на додаток до зазначеної моделі системи врізного шліфування, було розроблено імітаційну модель динамічної системи привода обертання заготовки. Було висловлено гіпотезу про те, що при переході на меншу частоту обертання заготовки інерційність привода буде достатньою для плавної зміни кутової швидкості виробу та відсутності збудження власних коливань системи. Узагальнену структурну схему зазначеної моделі із урахуванням підсистеми привода обертання заготовки показано на рис. 2.

Рис. 2. Узагальнена структурна схема імітаційної динамічної моделі системи КЗВШ

На рис. 2 показано, що вхідним сигналом у систему “процес шліфування-верстат” є висота виступу деталі, що набігає на круг dh_i на i -му оберті деталі. Зазначена система перетворює цей сигнал у пружну деформацію верстата d_i . При цьому висота виступу dh_i формується відніманням від профілю деталі після її шліфування на попередньому оберті R_{i-1} переміщення шліфувальної бабки ($R_s - S \cdot t$) без урахування пружних деформацій. Таким чином, профіль R_{i-1} є вихідним для i -го оберту. При відніманні із R_i глибини шліфування x_{2i} отримуємо поточне значення розгорнення профілю на i -му оберті

($R_i - x_{2i}$). Зазначений профіль упродовж часу оберту T запам'ятовується та затримується блоком затримки, а на виході подає профіль деталі після обробки на попередньому оберті.

Взаємодія системи “верстат-процес шліфування” із підсистемами привода обертання заготовки реалізується через сигнали P_y , що надходять до зазначеної підсистеми у вигляді моменту різання, та зворотного сигналу у вигляді кругової частоти обертання виробу ω_6 . Зв'язок привода із підсистемою електродвигуна здійснюється через момент опору M_c та кругову частоту обертання якоря електродвигуна ω_1 , керування якою здійснюється через напругу U , що подається на обмотку якоря.

Усебічному аналізу піддався початковий етап циклу шліфування - врізання, що передує сталому процесу обробки і характеризується переривчастим контактом круга з поверхнею деталі.

На рис. 3 показані сигнали моделі процесу врізного шліфування, які демонструють зародження хвилястості на поверхні деталі та її усунення. На рис. 3 по осі ординат позначений радіус оброблюваної заготовки R з похибкою форми ΔR - некруглість поверхні (вихідне значення $\Delta R = 30$ мкм). По осі абсцис позначений час обробки (у секундах). При моделюванні використовувалися параметри динамічної системи КЗВШ для верстата 3М151, що були отримані експериментально у лабораторії верстатобудівного заводу ім. С.В. Косіора (м. Харків) (за Ушаковим О.М.): $m_1 = 6,6$ кг; $m_2 = 50$ кг; $m_3 = 500$ кг; $b_1 = 882$ Н×с/м; $b_2 = 20257$ Н×с/м; $b_3 = 25000$ Н×с/м; $c_1 = 3,59 \cdot 10^7$ Н/м; $c_2 = 9 \cdot 10^8$ Н/м; $c_3 = 3,86 \cdot 10^8$ Н/м.

Лінія 1 (див. рис. 3) імітує розгорнення поверхні деталі, з якою остання підходить до круга на відповідному оберті (поверхня “до обробки”). Лінія 3 - розгорнення поверхні деталі після шліфування на відповідному оберті заготовки (поверхня “після обробки”). Різниця між лініями 1 та 3 показує величину глибини шліфування x_2 . Лінія 2 - це траєкторія переміщення кола із шліфувальною бабкою в радіальному напрямку до поверхні деталі без урахування пружних деформацій механізму подачі. Для даного приклада значення радіальної подачі дорівнює 7 мкм/с.

Перший дотик круга поверхні деталі відбувається в точці A (див. рис. 3). При абсолютно жорсткій пружній системі верстата зняття металу з виступу на поверхні заготовки повинне було відбуватися точно по лінії 2. Однак завдяки пружним деформаціям усіх вузлів верстата, що враховано в його моделі, зняття металу відбувається по лінії 3. Те саме відбувається й на наступних обертах виробу.

Аналіз рис. 3 показав, що при першому ж дотику круга поверхні деталі (точка A) збуджуються власні коливання деталі. На першому оберті деталі зазначені коливання досить малі, однак приводять до коливань глибини шліфування й утворюють хвилі на поверхні деталі. При зустрічі круга з оброблюваною поверхнею (уже хвилястою) на наступному оберті заготовки сила різання починає змінюватися із частотою хвиль на поверхні деталі, тобто частотою власних коливань деталі - має місце явище резонансу, амплітуда ко-

ливань із кожним обертом зростає. Відбувається так зване шліфування «по сліду», утвореному на попередньому оберті заготовки. На рис. 3 показано збільшення амплітуди коливань від оберту до оберту заготовки (див. ділянки *B* - для 4-го оберту, *C* - для 5-го оберту).

Рис. 3. Імітаційне моделювання профілю деталі в процесі КЗВШ

З метою запобігання шліфуванню «по сліду» та якнайшвидшому усуненню небажаних вібрацій пропонується робити зміну частоти обертання заготовки, зменшуючи її в 2,5-3 рази в момент після утворення безперервного контакту між кругом та оброблюваною поверхнею (точка *G*).

На рис. 3 бачимо, що період оберту заготовки з 1-го по 5-й дорівнює 0,7 с, для 6-го, 7-го - 2,1 с. Також бачимо, що після зміни частоти обертання заготовки відбувається значне зменшення рівня вібрацій на оброблюваній поверхні (ділянки *E* - для 6-го й *F* - для 7-го обертів).

Таким чином, спосіб врізного шліфування з урахуванням зазначеного полягає в наданні шліфувальному кругу й деталі обертового руху, врізанні круга в радіальному напрямку до оброблюваної поверхні та зменшенні частоти обертання виробу в момент часу, що передує виникненню безперервного контакту круга з деталлю в 2,5-3 рази. Момент виникнення безперервного контакту круга з деталлю може бути визначений аналітично та практично, спостереженням процесу шліфування (деклараційний патент України 50182А).

Дослідження розробленої моделі динамічної системи КЗВШ на етапі врізання дозволило надати алгоритм управління швидкістю обертання деталі,

що сприяє стабілізації процесу обробки і, як наслідок, – підвищенню продуктивності обробки, а також дає змогу прогнозувати геометричні параметри оброблюваної поверхні в кінці етапу врізання.

Аналіз моделі динамічної системи КЗВШ із застосуванням методів ТАУ дозволив виявити основні взаємозв'язки між окремими елементами ТС та безпосередньо процесом шліфування.

Так, основними елементами розглянутої динамічної системи є процес шліфування (передатна ланка W_3), заготовка (W_1), шліфувальний круг на шпинделі верстата й шліфувальна бабка (W_2). Таким чином, система ланок ($W_1 + W_2$) визначає пружну систему верстата, входним сигналом до якої є радіальна складова сили різання P_y , а вихідним (через суматор 2) – деформація пружної системи d . Через зворотний зв'язок поточне значення деформації пружної системи верстата d передається на суматор 1 (див. рис. 2), де віднімається від сигналу, який описує висоту виступу dh заготовки, що набігає на круг у процесі шліфування. При цьому сигнал dh є входним сигналом для динамічної системи врізного шліфування в цілому. Сигнал, що виходить із суматора 1, визначає глибину шліфування x_2 , яка одночасно є входним сигналом до ланки W_3 (процес шліфування).

Таким чином, зазначені елементи моделі характеризуються відповідними передатними функціями $W_1(p) = x_1(p)/P_y(p)$, $W_2(p) = L(p)/P_y(p)$ та $W_3(p) = P_y(p)/x_2(p) = Cp$.

Відповідно до моделі процесу різання $P_y = Cp \cdot x_2$ передатна функція процесу різання $W_3(p)$ як відношення зображення сили різання $P_y(p)$ до глибини шліфування $x_2(p)$ визначається коефіцієнтом Cp з лінеаризованої залежності нормальної складової сили різання від глибини шліфування і може бути отримана з емпіричного рівняння для умов КЗВШ.

З лінеаризованої щодо глибини шліфування x_2 емпіричної залежності радіальної складової сили шліфування (за М.С. Степановим, Л.В. Ходаковим), яка отримана для умов шліфування при швидкості різання 50 м/с та враховує матеріал оброблюваної заготовки σ_t – запас міцності матеріалу заготовки при високих температурах (600°C), кгс/мм²; параметри шліфувального круга: H – коефіцієнт, який характеризує твердість, Z – зернистість; режими шліфування: V_p – швидкість врізної подачі, мм/хв; S – кругова швидкість обертів заготовки, м/хв; режими правки круга: S_{pr} – поздовжня швидкість правки, мм/хв; t_{pr} – глибина правки, мм, можна визначити коефіцієнт

Таким чином, коефіцієнт Cp є сталою для обраних умов обробки величиною. Для шліфування шийки вала із загартованої сталі 40 ($\sigma_t = 22$ кгс/мм²) шириною $B = 30$ мм і діаметром $d = 65$ мм кругом із характеристикою 24A16HSM1K ($H = 1,38$, $Z = 16$, $S_{pr} = 150$ мм/хв, $t_{pr} = 0,01$ мм) маємо $Cp = 3,896 \cdot 10^7$ Н/м.

Передатна функція пружної системи верстата відповідно до структурної схеми (рис. 2) має вигляд $W(p) = d(p)/P_y(p) = W_1(p) + W_2(p)$ і визначає податливість верстата $e = d/P_y$. Якщо розглядати вхідний сигнал $P_y(\omega)$ як гармонійну функцію з амплітудою P_y і якоюсь частотою ω , а вихідний сигнал – це деформація $d(\omega)$, то АЧХ системи $d(\omega)/P_y(\omega)$ буде визначати її динамічну податливість $e(\omega)$. Так, аналіз зазначеної АЧХ дозволив виявити три резонанси, що відповідають власним частотам парціальних систем шліфувальної бабки (878 рад/с), деталі (2323 рад/с) та круга (4242 рад/с), і які можуть бути розраховані за відомою залежністю $w_n = \sqrt{c/m}$.

Аналіз замкненої динамічної системи врізного шліфування з урахуванням ланки процесу різання показав наступне. Вхідним сигналом у систему є висота виступу деталі, що набігає на круг $dh(\omega)$, а вихідним – деформація пружної системи верстата $d(\omega)$. Таким чином, АЧХ цієї системи $A(\omega) = d(\omega)/dh(\omega)$ являє собою величину, що визначає “недошліфовану” частку виступу dh за рахунок деформації пружної системи верстата. Чим більша ця частка, тим менш ефективно йде виправлення похибки форми деталі в процесі шліфування. Зазначена система являє собою замкнену динамічну систему з одиничним від’ємним зворотним зв’язком (див. рис. 3), а її передатна функція запишеться таким чином: $W_{TC}(p) = \frac{d(p)}{dh(p)} = \frac{W_3(p) \cdot W(p)}{1 + W_3(p) \cdot W(p)}$.

Тоді для статичного характеру навантаження динамічної системи маємо $d/dh = Cp/(j_s + Cp)$, де j_s – статичною жорсткістю верстата.

Так, для вищезазначених умов шліфування при $Cp = 3,896 \cdot 10^7$ Н/м, $j_s = 3,169 \cdot 10^7$ Н/м – $d/dh = 0,551$. Таким чином, 0,551 від висоти виступу, що набігає на круг, становить величина пружної деформації верстата.

АЧХ замкненої динамічної системи КЗВШ $A(\omega)$ за формою є дуже подібною до характеристики пружної системи верстата $e(\omega)$. Так, перші й треті резонансні частоти в них однакові, а другі (по деталі) – різні. Така різниця пояснюється тим, що деталь у динамічній системі КЗВШ приєднана до станини «пружиною» c_1 , а до круга – «пружиною» Cp , що моделює процес шліфування, тому власна частота навантаженої системи деталі має бути розрахована у такий спосіб: $w_n = \sqrt{(Cp + c_1)/m_1} = 3368$ рад/с.

Так, частота власних коливань деталі, що визначена без урахування процесу шліфування, не є її дійсною частотою коливання в процесі обробки, а ефективність усунення похибки форми заготовки в процесі шліфування визначається як податливістю верстата, так і коефіцієнтом Cp .

У третьому розділі розглянуто теоретичний розрахунок глибини шліфування, яка є основною характеристикою, що визначає раціональну структуру та параметри робочого циклу КЗВШ. Встановлений між елементами динамічної моделі КЗВШ (див. рис. 2) взаємозв’язок дозволив отримати алгоритм та математичні залежності (дискретні та неперервні) для теоретичного розрахунку глибини шліфування на усіх фазах робочого циклу.

Так, зазначений алгоритм розрахунку глибини шліфування x_{2i} для i -го оберту заготовки є таким:

1 – обчислюється висота виступу заготовки, що набігає на круг,
 $dh_i = So + d_{i-1}$;

2 – обчислюється деформація верстата $d_i = (x_{2i} \cdot Cp) / j_s$;

3 – визначається різниця між висотою виступу заготовки й деформацією
 ТС $x_{2i} = dh_i - d_i = So + d_{i-1} - (x_{2i} \cdot Cp) / j_s$;

4 – отриманий вираз розв'язується щодо x_{2i} .

Розрахунок глибини шліфування x_{2i} для перших 3-х обертів заготовки на етапі врізання відповідно до зазначеного алгоритму наведений у табл. 1 та дозволяє виявити загальну закономірність у виразах x_{2i} . Так, у всіх значеннях глибини шліфування x_{21}, x_{22}, x_{23} (див. 5 стовпчик табл. 1) є однаковий співмножник $So \cdot [j_s / (j_s + Cp)]$. Інший співмножник має явно виражену закономірність щодо номера оберту заготовки i . Тому для якогось n -го оберту має-

мо: $\sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{Cp}{j_s + Cp} \right)^i$. Тоді загальна формула для розрахунку x_{2i} на етапі врізан-

ня на будь-якому n -му оберті заготовки буде такою:

$x_{2n} = So \cdot \frac{j_s}{j_s + Cp} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{Cp}{j_s + Cp} \right)^i$. Сума $\sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{Cp}{j_s + Cp} \right)^i$ є убутною геометричною прогресією. Тоді маємо

та

Таким чином, глибина шліфування із кожним обортом заготовки наближається до подачі на оберт So і через деякий час зрівнюється з нею (деформація пружної системи верстата стає такою, що забезпечує відповідне зусилля шліфування, натяг у пружній системі верстата та зумовлює сталий процес). Так, на етапі врізання глибина шліфування (або фактичне зняття металу) x_{2n} для дискретної моделі становить

де So – номінальна подача на оберт заготовки; n – кількість обертів, що пройшли з початку обробки на зазначеному етапі.

Диференціація відношення $(x_{2i} - x_{2i-1}) / T = dx_2 / dt$, де T є часом (або періодом) оберту заготовки, дозволяє перейти до неперервної моделі.

Таблиця 1

Розрахунок глибини шліфування на етапі врізання

Номер оберту заготовки i	Висота виступу заготовки dh_i	Деформація верстата d_i	Визначення різниці $x_{2i} = dh_i - d_i$	Розв'язання виразу щодо глибини шліфування x_{2i}
1	2	3	4	5
1				
2				
3				

Так, глибина шліфування x_2 для неперервної моделі

де t – час, що пройшов з початку обробки на зазначеному етапі.

За аналогією з дискретною моделлю маємо

За аналогією, для етапу виходжування без подачі за умови, що на етапі робочого циклу, який передує виходжуванню, було встановлено подачу S_0 , маємо:

для дискретної моделі –

для неперервної моделі –

Перехідний процес зі зменшенням номінальної подачі на оберт заготовки з S_{01} на S_{02} характеризується такими залежностями:

дискретна модель –

неперервна модель –

Перехідний етап зі зменшенням частоти обертання виробу. За умови, що переходу на зменшену частоту обертання виробу із ω_1 на ω_2 передує деякий k -ий оберт деталі, та за умови, що після першого оберту із новою частотою ω_2 коефіцієнт C_p зміниться на C_p' , а подача на оберт із S_{01} на S_{02} , маємо такі залежності:

дискретна модель –

неперервна модель –

Підсумування (для дискретної моделі) та інтегрування (для неперервної моделі) глибин шліфування, що розраховуються за відповідними залежностями, також дозволяє обчислювати величини припусків, які знімаються упродовж зазначених перехідних етапів робочого циклу.

На основі аналізу отриманих залежностей виділене відношення $Cp/(j_s + Cp)$, що є найважливішою характеристикою системи врізного шліфування. Чим більша жорсткість пружної системи верстата j_s і чим менше Cp , який характеризує різальну спроможність шліфувального круга, тим менше $Cp/(j_s + Cp)$, тим продуктивніший процес шліфування і тим більша ефективність усунення похибки форми обробленої поверхні заготовки.

Розроблено методику експериментального визначення узагальненого показника жорсткості замкненої ТС «верстат-деталь-процес шліфування» $q = Cp/(j_s + Cp)$ системи КЗВШ на основі розв'язання трансцендентного рівняння $(1 - q^n)/(1 - q) = (n - 1) - h / So$.

У четвертому розділі виконано експериментальне дослідження КЗВШ із вимірюванням некрутлості шліфованої поверхні на приладі для вимірювання круглості моделі 298 та отриманням спектрограм зазначених поверхонь. Аналіз зазначених спектрограм показав, що при використанні традиційного циклу врізного шліфування є помітна хвилястість поверхні на частоті власних коливань деталі в замкненій технологічній системі. Встановлено, що амплітуда зазначених коливань значно знижується при зменшенні частоти обертів деталі відповідно до запропонованого способу КЗВШ.

Відпрацьовано й експериментально реалізовано інженерну методику визначення узагальненого показника жорсткості q замкненої ТС «верстат-деталь-процес шліфування». Встановлено залежність зміни величини узагальненого показника жорсткості q від накопиченого часу роботи шліфувального круга, що пов'язано зі зміною його ріжучих властивостей по ходу циклу.

У п'ятому розділі виконано структурно-параметричний аналіз КЗВШ. Розроблено алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ, в основу якого покладені отримані в другому розділі математичні залежності для розрахунку глибини шліфування. Зазначений алгоритм передбачає обмеження по глибині дефектного шару, некрутлості й шорсткості шліфованої поверхні. Критерієм оптимізації є мінімальний час робочого циклу КЗВШ

$$\begin{cases} To(n_i, S_i, P_i, P_\Sigma, q_i) = \sum \tau_i \rightarrow \min, \\ \delta \leq [\delta], H \leq [H], Ra \leq [Ra]. \end{cases}$$

У зазначеній системі: To – основний час, тривалість робочого циклу шліфування; n_i, S_i – частота обертання заготовки та величина врізної подачі на i -му етапі робочого циклу відповідно; P_i – припуск, що знімається на i -му етапі робочого циклу; P_Σ – величина загального припуску «на шліфування»; q_i – величина узагальненого показника жорсткості замкненої ТС “верстат-деталь-процес шліфування” на i -му етапі; τ_i – тривалість окремих етапів робочого циклу КЗВШ; δ та $[\delta]$, H та $[H]$, Ra та $[Ra]$ – розрахункова та допустима величини допуску форми поверхні, дефектного шару, шорсткості поверхні відповідно.

Умовою виконання вимог з допуску форми оброблюваної поверхні заготовки є необхідність неперевищення фактичним значенням глибини шліфування x_2 на заключному етапі робочого циклу КЗВШ допустимого значення некрутості поверхні деталі.

Математична модель температурного поля у поверхневому шарі оброблюваної заготовки (за Ю.А. Сизим, М.С. Степановим) дозволила розробити методику теплофізичного аналізу робочого циклу КЗВШ й встановити залежність величини дефектного шару від умов шліфування та умови бездефектного шліфування, які мають бути реалізовані на заключному етапі робочого циклу.

Літературний огляд дозволив виявити залежність шорсткості шліфованої поверхні від питомого значення нормальної складової сили шліфування, що дозволяє реалізувати у зазначеному алгоритмі обмеження по шорсткості поверхні.

У цілому алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ реалізується трьома етапами. Перший етап полягає в експериментальному визначенні узагальненого показника жорсткості q . Другий етап полягає у виборі вихідних даних, що описують фізико-механічні та теплові властивості матеріалу заготовки, характеристику шліфувального круга, режими правки круга та вимоги, що висунуті до оброблюваної поверхні деталі за кресленням. Третій етап реалізується програмно й полягає у виборі раціональної структури та визначенні параметрів робочого циклу КЗВШ на основі розрахунку тривалості окремих етапів і сумарного часу робочого циклу шліфування з урахуванням зазначених умов, що обмежують продуктивність шліфування.

Вибір раціональної структури передбачає вибір одного із трьох найбільш поширених на практиці варіантів робочого циклу шліфування. Цикл 1 вміщує етапи врізання, чорнове шліфування та виходжування. Цикл 2 вміщує етапи врізання, чорнового шліфування та чистового шліфування. При цьому між етапами чорнового та чистового шліфування передбачений перехідний етап, у ході якого відбувається зміна подачі шліфування. Цикл 3 вміщує етапи врізання, чорнового шліфування, перехідний етап, чистове шліфування та виходжування. Усі три цикли містять у собі також перехідні етапи, пов'язані з переходом на знижену частоту обертання виробу наприкінці етапу врізання, що дозволяє врахувати запропонований раніше спосіб КЗВШ.

При розрахунку циклу КЗВШ необхідно виходити з того, що при будь-якому із трьох поданих робочих циклів необхідної якості поверхні можна домогтися, вибираючи відповідні подачі на різних фазах циклу. Тому необхідно розрахувати параметри кожного циклу, що забезпечують якість поверхні з мінімальним часом, а потім, зрівнявши тривалості циклу для всіх трьох структур, вибрати ту структуру, на реалізацію якої витрачається найменше часу.

Розроблений алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ дозволив запропонувати рекомендації з керування ре-

жимами КЗВШ, що, у свою чергу, дозволяють забезпечити при заданих умовах найбільшу продуктивність при виконанні вимог до якості поверхонь деталей і прогнозувати технологічні показники робочого циклу вже на етапі підготовки виробництва.

На додаток в четвертому розділі розроблено підходи практичної реалізації робочого циклу КЗВШ, який враховує перехідний етап зі зменшенням частоти обертання виробу відповідно до запропонованого способу КЗВШ, для різних умов виробництва та з урахуванням можливості використання обладнання, яке відрізняється різним ступенем автоматизації.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено динамічну модель системи круглого зовнішнього врізного шліфування, яка встановлює взаємозв'язки між умовами обробки, динамічними параметрами замкненої технологічної системи та дозволяє прогнозувати геометричну якість шліфованої поверхні деталі шляхом імітаційного моделювання.

2. Виявлено причини виникнення та характер зміни вібрацій у динамічній системі КЗВШ і на поверхні виробу, що дозволило розробити новий спосіб круглого врізного шліфування деталей, рекомендації з керування швидкістю врізної подачі та обертання виробу, які дозволяють вести обробку при припустимому рівні коливачь і забезпечити необхідні геометричні параметри шліфованої поверхні.

3. Встановлено фізичний та математичний взаємозв'язок між окремими елементами замкненої динамічної системи врізного шліфування, на основі якого розроблено підхід, що дозволив отримати розрахункові залежності глибини шліфування, тривалості та припусків для всіх етапів робочого циклу в дискретній і неперервній формах.

4. Виявлено узагальнений показник жорсткості замкненої ТС КЗВШ, який характеризує різальну спроможність шліфувального круга й жорсткість ТС верстата, розроблено методику експериментального визначення його величини.

5. Експериментально підтверджено ефективність використання циклу із зміною частоти обертання виробу відповідно до запропонованого способу круглого врізного шліфування деталей. Зміна відносної частоти обертання виробу сприяє усуненню ефекту шліфування «по сліду», характерного для початкового етапу врізання, амплітуда коливачь на частоті, близькій до власних коливачь деталі в замкненій ТС, зменшується.

6. Експериментально отримано значення узагальненого показника жорсткості динамічної системи КЗВШ для конкретних умов обробки й залежність зміни його величини від накопиченого часу роботи шліфувального круга, що дозволяє врахувати пружні властивості конкретної ТС найбільш повно та зробити розрахунок робочого циклу КЗВШ із високою точністю із урахуванням зміни різальних властивостей шліфувального круга по ходу циклу.

7. Розроблено методику й алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ, що забезпечує максимальну продуктивність при досягненні необхідної якості поверхонь деталей на основі отриманих залежностей глибини шліфування й експериментально визначеного узгаляненого показника жорсткості замкнутої ТС КЗВШ.

8. Розроблено підходи практичної реалізації робочого циклу КЗВШ, який враховує перехідний етап зі зменшенням частоти обертання виробу відповідно до запропонованого способу КЗВШ, для різних умов виробництва та з урахуванням можливості використання обладнання, яке відрізняється різним ступенем автоматизації.

9. Виробниче використання результатів дисертаційного дослідження пов'язане з передачею матеріалів і рекомендацій з управління робочим циклом КЗВШ на основі запропонованого способу круглого врізного шліфування деталей до ВАТ “Сумський завод “Насосенергомаш”, про що складений відповідний акт впровадження. Програмне забезпечення, що реалізує запропонований алгоритм вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу КЗВШ, рекомендовано до використання на етапі технологічної підготовки виробництва та в навчальному процесі на кафедрах «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ й «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Расчет глубины круглого врезного шлифования на основе его имитационной модели // Вісник Національного технічного університету “ХП”. - 2001. - № 15. - С. 117-126.

Здобувач розробив математичні залежності.

2. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Моделирование и управление качеством поверхности при врезном шлифовании // Резание и инструмент в технологических системах. - 2002. - Вып. 61. - С. 194-201.

Здобувач розробив імітаційну модель динамічної системи КЗВШ та запропонував спосіб круглого врізного шліфування.

3. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Моделирование системы врезного шлифования с приводом обертання заготовки // Вісник Національного технічного університету “ХП”. - 2002. - № 19. - С. 112-119.

Здобувач розробив імітаційну модель приводу обертання заготовки, проаналізував результати моделювання.

4. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Некруглость детали, исправляемая и формируемая процессом круглого врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету “ХП”. - 2003. - № 16. - С. 88-93.

Здобувач запропонував методику аналізу формування некруглості деталі та зробив розрахунки.

5. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Статическая и динамическая характеристики технологической системы круглого врезного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. - 2003. - Вып. 64. - С. 185-192.

Здобувач провів аналіз динамічної системи КЗВШ, отримав передатні функції елементів системи, її амплітудно-частотні характеристики.

6. Сизий Ю.А., Євтухов А.В. Нормирование цикла круглого врезного шлифования // Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве». - Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003. - С. 145-147.

Здобувач розробив розрахункову модель та зробив розрахунки.

7. Євтухов А.В. Влияние дисбаланса круга на глубину шлифования // Високі технології в машинобудуванні. - 2004. - Вип. 2(9). - С. 81-84.

8. Сизий Ю.А., Євтухов А.В. Розрахунок основного часу круглого врізного шліфування // Вісник Сумського національного аграрного університету. - 2004. - № 11. - С. 82-90.

Здобувач розробив формули розрахунку припуску, зробив розрахунки.

9. Сизий Ю.А., Євтухов А.В. Теплофизический анализ цикла круглого врезного шлифования // Вісник Сумського державного університету. - 2004. - № 13(72). - С. 141-147.

Здобувач запропонував методику аналізу циклу КЗВШ.

10. Євтухов А.В. Оптимизация цикла круглого наружного врезного шлифования на основе исследования его имитационным моделированием // «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво»: Матеріали Сьомої всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції / За ред. М.Б. Копитчука та ін. - Одеса: НОПУ, 2007. - С. 33-34.

11. Сизий Ю.А., Євтухов А.В., Глушенко Е.А. Структурно-параметрическая оптимизация цикла круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - 2008. - № 4. - С. 81-88.

Здобувач зробив аналіз існуючих методик та запропонував алгоритм структурно-параметричної оптимізації робочого циклу КЗВШ.

12. Декл. пат. 50182А, Україна, В24 В1 / 00. Сизий Ю.А., Євтухов А.В., Євтухов В.Г. СумДУ. Спосіб круглого врізного шліфування деталей. - №2001117701; Заявл. 12.11.2001; Опубл. 15.10.2002, Бюл. №10.

Здобувач запропонував спосіб КЗВШ.

АНОТАЦІЇ

Євтухов А.В. Підвищення ефективності технології круглого зовнішнього врізного шліфування шляхом вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2008.

У роботі подані рішення щодо підвищення ефективності технології круглого зовнішнього врізного шліфування на основі його імітаційного моделювання за рахунок вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу з урахуванням динамічних явищ, які супроводжують процес обробки. Розроблено динамічну модель із джерелом порушення у вигляді вихідної некрутості заготовки. Виконано аналіз умов шліфування у взаємозв'язку з геометричною формою деталі. Визначено закономірності перехідних етапів робочого циклу шліфування. Виявлено узагальнений показник жорсткості замкненої технологічної системи (ТС), розроблено інженерну методику експериментального визначення його значення, що дозволяє врахувати пружні властивості ТС найбільш повно і вести розрахунок робочого циклу з високою точністю. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для вибору раціональної структури та параметрів робочого циклу шліфування.

Ключові слова: технологічний процес, кругле зовнішнє врізне шліфування, структура робочого циклу, динамічна модель, жорсткість, хвилястість.

Евтухов А.В. Повышение эффективности технологии круглого наружного врезного шлифования на основе выбора рациональной структуры и параметров рабочего цикла. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2008.

При общей тенденции в машиностроении к уменьшению удельного веса механической обработки, а также в результате все более широкого применения высоколегированных сталей и сплавов, обработка которых резанием затруднена, возрастает объем применения методов абразивно-алмазного шлифования, из которых в настоящее время 25-35% представляют операции круглого наружного шлифования. При этом круглое наружное врезное шлифование (КНВШ) является одним из наиболее распространенных процессов, которые используются на чистовом этапе обработки деталей машин, поэтому его исследование является довольно актуальным.

Целью исследования является повышение эффективности технологии КНВШ на основе выбора рациональной структуры и параметров рабочего цикла с учетом динамических явлений, сопровождающих процесс обработки.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие задачи: 1. Разработать динамическую модель КНВШ с учетом подсистемы привода вращения детали для выявления закономерностей между условиями обработки, колебательными явлениями в технологической системе и геометрическими показателями качества поверхности детали. 2. Разработать модель переходных этапов на основе расчета глубины шлифования для оценки продолжительности отдельных фаз и всего рабочего цикла КНВШ. 3. Выявить обобщенный показатель жесткости замкнутой технологической системы

«станок-деталь-процесс шлифования» и разработать методику его экспериментального определения. 4. Разработать алгоритм выбора рациональной структуры и параметров рабочего цикла КНВШ и методики определения ограничений, связанных с обеспечением заданного качества обрабатываемой поверхности и наибольшей производительности процесса обработки. 5. Выполнить экспериментальную проверку разработанных моделей. 6. Разработать программное обеспечение и подходы практической реализации представленных методик.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что на основе теоретических и экспериментальных исследований относительно повышения эффективности технологии круглого наружного врезного шлифования получено следующее:

1) разработана динамическая модель системы врезного шлифования, в которой одновременно учтены радиальная и крутильная схемы колебаний и которая отличается от известных тем, что за одну из обобщенных координат системы принято отклонение глубины шлифования от статического равновесия с входным воздействием в виде некруглости заготовки;

2) определены условия устранения возрастания амплитуды волн на поверхности детали, имеющие место при шлифовании “по следу”, формируемому собственными колебаниями системы, которые состоят в уменьшении скорости вращения изделия в 2,5-3 раза при переходе к постоянному контакту между кругом и заготовкой, обеспечивают повышение качества обработанной поверхности и получены в результате модельного эксперимента на основе указанной в п. 1 научной новизны динамической модели системы врезного шлифования;

3) выявлена физическая и математическая взаимосвязь между элементами динамической системы врезного шлифования, которая позволила получить оригинальные математические зависимости для расчета глубины шлифования на всех этапах рабочего цикла и использовать их как основу выбора его рациональной структуры и параметров;

4) впервые предложено жесткость замкнутой ТС «станок-деталь-процесс шлифования» характеризовать единым числовым показателем q , функцией которого является глубина шлифования, который учитывает режущую способность шлифовального круга, жесткость ТС станка и может быть определен экспериментально на основе решения оригинального трансцендентного уравнения, которое связывает указанный показатель q с условиями обработки и позволяет проектировать рабочий цикл врезного шлифования с высокой точностью.

Результаты работы получены на основе теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования базируются на научных основах теории шлифования, ТАУ, динамики станков. Адекватность теоретических моделей и результатов моделирования проверена экспериментально в лабораторных условиях. Экспериментальные исследования проведены на основе современных методик. Расчеты и математическое моделирование

проводились на ЭВМ с применением пакета MathCAD, анализ динамической системы КНВШ методами ТАУ проводился с применением пакетов СС и MatLAB, имитационное моделирование динамической модели системы КНВШ проводилось в пакете VisSim.

Ключевые слова: технологический процесс, круглое наружное врезное шлифование, структура рабочего цикла, динамическая модель, жесткость, волнистость.

Evtuhov A.V. Increase of technology efficiency of infeed external cylindrical grinding on the basis of a choice of rational structure and working cycle parameters. – Manuscript.

The thesis for candidate's degree in technical sciences by speciality 05.02.08 – manufacturing engineering. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2008.

Approaches to increase of infeed external cylindrical grinding technology efficiency based on the process simulation by means of a choice of rational structure and working cycle parameters taking into account the dynamic phenomena accompanying the process are presented in the thesis. The dynamic model with an excitation source in the form of initial nonroundness is developed. The analysis of grinding conditions taking into account the workpiece geometrical shape is made. Mechanisms of transient stages of the grinding duty cycle are determined. The generalized stiffness index of the closed-loop technological system is discovered, the technique of its experimental determination that allows considering the elastic properties of technological system comprehensively and provides high simulation accuracy is developed. The algorithm and the software for a choice of rational structure and grinding working cycle parameters is developed.

Keywords: technological process, cylindrical external infeed grinding, working cycle structure, dynamic model, stiffness, waviness.

Підп. до друку 24.04.2008.

Наклад 100 пр.

Замовлення №

Формат 60×90/16.

Обл. - вид. арк. 0,9.

Ум. друк. арк. 1,1.

Папір ксероксний.

Гарнітура Times New

Roman Сур.

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.