

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Кондратюк Олег Леонідович

УДК 621.91

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИЛОВИХ ГОЛОВОК ДЛЯ
ОБРОБКИ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРА ЗА РАХУНОК
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДУ ПОДАЧ**

Спеціальність 05.03.01– процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Дисертація виконана на кафедрі “Автоматизоване виробництво в машинобудуванні” Української інженерно–педагогічної академії Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Мельниченко Олександр Анатолійович,
Українська інженерно–педагогічна академія
Міністерства освіти і науки України, м. Харків,
завідувач кафедри “Автоматизоване виробництво в
машинобудуванні”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Миرونенко Євгеній Васильович,
Донбаська державна машинобудівна академія
Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ,
професор кафедри “Металорізальні верстати та
інструменти”

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник,
Бородинов Володимир Олександрович,
Харківський науково-дослідний інститут технології
машинобудування Міністерства промислової політики
України, м. Харків,
перший заступник директора - головний інженер

Захист відбудеться “ 23 ” жовтня 2008 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут “ за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут“ за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “ 22 ” жовтня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А.Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з типових і важкоздійснюваних з високою технологічною надійністю операцій в автоматизованому виробництві є операція свердління отворів малого діаметра. Процес свердління отворів малого діаметра стандартними спіральними свердлами характеризується найбільш важливими особливостями: по-перше, недостатня міцність інструменту на вигин; по-друге, внаслідок накопичення стружки в канавках свердла має місце наростання сил та крутильного моменту. При обробці на незмінних режимах різання крутильний момент достатньо швидко досягає свого критичного значення, а це призводить до поломки інструменту і непоправного браку виробу.

У зв'язку з цим при створенні автоматизованого устаткування виникає необхідність керування циклоутворюючими рухами виконуючих елементів верстата з періодичними виведеннями інструменту з зони різання.

При цьому мають місце дві проблеми: перша – визначення оптимальних режимів різання (рішенню даної проблеми присвячена більшість досліджень); друга - керування процесом свердління без поломок інструменту та забезпечення необхідної кількості виведень інструменту з зони різання, що можливе при створенні силових вузлів з новими компоновальними і технологічними характеристиками, які реалізують складні цикли обробки.

Рішенню другої проблеми, яка об'єднує питання синтезу свердильної головки, динамічної діагностики і керування циклами обробки, що має актуальність для науки і практики, присвячена ця дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана на кафедрі автоматизованого виробництва в машинобудуванні Української інженерно – педагогічної академії у рамках держбюджетної теми “Технологічне і технічне оновлення виробництва” (Урядова програма – Україна 2010 – Проект – 4) (ДР № 0104U0941), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження - підвищення ефективності силових головок для обробки отворів малого діаметра за рахунок розробки і застосування приводів з перспективними технологічними і компоновальними характеристиками, які реалізують складні цикли руху подачі. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати системний аналіз проблем обробки отворів малого діаметра та проаналізувати існуючі силові вузли, обґрунтувати використання в приводах подач електромагнітних лінійних двигунів постійного струму;
- розробити методіку визначення геометричних параметрів електромагнітного приводу подач свердильної головки за заданими тяговими характеристиками, що забезпечить раціональні режими різання при свердлінні отворів малого діаметра за рахунок адаптивного керування рухом подачі свердильної силової головки;
- розробити математичну модель динаміки циклоутворюючих рухів свердильної головки з електромагнітним приводом подачі для обробки отворів малого діаметра;

- розробити принципову структуру та експериментально дослідити свердлильну силову головку з електромагнітним приводом подач при складних циклах свердління малих отворів;

- провести виробничі іспити свердлильної головки з електромагнітним приводом подачі.

Об'єкт дослідження - процес обробки отворів малого діаметра.

Предмет дослідження - малогабаритні свердлильні головки з електромагнітним приводом подач для обробки отворів діаметром до 5 мм.

Методи дослідження. Методи системного аналізу використані для дослідження проблем обробки отворів малого діаметра в автоматичному циклі. Теоретичні положення теорії різання, мехатроніки і електротехніки дозволили обґрунтувати доцільність використання властивостей електромагнітного поля та електромагнітного приводу при створенні малогабаритних силових головок, що реалізують складні цикли свердління отворів малого діаметра. Застосовані методи математичного опису покладені в основу розробки динамічних характеристик приводу подач силових головок і моделювання циклоутворюючих рухів. Положення теорії керування використані для розробки системи адаптивного керування процесом роботи силових головок з електромагнітним приводом подач.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше при створенні приводу подач теоретично обґрунтовано і експериментально доведено можливість керування циклом роботи силових головок залежно від зміни крутильного моменту і вісьового зусилля при свердленні отворів діаметром до 5 мм за рахунок використання властивостей електромагнітного поля.

2. Запропонована нова структура приводів свердлильних головок на основі використання електромагнітів постійного струму, яка, на відміну від традиційних схем, використовує жорсткі кінематичні зв'язки і дозволяє реалізувати складні цикли руху залежно від умов різання (деклараційний патент на корисну модель UA(11) 12743).

3. Встановлена динамічна характеристика приводів свердлильної головки на базі розробленої математичної моделі циклоутворюючих рухів, яка в результаті моделювання вирішує вибір тягових характеристик лінійного електромагнітного двигуна з урахуванням оптимальних силових параметрів процесу різання.

4. Запропонована і реалізована система адаптивного керування силовими параметрами циклоутворюючих рухів свердлильної головки з електромагнітним приводом подач, що дає можливість виключити удар при врізанні і забезпечує захист інструменту від перевантажень.

5. Проведені експериментальні дослідження дозволили підтвердити високу працездатність нової силових головок з електромагнітним приводом подач, в якій компактність конструкції поєднується з широкими технологічними можливостями і ефективністю обробки отворів діаметром до 5мм з захистом інструменту від руйнування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що силова головка, яка розроблена для свердління отворів малого діаметра використовується в галузі механічної обробки. Це дозволяє забезпечити оптимальні циклоутворюючі рухи і режими різання, зменшити металоемність, розширити технологічні можливості і захистити інструмент від руйнування.

На основі проведених досліджень, практичних розробок підготовлений комплекс методичного, інформаційного і алгоритмічного забезпечення процесу проектування малих свердильних головок з електромагнітним приводом подач, який включає:

- методику вибору електромагнітного двигуна для приводу подач силової головки при обробці отворів малого діаметра в автоматичному циклі;
- методику математичного моделювання циклоутворюючих рухів приводу подач;
- методику експериментального визначення циклоутворюючих рухів електромагнітного приводу подач свердильних головок.

Результати досліджень впроваджені на підприємствах: АТЗТ ПКТБ “Електротехмонтаж” (м. Харків), Харківський завод агрегатних верстатів, Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря” і Харківський завод електромонтажних виробів №1.

Особистий внесок здобувача складається з розробки нової конструкції силової головки з електромагнітним приводом та адаптивною системою керування для свердління отворів малого діаметра. Здобувач самостійно виконав основні теоретичні дослідження і розрахунки, розробив експериментальний стенд, провів аналітичні та експериментальні дослідження в лабораторних і виробничих умовах. В опублікованих роботах автором запропоновані рішення ряду задач, які дозволяють підвищити ефективність свердління отворів малого діаметра на металорізальному обладнанні в автоматичному циклі.

На підставі аналізу літератури і виконаних конструкторсько-технологічних розробок, статистичного аналізу і проведених експериментів обґрунтовано один з перспективних напрямків удосконалення свердильних головок для обробки отворів малого діаметра і поставлені задачі, вирішення яких дозволяє істотно поліпшити характеристики та розширити технологічні можливості автоматизованого устаткування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: науково-технічних семінарах кафедри “Автоматизоване виробництво в машинобудуванні” Української інженерно - педагогічної академії (м. Харків, 2000-2007р.); Міжнародній конференції “ Технології XXI століття” (м. Алушта, 2005р.); в щорічних науково-практичних конференціях ”Механіка та машинобудування”(м. Харків, 2004 - 2007 р.).

В повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і схвалена на розширених засіданнях кафедр: “Технологія машинобудування та металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, „Автоматизоване виробництво в машинобудуванні” Української інженерно – педагогічної академії.

Публікації. Основні положення дисертації викладені в 12 статтях, серед яких 7 – у фахових виданнях ВАК України.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 178 сторінок у тому числі: 152 сторінки основного тексту, 66 ілюстрацій по тексту, 5 ілюстрацій на 3 сторінках, 13 таблиць по тексту, 4 таблиці на 4 сторінках, 4 додатка на 10 сторінках, список з 173 використаних літературних джерел на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми і практичне значення досліджень, сформульована наукова новизна, практична цінність, основні наукові положення, що виносяться на захист, проведений стислий аналіз питань, які вирішуються в дисертації і складають наукову новизну дослідження, надана загальна характеристика дисертації.

Перший розділ присвячений аналізу досліджень і публікацій предметної галузі, розглянуто сучасний стан проблеми обробки отворів малого діаметра в автоматичному циклі, статистичний аналіз використання основних характеристик силових агрегатів і вузлів, формулюванню, на цій основі, мети і задач дослідження.

Проведений аналітичний огляд вітчизняних і зарубіжних джерел показав, що основним напрямком розвитку удосконалення способів обробки отворів малого діаметра є створення оригінальних конструкцій обладнання. Із робіт вітчизняних авторів В.В. Бойцова, Л.С. Брона, М.С. Васермана, А.І. Дашенко, А.В. Дрока, Г.І. Меламеда, Є.Г. Нахапетяна, Ю.В. Тимофієва, В.Д. Хицана, В.С. Хомякова, І.С. Веремейчука, Т.К. Крылова, М.А. Минкова В.Н. Подурасва, М.В. Потягайло, Л.П. Телятнікова, Н.Д. Троицького, С. А. Черничкина і інших, а також зарубіжних дослідників Masuka I.R., Okubo S., Marvin P., Mandel P. та інших відомо, що забезпечення багатопрохідної обробки отворів малого діаметра на агрегатних верстатах є актуальною проблемою, оскільки вимагає багатократних виводів інструменту.

До недоліків багатопрохідної схеми обробки глибоких отворів на АС необхідно в першу чергу віднести те, що свердління такого роду отворів приходиться проводити на окремих позиціях цього обладнання, що призводить до збільшення основного машинного часу. Тому в процесі механічної обробки деталей паливної апаратури такі технологічні операції по обробці глибоких отворів малого діаметра являються найбільш довгими по часу використання, що призводить до невиправданого збільшення вартості деталі, зниження технологічності її опрацювання та зростання працездатності обладнання, яке застосоване для використання таких операцій. Існуючі конструкції силових головок агрегатних верстатів з електромеханічним або гідравлічним приводом подач не забезпечують необхідні умови при обробці отворів малого діаметра, що робить дослідження та синтез альтернативних приводів подач силових головок актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій з питань розширення технологічних можливостей силових вузлів і агрегатів показав, що електромагнітні лінійні двигуни найбільш придатні для застосування в приводах подач свердлильних силових головок, особливо, при обробці отворів малого діаметра. Властивості електромагнітного поля (можливість регулювання в широких межах вихідних характеристик) можна використовувати при створенні нового (прямого, без кульково-гвинтової передачі) приводу подачі для силової головки.

Другий розділ присвячений синтезу структури і параметрів динамічної системи малої силової головки з електромагнітним приводом подач, критеріям вибору лінійного електромагнітного двигуна, розрахунку його геометричних параметрів по заданим тяговим характеристикам, порядку визначення оптимальних режимів різання при свердлінні отворів малого діаметра стандартними свердлами зі швидкоріжучої сталі та запропонованню системи керування з гнучкою програмою.

Щоб запобігти перевантаження і підвищити ефективність процесу свердління пропонується нова конструкція силової головки для свердління отворів малого діаметра. Основні відмінності пропонованої силової головки від існуючих полягають в тому, що в приводі подач використовується електромагнітний лінійний двигун (ЛЕМД), а обертання шпинделя задається двигуном постійного струму, який зв'язаний зворотним зв'язком з ЛЕМД (рис. 1).

Електромагнітний двигун, запропонований як привод подач свердлильних силових головок для агрегатних верстатів, набагато простіше і дешевше синхронних двигунів, що здійснюють переміщення силової головки.

Відсутність жорстких кінематичних зв'язків і зайвих ланцюгів дозволяє створити силовий агрегат з високими техніко-технологічними показниками.

Структура нового силового агрегату з розподілом привода на елементи за функціональним призначенням буде мати такий вигляд (рис.2).

Приводи головного руху і подачі можуть мати свої джерела енергії Д1 і Д2 і відповідно двигун головного руху (двигун постійного струму) – ДПС і двигун подачі (лінійний електромагнітний двигун) – ЛЕМД. У структуру входять датчики 31 і 32, що задають початкові режими роботи приводів (31 – задає частоту обертання ротора ДПС, 32 – зусилля електромагніта).

Внаслідок взаємодії всіх елементів з адаптивною системою керування циклом АСКЦ, що враховує зміни в зоні різання за допомогою датчика ТГ і задатчиків 31 і 32, забезпечуються оптимальні режими різання, тобто переміщення робочих органів РОГ – шпинделя і РОП - пінолі.

Функцію пінолі виконує рухома частина електромагніта – навій, на якій кріпиться ДПС. Ця система ковзає по напрямній щодо нерухомого сердечника ЛЕМД.

При синтезі нової конструкції силової головки виникла задача погодити електромеханічні показники електромагніта з тяговою характеристикою, розрахувати геометричні розміри електромагніта для приводу силової головки, де стискальне зусилля, що розвивається електромагнітом, прямо пропорційне напрузі, яка подається на електромагніт.

Запропонована силова головка (рис.3) складається зі станини (1), на якій кріпиться ЛЕМД (2), що здійснює подачу двигуна обертальної дії з вбудованим тахогенератором і патроном (4), в якому закріплено свердло (5). ЛЕМД (2) має обмотку збудження (10) та одержує живлення від блоку (9). Деталь (13) встановлена в затискному пристрої (14). При вмиканні джерела живлення (12) обмотки збудження (10) лінійного електромагнітного двигуна (2) в зазорі між якірною обмоткою та обмоткою збудження виникає магнітна індукція - електродинамічна сила $F_{\text{я}}$, що подає інструмент в зону обробки. Двигун (6) налаштований на визначену частоту обертання, що залежить від діаметра оброблюваного отвору і від матеріалу заготовки. Електромагнітний двигун (2) налаштований таким чином, що сила $P_0 + F_{\text{тр}} = F_{\text{э}}$ є оптимальною для здійснення процесу свердління.

Двигуни (6) і (2) зв'язані між собою через блок керування і живлення, які одержують напругу, що потрібна у визначений час.

Принцип роботи електромагнітного приводу полягає в наступному: на обмотку (10) подається напруга, необхідна для початку руху пінолі (у діючій моделі, в якій використовується постійний магніт круглого перетину з навієм збудження, до якої кріпиться двигун обертання, що пересувається по напрямним). Для запобігання співударів інструменту з заготівкою двигун має оснащення демпферним пристроєм, що забезпечує плавність підведення свердла до заготівки. Далі відбувається заглиблення свердла на 0,5 - 1,5 мм., потім двигуни (2) і (6) виходять на номінальні для даних умов обробки режими.

Якщо відбувається “затуплення” інструменту або з'являються фактори, що ведуть до перевищення номінального $M_{\text{кр}}$, порушується рівняння: $F_{\text{я}} = P_{\text{кр}} - F_{\text{тр}}$, де $F_{\text{я}}$ - зусилля якоря; $P_{\text{кр}}$ - припустиме зусилля подачі інструменту; $F_{\text{тр}}$ - сила тертя.

Тахогенератор фіксує падіння обертів, що миттєво контролюється блоком керування (рис.4) сила подачі інструменту збільшується до значення сили, яка не повинна перевищувати $P_{\text{кр}}$. При цьому підтримуються номінальні оберти інструменту, що задані початковими умовами. При порушенні рівняння припиняється подача інструменту, тому що навій ЛЕМД не може забезпечити зусилля, більш встановленого $P_{\text{кр}}$, що дозволяє інструменту працювати в оптимальному режимі і запобігає поломці.

Система керування (рис.4) складається з БК - блока керування; ПШИМП – привода шпинделя і механізму подачі; Д1...Дп - датчиків аналогових параметрів; АЦП1... АЦПп - аналогово-цифрових перетворювачів; БД – буфера обміну даними; МК - мікропроцесорного контролера; ПВВиО – пристрій введення-виводу і відображення інформації; ЦАП - цифро-аналогового перетворювача; ШД - шини даних мікроконтролера; ПК – пристрій керування.

Перед початком обробки оператор за допомогою ПВВиО вводить у СК початкові дані – діаметр отвору, матеріал заготовки ОЗ та інструменту. На основі цієї інформації МК визначає режими різання і дає команду ПК на вмикання. Після подачі команди на вмикання починає працювати привод шпинделя і механізм подачі ПШИМП. Вхідним сигналом для СК є інформація, що надійшла з датчиків аналогових параметрів Д1...Дп.

Такими параметрами можуть бути оберти шпинделя, сила різання, та інші аналогові сигнали. Аналоговий сигнал з датчиків підсилюється і перетворюється в цифровий код за допомогою АЦП та надходить у буфер обміну даними БД, а потім - на шину даних ШД мікроконтролера МК, який оброблює отриману інформацію і формує сигнал керування. Далі в ЦАПі сигнал керування з цифрового коду перетворюється в аналогову форму, підсилюється і подається на ПК, що виробляє керуючий вплив для блоку керування БК.

Таким чином, запропонований варіант силової головки дає можливість:

- виключити удар при врізанні інструменту в деталь;
- захистити інструмент від перевантажень за рахунок автоматичного керування силовими параметрами;
- забезпечити стабільний вихід стружки з отвору, який обробляється;
- виключити задирки на виході з отвору при наскрізному свердлінні;
- спростити переналагодження силової головки;
- підвищити надійність за рахунок виключення зайвих передатних ланок приводу;
- зменшити габарити конструкції і знизити собівартість.

Третій розділ присвячений дослідженню динаміки формоутворюючих рухів головки з електромагнітним приводом подачі при свердлінні отворів малого діаметра. При цьому значна увага приділяється погодженню та упорядкуванню роботи всіх елементів динамічної системи силової головки.

Динамічна система включає: підсистему інструменту, демпферні пристрої, регульовані приводи (обертання шпинделя і швидкості подачі пінолі). Функціональна схема керування динамічної системи силової головки надана на (рис.5).

„Входом” в привод подачі є напруга U_s , підведена на якір лінійного двигуна, яка перетвориться в F_s - силу подачі. Вихідними координатами приводу подачі є осьові переміщення свердла x , швидкість цього переміщення з силою подачі F_s . Вхідною координатою приводу головного руху є напруга U_v , що подається на якір двигуна. Вихідною координатою є кутова швидкість ω ротора двигуна.

Вихідні координати приводів перетворюються процесом свердління в осьову силу різання P_o і момент різання M_p . Вихідні координати процесу різання здійснюють зворотні дії на приводи.

Зміна моменту різання веде до зміни кутової швидкості ротора, а зміна осьової сили різання веде до зміни швидкості dx/dt подачі. Напруга U_s і U_v задається в пристрої керування ПК, там же відбувається порівняння напруги на виході тахогенератора $U_{тг}$ з $U_{кр}$, яка також задана в ПК. При $U_{тг} > U_{кр}$ привод подачі продовжує працювати: пересуває каретку в позитивному напрямі осі X - свердління продовжується. При падінні $U_{тг}$ нижче $U_{кр}$ перемикається полярність обмотки якоря лінійного двигуна і відбувається відведення пінолі.

Розрахувати всі фази циклу глибокого свердління неможливо без математичного моделювання циклоутворюючих рухів з урахуванням динамічних процесів в приводах. Розглянемо схему динамічної системи силової головки

(рис.6): 1 - станина; 2 - лінійний електромагнітний двигун; 3 - піноль лінійного двигуна, яка нерухомо закріплена з двигуном обертання; 4; 5 - свердло; 6 - каретка; 7 - пружина з жорсткістю C ; 8 - демпфер з коефіцієнтом демпфування λ . Згідно розрахункової схеми записуємо системи диференціальних рівнянь, що описують динаміку роботи головки.

Холостий хід (врізання $x < h$)

1. Модель привода подачі

$$m\ddot{x} = K_s \cdot U_s - mg\mu - Cx - \lambda \frac{dx}{dt};$$

2. Модель двигуна обертання

$$\begin{cases} L \cdot \frac{dI_a}{dt} + R \cdot I_a + C\omega = U; \\ I \cdot \frac{d\omega}{dt} = C \cdot I_a. \end{cases}$$

Робочий хід

1. Модель привода подачі: в

$$m\ddot{x} = K_s \cdot U_s - mg\mu - Cx - \lambda \frac{dx}{dt} - 10C_{Po} D^{q_{Po}} S^{y_{Po}} Kp(1 + K),$$

де K - коефіцієнт лінійної залежності Po від глибини свердління;

2. Модель двигуна обертання:

$$\begin{cases} L \cdot \frac{dI_a}{dt} + R \cdot I_a + C\omega = U; \\ I \cdot \frac{d\omega}{dt} = C \cdot I_a - 10C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot Kp \cdot \left(1 + \frac{x - h_1}{3D}\right). \end{cases}$$

Модель тахогенератора (зміна ω двигуна)

$$U_t = C \cdot \omega.$$

Якщо $M_p \geq M_{кр}$ ($M_{кр}$ – критичний крутильний момент з умов міцності свердла), то кутова швидкість $\omega \leq \omega_{кр}$ и $U_t \leq U_{кр}$, напруга на вході двигуна подачі змінює знак ($1 - U_s$) і відбувається відведення свердла. Двигун обертання свердла знижує кутову швидкість ω до номінальної ω_n та знову вмикає лінійний двигун на подачу.

На рис.7. приведена аналогова модель роботи силової головки, яка реалізована блок-схемою моделювання за допомогою пакета програм “VisSim -5”.

Модель привода подачі об'єднана в “Compound block” (складений блок) під назвою “solenoid”, що моделює роботу привода подачі, в якому знаходиться блок “Cutting forse” (сила різання), що моделює осьову силу різання Po . Модель двигуна головного руху зібрана в “compound” блоці під назвою “motor”, момент

опору M_c обчислюється в окремому “Compound block” під назвою “Moment cutting”. Окрім всіх перерахованих блоків, модель логіки роботи силової головки (рис.7) містить спеціальний блок “max_val.bmp” для обчислювання вхідної координати по максимальному значенню та її фіксації на „виході”. Важливість цього блоку визначена тим, що в кожному циклі (підведення → свердління → відведення) перед відведенням свердла відбувається фіксація максимального значення координати X і визначається момент холостого підведення до початку свердління.

В блоках “Cutting force” і “Moment cutting” розрахунок P_o і M_c проводиться тільки у разі, коли $x > h_1$, тобто коли свердло після відведення при підводі до повільного торкання пройшло шлях $x > h_1$. Саме наявність блоку “max_val.bmp” дозволяє реалізувати в моделі багатократний цикл (підведення → свердління → відведення) і при цьому визначати величину холостого ходу (підвода).

Аналіз результатів моделювання показав, що свердління, яке здійснюється модельованою головкою, є високочастотним повторенням циклів (підведення → свердління → відведення), і перетворюється майже на безперервний рух подачі.

На рис.8 приведена роздруківка сигналів x і h_1 для умов свердління згідно з аналоговою моделлю (рис.7). Перша ступінчаста лінія - це значення врізування h_1 , що періодично змінюється, перед відведенням свердла. Друга лінія - це координата X переміщення свердла уздовж вісі.

Коли U_t стає менше $U_{кр}$, координата x досягає значення h_1 - починається швидке підведення головки. Процес свердління продовжується приблизно $1с.$, а потім, коли кутова швидкість $\omega \leq \omega_{кр}$ і $U_t \leq U_{кр}$, свердло відходить з зони обробки приблизно на 3мм. Двигун головного руху при відведенні головки знову розганяється і U_t стає більше $U_{кр}$, вмикається двигун подачі на прискорення по координаті x до торкання з заготовкою, тобто поки x не стане рівним h_1 . Періодичність циклів свердління добре видно з рис. 8.

У розглянутому прикладі глибина свердління в кожному циклі дорівнює приблизно 1мм, а відведення - 3мм. Цикл (підведення → свердління → відведення) за часом складає приблизно 1,7 с.

Так, наприклад, тривалість свердління отвору довжиною 30 мм і діаметром 2мм стандартним новим свердлом Р6М5 складе 30 циклів, або $30 \cdot 1,7 \approx 50$ с., що є ефективнішим в порівнянні з іншими силовими головками.

Четвертий розділ присвячений розробці методики експериментальних досліджень, побудові циклограми роботи силової головки з електромагнітним приводом подачі і оцінці її надійності. На основі теоретичних розробок прийняті технічні рішення, які дозволили створити силову головку з електромагнітним приводом подачі для свердління отворів діаметром до 5 мм. (рис.9).

Спроектовано і виготовлено стенд, що забезпечує та характеризує роботу силового агрегату на ділянках робочих подач (рис. 10), де 1- блок живлення і система автоматичного керування свердлильної головки; 2- приладовий щиток; 3- аналого-цифровий перетворювач звукової плати ЕОМ типу ІВМ; 4- підсилювач ТА; 5- затискне пристосування; 6- динамометр УДМ-100; 7- заготовка; 8- свердло; 9-цанга; 10- силова головка.

Експериментальна перевірка значень подач, крутних моментів, осьових зусиль при роботі свердильної головки з електромагнітним приводом подачі підтвердили результати теоретичних досліджень. Вони не виходять за межі стандартних значень.

Експериментально визначена циклограма роботи силової головки з електромагнітним приводом подачі при свердлінні отворів діаметром 2 мм. на глибину $L_{рез} = 30\text{мм}$. З рис.11 можна визначати середній нормативний час циклу роботи агрегату.

Повний цикл роботи силової головки з електромагнітним приводом подачі в середньому менше на 15% від циклу базової електромеханічної головки з кулачковим приводом подачі. Обробка відбувається з однієї позиції (установ), при цьому забезпечується необхідна кількість відводів свердла з зони обробки для виведення стружки, що не перевантажує інструмент та не вимагає “досвердлювання” отвору.

Випробування електромагнітної головки на точність обробки проводились свердлінням контрольних деталей. Результати випробувань показали, що точність свердління надійно забезпечується в межах 12-13 квалітету. У ході проведення експерименту було з'ясовано, що відхилення осі отвору не перевищує допуск на виготовлення. За час роботи свердел до повного затуплення полочки не зафіксовано. Виробничі випробування свердильної головки з оцінкою зносостійкості елементів і надійності агрегату підтвердили надійність її роботи при максимальних навантаженнях.

Аналізуючи теоретичні і експериментальні циклограми роботи свердильної головки, можна зробити висновок (рис.11), що вони мають деякі відміни. Це пов'язано з тим, що реальні елементи конструкції силової головки (демпферні пристрої, характеристики двигунів та ін.) за своїми параметрами відрізняються від теоретично змодельованих. При моделюванні не враховувався процес зносу свердла, який впливає на кількість повних виводів інструменту для видалення стружки і охолодження, а це значно збільшує час циклу обробки. Але ці відмінності значно не впливають на працездатність силової головки, що підтверджує правильність теоретичних досліджень.

Розділ 5 присвячений впровадженню результатів досліджень ефективності свердильної головки с електромагнітним приводом подачі із поліпшеним балансом продуктивності й більше широкими технологічними можливостями, що дозволяють повністю використати цей силовий вузол при здійсненні складних технологічних циклів глибокого свердління.

Економічний ефект від впровадження результатів дослідження складається зі зниження наступних складових:

- металомісткості та габаритів малих свердильних головок пінольного типу з електромагнітним приводом подачі;
- вартості експлуатації за рахунок простоти конструкції і зменшення витрат на обслуговування;
- собівартості виготовлення малих агрегатних верстатів при використанні в них свердильних головок з електромагнітним приводом подачі, що

дозволяє надійно забезпечувати складні технологічні цикли глибокого свердління та застосування верстатів-дублерів;

- собівартості виготовлення деталей за рахунок підвищення продуктивності агрегатних верстатів, що скомпоновані на базі електромагнітних силових вузлів, які мають поліпшений баланс продуктивних і непродуктивних витрат часу в циклі роботи та кращі характеристики надійності;
- витрат на відновлення працездатності свердильних головок, що відрізняються більш високою надійністю в роботі.

Свердильна головка з електромагнітним приводом подач запобігає поломки інструменту за рахунок пристроїв, що забезпечують баланс вісьової сили і крутильного моменту.

Очікуваний річний економічний ефект від застосування свердильної головки з електромагнітним приводом подач складає близько 48000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз проблеми обробки отворів малого діаметра в агрегованих технологічних системах показав, що конструкції силових свердильних головок з електромеханічним або гідравлічним приводом подач не можуть надійно забезпечити свердління отворів малого діаметра. Причиною відмови стандартних свердел при глибокому свердлінні і непоправного браку в оброблюваних деталях є перевантаження інструменту через нестабільні величини вісьового зусилля і крутильного моменту. Щоб уникнути поломки свердла зусилля і напрям подачі інструменту повинні мінятися відповідно до умов, що змінюються в зоні різання залежно від заглиблення свердла в матеріал. Для забезпечення комплексу вимог до силових вузлів (можливість отримувати необхідний закон руху робочого органу, висока швидкість настановних переміщень, простота конструкції і системи керування і т.п.) необхідні принципово нові конструктивні рішення, засновані на використанні властивостей електромагнітного поля при створенні приводу подачі силової головки.

2. Аналіз властивостей електромагнітного приводу подач показав перспективність його застосування в малих силових головках для свердління отворів діаметром до 5 мм: відсутність жорстких кінематичних зв'язків, збіг параметрів функціонування рухового і виконавчого органу без проміжних перетворювачів, можливість регулювання в широких діапазонах вихідних характеристик за наявності зворотного зв'язку. Це дозволило створити силовий агрегат з високими техніко-технологічними показниками у вигляді динамічної системи, що складається з двигуна постійного струму, який задає обертання інструменту, лінійного електромагнітного двигуна, що виконує роль приводу подач і адаптивної системи керування, яка погоджує роботу всієї динамічної системи.

3. Теоретичні дослідження і динамічне моделювання циклоутворюючих рухів дозволили обґрунтувати вибір раціональної структури і вирішити задачу вибору силових параметрів свердильної головки з електромагнітним приводом подач з урахуванням процесів, що протікають в зоні обробки.

4. Запропонована методика розрахунку параметрів електромагнітного приводу подачі за заданими тяговими характеристиками на основі визначення раціональних режимів різання дозволила створити силову головку, що дає можливість: виключити удар при врізанні інструменту в деталь; запобігти поломки інструменту від перевантажень за рахунок автоматичного керування силовими параметрами та режимами різання при свердленні; забезпечити стабільне відведення стружки з оброблюваного отвору; збільшити жорсткість системи за рахунок виключення зайвих передавальних ланок приводу; спростити переналагодження сигової головки; підвищити надійність, зменшити металоємність конструкції, і знизити собівартість.

5. Проведені експериментальні дослідження дозволили підтвердити: високу працездатність принципово нової сигової головки з електромагнітним приводом; встановити найбільш раціональні експлуатаційні параметри; виявити істотне (до 15%) підвищення продуктивності обробки в порівнянні з базовими електромеханічними моделями, достатню зносостійкість найбільш навантажених елементів приводу подач при обробці і забезпечити високу безвідмовність роботи агрегату за рахунок виключення передаточних ланок.

6. Економічний ефект, отриманий через виключення браку, пов'язаного із поломкою інструменту та розширення технологічних можливостей за рахунок реалізації складних циклоутворюючих рухів, складає приблизно 48 тис. грн., що підтверджено актами впровадження результатів у виробництво.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мельниченко А.А., Пермяков О.А., Кондратюк О.Л., Корж О.В. Математическое моделирование статической жесткости шпинделя силовой головки агрегатного станка. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып.54. - С.171-174.

Здобувач розробив розрахункову процедуру для визначення характеристик статичної жорсткості шпинделя сигової головки.

2. Науменко В.К., Пермяков О.А., Сычев Ю.И., Кондратюк О.Л., Корж О.В. Математическое моделирование статических и динамических характеристик шпиндельных узлов металлорежущих станков. //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 1999. - Вып. 75. - С. 44-48.

Здобувач розробив алгоритм розрахунку статичних і динамічних характеристик шпиндельних вузлів металорізальних верстатів.

3. Мельниченко А.А., Тимофеев Ю.В, Корж О.В., Кондратюк О.Л. Принципиальная схема силовой головки с электромагнитным приводом для обработки отверстий малого диаметра. //Вісник Інженерної Академії України. - Київ: 2001. - №3. - С.540-543.

Здобувач розробив та запропонував конструктивну схему сигової головки з електромагнітним приводом подач.

4. Мельниченко А.А., Кондратюк О.Л., Сычев Ю.И. Обработка мелкоразмерных отверстий. //Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков – 2004. № 4(51). - С.28.

Здобувач запропонував враховувати силові фактори, що впливають на дестабілізацію сил різання при свердлінні отворів малого діаметра.

5. Кондратюк О.Л. Об устойчивости процесса глубокого сверления на малых агрегатных станках. //Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков – 2004. № 6(52). - С.22-23.

6. Мельниченко А.А., Кондратюк О.Л., Сычев Ю.И. Обеспечение точности отверстий при обработке на агрегатных станках. //Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков – 2004. № 8(55). - С.54-56.

Здобувачем розкриті основні силові фактори, які впливають на точність при обробці отворів на агрегатних верстатах.

7. Мельниченко А.А., Кондратюк О.Л. Шпиндельные узлы мехатронных силовых головок для сверления глубоких отверстий малого диаметра. //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - Харьков: НТУ«ХПІ». - 2005. - №39. - С. 66-71.

Здобувач запропонував конструктивну схему шпиндельного вузла силової головки для обробки глибоких отворів малого діаметра з електромагнітним приводом подач.

9. Кондратюк О.Л. Перспективы развития конструктивно новых силовых приводов для малых агрегатных станков. //Тези доповідей XXXVII науково-практичної конференції Української інженерно- педагогічної академії “Механіка і машинобудування”. Харків, 2004р. - С.53-55.

8. Мельниченко О.А., Кондратюк О.Л., Бей Р.В. Дополнена укрупнена класифікація агрегатних верстатів та їх елементів. //Вісник Національного аграрного університету. - Суми: СНАУ. - 2005. - №11(14).С.156-160.

Здобувач запропонував доповнити укрупненню класифікацію агрегатних верстатів новим електромагнітним приводом подач.

9 Мельниченко О.А., Кондратюк О.Л. Мехатронна силова головка для свердління глибоких отворів малого діаметра з адаптивною системою керування. //Вісник Національного аграрного університету. - Суми: СНАУ. - 2005. - №13. - С. 106-111.

Здобувач спроектував автоматичну систему керування мехатронною силовою головкою для свердління глибоких отворів малого діаметра.

11 Кондратюк О.Л. Мехатроника в агрегатных станках и автоматических линиях. //Тези доповідей XXXVIII науково-практичної конференції Української інженерно- педагогічної академії “Механіка і машинобудування”. Харків, 2005р. - С.56-57.

12 Мельниченко О.А., Кондратюк О.Л. Обеспечение продольной устойчивости спиральных сверл при обработке глубоких отверстий малых диаметров на агрегатных станках. // Вісник науки и техніки. - Харьков: НТУ«ХПІ». - 2005 - Вып. 2-3 (21-22). - С. 28-35.

Здобувач провів експериментальні дослідження, обробив результати експериментів та виконав узагальнення отриманих результатів.

13 Агрегатна силова головка для глибокого свердління отворів малого діаметра. Кондратюк О.Л., Корж О.В. Деклараційний патент на корисну модель №12743, МПК F28С 1/00 В23В 47/32, опубл. Бюл.№ 2, 2006р.

Здобувач виконав патентний пошук за проблемою, запропонував конструктивну схему агрегатної силової головки і підготував дані для опису винаходу.

14 Кондратюк О.Л. Условия устойчивости процесса резания при реализации операции глубокого сверления на малых агрегатных станках. // Збірник наукових праць. Машинобудування. – Харків: УПА.- 2007. - №1. С. 91-98.

Здобувач виконав теоретичні дослідження стійкості процесу свердлення отворів малого діаметру при пружній схемі обробки.

15. Сизый Ю.А., Кондратюк О.Л., Чайка Э.Г. Выбор и расчет параметров привода подачи силовой головки для глубокого сверления // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - Харків: НТУ«ХПІ». - 2007. - №17.С. 25-34.

Здобувач запропонував методику вибору коефіцієнта демпфування моделюванням руху холостого ходу головки для глибокого свердлення.

АНОТАЦІЇ

Кондратюк Олег Леонідович. **Підвищення ефективності силових головок для обробки отворів малого діаметра за рахунок застосування електромагнітного приводу подач.** - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут, Харків, 2008р.

Дисертація присвячена рішенням актуальної задачі - Підвищенню ефективності силових головок для обробки отворів малого діаметра. Це завдання вирішується, за рахунок розробки і застосування силових вузлів з новими компоновальними і технологічними характеристиками, які реалізують складні цикли руху подачі, та представляються найбільш перспективними силовими вузлами агрегованих технологічних систем даного класу.

Очікуваний річний економічний ефект від застосування силової головки з електромагнітним приводом подач складає близько 48тис. грн.

Результати дослідження впроваджені в практику проектування і виробництва агрегатних верстатів малого розміру.

Ключові слова: *силова головка, обробка отворів малого діаметра, силовий вузол, електромагнітний привід, циклоутворюючий рух подачі, циклограма роботи вузла.*

Кондратюк Олег Леонідович. **Повышение эффективности силовых головок для обработки отверстий малого диаметра за счет применения электромагнитного привода подач.** - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 - процессы механической обработки, станки и инструменты. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт, Харьков, 2008 г.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи - повышение эффективности силовых головок для обработки отверстий малого диаметра. Эта задача решается, за счет разработки и применения силовых узлов с новыми компоновочными и технологическими характеристиками, которые реализуют сложные циклы движения подачи, и представляются наиболее перспективными силовыми узлами агрегатированных технологических систем данного класса и представляются наиболее перспективными силовыми узлами агрегатированных технологических систем данного класса.

Отсутствие жестких кинематических связей, совпадение параметров функционирования двигательного и исполнительного органа без промежуточных преобразователей, возможность регулирования в широких пределах выходных характеристик при наличии обратной связи позволило создать силовой агрегат с высокими технико-технологическими показателями в виде динамической системы, которая состоит из двигателя постоянного тока, задающего вращение инструменту, линейного электромагнитного двигателя, исполняющего роль привода подач и адаптивной системы управления, которая согласует работу всей динамической системы.

Теоретические исследования и моделирование циклообразующих движений позволили обосновать выбор рациональной структуры и решить задачу выбора силовых параметров силовой головки с электромагнитным приводом, что позволило увеличить жесткость системы за счет исключения лишних передаточных звеньев привода; упростить переналадку силовой головки; повысить надежность, уменьшить габариты конструкции, и снизить себестоимость.

Проведенные экспериментальные исследования позволили подтвердить высокую работоспособность принципиально новой силовой головки с электромагнитным приводом, выявить существенное (до 15%) повышение производительности обработки по сравнению с базовыми электро-механическими моделями. Экономический эффект от внедрения результатов исследования в производство, подтвержденный актами внедрения, составляет 48 тыс. грн. на одну головку.

***Ключевые слова:** силовая головка, обработка отверстий малого диаметра, силовой узел, электромагнитный привод, циклообразующее движение подачи, циклограмма работы узла.*

Kondratyuk Oleg Leonidovich. Increase of efficiency of power heads for treatment of openings of small diameter due to application of electromagnetic drive of serves. - Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering's sciences on specialty 05.03.01. are processes of tooling, machine-tools and instruments. A national technical university is the "Kharkov polytechnic institute, Kharkov, 2008.

Absence of hard kinematics connections, coincidence of parameters of functioning of motive and executive organ without intermediate transformers, possibility of adjusting in the wide limits of output descriptions at presence of feed-back allowed to create a power aggregate with high oilier-technological indexes in a kind dinamic of the system, which consists of engine of direct current, questioner a to revolve instrument, linear electromagnetic engine, carrying out the role of drive of serves and adaptive control the system, which coordinates work of all of the dynamic system. Theoretical researches and design of reserved contour motions allowed to ground the choice of rational structure and decide the task of choice of force parameters of power head with an electromagnetic drive, that allowed to increase inflexibility of the system due to the exception of superfluous transmission links of drive; to simplify adjusting of power head; to promote reliability, to decrease sizes of construction, and to cut prime cost. The conducted experimental researches allowed to confirm the large capacity of on principle new power head with an electromagnet nymph drive, to expose the substantial (to 15%) increase of the productivity of treatment as compared to base electro mechanics models. Economic effect from applying of research results in industry, by the introduction of introduction, makes 48000grn. on an one head.

Key words: *power head, treatment of openings of small diameter, power knot, electromagnetic drive, formative cycle of motion of serve.*