

©Маршуба В.П., Чернякова О.В.

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ СПІРАЛЬНИМИ СВЕРДЛАМИ

### 1. Постановка проблеми

Основними показниками, що визначають конкурентоспроможність продукції, являються її високі споживчі властивості і мала собівартість. Тоді, як високу якість нової продукції і швидкий перехід на її випуск забезпечують багатоопераційні агрегатні верстати і гнучкі виробничі системи або автоматичні лінії. Але ж велика вартість устаткування цієї групи верстатів веде до зростання собівартості продукції, тобто, робить її не конкурентоспроможною. Крім того при обробці деталей на автоматичних лініях з жорстким зв'язком, особливо при великій кількості устаткування, що вбудовується в лінію, знижується їх надійність, що збільшує собівартість продукції. Тому необхідно врахувати недоліки обробки деталей на цієї групі верстатів та зменшувати необхідні затрати при виготовленні продукції.

Вивчення стану експлуатації мірних кінцевих інструментів, на прикладі спіральних свердел в машинобудуванні при глибокому свердлінні на агрегатних верстатах, автоматичних лініях та гнучких виробничих системах показало, що свердління отворів ( $L/d \leq 15$ ) складає до 70 % від усіх робіт по обробці отворів. Підвищення глибини і точності обробки отворів спіральними свердлами досягається шляхом, оптимізації геометричних і конструктивних параметрів ріжучого інструменту [1], тобто використанням спеціальних форм їх конструкції або заточування при обробці окремих матеріалів або груп матеріалів, які мають близькі фізико-механічні властивості.

Крім того існують напрямки підвищення ефективності процесу обробки глибоких отворів за рахунок керування алгоритмами, заснованими на вивченні механіки процесу свердління, а також управління динамікою процесу на основі зниження дестабілізуючих чинників, що супроводжують процес різання.

## **2. Аналіз досліджень**

Обробка отворів на агрегатних верстатах та автоматичних лініях з кондукторними втулками, пред'являє до свердел додаткові вимоги, які пов'язані з підвищенням міцності ріжучого інструмента та точності виконання технологічної операції свердління. Так як за звичай на верстатах цих груп виконується обробка досить складних та вельми коштовних деталей (різноманітні корпусні деталі) і, зокрема, з розташуванням досить великих груп отворів з точними координатами відносно контуру деталей, та одно від одного.

Точність розташування отворів зазвичай, забезпечується шляхом попереднього центрування свердел в кондукторних втулках з наступним виконанням технологічної операції обробки отворів. Але ж це накладає певні проблеми, що до обробки глибоких отворів ( $L/d \leq 15$ ) спіральними свердлами, з-за виникнення проблеми з пакуванням стружки в каналах отвору, що приводить до раптової відмови ріжучого інструменту.

Розбивка безперервної обробки отворів на окремі частини з виконанням на різних позиціях верстатів, стикається з іншою проблемою. При цьому методі зростає ускладнення конструкції верстатів за рахунок розбивки глибини обробки отворів для виконання на різних позиціях цього обладнання та підвищення собівартості обробки корпусних деталей.

Обробка за один прохід всього каналу отвору без покращення умов праці свердла, як показувалось вище, неможлива з-за виникнення проблеми утворення пакетів стружки в стружкових канавках свердла, та неможливості використання циклу багаторазової обробки на одній позиції, так як зазвичай одночасно на агрегатних верстатах та автоматичних лініях виконуються і інші види обробки (нарізання різьблення, розгортання, торцеве зенкерування та

інше). Для усунення цих недоліків нині використовуються новітні методи заточування свердел, що покращують умови дроблення безперервних потоків стружки на окремі фрагменти та застосовують конструкції свердел, що відрізняються від стандартних інструментів. Ці фактори зменшують осьове навантаження на свердло, стабілізують вібрації при обробці та зменшують величину початкового зміщення, що дозволяє при обробці отворів з точними координатами відмовитися у ряді випадків від використання складних (багаторазових) циклів обробки на верстатах, тобто розбивання обробки каналу одного отвору між різними позиціями верстатів.

Раніше вже розглядалися питання, присвячені створенню устаткування для автоматизації процесу свердління глибоких отворів малого діаметру, але тут необхідно відмітити, що таке устаткування було надзвичайно складним, громіздким і не мало достатньої надійності. Більше того, існуючі конструкції верстатів далеко не вичерпали резерви продуктивності і якості при високій собівартості. З цих причин це устаткування не отримало масового застосування.

Тоді як гнучкі виробничі системи при високій їх собівартості мають де коли переваги над жорсткими по циклу обробки агрегатними верстатами та автоматичними лініями. Як відмітимо, що сучасна електроніка має високу швидкодію і надійність. Саме цей факт дозволив наново поглянути на поставлені завдання, оскільки з'явилася можливість впровадження складних математичних алгоритмів управління нестационарними процесами. Необхідно відмітити і ту обставину, що сучасна обчислювальна техніка має високий потенціал для вирішення завдань математичного моделювання складних динамічних процесів. Тобто застосування сучасної електроніки в конструкціях агрегатних верстатів та автоматичних ліній робить їх більш гнучкими та пристосованими для обробки глибоких отворів ( $L/d \leq 15$ ). Такий підхід дозволяє вирішувати чисельні завдання, що не мають аналітичного рішення. Останнє відкриває сферу в науково-дослідній роботі. Саме визначення алгоритмів, заснованих на вивченні механіки процесу свердління, а також управління динамікою процесу на основі зниження дестабілізуючих чинників

дозволяє сформулювати і вирішити завдання синтезу системи оптимізації продуктивності обробки отворів.

Крім того застосування електроніки для керівництва процесом обробки на агрегатних верстатах та автоматичних лініях досить ускладнено з-за характерних особливостей існуючих моделей верстатів цієї категорії. Проте є відомості, що вже існують такі конструкції верстатів. Значно краще це реалізується в конструкціях автоматичних ліній, так як там можливо застосування на окремих позиціях систем електронного керування процесом різання.

Тому намітилась нова тенденція по точному виконанню каналів отворів та їх розташування відносно контуру деталі, спіральними свердлами, що забезпечується шляхом утворення елементів на ріжучій частині інструменту та додаткових рухів, що накладаються на нього для дроблення стружки в зоні різання, що суттєво покращує умови праці спіральних свердел.

Вивчення перетворень траєкторій формотворних рухів за рахунок виявлення їх особливостей у взаємозв'язку з процесом різання і створення раціональних алгоритмів діагностування процесів характеризує, з одного боку подальший зміст досліджень в області автоматизації свердління глибоких отворів малого діаметру, а з іншою, визначає актуальність виконаних досліджень для верстатобудування. Також відмітимо те, що принципи, що розглядаються в цій роботі, можуть бути використані в інших галузях техніки і технологіях, де має місце прояв не стаціонарності параметрів процесу різання.

### **3. Виклад основного матеріалу**

Вдосконалення технологічного процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами на агрегатних верстатах, автоматичних лініях та гнучких виробничих системах з метою підвищення точності і продуктивності обробки отворів, проводиться по різним напрямкам:

- Оптимізація конструкції ріжучого інструменту, як по геометричним параметрам, так і конструктивним елементам;

- Вдосконалення існуючого парку верстатів та проектування нових конструкцій з урахуванням нових досягнень по механіці процесу свердління і з застосуванням новітніх технологій та електронному керуванню;

- Керування динамікою процесу різання на підставі накладення додаткових вібрацій на ріжучий інструмент та змащувально-охолоджувальне технологічне середовище (ЗОТС) з метою покращення умов дроблення безперервного потоку стружки.

Врахувати всі нові розробки по цій темі в обсязі статті неможливо, тому будуть розглянуті основні напрямки розробок на прикладах, що вирішуються в наступних роботах:

**Першим напрямком досліджень** по оптимізації геометричних параметрів стандартних спіральних свердел було розробка більш вдосконаленого заточування робочої частини свердла [1], що відрізняється від стандартного. Тобто на базі стандартного свердла була створена спеціалізована конструкція, в якій за рахунок оптимізації геометричних параметрів ріжучого інструменту. В цій розробці була приділена велика увага створенню умов безперервного дроблення потоку стружки на окремі фрагменти, та відведення цих фрагментів стружки із зони різання та зони обробки. Відмітними особливостями цієї заточки спеціалізованого свердла було виготовлення радіусної головної ріжучої кромки з розмірами  $R=(2...3)d$ , де  $d$  – діаметр свердла, виконання уступів по задній поверхні за рахунок підточування вишиною  $a = (0,1...0,15)d$ , та з довжиною  $l = 1/3$  (довжини головної різальної окрайки), а також підгострювання серцевини по передній поверхні до розміру перемички  $c = 0,2d$ .

**Другим напрямком** – було подальше вдосконалення конструкції спірального свердла, за рахунок застосування різноманітних змін в конструкції інструменту. Ці дослідження проводяться в двох напрямках:

- **по-перше**, зміна форми поперечного перерізу свердла, що відрізняється від стандартного [3], з метою збільшення товщини серцевини інструменту та об'єму стружкових канавок. Цей напрям досліджень широко висвітлено зарубіжній літературі останнім часом. По каталогах фірм виробників

інструменту, з'явилися повідомлення про створення нових принципово відмінних конструкцій швидкорізальних спіральних свердел для обробки глибоких отворів, що відрізняються від стандартних формою профілю поперечного і подовжнього перерізу (відносно осі свердла), завтовшки серцевини. Тобто ці свердла, за даними каталогів, дозволяють вести обробку глибоких отворів (до  $15d$ ) за один прохід, тобто за схемою глибокого безвідвидного свердлення. Але ж цей напрям не вирішує точності розташування висей отворів, та їх взаємне розташування одно відносно іншого та контуру деталі.

- *по-друге*, з'явився напрям вдосконалення конструкцій ріжучих інструментів, тобто розробка свердел підвищеної жорсткості, що відрізняються від звичайних свердел наявністю чотирьох направляючих стрічков і потовщеною серцевиною в 1,5...2 разу. Висока жорсткість свердла і хороший напрям його значно зменшують відхилення від прямолінійності осі отвору.

При виготовленні чотирьох стрічкових свердел підвищеної жорсткості особливо обумовлюються вимоги, від яких залежить точність обробки глибокого отвору. Осьове биття різальних кромок в периферійній точці має бути не більше 0,002...0,005 мм, а різниця в довжині різальних кромок не повинна перевищувати 0,01 мм. Ці вимоги виконуються при заточуванні і доведенні свердел в спеціальному пристосуванні із забезпеченням параметра шорсткості поверхонь, що заточені до  $Ra = 0,16...0,32$  мкм.

Поліпшення напрямку свердел в кондукторних втулках досягається виконанням у них відособлених направляючих стрічков. У таких свердел виконується дві пари стрічков - по дві на кожній із стружкових канавок. На відміну від свердел з чотирма однаковими по розмірах і геометрії направляючими стрічками, в цьому випадку друга пара стрічков має більший діаметр в порівнянні з діаметром різальної частини свердла. Доцільність такої конструкції свердла полягає в тому, що між двома парами стрічков розмежовуються функції. Перша пара стрічков виконує функції тільки допоміжних задніх поверхонь, а друга пара відособлених стрічков

служить тільки для напрямку свердла в кондукторній втулці. Тому розміри і геометрія кожної пари стрічечок задаються з розрахунком на найкраще виконання функцій, для яких кожна з них призначена. Ширина відособлених направляючих стрічечок в кондукторній втулці (для кращого напрямку) виконується не менше половини ширини пера свердла. Різниця діаметрів по обох стрічечках приймається від 0,1 до декількох міліметрів. Мінімальна величина різниці діаметрів виконується у свердел тільки для свердління отворів, а максимальна у свердел для одночасного свердління і зняття фаски.

*Третім напрямком досліджень* є напрям вдосконалення конструкцій металорізальних верстатів [4], які швидко розвиваються. Вдосконалення конструкцій верстатів пов'язано з об'єднанням власне верстата і ЕОМ, яка стає невід'ємною його частиною. Причому, між координатами стану верстата і ЕОМ здійснюється обмін текучою інформацією, і на ЕОМ формуються дії, що управляють положеннями елементів верстатів, тобто ЕОМ змінює координати елементів верстатів в залежності від умов роботи ріжучого інструменту.

Саме за таким принципом, в основному, будуються існуючі у світі системи ЧПУ на основі індустріальної ЕОМ, що керує ними. В даному випадку обмін інформацією між ЕОМ і верстатом полягає в тому, що з боку верстата в ЕОМ поступає інформація про поточні координати і в окремих випадках швидкості виконавчих елементів верстата. Для верстатів, призначених для свердління глибоких отворів малого діаметру спіральними свердлами, головна увага приділялася забезпеченню обробки без раптової відмови різального інструменту. В цьому випадку системи управління процесом мають вимірювальні перетворювачі, що дозволяють в процесі різання визначати сили (осьове зусилля і момент, що крутить) і у функції сил формувати управління швидкістю подачі і частоти обертання шпинделя. При цьому вирішуються завдання вибору траєкторій і координат перемикання циклів обробки, що мінімізують приведені витрати на виготовлення партії виробів. У створення різного класу таких систем внесли великий вклад дослідження В.Л. Заковоротного, Л.Ю. Лищинского, Ю.М. Соломенцева М.М. Тверского, та

ін. При цьому в останніх розробках широко використовуються ЕОМ. Проте практика показує, що використання таких систем не дозволяє забезпечити необхідні показники геометричної якості отворів. Необхідно відмітити, що проблема забезпечення необхідних геометричних показників якості отворів є комплексною. Вона включає розкриття питань динаміки свердління, динамічної діагностики поточних характеристик якості в ході обробки, вибір раціональних параметрів геометрії інструменту і ін. Проблеми динаміки свердління при вирішенні питання забезпечення необхідних характеристик геометричної якості є визначальний, оскільки обробка отворів ведеться інструментом, вигиниста жорсткість якого на декілька порядків менша, ніж характеристики жорсткості підсистем верстата, що його несуть. Окрім цього необхідно враховувати, що можливості швидко ЕОМ, що розвиваються, по швидкодії і об'єму пам'яті дозволяють сьогодні істотно ускладнювати наявні закони діагностування і управління, у тому числі засновані на аналізі координат стани, пов'язаних з особливостями динаміки процесу.

***Четвертим напрямком досліджень*** є вдосконалення методу накладення додаткових коливань на ріжучій інструмент або на ЗОТС. У роботі [5], теоретично оцінена і експериментально визначена проникаюча здатність ЗОТС при глибокому свердлінні. Виконані теоретико-експериментальні дослідження теплосилової напруженості і точності процесу свердління. Усе це дозволило запропонувати нову високоефективну економічну інтенсифікацію процесу глибокого свердління на основі використання енергії модульованих ультразвукових коливань (УЗК). Встановлено, що застосування нової техніки накладення ультразвукових коливань призводить до істотного зниження теплосилової напруженості процесу глибокого свердління, підвищення періоду стійкості і точності обробки, зниження моменту, що крутить, і складових сил різання, збільшенню про проникаючій здатності ЗОТС. На основі виконаних досліджень запропоновані нові способи свердління з накладенням УЗК, що модулюються по частоті і амплітуді, на осьовий інструмент в радіальному і



радіально-осьовому напрямках шляхом передачі енергії УЗК на напрямну (кондукторну) втулку.

## **Висновки**

Рішення більшості завдань по збільшенню продуктивності праці, ефективності виробництва, підвищення якості продукції, що випускається, тісно пов'язано з точністю обробки отворів мірними кінцевими інструментами, які широко використовуються в машинобудуванні, особливо це важливо для обробки глибоких отворів свердлами малого діаметру.

Виходячи з цього проблема підвищення точності обробки деталей при глибокому свердленні отворів вирішується в наступних напрямках:

- поліпшення якості системи ВПД, тобто усунення чинників, що породжують погрішність обробки, адаптивне керування процесом обробки;
- поліпшення якості шляхом підвищення жорсткості, вібростійкої, зносостійкості і оптимізації геометричних параметрів і конструктивних елементів інструменту.
- поліпшення умов роботи ріжучого інструменту шляхом застосування додаткових коливань, що накладені на ріжучій інструмент або на ЗОТС.

Розглянуті напрямки розвитку сучасного машинобудування у напрямку збільшення продуктивності і якості продукції можуть досягатись і іншими методами або способами, чім вказано в даній статті, так наприклад застосування принципово новітніх матеріалів для виготовлення свердел.

## **Список використаних джерел:**

1. Холмогорцев Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю. П. Холмогоров. – М.: Машиностроение, 1984. – 184с.
2. Маршуба В. П. Причины внезапного отказа (поломки) спиральных сверл при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах и методы его устранения / В. П. Маршуба // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. научн.-техн. сб. – Х.: ХГПУ, 1998. – Вып. 52. – С. 154–157.

3. Прогрессивный инструмент для обработки отверстий : обзор. информ. / А. Р. Маслов, А. В. Дворецкий, Ю. И. Подвербный [и др.] – М.: ВНИИТЭРМ, 1990. – № 4. – 56 с.

4. Ханукаев М. Г. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий малого диаметра поликристаллическими алмазными инструментами на основе динамического мониторинга процесса резания : дис. ... канд. техн. наук / М. Г. Ханукаев. – Ростов н/Д, 2006. – 220 с.

5. Табеев М. В. Повышение эффективности глубокого сверления маломерных отверстий путем использования энергии УЗ-поля : дис ... канд. техн. наук / М. В. Табеев. – Ульяновск, 2005. – 221 с.

**Маршуба В.П., Чернякова О.В.** «Основные направления повышения точности и производительности глубокого сверления спиральными сверлами».

В статье рассматриваются вопросы посвященные исследованию повышения эффективности процесса обработки глубоких отверстий спиральными сверлами на базе существующих разработок в разных направлениях. То есть в настоящей статье рассмотрено совершенствование технологического процесса обработки глубоких отверстий спиральными сверлами на агрегатных станках, автоматических линиях и гибких производственных системах.

**Ключевые слова:** обработка глубоких отверстий; инструмент; станок; процесс резания; вибрации.

**Маршуба В.П., Чернякова О.В.** «Основні напрямки підвищення точності та продуктивності глибокого свердлення спіральними свердлами».

У статті розглядається питання присвячені дослідженню підвищення ефективності процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами на базі існуючих розробок в різних напрямках. Тобто в цій статті розглянуто вдосконалення технологічного процесу обробки глибоких отворів спіральними

свердлами на агрегатних верстатах, автоматичних лініях та гнучких виробничих системах.

**Ключові слова:** обробка глибоких отворів; інструмент; верстат; процес різання; вібрації.

**Marshuba V.P., Chernyakova O.V.** "Basic directions of increase of accuracy and productivity of the deep boring spiral drills".

The article examines on sacred to research of increasing of efficiency of processing deep holes by spiral drills on the base of existent developments in various directions. The article concerns the perfection of technological process in deep holes by spiral drills on aggregate machine-tools, automatic transfer lines and flexible productive systems.

**Key words:** processing deep holes; tool; machine-tool; cutting process; vibrations.

Стаття надійшла до редакції 19 жовтня 2010 р.