

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису
УДК 621.952

МАЛИШКО ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ОСЬОВИХ КОМБІНОВАНИХ
ІНСТРУМЕНТІВ

Спеціальність 05.03.01. – Процеси механічної
обробки, верстати та Інструменти

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1996



00754666 (Y)

AB.34.932

Робота виконана в Донецькому державному технічному
університеті на кафедрі металорізальних верстатів та Інструментів

Науковий консультант: член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор
П.Р. Родін

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
А.А. Виноградов

доктор технічних наук, професор
В.А. Румбешта

доктор технічних наук, професор
С.П. Радзевич

Провідна установа: АТ Горлівський машинобудівний завод

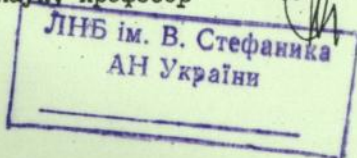
Захист відбудеться "17" серпня 1996 р. о 16 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.09 при Національ-
ному технічному університеті України "Київський політехнічний
Інститут" за адресою 252056, м. Київ, пр. Перемоги, 37,
корпус І, ауд. 214.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного
технічного університету України "Київський політехнічний Інститут"

Автореферат розісланий "16" травня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 01.02.09
доктор технічних наук, професор

Н.С. Равська



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основними показниками, що визначають конкурентноспроможність продукції, є її висока споживча якість та мала вартість. Висока якість нової продукції і швидкий перехід на її випуск забезпечують багатоопераційні верстати та ГВС. Однак велика вартість обладнання веде до зростання собівартості продукції, що робить її неконкурентноспроможною. При обробці деталей на автоматичних лініях з жорсткими зв'язками, особливо при великій кількості обладнання, яким комплектується лінія, зменшується її надійність, а це збільшує собівартість продукції.

Найбільш ефективний шлях зменшення собівартості продукції - це концентрація переходів за рахунок використання комбінованих інструментів (КІ). Вони можуть використовуватись при обробці як ступінчатих, так і рівних циліндричних отворів. Такі отвори складають біля 35 % від усіх поверхонь, що використовуються в машинобудуванні.

Ця робота і присвячена проблемі зниження собівартості обробки отворів за рахунок підвищення продуктивності.

Існуючі конструкції КІ через недосконалість методик їх проектування мають багато недоліків:

- великий об'єм металу, що зрізається, веде до пакетування стружки, зниження якості оброблених поверхонь, зменшення стійкості інструмента, що може привести до його поломки. Для видалення стружки інструмент періодично виводять із отвору;
- концентрація сил різання веде до розбивання отворів, пошкобок форм поперечного та поздовжнього перерізів;
- зростання температури різання збільшує зношування інструмента.

Використання КІ забезпечує підвищення продуктивності технологічних систем (ТС), однак це пов'язано зі зниженням точності обробки отворів.

Усунення недоліків КІ можливе за рахунок отримання їх оптимальних конструктивних параметрів і режимів роботи. Ураховуючи численність конструкцій КІ та багатопараметричний характер впливу робочих процесів, які течуть в ТС, вирішення задачі вибору оптимальних параметрів інструментів можливе тільки на підставі аналітичного їх проектування.

Мета роботи. Розробити основи теорії проектування КІ, що забезпечують підвищення продуктивності і точності обробки отворів при багатопараметричних впливах робочих процесів ТС.

Завдання дослідження. Для досягнення вказаної мети необхідно виконати такі дослідження:

- провести аналіз існуючих конструкцій КІ та їх класифікацію;
- розробити модель транспортування стружки по гвинтових каналах і на її основі створити повну модель продуктивності ТС;
- розробити блок аналітичних моделей, які дозволять визначити граничні величини конструктивних параметрів і робочих процесів, де знаходиться максимальна продуктивність ТС: модель сталості КІ при багатопараметричному силовому навантаженні і його зв'язок з критичною величиною подачі; модель пружних переміщень осі інструмента і їх зв'язок з розбиванням отворів; модель утворення огранки отворів, її зв'язок з числом зубців інструмента і їх розподілом; модель ресурсу інструмента і її взаємозв'язок з оптимальною температурою і швидкістю різання;

- для перевірки адекватності аналітичних моделей виконати експериментальні дослідження для визначення впливу конструктивних параметрів КІ і режимів різання на точність обробки отворів, шорсткість поверхонь, стійкість інструмента і транспортування стружки;

- розробити структуру моделі проектування КІ.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності дослідження і його наукова новизна. Наукова новизна виконаних досліджень полягає в тому, що на основі математичного моделювання багатопараметричних функціональних зв'язків між конструктивними параметрами інструментів і робочими процесами, які протікають в ТС, вирішені як загальні питання проектування інструментів, так і окремі задачі.

Загальна структура моделі проектування КІ визначається рівнянням продуктивності, яке виявляє функціональні зв'язки між продуктивністю ТС з одного боку, конструктивними параметрами КІ і робочими процесами з іншого.

Вирішення окремих задач, таких як визначення межі конструктивних параметрів КІ, які забезпечують найбільшу продуктивність ТС, базується на блоці математичних моделей, що встановлюють функціональні зв'язки між конструктивними параметрами і робочими процесами.

Теоретична цінність досліджень.

1. На підставі розгляду КІ, як складової частини ТС, розроблені теоретичні основи його проектування, які базуються на моделі продуктивності, що встановлює функціональні зв'язки між продуктивністю і елементами ТС.

2. Розроблено блок математичних моделей, що визначають ступінь впливу конструктивних параметрів і робочих процесів на поведінку ТС при багатопараметричних діях на неї. До того ж методологія цих досліджень спрямована на досягнення кінцевої мети - збільшення продуктивності ТС.

2.1. Встановлено, що пакетування стружки в канавках інструментів відбувається при швидкостях її руху уздовж осі інструмента $V_z \leq 0$. Домінуючий вплив на швидкість руху стружки чинить сила тертя між обробленою поверхнею отвору і стружкою, яка при обертанні інструмента створюється інерційними силами, а при обертанні деталі - боковим тиском стружки на оброблену поверхню отвору.

2.2. Незалежно від схеми різання існує мінімально допустима величина відхилення куткових кроків, при яких частота коливань інструмента збільшується, а огранка отворів при цьому практично ліквідується. При паралельній схемі різання цей ефект може досягатись за рахунок різної кількості зубців на кожному ступені і рівномірному їх розподілу по колу.

2.3. На основі моделі сталості і пружних переміщень осі КІ встановлено, що при багатопараметричному силовому навантаженні визначний вплив на сталість інструмента і пружні переміщення його осі мають осьова та радіальна невірноважена сили. Частка крутного моменту не перевищує 1 %. Отримані аналітичні залежності дозволяють прогнозувати допустиму величину подачі і точність обробки отворів.

2.4. На основі моделі ресурсу інструмента встановлено, що значення оптимальної швидкості різання на лімітній ступені визначається оптимальною температурою різання, яка повинна бути меншою на величину її приросту від теплових джерел сусідніх ступенів.

3. На базі математичних моделей розроблені блоки аналітичного визначення основних параметрів КІ і робочих процесів, які разом із рівнянням продуктивності складають структурну модель проектування КІ.

Практична цінність досліджень.

1. Запропонована структура моделі проектування КІ і алгоритми визначення їх основних конструктивних параметрів дозволяє створити методики проектування майже всіх видів КІ з оптимальними конструктивними параметрами, що забезпечують максимаальну продуктивність ТС.

2. КІ з конструктивними параметрами, одержаними на основі алгоритмів, практично ліквідують недоліки, притаманні даному виду

інструментів, такі як пакування стружки, огранка і розбивання отворів, ламання інструментів.

3. Модель ресурсу інструмента дозволяє нормативи режимів різання, розроблені для одномірних інструментів з урахуванням поправочних коефіцієнтів, використовувати для КІ.

Рівень реалізації розробок. Реалізація виконаних досліджень здійснювалась двома шляхами:

- розробкою рекомендацій по проектуванню КІ з оптимальними конструктивними параметрами;
- створенням принципово нових конструкцій КІ і їх патентування.

Упровадження авторських свідоцтв велось за ініціативою підприємств (на 4 заводах СНД).

Рекомендації по проектуванню комбінованих інструментів впроваджені на Донецькому АТ "Точмаш", а також на 23 заводах вугільного машинобудування "Союзвуглемаш".

Вінницьким інструментальним заводом виготовлена дослідна партія свердл із збільшеними кутами нахилу стружкових канавок, які після успішних впробувань рекомендовані до серійного виробництва.

Основи теорії проектування КІ викладаються в лекціях і використовуються в курсовому та дипломному проектуванні ДонДТУ.

Декларація особистого внеску автора у розробку наукових результатів, що виносяться на захист. На захист автором виносяться теорія проектування осьових КІ, основні положення і висновки якої сформульовані в розділі "Обґрунтування теоретичної і практичної цінності дослідження і його науково новизна".

Дисертаційна робота являє собою самостійний труд автора по створенню ідеї і основ теорії проектування осьових КІ.

Характеристика методології, методу дослідження, предмету і об'єкту.

Об'єктом дослідження в дисертаційній роботі є конструктивні параметри КІ і робочі процеси, які протікають в ТС.

Предметом дослідження є функціональні зв'язки між конструктивними параметрами КІ і робочими процесами, які течуть в ТС, а також функціональні зв'язки між продуктивністю ТС, робочими процесами і конструктивними параметрами.

Методом дослідження є математичне моделювання на базі трьох видів моделей: вербальних, аналітичних, емпірико-статистичних. Адекватність аналітичних моделей перевірялась на емпірико-статистичних моделях. Адекватною приймалась модель, якщо помилка не

перевищувала 5 %, за винятком моделей ресурсу інструмента, де ця помилка складала 24-28 %.

На методологічному рівні використовувались всі три підходи: феноменологічний, дедуктивний та індуктивний, що обумовлено широким діапазоном досліджень.

Структура й обсяг роботи. Робота складається із вступу, семи розділів, висновків, списку літературних джерел та висновків.

Перший розділ - обґрунтування завдань досліджень та їх методологія.

Другий розділ - класифікація осьових комбінованих інструментів.

Третій розділ - продуктивність технологічної системи та її зв'язок з параметрами інструмента.

Четвертий розділ - погрішність форми поперечного перерізу отвору і способи його усунення.

П'ятий розділ - вплив багатопараметричних навантажень на функціонування інструмента.

Шостий розділ - стійкість комбінованих інструментів.

Сьомий розділ - структура проектування комбінованих інструментів.

Загальний обсяг роботи - 430 с., із них 290 с. основного тексту, 91 рис., 51 табл., 36 с. добавок, 257 використаних літературних джерел.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 42 наукові праці, в тому числі одноособова монографія, 9 авторських свідоцтв на винаходи.

Апробація роботи. Основні положення та результати роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на 17 конференціях в Донецьку, Маріуполі, Краматорську, Києві, Одесі, Севастополі, а також на міжнародних конференціях в Алушті (Високі технології в машинобудуванні; 1993); Вінниці (Використання коливань в технологіях; 1994); Іркутську (Інструментальне забезпечення автоматизованих виробництв; 1990); Ленінграді (Інструменти та оснащення для обробки глибоких отворів; 1986); Свердловську (Шляхи підвищення ефективності і рівня верстатів з ЧПУ; 1988); Севастополі (Прогресивна техніка і технологія в машинобудуванні; 1995), Києві (Оснащення-94; 1994).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Основними причинами, які народжують недоліки КІ, є недосконалість їх конструкції. Отримати КІ з оптимальними конструктивними параметрами можливо з допомогою математичних моделей, які базуються на багатопараметричних функціональних зв'язках між конструктивними параметрами і робочими процесами, що протікають в ТС.

Теорія проектування КІ ґрунтується на математичному моделюванні, методологія якого націлена на досягнення кінцевої мети – підвищення продуктивності обробки отворів.

Основним вихідним положенням теорії проектування є те, що КІ розглядається як складова частина ТС, а його конструктивні параметри визначаються робочими процесами, діючими в системі. До того ж взаємодія конструктивних параметрів і робочих процесів носить багатопараметричний характер.

Поняття "робочий процес" дещо ширше поняття процесу різання, сюди також включаються:

- процес транспортування стружки по канавках інструментів;
- вплив температур від сусідніх теплових джерел на оптимальну температуру різання, а в наслідок, і на оптимальну швидкість різання;
- багатопараметричний характер впливу складових сил різання на точність обробки отворів.

Для визначення напрямку досліджень, а також і задач досліджень на першому етапі отримане нове рівняння продуктивності, яке ґрунтується на пропускній здатності стружкових канавок

$$Q_i = \frac{4 \cdot K \cdot Z_i \cdot V_z \cdot F_i}{\pi \cdot l_i (d_i^2 - d_{oi}^2)}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт заповнення стружкової канавки;

Z_i – число зубців інструмента;

F_i – площа поперечного перерізу стружкової канавки;

V_z – швидкість руху стружки уздовж осі z ;

l_i – довжина ступеня отвору;

d_i – діаметр обробленого отвору або ступеню;

d_{oi} – діаметр отвору до обробки.

Аналіз рівняння (1) показує, що продуктивність ТС, оснащеної осьовим інструментом, обмежена пропускною здатністю стружкових канавок, які в свою чергу обмежені діаметром інструмента, який визначається діаметром отвору.

Рівняння (1) не розкриває всіх функціональних зв'язків робо-

чих процесів, які визначаються швидкістю руху стружки, з конструктивними параметрами КІ. Воно визначає напрямок й задачі досліджень.

На першому етапі досліджень виконано аналіз і класифікація існуючих конструкцій осьових КІ. В основу класифікації покладено досвід заводів тракторної і автомобільної промисловості СНД, провідних світових фірм, окремих авторів і винахідників.

Установлено, що конструктивні і геометричні параметри усіх видів осьових інструментів (свердл, зенкерів, розверток, мітчиків, розточних інструментів) визначаються робочими процесами. Передня поверхня різального клина КІ, на відміну від передньої поверхні одноірного інструмента, служить для формування і транспортування стружки, яка утворюється і на попередніх ріжучих кромках. Сумісництво робочих процесів на кожному ступені КІ визначає вибір схеми різання (послідовний, паралельний і комбінований), а також і структуру конструкції КІ.

Систематизація існуючих конструкцій КІ на основі їх видів, форм стружкових канавок, геометричних параметрів і розмірів дозволили отримати вихідні дані для досліджень, а також утворити базу для розробки галузевих класифікаторів.

Основним параметром рівняння продуктивності ТС (1), що визначає функціональні зв'язки між робочими процесами і конструктивними параметрами інструмента, є швидкість руху стружки V_z . При швидкості $V_z > 0$ ймовірність пакетування стружки виключається.

На основі вербальних моделей установлено, що структуру математичної моделі транспортування стружки по гвинтових канавках визначає кінематика головного руху інструмента чи деталі. Установлено, що основний вплив на швидкість руху стружки чинять сили тертя F_c між стружкою і обробленою поверхнею отвору. При обертанні інструмента сила F_c створюється інерційними силами, а при обертанні деталі ця сила створюється боковим тиском стружки на оброблену поверхню отвору деталі.

Сили, які рухають стружку, внаслідок їх взаємодії з робочими процесами при обертанні інструмента, подані на рис.1.

Співвідношення сил, діючих на стружку, визначає швидкість її руху. На даному етапі досліджень розглядається елементна стружка. При розробці моделі транспортування елементної стружки по гвинтових канавках частка стружки розглядається як маса, зосереджена в одній матеріальній точці.

Рух стружки відносно нерухомої системи координат XYZ (рис.1)

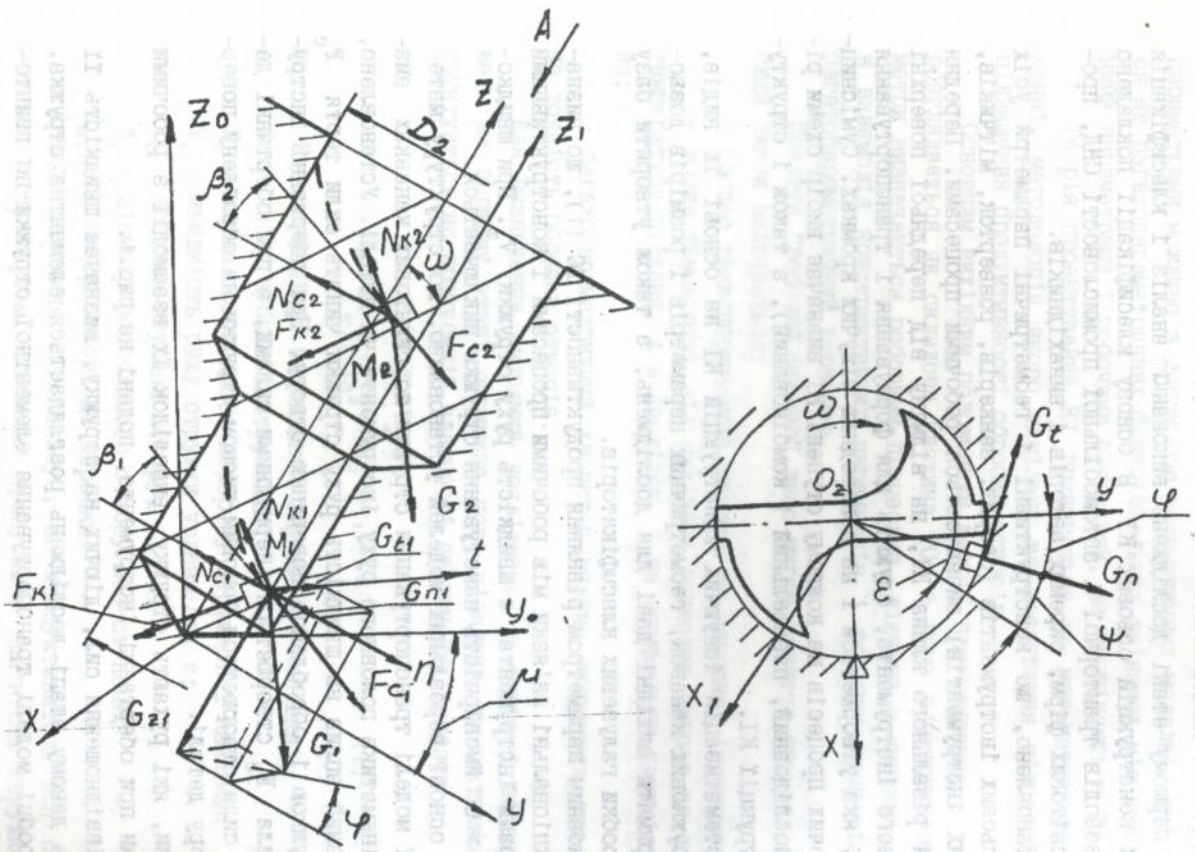


Рис. 1. Сили, які рухають стружку при обертанні інструмента

описується рівнянням Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right] - \frac{\partial T}{\partial \phi} = Q_{\phi}, \quad (2)$$

де T - кінетична енергія частки стружки;

ϕ - узагальнена координата;

$$Q_{\phi} = X \frac{\partial x}{\partial \phi} + Y \frac{\partial y}{\partial \phi} + Z \frac{\partial z}{\partial \phi} - \text{узагальнена сила, яка визначається активними силами;}$$

X, Y, Z - алгебраїчна сума проєкції активних сил.

Рух точки в рухомій системі координат $Z n t^*$ визначається:

$$\sum F_{\omega} N_k \sin \omega - F_k \cos \omega - F_c \sin \beta - m v \dot{\phi} - G \cos \mu = 0;$$

$$\sum F_{\omega} G \sin \mu \sin \phi - R m \dot{\phi} - N_k \cos \omega - F_k \sin \omega + F_c \cos \beta = 0;$$

$$\sum F_{\omega} P_y - N_c - G \sin \mu \cos \phi = 0, \quad (3)$$

де $P_y = Rm(\omega_0 + \dot{\phi})^2$ - відцентрова сила інерції, яка включає і силу Коріоліса;

$$\ddot{\phi} = \frac{d^2 \phi}{dt^2} - \text{кутове прискорення відносного переміщення частки стружки;}$$

$$\dot{\phi} = \frac{d \phi}{dt} - \text{кутова швидкість відносного переміщення стружки;}$$

N_k - нормальна реакція стружкової канавки;

N_c - нормальна реакція поверхні обробленого отвору;

$F_k = N_k f_k$ - сила тертя між стружкою і поверхнею стружкової канавки;

$F_c = N_c f_c$ - сила тертя між стружкою і поверхнею отвору;

f_c - коефіцієнт тертя поверхні обробленого отвору;

f_k - коефіцієнт тертя стружки по поверхні стружкової канавки;

G - вага частки стружки;

g - прискорення сили тяжіння;

m - маса частки стружки.

Спільне рішення рівнянь (2) і (3) дозволяє визначити кутову швидкість переміщення частки стружки ω_0 . Тоді швидкість переміщення стружки уздовж осі інструмента визначиться

$$V_z = R \operatorname{ctg} \omega \left[\omega_0 - \sqrt{\frac{q}{R} \left\{ \operatorname{ctg} \omega + \operatorname{tg} \phi_k (1 + \operatorname{ctg}^2 \omega) \right\} - \sin \mu} \right], \quad (4)$$

Аналіз рівняння (4) показує, що швидкість руху стружки уздовж осі інструмента залежить від його радіуса R_1 , кута нахилу стружкової канавки ω , кута установлення інструмента μ , кутів тертя φ_k і φ_c , які визначаються відповідними коефіцієнтами. Домінуючий вплив на швидкість руху стружки виявляє кутова швидкість обертання інструмента ω_0 .

Ураховуючи те, що при швидкості $V_z \leq 0$ спостерігається пакування стружки, із рівняння (4) можна отримати критичне значення кутової швидкості при заданих конструктивних параметрах інструмента

$$\omega_k = \sqrt{\frac{q}{R} \left\{ \frac{\cos \mu}{\operatorname{tg} \varphi_c} \left[\operatorname{ctg} \omega + \operatorname{tg} \varphi_k (1 - \operatorname{ctg}^2 \omega) \right] - \sin \mu \right\}}. \quad (5)$$

Рівняння (5) дозволяє отримати достовірні величини кутової швидкості в діапазоні кута $\mu = 0-30^\circ$. Аналіз рівняння (5) показує, що основний вплив на критичне значення кутової швидкості робить кут нахилу стружкової канавки. При його збільшенні величина кутової швидкості, коли пакується стружка, зменшується. Зменшення кута тертя між стружкою і поверхнею стружкової канавки φ_k збільшує критичну величину кутової швидкості; в той час при зменшенні кута тертя φ_c критична величина кутової швидкості зменшується.

При проектуванні нових інструментів домінуючим параметром є кут нахилу стружкової канавки. Оптимальну його величину можна отримати із формули (5).

Кут нахилу стружкової канавки при обертанні осі деталі може бути визначений залежністю, яка має вигляд

$$\omega = \arctg \frac{\cos \mu}{\left[\frac{h_{cp} K_a S_k \cos^2 \mu}{V_{ck}} + \frac{R \omega_0^2}{q K_a} \right] \operatorname{tg} \varphi_c} + \varphi_k. \quad (6)$$

Із рівняння (6) видно, що при збільшенні площі контакту стружки S_k , глибини отвору h_{cp} , динамічного коефіцієнта K_a і кута установки μ величина кута нахилу стружкової канавки, при якій пакується стружка, зменшується. При збільшенні об'єму стружкової канавки V_{ck} кут її нахилу, коли пакування стружки стає неможливим, також збільшується. Зменшення кута тертя φ_k сприяє зниженню величини кута нахилу стружкової канавки ω , при якому ймовірність пакування стружки зникає.

Аналіз рівнянь, отриманих на базі математичних моделей транс-

портування стружки, показує, що між конструктивними параметрами KI і робочими процесами існує оптимальне співвідношення, при якому швидкість руху стружки $V_z > 0$, тобто коли ймовірність її пакетування виключається.

Для кількісного аналізу конструктивних параметрів на умови транспортування стружки виконані експериментальні дослідження по визначенню коефіцієнтів зовнішнього тертя f_c і f_k , а також коефіцієнта внутрішнього тертя в стружці f_b .

Внаслідок експериментальних досліджень отримані рівняння, які визначають вплив розмірів стружки, шорсткості поверхонь і швидкості руху стружки на коефіцієнти тертя.

Дослідження виконувались на зразках із чавуну СЧ28-48, сталі 45 і швидкорізальної сталі Р6М5. В якості об'єктів досліджень використовувались стружка із сталі 45 і сірого чавуну СЧ28-48.

Внаслідок досліджень встановлено, що домінуючий вплив на коефіцієнт тертя виявляють розміри стружки і шорсткість поверхні, в той час, як швидкість руху стружки в дослідженому діапазоні майже не впливає на коефіцієнт тертя.

Кількісний аналіз рівнянь (5) і (6) показав, що для виключення можливості пакетування стружки необхідно при існуючих режимах різання прийняти для свердл величини кутів нахилу стружкових канавок $\omega = 40-60^\circ$, для зенкерів $\omega = 20-50^\circ$. При розвертанні, яке характеризується малими швидкостями різання і низькою шорсткістю поверхонь оброблених отворів, значення кутів нахилу стружкових канавок при обертанні інструмента близькі до 90° , що неможливо реалізувати. Тому розвертки необхідно виготовляти з кутами $\omega = 0$, що узгоджується з практикою.

Для різбових поверхонь отворів сила тертя, яка забезпечує рух стружки по канавках, визначається коефіцієнтом внутрішнього тертя f_b , величина якого близька до одиниці, завдяки цьому стружка рухається вгору при кутах нахилу канавок $\omega = 15-40^\circ$.

Установлено, що лімітуючим ступенем, який визначає ймовірність пакетування стружки, є ступінь з мінімальним діаметром, тобто перший.

Для перевірки адекватності аналітичної моделі фізичній проведені експериментальні дослідження. За критерій оцінки стабільності транспортування стружки приймалась глибина свердління, на якій не відбувалось пакетування стружки.

Результати, отримані шляхом розрахунків і експериментально, показали хороше погодження (погрішність не перевищувала 7 %). Хара-

ктерно, що отримані результати були ідентичними, як при роботі од-
номірними, так і комбінованими інструментами.

На основі моделей транспортування стружки, як при обертанні
інструмента, так і деталі, а також рівняння продуктивності ТС (1)
отримані повні рівняння продуктивності, які базуються на пропускній
здатності стружкових канавок.

При обертанні інструмента продуктивність ТС визначається

$$Q_{TC} = \frac{4 K \cdot Z \cdot R \cdot F_i \left\{ \omega - \sqrt{\frac{q \cdot \cos \mu \left[\operatorname{tg} \varphi_k (1 + \operatorname{ctg}^2 \omega) + \operatorname{ctg} \omega \right]}{R \operatorname{tg} \varphi_c}} - \sin \mu \right\}}{\pi l \sum_{i=1}^n (d_i^2 - d_{oi}^2) \operatorname{tg} \omega} \quad (7)$$

При обертанні деталі продуктивність ТС визначається залежністю

$$Q_{TC} = \frac{4 K \cdot Z \cdot R \cdot F_i \left\{ \left[v_k - \sqrt{2 \pi \cdot R_m \cdot q \cdot (\operatorname{ctg} \omega - f_m)} \right] \operatorname{ctg} \mu \right\}}{\pi l \sum_{i=1}^n (d_i^2 - d_{oi}^2)} \quad (8)$$

Рівняннями (7) і (8) визначаються функціональні зв'язки між
продуктивністю ТС, з одного боку, конструктивними параметрами ін-
струмента і робочими процесами з іншого, а відповідно і кінематикою
головного руху.

Таким чином, рівняння продуктивності одночасно можуть бути як
основою проектування КІ, так і моделями функціонування (роботи) ін-
струмента в ТС.

Аналіз графіків, рис.2, отриманих із рівнянь (7) і (8), пока-
зує, що максимальну продуктивність мають ТС ($\mu = 0$) при обертанні
інструмента (в даному випадку – свердла) з оптимальним кутом нахилу
стружкової канавки.

Параметрами, що обмежують продуктивність ТС, при обробці осьо-
вим інструментом є точність отворів і стійкість інструмента, тому
виникає необхідність провести дослідження по визначенню межі конст-
руктивних параметрів інструментів, в яких знаходиться максимальна
продуктивність ТС. Одним з важливих факторів, що визначають точ-
ність обробки отворів, є їх огранка.

Установлено, що причиною утворення огранки є вимушені коливан-
ня в ТС. При цьому кількість граней в поперечному перерізі отворів
може бути на одиницю більша, або менша числа зубців інструмента.

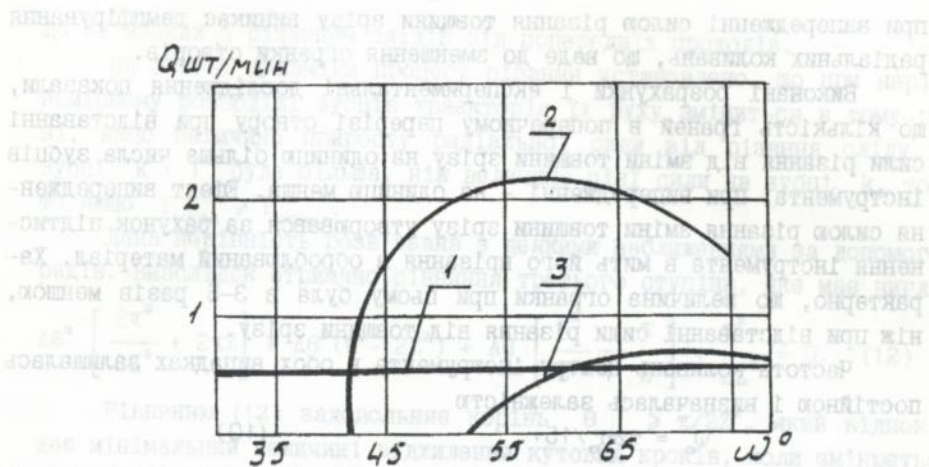


Рис. 2. Вплив кута нахилу стружкової канавки

на продуктивність ТС при $\mu = 0$

(для свердла $d = 10$ мм, $l = 100$ мм, $V = 20$ м/мин)

1 - при обертанні свердла з $\omega = 30^\circ$;

2 - при обертанні свердла з $\omega = \sim$;

3 - при обертанні деталі з $\omega = \sim$

На першому етапі досліджень розглянута кінематика утворення огранки отворів при послідовній схемі різання. Допускаючи, що при рівномірному розподілі зубців траєкторія руху центру є коло, тоді період коливань центру інструмента визначиться часом його повороту на один кутовий крок. Рівняння руху будь-якої пари зубців інструмента при вимушених коливаннях мають вигляд:

$$\eta_k = R_p \cos \left[\frac{\pi}{ZT_z} t + \theta_k \right] + A \cdot \cos \omega_0 t; \quad (9)$$

$$\xi_k = R_p \sin \left[\frac{\pi}{ZT_z} t + \theta_k \right] \pm A \cdot \sin \omega_0 t,$$

де Z - число пар зубців інструмента;

R_p - радіус діаметра інструмента;

ω_0 - колова частота коливань центру інструмента;

θ_k - кут, що визначає положення пари зубців, які лежать в одній діаметральній площині.

Знак "-" в рівнянні (9) свідчить, що траєкторія руху центру спрямована протилежно напрямку обертання інструмента, тобто зміна сили різання відстає від зміни товщини зрізу. Знак "+" означає, що зміна сили різання випереджає зміну товщини зрізу. Характерно, що

при випередженні силою різання товщини зрізу виникає демпфірування радіальних коливань, що веде до зменшення огранки отворів.

Виконані розрахунки і експериментальні дослідження показали, що кількість граней в поперечному перерізі отвору при відставанні сили різання від зміни товщини зрізу на одиницю більша числа зубців інструмента, при випередженні - на одиницю менша. Ефект випередження силою різання зміни товщини зрізу утворювався за рахунок підтиснення інструмента в мить його врізання в оброблюваний матеріал. Характерно, що величина огранки при цьому була в 3-5 разів меншою, ніж при відставанні сили різання від товщини зрізу.

Частота коливань центру інструмента в обох випадках залишалась постійною і визначалась залежністю

$$\omega_0 = \pi z n_0 / 15. \quad (10)$$

Установлено, що існує діапазон величин відхилення кутових кроків $\Delta\theta < \Delta\theta_{\min}$ при яких період коливань центру визначається часом повороту інструмента на один кутовий крок, що відповідає рівномірному розподілу зубців.

Калібрувальна частина зубця при цьому буде зрізати припуск матеріалу товщиною

$$a_0 = 2A \cos \left[\frac{\pi}{2} + n \pi - z \Delta\theta \right] - A \cos \left[\frac{\pi}{2} + n \pi - z \Delta\theta \right]. \quad (11)$$

Розрахунки показують, що розвертки з розподілом зубців, який відповідає ГОСТ 7722-77 (при $Z = 4$ і $A = 0,01$ мм) калібрувальною частиною зубця зрізають припуск $a_0 = 0,0028$ мм. Відомо, що умови різання виконуються при радіусі округленого леза $\rho < a_0$. Так як радіус округлення леза в сталому процесі різання $\rho = 0,008$ мм, то умови різання не виконувались. Про це свідчить наявність усадки отворів, оброблених в заготовках із сталі 45. При цьому кожний наступний зуб буде "вигладжувати" слід, залишений попереднім зубцем, що забезпечує зниження шорсткості обробленої поверхні. Зменшення огранки отворів при цьому зв'язане із збільшенням сил демпфірування на калібрувальній частині зуба. Характерно, що кількість граней в поперечному перерізі отвору була на одиницю менша числа зубців, що також підтверджує наявність ефекту демпфірування коливань. При цьому діаметр отворів був меншим, ніж діаметр розверток, що говорить про наявність усадки отворів. Шорсткість обробленої поверхні при цьому зменшувалась.

На траєкторію руху центру розвертки визначальний вплив робить характер розподілу сил на головних різальних лезах кожного зубця,

що зв'язаний з різанням слідів від попередніх проходів.

На основі динаміки процесу різання встановлено, що при нерівномірному розподілі зубців траєкторія їх руху зміниться в тому разі, якщо величина приросту радіальної сили від різання сліду на зубці $k + 1$ буде більша, ніж величина цієї сили на зубці k , тобто якщо $P_{y(k+1)} \geq P_{y(k)}$.

Дана нерівність розв'язана з деякими наближеннями за допомогою рядів. Внаслідок отримано рівняння третього ступеню, яке має вигляд

$$\Delta\theta^3 \left[\frac{2\pi^3}{3Z^3} + 2\pi Z \right] + \Delta\theta^2 (\pi^2 - 2Z^2) + \Delta\theta \left[\frac{\pi^3}{3Z^3} - \frac{\pi}{Z} \right] + \frac{\pi^2}{2Z^2} = 0. \quad (12)$$

Рівнянню (12) задовольняє корінь $\theta_{\min} \geq \pi/2Z^2$, який відповідає мінімальній величині відхилення кутових кроків, коли змінюється траєкторія руху центру інструмента в перехідному процесі. В сталому робочому процесі при таких значеннях $\Delta\theta$ відбувається збільшення частоти коливань центру інструмента і зменшення амплітуди, що веде до зникнення огранки отворів.

Значення кутових кроків, при яких огранка зникає, визначається залежністю

$$\theta = \frac{180^\circ - \sum_{i=1}^n (\alpha_i - 1)\Delta\theta}{Z} + (K - 1)\Delta\theta. \quad (13)$$

Величина огранки при різниці кроків $\Delta\theta > \Delta\theta_{\min}$ визначається

$$\Delta_{\text{огр}} = A (1 - \cos\Delta\theta). \quad (14)$$

При різниці кроків $\Delta\theta > \Delta\theta_{\min}$ період коливань центру інструмента визначається часом його повороту на кут $\Delta\theta$

$$\omega = \frac{12 n_o \pi}{\Delta\theta}. \quad (15)$$

При паралельній роботі двох ступенів інструмента ефект ліквідації огранки досягається за рахунок різної кількості зубців на кожному ступені при рівномірному їх розподілі по колу.

В сталому процесі при різному числі зубців на кожному ступені період коливань центру інструмента визначається часом його повороту на кут $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$, де θ_1, θ_2 - величина кутових кроків на відповідному ступені. При цьому число зубців на ступені меншого діаметру Z'_{\min} відповідає кількості зубців стандартної різальної інструментальної системи з діаметром D .

Тоді кількість зубців на другому ступені визначається через

мінімальну величину огранки і амплітуду коливань

$$Z_{\min} = \frac{Z_{\max} 180^\circ}{\arccos \left\{ \left[1 - \frac{\Delta_{\text{огр}}}{\Delta} + 180^\circ \right] \right\}} \quad (16)$$

Аналіз показує, що різниця між числом зубців на першому і другому ступенях не повинна бути більшою двох, бо при більшій різниці збільшується кут $\Delta\theta$, що веде до зростання величини огранки отворів. Але необхідно мати на увазі, що інструменти з різним числом зубців на кожному ступені можуть бути виготовлені в тому випадку, коли є достатній простір між ступенями для виходу інструмента при виготовленні стружкових канавок. Тому схема розподілу зубців і їх число визначаються технологічними критеріями.

Наявність огранки отворів викликає періодичні зміни заднього кута (рис. 3), що має великий вплив на демпфуючу здатність процесу різання. Для виявлення ступеню впливу заднього кута, а також кута нахилу головної різальної кромки, радіуса її округлення і частоти коливань на демпфуючу здатність процесів, які виникають на задній поверхні зубців, запропоновано рівняння динамічної характеристики радіальної сили.

Якісний аналіз замкнутої динамічної ТС показує, що із збільшенням частоти вимушених коливань інструмента динамічний коефіцієнт зменшується, це говорить про зменшення амплітуди коливань інструмента. Збільшення радіуса округлення різальної кромки і абсолютного значення кута її нахилу веде до зменшення динамічного коефіцієнта.

Експериментальні дослідження показали, що розвертки, у яких різниця між кутовими кроками визначається залежністю

$$\Delta\theta = \frac{360^\circ}{(2Z)^2} \quad (17)$$

практично ліквідують огранку отворів. Частота коливань центра визначається залежністю (15), в той час як при $\Delta\theta < \Delta\theta_{\min}$ частота коливань визначається залежністю (10).

Аналогічні результати отримані при обробці розвертками, які працюють по паралельній схемі різання і мають різне число зубців на кожному ступені.

Установлено, що величина огранки отворів, оброблених стандартними розвертками, складала 10–25 мкм, в той час як отвори, оброблені розвертками з запропонованими схемами розподілу зубців, мали огранку 2–5 мкм (рис. 4).

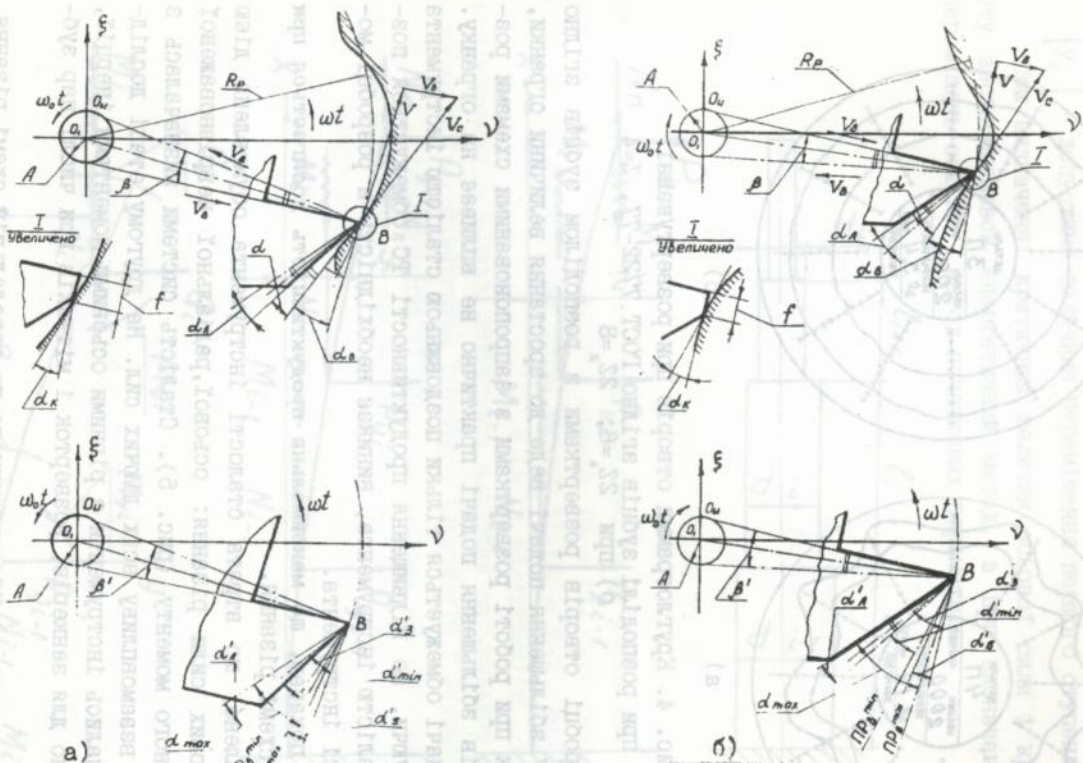


Рис. 3. Вплив напрямку руху і радіальних коливань на величину заднього угла
 а) напрям руху коливань, спрямованих проти руху KI
 б) напрями руху коливань і руху інструмента співпадають

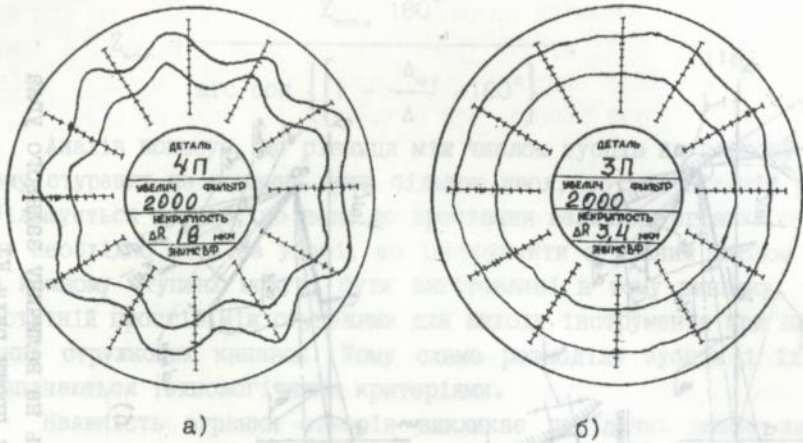


Рис. 4. Круглограмми отворів при розвертуванні
 а) при розподілі зубців згідно ГОСТ 7722-77, $Z=4$
 б) при $ZZ_1=6$; $ZZ_2=8$

При обробці отворів розвертками з розподілом зубців згідно ГОСТ 7722-77 збільшення подачі веде до зростання величини огранки, в той час як при роботі розвертками з запропонованими схемами розподілу зубців збільшення подачі практично не впливає на огранку. Величина подачі обмежується тільки поздовжньою сталістю інструмента.

Ураховуючи, що підвищення продуктивності ТС обмежується поздовжньою сталістю інструмента, виникає необхідність в розробці моделі сталості інструмента.

Аналіз показав, що максимальна продуктивність досягається при паралельній схемі різання.

Установлено, що втрата сталості інструмента обумовлена дією трьох складових сили різання: осьової, радіальної невірноваженої сили і крутного моменту (рис. 5). Сталість системи визначалась з урахуванням взаємовпливу всіх діючих сил. На другому етапі досліджень розглядалися інструменти з рівними осьовими моментами інерції, що характерно для зенкерів, розверток і мітчиків при числі пар зубців $Z \geq 2$.

Рівняння сталості КІ, працюючого по паралельній схемі різання, при врізанні отримано на основі енергетичного критерію

$$\frac{\sum_{i=1}^n C_{P_x} s t}{[P_k]_n} + \frac{\sum_{i=1}^n (C_{P_z} s t)^2 d^2}{[M_k^2]_n} + \frac{y_1}{[y_1]_n} = 1. \quad (18)$$

- де $[P_k]_n$ – критична осьова сила;
 $[M_k^2]_n$ – критичний крутний момент;
 $[y_1]_n$ – допустима величина переміщення першого ступеня.

При визначенні критичних величин осьової сили і крутного моменту застосовувався енергетичний метод, а при визначенні пружних переміщень осі КІ – метод початкових параметрів.

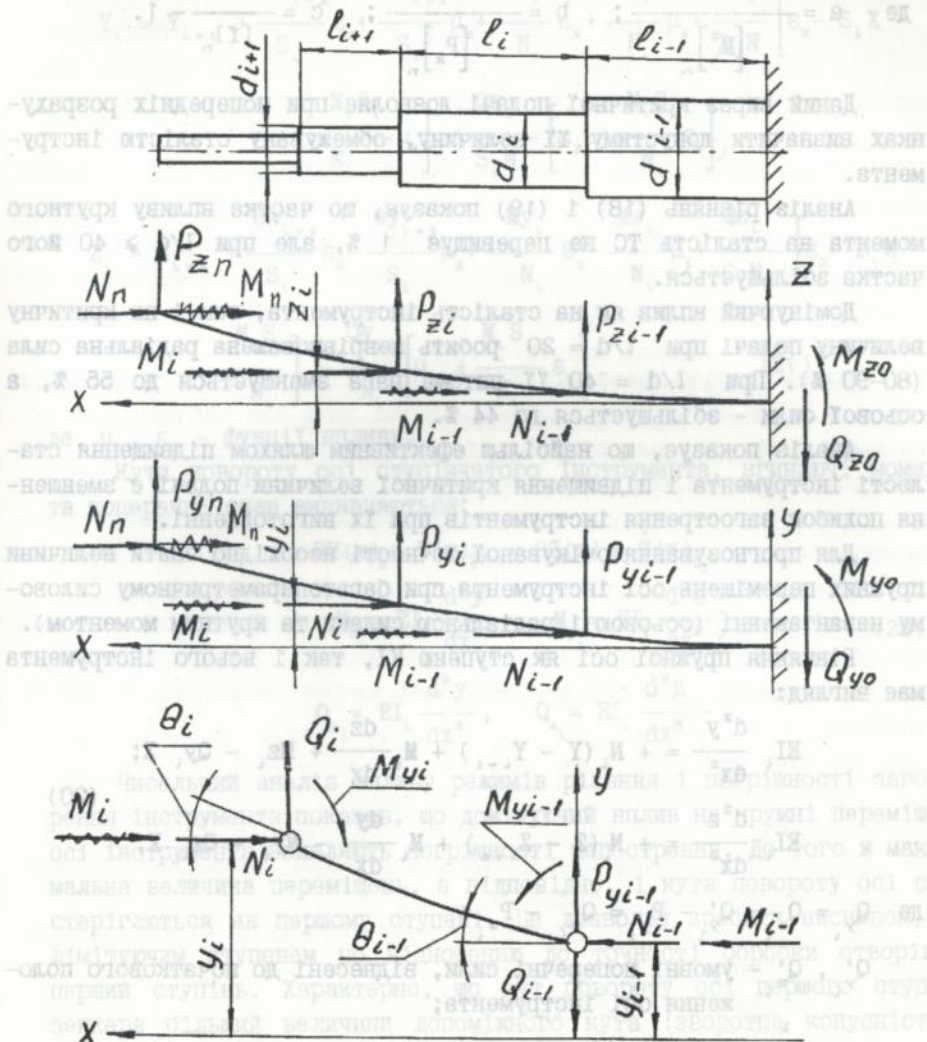


Рис. 5. Сили, діючі на КІ в момент його візання в матеріал

На основі рівняння сталості (18) отримана залежність для визначення критичної величини подачі

$$S_k = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (19)$$

$$\text{де } a = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{P_2} t_i)^2 d_i^2}{[M_k]_n}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n C_{P_x} t_i}{[P_k]_n}; \quad c = \frac{y_n}{[f]_n} - 1.$$

Даний вираз критичної подачі дозволяє при попередніх розрахунках визначити допустиму її величину, обмежану сталістю інструмента.

Аналіз рівнянь (18) і (19) показує, що частка впливу крутного моменту на сталість ТС не перевищує 1 %, але при $l/d \geq 40$ його частка збільшується.

Домінуючий вплив як на сталість інструмента, так і на критичну величину подачі при $l/d = 20$ робить неврівноважена радіальна сила (80-90 %). При $l/d = 40$ її питома вага зменшується до 55 %, а осової сили - збільшується до 44 %.

Аналіз показує, що найбільш ефективним шляхом підвищення сталості інструмента і підвищення критичної величини подачі є зменшення похибок загострення інструментів при їх виготовленні.

Для прогнозування очікуваної точності необхідно знати величини пружних переміщень осі інструмента при багатопараметричному силовому навантаженні (осовою і радіальною силами та крутним моментом).

Рівняння пружної осі як ступеню КІ, так і всього інструмента має вигляд:

$$EI_i \frac{d^2 y}{dx^2} = + N_i (Y - Y_{i+1}) + M_i \frac{dz}{dx} + Mz_i - Qy_i X; \quad (20)$$

$$EI_i \frac{d^2 z}{dx^2} = + N_i (Z - Z_{i+1}) + M_i \frac{dy}{dx} - My_i - Qz_i X,$$

$$\text{де } Q_{y_i} = Q_{z_i} = Q'_{y_i} - P_{y_i} = Q'_{z_i} - P_{z_i};$$

Q'_{y_i}, Q'_{z_i} - умовні поперечні сили, віднесені до початкового положення осі інструмента;

$$N_i = \sum_{k=1}^k P_k - \text{осова сила на кінці } i \text{ ступеню};$$

$M_i = \sum_{i=1}^k M_i$ - сума крутних моментів, діючих на ступінь;

$M_{z_i} = M_{y_i}$ - згинаючі моменти на 1 ступені.

Розв'язуючи систему рівнянь, що визначають положення пружної осі, можна отримати величину прогину осі інструмента:

$$\begin{aligned}
 Y_i &= Y_{i+1} + \frac{\theta_{y_{i+1}}}{S_i} \varepsilon_2 + \frac{\theta_{z_{i+1}}}{S_i} \mu_2 + \frac{Mz_i}{N_i} \varepsilon_1 + \frac{My_i}{N_i} \mu_1 + \frac{Qy_i}{S_i N_i} \left[\varepsilon_2 - S_i X - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{M_i S_i}{N_i} \mu_1 \right] + \frac{Qz_i}{S_i N_i} \left[\mu_2 + \frac{M_i S_i}{N_i} \varepsilon_1 \right]; \\
 Z_i &= Z_{i+1} + \frac{\theta_{z_{i+1}}}{S_i} \varepsilon_2 - \frac{\theta_{y_{i+1}}}{S_i} \mu_2 + \frac{My_i}{N_i} \varepsilon_1 - \frac{Mz_i}{N_i} \mu_1 + \frac{Qz_i}{S_i N_i} \left[\varepsilon_2 - S_i X - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{M_i S_i}{N_i} \right] - \frac{Qy_i}{N_i} \left[\mu_2 + \frac{M_i S_i}{N_i} \varepsilon_1 \right]. \quad (21)
 \end{aligned}$$

де μ_i, ε_i - функції впливу.

Кути повороту осі ступінчатого інструмента, згинаючі моменти та поперечні сили визначаються:

$$\begin{aligned}
 \theta Y(x)_i &= \dot{Y}(x)_i, & \theta Z(x)_i &= \dot{Z}(x)_i; \\
 M_{z_i} &= EI_i \frac{d^2 y}{dx^2}, & M_{y_i} &= EI_i \frac{d^2 z}{dx^2}; \\
 Q_{y_i} &= EI_i \frac{d^3 y}{dx^3}, & Q_{z_i} &= EI_i \frac{d^3 z}{dx^3}.
 \end{aligned} \quad (22)$$

Чисельний аналіз впливу режимів різання і погрішності загострення інструмента показав, що домінуючий вплив на пружні переміщення осі інструмента виявляють погрішності загострення. До того ж максимальна величина переміщень, а відповідно, і кута повороту осі спостерігаються на першому ступені. Це дозволяє зробити висновок, що лімітуючим ступенем по відношенню до точності обробки отворів є перший ступінь. Характерно, що кут повороту осі першого ступеню зенкера більший величини допоміжного кута (зворотна конусність), регламентованого стандартом, в той час як величина кута повороту осі останнього ступеню близька до нуля. Це дозволяє зробити висно-

вок, що КІ можуть виготовлятися без зворотної конусності. Наявність зворотної конусності у КІ, особливо при обертаючому інструменті, приведе до заклинення стружки між направляючими стрічками і поверхнею отвору. Це викликає появу рисок як на стрічках інструмента, так і на обробленій поверхні.

При обробці отворів ступінчатою розверткою з запропонованою схемою розподілу зубців їх розбивання переходить в усадку. Точність діаметральних розмірів на обох ступенях відповідає 6-7 квалітету, погрішність геометричної форми рівню С, в той час як при обробці отворів розвертками з розподілом зубців, який регламентується стандартом, точність діаметральних розмірів відповідала 9-10 квалітету, а погрішність геометричної форми рівню А.

Висока концентрація різальних кромek викликає не тільки великі силові навантаження, а й збільшує температуру різання. Це збільшує зношування інструмента. Тому використання нормативів, розроблених для одномірних інструментів, без урахування впливу температури сусідніх теплових джерел на оптимальну швидкість різання є недопустимим.

Використовуючи загальні закономірності розподілу температури для двох теплових джерел, а також степенні ряди для наближеного обчислення, отримані залежності для визначення температур при числі теплових джерел більше двох.

Ураховуючи наявність сусідніх теплових джерел оптимальна температура різання лімітуючого ступеня повинна бути менша на величину її приросту від цього джерела.

Значення оптимальної швидкості різання на лімітуючому ступені, яка відповідає мінімуму відносного спрацювання, з урахуванням приросту температури від сусідніх теплових джерел визначиться залежністю

$$V_{\text{л.оп}} = \left[\frac{(\theta'_{\text{оп}} - \Delta\theta_i) \cdot \lambda \cdot b \cdot \sqrt{l_0 - l_{\text{зн}}}}{(1 + \delta_r) \cdot P_{Z_{\text{мін}}} \sqrt{\omega_r} K_{\text{п}}} \right]^2, \quad (23)$$

де $\theta'_{\text{оп}}$ - величина оптимальної температури для одномірного інструмента такого ж діаметра;

$\Delta\theta_i$ - величина приросту температури від сусідніх теплових джерел;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

b - ширина зрізаного шару металу;

$l_0 - l_{\text{зн}}$ - довжина теплового джерела;

δ_r - коефіцієнт приросту температури від сусідніх зубців КІ;

$P_{Z_{\text{мін}}}$ - мінімальне стабільне значення тангенціальної сили;

ω_T - коефіцієнт температуропровідності тіла, в якому рухається теплове джерело;

k_n - коефіцієнт, урахувуючий кількість тепла, яка переходить в деталь, а також розмірності.

При визначенні ресурсу інструмента попередній вибір лімітуючого ступеню проводиться за максимальним шляхом різання відповідного ступеню.

Заключний вибір лімітуючого ступеню проводиться по ресурсу інструмента за період його стійкості.

Ресурс лімітуючого ступеню інструмента з урахуванням нормативів, розроблених для одномірних інструментів того ж типу, визначається

$$L_n = C_{ov}^{1/m} \cdot V_{оп}^{1-1/m} \cdot C_v \cdot k_n \quad (24)$$

де $C_{ov} = \frac{C_v \cdot k_n}{t^x \cdot S^y \cdot HB^z}$ - постійний коефіцієнт, який визначається нормативами для одномірних інструментів;

k_n - коефіцієнт, урахувуючий прирощення температури від сусідніх теплових джерел.

Для перевірки адекватності отриманої математичної моделі ресурсу інструмента виконані експериментальні дослідження. Установлено, що розбіжність між розрахунками і експериментальними даними при визначенні ресурсу свердл складала 24 %, зенкерів - 28 %.

Дослідження по визначенню впливу схеми розподілу зубців розвертки на період стійкості показали, що мінімуму спрацювання відповідає схема розподілу зубців, яка забезпечує мінімальну величину огранки. Це обумовлено тим, що при $\Delta\theta = \Delta\theta_{min}$ амплітуда коливань інструмента буде мінімальною, завдяки чому величина прирощування швидкості різання зменшується, а мінімальна величина кінематичного заднього кута збільшується. Умови роботи інструмента при цьому покращуються, завдяки чому спрацювання його зменшується. При збільшенні різниці кутових кроків, коли $\Delta\theta \gg \Delta\theta_{min}$ спостерігається нерівномірне спрацювання зубців. Це зв'язане з різною величиною товщини, яку зрізає кожний зуб.

Забезпечення зубців розверток перехідним лезом з оптимальним кутом в плані $\varphi_0 = 3-5^\circ$ сприяє зниженню шорсткості обробленої поверхні і збільшенню періоду стійкості інструмента в 1,5-2 рази. При цьому змінюється і характер спрацювання. Якщо при куті $\varphi_0 = 0$ переважало абразивне спрацювання, то при $\varphi_0 = 3-5^\circ$ - адгезійне.

Виконані дослідження дозволяють скласти як загальну структуру

моделі проектування комбінованих інструментів, так і розробити алгоритми визначення основних параметрів конструктивних елементів і робочих процесів.

Структура моделі проектування КІ визначається на основі трьох вихідних положень:

i - положення. Конструктивні параметри КІ визначаються робочими процесами, що протікають в ТС, де він функціонує.

ii - положення. Структура моделі проектування КІ, яка визначається кінцевою метою - досягненням потрібної продуктивності ТС, складається із двох етапів:

- обґрунтування структури системи;
- аналітичне проектування і синтез конструкції КІ.

iii - положення. Структура моделі першого етапу проектування КІ основана на логічній супідрядності розрахункових блоків. Структура моделі другого етапу проектування та ієрархічна супідрядність розрахункових блоків визначається рівнянням продуктивності.

Загальна структура проектування КІ подана на рис.6.

На основі математичних моделей, що визначають межі конструктивних параметрів КІ, в яких знаходиться максимум продуктивності ТС, розроблено блок алгоритмів для аналітичних розрахунків основних параметрів конструктивних елементів і робочих процесів.

Системний принцип проектування, оснований на модульному підході, дозволяє в загальну ієрархічну систему вставляти потрібні блоки алгоритмів і створювати структурну схему проектування практично всіх видів КІ.

Основу системи проектування складають такі алгоритми:

- обґрунтування виду інструмента;
- визначення ресурсу КІ;
- визначення оптимального кута нахилу стружкової канавки;
- визначення числа зубців;
- визначення критичної величини подачі;
- визначення пружних переміщень осі КІ.

Вазуючись на отриманих алгоритмах в роботі наведені приклади визначення основних конструктивних параметрів осьових КІ, а також параметрів робочих процесів.

Запроваджені технічні рішення спрямовані на підвищення продуктивності ТС, зниження шорсткості оброблених поверхонь отворів, а також підвищення їх точності, впроваджені більш ніж на 30 заводах України і СНД.

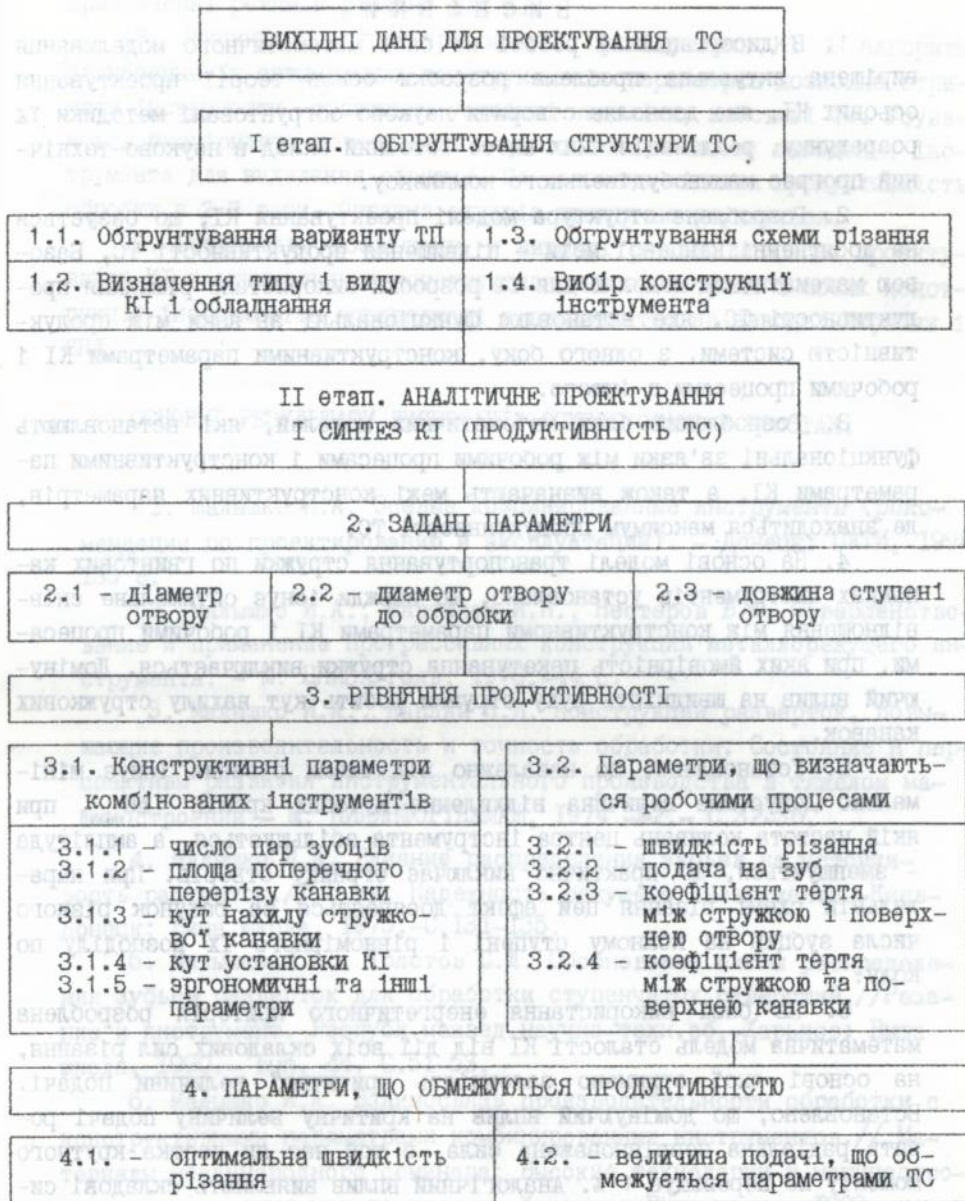


Рис. 6. Структурна схема проектування КІ при обертанні інструмента

В И С Н О В К И

1. В дисертаційній роботі на базі математичного моделювання вирішена актуальна проблема розробки основ теорії проектування осьових КІ, яка дозволяє створити науково обгрунтовані методики їх розрахунку, реалізація яких внесе істотний вклад в науково-технічний прогрес машинобудівельного комплексу.

2. Розроблена структура моделі проектування КІ, що базується на досягненні кінцевої мети – підвищення продуктивності ТС. Базовою математичною моделлю для її розробки використано рівняння продуктивності ТС, яке встановлює функціональні зв'язки між продуктивністю системи, з одного боку, конструктивними параметрами КІ і робочими процесами з іншого.

3. Розроблений блок математичних моделей, які встановлюють функціональні зв'язки між робочими процесами і конструктивними параметрами КІ, а також визначають межі конструктивних параметрів, де знаходиться максимум продуктивності ТС.

4. На основі моделі транспортування стружки по гвинтових канавках інструментів установлено, що завжди існує оптимальне співвідношення між конструктивними параметрами КІ і робочими процесами, при яких ймовірність пакування стружки виключається. Домінуючий вплив на швидкість руху стружки робить кут нахилу стружкових канавок.

5. Установлено, що незалежно від схеми різання існує мінімально допустима величина відхилення кутових кроків $\Delta\theta_{min}$, при якій частота коливань центра інструмента збільшується, а амплітуда – зменшується, що практично виключає огранку отворів. При паралельній схемі різання цей ефект досягається за рахунок різного числа зубців на кожному ступені і рівномірного їх розподілу по колу.

6. На базі використання енергетичного критерія розроблена математична модель сталості КІ від дії всіх складових сил різання, на основі якої отримано залежність критичної величини подачі. Встановлено, що домінуючий вплив на критичну величину подачі робить радіальна нерівноважена сила, в той час як частка крутного моменту не перевищує 1%. Аналогічний вплив виявляють складові сили різання на пружні переміщення осі інструмента, а відповідно, і на розбивання отворів.

7. Запропанована модель ресурса інструмента, що базується на оптимальній швидкості і температурі різання, яка дозволяє нормативи, розроблені для одномірних інструментів, використовувати при

призначенні режимів різання для КІ.

8. Розроблена структура моделі проектування КІ і алгоритм визначення їх оптимальних конструктивних параметрів дозволяє отримати інструменти, практично усуваючі недоліки, властиві їм. Усувається ймовірність пакування стружки, що виключає виведення інструмента для видалення стружки. Це дозволяє підняти продуктивність обробки в 2-3 рази. Огранка отворів практично усувається.

9. Результати досліджень у вигляді рекомендації по проектуванню КІ з оптимальними конструктивними параметрами і нових конструкцій інструментів впроваджені в виробництво на заводах України і СНД.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В РОБОТАХ:

1. Малышко И.А. Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации). - Донецк: ПКТИ, 1996. - 135 с.

2. Малышко И.А., Мартынов И.Н., Нестеров В.А. Совершенствование и применение прогрессивных конструкций металлорежущего инструмента. - М: ЦНИИУголь, 1978. - 44 с.

3. Малышко И.А., Каплий Н.И. Конструкции разверток, повышающие производительность и точность обработки. Состояние и перспективы развития инструментального производства в тяжелом машиностроении - М: НИИИНФОРТЯЖМАШ, 1974. - №2. - С.32-36.

4. Малышко И.А. Влияние распределения зубьев на устойчивость разверток. // В кн: Надежность режущего инструмента. - Киев-Донецк: Вища школа, 1975. - С.131-135.

5. Малышко И.А., Толстов С.Л. Обоснование схемы распределения зубьев разверток для обработки ступенчатых отверстий. // Резание и инструмент. Республ. межвед. научно-техн. сб. - Харьков: Вища школа, 1990. - вып. 44. С.51-53.

6. Малышко И.А. Взаимосвязь производительности обработки с конструктивными параметрами комбинированных инструментов. // Материалы международного семинара: Высокие технологии в машиностроении - достижения нового уровня. - Харьков: Вища школа, 1993. - вып. 48. - С.28-31.

7. Малышко И.А. Теоретические предпосылки и назначению режимов резания для осевых комбинированных инструментов. // Сб. трудов: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк:

ДонГТУ, 1994. - вып. I. - С. 48-55.

8. Малышко И.А., Шевченко Ф.Л., Улитин Г.А., Татьянченко А.Г. Устойчивость сжато-закрученных стержней. // Сб. трудов: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк: ДонГТУ, 1995. - вып. 2. - С. 90-98.

9. Малышко И.А., Татьянченко А.Г. Продольно-поперечный изгиб закрученного стержня. // Сб. трудов: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк: ДонГТУ, 1966. - вып. 3. - С. 45-52.

10. Малышко И.А. Влияние устойчивости комбинированного инструмента на критическую величину подачи. // Сб. трудов: Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк: ДонГТУ, 1966. - вып. 3. - С. 38-45.

II. Малышко И.А., Гордиенко В.П., Маньковский Г.Я. К вопросу определения высоты микронеровностей по свинцовым слепкам. // Научно-исследовательские работы в области машиностроительной промышленности: Материалы научно-технической конференции - Донецк, 1970. - С. 7-9.

12. А.с. №749582 МКЛ³ В23Д77/02. Развертка / И.А. Малышко, В.А. Нестеров; Опул. 23.07.80, Б.И. №27. - 3с.

13. А.с. №1127710 МКЛ³ В23.Д43/02. Сборная протяжка / И.А. Малышко, И.Г. Рябов; Опул. 07.12.84 Б.И. №45. - 2с.

14. А.с. №1673324 А1 МКЛ³ В23Д77/02. Комбинированная развертка / П.Р. Родин, И.А. Малышко, Толстов С.Л.; Опул. 30.08.91. Б.И. №32. - 3с.

15. А.с. №1281350 А1 МКЛ³ В23Д77/02. Комбинированная развертка / Родин П.Р., Малышко И.А., Батрак В.В. и др.; Опул. 07.01.87. Б.И. №1. - 4с.

16. А.с. №1723593 МКЛ³. В23 С 5/06. Сборная торцовая фреза / И.А. Малышко, В.Ф. Федюкин, Н.И. Каплий и др.; Опул. 25.07.93. Б.И. №31. - 2с.

17. А.с. №1382595 МКЛ³. В23 В35/00. Способ обработки отверстий и комбинированный инструмент для его осуществления / И.А. Малышко, С.Л. Толстов; Опул. 23.03.88. Б.И. №11. - 5 с.

18. А.с. №1328077 МКЛ³. В23 В29/034. Расточная головка / А.А. Грачев, И.А. Малышко, С.Л. Толстов и др.; Опул. 07.08.87. Б.И. №29. - 4с.

19. А.с. №1657295 А1 МКЛ³. В23 Д77/02. Устройство для обработки отверстий / И.А. Малышко, С.Л. Толстов, А.И. Булыгин и др. Опул. 23.06.91. Б.И. № 23. - 2 с.

20. А.с. №1215898. А.МКИ³. В23 Д77/02. Развертка / А.А. Грачев, И.А. Малышко; Ю.А. Сапронов. Опубл. 07.03.86. В.И. №9. - 3 с.
21. Малышко И.А. Рекомендации по применению машинных разверток с неравномерным угловым шагом. 20-29 ТР. - Донецк: ПКТИ.- 12 с.
22. Родин П.Р., Малышко И.А., Толстов С.Л. Комбинированная развертка.// Рационализаторские предложения и изобретения, рекомендуемые министерством для внедрения на заводах угольного машиностроения: Науч.-технический реферативный сборник. - М.: ЦИИИ-Уголь, 1989. - №3. - С.12-13.
23. Малышко И.А., Батрак В.В. Кинематика образований огранки отверстий при равномерном распределении зубьев развертки/ - Деп. НИИМаш, №8, - 1982. - II с.
24. Малышко И.А., Нестеров В.В., Батрак В.В. Влияние переходной режущей кромки на период стойкости развертки. Деп. НИИМаш, №8, 1982. - 7 с.
25. Малышко И.А., Толстов С.Л. Техничко-экономическое обоснование вариантов обработки отверстий.//Деп. ВИНТИ, №10, 1989. - 19с.
26. Родин П.Р., Малышко И.А. Повышение производительности ТС, оснащенных осевым комбинированным инструментом.//Новые технологии и системы обработки в машиностроении: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Севастополь, 1994. - С.108-110.
27. Малышко И.А., Полгородник А.Е., Толстов С.Л. Прогрессивный комплексный инструмент для обработки отверстий. // Интенсификация технологических процессов механической обработки: Тезисы докладов всесоюзной конференции. - Ленинград, 1986. - С.59-60.
28. Родин П.Р., Малышко И.А. Теория проектирования комбинированных инструментов.// Прогрессивная техника и технологии машиностроения: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Севастополь, 1995. - С.207-208.
29. Малышко И.А., Киселева И.В. Влияние частоты колебаний развертки на величину огранки отверстий.//Применение колебаний в технологиях: расчет и проектирование машин для реализации технологий. Материалы II международной научно-технической конференции. - Винница, 1994. - С.51.
30. Малышко И.А., Завгородний В.М. Влияние погрешности установки развертки при заточке на величину биения зубьев.// Прогрессивные конструкции и технология изготовления режущего инструмента: Материалы семинара. - Киев: Знание. 1977.-С. 14-15.

31. Малышко И.А. Обоснование оптимальных конструктивных параметров комбинированных инструментов. // Новые технологические процессы в машиностроении: Тезисы докладов конференции. - Одесса - Киев, 1993. - С.51-52.
32. Малышко И.А., Толстов С.Л., Аксютин В.А. Повышение эффективности использования многооперационных станков. // Пути повышения эффективности и уровня использования станков с ЧПУ: материалы конференции. - Свердловск, 1988. - С. 29-30.
33. Малышко И.А. Влияние угла наклона главной режущей кромки развертки на точность обработки отверстий. // Оптимизация процессов механической обработки на металлорежущих станках: Материалы семинара общества "Знание". - Киев, 1975. - С.47-48.
34. Малышко И.А., Киселева И.В., Сурженко А.Ю. Исследование условий транспортировки стружки по винтовым канавкам осевых инструментов. // Тезисы докладов международной конференции: Оснастка-94. - Киев: Общество "Знание", 1994. - С.82.
35. Малышко И.А., Ковалевский В.А. Группирование ступенчатых отверстий - как основа создания переналаживаемых инструментов. // Новые технологии и системы обработки в машиностроении: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Севастополь, 1994. - С.78-79
36. Малышко И.А., Татьянченко А.Г. Прогнозирование точности обработки осевым комбинированным инструментом. // Прогрессивная техника и технологии машиностроения: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Севастополь, 1995. - С.59
37. Малышко И.А., Куликов Д.Н. Сборные конструкции сверл. // Тезисы докладов международной конференции: Оснастка - 94. - Киев: Общество "Знание". 1994. - С.22.
38. Малышко И.А., Киселева И.В., Сурженко А.Н. Анализ критериев минимизации параметров пластин зенкеров. // Прогрессивная техника и технологии машиностроения: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. - Севастополь, 1995. - С.158-159.
39. Малышко И.А., Киселева И.В., Куликов Д.Н. и др. Взаимосвязь температуры резания и стойкости комбинированного инструмента. // Новые технологии и системы обработки в машиностроении: Тезисы докладов научно-технической конференции. Севастополь, - 1994, - С.77.
40. Малышко И.А., Каплий Н.И. Влияние распределения зубьев развертки на устойчивость процесса резания. // Новые достижения в области обработки металлов резанием: Материалы семинара. - Киев, 1974. - С.16.

А Н Н О Т А Ц И Я

Мальшко И.А. Основы теории проектирования осевых комбинированных (КИ). Диссертацией является рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.03.01 - процессы механической обработки, станки и инструменты. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1996 г.

Защищается теория проектирования осевых комбинированных инструментов, основанная на математическом моделировании многопараметрических функциональных связей между параметрами инструмента и рабочими процессами, протекающими в системе. Разработана общая структура модели проектирования КИ, основанная на уравнении производительности, устанавливающем функциональные связи между производительностью системы, с одной стороны, конструктивными параметрами и рабочими процессами, с другой. На базе математических моделей разработаны алгоритмы расчета основных параметров КИ.

A N N O T A T I O N

Malyshko I.A. Basis of theory of designing axial combined tools (CI). The manuscript is the dissertation.

The dissertation for searching of academic degree of Doctor of technical sciences on speciality 05.03.01 - processes of mechanical and physic-technical processing, machins and tools. The National Ukraine technical university "Kiev Polytechnical Institute", Kiev, 1995.

Theory of designing axial combined tools is being defended, which is based on mathematic modelling of multiparametric functional connections between the parameters of the instrument and the working processes taking place in the system.

The general structure of designing model CI has been worked out. It is based on the equation of productivity which establishes functional connections between the productivity of the system on the one hand and the structural parameters, working procrsses on the other hand.

Algorithms of basic parameters calculations CI have been developed on the base of mathematic models.

Ключові слова: комбінований інструмент, математичне моделювання, технологічна система, продуктивність, проектування.

440013
Улан 2

448073

АВ 34.932

АВ 34.932

Подп. в печать 8.05.96 г.	Формат 60x84 1/16.	Бумага тип. №1 .
Ризографическая печать.	Усл. печ. л. 2,1.	Усл. кр.-отт. 2,05.
Уч.-изд. л. 2,0.	Тираж 100 экз.	Заказ № 56/96 д

Донецкий государственный технический университет, 340000, г.Донецк. ул. Артема, 58

МЧП "ЛИК", г. Донецк, 230-й стрелковой дивизии, 16