

**Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”**

Дядюра Костянтин Олександрович

УДК 621.9.025

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МЕТАЛОРИЗАЛЬНОГО
ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ СТАЛІ ШХ15 В УМОВАХ
ПОПУТНОГО ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ТОЧІННЯ**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Металорізальні верстати та інструменти” Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Залога Вільям Олександрович,
Сумський державний університет, професор
кафедри металорізальних верстатів та інструментів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Внуков Юрій Миколайович,
Запорізький державний технічний університет,
проректор з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Краснощок Юрій Степанович
Харківський державний технічний університет
сільського господарства, Міністерство
аграрної політики України, доцент
кафедри “Технологія матеріалів”

Провідна установа: **Донецький державний технічний університет**,
кафедра “Металорізальні верстати та інструменти”,
Міністерство освіти і науки України, м. Донецьк

Захист відбудеться “ 18 “ жовтня 2001 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у 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”.

Автореферат розісланий “ 11 “ вересня 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Досвід машинобудівного виробництва показує, що найбільша ефективність механічної обробки матеріалів різанням досягається при суміщенні і безупинному виконанні декількох послідовних рухів або операцій на одному верстаті, що працює в автоматичному (напівавтоматичному) режимі. Серед великого різновиду такого верстатного устаткування особливо виділяють роторні обробні системи безупинної дії з тангенціальною схемою різання, у яких транспортний рух оброблюваної деталі суміщено з технологічним (рухом подачі), а чорнова обробка - з чистовою.

На верстаті такого типу (мод. КА-350), створеному під керівництвом проф. Шаумяна Г. А. і виготовленого на Київському верстатобудівному об'єднанні ще у 1972 р., досягаються високі точність обробки (IT7-IT8) і продуктивність (у 3-5 разів вища в порівнянні з традиційним устаткуванням). При цьому верстат забезпечує високу екологічність виробництва завдяки роботі без змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР).

Однак мала надійність цих верстатів, обумовлена низькою стійкістю великої кількості інструментів (через надмірну диференціацію припуску) і необхідністю частих зупинок для їхньої заміни, налагоджень та підналагоджень, не дозволила цьому прогресивному устаткуванню стати серйозною альтернативою традиційним обробним системам. Роботи по створенню та впровадженню у виробництво верстатів роторного типу з тангенціальною схемою різання практично були припинені, чому в значній мірі сприяли ті обставини, що більшість розроблених для інших процесів механічної обробки різанням рекомендацій, необхідних для проектування елементів обробної системи, і методів досліджень виявились або мало ефективними, або і зовсім непридатними для даного методу через його складні кінематичні і фізичні особливості.

У роботі вирішується актуальна науково - технічна проблема підвищення надійності роботи токарних верстатів-автоматів (напівавтоматів) роторного типу з тангенціальною схемою різання за рахунок підвищення працездатності інструменту на основі комплексного підходу до процесу формоутворення, застосування інструментів з покриттям, використання методів діагностування поточного стану інструмента і прогнозування моменту настання його відмови.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана у рамках держбюджетної теми координаційного плану Міністерства освіти України (наказ №37 від 13.02.97 р.) на конкурсній основі (протокол №1 від 24.12.96 р. наукової експертної Ради №43) і в рамках щорічних держбюджетних робіт відповідно до тематичних планів Сумського державного університету, затверджених Міністерством освіти і науки України.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення працездатності металорізального інструменту при обробці сталі ШХ15 в умовах попутного тангенціального точіння (ПТТ) за рахунок розробки науково обґрунтованих рекомендацій з призначення інструментальних матеріалів, геометричних параметрів інструменту, параметрів режиму різання, а також розробки методів оцінки поточного стану ріжучого інструменту та прогнозування його працездатності.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані і вирішені наступні задачі:

1. Установлено вплив параметрів режиму різання на основні фізичні характеристики ПТТ, що визначають працездатність ріжучого інструменту, у т.ч. із зносостійкими покриттями.
2. Досліджено вплив умов ПТТ на характер формування площадки зносу на лезі тврдосплавного інструменту та механізм руйнування робочих поверхонь леза інструменту з покриттям при цьому методі обробки.
3. Установлено вплив геометричних параметрів інструменту і режиму різання при ПТТ на інтенсивність зношування тврдосплавного інструменту з покриттям.
4. Розроблено методику прогнозування інтенсивності зношування ріжучого інструменту на основі аналізу режиму його навантаження.
5. Розроблено методику прогнозування моменту досягнення діагностичною ознакою граничного значення та оцінки поточного стану ріжучого інструменту.
6. Розроблено методику вибору оптимальних параметрів режиму різання з урахуванням поточного стану інструменту.
7. Розроблено методику розрахунку необхідного числа інструментів та схеми заміни при їхній відмові в багатоінструментальній наладці для обробки внутрішнього кільця підшипника 310/02 на верстаті мод. КА-350, модернізованому згідно з розробленою схемою розподілу припуску і розташування різців в інструментальних блоках.

Об'єктом дослідження є процес механічної обробки сталі ШХ15 методом попутного тангенціального точіння.

Предметом дослідження є працездатність тврдосплавного інструменту (BK8, BK10, T15K6), у тому числі з покриттям, що наноситься методом КІБ.

Методи дослідження. Робота виконана на основі теоретичних і експериментальних досліджень процесу ПТТ з використанням положень теорії різання матеріалів, методів теорії подібності та аналізу розмірностей, теорії математичного планування експериментів. Експериментальні дослідження проводились з використанням сучасної вимірювальної апаратури та обладнання. Обробка отриманих результатів здійснювалась за допомогою сучасних засобів ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Установлені закономірності впливу умов обробки на основні характеристики процесу різання з урахуванням кінематичних особливостей ПТТ (короткочасності контакту інструменту з заготівкою, безупинної трансформації кутів різання та перемінної товщини зрізу, наявності ділянок проковзування із значною їх питомою вагою в циклі обробки). Доведено, що швидкість різання, подача і величина знімаемого припуску значною мірою впливають на вихідні показники процесу ПТТ через зміну умов контактної взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом на ділянках початку і кінця циклу обробки, що характеризуються відсутністю різання (проковзуванням) і інтенсивним тертям на задній поверхні леза.

2. Виявлені особливості і закономірності формування площадки зносу на лезі твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям при ПТТ сталі ШХ15. На механізм руйнування від утомленості і зношування інструменту при ПТТ впливають закономірності існування і зміни силового і теплового навантаження ріжучого леза в циклі обробки. Запропоновано математичну залежність інтенсивності зношування робочих поверхонь леза від елементів режиму його навантаження з урахуванням випадкового характеру процесу зношування і руйнування ріжучого інструменту. Експериментально доведено, що інтенсивність і вид зношування інструменту при ПТТ значною мірою визначаються значеннями параметрів режиму різання, властивостями твердосплавного інструменту та тривалістю характерних ділянок проковзування в циклі обробки.

3. Запропоновано математичну залежність для прогнозування часу досягнення діагностичною ознакою її граничного значення для конкретної комбінації інструментального і оброблюваного матеріалів на основі аналізу зміни діагностичної ознаки в залежності від залишкового ресурсу інструменту.

4. Вперше запропоновано математичну залежність для оцінки поточного стану інструменту в процесі різання за допомогою узагальненого критерію (класифікуюча функція F), який враховує інтегральний і диференціальний показники діагностичних ознак. Запропоновано комплексний критерій (узагальнена функція бажаності) для вибору оптимальних параметрів режиму різання з урахуванням поточного стану робочих поверхонь леза інструменту.

5. Визначені оптимальні параметри режиму різання при використанні твердосплавного інструменту (BK8, BK10, T15K6) з покриттям, з урахуванням специфічних особливостей процесу тангенціального точіння та поточного стану інструменту на основі запропонованих в роботі методик, і розроблена технологічна схема зняття припуску при обробці внутрішнього кільця підшипника 310/02 на верстаті КА-350.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених комплексних досліджень процесу ПТТ та запропонованих методик вибору оптимальних параметрів режиму різання, прогнозування напрацювання інструменту на відмову, оцінки фактичного стану інструменту роз-

роблені рекомендації з вибору оптимальних параметрів режиму різання, геометрії твердосплавного інструменту із зносостійким покриттям для механічної обробки сталі ШХ15 в умовах ПТТ.

Проведені розрахунки необхідного числа інструментів багатоінструментальної наладки та розроблені схеми їх розміщення в інструментальних блоках і заміни інструментів, що виробили свій ресурс при обробці внутрішнього кільця підшипника 310/02. Модернізовано токарний верстат - автомат мод. КА-350.

Запропоновані методи мають прикладне значення для підвищення працездатності інструменту та ефективності його експлуатації в інших процесах механічної обробки. Методику та прикладну програму вибору оптимальних параметрів режиму різання впроваджено на підприємстві ВАТ ВНДІАЕН (м. Суми) при експлуатації верстатів токарної групи. Ряд розроблених методик та результатів експериментальних досліджень впроваджено в учбовий процес Сумського державного університету та використовується студентами при виконанні лабораторних, курсових та дипломних робіт.

Особистий внесок здобувача. Результати представлених експериментальних досліджень отримані автором самостійно. За допомогою узагальненої функції бажаності автор науково обґрунтував вибір оптимальних параметрів режиму різання для умов ПТТ. Автором запропонована математична залежність інтенсивності зношування інструменту при ПТТ від елементів режиму навантаження ріжучого леза. Розробка методик прогнозування працездатності інструменту та оцінки його поточного стану в процесі різання, постановка задач та обговорення результатів досліджень виконані автором разом з науковим керівником і співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Апробація основних наукових положень та результатів дисертаційних досліджень здійснено на науково-технічних конференціях (семінарах): міжнародній НТК “Проблемы и пути реализации научно-технического потенциала военно-промышленного комплекса” (Київ, 2000), 15-й щорічній міжнародній НТК “Прогрессивные технологии в машиностроении (ТЕХНОЛОГИЯ – 2000)” (Одеса. – Київ, 2000), міжнародній НТК “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків, 2000), міжнародній НТК “Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, довкілля” (Харків, 2001), щорічних конференціях викладачів, співробітників та студентів Сумського державного університету (1997-2001).

У повному обсязі дисертація доповідалася і одержала позитивну оцінку на науковому семінарі в Запорізькому державному технічному університеті на кафедрі “Металорізальні верстати і інструменти” (Запоріжжя, 2001), на науковому семінарі в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” на кафедрі “Різання матеріалів і різальних інструментів” (Харків, 2001).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 11 роботах, з них 7 статей у наукових фахових виданнях України і 4 тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків і 12 додатків. Повний обсяг дисертації складає 248 сторінок, 34 ілюстрації по тексту, 41 ілюстрацію на 40 сторінках, 17 таблиць по тексту, 12 таблиць на 13 сторінках, 12 додатків на 34 сторінках, 144 використаних літературних джерела на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, викладається наукова новизна, зазначені положення, що виносяться здобувачем на захист, теоретична та практична цінність отриманих результатів досліджень, рівень реалізації та впровадження наукових розробок.

Перший розділ. У розділі здійснено аналіз вітчизняних та зарубіжних публікацій, присвячених ПТТ та питанням підвищення працездатності ріжучого інструменту в процесах механічної обробки різанням.

Показано, що в результаті складного впливу кінематичних особливостей процесу тангенціального точіння (короткочасності контакту інструменту з заготовкою, безупинній трансформації кутів різання та перемінній товщини зрізу, наявності ділянок проковзування із значною їх питомою вагою в циклі обробки) на процес формоутворення, традиційні методи дослідження та рекомендації з призначення оптимальних інструментальних матеріалів (у тому числі із зносостійкими покриттями), геометричних параметрів інструменту та параметрів режиму різання при обробці сталі ШХ15, які добре розроблені для інших процесів механічної обробки різанням, для даного методу виявляються не ефективними, або і зовсім не придатними для практичного використання.

Проблему підвищення працездатності інструменту в умовах механічної обробки вирішують при комплексному підході до процесу різання. При цьому важливе місце займають питання прогнозування показників працездатності інструменту і контролю за його поточним станом. Пошук раціональних режимів обробки здійснюють, вирішуючи багатокритеріальну задачу оптимізації. Проведений аналіз дозволив визначити основні задачі наукового дослідження.

Другий розділ. У розділі на основі аналізу впливу умов механічної обробки, закономірностей зношування і руйнування інструменту на основні характеристики процесу різання приведені розроблені методики дослідження працездатності металорізального інструменту при ПТТ. Дослідження проводилися на спеціальній експериментальній установці на базі вертикально-фрезерного верстата мод. 6Р13Ф3 із системою ЧПК 2С42-65. Вивчення сили різання проводилося виміром її складових (радіальної і тангенціальної) за допомогою трикомпонентного динамометра УДМ-1200.

Термо-ЕДС реєструвалася методом природної термопари, утвореної різальним інструментом та оброблюваною заготовкою. Для дослідження коливань ріжучого інструменту при ПТТ використовувався прилад СМ 241 та застосовувались п'єзоелектричні датчики типу KD35a.

Працездатність ріжучого інструменту оцінювалась інтенсивністю зношування (мм/м³):

$$J = \frac{h_3}{Q}, \quad (1)$$

де h_3 - середня величина фаски зносу на задній поверхні інструменту, мм; Q - об'єм знятого матеріалу у відповідний момент досягнення фаски зносу заданого значення, м³.

Для знаходження математичних залежностей, які адекватно описують вплив елементів режиму обробки (швидкості різання v , величини попутної тангенціальної подачі S і величини знімаемого припуску Δ) на характеристики процесу різання (величину проковзування в циклі обробки $d\zeta$, висоту наросту h_n , складові сили різання P_z і P_y , термо-ЕДС E , амплітуду коливань ріжучого інструменту A , твердість обробленої поверхні HRB, інтенсивність зношування J), використовувалось центральне ортогональне композиційне планування експерименту другого порядку. Проведення експерименту за зазначеним планом дозволяє одержати функцію відгуку у вигляді полінома другого ступеня.

$$Y = B_0 + B_1 \cdot v + B_2 \cdot S + B_3 \cdot \Delta + B_{12} \cdot v \cdot S + B_{13} \cdot v \cdot \Delta + B_{23} \cdot S \cdot \Delta + B_{11} \cdot v^2 + B_{22} \cdot S^2 + B_{33} \cdot \Delta^2 \quad (2)$$

Розглядалися умови роботи інструменту при зміні параметрів режиму різання в діапазонах: швидкість різання $v = 58 - 378$ м/хв; подача $S = 0,4-1,6$ мм/об і величина знімаемого припуску $\Delta = 0,4-1,6$ мм. Обробку проводили спеціальними токарними прохідними різцями з механічно закріпленими ріжучими пластинами із твердого сплаву ВК8, ВК10 і Т15К6 форми 02114-080408 (ДСТ 19048-80) з покриттями TiN і ZrN, нанесеним методом КІБ на установці "Булат". Матеріал оброблюваних заготовок - підшипникова сталь ШХ15. Дослідження проводили при точінні без ЗОР.

Вивчення закономірностей механізму зношування та руйнування ріжучого інструменту проводилось на мікроскопах: оптичному МІМ-8М та електронно-скануючому РЕММ-102 з рентгенівським мікроаналізатором.

Прогнозування величини інтенсивності зношування інструменту в умовах попутного тангенціального точіння здійснювалось на основі аналізу режиму навантаження контактуючих поверхонь ріжучого леза з використанням методів теорії подібності та аналізу розмірностей. До основних елементів режиму навантаження леза при ПТТ були віднесені наступні параметри: середнє нормальне напруження на задній поверхні q_n , МПа; сила тертя на задній поверхні F_a , Н; середня температура контакту Θ , °С; час контакту інструменту з заготовкою та знімаємим шаром оброблюваного матеріалу τ_p , с; амплітуда коливань ріжучого інструменту A , м. В результаті проведе-

них досліджень отримана наступна залежність для розрахунку інтенсивності зношування ріжучого інструменту:

$$J = KW^c, \quad (3)$$

де $K = a_0 \cdot q_N / F_\alpha$; a_0 - постійна, що відображає вплив на процес зносу інструменту не врахованих факторів; $W = A \cdot \tau_p \cdot F_\alpha \cdot \sqrt{\Theta} / q_N$ - безрозмірний комплекс, що характеризує умови навантаження інструменту в процесі різання; c - показник ступеня, який знаходиться на основі наявної інформації про зношування інструменту.

Для знаходження невідомих величин (a_0 , c), в отриманому критеріальному рівнянні, використовується метод найменших квадратів. Встановлені в результаті закономірності дають можливість прогнозувати інтенсивність зношування ріжучого інструменту на основі інформації про складові сили різання, температуру різання, амплітуду коливань інструменту та час контакту інструменту з заготовкою.

У даній роботі залежність величини діагностичної ознаки від залишкового ресурсу ріжучого інструменту для конкретної комбінації інструментального та оброблюваного матеріалів апроксимується наступною лінійною залежністю:

$$\ln \frac{B_i}{B_0} = n \cdot \ln \frac{Q_{np} - Q_0}{Q_{np} - Q_i}, \quad (4)$$

де n – тангенс кута нахилу апроксимуючої прямої; B_i , B_0 – відповідно поточне і первісне значення величини діагностичної ознаки; Q_{np} – граничне значення об'єму зрізуемого інструментом матеріалу до його відмови; Q_i , Q_0 – величини об'єму знятого матеріалу на моменти поточного і первісного контролю за станом інструменту відповідно.

При рішенні задачі прогнозування ресурсу ріжучого інструменту в формулі (4) невідомі параметри Q_{np} і n визначаються шляхом пошуку мінімуму наступного функціонала:

$$U_0 = \sum_{i=1}^k \left\{ \left[\ln \frac{B_i}{B_0} \right] - n \cdot \ln \left(\frac{Q_{np} - Q_0}{Q_{np} - Q_i} \right) \right\}^2, \quad (5)$$

де k – кількість актів контролю діагностичної ознаки.

Мінімізація здійснюється методом покоординатного спуску, при якому показник n змінюється з кроком 0,1 у діапазоні 0,1...1,5, що враховує природу більшості процесів, що супроводжують руйнування інструментального матеріалу.

У даній роботі для оцінки поточного стану інструменту в процесі різання як узагальнений параметр використовується класифікуюча функція (F_{ij}), що комплексно враховує інтегральний і диференціальний показники діагностичних ознак і розраховується для i -ої діагностичної ознаки по результатам контролю за станом інструмента у j -тий момент часу. Оцінка поточного стану інструменту здійснюється шляхом порівняння фактичної величини узагальненого параметра з гра-

ничними значеннями F_T , що розділяють межу працездатного стану інструменту на ряд підобластей.

Вибір оптимальних параметрів механічної обробки при ПТТ в даній роботі здійснюється за допомогою комплексного критерію - узагальненої функції бажаності. Ідея використання функції бажаності як параметра оптимізації аналогічна тій, яку пропонують Ф.С. Новиков і Я.Б. Арсов. Значення кожного з параметрів оптимізації (y_i) переводяться у відповідні бажаності (d_i), після чого формується узагальнена функція бажаності:

$$D = \sqrt[q]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_q}, \quad (6)$$

де q - кількість прийнятих критеріїв оптимальності.

У даній роботі для оцінки ефективності обробки при ПТТ з точки зору фізичних особливостей взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом розглядаються: інтенсивність зношування інструменту, головна (тангенціальна) та радіальна складові сили різання і температура різання ($D_\phi = \sqrt[4]{d(J) \cdot d(P_Z) \cdot d(P_Y) \cdot d(\Theta)}$). Як економіко-технологічні критерії оптимальності - об'єм матеріалу, що знімається за одиницю часу Q_{y0} ; основний час обробки τ_o ; шорсткість обробленої поверхні R_a ; відхилення від округлості δ ; коефіцієнт варіації об'єму знятого матеріалу Q_{var} ($D_{ЭТ} = \sqrt[5]{d(Q_{y0}) \cdot d(\tau_o) \cdot d(Ra) \cdot d(\delta) \cdot d(Q_{var})}$).

Третій розділ. У розділі наведені результати експериментальних досліджень впливу параметрів режиму різання, геометричних параметрів інструменту, властивостей тврдосплавного інструменту з покриттям на основні фізичні характеристики ПТТ, що визначають його працездатність.

Проведені комплексні дослідження ПТТ показали значний вплив умов обробки практично на всі вихідні показники, що характеризують процес різання, причому специфіка цього впливу значною мірою визначається кінематичними особливостями тангенціального точіння. Швидкість різання, подача і величина знімаемого припуску впливають на зміну характеристик процесу ПТТ через зміну контактних навантажень на ріжучих кромках.

Отримані результати показують, що найбільший вплив на величину складових сили різання здійснює подача (рис. 1.), що обумовлено зміною товщини зрізуемого шару і геометрії ріжучої частини інструменту. Встановлено, що вплив подачі на складову P_Y більш помітний, ніж на P_Z , і при більших подачах посилюється вплив на неї величини знімаемого припуску, що можна пояснити збільшенням трансформації кутів і, відповідно, зміною питомої ваги ділянок проковзування в циклі обробки та умов тертя на задній поверхні леза. Встановлено, що задній кут більш істотно впли-

ває на складову P_Y , причому з його збільшенням сила різання P_Y зменшується. На складову P_Z в більшій мірі впливає передній кут, ніж задній.

Результати експериментальних досліджень (табл. 1) і теоретичні розрахунки показують, що максимальні температури (1200°C - 1400°C) мають місце тільки на передній поверхні, у той час як на задній поверхні температура різання не перевищує 300°C .

Збільшення швидкості різання призводить до зменшення часу контакту інструменту з оброблюваною заготовкою, а, отже, і частки ділянок проковзування в циклі обробки. Для режимів обробки - $v=86-218$ м/хв; $S=0,5-1,5$ мм/об практично для всіх інструментальних матеріалів температура різання змінюється в інтервалі $\Theta=600-1300^\circ\text{C}$.

При підвищенні швидкості різання від 218 до 350 м/хв збільшується потужність процесу різання, що викликає підвищення температури до значень, близьких до температури плавлення оброблюваного матеріалу ($\Theta=1400-1500^\circ\text{C}$).

Таблиця 1 –

Значення параметрів моделей середньої температури контакту інструменту і матеріала заготовки

Матеріал	V_0	V_1	V_2	V_3	V_{12}	V_{13}	V_{23}	V_{11}	V_{22}	V_{33}
T15K6	1307	326,4	127,5	61,4	-	-	-	-125,4	-57,8	-66,3
BK10	1121	313,4	119,6	45,9	-25	-25	25	-49,8	-	-
T15K6-TiN	5155	103,2	60,9	92,9	-	-40,6	-	-64,4	-	-
T15K6-ZrN	1296	127,3	84,2	-	-	-	-	-75,3	-55,8	49,4

ВК8-TiN	9 5 2 , 5	78,4	59,7	65,4	-54,4	25,7	42,2	-	-	-
ВК10-TiN	1 0 8 7	40,9	-	-	-73,8	-	40,1	-55,9	-58,4	-

Вплив величини знімаемого припуску на розглянуті фізичні явища в зоні різання має складний характер. При значеннях $\Delta=0,5-1,0$ мм значну частину циклу займають ділянки з проковзуванням в результаті несприятливого для утворення стружки співвідношення товщини зрізу до радіуса округлення ріжучої кромки, в результаті чого спостерігається ріст температури різання.

Проведені експерименти дозволяють установити, що задній кут здійснює більш помітний вплив на температуру різання, ніж передній. Підвищення температури зі збільшенням α пояснюється, у першу чергу, зменшенням площі контакту леза зі зрізаємим шаром матеріалу по задній поверхні і зв'язаного з цим погіршенням відводу теплоти з поверхні інструменту в заготовку. Використання зносостійких покриттів принципово не змінює характер залежності температури і складових сили різання від параметрів режиму різання. Однак встановлено, що використання покриття TiN значно (у порівнянні з покриттям ZrN) зменшує середні температури на контактних поверхнях інструменту (на 10-15%) і зусилля різання (на 10%). Найбільш сприятливими з погляду мінімуму температури різання при обробці сталі ШХ15 є використання сплавів ВК8 і ВК10 з покриттям TiN. Отримані результати дають можливість підвищити працездатність ріжучого інструменту при попутному тангенціальному точінні шляхом вибору оптимального теплового і силового навантаження на ріжучу частину інструменту.

Четвертий розділ. На підставі проведених досліджень встановлено, що вплив режимів різання на інтенсивність зношування інструменту визначається тривалістю характерних ділянок (проковзування) у циклі обробки. Робота на таких ділянках характеризується відсутністю різання, інтенсивним тертям та проковзуванням, що змінює режим навантаження леза (номінальну і фактичну площі контакту, нормальний тиск, контактну температуру, час контакту). Умови контактної взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом в циклі обробки можна умовно розділити на 5 характерних ділянок. На самому початку циклу обробки (перша ділянка) унаслідок несприятливого для утворення стружки співвідношення a/ρ ($a/\rho \ll 0,5$, тому що $a \approx 0$) процес різання відсутній. Робота інструменту на цій ділянці визначається інтенсивним утворенням площадки зносу по зад-

ній поверхні. Найбільш повно виявляється тут позитивна дія покриття на задній поверхні ріжучого клина. Не зруйнований шар покриття (рис.2,а) створює по краю площадки зносу поріг, по якому відбувається ковзання оброблюваного матеріалу по задній поверхні пластинки і який є одним з факторів, що забезпечують істотне зниження інтенсивності зношування інструменту з покриттям. При цьому покриття відіграє подвійну роль: по-перше, будучи зносостійким, стримує знос інструменту, по-друге, послабляє адгезійні процеси і знижує сили захоплення та в результаті також підвищує ресурс інструменту. Тривалість роботи інструменту до “прориву” покриття визначається властивостями самого покриття.

Друга ділянка також характеризується відсутністю різання, інтенсивним тертям і зміцненням шару, що зрізується, через ще несприятливе співвідношення a/ρ унаслідок малого поточного значення товщини зрізу. При русі інструменту округлена частина ріжучої кромки стискає (підминає) шар матеріалу заготовки, пластично деформує його. Дія сил в зоні контакту по задній поверхні призводить до руйнування та відриву наросту (рис. 2,б), що буде супроводжуватися відколами та викришуваннями ріжучої кромки. Позитивна дія покриття на цій ділянці послабляється у зв'язку зі зменшенням площадки контакту інструменту по задній поверхні (задній кут збільшується). При переміщенні з другої ділянки на третю посилюється позитивна дія покриття на передній поверхні, досягаючи максимуму при $a \approx a_{\max}$. При переміщенні з четвертої ділянки на п'яту послабляється позитивна дія покриття як на передній, так і на задній поверхнях леза через зменшення контактних площадок. Характерним моментом для цієї ділянки є те, що знову на передній поверхні утворюється нарост.

На руйнування і зношування інструменту у циклі обробки при ПТТ впливають закономірності існування і зміни силового і теплового навантаження ріжучого леза. Вплив параметрів режиму різання на інтенсивність зношування інструменту визначається тривалістю характерних процесів проковзування в циклі обробки. В інтервалі швидкостей різання і подачі ($v=86-120$ м/хв, $S=0,5...1,0$ мм/об) зі збільшенням v інтенсивність зношування та руйнування інструменту зростає (рис.3), що пов'язано зі значною питомою вагою в циклі обробки ділянок проковзування. Збільшення швидкості різання і подачі в діапазонах ($v=220...350$ м/хв, $S=1,0...1,5$ мм/об) сприяє зменшенню інтенсивності зношування. Для процесу ПТТ характерна висока інтенсивність зношування в діапазоні величин знімаемого припуску $\Delta=0,5-1,0$ мм. Це пояснюється характером взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом на ділянках проковзування.

Аналіз результатів досліджень показує, що працездатність пластин Т15К6 з покриттям TiN виявилася нижчою працездатності пластинок ВК8 і ВК10 з тим же покриттям. Покриття TiN, що має більш високу теплопровідність і меншу крихкість, краще чине опір зношуванню задньої поверхні в умовах циклічного навантаження у порівнянні з нітридом цирконію ZrN.

П'ятий розділ. У розділі наводяться результати перевірки розроблених методик прогнозування працездатності ріжучого інструменту, оцінки його поточного стану та вибору оптимальних параметрів режиму різання.

Встановлений взаємозв'язок між показниками процесу різання і залишковим ресурсом ріжучого інструменту дозволяє прогнозувати його працездатність.

З метою встановлення кількісної оцінки поточного стану ріжучого інструменту при ПТТ проведені розрахунки класифікуючої функції F . Графіки зміни класифікуючої функції в залежності від поточного об'єму знятого матеріалу представлені на рис. 4. Характерною рисою наведених залежностей є їх підвищений градієнт у період припрацювання, потім подальше зменшення градієнта у період нормального зносу і повторне збільшення градієнта у період катастрофічного зносу.

У період припрацювання поточний стан інструменту характеризується практично всіма діагностичними ознаками як небажаний рівень працездатності (Нж). Ймовірність механічного руйнування леза інструменту через недостатню міцність ріжучого клина у цей період велика, що вимагає посиленого контролю за його поточним станом.

У подальші періоди роботи стан інструменту характеризується як гарний і достатній рівні працездатності. Оцінку найбільш близьку до реального стану інструменту дають такі узагальнені параметри, як сила різання P , безрозмірний комплекс W , функція бажаності D .

Момент відмови (досягнення діагностичною ознакою свого граничного значення) характеризується як небажаний рівень працездатності інструменту. Тобто, інструмент ще може бути використаний до тієї пори, поки не буде досягнутий неприпустимий рівень працездатності. Однак ймовірність його відмови при цьому різко збільшується.

Як показують результати проведених досліджень, розроблена методика досить ефективна в умовах ПТТ і дозволяє проводити активний контроль за поточним станом інструменту у процесі його експлуатації.

Проведені експериментальні дослідження з використанням методів багатофакторного планування експерименту дозволили одержати залежності бажаностей вихідних характеристик і загального рівня бажаності процесу ПТТ від параметрів режиму різання.

У досліджуваному діапазоні швидкостей різання ($v=86\dots350$ м/хв) і подач ($S=0,5\dots1,5$ мм/об) найбільш високий рівень бажаності з фізичних, економічних і технологічних критеріїв оптимальності має інструментальний матеріал ВК8-TiN (рис. 5). Для нього оптимальним режимом з фізичної точки зору є значення швидкості різання $v=218$ м/хв і подачі $S=1,0$ мм/об. З економічних і технологічних позицій оптимальним режимом варто вважати $v=350$ м/хв, $S=0,5$ мм/об. Сплави T15K6-ZrN і T15K6-TiN у розглянутому діапазоні режимів різання мають відносно низькі в порівнянні з ВК8-TiN значення D_{ϕ} і $D_{\text{ЭТ}}$. Оптимальним режимом різання з погляду фізичних особли-

востей взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом для сплаву T15K6-TiN є $v=86$ м/хв, $S=1,0$ мм/об. На економічному і технологічному рівні для сплаву BK10-TiN оптимальні наступні режими: $v=218$ м/хв, $S=1,5$ мм/об; $v=350$ м/хв, $S=0,5$ мм/об; $v=350$ м/хв, $S=1,5$ мм/об.

З урахуванням проведених досліджень для багатоінструментальної наладки верстата мод. КА-350, спроектованого для токарної обробки внутрішнього підшипникового кільця 310/02, вибрані оптимальні параметри режиму різання, прогнозується наробіток інструменту на відмову, розраховано необхідне число інструментів.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена актуальна наукова і технічна проблема - підвищення надійності роботи токарних верстатів-автоматів роторного типу з тангенціальною схемою різання за рахунок підвищення працездатності інструменту на основі комплексного підходу до процесу формоутворення, застосування інструментів із зносостійким покриттям, використання методів діагностування поточного стану інструменту і прогнозування моменту настання його відмови. Робота містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які в сукупності є суттєвими для оптимального проектування роторних обробляючих комплексів надвисокої продуктивності з тангенціальною схемою різання.

1. У результаті комплексних досліджень екологічно чистого процесу попутного тангенціального точіння (без ЗОР), прогнозування ресурсу ріжучого інструменту, вибору оптимальних інструментальних матеріалів з покриттям та параметрів режиму різання вирішена проблема підвищення працездатності металорізального інструменту при обробці сталі ШХ15 на верстатах роторного типу з тангенціальною схемою різання.

2. Проведені комплексні дослідження показали істотний вплив технологічних параметрів механічної обробки практично на всі вихідні показники процесу різання при попутному тангенціальному точінні. Доведено, що швидкість різання, подача і величина знімаемого припуску значною мірою впливають на вихідні показники процесу ПТТ через зміну умов контактної взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом на ділянках початку і в кінці циклу обробки, що характеризуються відсутністю різання (проковзуванням) і інтенсивним тертям на задній поверхні леза. Використання зносостійких покриттів принципово не змінює характер залежності показників процесу різання від технологічних параметрів механічної обробки. Встановлено, що використання покриття TiN зменшує середні температури на контактних поверхнях інструменту на 10-15% і силу різання на 10%. Експериментально доведено, що найбільш сприятливим при обробці сталі ШХ15 є використання сплавів BK8 і BK10 з покриттям TiN.

3. Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити механізм та характер зношування ріжучого інструменту при ПТТ. Результати досліджень дозволили більш обґрунтовано підійти до призначення оптимальної марки твердого сплаву і покриття для конкретних температурно-деформаційних умов ПТТ. Встановлені фізичні і технологічні явища і закономірності, що визначають працездатність твердосплавного інструменту з покриттям в умовах ПТТ, є основою для знаходження раціональних умов протікання процесу різання.

4. Розроблено методику прогнозування ступеня зношування інструменту при ПТТ на основі аналізу умов навантаження контактуючих поверхонь ріжучого леза. Запропонована методика дозволяє врахувати як випадковий характер зміни елементів режиму навантаження, так і випадковий характер процесу зношування інструменту. Встановлені закономірності дають можливість підвищити зносостійкість інструменту на етапах його проектування та експлуатації.

5. Розроблено методику прогнозування фактичного ресурсу ріжучого інструменту для конкретної комбінації інструментального та оброблюваного матеріалів при відсутності достатніх статистичних відомостей з даного процесу різання, що призводить до його економії. Проведено дослідження з вибору найбільш ефективного з погляду інформативності і погрішності прогнозування в умовах ПТТ діагностичної ознаки.

6. Розроблено методику оцінки поточного стану та прогнозування подальшої заміни затупленого ріжучого інструменту на основі аналізу параметрів апроксимуючої аналітичної залежності зміни відносних величин фізичних характеристик процесу різання від часу його роботи.

7. Розроблено методику визначення оптимальних режимів різання за допомогою комплексного критерію - узагальненої функції бажаності на основі встановленого взаємозв'язку між показниками процесу різання та технологічними параметрами механічної обробки. Методика дозволяє визначати найвигідніші умови обробки з урахуванням реальних вимог виробництва і специфічних особливостей процесу ПТТ. Такий підхід дає можливість об'єктивно оцінити фізичну сторону експлуатації інструментів (знос, гранично припустимі силові та теплові навантаження на інструмент, його ресурс і ін.) і виявити шляхи ефективного його використання з позиції якості обробленої поверхні, продуктивності і собівартості обробки.

8. Визначено раціональні параметри режиму різання ($v=218...350$ м/хв; $S=1,0...1,5$ мм/об) інструментами з твердих сплавів ВК8 і ВК10 із покриттям TiN при ПТТ сталі ШХ15 (з урахуванням специфічних особливостей процесу і поточного стану інструменту) без використання ЗОР. Проведені розрахунки необхідного числа інструментів та схеми заміни при їхній відмові в багатоінструментальній наладці для обробки внутрішнього кільця підшипника 310/02 на верстаті мод. КА-350, модернізованому згідно з розробленою схемою розподілу припуску і розташування різців

в інструментальних блоках. Розроблена технологічна карта заміни інструментів, що виробили свій ресурс.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Залога В.А., Иовенко Л.А., Дядюра К.А. Исследование влияния условий обработки на твердость обработанной поверхности после попутного тангенциального точения // Вісник Сумського державного університету. – Суми: СумДУ. - 1998. - №2 (10). –С.94-98.
2. Залога В.А., Дядюра К.А. Исследование теплового состояния режущей части инструмента при ПТТ // Вестник Харьковского государственного университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Выпуск №59. – С. 66-69.
3. Залога В.А., Дядюра К.А., Криворучко Д.В. Исследование влияния покрытия на температуру резания при попутном тангенциальном точении // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя: ЗДТУ. - 1999. - №2. – С. 132-134.
4. Залога В.А., Дядюра К.А. К вопросу об использовании функции желательности для оптимизации процесса попутного тангенциального точения // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. - Харків, 2000. – Вып.1(3). – С. 100-105.
5. Залога В.А., Дядюра К.А. Исследование сил резания при попутном тангенциальном точении инструментами с износостойкими покрытиями // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - Запоріжжя: ЗДТУ. – 2000. - №1. – С. 67-69.
6. Залога В.А., Дядюра К.А. Исследование износа инструментов с покрытиями при попутном тангенциальном точении // Вестник национального технического университета "Киевский политехнический институт ": Машиностроение. – К.: НТУУ "КПИ". – 1999. - №37. – С.58-62.
7. Залога В. А., Дядюра К. А. Исследование изнашивания твердосплавного инструмента с покрытием в условиях попутного тангенциального точения // Вісник Сумського державного університету. – Суми: СумДУ. - 2000. - №19. - С.98-103.
8. Залога В.А., Дядюра К.А. Методика прогнозирования работоспособности режущего инструмента при нестационарном резании на примере попутного тангенциального точения // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Збірка наукових праць ХДПУ. – Харків: ХДПУ. – 2000. - Вип.8. – С. 106-111.
9. Залога В.А., Дядюра К.А. Прогнозирование изнашивания режущего инструмента при попутном тангенциальном точении // Прогрессивные технологии в машиностроении (ТЕХНОЛОГИЯ – 2000): материалы 15-й ежегодной международной научно-технической конференции. – Одесса - Киев: АТМ України. - 2000. – С. 80-81.

10. Залога В.А., Лагута Г.Г., Дядюра К.А. Оптимизация нестационарных процессов резания // Материалы Международной научно-технической конференции “Проблемы и пути реализации научно-технического потенциала военно-промышленного комплекса”. – Киев: АТМ України. - 2000. – С. 64-65.

11. Залога В.А., Дядюра К.А. Исследование закономерностей разрушения и изнашивания твердосплавного инструмента с покрытием при попутном тангенциальном точении // Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, довідки: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2001. – С. 66.

АНОТАЦІЇ

Дядюра К.О. Підвищення працездатності металорізального інструменту при обробці сталі ШХ15 в умовах попутного тангенціального точіння. – 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, 2001.

У дисертації в результаті комплексних досліджень екологічно чистого (без ЗОР) процесу попутного тангенціального точіння вирішена проблема підвищення працездатності металорізального інструменту при обробці сталі ШХ15 на верстатах роторного типу з тангенціальною схемою різання.

Встановлено фізичні і технологічні явища та закономірності, що визначають працездатність твердосплавного інструменту з покриттям в умовах ПТТ. Запропоновані в дисертації методики прогнозування фактичного ресурсу ріжучого інструменту, оцінки його поточного стану і визначення оптимальних режимів різання за допомогою узагальненого критерію дозволяють визначати найвигідніші умови обробки з урахуванням реальних вимог виробництва і специфічних особливостей процесу ПТТ.

Ключові слова: попутне тангенціальне точіння, знос, прогнозування, оцінка поточного стану, ресурс інструменту, узагальнений критерій, режим різання.

Дядюра К. А. Повышение работоспособности металлорежущего инструмента при обработке стали ШХ15 в условиях попутного тангенциального точения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национально Технический Университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2001.

В диссертации в результате комплексных исследований экологически чистого (без СОЖ) процесса попутного тангенциального точения решена проблема повышения работоспособности металлорежущего инструмента при обработке стали ШХ15 на станках роторного типа с тангенциальной схемой резания.

Проведенные комплексные исследования показали существенное влияние технологических параметров механической обработки практически на все выходные показатели процесса резания при попутном тангенциальном точении. Характер полученных зависимостей во многом обуславливается физическими явлениями, протекающими в зоне резания, которые определяются условиями взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом на всех участках цикла обработки. Доказано, что скорость резания, подача и величина снимаемого припуска в значительной мере влияют на выходные показатели процесса ПТТ через изменение условий контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом на участках в начале и конце цикла обработки, которые характеризуются отсутствием резания (проскальзыванием) и интенсивным трением на задней поверхности лезвия. Использование износостойких покрытий принципиально не изменяет характер зависимости показателей процесса резания от технологических параметров механической обработки. Установлено, что использование покрытия TiN уменьшает средние температуры на контактных поверхностях инструмента на 10-15% и усилия резания на 10%. Экспериментально доказано, что наиболее благоприятными с точки зрения минимума температуры резания при обработке стали ШХ15 является использование сплавов BK8 и BK10 с покрытием TiN.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить механизм и характер изнашивания режущего инструмента при ПТТ. Установленные физические и технологические явления и закономерности, определяющие работоспособность твердосплавного инструмента с покрытием в условиях ПТТ, служат основой для нахождения рациональных условий протекания процесса резания.

Разработана методика прогнозирования степени изнашивания инструмента при ПТТ на основе анализа условий нагружения контактирующих поверхностей режущего лезвия. Предложенная модель позволяет учесть вероятностный характер изменения элементов режима нагружения и случайный характер процесса износа инструмента. Установленные закономерности дают возможность повысить износостойкость инструмента на этапах его проектирования и эксплуатации.

Разработана методика прогнозирования фактического ресурса режущего инструмента для конкретной комбинации инструментального и обрабатываемого материалов. Это позволяет прогнозировать отказ режущего инструмента при отсутствии достаточных статистических данных по данному процессу резания, что приводит к его экономии. Приведены исследования по выбору

наиболее эффективного с точки зрения информативности и погрешности прогнозирования в условиях ПТТ диагностического признака.

Разработана методика оценки текущего состояния и прогнозирования дальнейшего изменения работоспособности режущего инструмента на основе анализа параметров аппроксимирующей аналитической зависимости изменения относительных величин физических характеристик процесса резания от времени работы инструмента.

Разработана методика определения оптимальных режимов резания с помощью комплексного критерия - обобщенной функции желательности на основе установленной взаимосвязи между показателями процесса резания и технологическими параметрами механической обработки. Данная методика позволяет определять наивыгоднейшие условия обработки с учетом реальных требований производства и специфических особенностей процесса ПТТ. Такой подход дает возможность объективно оценить физическую сторону эксплуатации инструментов (износ, предельно-допустимые силовые и тепловые нагрузки на инструмент, его ресурс и др.) и выявить пути эффективного его использования с позиции качества обработанной поверхности, производительности и себестоимости обработки.

Определены рациональные условия эксплуатации режущего инструмента при ПТТ стали ШХ 15 с учетом специфических особенностей процесса и текущего состояния инструмента ($v=220\dots350$ м/мин; $S=1,0\dots1,5$ мм/об). Предложена методика оптимизации параметров режима обработки с учетом текущего состояния режущего инструмента, что позволило повысить эффективность эксплуатации инструмента в условиях обрабатывающих систем непрерывного действия за счет более полного использования его ресурса.

Проведены расчеты необходимого числа инструментов в многоинструментальной наладке для обработки на станке мод. КА-350 внутреннего кольца подшипника 310/02 и разработана технологическая карта замены инструментов, выработавших свой ресурс.

Ключевые слова: попутное тангенциальное точение, износ, прогнозирование, оценка текущего состояния, ресурс инструмента, обобщенный критерий, режим резания, классифицирующая функция, обобщенная функция желательности.

Dydujra K. A. An improvement of metal-cutting tools workability on steel ШХ15 machining under down-feed skiving. – Manuscript

Thesis for candidate's degree in technical sciences by speciality 05.03.01 – processes of mechanical working, lathes and tools. – National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute", Kharkiv, 2001

An improvement of metal-cutting tools workability on steel IIX15 machining on skiving rotary type machines has been performed based on comprehensive investigations of environmentally appropriate (coolantless) skiving operation.

Physical phenomena and technological rules influenced on coated carbide tool workability under down-feed skiving have been determined. The approaches to real tool life prediction, current tool state estimation and generalized criteria based optimum cutting conditions selection proposed in the thesis allow to find the most beneficial cutting conditions real manufacturing requirements and skiving features taking into account.

Key words: down-feed skiving, wear, prediction, current tool state estimation, tool life, generalized criteria, cutting condition.

Відповідальний за випуск к.т.н., ст. викладач Лагута Г.Г.

Підписано до друку .

Обсяг 0,8 авт. арк.

Тираж 100 прим.

Формат видання 145x215

Формат паперу 60x90/16.

Замовлення №

“Ризоцентр” СумДУ, 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2