

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України «КПІ»

**ЄРМАКОВ МАКСИМ СЕРГІЙОВИЧ**

**УДК 621.941.025.7**

**Дослідження впливу зносу різця з КНБ на ймовірність його руйнування  
при чистовому точінні загартованих сталей**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2014**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник	доктор технічних наук, професор <b>Девін Леонід Миколайович</b> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, м. Київ
Рецензент	кандидат технічних наук, доцент <b>Стахнів Микола Євстахійович</b> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, м. Київ
Консультант з охорони праці та техніки безпеки	кандидат технічних наук, доцент <b>Фоменко Ігор Олександрович</b> Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, доцент кафедри охорони праці, промисловості та цивільної безпеки

Захист відбудеться „17” червня 2014 року об 10 годині на засіданні ДЕК кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 615-22

З дисертацією можна ознайомитись на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 611

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Дипломний проект виконувався в Інституті надтвердих матеріалів НАН України на основі матеріальної бази, що знаходиться в даному інституті і спрямований на вирішення важливих науково-технічних задач. Різці з композиту КНБ широко використовуються при різанні загартованих сталей, але під час різання вони можуть руйнуватися. В силу своїх механічних характеристик можлива ситуація, коли виникає скол або руйнування різця, що найчастіше призводить до пошкодження заготовки, тому важливо вміти визначити ймовірність його руйнування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності з темою 1870 «Порівняльні дослідження особливостей контактної взаємодії при різанні (Fe-C)-сплавів високої твердості, кольорових сплавів, ряду неметалевих матеріалів для оптимізації створення інструментальних структурованих ПНТМ на основі КНБ та нанокомпозитів «алмаз-карбід вольфраму», яка виконувалася в Інституті надтвердих матеріалів НАН України.

**Мета й завдання дослідження.** Метою дипломної роботи було дослідження впливу зносу різця на ймовірність його руйнування, оснащеного ПСТМ на основі композиту КНБ при точінні загартованих сталей.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні основні завдання:

- удосконалити автоматизовану систему для дослідження процесу різання;
- провести градування автоматизованої системи і розробити програму розрахунку коефіцієнта градування;
- розробити програму розрахунку ймовірності руйнування інструменту;
- провести експериментальні дослідження впливу величини зносу різця на ймовірність руйнування інструменту.

**Об'єкт дослідження.** Процес чистового точіння загартованих сталей.

**Предмет дослідження.** Різець на основі композиту кубічного нітриду бору cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

**Методи дослідження.** Методологічною основою аналітичних та експериментальних досліджень є сучасні положення теорії різання. Експериментальні дослідження проводилися з використанням установки, яка включає високоточний токарний станок з числовим програмним керуванням, динамометр, підсилювач, АЦП ADA-1406, персональний комп'ютер.

**Наукова новизна одержаних результатів.** При точінні загартованої сталі різцями з круглою ріжучою пластиною RNMN070300T з ПСТМ cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> особливо небезпечними є розтягуючі напруження на передній грані різця, при величині зносу  $h_3 > 0,3$  мм, які обумовлюють стрибкоподібне наростання ймовірності руйнування. Критична величина зносу для ріжучих пластин з композиту cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> становить 0,3 мм. При цьому не тільки починається катастрофічний знос різця, а й різко зростає ймовірність його руйнування.

**Практичне значення отриманих результатів.** В процесі дослідження було встановлено, що подача та швидкість різання незначною мірою впливають на ймовірність руйнування різця. Основний вплив має знос різця, а саме було встановлено, що критична величина зносу для ріжучих пластин з композиту КНБ становить 0,3 мм. При цьому не тільки починається катастрофічний знос різця, а й різко зростає ймовірність його руйнування.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Постановка задач досліджень, розробка методології та підходів до їх вирішення виконувалися спільно з науковим керівником. Особистий внесок автора в одержання наукових і практичних результатів, представлених в роботі, полягає в: виконанні експериментальних досліджень, розробці програм розрахунку, а також величина зносу різця на напруження на передній і задній грані різця та ймовірності руйнування інструменту.

В роботі наведено посилання на авторів і відповідні джерела при використанні відомих теоретичних положень та експериментальних даних.

**Публікації та доповіді на конференціях.** По темі магістерської дисертації були подані тези та опубліковані у посібнику 14-го Міжнародного науково-технічного семінару «Сучасні проблеми виробництва й ремонту у промисловості та на транспорті».

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 40 найменувань та додатків. Основний текст дисертації викладено на 102 стор. Повний обсяг становить 126 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження і задачі, які автор розв'язує у роботі.

У **першому розділі** розглянуті відомості про міцність і руйнування ріжучої частини інструменту.

Основними видами відмов ріжучої частини інструменту є:

- 1) крихке руйнування ріжучої частини інструменту;
- 2) в'язке ( пластичне ) руйнування ріжучої частини інструменту;
- 3) поступовий знос контактних поверхонь ріжучої частини інструменту.

Крихке руйнування тіла є результат виникнення і розвитку тріщин. Практично в будь-якому твердому тілі є мікроскопічні дефекти будови, різноманітні спотворення в атомно-молекулярній структурі тіла: домішкові атоми і молекули, вакансії, фазові включення, дефекти упаковки в кристалічних решітках та ін. При навантаженні тіла зазначені дефекти починають грати роль концентратора напружень. На розподіл напружень впливає нерівномірний нагрів тіла, циклічне навантаження (механічне або теплове). В останньому випадку розвитку тріщин сприяють втомні явища.

Мають місце два види крихкого руйнування: мікротіла і великі відколи ріжучого клина. Мікротіла відбуваються в межах контакту інструмента з виробом і зі стружкою, переважно у ріжучої кромки. Магістральні тріщини, що призводять до великих сколів (рис. 1) виникають поза контактної зони, на відстані від ріжучої кромки, що дорівнює 2 - 2,5 довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту.

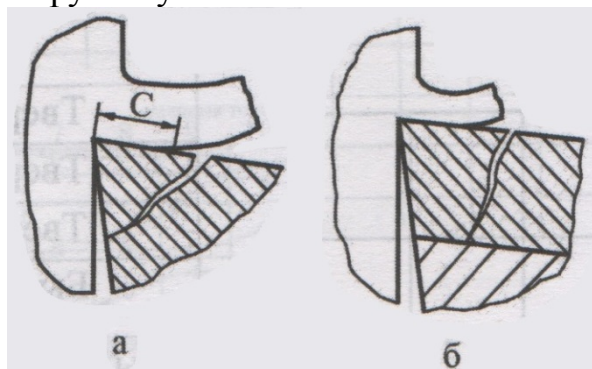


Рисунок 1- Крихке руйнування ріжучого клину

Пластична деформація ріжучої частини інструменту відбувається в околицях ріжучої кромки на передній і задній поверхнях (рис. 2). Передня поверхня як би осідає, задній кут стає негативним і т.д. Процес різання таким інструментом у більшості випадків здійснити далі не можна.

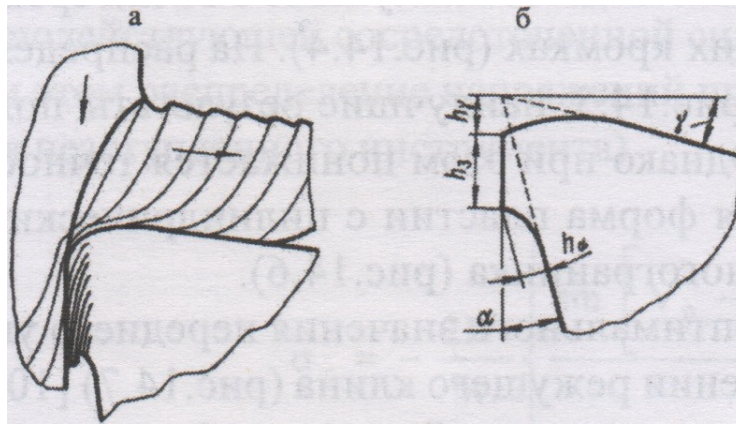


Рисунок 2- Момент пластичного руйнування ріжучої частини інструменту  
 $(\gamma = 0^\circ; \varphi = 48^\circ; \varphi_1 = 42^\circ; V = 2,77 \text{ м/с}; t = 1,5 \text{ мм}; s = 0,4 \text{ мм / об})$

У процесі різання в результаті взаємодії оброблюваного матеріалу з інструментальними контактними площадками на передній і задній поверхнях інструменту зношуються. Знос контактних майданчиків інструменту відбувається безперервно, протягом усього процесу різання, практично при всіх можливих умовах різання і фізико-механічні властивості як інструментального, так і оброблюваного матеріалів.

Залежно від умов різання і властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів спостерігається знос інструменту на задніх поверхнях (рис. 3а), передній поверхні (рис. 3в) та ріжучих кромках (у вигляді збільшення радіусів округлення  $\rho$  і викришування) інструменту.

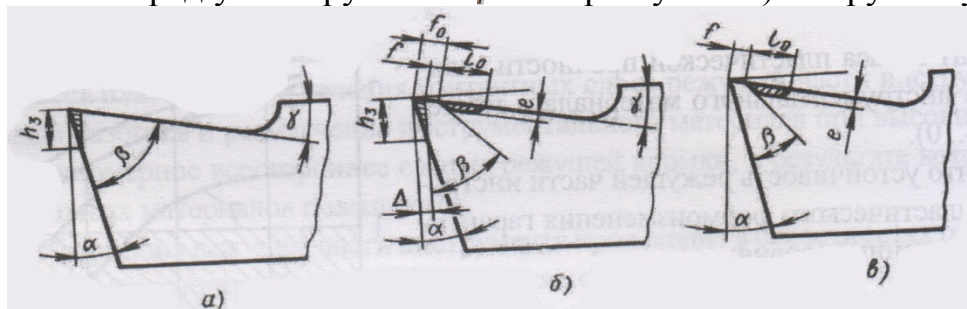


Рисунок 3 - Геометрія зносу різального інструменту ( $e$ -глибина лунки;

$\lambda_0$  - довжина лунки;  $h_3$  - ширина площадки зносу по задній поверхні;  
 $f$  - ширина фаски)

У результаті склалися сучасні уявлення про механізм зносу при різанні, згідно з якими розрізняють чотири основних види зносу робочих (контактних) поверхонь інструмента:

- 1) абразивний (механічний);
- 2) адгезійно - втомний;
- 3) дифузійний;
- 4) абразивно- хімічний.

Також у першому розділі була розглянута методика визначення ймовірності руйнування різців в процесі точіння шляхом аналізу розподілу напруження в ріжучому клині при різанні і характеристика міцності інструментального матеріалу при динамічному навантаженні. Методика

реалізована на ПЕОМ IBM PC. Результати дослідження 10 партій полікристалів на основі композиту КНБ показали, що ймовірність руйнування різців максимальна при спрацюванні до 0.1 мм і понад 0.35 мм. Визначення ймовірності руйнування для кожної з партій полікристалів дозволило оптимізувати обробку загартованої сталі ШХ15 інструментом з ПСТМ.

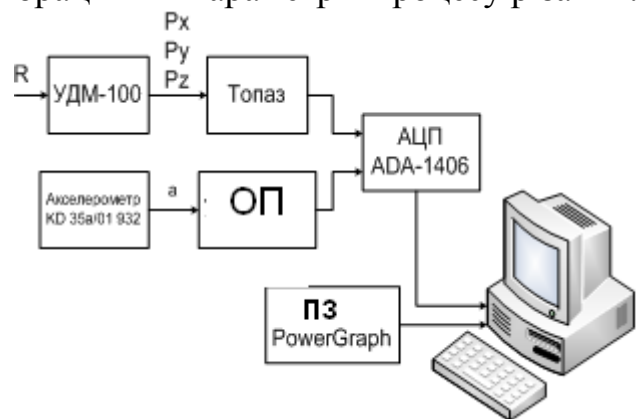
До 60% випадків втручання оператора для поточної підтримки працездатності токарних верстатів з ЧПК викликало відмовами ріжучого інструменту. З числа твердосплавних інструментів, використовуваних в промисловості, близько 30-50 % виходять з ладу внаслідок поломок. У зв'язку з цим, питанням міцності і прогнозуванню ймовірності руйнування різців приділяється все більша увага як на етапі розробки і виготовлення інструментального матеріалу, так і на стадії застосування інструменту.

У **другому розділі** розглянуто устаткування автоматизованої системи для дослідження процесів різання.

В Інституті надтвердих матеріалів ім В.М. Бакуля НАН України була створена автоматизована система дослідження процесу точіння (рис. 4). Вона призначена для контролю силових і вібраційних параметрів процесу різання.



а)



б)

Рисунок 4 - Система автоматизованого дослідження параметрів при обробці різанням та точінні фотографія – а), блок-схема б).

Автоматизована вимірювальна система, використовує високоточний токарний верстат ТПК-125ВМ (рис. 2.1, а) з безступінчатим регулюванням числа обертів  $n$  обертання шпинделя головного руху. Верстат дозволяє забезпечити наступні подачі:  $S_m = 8; 10; 12; 15; 18; 24; 30; 45; 60; 75; 90; 120; 150; 160$  мм / хв.

Автоматизована вимірювальна система складається з універсального динамометра УДМ100 конструкції ВНДІ м. Москва, розробленого тензоуселителя «Топаз», акселерометра КД 35а німецької фірми Metra Mess und Frequenztechnik, АЦП ADA 1406 фірми HOLIT Data Systems і комп'ютера IBM PC.

Складові сили різання, точіння  $P_x$ ,  $P_y$  та  $P_z$  вимірювали за допомогою динамометра УДМ - 100. Акселерометр використовувався для

перетворення механічних коливань різця в електричні сигнали, пропорційні прискоренню коливного інструменту і використовували для визначення параметрів вібрації. Датчик закріплювали в нижній частині різця, максимально наближене до зони різання. Таке розміщення датчика дозволило збільшити чутливість вимірювального каналу.

Акселерометр KD 35a являє собою п'єзоелектричний датчик з прикріпленою масою, з великим вихідним опором. Його робочий діапазон частот 10 - 10000 Гц. Для узгодження акселерометра з АЦП був розроблений спеціальний узгоджувальний підсилювач і блок живлення.

До складу системи входять наступні системні блоки і вузли, які представлені на рис.2.2:

- блок давачів для вимірювання складових сили різання, в якості якого використовується один із універсальних динамометрів УДМ-100;
- трьох - компонентний підсилювач;
- 12 бітний АЦП ADA 1406;
- персональний комп'ютер
- програма Power Graph.

Призначення ПЗ «PowerGraph»:

- Збір даних з різних вимірювальних пристроїв і приладів.
- Реєстрація, візуалізація і обробка сигналів в режимі реального часу.
- Редагування, математична обробка та аналіз даних.
- Зберігання, імпорт і експорт даних.

Програма PowerGraph - це потужні функції цифрової обробки та аналізу сигналів, підтримка широкого спектру обладнання, простота і наочність інтерфейсу, що поєднуються з ефективним динамічним поданням графічних даних.

Функціональні можливості ПО «PowerGraph»:

1. Підтримка різних пристроїв збору даних:
2. Реєстрація даних:
3. Візуалізація даних:
4. Редагування даних:
5. Обробка даних
6. Аналіз даних
7. Друк даних
8. Файли, експорт та імпорт даних.

Дослідження процесу різання полягало в проведенні серії експериментів з швидкістю різання, що змінюється, подачею, глибиною різання або величиною зносу. Графічне представлення даних в Powergraph для одного експерименту приведене на рис. 5.

Також в другому розділі представлена методика градуювання динамометра. Градуювання - метрологічна операція, за допомогою якої розподілам шкали надаються значення (з необхідною точністю), які відповідають значенням вимірюваної фізичної величини в прийнятих одиницях виміру. Результати градуювання представляються графіком. При градуюванні використовують еталонні значення вимірюваної величини. У



нашому випадку градування вимірюваної величини сили здійснюється за допомогою використання зразкового динамометра.

Дані, які отримані при градуванні динамометра, є важливим елементом, що визначає точність наступних розрахунків складових сил точіння.

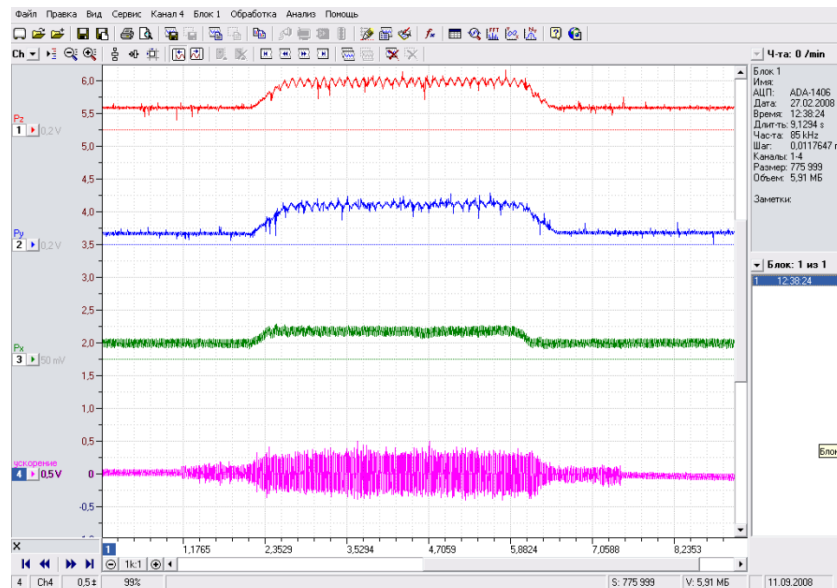


Рисунок 5- Графічне відображення результатів для одного експеримента

У **третьому розділі** представляються результати експериментальних досліджень:

- Дослідження зносу різців з композитом на основі КНБ та його впливу на сили різання при чистовому точінні загартованих сталей;
- Дослідження впливу зносу різців на імовірність їх руйнування.

Дослідження виконували при точінні заготовки із загартованої сталі ХВГ (С - 1%, Cr - 1% , W - 1,4 % , Mn - 1 % , Si - 0.3% інше Fe). Різець з механічним кріпленням круглої ріжучої пластини RNMN070300T з ПСТМ cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> мав передній кут  $\gamma = -10^\circ$  і задній кут  $\alpha = 10^\circ$ . Дослідження виконували при режимах обробки, що забезпечують мінімальну величину амплітуди коливань різця [28]. Подача  $S$ , глибина різання  $t$  і швидкість різання  $V$  у всіх дослідах були фіксовані:  $S = 0,25$  мм/об,  $t = 0,1$  мм,  $V \approx 2$  м/с. Дослідження виконувалося на заготовках з нерівномірною твердістю в радіальному перетині, величина якої складала HRC59-60 і HRC56-60 відповідно.

Складові сили різання  $P_x$ ,  $P_y$  і  $P_z$  вимірювали за допомогою динамометра УДМ - 100 конструкції "ВНШНСТРУМЕНТ". Сигнали від динамометра по трьох каналах через підсилювач надходили на АЦП ADA - 1406. Управління АЦП ADA - 1406 здійснювалося програмою Power Graph . Для кожного досвіду записували складові сили різання  $P_x$ ,  $P_y$  і  $P_z$ , розраховували рівнодіючу  $R$  і проводили обробку вихідних даних, яка включала: корекцію даних, кореляційний та спектральний аналіз, апроксимацію тригонометричними рядами Фур'є.

Експериментально дослідили вплив зносу різального інструменту з круглими ріжучими пластинами з композиту cBN-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при точінні на складові і рівнодіючу силу різання з наступним кореляційним і спектральним аналізом даних.

За результатами проведених експериментів були побудовані графіки.

Графік зміни величини зносу інструменту  $h_3$  залежно від довжини шляху різання  $L$  представлений на рис. 6, на рис. 7 представлений графік ймовірність руйнування різця при обробці заготовок з твердістю 59-60 HRC (а) і 56-60 HRC(б).

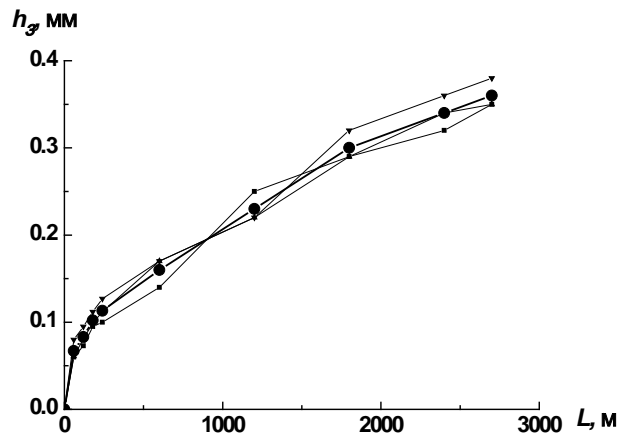


Рисунок 6 - Зміна величини зносу інструменту  $h_3$  залежно від довжини шляху різання  $L$

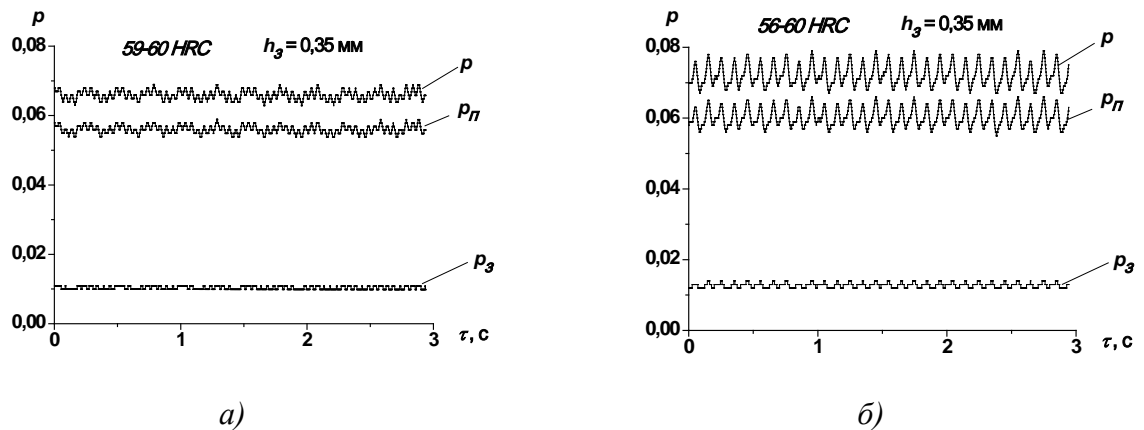


Рисунок 7 - Ймовірність руйнування різця при обробці заготовок з твердістю 59-60 HRC (а) і 56-60 HRC(б)

## ВИСНОВКИ

1. Розглянута методика визначення ймовірності руйнування різців в процесі точіння шляхом аналізу розподілу напруження в ріжучому клині при різанні і характеристика міцності інструментального матеріалу при динамічному навантаженні. Методика реалізована на ПЕОМ ІВМ РС.

2. Була удосконалена автоматизована система для дослідження процесів різання: примінене АЦП ADA-1406 і використана програма управління «Power Graph».

3. Вивчена та використана програма розрахунку ймовірності руйнування різця.

5. Проведені експериментальні дослідження впливу величини зносу різця на напруження на передній і задній грані різця, а також ймовірність руйнування інструменту.

6. Встановлено, що при зростанні швидкості різання, складові сили різання, напруження стиску на передній і задній грані, а також ймовірність руйнування спадають.

7. При точінні загартованої сталі різцями з круглою ріжучою пластиною RNMN070300T з ПСТМ cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> особливо небезпечними є розтягуючі напруження на передній грані різця, при величині зносу  $hz > 0,3$  мм, які обумовлюють стрибкоподібне наростання ймовірності руйнування.

8. Збільшення розкиду твердості заготовки призводить до значного збільшення амплітуди коливань сили різання, що обумовлює значне зростання ймовірності руйнування різця, особливо при зносі  $hz = 0,35$ .

9. Критична величина зносу для ріжучих пластин з композиту cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> становить 0,3 мм. При цьому не тільки починається катастрофічний знос різця, а й різко зростає ймовірність його руйнування.

## **СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ**

Л.Н. Девин, Н.Е. Стахнив, В.Н. Нечипоренко ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА РЕЗЦА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КНБ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ / Л.Н. Девин, Н.Е. Стахнив, В.Н. Нечипоренко Институт сверхтвердых материалов НАН Украины М.С. Ермаков Киевский политехнический институт // 14-тий Міжнародний науково-технічний семінар «Сучасні проблеми виробництва та ремонту у промисловості й на транспорті», 24-28 лютого 2014 р, м.Свялява, Карпати.

### **АНОТАЦІЯ**

**Єрмаков М.С. Дослідження впливу зносу різця з КНБ на ймовірність його руйнування при чистовому точінні загартованих сталей.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”. – Київ, 2014

На основі методики визначення ймовірності руйнування різців в процесі точіння шляхом аналізу розподілу напруження в ріжучому клині при різанні і характеристиці міцності інструментального матеріалу при динамічному навантаженні, методика реалізована на ПЕОМ IBM PC, була удосконалена

автоматизована система для дослідження процесів різання: примінене АЦП ADA-1406 і використана програма управління «Power Graph».

Проведені експериментальні дослідження впливу величини зносу різця на напруження на передній і задній грані різця, а також ймовірність руйнування інструменту.

Було встановлено що критична величина зносу для ріжучих пластин з композиту cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> становить 0,3 мм. При цьому не тільки починається катастрофічний знос різця, а й різко зростає ймовірність його руйнування.

**Ключові слова.** Знос різця, різальна кромка, моделювання, напружено-деформований стан, руйнування різця.

## АННОТАЦИЯ

**Ермаков М.С. Исследование влияния износа резца из КНБ на вероятность его разрушения при чистовом точении закаленных сталей.**

Диссертация на получение ученой степени магистра по специальности 8.05050302 - инструментальное производство. - Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". - Киев, 2014

На основе методики определения вероятности разрушения резцов в процессе точения путем анализа распределения напряжений в режущем клине при резке и характеристике прочности инструментального материала при динамической нагрузке, методика реализована на ПЭВМ IBM PC, была усовершенствована автоматизированная система для исследования процессов резания: применен АЦП ADA-1406 и использована программа управления «Power Graph».

Проведенные экспериментальные исследования влияния величины износа резца на напряжение на передней и задней грани резца, а также вероятность разрушения инструмента.

Было установлено, что критическая величина износа для режущих пластин из композита cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> составляет 0,3 мм. При этом не только начинается катастрофический износ резца, но и резко возрастает вероятность его разрушения.

**Ключевые слова.** Износ резца, режущая кромка, моделирование, напряженно-деформированное состояние, разрушения резца.

## ABSTRACT

**M.S. Yermakov investigation of the influence of tool wear KNB probability of its destruction in finish turning of hardened steels.**

Dissertation for the degree of Master of Science in 8.05050302 - toolmaking. - National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". - Kyiv, 2014

Based methodology for determining the probability of failure in the process of turning cutting tools by analyzing the stress distribution in the cutting wedge and the cutting tool material characteristic strength under dynamic loading, the technique is implemented on a PC IBM PC, has been improved automated system

for the study of cutting processes: applied ADC ADA-1406, and used management program «Power Graph».

The experimental study of the influence the amount of wear of the blade by the voltage on the front and rear of the tool face, as well as the probability of failure of the instrument.

It has been found that the critical value for the wear of the composite cutting inserts cBN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> is 0.3 mm. This not only begins catastrophic wear tool, but also dramatically increases the probability of its destruction.

**Keywords.** Tool wear, cutting edge, modeling, stress-strain state, the destruction of the cutter.