

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

**СМЕРЧИНСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ**

**УДК 621.941:534.647**

**Дослідження ймовірності руйнування різців з монокристалу алмазу при  
тонкому точінні алюмінієвих сплавів**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2015**

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  
**Девін Леонід Миколайович**  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН  
України, м. Київ

**Рецензент** кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник  
**Стахнів Микола Євстахійович**  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН  
України, м. Київ

кандидат технічних наук, старший викладач  
**Сімута Роман Русланович**  
Національний технічний університет України «КПІ».  
м. Київ, старший викладач кафедри технології  
машинобудування НТУУ «КПІ»

**Консультант з  
охорони праці та  
техніки безпеки** кандидат технічних наук, старший викладач  
**Лук'яненко Анна Олегівна**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, старший викладач кафедри охорони праці,  
промисловості та цивільної безпеки

Захист відбудеться „15” червня 2015 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 роботи.** Різці з монокристалу алмазу використовуються при чистовому тонкому точінні металооптичних поверхонь з кольорових металів та їх сплавів.

Оскільки монокристал має високу крихкість, анізотропію властивостей і невисоку міцність при розтязі то навіть невеликі сили різання призводять до утворення великих напружень і як наслідок, значної ймовірності руйнування.

Основними вимогами до інструменту є їх стійкість та безвідмовність протягом всього періоду роботи. При обробці кольорових металів таким вимогам відповідають інструменти, які оснащені кристалом алмазу. Відмінність алмазу від інших інструментальних матеріалів полягає в високій вартості, високій твердості та великому модулю пружності, але при цьому маючи невелику тріщиностійкість.

**Метою роботи** є кількісно оцінити ймовірність руйнування різців з монокристалу алмазу при зміні швидкості різання, глибини різання, при тонкому точінні алюмінієвих сплавів.

### **Задачі дослідження**

1. Провести експериментальні дослідження для визначення сил різання при тонкому точінні.
2. Визначити максимальну величину напруження за формулами А. В. Бетанелі та перевірити їх за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).
3. Визначити аналітичні залежності для розрахунку ймовірності руйнування інструменту з урахуванням анізотропії алмазу.
4. Порівняти значення ймовірності руйнування для напруження, які отримані за формулами А.В.Бетанелі та МСЕ і зробити висновки.

**Об'єкт дослідження** – математична модель визначення ймовірності руйнування різців з монокристалу алмазу.

**Предмет дослідження** – різці з монокристалу алмазу.

**Методи дослідження.** Методологічною основою аналітичних та експериментальних досліджень є сучасні положення теорії різання, математичного моделювання та моделювання за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Встановлено, що максимальні напруження, визначені за допомогою МСЕ знаходяться на відстані  $r=(1,3-1,5)c$  від краю різальної кромки (за формулою А.В.Бетанелі  $r=2c$ ). Максимальна ймовірність руйнування (13%), спостерігалася при  $V=110$  м/хв. Це пояснюється виникненням розтягуючих напружень на передній поверхні різця.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Коригування формули А.В.Бетанелі ( $r=1,4c$ ) дозволило зменшити похибку визначення максимальних напружень на поверхнях різця з 46% до

1-26%. Різниця між розрахунками ймовірностей, виконаних з урахуванням напружень за скорегованою формулою А.В.Бетанелі та МСЕ складала від 1% до 16%.

#### **Публікації та доповіді на конференціях.**

По темі магістерської дисертації опубліковано 2 статті, які видані в спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ВАК України, а також доповідь на загальноуніверситетській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки.

#### **Структура дисертації.**

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 41 найменувань. Основний текст дисертації викладено на 79 сторінках. Повний обсяг становить 102 сторінки, включаючи 67 рисунків, 8 таблиць, додаток.

## **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** проведений аналіз попередніх досліджень, який показав, що при визначенні властивостей кристалу алмазу таких як міцність при стиску, міцність при згині, та розтязі, які впливають на експлуатаційні характеристики інструмента такі як стійкість та безвідмовність протягом періоду роботи, різними авторами визначається по-різному. Це пояснюється складністю проведенням експериментальних досліджень через малі розміри кристалу алмазу, різну їх класифікацію, та різні розміри. Внаслідок цього неможливо точно встановити ці характеристики міцності, які будуть індивідуальними для кожного кристалу. Оскільки числове значення міцності є одним з головних параметрів при визначенні ймовірності руйнування, тому це питання залишається відкритим.

**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. 1). Вона призначена для контролю силових і вібраційних параметрів процесу різання.

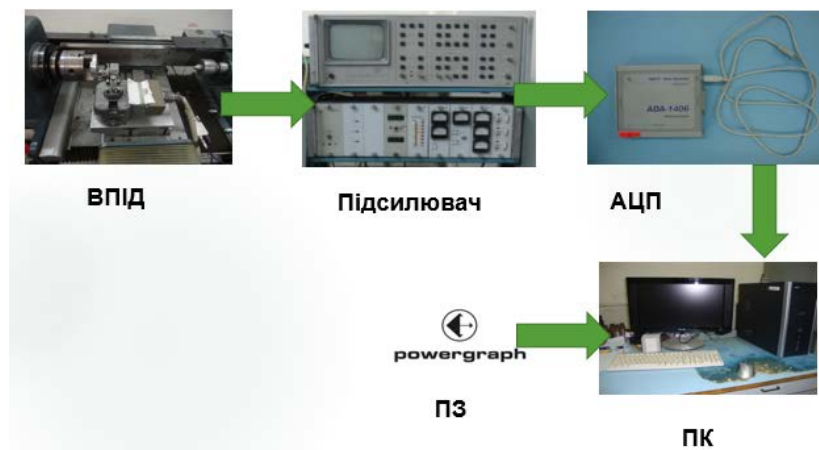


Рисунок 1 - Система автоматизованого дослідження параметрів при обробці різанням

До складу системи входять наступні системні блоки і вузли, які представлені на рис.1:

- Токарний верстат ТПК-125ВМ;
- Динамометр УДМ-100;
- Попередній підсилювач;
- 16 бітний АЦП ADA-1406;
- Персональний комп'ютер.

Автоматизована вимірювальна система, використовує високоточний токарний верстат ТПК-125ВМ 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 УДМ 100 конструкції ВНДІ м. Москва, розробленого тензоуселителя «Топаз», АЦП ADA 1406 фірми HOLIT Data Systems і комп'ютера РС.

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

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.

Дослідження процесу різання полягало в проведенні серії експериментів зі зміною швидкості різання, глибини різання при торцевому точінні алюмінієвих сплавів (рис.2).

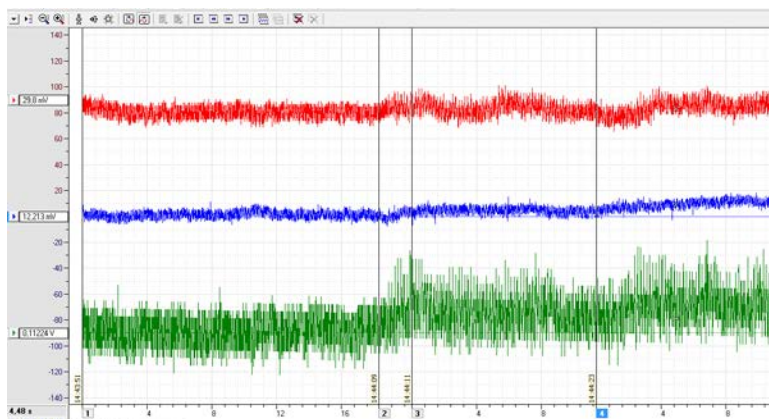


Рисунок 2 - Графічне відображення результатів для одного експеримента

У третьому розділі показано, що для вирішення задачі розрахунку міцності ріжучого інструменту необхідно мати картину розподілу напружень в його ріжучій частині. А. В. Бетанелі запропонував метод визначення напружень в різальній частині інструменту, приймаючи епюру розподілу контактних нормальних напружень у формі параболи.

Формули отримані А.В.Бетанелі є основою для визначення величини ймовірності руйнування, але вони не враховують напруження, яке виникає вздовж різальної кромки на деякій відстані від неї, тому потрібно перевірити величини цих напружень за допомогою МКЕ, які потім використати для розрахунку ймовірності руйнування.

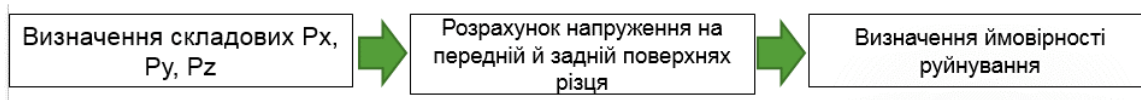


Рисунок 3 - Алгоритм знаходження ймовірності руйнування

Графічно, ймовірність руйнування можна представити як площу перетину диференціальних кривих розподілу діючих напружень та межі міцності інструментального матеріалу (рис.4).

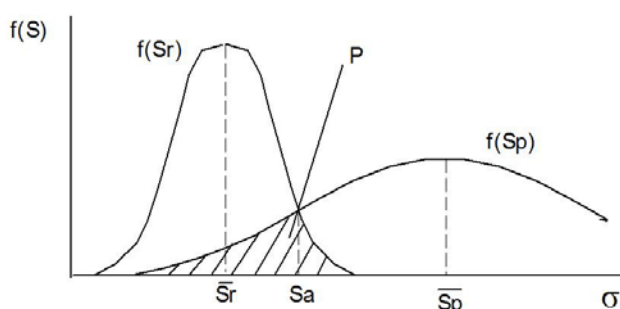


Рисунок 4 - Диференціальні функції розподілу напружень

Для розрахунку ймовірності руйнування напруження на гранях різців порівнювали з межами міцності при розтягуванні і стисканні за формулою 1.

$$P = \begin{cases} \int_0^{S_a} f(S_P)dS + \int_{S_a}^{\infty} f(S_R)dS \\ \int_{-\infty}^{S_a} f(S_R)dS + \int_{S_a}^0 f(S_C)dS \end{cases} \quad (1)$$

А. В. Бетанелі запропонував метод плоского розрахунку крихкої міцності ріжучої частини інструменту по рівнодіючій зосередженій силі різання R, яка прикладена до вершини ріжучого клину, формула 2.

$$S_R = -\frac{2R}{br} \left\{ \frac{\cos \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} + \frac{\sin \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} \right\} \quad (2)$$

де  $r=2c$  – відстань до зони дії максимальних напружень

При розв'язку об'ємної задачі за допомогою МСЕ була отримана така картина розподілу максимальних напружень (рис.5).

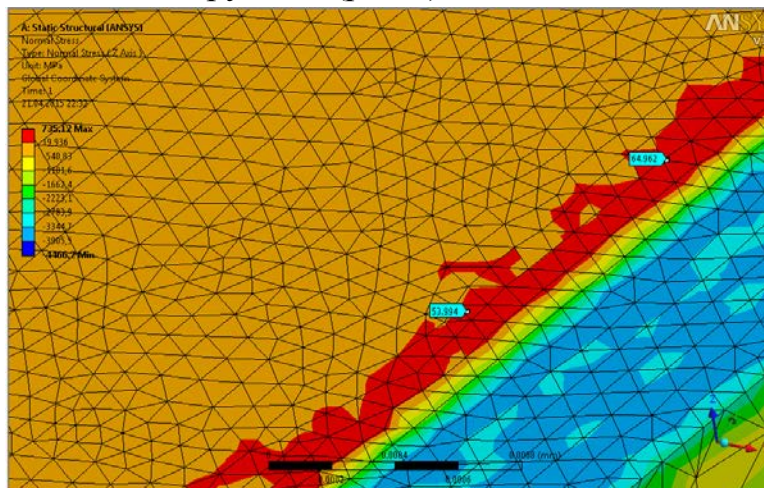


Рисунок 5 – Розподіл напруження на передній поверхні

Як видно з рис.5 максимальні розтягувальні напруження знаходяться на відстані  $r=(1,3-1,5)c$  від краю різальної кромки.

Напруження на передній поверхні різця які отримані для об'ємної ( $r=1,4c$ ), плоскої ( $r=2c$ ), та плоскої скорегованої ( $r=1,4c$ ) задач (рис.6).

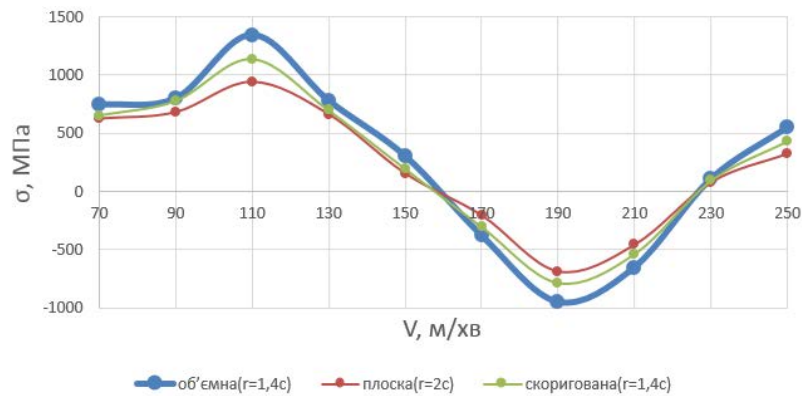


Рисунок 6 – Залежність максимальної величини напруження на передній поверхні різця від швидкості різання при  $t=40$  мкм

Встановлено, що різниця між величинами напружень, визначених за допомогою МСЕ та за формулою А.В.Бетанелі складала від 15% до 46%, після коригування формули ( $r=1,4c$ ) різниця зменшилася до 5 - 26%.

Ймовірності, які отримані для напружень визначених за допомогою МСЕ та скоригованої формули А.В.Бетанелі (рис.7)

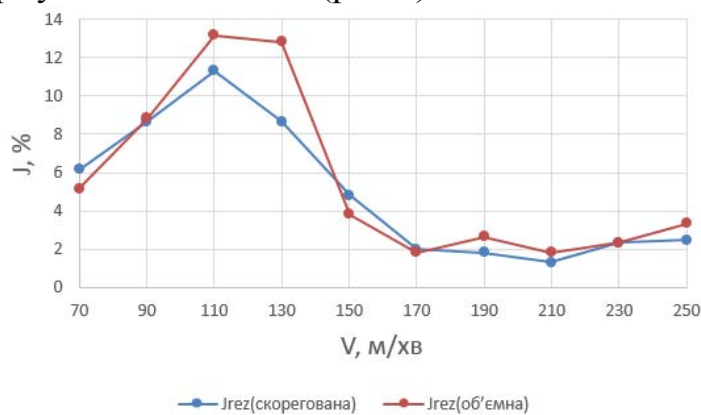


Рисунок 7 – Зміна ймовірності руйнування різця при зміні швидкості різання при плоскій та об'ємній задачі визначення максимальних напружень при  $t=40$  мкм

У четвертому розділі приведена методика виявлення та аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, діючих при роботі за токарним верстатом. Розроблені рекомендації для збереження здоров'я оператора верстата, наведені можливі фактори ураження та методи запобігання їм. Розроблені заходи щодо зниження можливої дії шкідливих і усуненню небезпечних чинників при роботі за токарним верстатом. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.



## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що максимальні напруження, визначені за допомогою МСЕ знаходяться на відстані  $r=(1,3-1,5)c$  від краю різальної кромки (за формулою А.В.Бетанелі  $r=2c$ ).
2. Коригування формули А.В.Бетанелі ( $r=1,4c$ ) дозволило зменшити похибку визначення максимальних напружень на поверхнях різця з 46% до 1-26%
3. Максимальна ймовірність руйнування (13%), спостерігалася при  $V=110$  м/хв. Це пояснюється виникненням розтягуючих напружень на передній поверхні різця.
4. При  $V=110-170$  м/хв ймовірність зменшувалася до 2%. Це пояснюється виникненням стисних напружень. Подальше зростання швидкості різання до  $V=250$  м/хв на ймовірність руйнування різця не впливало.
5. Різниця між розрахунками ймовірностей, виконаних з урахуванням напружень за скорегованою формулою А.В.Бетанелі та МСЕ складала від 1% до 16%.

## СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ

1. Учет анизотропии кристаллов алмаза при расчете вероятности разрушения резцов [Текст] / Л.Н. Девин, А.А. Осадчий, С.В. Рычев , А.В. Смерчинский // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов. - Киев. - Выпуск 17. - 2014. С.452-458.
2. Вероятность разрушения резцов из монокристаллов алмаза при тонком точении алюминиевых сплавов [Текст] / Девин Л.Н., Рычев С.В., Смерчинский А.В. // Вісник національного технічного університету України. Серія «Машинобудування». – Київ. – № 73. – 2015. С. 72-77.
3. Смерчинський О.В. Ймовірність руйнування різців з монокристалу алмазу при тонкому точінні алюмінієвих сплавів [Текст] / О.В. Смерчинський , Л.М. Девін // Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Інтегровані технології машинобудування". – К: НТУУ "КПІ", 2015. – С. 96-97.

## АНОТАЦІЯ

**Смерчинський О.В.** Дослідження ймовірності руйнування різців з монокристалу алмазу при тонкому точінні алюмінієвих сплавів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут. – Київ, 2015.

При визначенні величини напружень за допомогою формул А.В.Бетанелі були встановлені максимальні напруження, які діють на передній та задній поверхні. Оскільки відстань до зони дії максимальних напружень приймалася на основі теоретичних припущень тому необхідно було ці значення перевірити, оскільки величина напруження безпосередньо впливає на величину ймовірності руйнування.

Перевірка значення величини максимальних напружень та відстані їх виникнення від краю різальної кромки виконувалася за допомогою МСЕ, для якого були використанні значення сил різання, які отримані експериментально при торцевому тонкому точінні алюмінієвих сплавів при зміні швидкості різання та глибини різання.

Після корегування формули А.В.Бетанелі різниця між розрахунками ймовірностей, виконаних з урахуванням напружень за скорегованою формулою та МСЕ склала від 1% до 16%.

**Ключові слова.** Монокристал алмазу, максимальне напруження, метод скінченних елементів, ймовірність руйнування різця.

## АННОТАЦИЯ

**Смерчинский А.В.** Исследование вероятности разрушения резцов из монокристалла алмаза при тонком точении алюминиевых сплавов.

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт. – Киев, 2015.

При определении величины напряжений с помощью формул А.В.Бетанели были установлены максимальные напряжения, действующие на передней и задней поверхностях. Поскольку расстояние до зоны действия максимальных напряжений принималась на основе теоретических предположений поэтому необходимо было эти значения проверить, поскольку величина напряжения непосредственно влияет на величину вероятности разрушения.

Проверка значения величины максимальных напряжений и расстояния их возникновения от края режущей кромки выполнялась с помощью МСЭ, для которого были использованы значения сил резания, полученные

экспериментально при торцевой тонком точении алюминиевых сплавов при изменении скорости резания и глубины резания.

После корректировки формулы А.В.Бетанели разница между расчетами вероятностей, выполненных с учетом напряжений по скорректированной формуле и МСЭ составила от 1% до 16%.

**Ключевые слова.** Монокристалл алмаза, максимальное напряжение, метод конечных элементов, вероятность разрушения резца.

## ABSTRACT

**Smerchynskyi A.** Research probability of fracture single crystal diamond cutters in fine turning aluminum alloys.

MSc thesis by specialty 8.05050302 – Tool Production. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2015

In determining the magnitude of stresses using formulas were established A.V.Betaneli maximum stress acting on the front and rear surfaces. Since the distance to the zone of maximum stress was taken on the basis of theoretical assumptions as necessary to check these values, since the value of stress directly affects the value of the probability of fracture.

Check the value of maximum stress and the distance they occur from the edge of the cutting edge was performed using FEA, which were used for significance cutting forces obtained experimentally with a thin face turning aluminum alloys when changing cutting speed and depth of cut.

After adjustment formula A.V.Betaneli difference between probability calculations made taking into account the stresses and adjusted formula FEA ranged from 1% to 16%.

**Keywords.** Single crystal diamond, maximum principal stress, finite element analysis, probability of fracture.