

ОЦІНКА РЕСУРСУ РІЗУЧОЇ КРАЙКИ МІКРОІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Некрасов Сергій Сергійович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0001-9157-2829

E-mail: s.nekrasov@omim.sumdu.edu.ua

Голобородько Любов Вікторівна

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0001-8421-6041

E-mail: l.goloborodko@omu.sumdu.edu.ua

Жигилій Дмитро Олексійович

кандидат технічних наук

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0002-7063-7213

E-mail: d.zhigilyi@omim.sumdu.edu.ua

Купрієнко Богдан Григорович

студент

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0002-6251-2955

E-mail: kuprienkobogdan85@gmail.com

У роботі розглянуті особливості процесу мікрорізання і причини виходу з ладу ріжучої крайки мікро-інструменту в процесі різання. Для дослідження причин відмови ріжучої крайки мікроінструменту в роботі було запропоновано використовувати скінчено-елементне моделювання процесу мікрорізання, яке дозволяє встановити і детально досліджувати фактори, що впливають на ресурс інструменту, більш глибоко вивчити процес стружкоутворення і вплив різних чинників на вихідні показники процесу різання, які найчастіше неможливо проаналізувати використовуючи натурний експеримент. Наведено результати експериментального дослідження, які дозволили встановити інтенсивність зношування ріжучого інструменту в процесі різання.

Ключові слова: мікрорізання; інтенсивність зношування; мікроінструмент; товщина зрізаного шару, радіус округлення різальної крайки.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.3.1>

Постановка проблеми.

На теперішній час практика використання свердел для свердління отворів діаметром менше 1 мм показує, що такі свердла не забезпечують достатньої продуктивності та стійкості інструменту, більш того, немає можливості спрогнозувати поломку інструменту, при виникненні якої поламаний залишок свердла часто неможливо витягнути з оброблюваної заготовки, що призводить до повного вибракування виробу. Оскільки свердлення подібних отворів проводиться на завершальних операціях виробництва, такий факт призводить до необхідності починати процес виробництва з самого початку.

Досліджень причин поломки мікроінструментів раніше було проведено мало. Встановити причину поломки мікросверла з практичних експериментів складно, тому що складно, а часто і неможливо, спостерігати за процесом різання при малих розмірах, виникають труднощі вимірювання сил різання, температури в зоні різання, спостереження за зношенням інструменту, оскільки незначна зміна цих параметрів призводить до раптового виходу інструменту з ладу. Однак це стає можливим при використанні методів імітаційного моделювання процесу мікрорізання.

Мета досліджень.

Тому метою роботи є дослідження причин виходу з

ладу мікроінструментів за допомогою скінчено-елементного моделювання процесу мікрорізання, а також вивчення впливу різних чинників на ресурс різальної крайки інструменту.

Аналіз основних досліджень.

Згідно досліджень [1], при різанні початкова стадія зношування може бути з припрацюванням, без припрацювання та зі зворотним припрацюванням. Зворотне припрацювання, випадки якого відомі для деталей машин і оснащення, фізично являє собою інкубаційний період процесу зношування і виражається в його прискоренні до його переходу в лінійну (сталу) стадію. Випадки зворотного припрацювання відомі для інструменту, підданого оздоблювально-змцнюючим операціям. Подібна закономірність спостерігається для інструменту з штучним округленням ріжучих кромок [2].

А. С. Верещака, А. В. Дачева, А. В. Анікєєв [3] відзначають, що при обробці різанням важкооброблюваних матеріалів відбувається значний зношення інструменту в результаті взаємодії кобальтової зв'язки твердого сплаву з оброблюваним матеріалом під впливом високих температур, що розвиваються в зоні різання.

При використанні інструменту з високими швидкостями різання головним механізмом зношування є дифузне розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному

[4], проте інші вчені відзначають, що мікросколи утворюються в результаті втомних явищ [5]. Н. В. Талантов і А. А. Ліпатов [6] встановили, що при різанні паралельно діє два механізми - адгезійний і дифузійний, а переважання того чи іншого механізму зношення залежить від марки інструментального матеріалу.

Для дослідження причин поломки мікроінструментів в роботі було запропоновано використовувати скінчено-елементне моделювання процесу мікрорізання, яке дозволяє встановити і детально досліджувати фактори, що впливають на ресурс інструменту, більш глибоко вивчити процес стружкоутворення і вплив різних чинників на вихідні показники процесу різання, які найчастіше неможливо проаналізувати використовуючи натурний експеримент.

Короткий опис методики моделювання

Базові моделі були взяті з робіт Криворучко Д. В. [7], в якій запропонована розроблена модель процесу різання округленим лезом з пластичного матеріалу, і Некрасова С. С. [8], яка додатково має можливість проводити моделювання процесу різання деформівним інструментом з округленим лезом і змінною товщиною зрізаного шару, яка змінюється від 0 до заданого значення. В ході вивчення розглянутих моделей стосовно процесу прямокутного вільного мікрорізання було виявлено, що існуючі моделі мають ряд недоліків при їх використанні для моделювання процесу мікрорізання: збільшення обсягу зрізаного шару в процесі різання, відсутність впливу масштабного чинника при різних співвідношеннях товщини зрізаного шару до радіусу округлення різальної крайки, що істотно впливає на прогнозування вихідних показників процесу мікрорізання. Оскільки при збільшенні обсягу зрізаного шару відбувається збільшення прогнозованих сил різання, температури, усадки стружки і таке інше, при цьому не відбувається врахування впливу масштабного чинника, про існування якого свідчать багато досліджень [9]. Тому для усунення недоліків розглянутих моделей, авторами були проведені дослідження впливу різних чинників скінчено-елементної моделі процесу мікрорізання на точність прогнозування вихідних показників процесу.

Основні параметри моделі

В роботі розглядалося ортогональне вільне різання в двовимірній постановці, що допустимо, оскільки при розгляді процесу свердлення в головній січній площині граничні умови будуть еквівалентні. Геометричні розміри заготовки вибиралися пропорційно товщині зрізу. Інструмент деформівний. Граничні умови були задані жорстким закріпленням основи заготовки і обмеженням переміщення інструменту вздовж напрямку осі Y.

Навантаження прикладалися до інструменту через його переміщення в напрямку, протилежному додатного напрямку осі X, зі швидкістю різання $V=40$ м/хв, подача приймалася рівною товщині зрізу. Геометрія інструменту задавалася такими параметрами: передній кут $\gamma=15^\circ$, задній кут $\alpha=10^\circ$, величина фаски зношення $h_z=0.1$ і радіусом округлення різальної крайки ρ від 0.0025 мм до 1 мм (рис. 1).

Модель оброблюваного матеріалу задавалася моделлю пластично-деформівного тіла, здатного до руйнування.

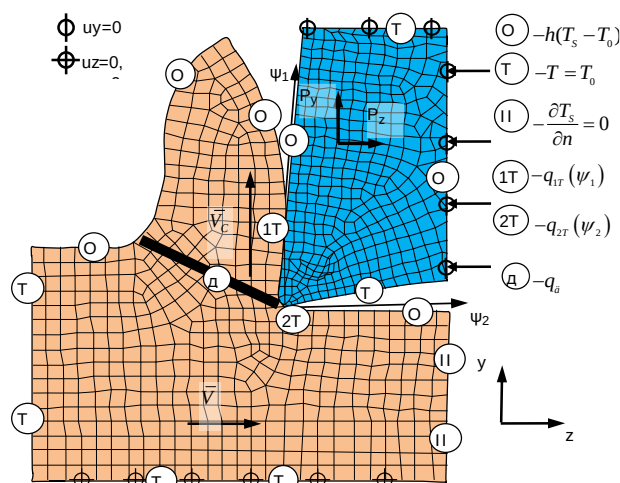


Рис. 1. Розрахункова схема та граничні умови

Критерій порівняння результатів моделювання з експериментом

Розроблена скінчено-елементна модель дозволила провести віртуальний експеримент відповідно до плану, наведеному в таблиці 1, метою якого було встановлення впливу співвідношення товщини зрізаного шару до радіусу округлення різальної крайки на величину еквівалентних напружень, максимальних напружень стискування й установлення поля температур в зоні різання.

Таблиця 1 – План експерименту: Сталь 45-ВК8; $b=1$ мм; $V=40$ м/мин

a/p	Товщина зрізу a, мм		
	0.1	0.05	0.005
0.1	1	0.5	0.005
0.2	0.5	0.25	0.0025
0.5	0.2	0.1	0.001
1	0.1	0.05	0.005

Моделювання проводилося для товщин зрізу в діапазоні від 0.005 мм до 0.1 мм при зміні радіусів округлення різальної крайки від 0.0025 мм до 1 мм. Що дозволило провести дослідження при співвідношенні товщини зрізаного шару до радіусу округлення різальної крайки в діапазоні від 0.1 до 1 (рис. 2-4).

Використовуючи скінчено-елементну модель, розроблену для моделювання процесу мікрорізання, було встановлено, що зміни досліджуваних величин мають екстремальний характер, а відповідно існує деякі рекомендовані значення співвідношення a/p , що дозволяють забезпечити найбільший ресурс мікроінструментів. При цьому з отриманих даних видно, що при зменшенні співвідношення a/p менш ніж 0.2 має місце збільшення максимальних еквівалентних напружень (рис. 2). Отже при цих значеннях інструмент матиме найменшу статичну міцність. Також при зменшенні співвідношення товщини зрізаного шару до радіусу округлення різальної крайки менше 0.2 не спостерігається утворення стружки (рис. 5), а відповідно відсутнє різання. При близьких до 0.6 значеннях спостерігається незначне зменшення еквівалентних напружень; локальний максимум відбувається при товщині зрізаного шару рівному 0.005 мм, характерному для процесу мікрорізання. При товщинах зрізу рівних 0.1 і 0.05 мм спостерігається зменшення еквівалентних напружень у всьому діапазоні досліджуваних співвідношень a/p (рис. 2).

Найбільша температура в зоні різання спостерігається при товщині зріз, що дорівнює 0.1 мм, і меншому за 0.2 | співвідношенні a/ρ , а найменша - при товщині зрізу рівному 0.005 мм (рис. 3).

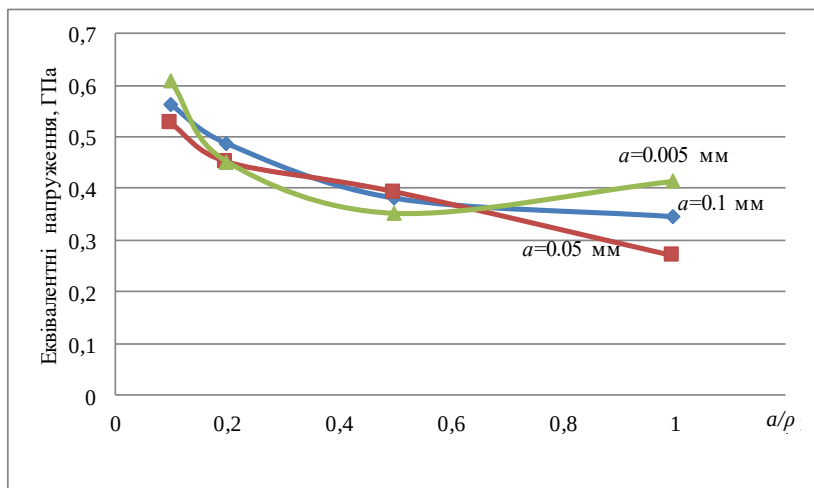


Рис. 2 – Вплив співвідношення a/ρ на величину еквівалентних напружень

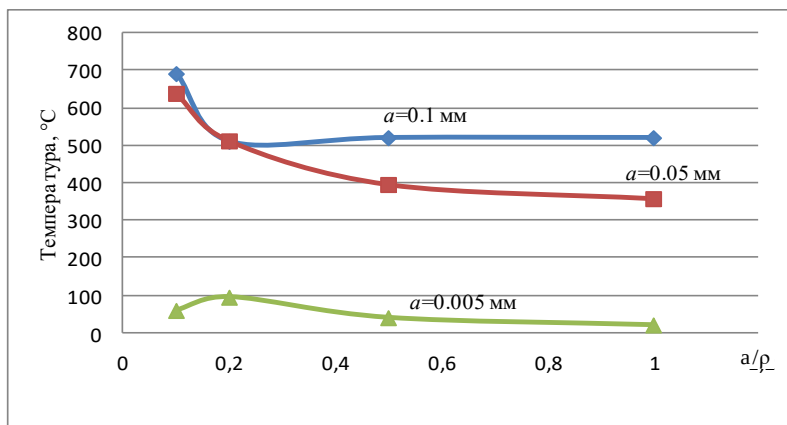


Рис. 3 – Вплив співвідношення a/ρ на максимальну температуру в зоні різання

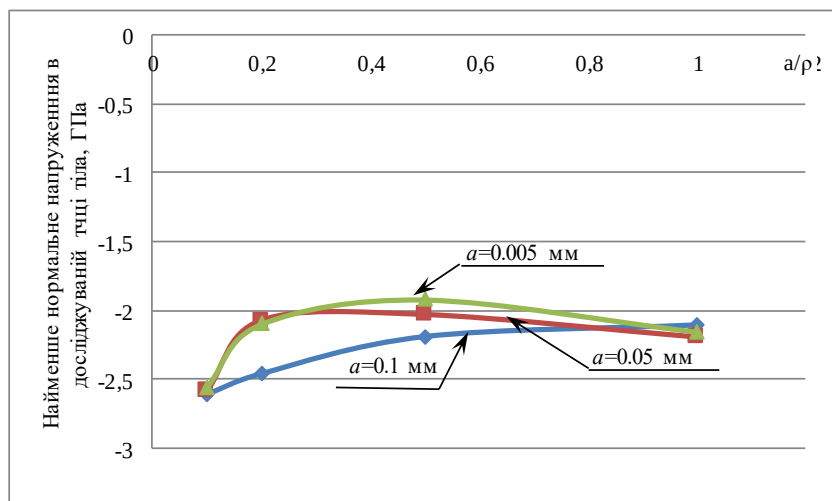


Рис. 4 – Вплив співвідношення a/ρ на величину найбільших нормальних напружень в досліджуваній точці

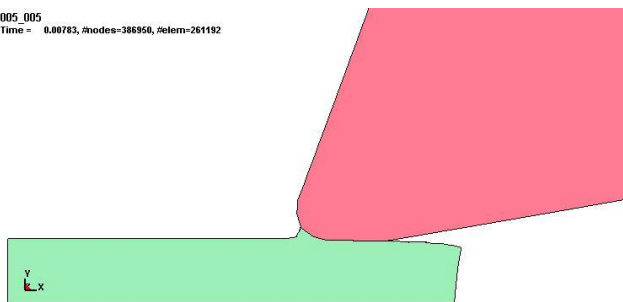


Рис. 5 – Процес різання при a/p менше ніж 0.2

При дослідженні впливу співвідношення a/p на величину найменших нормальних напружень, які в свою чергу впливають на міцність від втоми ріжучої крайки; спостерігаються екстремальні зміни величин напружень в залежності від відношення a/p для всіх значень досліджуваних товщин

зрізу. Найменше значення нормальних напружень при товщині зрізу 0.005 мм спостерігаються при співвідношенні $a/p=0.5$, що свідчить про наявність оптимального значення співвідношення товщини зрізу до радіусу округлення для мікрорізання. Головні напруження, в свою чергу, характеризують міцність від втоми інструментального матеріалу. При дослідженні впливу співвідношення товщини зрізаного шару до радіусу округлення різальної крайки було виявлено, що при значеннях a/p менших за 0.2 відбувається значне зменшення втомної міцності (рис. 4).

Розроблена модель дозволила встановити інтенсивність зношування ріжучого інструменту в процесі різання (рис. 6) за розрахунковими значеннями температури (рис. 3) і властивостями оброблюваного та інструментального матеріалів.

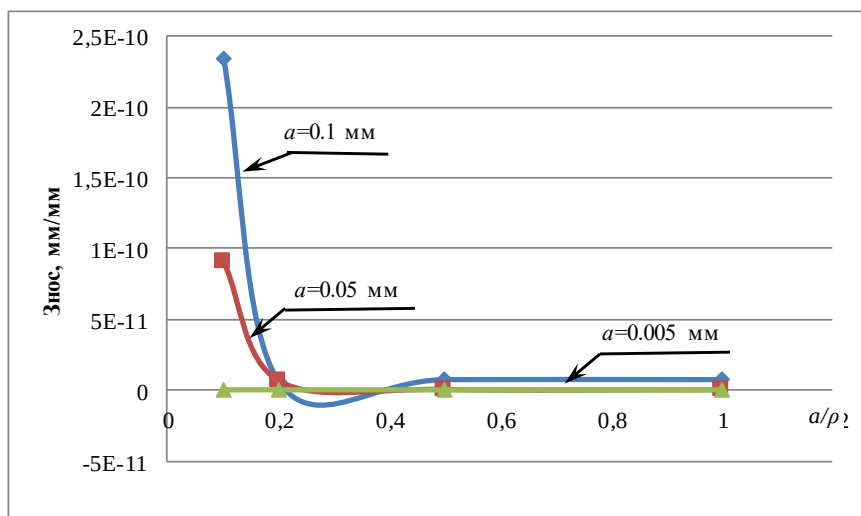


Рис. 6. Вплив співвідношення a/p на інтенсивність зношування

Згідно досліджень Макарова, температура різання і матеріал заготовки впливають на інтенсивність зношення через зміну величини міцності адгезійних зв'язків при зрізі. Інтенсивність зношення оцінювалася залежностями, які представлені в роботах А. Д. Макарова і С. С. Некрасова [8] на основі розрахованих в модельних експериментах контактних температур:

$$J_h = 155^{-50} \cdot \tau_a^3 \cdot \theta^{12}, \quad (1)$$

де J_h - інтенсивність зношення, мкм/м, τ_a - міцність адгезійних зв'язків при зрізі, обумовлена молекулярною взаємодією в зонах фактичного контакту, для пари сталь 45-ВК8 $\tau_a=5$ МПа [11]; θ - температура різання, °C.

Висновки.

Розроблена модель процесу різання округленим лезом пластичного матеріалу дозволила встановити інтенсивність зношування ріжучого леза мікроінструментів в залежності від співвідношення a/p за рахунок прогнозування контактної температури в зоні різання і використання відомої аналітичної залежності для розрахунку інтенсивності зношування ріжучого інструменту при різанні. Отримані результати показують, що при зменшенні співвідношення a/p відбувається більш інтенсивний зношення внаслідок несприятливих умов стружкоутворення, що добре узгоджується з відомими експериментальними даними.

Список літератури:

1. Пинахин А. М. Кинетика изнашивания твердосплавного режущего инструмента/ А. М. Пинахин, А. С. Иванова и др./ Серия "Естественная наука"/Сборник научных трудов. -Haifa: Сев-КавГТУ, 2004. -№ 1.
2. Singh G. R. Modeling and optimization of tool wear in MQL-assisted milling of Inconel 718 superalloy using evolutionary techniques //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – Т. 97. – №. 1-4. – С. 481-494.
3. Верещака А. С. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава//Известия Московского государственного технического университета "МАМИ"/ А. С. Верещака, А. В. Дачева, А. И. Аникеев // М.: МГТУ "МАМИ", 2010. -№ 1. -С. 99- 106.
4. Okopujie I. P. Experimental and mathematical modeling for prediction of tool wear on the machining of aluminium 6061 alloy by high speed steel tools //Open Engineering. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 461-469.

5. Wang P., Gao R. X. Stochastic tool wear prediction for sustainable manufacturing //Procedia Cirp. – 2016. – Т. 48. – С. 236-241.
6. Кондратюк О. Л., Скоркін А. О. Експериментальні дослідження з вивчення усадки стружки й сили тертя на передній поверхні прохідного різця при точінні заготовок зі сталі марки 45. – 2017.
7. Криворучко Д. В. Наукові основи моделювання процесів різання з використанням числових методів: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.03.01/ СумДУ. -Харків, 2010. -40 с.
8. Некрасов С. С. Повышение ресурса твердосплавных концевых фрез при обработке литейных сталей аустенитного класса: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01. -К., 2012. -167 с.
9. Голобородько Л. В. О критерии начала стружкообразования в процессе микрорезания//Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. -Краматорск: ДГМА, 2012. -Вып. 27. -№ 2. -С. 12- 17.
10. Залогов В. А. Методология экспериментального определения деформационной и адгезионной составляющих среднего коэффициента трения при резании/ В. А. Залогов, Д. В. Криворучко, О. А. Залогов, С. С. Некрасов //Нові технології в машинобудуванні: Вісник КНУ ім Михайла Остроградського. -Кременчук: КНУ, 2010. -Вып. 6. -С. 63- 70.
11. Vereshchaka A. A. et al. A study of the cutting properties and wear mechanism of ceramic edge tools with nanostructure multilayer composite coatings //Journal of Friction and Wear. – 2014. – Т. 35. – №. 6. – С. 483-488.

Nekrasov S. S., Sumy State University (Ukraine)

Holoborodko L. V., Sumy State University (Ukraine)

Zhyhylyii D. O., Sumy State University (Ukraine)

Kupriienko B. H., Sumy State University (Ukraine)

Life expectancy estimation of the micro tool cutting edge using fem simulation of the cutting process

The paper considers the issues related to the failure causes of microtool cutting edge using finite element process simulation of micro-cutting, and investigation into various factors influence on cutting edge tool life expectancy. There has been a lack of studies devoted to microstructure failure causes recently. It is due to difficulty in microdrill breakdown cause identification by practical experiments. Because cutting processes occur at small sizes so that it is hard to measure cutting forces, the temperature in the cutting zone, or monitor tool wear level, a slight change in these parameters would lead to sudden tool failure. Therefore, a method for micro-cutting process simulation, which has got boosted recently, is proposed.

A simulation model of the cutting process with a round blade made of plastic material with subsequent establishing wear rate of the microtool cutting blade depending on the ratio of cut thickness to round edge radius (a/p) by predicting the contact temperature in the cutting zone by means of known analytical relationship for wear rate of the tool under cutting is developed. Orthogonal cutting in the 2-D model is considered. Geometrical dimensions are selected in proportion to cut thickness. The tool is also deformable. Forces and boundary conditions are set in displacements.

On the basis of a finite element method developed to the simulation micro-cutting process modeling, it is found that changes in the studied values are extreme, and accordingly some recommended values of the a/p ratio have been found, which provide the longest life expectancy for microtools. The obtained results show that decrease in a/p ratio induces more intensive wear occurs due to unfavorable conditions of chip formation, which is in good agreement with the known experimental data.

Key words: micro-cutting, tool-wear rate, microtool, cut thickness, round edge radius.

Дата надходження до редакції: 09.11.2020