

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК621.9

Я. В. Долиняк

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Долиняк Я. В., 2016

Досліджено процес зношення, оскільки ним супроводжуються всі механічні процеси різання. Процес зношення є складним явищем і потрібно його змоделювати, щоб краще розуміти зношення ріжучих інструментів. У роботі наведено модель, яка вважається найадекватнішою до експериментальних показників, це зношення за Усуї. Ця модель описує швидкість та величину зношування інструментів залежно від параметрів різання.

**Ключові слова:** зношування інструмента, модель Усуї, термін служби інструмента, програмне забезпечення AdvantEdge.

**The paper studied the wear process, as all mechanical cutting process is accompanied by this phenomenon. The process of wear is a complex phenomenon and is of interest to model the process and increase understanding of the wear of cutting tools. This paper presented a model that is considered most appropriate to the experimental parameters, this wear by Usui. This model describes the rate and amount of wear on the tool depending on cutting parameters.**

**Key words:** tool wear, Usui model, tool life, software AdvantEdge.

**Аналіз останніх досліджень.** Прогнозування терміну служби інструментів є важливим завданням для багатьох користувачів ріжучих інструментів, допомагає запобігти непотрібним інвестиціям в інструменти або списанню пошкоджених виробів.

Одне з перших рівнянь для оцінки зношування інструменту запропонував Ф. В. Тейлор на початку 1900-х років [1], в наш час його досить широко використовують. Рівняння показує, що термін служби інструмента залежить від швидкості різання:

$$vT^n = C, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість різання;  $T$  – термін служби інструмента;  $C$ ,  $n$  – константи, знайдені експериментально [4].

Прогнозування терміну служби інструмента за рівнянням Тейлора, поданим вище, не є цілком правильним, оскільки термін служби інструмента залежить не тільки від таких параметрів, як швидкість подання і глибина різання, як запропонував Тейлор. Тому багато дослідників, зосередили свою увагу на оцінці й прогнозуванні зношування інструмента.

Усуї запропонував рівняння для прогнозування зношування інструмента з використанням температурних показників зони різання

$$\frac{dw}{\sigma_t dL} = C_1 \exp\left(-\frac{C_2}{\theta}\right), \quad (2)$$

де  $dw$  – змінна об'єму;  $dL$  – змінна відстані;  $\sigma_t$  – зусилля на площі контакту;  $\theta$  – температура в зоні контакту;  $C_1$  – константа, що залежить від топології поверхні; та  $C_2 = \frac{\Delta E + \lambda A}{\lambda}$ , де

$\Delta E$  – теоретична енергія механізму зношення;  $\lambda$  – стала Больцмана;  $A$  – константа, яка коригує температурну залежність обробленої деталі [1, 3].

Відповідно до рівняння (2), кожен механізм зношення може розглядатися як залежний від енергії активації для конкретної реакції. Якщо існує декілька механізмів зношення, загальне зношення прогнозують, підсумовуючи механізми, представлені в рівнянні (2). Всі вони мають різні константи  $C_1$  і  $C_2$ . Енергію активації можна оцінити зі значень  $C_2$ , які можна розрахувати з ділянок  $\ln(dw / (\sigma_d L))$  порівняно з  $(1/\theta)$ . Для оцінки енергії активації від  $C_2$  система констант  $A$  повинна бути відома.

**Мета дослідження.** Мета роботи – змоделювати процес зношування ріжучого інструмента. Описати, як різні типи зношування інструментів розвиватимуться у часі, а також створити уявлення про те, як різні параметри різання впливають на процес зношування.

**Основний матеріал.** Під час різання на інструмент діють різні механізми, які впливають на процес його зношування [2]. Розглянемо їх.

*Абразивне зношування.* Під час тертя поверхні різання об задні поверхні інструмента й стружки об передню поверхню інструмента тверді мікрокомпоненти матеріалу оброблюваної деталі дряпають матеріал інструмента, постійно зрізаючи його.

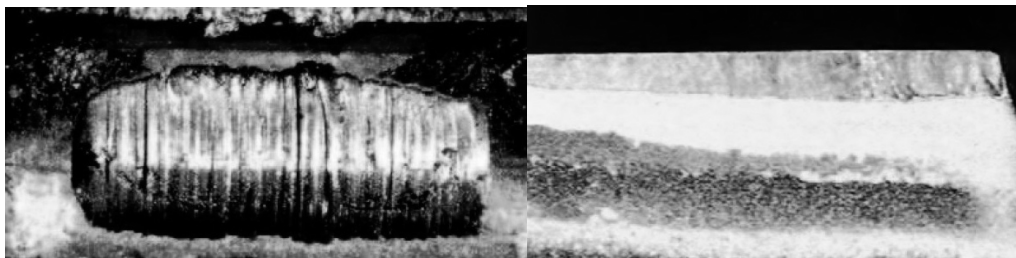
*Адгезійне зношування.* Інтенсивне руйнування поверхні інструмента унаслідок тертя ковзання зумовлене наявністю в оброблюваному матеріалі твердих мікрокомпонентів, які дряпають поверхню інструменту, поступово руйнуючи його.

*Дифузійне зношування.* Якщо температура вища за 800–850 °С, відбувається дифузійне розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному.

*Окисне зношування.* За температур різання 700–800 °С кисень повітря вступає в хімічну реакцію з кобальтовою фазою твердого сплаву й карбідами вольфраму й титану, причому найсильніше окиснюється кобальт.

*Пластична деформація.* Поєднання високих сил різання і високої температури може призвести до пластичної деформації інструмента і в результаті інструмент отримує нову геометрію і втрачає свої початкові характеристики [2].

Важливо знати, як ці механізми будуть впливати на інструмент під час механічного різання. Як правило, під час зношення декілька механізмів одночасно діють на інструмент. При цьому зношення інструмента матиме різний характер і виникатиме на різних місцях інструмента. Деякі з найпоширеніших видів зношення інструмента зображені на рис. 1.



*a*

*б*



*в*

*Рис. 1. Характер зношування:  
а – утворення кратера на передній поверхні;  
б – зношення по задній поверхні;  
в – сколювання вершини інструмента*

*Утворення кратера.* Зношення виникає на передній поверхні та має форму кратера. Передня поверхня зазнає серйозних навантажень і дії значних температурних показників, тому вважається, що цей механізм викликаний насамперед дифузійним зношуванням.

*Зношення по задній поверхні.* На задній поверхні інструмента утворюється фаска, профіль якої копіює форму поверхні різання в момент закінчення різання. Вважають, що багато в чому воно залежить від абразивного зношення.

*Сколювання вершини інструмента.* Одним з видів зношування є викришування і відкол різальної кромки. Такий характер зношення спостерігається на кромці ріжучого леза, у разі значних температурних та силових показників процесу різання

**Моделювання зношування.** Моделювання температури, сили різання і нормальних навантажень здійснено з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) у програмі AdvantEdge. AdvantEdge-програмне забезпечення CAE (Computer-Aided Engineering), яке використовують для оптимізації різання металу. Під час моделювання в AdvantEdge модель описує поведінку матеріалу в процесі різання. Ця програма дає змогу отримати детальну інформацію про температурні показники, теплові потоки, навантаження на ріжуче лезо, термін служби інструмента тощо.

Основна мета під час створення моделей зношування – описати, як різні типи зношування інструмента розвиватимуться у часі, а також сформулювати уявлення про те, як різні параметри різання впливають на процес зношування. Є низка різних моделей; їх можна розділити на дві групи. Одна з них являє собою групу моделей, які прогнозують термін служби інструмента залежно від режимів різання, на основі емпіричних формул. Інша модель розглядає, як розвиватиметься швидкість зношення залежно від умов різання. Робота акцентована на другій групі, щоб спрогнозувати швидкість зношення, оскільки цей вид моделі добре реалізується сучасними FE-Software для імітації зношення інструмента і терміну його служби. Найпоширеніша модель такого роду – модель Усуї [1]. Ця модель повинна описувати адгезійний та дифузійний вид зношування одночасно. Моделі створюються в два етапи, перший крок – отримати функцію зміни обсягу в часі, а другий етап полягає у виведенні геометричних параметрів на екран.

#### *Модель Усуї.*

На рис. 2 наведено задані режими різання під час оброблення конструктивної сталі 40 (подача  $S = 0,15$  мм; глибина різання  $t = 1$  мм; швидкість різання  $V = 300$  мм/хв).

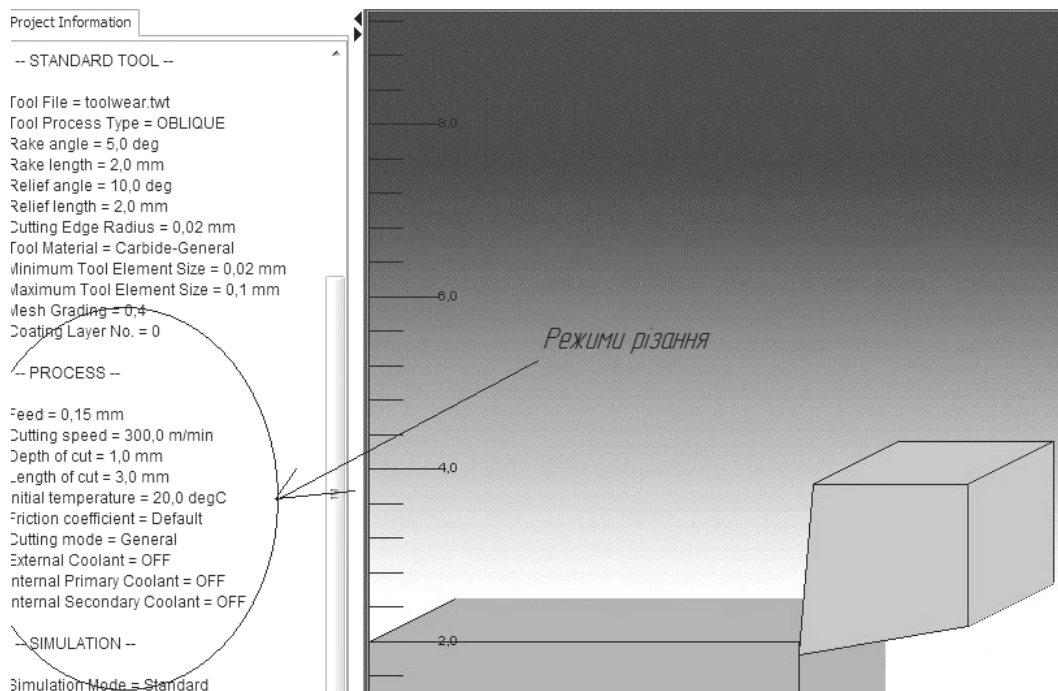


Рис. 2. Задані режими різання під час оброблення сталі 40 (подача  $S = 0,15$  мм; глибина різання  $t = 1$  мм; швидкість різання  $V = 300$  мм/хв)

Цей програмний продукт дає змогу вибрати одну з чотирьох моделей зношування: стандартну модель зношування, створення на замовлення моделі зношування, модель зношування Усуї, а також модель, яку задає користувач (рис. 3).

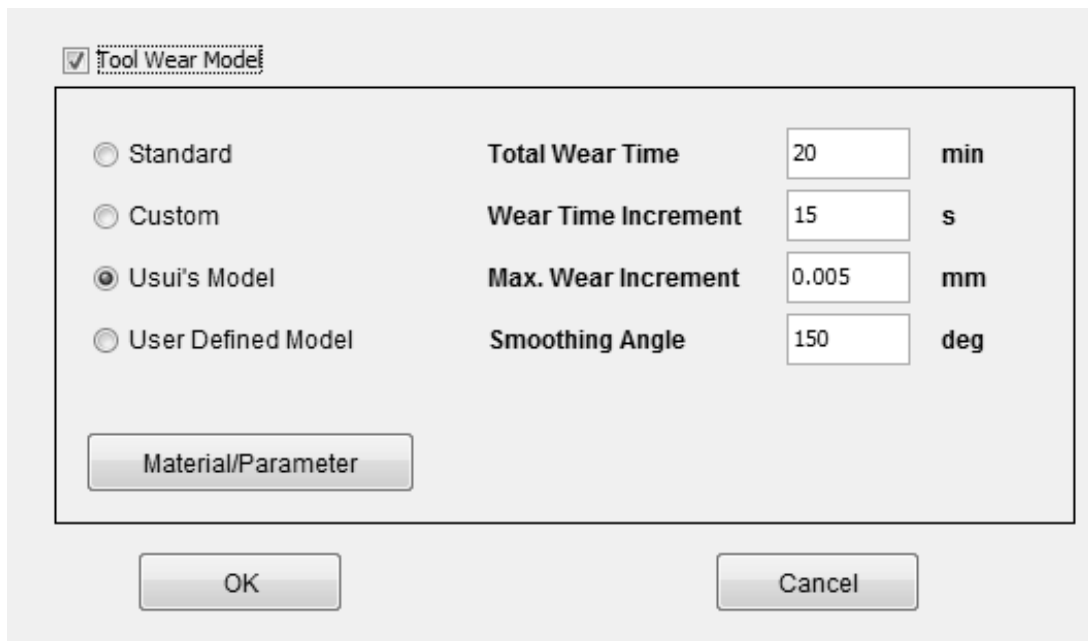


Рис. 3. Моделі зношування

Усі варіанти моделей зношування інструмента дають користувачеві змогу задати такі параметри:

- загальний час зношування інструмента;
- крок за час кожного приросту зношування;
- максимальне значення зношування;
- кут згладжування.

У цій роботі використовується модель Усуї з відповідними параметрами (рис. 3). Результат моделювання зображено на рис. 4.

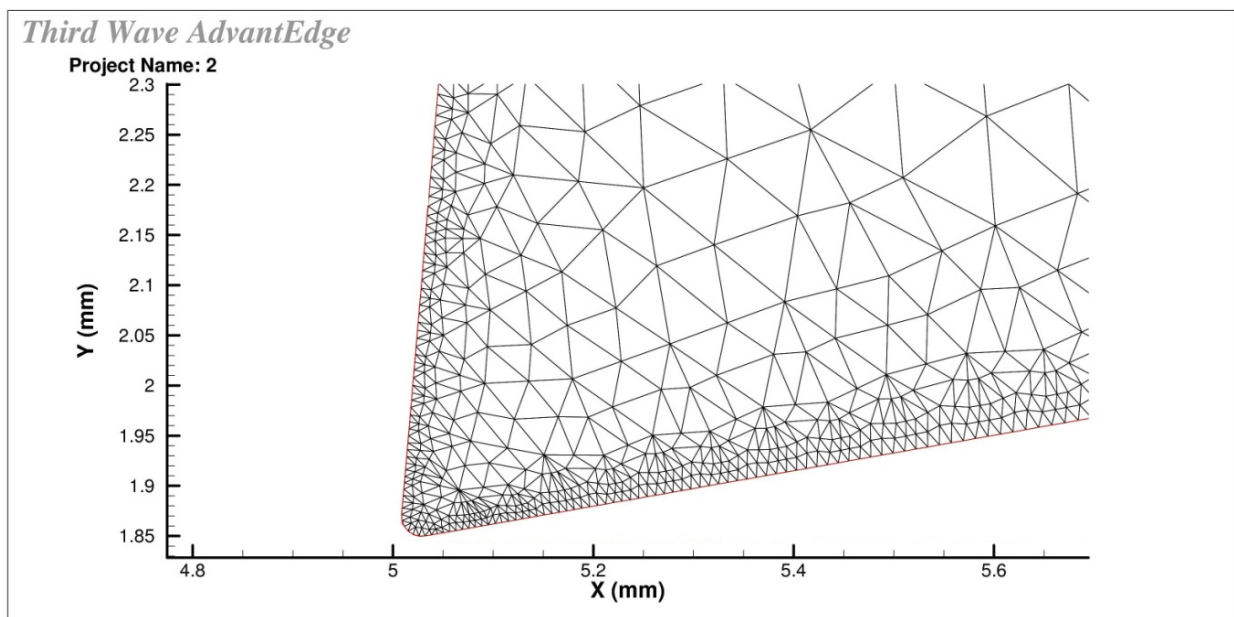


Рис. 4. Початкова геометрія інструмента

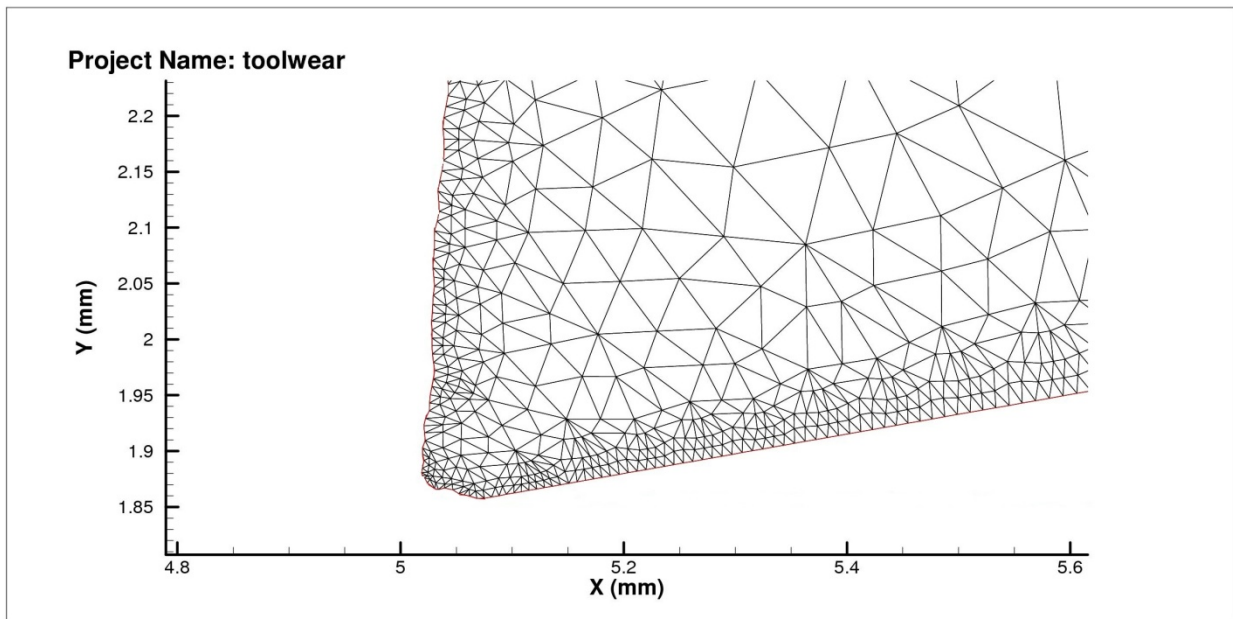


Рис. 5. Отримана геометрія ріжучого клина

**Висновки.** З використанням методу скінченних елементів (МСЕ) у програмі AdvantEdge змодельовано процес зношування ріжучого інструмента (рис. 5). Описано вплив механізмів зношення на характер виникнення зношування, а також описано, як різні типи зношування інструмента розвиватимуться у часі.

1. Usui E., Shirakashi T., Kitagawa T. *Analytical Prediction of Cutting Tool Wear* // *Wear*. Vol. 100, No. 1–3, P. 129–151. Dec. 1984. 2. Wassdahl-Modeling J. of *Wear Mechanisms in Mechanical Cutting*, 2000. 3. Yung-Chang Yen, Söhner Jörg // *Estimation of tool wear in orthogonal cutting using the finite element analysis* // *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 146, P. 82–91. 4. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. *Metal Machining // Theory and Applications*. Arnold: 2000.