

Є.В.Скочко, к.т.н., проф.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ПРИЧИН ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Аналізуються ймовірні небезпечні поєднання дії «первинних» та «похідних» фізичних процесів на хід та обумовленість зношування різальних інструментів на всіх фазах їх зносу. Розглянуті можливі альтернативні підходи до рішення проблеми підвищення стійкості інструментів.

Відомо, що при обробці деталей різанням будь-яким різальним інструментом (PI) кожен з них за період стійкості проходить три фази зносу: початковий приробний знос, нормальний та катастрофічний зноси. Цей зростаючий знос PI можна розглядати як одну з причин і як наслідок дії фізичних процесів, які мають місце при обробці деталей різанням. Кожному з цих періодів роботи відповідає певна переважна поведінка PI зі своїми характерними постійними та змінними складовими деформацій, контактів, тертя, нагрівання, зношування та пов'язаним з процесом зняття шару припуску процесом формоутворення поверхні деталі. Зрозуміло, що вказані процеси кількісно визначаються, крім параметрів PI, також статичними і динамічними характеристиками верстатів, заготовок та пристосувань, технологічними середовищем та умовами, режимами різання.

Обмеження продуктивності обробки деталей, погіршення макро- та мікроформи їх поверхонь, інтенсифікація процесу зношування PI є наслідком протікання при різанні як «первинних» фізичних процесів – тиску і тертя, деформації та нагрівання елементів технологічної оброблювальної системи (ТОС), так і «похідних» процесів – різних видів коливань та фізико-хіміко-механічних процесів зношування контактуючих пар. Особливо небезпечним поєднанням цих процесів характеризується найбільш енергетично навантажена ділянка ТОС – зона різання, в якій має місце напружений нагрітий ковзкий контакт передньої та задньої поверхонь леза PI з новоутвореними поверхнями – поверхнею різання та поверхнею стружки, разом створених з поверхні розділу – межі одиночного зрізаного шару та заготовки.

Для розробки загальної теорії конструювання PI підвищеного опору процесу зношування необхідно вивчати механізми зносу на всіх етапах їх роботи. Але найбільш доцільним є поглиблене вивчення початкового приробного зносу, котрим значною мірою обумовлюється як інтенсивність, так і якість підготовки сталого робочого контакту із заготовкою для підвищення тривалості та одержання малої інтенсивності нормального періоду зносу. Навіть незначне покращення умов роботи PI саме в період початкової фази зносу обіцяє суттєво зменшити інтенсивність зношування та підвищити їх стійкість.

Якщо найкращими статичними різальними властивостями будь-який РІ характеризується у фазі початкового приробного зносу, то найгіршими – у фазі катастрофічного зносу. Але водночас, якраз у фазі початкового зносу РІ виникає його найбільша чутливість у складі будь-якої ТОС до створення та підсилення різного виду коливань. Це є результатом синергетичного пошуку [1] та вибору коливальної поведінки динамічної ТОС на частоті найменшого опору як енергетично більш доцільної. Збіг найкращого різального стану РІ з найбільшою чутливістю до розвитку коливань, що руйнують лезо, є головним найбільш суттєвим протиріччям. В цій першій приробній без різання і з різанням фазі зносу РІ загальна площа і демпфуючі властивості зони контакту дуже незначні. Природно, що результатом стає інтенсифікація процесу зношування, яка призводить до деякої зміни форми леза та його пристосування до конкретної ТОС, а як наслідок, до певної стабілізації динамічних процесів та зниження темпів зношування тобто переходу контакту РІ у фазу нормального зносу.

В ході подачі, при перших контактах РІ із заготовкою, ТОС знаходиться майже в режимі холостого ходу. В цьому випадку потрібно розглядати РІ та заготовку як суцільні масивні тверді тіла з безмежною жорсткістю. Спочатку в контакт вступають найбільші вершини мікровиступів РІ та заготовки, які є наслідком похибок макроформи та мікронерівностей поверхонь, створюючи миттєві дотично рухомі контактні пари. У зв'язку з дуже малою величиною площі контакту такої першої пари (від тисячних до мільйонних часток квадратного міліметра) навіть незначної потужності достатньо для створення великих тисків у контакті. В залежності від величини подачі вже перший контакт може бути пластичним зі стисно-зсувною деформацією одного або обох виступів пари нерівностей РІ та заготовки. Швидкість такого прикладення навантаження при косому ударі сягає 0,2...10 м/с. Разом з подальшим рухом подачі та наростанням сил в наступних контактах, збільшенням кількості контактних пар і загальної площі контакту, ударні хвилі, що виникають при цьому, поширюються з швидкістю звуку в обидва боки, миттєво відштовхуючи РІ від заготовки. Спочатку ці відштовхування відбуваються майже в нормальному до поверхні контакту напрямку, але з часом зростання контактних ударів ці мікрорухи стають просторовими. Тепер вже не можна вважати РІ та заготовку твердими компактними жорсткими тілами, а такими, що піддаються деформуванню. Причому, чим більшою буде дотична складова відносного просторового руху, тим суттєвіше буде збільшуватися середнє значення миттєвого заднього кута леза, а контактне поле з парами контактів з поверхнею заготовки буде зсовуватися в бік різальної кромки і звужуватися по ширині. Разом з миттєвим збільшенням сил в контактах, це явище призводить до значного збільшення тиску та інтенсифікації стисно-зсувного мікроруйнування різальної кромки, зростання локального абразивного зносу.

Наступна фаза рухомого напруженого контакту РІ та заготовки – початок різання. Густина розташування контактних пар на задній поверхні лез РІ збільшується так, що вони з'єднуються між собою, і тоді настають умови створення пружно-пластичної хвилі на поверхні заготовки попередю передньої поверхні леза, котра збільшуючись, перероджується в рухомий валик. Тиском передньої (точніше дугової перехідної) поверхні леза валик зрізається по умовній площині зсуву і створюється черговий. Спочатку цей процес є періодичним навіть при безперервному різанні пластичних матеріалів. У зв'язку зі значним зменшенням крайових ефектів, характерних для

взаємодії елементів поодиноких контактних пар, середнє значення кута зсуву відносно площини різання збільшується. Удари на початку і в кінці контакту на окремих плямах різання заготовки зі змінним припуском та періодичність зрізання окремих елементів стружки призводять до відносних миттєвих просторових зміщень РІ та заготовки та їх деформування. Якщо центри жорсткостей і мас РІ та заготовки не лежать на нормалях до поверхні різання, то виникають зворотні зв'язки зі зміною миттєвого тиску в контактї. У випадку розташування центрів мас та жорсткості позаду від нормалі у напрямку відносного руху, виникають миттєві повороти навколо цих центрів, що призводить до зменшення проєкцій відповідних радіусів на нормаль до поверхні різання, тобто до зменшення середнього миттєвого тиску в контактї. Ця ситуація відповідає виникненню негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) [2]. Дія позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ), коли центри жорсткості та мас знаходяться попереду відносно нормалі до поверхні різання, виникає миттєве збільшення нормальної довжини кінематичного ланцюга, приведеного до точки дотику, що означає миттєве підсилення тиску та збільшення довжини та площі дотику на задній поверхні леза РІ, подовження тривалості такого стану, а також миттєве зменшення швидкості відносного руху. Крім того, при миттєвих поворотах РІ навколо центрів жорсткості та маси, а заготовки навколо миттєвого полюса зачеплення – середини різальної кромки, настає миттєва зміна величин передніх і задніх кутів. Зрозуміло, що миттєвий послаблений зв'язок на заданій поверхні леза, яким характеризується НЗЗ, викликає невеликі мікроруйнування переважно зсувом, а підсилений та подовжений у випадку ПЗЗ – значні мікроруйнування стиском–зсувом, а також підсилення абразивного зносу леза РІ. Кількісно ефективність прояву ПЗЗ або НЗЗ можна характеризувати коефіцієнтами зв'язку, коефіцієнтами підсилення та загасання (демпфування) амплітуди коливань, що виникають, періодичністю та повторюваністю (тобто тривалістю). Коефіцієнти ПЗЗ та НЗЗ можна визначити як відповідні відношення миттєвих нормальної складової деформації до дотичної в миттєвих поворотах навколо центрів жорсткості та маси на шляху постійних коливальних перетворень кінетичної енергії в потенціальну і навпаки.

У зв'язку з тим, що процеси стружкоутворення характеризуються запізненням, тобто зсувом у часі – так званою постійною стружкоутворення [3], то контакт по другій вітці потоку енергії [2] (ковзання задньої поверхні леза по поверхні різання) носить більш безпосередній та менш тривалий характер (на один–два порядки, пропорційно відношенню довжини контакту стружки з передньою поверхнею леза до товщини локально стискуваних шарів на задній поверхні та поверхні різання). Разом з проявом ПЗЗ, вказане явище служить достатньою умовою виникнення автоколивань.

Але разом з раніше відміченою періодичністю та переривчатістю процесу початкового різання на поверхні різання поступово створюються хвилеподібні коливальні сліди, котрі, з одного боку, призводять до зміни товщини наступного зрізу, а з іншого боку, – до відтворення подібного, дещо підсиленого коливного сліду на наступному зрізі, що викликає реалізацію автоматичного керування процесами деформування (миттєвим поворотом РІ навколо центрів жорсткості та маси і миттєвими відштовхуванням і поворотом навколо полюса зачеплення заготовки – середини кромки) за рахунок змінного контакту задньої поверхні леза РІ з коливним слідом поверхні різання заготовки. Це дозволяє дійти висновку, що початкові автоколивання швидко перероджуються

в параметричні коливання, оскільки автоколивання не можуть підтримуватись за рахунок джерела коливної природи [4], а параметричні коливання підтримуються за рахунок зміни реактивних параметрів системи [4] – керованих деформувань РІ та заготовки. Частота створюваних хвилеподібних коливань на поверхні різання завдяки дії механізму синхронізації поступово підвищується, починаючи від частоти вимушених коливань (ударів від зрізання змінного припуску заготовки чи биття лез багатозубих РІ) до частоти власних коливань одного з більш енергонакопичувальних елементів – РІ чи заготовки.

В результаті дії ПЗЗ (підвищення тиску та зменшення миттєвої швидкості відносного руху) разом з динамічною взаємодією перехідної дугової та задньої поверхонь леза з хвилеподібною поверхнею різання, крім мікроруйнування стиском–зсувом та абразивним зносом леза РІ, має місце явище адгезійного зчіплювання окремих контактуючих ділянок [5]. Це явище – бездифузійний контактний процес, який виникає внаслідок сумісного напруженого пластичного деформування хімічно чистих поверхонь, періодичного з’єднання та руйнування частин контактних поверхонь РІ, тобто активного адгезійного його зносу [5].

Кінець фази початкового природного зносу характеризується деяким заокругленням перехідної поверхні леза (від початкової величини загостреного радіуса заокруглення $\rho = 6...15$ мкм до зношеного $\rho = 10...30$ мкм) та створення фаски зносу на задній поверхні з нульовим чи негативним заднім кутом [6]. В результаті при різанні виникає деяка стабілізація коливного руху – обмеження амплітуди коливань, при якій при обробці в’язких матеріалів створюється зливна стружка і починається фаза нормального зносу. Ця фаза характеризується також підвищенням температури в зоні різання та створенням деякого теплового балансу, розподілом потоків тепла між РІ, стружкою та прилягаючим шаром заготовки.

Разом з підвищенням температури в зоні різання, посилюється окислювальний знос поверхонь леза РІ. Найбільше від нього страждає ділянка головної різальної кромки, де має місце колювання величини припуску, а також ділянка біля вершини леза, з боку допоміжної різальної кромки. Окислювальний (корозійний) знос обумовлюється активним створенням на нагрітих ювенільних поверхнях його лез тонких пухких окисних німецьких плівок від кисню повітря та періодичного їх руйнування [7], [5]. Відомо [7], що найбільша швидкість окислювання спостерігається на початку окислювання ювенільних поверхонь. Доступ кисню у вказані зони леза відбувається при віддаленнях РІ в коливальному його русі – вимушених коливаннях припуску та параметричних коливаннях. Багатократне повторення процесів виникнення мізерних шарів окислів і руйнування їх призводять до створення значних язичків зносу задньої поверхні леза РІ, які в декілька разів перевищують знос головної різальної кромки.

У фазі нормального зносу продовжується, хоч і послаблена, негативна дія ПЗЗ, котра з часом, зростанням тертя та температури підключає до названих ще один вид зносу – дифузійний знос – дифузійне розчинення часток інструментального матеріалу в оброблюваному [5]. У зв’язку з найбільшим нагріванням вершин лез, саме на них внаслідок дифузійного зносу створюється найбільша фаска зносу на задній поверхні леза.

На катастрофічній фазі зносу значно збільшуються радіус заокруглення різальної кромки, фаски зносу на передній та задній поверхнях, ширина контакту стружки з передньою поверхнею,

що викликає різке підвищення температури, зниження міцності леза і, як результат, його макро-руйнування.

Вивчаючи характер та протікання зносу фрез, Іллін Г.П. [8] за допомогою синхронізованої кінокамери (48 кадрів/хв) встановив не плинну (монотонну) в часі, а каскадну (ступінчасту) картину ходу зносу на задній поверхні лез з частотою, близькою до сотих частин герца. Ця частота ймовірно наближається до найнижчої частоти вимушених коливань (коливань припуску та опори PI) або самої низької частоти власних коливань масивних елементів верстата (наприклад, різцетримача).

Переривчасті процеси різання характеризуються багатократним повторюванням описаних механізмів від створення початкового контакту до виходу із зони різання, що разом з різною участю в різанні зубців внаслідок існуючого биття призводить до інтенсифікації зносу і значного зниження стійкості багатозубих PI, віднесеної до одиниці довжини різальних кромки.

Основними підходами до вирішення проблеми суттєвого підвищення стійкості PI можуть вважатись:

- стабілізаційний – для різального контуру ТОС;
- підвищення міцності та збільшення тепловідводу – для вершинної ділянки кромки;
- зменшення сил різання – для головної різальної кромки;
- ступінчасті або прогресивні схеми різання – для зменшення негативного впливу биття багатозубих PI;
- використання інструментальних матеріалів малої хімічної спорідненості з оброблюваним матеріалом, значного окисного опору та малої адгезуючої здатності;
- розробка самозагострюваних конструкцій лез PI тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Хакен Г.* Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.
2. *Скочко Є.В.* Причини виникнення та розвитку коливань при обробці деталей різанням // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 8. – С. 31–34.
3. *Кудинов В.А.* Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
4. *Вибрации в технике: Справочник.* В 6-ти томах. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
5. *Скочко Є.В.* Різальні інструменти. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 208 с.
6. *Зорев Н.Н.* Вопросы механики процесса резания. – М.: Машгиз, 1956. – 367 с.
7. *Сухотин А.М., Зотиков В.С.* Химическое сопротивление материалов: Справочник. – Л.: Химия, 1975. – 408 с.
8. *Ильин Г.П.* Обработка аустенитных сталей твердосплавными инструментами: Дисс... канд. техн. наук. – Хмельницький ф-л Українського поліграфічного інститута, 1967. – 208 с.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- різальні інструменти та верстати;
- теорія різання.

Подано 09.11.1999.