

УДК 004.942:621.9(075.8)

В.В. СТУПНИЦЬКИЙ

Національний університет “Львівська політехніка”

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ DEFORM 2D

© Ступницький В.В., 2012

Наведено реологічну модель різання в системі DEFORM 2D. Проаналізований напружено-деформований стан у зоні стружкоутворення. Встановлені силові та деформаційні поля у зоні пластичних деформацій заготовки.

In the article a reological model over of cutting in the system DEFORM 2D is described. The analysed tensely-deformed state in the zone of shaving's formation. The power and deformation fields are set in the zone of flowages of purveyance.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Основна ідея механіки руйнування, яка теоретично описує процеси різання металів, полягає у такому. Перехід частини деформованого тіла – заготовки – із суцільного стану у частково зруйнований супроводжується деяким проміжним станом цього тіла, яке обов'язково необхідно враховувати під час виконання завдання моделювання процесу формоутворення стружки. Найважливішою особливістю областей деформованого твердого тіла, де виникає такий проміжний стан, є те, що у цих областях матеріал заготовки завжди деформований за межею пружності і що саме тут здійснюються найінтенсивніші процеси пластичного деформування, вібраційні процеси, явища взаємодії з навколишнім середовищем, мастильно-охолоджувальними рідинами, термодифузійні процеси та інші явища, що забезпечують у кінцевому рахунку локальне руйнування матеріалу. З іншого боку, саме ці параметри істотно впливають на показники мікро- та макрогеометрії поверхні після оброблення, наявність на поверхні матеріалу залишкових деформацій та дефектного шару тощо. Тобто вплив технологічних показників – подачі, швидкості, глибини різання є крайовими умовами задачі дослідження напружено-деформованого та термодинамічного стану заготовки під час різання, що матиме визначальне значення в інженерії поверхні деталі. Одним з перспективних напрямів розвитку науки про різання металів є використання досягнень теорії пластичності [1, 3]. Підставою для застосування теорії пластичності є те, що перетворення зрізаного шару на стружку відбувається у пластичній зоні. Причому це є зона складної форми з високоградієнтним нерівномірним розподілом напруження, деформацій, швидкостей деформацій і температури. Багато дослідників намагалися застосовувати методи теорії пластичності для аналізу процесу різання. Найбільша кількість досліджень виконана з використанням методу ліній ковзання, у межах якого може бути використана тільки ідеальна жорстко-пластична модель оброблюваного матеріалу [2]. Аналогічний недолік має енергетичний метод, який застосований в [1]. Методи аналізу пластичної течії у зоні стружкоутворення, які застосовані в [1, 2], належать до наближених інженерних методів і не дають можливості відповісти на багато важливих для теорії і практики питань і дати кількісну і достовірну оцінку таких параметрів, як вплив геометричних параметрів інструмента на силу різання, величину усадження стружки, інтенсивність залишкових деформацій обробленої поверхні тощо.

Відповіді на ці питання можуть бути знайдені тільки на основі аналізу локальних характеристик напружено-деформованого стану у найхарактерніших точках області стружкоутворення, отриманих використанням для розрахунків моделей реологій оброблюваних матеріалів, що адекватно описують їхні реальні властивості. До локальних характеристик належать дані про напруження, деформації, швидкості деформацій і температуру. Одним з найважливіших інструментів для дослідження локальних характеристик напружено-деформованого стану (НДС) в пластичній області є

метод кінцевих елементів, який реалізований у відомих програмних продуктах світового рівня DEFORM, ABAQUS, LS DYNA, Advantage. Ці програмні продукти дають змогу з високою точністю зробити розрахунок сил різання, усадження стружки, конфігурації і площі контактної поверхні з інструментом і меж пластичної зони, розподіл тисків на поверхні інструмента, полів напружень та деформацій, швидкостей деформацій і температур у зоні стружкоутворення і в інструменті [3].

Виклад основного матеріалу. У роботі проаналізовані результати імітаційного моделювання реологічної картини різання ізоморфного пластичного матеріалу, отриманої моделюванням процесу в DEFORM 2D.

Розрахункову схему моделі прямокутного вільного різання показано на рис. 1. Розрахункова схема (рис. 1) являє собою твердосплавне лезо з переднім кутом $\gamma=5^\circ$ і заднім кутом $\alpha=15^\circ$, яке переміщаючись з постійною швидкістю різання V , зрізає з заготовки шар постійної товщини a . У цьому випадку вжито допущення: технологічна система прийнята абсолютно жорсткою, лезо – абсолютно жорстким, ідеальної форми, без покриття, заготовка представлена прямокутним паралелепіпедом з пружно-пластичного матеріалу з товщиною під поверхнею різання, що дорівнює одній товщині зрізу. Граничні умови під час визначення напружено-деформованого стану реалізовані жорстким закріпленням інструмента і обмеженням переміщення заготовки у напрямку осі y . Переміщення надавалось заготовці у напрямку осі Ox з прийнятою швидкістю різання.



Рис. 1. Розрахункова схема моделі прямокутного вільного різання

Для базового режиму різання розглянуто вплив швидкості, глибини різання, матеріалу заготовки, коефіцієнта тертя на напружено-деформований і термічний стан деталі та інструмента.

У цій роботі описані результати моделювання процесу точіння за швидкості різання $V=100$ м/хв. Матеріал заготовки – сталь 45. Матеріал інструмента – карбід вольфраму ВК6.

Процес стружкоутворення ґрунтується на методі «ерозії елементів», який полягає в еволюції тріщини, залежної від стану напруження та деформацій у тілі заготовки. Застосування такого закону включає два критерії. Перший критерій характеризує необхідну міру руйнування матеріалу, а другий – відповідає за еволюцію тріщини, її поширення і рух дислокацій.

Адаптований критерій руйнування взаємопов'язаний із законом Джонсона–Кука. Руйнування почнеться для кожного елемента, починаючи з моменту, коли

$$\omega = \sum \frac{\Delta \bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_f}, \quad (1)$$

де $\Delta \bar{\epsilon}$ – інкремент результуючої пластичної деформації; $\bar{\epsilon}_f$ – результуюча деформація руйнування матеріалу.

Причому руйнування в матеріалі починається за $\omega=1$

Модель руйнування Джонсона–Кука враховує термомеханічні процеси за великих деформацій. Значення результуючої пластичної деформації руйнування подано у вигляді [3]:

$$\overline{\varepsilon}_f = [D_1 + D_2 \cdot \exp(D_3 \cdot \sigma^o)] \cdot [1 + D_4 \cdot \ln \overline{\varepsilon}^o] \cdot [1 + D_5 \cdot T^o], \quad (2)$$

де $\sigma^o = \sigma_m / \sigma$ – відношення середнього напруження (σ_m) результуючого еквівалентного напруження (за Мізесом) ($\overline{\sigma}$); $\overline{\varepsilon}^o = \dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}_o$ – безрозмірний коефіцієнт залежності пластичної деформації з розрахунковою швидкістю деформації $\dot{\varepsilon}$ до нормалізованої межі чутливості щодо швидкості деформації $\dot{\varepsilon}_o$; $T^o = (T - T_o) / (T_f - T_o)$ – температурний коефіцієнт еквівалентності, що визначає відношення різниці поточної і початкової температури до різниці температури плавлення T_f до початкової температури T_o заготовки у зоні різання; D_1 – початкове значення деформації руйнування; D_2 – нормативний експотенційний чинник; D_3 – чинник тривісності; D_4 – чинник швидкості деформації; D_5 – нормативний тепловий чинник.

Результати фізичного [2] і віртуального моделювання кінематики різання у зоні усталеного стружкоутворення, подані на рис. 2.

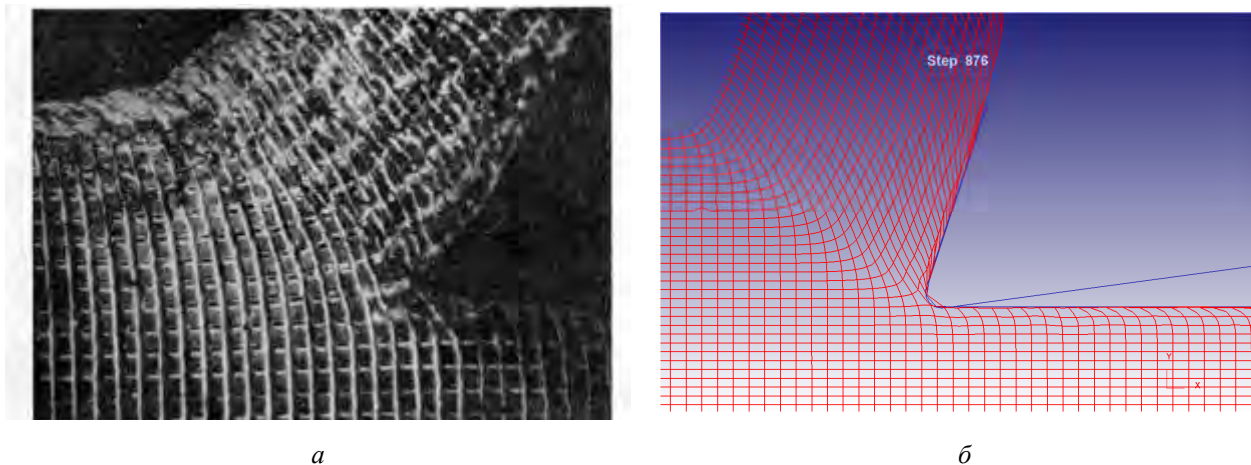


Рис. 2. Деформована сітка під час точіння: а – фізичний експеримент; б – моделювання (віртуальний експеримент)

Поздовжні лінії координатної сітки є у цьому випадку траєкторіями переміщення часток металу. Проведені зіставлення траєкторій переміщення вузлових точок експериментальними і розрахунковими (отримані в результаті віртуального експерименту) координатними сітками. Вимір координат вузлових точок робився за методикою, викладеною у [2]. Початок координат був вибраний на перетині ліній, що визначали передню і задню поверхні різця. Середньостатистичне відхилення координат вузлових точок, отриманих експериментально і розрахунковим шляхом, становило 6–8 %, що підтверджує задовільний збіг експериментальних і розрахункових результатів [2]

Під час проведення віртуального експерименту у програмному комплексі DEFORM розрахунок робився зі встановленою за умовчанням для усіх процесів плоскої деформації одиничною товщиною заготовки. Залежність сили різання від часу перебігу процесу, отримана в DEFORM, показана на рис. 3.

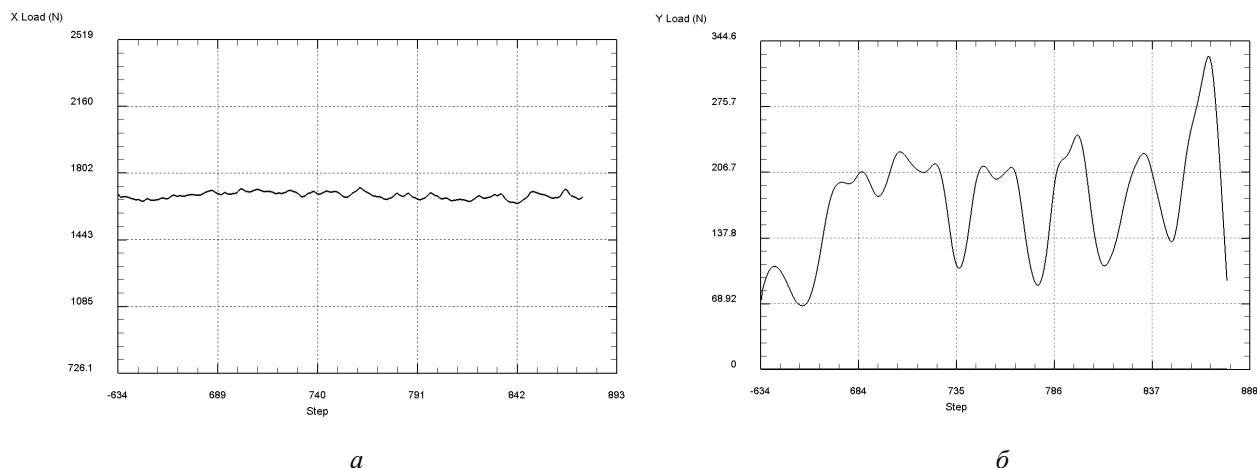


Рис. 3. Залежність сили різання по осях координат: а – вісь X ; б – вісь Y , від часу (крок розрахунку $\times 0,01$ с)

Імітаційне моделювання реологічного стану заготовки у процесі різання дає змогу встановити багато важливих технологічних параметрів, які іншим шляхом встановити важко або неможливо. Зокрема, безпосереднім виміром моделі може бути встановлена товщина стружки у пластичній зоні. Наприклад, безпосереднім виміром отримана довжина лінії зрізу $L=1,83$ мм на рис. 3.

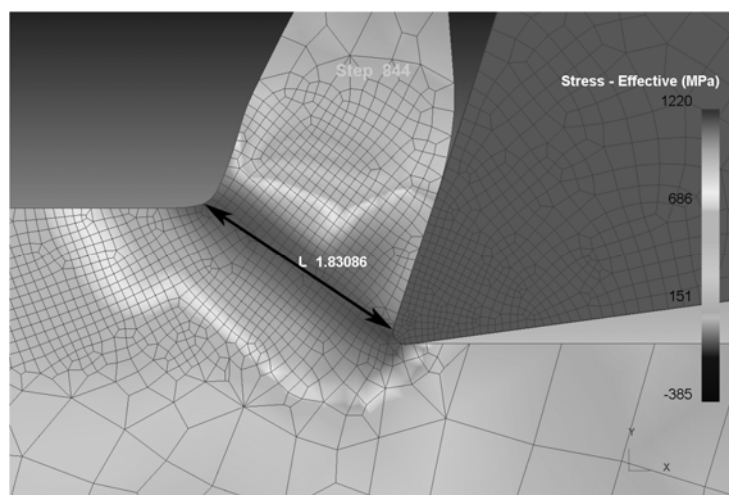


Рис. 4. Розподіл еквівалентного напруження у пластичній області різання

Висновки. Отже, результати реологічного моделювання процесу різання довели адекватність відтворення основних механічних і теплофізичних явищ, що відбуваються у зоні стружкоутворення. Аналіз отриманих даних дає змогу розвинути теоретичні положення теорії різання, розширити інформаційну базу напружено-деформованого стану заготовки та інструмента, застосувати результати досліджень в оптимізаційних моделях програмування верстатів з ЧПК.

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / под ред. П.Р. Родина; АН УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с. 2. Аверьянова И.О. Исследование пластического течения при резании: – <http://sibac.info/index.php/>. – 8 с. 3. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. – М.: Физматлит, 2006. – 328 с.