

С.М. Резніченко, аспір.
Сумський державний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT-22

(Представлено проф., д.т.н. Криворучком Д.В.)

*У цій роботі викладено докази можливості прогнозування сил різання при прямокутному різанні розробленої за допомогою методу кінцевих елементів при обробці титанового сплаву VT-22, з таким порівнянням результатів розрахунку з експериментальними даними при точінні титанового сплаву в діапазонах швидкостей $V = 6,0 - 27,0$ м/хв.,
 $S = 0,1 - 0,3$ мм/об.*

Вступ. Титан і титанові сплави завдяки своїм унікальним фізичним, хімічним, механічним властивостям знаходять широке застосування у багатьох областях машинобудування, медицині, аерокосмічній промисловості. Разом з високими механічними властивостями, титанові сплави мають низьку оброблюваність. Низька оброблюваність обумовлена високою міцністю, низькою теплопровідністю, високою хімічною активністю і іншими чинниками. Тому важливо, при чистовій токарній обробці титанових сплавів отримати задану точність і шорсткість поверхонь. А значить, створення адекватної моделі обробки титанового сплаву, з наступним прогнозуванням сил різання діючих на різальний інструмент, є актуальним завданням, оскільки нею можна замінити дороге і трудомістке експериментальне дослідження, що значно прискорить і полегшить підбір найкращих режимів різання при обробці титану.

Метою цього дослідження є доказ можливості прогнозування сил різання при прямокутному різанні розробленої за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ).

Останні моделі МКЕ титанового сплаву. Кандидатом технічних наук, доцентом технічної школи Університету штат Нью-Джерсі Tügrül Özel (у 2010 році) було створено декілька моделей МКЕ обробки титанового сплаву Ti-6Al-4V для вивчення сегментів різних видів стружки, при швидкостях різання $V = 120; 240$ м/хв. і глибинах різання $t = 0,0254; 0,0762; 0,1016; 0,127$ мм. До основи процесу моделювання належить рівняння Джонсона-Кука зі знаходженням констант цього рівняння. Дані отримані шляхом моделювання (розміри

сегментів стружки) знайшли своє підтвердження при вимірі їх дійсних розмірів на електронному мікроскопі, що довело справедливість моделі МКЕ [8].

Особливості деформації шару титанових сплавів, що зрізується. Фізичне уявлення про природу особливостей деформації ґрунтується на комплексному розгляді кристалічної, і металографічної структур, теплофізичних і хімічних властивостей титанових сплавів і полягає в наступному.

Теплофізичні властивості титанових сплавів обумовлюють виникнення високої температури в місці контакту шару, що зрізується, з передньою поверхнею різального інструменту. При підвищенні значень параметрів (V , S , h) режиму різання температура досягає такого рівня, при якому в шарі, що зрізується, одночасно може виникати комплекс фізико-хімічних процесів. Через високу активність титану до атмосферних, газам вже при температурі 600–700 °С шар, що зрізується, інтенсивно поглинає кисень, а при вищій температурі ~800 °С і більше – і азот. В результаті в цьому шарі виникають фазово-структурні зміни, що полягають в утворенні α -структури, оскільки вказані гази є стабілізаторами – фази, і в той же час втрачається пластичність, відбувається окрихчування шару, що зрізується [2, 3, 4].

Висока температура в зоні різання і явище поглинання газів повітря, чинять додатковий вплив на деформацію шару, що зрізується, і ($\alpha + \beta$)-сплавів, внаслідок чого коефіцієнт усадки стружки може набуває значень < 1 .

Ця особливість деформації шару ($\alpha + \beta$) сплавів титану, що зрізується, очевидно, пов'язана з втратою шаром пластичності і здатності до стискування, що призводить до переважання в шарі деформації зрушення [6, 7].

Викладення основного матеріалу. Досліджувані матеріали та їх властивості. Перевірка адекватності моделі прямокутного різання титанових сплавів виконувалася на прикладі сплаву ВТ-22. Інструментальний матеріал – ВК8.

Початковими даними про властивості інструментального матеріалу є такі механічні та фізичні властивості ВК8: ($\rho = 14400$ кг/м³; $E = 620,0$ ГПа; $\mu = 0,3$; $C = 153,0$ Дж/кг·°С, $\lambda = 54,4$ Вт/м·°С).

Початковими даними про властивості оброблюваного матеріалу є такі механічні та фізичні властивості титанового сплаву ВТ-22: ($\rho = 4600$ кг/м³; $E = 115,0$ ГПа; $\mu = 0,3$; $\lambda = 11,7$ Вт/м·°С; $C_p = 586,0$ Дж/кг·°С, $T_k = 1650$ °С,

HRC 42-44 після загартування і старіння). Частина даних для оброблюваного і оброблювального матеріалів узятя з марочника сталей і сплавів (щільність ρ , теплоємність C_p , термічна провідність λ , температура кипіння T_k) [5], інші дані отримані експериментальним шляхом із комплексу випробувань, що включають квазістатичні випробування на модернізованій розривній машині УМЕ-10М.

Методика досліджень. Для отримання математичної моделі обробки титанових сплавів для її реалізації потрібні кількісні дані про фізико-термомеханічних властивості матеріалів об'єктів системи, а також про трибологічні властивості пари "оброблювано-інструментальний" матеріал. Встановлено, що цей комплекс властивостей включає визначальне рівняння:

$$\sigma_s = (A + B\varepsilon_p^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon})(1 - T^{*m}), \quad (1)$$

де константи матеріалу $A = 1290,0$ МПа; $B = 367,0$ МПа; $n = 0,293$; $C = 0,4633$; $m = 0,93$ і рівняння пластичності оброблюваного матеріалу:

$$\bar{\varepsilon}_f^p = (D_1 + D_2 \exp(D_3 \sigma^*)) (1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}) (1 + D_5 T^*), \quad (2)$$

де константи матеріалу $D_1 = 0,000$; $D_2 = 0,110$; $D_3 = -0,530$; $D_4 = 0,134$; $D_5 = 22,900$; рівняння залежності від температури щільності, теплоємності і теплопровідності оброблюваного й інструментального матеріалів, рівняння, які зв'язують температуру, нормальну напругу на контактній поверхні з дотичною напругою на цій же поверхні. Константи визначального рівняння визначалися апроксимацією діаграми « $\sigma_u - \varepsilon_u^p$ ». Відповідно до цього способу визначення коефіцієнтів рівняння здійснюється методом найменших квадратів шляхом мінімізації функціонала:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (\sigma_{s_i}(\varepsilon_{ui}^p, A, B, n) - \sigma_{ui})^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

за допомогою програмного забезпечення MATLAB. По запропонованій структурі [1], з експерименту були виділені сили, діючі на передній поверхні (графічним методом), і подальше моделювання процесу різання титанового сплаву BT-22 вироблено в підпрограмі Ocfem LS - DYNA.

На базі токарно-гвинторізного верстата 16K20T1 з системою ЧПУ НЦ-31-05(і динамометром УДМ 1200) при незмінній глибині різання $t = 1,0$ мм і варіюванні: швидкості різання V від 6 м/хв. до 27 м/хв. і подачі S від 0,1 мм/об. до 0,3 мм/об., вимірювалися проекції сили різання P_z , P_y , P_x , K_y , а точність оцінена середньоквадратичними відхиленнями і довірчими інтервалами величин P_z , P_y , P_x , K_y .

Для проведення експериментів використовувалися: титановий сплав BT-22 по ГОСТ 19807-91, у вигляді прутка діаметром 45 мм. Обробка здійснювалася в загартованому стані. Фактичний діаметр заготовки після обдирання – 40–43 мм; прохідний різець ГОСТ 18881-73 ((= 80, (= 70, $\lambda = 120$) зі змінною пластиною з твердого сплаву ВК8 ромбічної форми 80° ГОСТ 19065-80.

Результати та їх обговорення. В результаті порівняння отриманих даних експериментальним і математичним методами виявлені такі особливості.

Сила P_z при подачі $S = 0,1$ мм була отримана в середньому на 14 % більше при моделюванні, ніж експериментальним шляхом, але значення не виходять за довірчий інтервал експериментальних даних. При подачі $S = 0,2$ і $S = 0,3$ – сили, отримані при моделюванні на 28–35 % більше експериментальних і в довірчий інтервал не входять, що можна пояснити можливістю наростоутворення, що веде до зменшення сили різання і вимагає коригування моделі (рис. 1).

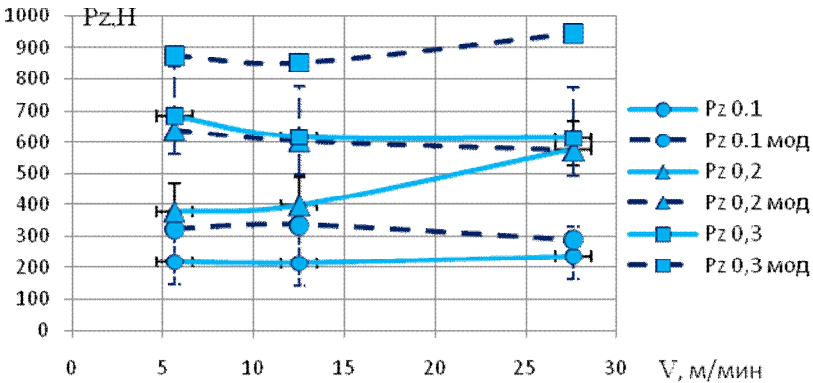


Рис. 1. Графіки залежності сили P_z

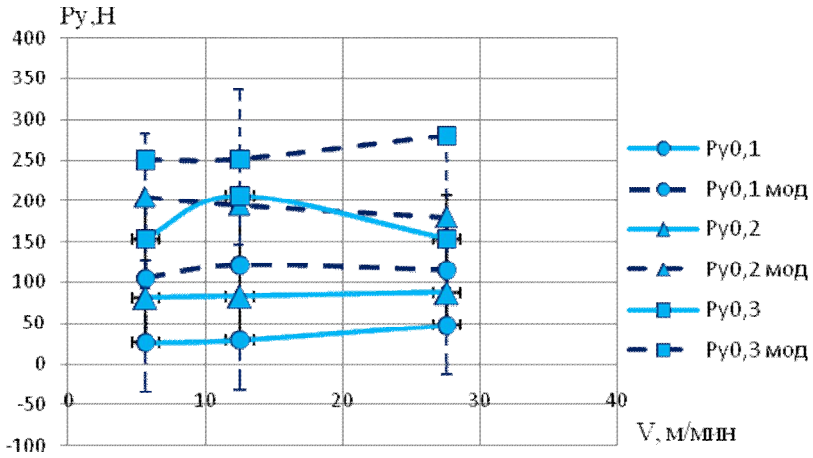


Рис. 2. Графіки залежності сили P_y

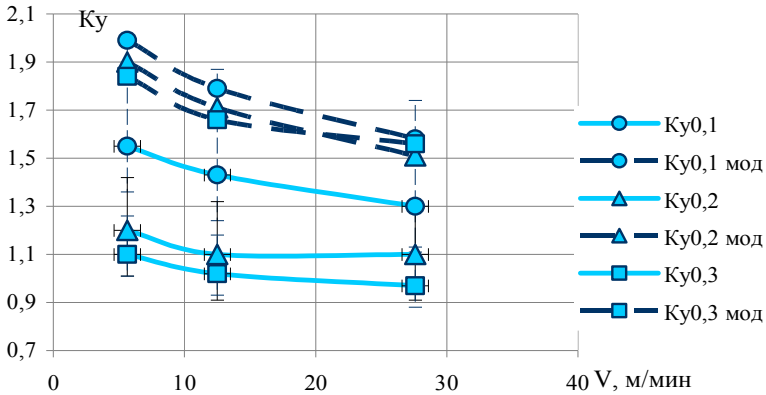


Рис. 3. Графіки залежності K_u

Значення сили P_y в створеній моделі вийшли дещо вищий на 15–18 %, ніж експериментально, але що не виходять за межі довірчого інтервалу, оскільки дані мають велику погрішність виміру 20–23 % (рис. 2). Значення коефіцієнта усадки K_u , як і значення сили P_y вийшли вище 16–21 % експериментальних, але таких, що не виходять за межі довірчого інтервалу (рис. 3), але спостерігається явне

зниження коефіцієнта усадки зі збільшенням швидкості V , як при моделюванні процесу, так і при експерименті.

Висновки. Математична модель довела свою придатність в прогнозуванні сил різання і коефіцієнта усадки, але вимагає більше уточнених параметрів матеріалу, що вводяться, які не визначаються експериментально, а узяті з довідників, а саме дійсна щільність досліджуваного матеріалу величини переднього і заднього кутів. Або навіть доцільне введення допоміжного коефіцієнта, який коригує погрішність початкових даних, що вводяться, при точінні титанового сплаву ВТ-22.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Криворучко Д.В.* Научные основы моделирования процессов резания с использованием численных методов : дис. ... докт. техніч. наук / *Д.В. Криворучко*. – Харьков, 2010.
2. *Ильин А.А.* Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах / *А.А. Ильин*. – М. : Наука, 1994. – 304 с.
3. *Цвиккер У.* Титан и его сплавы / *У. Цвиккер*. – М. : Металлургия, 1979. – 512 с.
4. *Жучков Н.С.* Повышение эффективности обработки резанием заготовок из титановых сплавов / *Н.С. Жучков, П.Д. Беспяхатный, А.Д. Чубаров и др.* – М. : Машиностроение, 1989. – 152 с.
5. Титановые сплавы. Механические свойства и химический состав титанового сплава ВТ22 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://metalpro.ru/service/properties.html?idmat=421>
6. *Подураев В.Н.* Резание труднообрабатываемых материалов : учеб. пособ. / *В.Н. Подураев*. – М. : Высш. школа, 1974.
7. *Кривоухов В.А.* Обработка резанием титановых сплавов / *В.А. Кривоухов, А.Д. Чубаров*. – М. : Машиностроение, 1970. – 84 с.
8. *Ozel T.* A Prediction of Machining Induced Surface Integrity using Elastic-Viscoplastic Simulations and Temperature-Dependent Flow Softening Material Models in Titanium and Nickel-based alloys, *Advanced Materials Research* / *T.Ozel, D.Ulutan, M.Sima*. – 2011. – Vol. 223. – Pp. 401–410.

РЕЗНІЧЕНКО Сергій Михайлович – аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

– обробка різанням титанових сплавів та волокнистих композиційних матеріалів.

Подано 16.06.2011