

УДК 621.91.01

ДАЦЕНКО М.А., АНТОНЮК В.С.

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЕФІЦІЄНТА УСАДКИ СТРУЖКИ

Мета. Визначення оптимального коефіцієнта усадки стружки для оптимізації процесу різання.

Методика. Використовувався метод математичного планування експерименту, оскільки він має високу точність кінцевого результату.

Результати. В ході дослідження були побудовані графіки впливу геометрії різучого інструменту та режимів різання на коефіцієнт усадки стружки.

Наукова новизна. Дослідження були проведені для матеріалів, схильних до наростоутворення, також були отримані нові залежності для кращого прогнозування величини усадки за вихідними даними про процес різання металів.

Практична значимість. Математична модель дозволяє значно полегшити моделювання процесу усадки стружки і оптимізувати процес різання, що дозволить більш точно та економно виготовляти деталі приладів.

Ключові слова: коефіцієнт усадки стружки, режими різання, змащувально-охолоджувальна рідина, наростоутворення.

Вступ. На сьогоднішній день отримано безліч графічних залежностей, які вказують характер впливу окремих факторів процесу різання матеріалів (швидкості різання, подачі, температури контакту, товщини зрізу, опір зсуву матеріалу, що обробляється та ін.) на величину усадки стружки. В той же час відсутні аналітичні залежності (крім формули І.А.Тіме), які зв'язують усадку і вищепераховані фактори, розкриваючи не лише вплив кожного із факторів на усадку, але й важкий характер їх взаємодії.

Постановка завдання. Вперше поняття усадки стружки ввів І.А. Тіме. Він же запропонував формулу для наближеного обчислення продовжної усадки стружки ξ_L за кутом різання δ і кутом зсуву Φ [1].

$$\xi_L = \frac{\sin(\Phi + \delta)}{\sin \Phi} - \frac{\cos(\Phi - \gamma)}{\sin \Phi}$$

Формула І.А. Тіме не зручна для практичних розрахунків усадки стружки, так як неможливо встановити аналітично кут зсуву Φ . Зазвичай цю формулу використовують для розрахунку кута Φ за відомою усадкою стружки.

На основі вищевикладеного, поставлене завдання отримання аналітичної залежності усадки стружки від параметрів процесу матеріалобробки, що використовується в широкому діапазоні режимів різання і геометричних параметрів інструмента, що застосовуються.

Результати дослідження. Із аналізу літературних джерел і додатковими дослідженнями встановлено, що [2]

$$\xi_L = \Phi(V, S, \varphi, \gamma, \psi, m_3) \quad (1)$$

де Ψ – відносне звуження при розриві матеріалу деталі, що оброблюється; m_3 – коефіцієнт, який враховує змащувальну дію змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР).

На коефіцієнт усадки стружки основний вплив мають: механічні властивості деталі, що обробляється; передній кут γ і головний кут у плані φ ріжучого інструменту; товщина шару a , що зрізується; швидкість різання V , подача S і ЗОР.

Для зменшення об'єму дослідів доцільно провести експерименти без використання ЗОР, а вплив ЗОР на усадку взяти до уваги за допомогою коефіцієнта m_ξ . Це можна зробити через малий взаємовплив мастильної дії ЗОР та режимів різання, геометрії ріжучого інструменту, а також механічних характеристик оброблюваного матеріалу на усадку стружки. Значення коефіцієнта m_ξ для деяких вмістів ЗОР наведені в таблицях. Знаючи величину коефіцієнта m_ξ для ЗОР, що використовується, можна визначити усадку стружки ξ_L по усадці ξ_1 , без застосування ЗОР, використовуючи формулу

$$\xi_L = \xi_1(1 - m_\xi)$$

Крім цього, зроблена спроба оцінити вплив окремих компонентів ЗОР на усадку стружки. Отримана формула для обчислення усадки стружки наступного вигляду

$$\xi_1 = 3,21 - 0,49x_1 + 0,55x_2 - 0,009x_3 - 0,14x_1x_2 +$$
$$+ 0,15x_1x_3 + 0,032x_2x_3 + 0,0105x_1x_2x_3,$$

$$\text{де } x_1 = \frac{S_{ок} - 0,5}{0,5}, S_{ок} \text{ — вміст сірки активної в ЗОР, \%};$$

$$x_2 = \frac{S_{св} - 0,25}{0,25}, S_{св} \text{ — вміст сірки зв'язаної в ЗОР, \%};$$

$$x_3 = \frac{Cl - 5}{5}, Cl \text{ — вміст хлору в ЗОР, \%};$$

Досліди впливу параметрів процесу різання на усадку стружки ξ_1 (без застосування ЗОР) проводилось методом математичного планування експерименту [3]. При цьому визначалась залежність виду

$$\frac{\xi_L}{\psi} = f\left(V, S, \frac{\gamma}{\psi}, \frac{\varphi}{\psi}\right),$$

Яка відповідно до результатів попередніх дослідів, має нелінійний характер. Тому для отримання цієї залежності був обраний квазі-Д-оптимальний план другого порядку B_4 (Боксу в кубі) [4].

Всі експерименти (реалізація плану) виконувались на токарному верстаті моделі ІЕБІ. При проведенні дослідів виконувалось різання сталі 45 різцями з пластинками із твердого сплаву ТІ5К6. Для визначення усадки стружки застосовується ваговий метод. Розрахунок усадки виконувався за формулою, в яку внесена дійсна площа перерізу

$$\xi_L = \frac{G}{Pl}; \quad \Pi = St - \frac{1}{2} \frac{S^2}{(tg\varphi)^{-1} + (tg\varphi_1)^{-1}},$$

де G – вага стружки, мг; Π – площа перерізу, мм²; q – густина матеріалу, що обробляється, г/см³; l – довжина стружки, мм.

Крім того, розрахунок усадки стружки виконується з урахуванням коефіцієнту суцільності стружки K_{cn} , який визначається за формулою

$$K_{cn} = 1 - \frac{1}{2} \frac{h}{a}$$

де h – глибина западин на вільній стороні стружки; a – товщина слою, що зрізується.

Обробка експериментальних даних, виконана на ЕОМ, дозволила отримати математичну модель усадки стружки в кодованій шкалі вимірювання

$$\begin{aligned} \sqrt[3]{y} = & 1,4989 - 0,0130x_1 - 0,1476x_2 - 0,1910x_3 - 0,0920x_4 - \\ & - 0,0555x_1^2 + 0,0118x_1x_2 - 0,0208x_1x_3 - 0,0345x_1x_4 + 0,0478x_2^2 + \\ & + 0,0538x_2x_3 + 0,0617x_2x_4 + 0,0903x_3^2 + 0,0377x_3x_4 + 0,0532x_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Обчислені довірчі інтервали для коефіцієнтів рівняння регресії (2) мають такі значення: $\Delta b_0 = 0,013$; $\Delta b_i = 0,0095$; $\Delta b_{ij} = 0,0101$; $\Delta b_{ii} = 0,0254$. Порівняння коефіцієнтів рівняння регресії з їхніми довірчими інтервалами показало, що всі коефіцієнти статично значущі.

Після перетворення змінних, які варіюють із кодової шкали виміру в натуральну із рівняння (2), отримаємо наступну математичну модель:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\xi_1}{\psi}\right)^{1/3} = & 2,3150823 - 0,0014543V - 1,5005682S - 0,0104221\frac{\gamma}{\psi} - \\ & - 0,00466\frac{\varphi}{\psi} + 0,0000113V^2 + 0,0006494VS - 0,0000086V\frac{\gamma}{\psi} - \\ & - 0,0000072V\frac{\varphi}{\psi} + 0,707323S^2 + 0,0060217S\frac{\gamma}{\psi} + 0,0034565S\frac{\varphi}{\psi} + \\ & + 0,0000766\left(\frac{\gamma}{\psi}\right)^2 + 0,000016\frac{\gamma\varphi}{\psi^2} + 0,0000112\left(\frac{\varphi}{\psi}\right)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Але рівняння (3) не відображає складного впливу швидкості різання на усадку стружки при обробці матеріалів, схильних до наростотворення. Для усунення цього недоліку проведені додаткові експерименти, які дозволили встановити, використовуючи інтерполяційну формулу Лагранжа, поправку m_n до формули (3) на вплив наросту

$$m_i = -30,319V^3 - 49,09756V^2 - 22,8417V - 4,16275, \quad (4)$$

якщо $V < 0,833$ м/с (50 м/хв)

і

$$m_i = 0,16124V^3 - 1,07335V^2 - 2,4723V - 2,9917, \quad (5)$$

де швидкість різання V в м/с.

Таким чином, величини усадки стружки можна визначити за наступною формулою:

$$\xi_L = m_n (1 - m_\xi) \psi \cdot K_\xi^3 \quad (6)$$

де

$$K_{\xi} = 2,3150823 - 0,0014543V - 1,5005682S - 0,0109221 \frac{\gamma}{\psi} -$$

$$- 0,004660 \frac{\varphi}{\psi} + 0,0000113V^2 + 0,0006494VS - 0,0000086V \frac{\gamma}{\psi} -$$

$$- 0,0000072V \frac{\varphi}{\psi} - 0,7073723S^2 + 0,0060217S \frac{\gamma}{\psi} + 0,0034565S \frac{\varphi}{\psi} +$$

$$+ 0,0000766 \left(\frac{\gamma}{\psi} \right)^2 + 0,000016 \frac{\gamma\varphi}{\psi^2} + 0,0000112 \left(\frac{\varphi}{\psi} \right)^2.$$

Залежність (6) дозволяє прогнозувати величину усадки стружки за вихідними даними про процес різання металів. Вона придатна для широких меж зміни режимів різання і геометрії інструмента при обробці деталей із конструкційних сталей і сплавів.

Використовуючи рівняння (6), можна встановити ступінь і характер впливу окремих факторів процесу різання на усадку стружки, а також їх взаємовплив.

Геометричні параметри ріжучого інструменту (кути γ і φ) роблять сильний вплив на усадку стружки (рис.1). Це особливо помітно при малих значення кутів γ і φ . Так, при обробці сталі 45 без застосування ЗОР з $V = 130$ м/хв, $S = 0,35$ мм/об, $t = 1$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ усадка стружки зменшується від 3,381 до 1,715 при збільшенні φ від 10° до 90° (при $\gamma = -10^\circ$) і від -3,381 до 1,584 при збільшенні γ від -10° до 25° (при $\varphi = -10^\circ$).

Однак з одночасним збільшенням кутів γ і φ характер залежності перетворюється, отримуючи вигляд увігнутої функції.

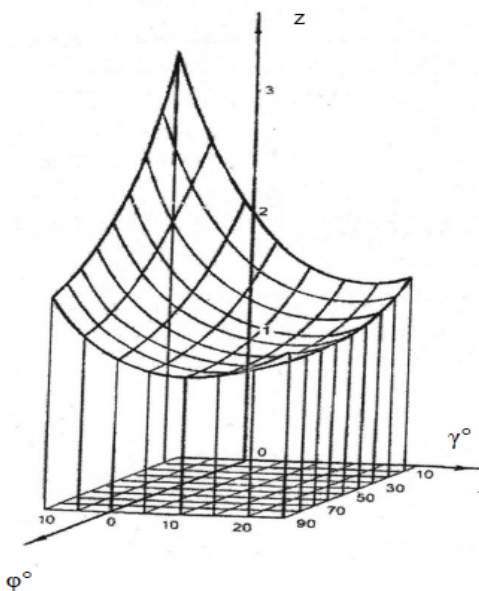


Рис. 1. Вплив геометрії ріжучого інструменту на усадку стружки (сталь 45-Т15К16; $V = 130$ м/хв, $S = 0,35$ мм/об, $t = 1$ мм, $\alpha = 5^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\lambda = 0^\circ$)

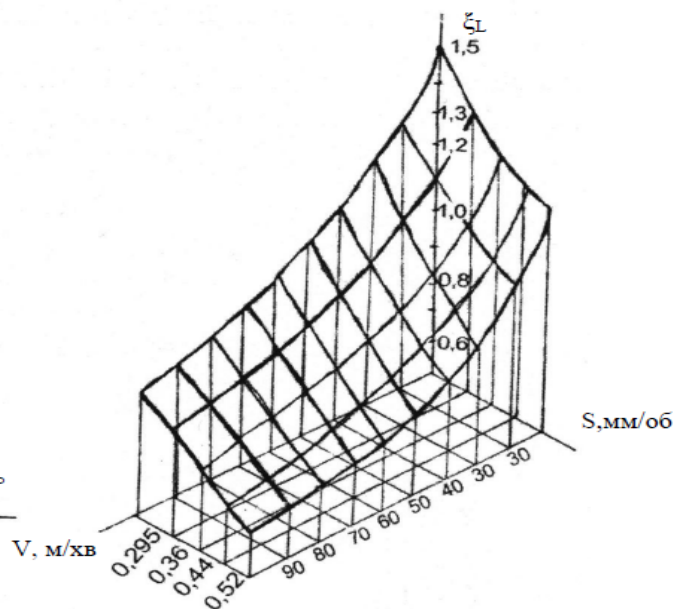


Рис. 2. Вплив параметрів режиму різання на коефіцієнт усадки стружки (ВТ22-ВК6М; $\gamma = \alpha = 10^\circ$; $\varphi = 45^\circ$)

Вплив параметрів режиму різання на коефіцієнт усадки стружки (КУС) ξ_L представлено на рис. 2. Криві відповідають різанню матеріалів не схильних до наростоутворення. В цьому випадку із зростанням швидкості різання і подачі КУС ξ_L спочатку швидко, а потім повільно зменшується. Це пояснюється збільшенням температури зони обробки і зменшенням коефіцієнту тертя стружки об передню поверхню інструменту.

Складний вплив робить швидкість різання V на КУС ξ_L при обробці матеріалів, схильних до наростоутворення. Спочатку при збільшенні швидкості різання КУС ξ_L зменшується, досягаючи при деякому значенні швидкості V_2 мінімальної величини, а потім знову збільшується. При досягненні швидкістю нового значення V_3 зростання КУС ξ_L зупиняється і при швидкості різання $V_4 > V_3$ КУС ξ_L зменшується (рис 3)

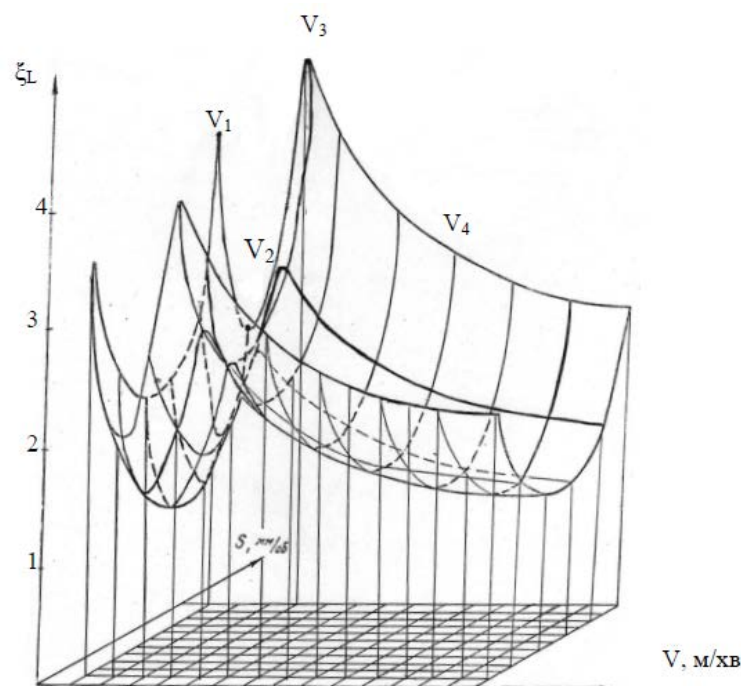


Рис. 3. Вплив параметрів режиму різання на КУС ξ_L при наростоутворенні

Висновки. В даній статті було розглянуто явище усадки стружки, що супроводжує процес металообробки.

Дослідження впливу параметрів процесу різання на стружкоутворення проводилось методом математичного планування експерименту, що дозволило отримати нову залежність, яка більш точно описує процес та дозволяє прогнозувати величину усадки стружки за вихідними даними про процес різання металів. Вона придатна для широких меж зміни режимів різання і геометрії інструмента при обробці деталей із конструкційних сталей і сплавів.

Використовуючи цю залежність, можна встановити ступінь і характер впливу окремих факторів процесу різання на усадку стружки, а також їх взаємовплив.

Також була отримана залежність усадки стружки з урахуванням утворення наросту під час металообробки.

Список використаних джерел

1. Резание металлов / Г. И. Грановский [и др.]. – М. : Машгиз, 1954. – 472 с.
2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшицкий. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
4. Кассандрова О. Н. Обработка результатов наблюдений / О. Н. Кассандрова, В. В. Лебедев. – М. : Наука, 1970. – 104 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА УСАДКИ СТРУЖКИ

ДАЦЕНКО М.А., АНТОНЮК В.С.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Цель. *Определение оптимального коэффициента усадки стружки для оптимизации процесса резания.*

Методика. *Использовался метод математического планирования эксперимента, поскольку он имеет высокую точность конечного результата.*

Результаты. *В ходе исследования были построены графики влияния геометрии режущего инструмента и режимов резания на коэффициент усадки стружки.*

Научная новизна. *Исследования были проведены для материалов, склонных к наростообразованию, также были получены новые зависимости для лучшего прогнозирования величины усадки за входными данными про процесс резанья металлов.*

Практическая значимость. *Математическая модель позволяет значительно облегчить моделирование процесса усадки стружки и оптимизировать процесс резания, что позволит более точно и экономно изготавливать детали приборов.*

Ключевые слова: *Коэффициент усадки стружки, режимы резания, смазывающе-охлаждающая жидкость, наростообразование.*

MATHEMATICAL MODELLING OF A CHIP COCKLE COEFFICIENT

DATSENKO M.A., ANTONIUK V.S.

National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute»

Purpose. *Determination of an optimal chip cockle coefficient for optimization of a cutting process.*

Methodology. *The method of a mathematical planning of an experiment is used, because it delivers a final result with a high precision.*

Findings. *During research a diagrams of an influence of an instrument's geometry and cutting conditions on a chip cockle coefficient are built.*

Originality. *The investigations are made for materials, which are inclined for a build-up forming; also new dependences are found for a better forecasting of a chip cockle value using our starting data of a cutting process.*

Practical value *The mathematical model simplifies the modeling of a chip cockle process and optimizes the cutting process, which allows much better developing of a details for devices with higher accuracy.*

Key words: *chip cockle coefficient, cutting conditions, cooling lubricant, build-up forming.*