

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ РІЗАННЯМ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Визначено оптимальні режимні параметри при торцевому фрезеруванні з урахуванням особливостей формоутворення в умовах локального термопластичного зсуву.

Ключові слова: швидкість різання, подача, шорсткість, напруження, наклеп, стійкість інструмента.

Постановка проблеми. При сучасному рівні розвитку машинобудування все більша увага приділяється якості й собівартості продукції. Поява високошвидкісної лезової обробки дозволила підвищити продуктивність різання в кілька разів. Однак для подальшого вдосконалення процесу необхідно приділяти особливу увагу вимогам до якості продукції, що випускається.

Із удосконаленням верстатобудування і появою нових інструментальних матеріалів збільшувалася швидкість різання. Нині з успіхом застосовується новий вид механічної обробки – високошвидкісна лезова обробка. Для неї створені спеціальні високошвидкісні верстати, оснащення й інструмент. Обробка з високими швидкостями є принципово новою технологією, для якої характерні свої особливості, такі як низька сила різання, високі температури і т.д. Застосування високошвидкісної обробки у ряді випадків дозволяє відмовитися від використання фінішних операцій: шліфування, шабрування. Однак процеси, що відбуваються при високошвидкісній обробці, ще недостатньо вивчені. Тому знаходження продуктивних і ефективних методів забезпечення якості поверхневого шару деталі при високошвидкісному чистовому торцевому фрезеруванні загартованих сталей, що дозволяють отримати вироби із заданими властивостями поверхневого шару, є актуальним завданням для механообробного виробництва.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. У сучасному виробництві на процес різання покладено завдання підвищення виробництва із забезпеченням необхідної точності розмірів деталі й заданих параметрів якості поверхневого шару. Існують два типи управління якістю: регулювання режимів різання в процесі механічної обробки і забезпечення потрібних параметрів наступним впливом на деталь. Перший тип найбільш ефективний, тому що дозволяє у багатьох випадках позбутися фінішних операцій. Для отримання деталей із заданими властивостями поверхневого шару створюються різноманітні моделі [1 – 6].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Під оптимальним режимом високошвидкісного торцевого фрезерування розуміють режим, при якому досягаються необхідні шорсткість, глибина і ступінь зміцнення, величина і глибина остаточних напружень, структурно-фазовий склад поверхневого шару, а поряд із тим задана стійкість різального інструменту і найбільша продуктивність. Для реалізації цього підходу на процес високошвидкісного торцевого фрезерування накладаються технічні обмеження у вигляді лінійних функцій виду

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b = 0. \quad (1)$$

До такого виду функцій шляхом логарифмування можна привести формули, якими виражаються режими різання.

Основою для задавання характеристик режимів високошвидкісного торцевого фрезерування є сукупність (система) параметрів якості поверхневого шару деталі.

Експериментальним шляхом не отримані залежності, що встановлюють зв'язок між режимами різання і параметрами обробки (шорсткість R_z , наклеп H , температура

поверхневого шару Θ і відхилення від налагоджуваного розміру $\Sigma\Delta_z$) у випадку високошвидкісного торцевого фрезерування.

Постановка завдання. Необхідно створити модель, що дозволить управляти якістю поверхневого шару деталі через зміну температури поверхні деталі й сил різання для випадку високошвидкісного торцевого фрезерування. Для цього необхідно знайти функціональні зв'язки між параметрами якості поверхневого шару, з одного боку, температурою і силами різання, з іншого, а також знайти взаємозв'язок між функціональними параметрами і режимами різання. Щоб досягти максимальної продуктивності і в той же час отримати задане значення параметрів якості поверхневого шару деталі, необхідно знайти компромісне рішення щодо призначення режимів різання.

Основний матеріал і результати. Розглянемо високошвидкісне чистове фрезерування загартованої сталі 9ХС (HRC 55) торцевою фрезою оригінальної конструкції ($\varnothing 250$ мм, матеріал різальної частини – твердий сплав Т15К6), глибина різання – 0,1 мм, ширина розрізу $B = 30$ мм. Серед технологічних обмежень розрізняють такі.

Обмеження 1 – за залишковими напруженнями σ , МПа. У поверхневому шарі обробленої деталі повинно бути поле залишкових напружень, що не сприяє утворенню мікротріщин і викривленню деталі, які призводять після релаксації до виходу її розмірів за границі поля допуску. Експериментальним шляхом встановлено, що викривлення деталі не відбувається при величині залишкових напружень у поверхневому шарі $-200 < \sigma < -100$ МПа.

Звідси обмеження має вигляд

$$-200 \leq \sigma(V, S, t) \leq -100, \quad (2)$$

де V – швидкість різання, м/хв;

S – подача, мм/хв;

t – глибина різання, мм.

Розрахунок величини залишкових напружень здійснюємо на підставі розробленої моделі [2] за формулою

$$\sigma = \sigma_{\text{сил}} + \sigma_{\text{тем}} + \sigma_{\text{с-ф}} + \sigma_{\text{поч}}, \quad (3)$$

де $\sigma_{\text{сил}}$ – залишкові напруження від силового чинника;

$\sigma_{\text{тем}}$ – залишкові напруження від дії теплового фактора;

$\sigma_{\text{с-ф}}$ – залишкові напруження від дії структурно-фазових перетворень;

$\sigma_{\text{поч}}$ – залишкові напруження, наявні в деталі до обробки.

Обмеження 2 – за величиною шорсткості обробленої поверхні R_z , мкм. Визначимо величину параметрів різання, що забезпечують необхідну шорсткість поверхні обробки,

$$R_z = 3,55 \cdot 10^{-26} \cdot V^{11,1} \cdot S^{17,61} \cdot t^{0,29} \cdot (S^{-7,37})^{\lg V}. \quad (4)$$

Приймаємо $R_z \leq 6,3$ мкм.

Відповідно друге обмеження можна записати у вигляді

$$R_z(V, S, t) \leq 6,3. \quad (5)$$

Обмеження 3 – за величиною поверхневого зміцнення (наклеп) H , МПа. Приймаємо, що величина наклепу поверхневого шару повинна лежати в діапазоні від 35 до 60 МПа. Це обмеження має такий вигляд:

$$35 \leq H(V, S, t) \leq 60. \quad (6)$$

Залежність величини наклепу поверхневого шару від режимів різання розраховується за формулою

$$H = 1559,5 \cdot V^{-0,612} \cdot S^{0,219} \cdot t^{1,49} \cdot (S^{-0,443})^{\lg t}. \quad (7)$$

Обмеження 4 – за структурно-фазовим складом поверхневого шару (температура нагрівання). Від дії високих температур не повинні відбуватися структурні зміни. Приймаємо, що при обробці не повинно виникати кольорів мінливості. Експериментально встановлено, що кольори мінливості виникають при температурі різання від 230 °С. Тому основне обмеження задамо в такому вигляді:

$$\Theta(V, S, t) \leq 230. \quad (8)$$

Температуру Θ , °С, в поверхневому шарі деталі визначимо за формулою

$$\Theta = 0,004 \cdot V^{1,47} \cdot S^{7,16} \cdot t^{0,33} \cdot (S^{-2,63})^{\lg V}. \quad (9)$$

Обмеження 5 – за швидкістю різання. Значення чисел обертів шпинделя n не повинні перевищувати паспортних даних верстата

$$\begin{cases} n \leq n_{\max} \\ n \geq n_{\min} \end{cases}. \quad (10)$$

Обмеження 6 – за відхиленням від налагоджуваного розміру $\Sigma\Delta_z$, мм. Величина відхилення від налагоджуваного розміру не повинна бути більшою ніж 0,03 мм, тому задаємо такі обмеження:

$$\Sigma\Delta_z \leq 0,03. \quad (11)$$

Розрахункова формула для визначення $\Sigma\Delta_z$ має вигляд

$$\Sigma\Delta_z = 586,14 \cdot V^{-0,68} \cdot S^{0,228} \cdot t^{0,268}. \quad (12)$$

Обмеження 7 – за подачею. Значення поздовжньої подачі верстата не повинне виходити за діапазон регламентованих подач цього обладнання

$$\begin{cases} S \leq S_{\max} \\ S \geq S_{\min} \end{cases}. \quad (13)$$

Обмеження 8 – за стійкістю інструмента. Параметри стійкості для різальної пластини не повинні виходити за значення, рекомендовані фірмою-виробником цього інструмента. Значення подачі S повинні знаходитися в діапазоні, рекомендованому виробником. Для 4-граних твердосплавних пластин T15K6 рекомендовано такі значення подачі: $S_{\min} = 0,05$ мм/зуб; $S_{\max} = 0,3$ мм/зуб [7]. Отже, таке обмеження має вигляд

$$0,05 \leq S_z \leq 0,3. \quad (14)$$

Цільовою функцією для моделі оптимізації режимів різання є виробник. Для розв'язання завдання оптимізації процесу високошвидкісного торцевого фрезерування загартованих сталей була створена комп'ютерна програма в MS Office Excel, що дозволяє знайти оптимальне значення швидкості різання V і поздовжньої подачі S залежно від механічних властивостей матеріалу, параметрів різального інструмента та глибини різання. Математичне визначення оптимального режиму обробки проводилося на ПЕОМ з використанням алгоритму нелінійної оптимізації Generalized Reduced Gradient (GRG2). Спільні дії перелічених вище обмежень, що накладаються на процес різання, визначає область допустимих режимів обробки. Оптимальний режим відповідає точці, де

$$S_n \rightarrow \max. \quad (15)$$

Графічне зображення указаних технологічних обмежень і області оптимальних параметрів високошвидкісного торцевого фрезерування наведено на рисунку 1. Тут $y = \ln n$, $x = \ln 10 S_z$. Областю допустимих значень є фігура $ABCE$.

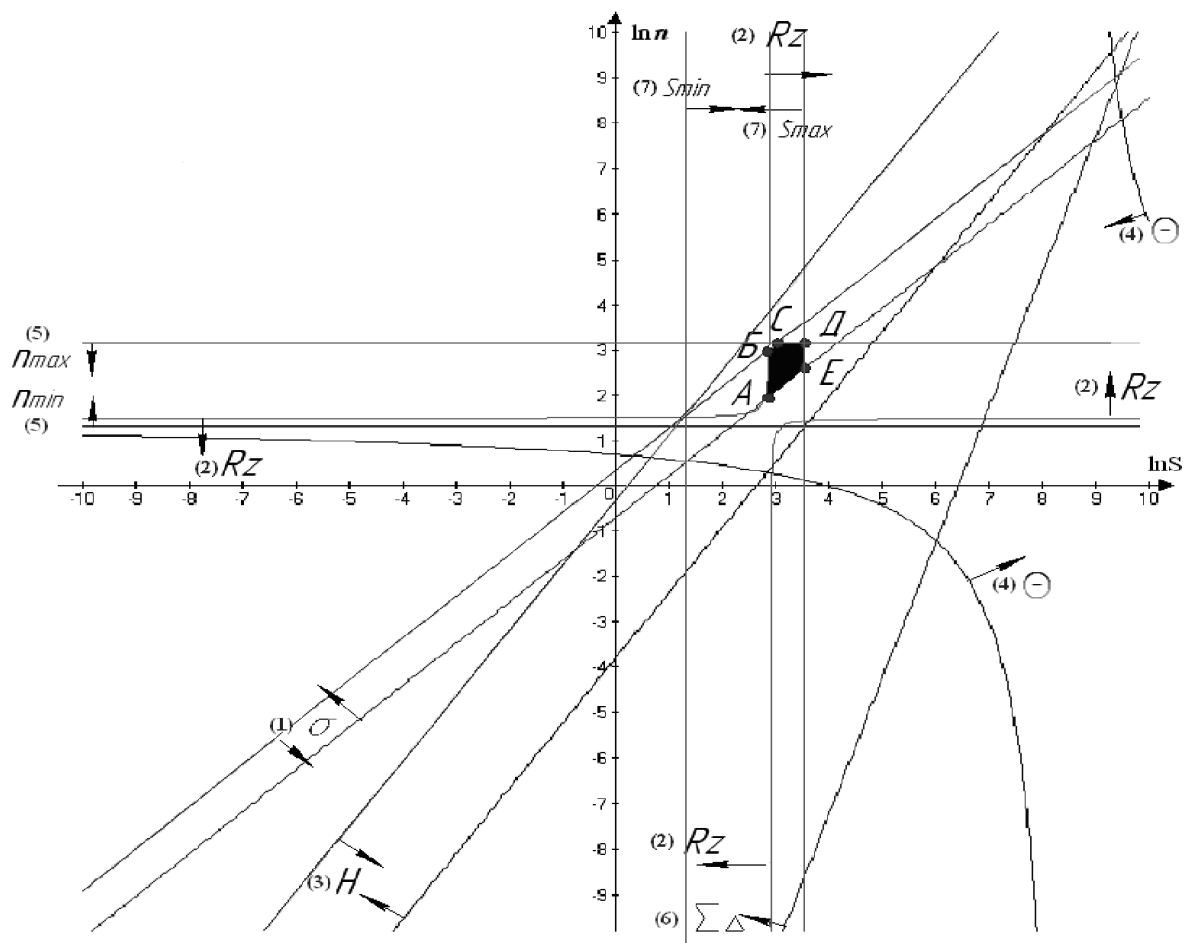


Рисунок 1 – Математичне подання технологічних обмежень процесу високошвидкісного торцевого фрезерування

При високошвидкісному торцевому фрезеруванні загартованих сталей із наступними параметрами: 9ХС; торцева фреза оригінальної конструкції; ширина розрізу $B = 30$ мм, глибина різання $t = 0,1$ мм – оптимальним є рішення, вказане на рисунку 1 точкою D , якій відповідають такі режими різання: $n = 1585$ об/хв ($V = 498$ м/хв); $S = 316$ мм/хв ($S_z = 0,2$ мм/об).

Отриманому оптимальному рішенню відповідають такі значення параметрів високошвидкісного торцевого фрезерування загартованих сталей:

- залишкові напруження $\sigma = -132$ МПа (стиск);
- шорсткість поверхні $Rz = 0,29$ мкм;
- величина наклепу поверхневого шару $H = 378$ МПа;
- температура різання до $\theta = 21^\circ\text{C}$ вище температури повітря навколишнього середовища.

Висновки. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано можливість отримання поверхневого шару деталі із заданими величинами залишкових напружень, шорсткості, мікротвердості, структурно-фазового складу і неоднорідності властивостей. Визначено область допустимих режимів високошвидкісного торцевого фрезерування і знайдено їх оптимальні значення.

Література

1. Суслов, А.Г. Обеспечение качества обработанных поверхностей с использованием самообучающей технологической системы / А.Г. Суслов, Д.И. Петришин // СТИН. – 2006. – № 1. – С. 21 – 24.
2. Кирюшин, И.Е. Определение технологических остаточных напряжений при высокоскоростной лезвийной обработке труднообрабатываемых материалов / И.Е. Кирюшин, Д.Е. Кирюшин // Высокие технологии в машиностроении: сб. тр. Всерос. конф. / Самарск. гос. техн. ун-т. – Самара, 2005. – С. 53 – 55.
3. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. Основы компоновки / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Проников, А.С. Расчет и конструирование металлорежущих станков / А.С. Проников. – М.: Высш. шк., 1968. – 431 с.
5. Сілін, Р.І. Металорізальні верстати / Р.І. Сілін, В.М. Бочков, О.В. Гаврильченко. – Львів: Вид. Львів. політехніки, 2009. – 268 с.
6. Kalpakjian, S. Manufacturing engineering and technology / S. Kalpakjian. – Canada-USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2006. – 1320 p.
7. Косилова, А.Г. Справочник технолога-машиностроителя / А.Г. Косилова, Р.К. Мецераков. – М.: Машиностроение, 1986. Т. 2. – 495 с.

Надійшла до редакції 15.11. 2012

© Г.С. Зінов'єв, С.В. Попов, М.В. Неділько

Г.С. Зиновьев, к. т. н., доцент, С.В. Попов, к. т. н., доцент, М.В. Недилько, студент
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Определены оптимальные режимные параметры при торцевом фрезеровании с учетом особенностей формообразования в условиях локального термопластического сдвига.

Ключевые слова: скорость резания, подача, шероховатость, напряжения, наклеп, стойкость инструмента.

G.S. Zinovyev, Ph.D., S.V. Popov, Ph.D., M.V. Nedilko, student
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

OPTIMIZATION OF HIGH-SPEED MACHINING CUTTING HARDENED STEEL

The optimum operational parameters of face milling for the formation in the local thermoplastic shift are allowing.

Keywords: cutting speed, feed, surface roughness, stresses, cold-hardening, tool life.