

УДК 621.9.65.015.13

В. І. Савуляк, д. т. н., проф.;

С. А. Заболотний

ТЕМПЕРАТУРНІ ПОХИБКИ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ОТВОРІВ

Моделюванням з використанням методу скінченних елементів досліджено характер розвитку температурних деформацій деталі та лезового інструменту під час розточування точних отворів. Встановлено основні фактори, які визначають величину температурних похибок, їх вплив на спотворення профілю отвору.

Вступ

Показники надійності машин, вузлів та механізмів, такі як довговічність, безвідмовність, залежать від конструктивних форм і точності виготовлення поверхонь деталей [1, 2, 3]. На сьогоднішній день одним зі найрозповсюдженіших процесів формоутворення деталей машин із заданими розмірами та якістю поверхні залишається різання. Різання металів — складний фізичний процес. В ньому можна виділити простіші процеси та явища: руйнування металу; пружне та пластичне деформування; утворення нової поверхні; механічна взаємодія компонентів системи різання; теплообмін між ними та розсіювання енергії.

Точність оброблюваної поверхні при точінні залежить від: властивостей матеріалу інструмента та заготовки; геометричних параметрів інструменту; властивостей технологічного середовища; температурної напруженості зони різання.

Постановка задачі досліджень

Як впливає із робіт [3, 4, 5] на точність оброблюваної поверхні деталей, зокрема на точність її мікрогеометрії, значний вплив мають пружні температурні деформації інструмента (різка, борштанги тощо) та поверхневого шару оброблюваної поверхні деталі в зоні різання. В результаті обробки, наприклад, циліндричних поверхонь спостерігається певна бочкоподібність, конусність та інші види спотворень профілю поверхні. Як показує практика, врахування температурної похибки при точінні шляхом встановлення певного відсоткового значення [6] не завжди є коректним. Спотворення профілю особливо небажане при формуванні розточуванням поверхні отворів, які є базами для підшипників кочення або такими, що працюють у парі спряження із поршнями, плунжерами тощо [7, 8].

Аналітичне розв'язання задачі визначення температурних похибок в процесі обробки різанням для реальних деталей супроводжується зі значними труднощами. Тому доцільним є моделювання процесу розточування отворів деталей машин з метою визначення спотворень профілю поверхні, які спричинені впливом температурних деформацій інструмента та деталі.

Результати досліджень та їх обговорення

Моделювання проводилось із використанням методу скінченних елементів. Моделі та алгоритми розрахунків на ЕОМ описані в роботі [9].

При розробці моделі процесу теплообміну для розточування та температурних деформацій, які виникають під впливом цього процесу, прийнято, що спотворення профілю отвору є результатом спільної дії таких факторів: температурних деформацій деталі від джерела теплового потоку, який супроводжує процес різання, із інтенсивністю q_d , що рухається вздовж осі отвору зі швидкістю подачі (рис. 1а); сумарного температурного впливу від всіх попередніх положень теплового джерела; температурних деформацій інструмента під впливом теплового потоку із інтенсивністю q_i (рис. 1б).

Для спрощення моделі зроблено такі припущення: теплові потоки у деталь q_d та інструмент q_i є постійними у часі; весь період обробки розбитий на кроки (періоди); під час чергового кроку нагрівається тепловим потоком від процесу різання певна нова ділянка деталі,

причому на кожному наступному кроці враховуються теплові впливи від усіх попередніх тепловкладень.

Величини теплових потоків, що діють на інструмент та деталь, розраховуються за відомими залежностями [6]. Як приклад, в роботі показані результати досліджень для режимів чорнового розточування із подачею 0,5 мм/об та швидкістю різання 60 м/хв.

З метою визначення впливу залежності геометрії деталі на величину температурних похибок, що виникають в процесі розточування отворів, виконано моделювання для деталей двох типів: 1 — деталі з відносно тонкою стінкою, що дозволяє температурі на зовнішній поверхні збільшитися в процесі розточування; 2 — деталі з відносно товстою стінкою, яка практично не дозволяє температурі на зовнішній поверхні змінитися, що характерно для корпусних деталей.

Деталь першого типу умовно назовемо втулкою, яка змодельована циліндром з такими параметрами: діаметр отвору $d = 60$ мм; зовнішній діаметр $D = 100$ мм; довжина $L = 40$ мм; матеріал — сталь 45. Деталі другого типу назовемо корпусом, який змодельований циліндром з такими параметрами: діаметр отвору $d = 60$ мм; зовнішній діаметр $D = 300$ мм; довжина $L = 40$ мм; матеріал сталь 45. Скінченно-елементні аналоги деталей та інструменту (борштанги) показано на рис. 2. Положення теплового джерела q_d на кожному кроці теплового навантаження відповідає положенню інструменту під час обробки отвору. Характер спотворення профілю отвору за рахунок температурних деформацій деталі буде визначатися переміщенням точок матеріалу на поверхні отвору в зоні різання. На рисунку 3 та 4 показано радіальні переміщення точок отвору під впливом теплового потоку в процесі його обробки.

При дослідженні різних варіантів теплового навантаження поверхонь отворів деталей різної форми виявилось, що залежність зміни радіальних температурних деформацій в зоні різання носить складний нелінійний характер.

Для моделей типу втулка (рис. 2б), тобто у випадках коли товщина стінки деталі відносно невелика, спостерігається збільшення розмірів отвору від нагрівання в процесі різання, що обумовлює до зняття меншого шару металу. Внаслідок цього після охолодження розточеної деталі діаметр отвору виявляється меншим, ніж на це розраховували під час настроювання інструмента на розмір.

Зовсім інша картина спостерігається при розточуванні отворів корпусних деталей (рис. 2в) для яких характерно, що товщина стінок отвору значна у співвідношенні з його діаметром. Оскільки теплоємність та жорсткість стінок велика, зовнішні шари деталі майже не деформуються, то в зоні різання у матеріалі розвиваються значні напруження стиску, а деформування поверхні отвору направлено до його осі. В результаті зрізується більший шар металу, ніж необхідно, що призводить до збільшення отвору після обробки та охолодження.

Залишкове спотворення профілю отвору є результатом суми теплових переміщень точок поверхні отвору деталі та вершини інструменту. Отриманий в результаті накладання переміщень характер спотворення поздовжнього профілю отвору показаний на рис. 3 та 4 для деталей типу втулка та корпус, відповідно.

Основним чинником температурної деформації інструмента є його видовження у перпендикулярному до осі оброблюваного отвору напрямку під впливом теплового потоку, що діє на робочу частину різальної кромки. Спотворення профілю отвору в процесі обробки за рахунок видовження інструмента показано на рис. 3 і 4 (криві 1). З цих рисунків випливає, що максимальне спотворення радіуса отвору Δ за рахунок деформації інструмента склало 0,022 мм.

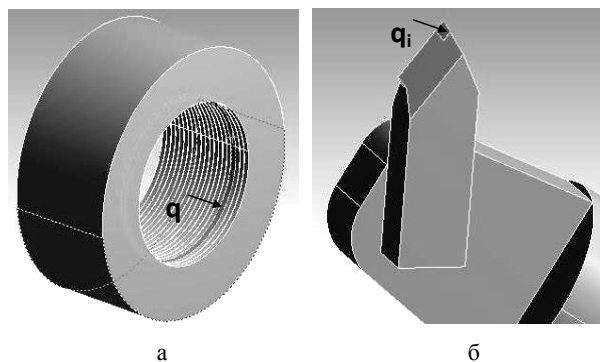


Рис. 1. Теплові потоки в процесі розточування отворів: а — схема введення теплового потоку в деталь; б — схема введення теплового потоку в різець

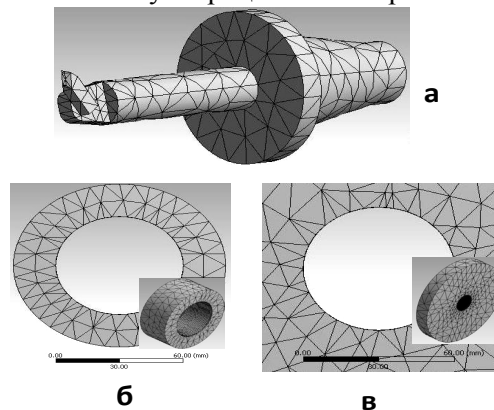


Рис. 2. Моделі інструмента та деталей з отворами, що розточуються: а — борштанга; б — втулка; в — корпусна деталь

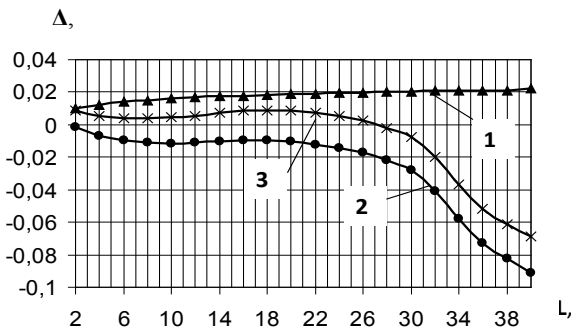


Рис. 3. Теплові деформації втулки в процесі розточування: 1 — переміщення вершини різця, 2 — переміщення точок поверхні отвору в зоні різання, 3 — спотворення профілю отвору після обробки та охолодження

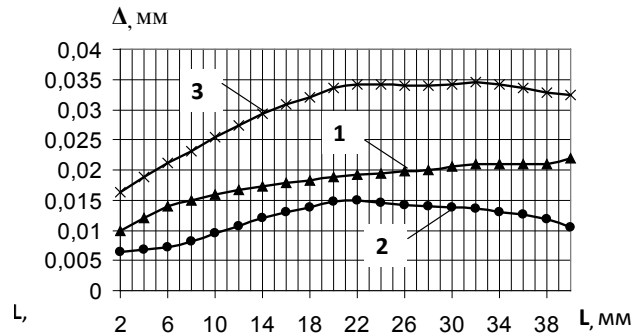


Рис. 4. Теплові деформації корпусу в процесі розточування: 1 — переміщення вершини різця, 2 — переміщення точок поверхні отвору в зоні різання, 3 — спотворення профілю отвору після обробки та охолодження

Максимальне спотворення діаметра отвору для деталей типу втулки вдвічі більше за радіальні переміщення і становить 0,138 мм, для корпусної деталі 0,069 мм.

Висновки

1. Під час проектування технологічних процесів в розрахунках точності механічної обробки отворів з використанням розточування не завжди є коректним приймати температурні похибки в межах 10 % від сумарної похибки обробки на міжопераційний розмір. Доцільно для заданих умов, з метою корекції системи ВПД вести такі розрахунки методом моделювання.

2. Характер та параметри спотворення профілю розточеного отвору та систематична складова, що може бути врахована в процесі налагодження на розмір, залежать від конструкції, розмірів та фізико-механічних властивостей деталі та різального інструмента.

3. Максимальні відхилення профілю отворів спостерігаються на початку та в кінці отвору, що обробився. Тому для зменшення похибок механічної обробки розточуванням отворів потрібно переходити підрізання торців та обробки фасок виконувати після їх розточування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Резников А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. — М. : Машиностроение, 1990. — 288 с.
2. Силин С. С. Метод подобия при резании металлов / С. С. Силин. — М. : Машиностроение, 1979. — 152 с.
3. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. — М. : Машиностроение, 1975. — 344 с.
4. Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю. В. Петраков. — К. : УкрДНІАТ, 2004. — 383 с.
5. Ящерицын П. И. Теория резания / П. И. Ящерицын, Э. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. — Минск : Новое знание, 2005. — 512 с.
6. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1 / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.
7. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов. — М. : Колос, 2000. — 776 с.
8. Черноиванов В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов. — М. : ГОСНИТИ, 2003. — 488 с.
9. Савуляк В. І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. — 2009. — № 11. С. 48—52.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 20.10.09

Савуляк Валерій Іванович — завідувач кафедри, **Заболотний Сергій Антонович** — асистент.

Кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет