УДК 621.9.02

Клименко С.А., чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор
Манохін А.С., канд. техн. наук, ст. дослідник
Клименко С.Ан., канд. техн. наук, ст. дослідник
Копєйкіна М.Ю., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Мельнійчук Ю.О., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Чумак А.О., канд. техн. наук
Найденко А.Г., канд. техн. наук
Рижов Ю.Е., канд. техн. наук
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, atmu@meta.ua

ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ КОСОКУТНІМ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ PcBN В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Основна особливість різання в умовах ударних навантажень – наявність ударного імпульсу та пікових значень сили різання, які характеризуються коефіцієнтом динамічності. Як відзначається, він залежить від пластичності оброблюваного матеріалу та особливостей трибології процесу врізання.

Застосування інструменту із PcBN під час обробки загартованої сталі із динамічним навантаженням у більшості випадків супроводжується крихким руйнуванням інструменту.

З літературних даних відомо що зменшення ударних навантажень може бути досягнуто за рахунок демпферів, які поглинають енергію коливань та оптимізації геометричних параметрів інструменту – переднього кута та кута нахилу різальної кромки.

На теперішній час низка питань щодо процесів різання з ударом залишається не вирішеною, а основними напрямком його вдосконалення пов’язано із використанням інструменту, що працює за косокутною схемою різання, що є більш динамічно усталеною.

В цій роботі вивчався процес різання при точінні зразка з поздовжними пазами із загартованої сталі ШХ15 (60–62 HRC). Був використаний різець, у якому за рахунок поворотної державки змінювався кут нахилу різальної кромки, оснащений різальною пластиною RNMN 090400 з PcBN Борсиніт.

Для визначення параметрів перерізу зрізу для інструменту з радіусною різальною кромкою, що працює за косокутнью схемою, розраховано форму огинаючої поверхні що утворюється при русі інструмента та при її перетині – вирази для ліній, що обмежують зрізуваний шар оброблюваного матеріалу, аналіз яких показав, що зі зростанням кута нахилу різальної кромки від 0^0 до 50^0 зростає товщина зрізу та знижується відношення ширини зрізу до товщини зрізуваного шару. Це підвищує стабільність та вібростійкість процесу різання.

Для оцінки вібростійкості розроблена модель коливальної системи з одним ступенем свободи, яка імітує вузол різець-різцетримач та дію на нього періодичної сили різання. Особливістю рішення є врахування залежності величини вимушуючої сили від миттєвого значення товщини зрізу при коливаннях різця. Розв’язок рівняння, що описує такий рух в MATLAB Simulink, дозволяє отримати діаграми віброперемiщень та коливань радіальної складової сили різання в залежності від часу. У процесі різання мають місце затухаючі коливання з максимальною амплітудою 25 мкм для стандартного інструменту, в той час як для косокутного різця (з кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 50°$) цей параметр нижче і становить 15 мкм. Амплітуда коливань сили різання також знижується в 1,6 рази. А якщо при інших рівних порівняти косокутні інструменти з прямолінійною та радіусною кромкою, то останні характеризуються до двох разів вищою вібростійкістю, що очевидно є ефективним рішенням проблеми зниження вібрацій при обробці з ударом.

Цілком зрозумілим є ефект зниження величини ударного імпульсу, що діє на косокутний інструмент при врізанні – оцінка цього явища шляхом моделювання початкового етапу

різання свідчить, що за перші 30 мс різання імпульс сили зменшується приблизно в 2,5 рази. Додатково можна відзначити менші на 13% величини еквівалентних напружень, що виникають з зоні первинних деформацій при косокутній обробці.

При реєстрації сигналів від динамометра спостерігаються не лише складові сили різання, а й додаткові компоненти сигналу, пов'язані з пружною деформацією системи при її коливаннях – у цієї роботи при оцінці величини сили виділяли перше пікове значення та середнє значення, що притаманно стандартному інструменту.

Суттєво відрізняється зовнішній вид сигналів сил різання для косокутного різця. Якщо сумістити діаграми тангенціальної складової для обох інструментів, то для такого інструменту можна відзначити плавне наростання сигналу – явище удару фактично не спостерігається саме за рахунок поступового врізання. Оцінка експериментальних значень середньої величини сил різання та їх пікових величин демонструє можливість зменшення коефіцієнту динамічності при обробці загартованої сталі з 1,7 до 1,1–1,2 при за рахунок використання косокутної геометрії інструменту. Радіальна складова зменшується до 2-х разів, а рівнодіюча сила різання – на величину до 30%, що обумовлено меншою відносною деформацією оброблюваного матеріалу в зоні зсуву та усадкою стружки.

Розрахунок параметрів перерізу зрізу та експериментальні дані щодо сил різання дозволяє провести оцінку імовірності руйнування інструменту. Для цього використано 3D-модель різальної пластини з розподіленим навантаженням на контактних ділянках. Ймовірність руйнування визначено за площею під кривою нормального розподілу величини міцності PcBN Борсиніт, обмеженої максимальним значенням першого головного напруження. Максимальні напруження виникають в інструменті зі сторони його задньої поверхні, де й відбуваються сколювання на практиці. Розрахунки демонструють, що, наприклад, для подачі 0,19 мм/об та з урахуванням динамічного коефіцієнту для сил різання, стандартний інструмент виходить з ладу зі 100% ймовірністю, тоді як косокутна геометрія знижує ймовірність руйнування і сколів інструменту до 80% при куті нахилу різальної кромки $\lambda = 30°$ та практично близька до 0° при кутах нахилу різальної кромки (40–50)°.

Випробування косокутного інструменту в умовах динамічного навантаження підтвердило результати моделювання – в перші хвилини обробки у стандартного інструменту спостерігається сколювання зі сторони задньої поверхні, розмір пошкодженої ділянки інтенсивно зростає, за декілька хвилин досягаючи критерію зносу. В той же час для косокутного інструменту з кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 50°$ характерним є утворення фаски зносу шириною до 40 мкм без появи сколів і мікровикришувань. В цілому, в діапазоні подач 0,12–0,19 мм/об спостерігається: – руйнування стандартного інструменту; – мікросколювання для різця з кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 30°$; – лінійний знос інструментів з кутом нахилу різальної кромки (40–50)°.

Застосування інструменту із кутом нахилу різальної кромки $\lambda = 40°$ дозволяє отримати найліпшу якість обробленої поверхні – при точінні таким інструментом із подачами до 0,2 мм/об параметр *Ra* не перевищує 0,60 мкм. Це пояснюється зменшенням амплітуди віброперемiщень інструменту та ступеню деформації оброблюваного матеріалу в зоні зсуву. Подальше збільшення кута нахилу призводить до зростання шорсткості.

Вивчення процесу різання косокутнім інструментом із PcBN з використанням методів планування експерименту дозволило встановити оптимальні умови обробки: – кут нахилу різальної кромки $\lambda = 40–50°$; поздовжна подача S = 0,10-0,12 мм/об; глибина різання t = 0,125–0,175 мм; швидкість різання v = 180–200 м/хв.