

О.В. Шевченко, д.т.н., проф.

М.Ю. Бальченко, студ.

Національний технічний університет України "КПІ"

ВИКОРИСТАННЯ РІЗЦЕТРИМАЧА З ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОЧІННЯ

Ефективним способом обробки важкооброблюваних матеріалів є ультразвукове різання, що здійснюється шляхом накладання ультразвукових коливань на рух різця та сприяє суттєвому зменшенню сили різання і підвищенню продуктивності обробки. У статті наведено результати досліджень ефективності використання нового пристрою для ультразвукового різання з електрострикційним віброприводом. За виконавчий орган пристрою запропоновано різцетримач з пружними елементами, що дозволяють здійснювати коливальні рухи різця в мікрометричному діапазоні напрямку швидкості різання за рахунок деформації пружних пластин різцетримача під дією силового імпульсного приводу. Джерелом ультразвукових коливань є електрострикційний вібропривід, що забезпечує коливання в діапазоні 10–20 кГц з амплітудою 10–15 мкм. Експериментальними дослідженнями підтверджена ефективність запропонованої конструкції різцетримача щодо передачі хвилі ультразвукових коливань практично перпендикулярно до осі віброприводу, що дозволяє розвантажити вібропривід від сили різання та використовувати імпульси коливань лише для деформації пружних пластин на величину амплітуди ультразвукових коливань. Пристрій забезпечує умови для обробки важкооброблюваних матеріалів, дозволяє підвищити точність обробки деталей, зменшити шорсткість оброблених поверхонь та підвищити продуктивність обробки.

Ключові слова: ультразвукове різання; різцетримач з пружною частиною; електрострикційний вібропривід; частотні характеристики; підвищення продуктивності обробки.

Постановка проблеми. У сучасному машинобудуванні все більшого поширення отримують сталі та сплави з високими показниками міцності, жаростійкості та корозійної стійкості. Ці матеріали належать до категорії важкооброблюваних, вони значно гірше піддаються обробці різанням по відношенню до звичайних конструкційних сталей. Сучасні методи різання дозволяють обробляти матеріали, що традиційно важко піддаються обробці, і при цьому отримувати суттєво вищу якість оброблених поверхонь. Однак значний розігрів різця при різанні корозійностійких та високоміцних сплавів, необхідність в охолодженні спеціальними емульсіями є проблемами, що суттєво здорожчують та ускладнюють процес обробки. Ефективним для обробки таких матеріалів є використання ультразвукового різання. Ультразвукове різання – це процес, за якого різцю за допомогою спеціального пристрою передаються високочастотні (ультразвукові) коливання, як правило, в напрямку швидкості різання [1, 2]. Експериментально встановлено, що накладання ультразвукової вібрації на рівномірний рух різця призводить до суттєвого зменшення сили різання, що спостерігається при швидкостях різання $V < a \cdot \omega$ (a , ω – амплітуда та кругова частота коливань різця) і при токарній обробці як кольорових металів і сплавів, так і при різанні корозійностійких та високоміцних сплавів [3].

При ультразвуковому різанні суттєво змінюється характер процесу обробки. Так додаткові ультразвукові коливання різця повністю виключають характерне для традиційного точіння утворення на поверхнях різця наросту при точінні кольорових металів, суттєво зменшується теплоутворення в зоні різання, практично зникає здатність технологічної оброблювальної системи верстата до збудження автоколивань.

Для впровадження у практику вібраційного різання необхідно дослідити геометрію інструменту, режими різання, визначити частоту та амплітуду коливань, встановити швидкість різання, спроектувати та виготовити вібраційний привод, що забезпечить необхідний амплітудно-частотний діапазон коливальних рухів різального інструменту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За укрупненою класифікацією [4] можна виділити наступні типи вібраційних приводів: 1) електромагнітний; 2) електрогідравлічний; 3) гідромеханічний; 4) механічний; 5) електрострикційний або магніострикційний. Серед вказаних типів вібраційних приводів для ультразвукової обробки найбільше використовують електромагнітні та електрострикційні.

Електромагнітні вібратори забезпечують високу надійність і довговічність дозволяють плавно регулювати амплітуду коливань в достатньо широкому діапазоні. Одним із основних чинників, що перешкоджають широкому використанню електромагнітних вібраторів, є те, що їх традиційні конструкції не задовольняють суперечливим вимогам високої амплітуди коливань і малого енергоспоживання. Це пов'язано з тим, що при збільшенні амплітуди коливань для того, щоб електромагнітна сила залишалася незмінною, необхідно збільшити кількість ампервитків, що призводить до значного збільшення маси і габаритів, а також підвищення енергоспоживання вібратора. Той факт, що

збуджуючі сили дуже малі, примушує налаштовувати електромагнітні вібратори на близькорезонансний режим роботи з великими коефіцієнтами резонансного підсилення. Тому сфера застосування електромагнітних вібраторів обмежується тими випадками, де дисипація енергії порівняно невелика.

У магнітострикційних або електрострикційних приводах використовують вібратори, в яких синусоїдальні електричні коливання, що поступають від ультразвукового генератора, перетворюються в механічні коливання з амплітудою в декілька мікрометрів. За допомогою концентратора амплітуда цих коливань може бути збільшена до $10\div 15$ мкм і більше.

Викладення основного матеріалу. Результати роботи. На рисунку 1 наведена схема пристрою для ультразвукового різання, що встановлюється на супорті токарного верстата і складається з різцетримача і закріпленого на ньому віброприводу з концентратором коливань. Концентратор передає коливання від п'єзокерамічних елементів приводу до різця зі збільшенням амплітуди. Розроблений пристрій реалізує переваги способу точіння з ультразвуком та має достатню статичну жорсткість, що дає можливість його використання в режимах зі значними силами різання [5].

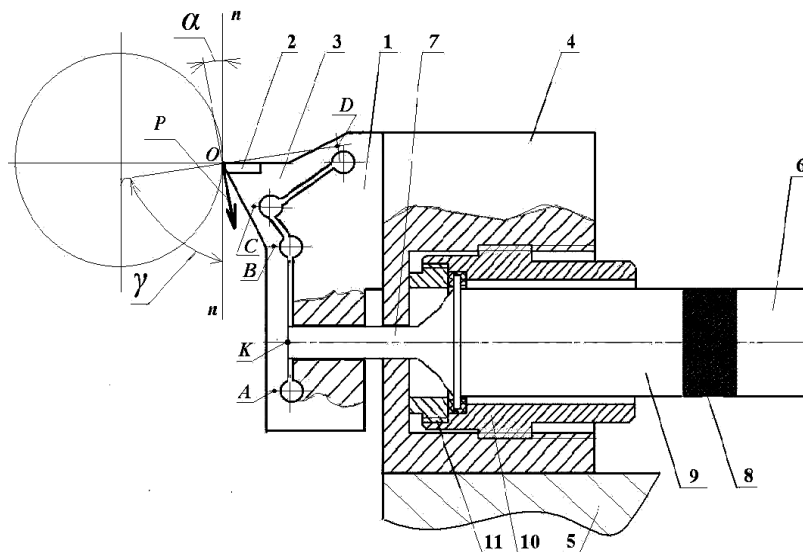


Рис 1. Пристрій для ультразвукового точіння

Пристрій складається з різцетримача 1 з різцем 2 і пружною частиною 3, корпусу 4, що жорстко зв'язаний з різцетримачем 1 та супортом 5 верстата, ультразвукового віброприводу 6 з концентратором коливань 7, що встановлений в корпусі 4 і контактує з пружною частиною 3 різцетримача в точці К. Ультразвуковий вібропривід 6 складається з пакета п'єзокерамічних елементів 8, частотознижувачої накладки 9, що з'єднана з концентратором 7 та зафіксована в корпусі різьбовими втулками 10 і 11 з можливістю регулювання натягу між торцем концентратора і пружною частиною різцетримача в точці К.

Пружна частина різцетримача утворена наскрізними пазами, що з'єднують між собою пружні шарніри А, В, С і D. Співвідношення довжин ланок АВ, ВС, CD і положення точки К контакту концентратора 7 віброприводу з ланкою АВ визначають рівень амплітуди коливань вершини різця по відношенню до амплітуди вимушених коливань віброприводу. При цьому величина кута γ між дотичною $n-n$ до оброблюваної поверхні деталі та лінією, що з'єднує вершину різця (т. О) та центр пружного шарніра D, визначає напрямок коливального руху вершини різця.

Ультразвуковий вібропривід 6 генерує високочастотні (15–20 кГц) коливання. Концентратор 7 дозволяє підвищити амплітуду коливань та передати їх пружній частині різцетримача 3. Хвиля коливань передається через т. К контакту концентратора 7 з пружною частиною 3 різцетримача на вершину різця. Різець здійснює ультразвукові коливання відносно центра D пружного шарніра. Напрямок коливального руху пружної частини різцетримача в т. К під дією віброприводу 6 знаходиться під кутом $(90^\circ - \alpha)$ до сили різання P, що мінімізує вплив навантаження від дії сили P в осьовому напрямку віброприводу 6. Це дозволяє зменшити потужність віброприводу і забезпечити умови для підвищення режимів різання і продуктивності обробки важкооброблюваних матеріалів.

На рисунку 2, а наведено загальний вигляд дослідної конструкції різцетримача. Експериментальні дослідження характеристик пружної частини різцетримача дали наступні результати: жорсткість в точці кріплення різальної пластини за напрямками дії складових сили різання складає $c_x = 100$ Н/мкм, $c_y = 260$ Н/мкм, $c_z = 97$ Н/мкм; найбільша амплітуда вільних коливань пружної частини різцетримача в напрямку швидкості різання зареєстрована на частоті $f_z = 2,0$ кГц; для переміщення вершини різця в напрямку

швидкості різання на 18 мкм необхідно навантажити пружну частину різцетримача в т. К (рис. 1) силою 1,5 кН. На рисунку 2, б наведено кругову діаграму податливості пружної частини різцетримача в точці кріплення різальної пластини. З кругової діаграми податливості видно, що осі найбільшої та найменшої податливості розвернуті проти часової стрілки по відношенню до узагальнених осей координат uoz на кут $\beta = 50$. Така орієнтація осей найбільшої і найменшої податливості забезпечує для пружної системи інструменту умову відтискання різця від деталі при збільшенні навантаження від сили різання і є основою для підвищення режимів сталого точіння.

Для керування частотою та амплітудою ультразвукових коливань розроблено спеціальний привід, блок-схема якого наведена на рисунку 3. Привід являє собою однохвильевий п'єзокерамічний перетворювач з резонансною частотою 20 кГц. Генератор приводу забезпечує регулювання рівня амплітуди та частоти коливань від 5 до 40 кГц. У коливальній системі використано п'єзокерамічні шайби типу РСМ-41 діаметрами зовнішнім 38 мм та внутрішнім 16 мм і товщиною 5 мм. Кількість шайб обирається залежно від необхідної амплітуди коливань.

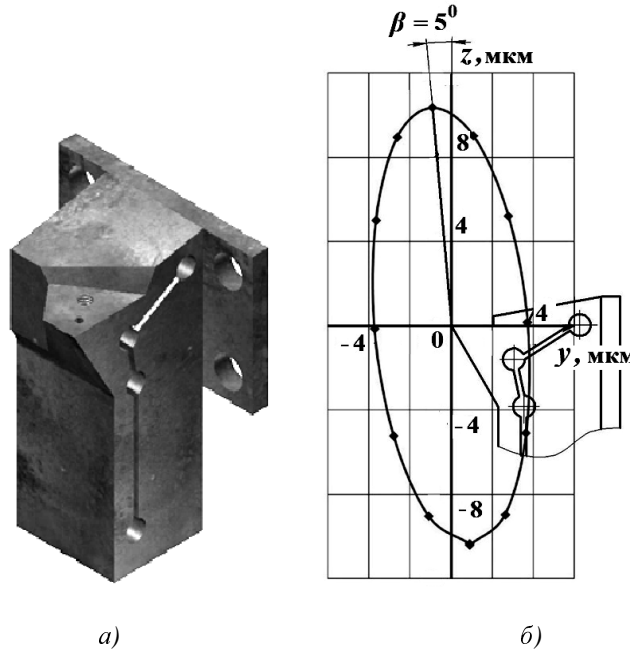


Рис 2. Загальний вигляд різцетримача (а)
та кругова діаграма податливості його пружної частини (б)
від навантаження по колу в площині uoz силою 1,0 кН



Рис. 3. Блок-схема пристрою керування

Для визначення ефективності використання пристрою для ультразвукового точіння розроблено стенд на базі токарно-гвинторізного верстата. Стенд складається з різцетримача з ультразвуковим віброприводом, що встановлений на супорті верстата, та пристрою керування. Для визначення частотних характеристик пристрою на пружній частині різцетримача встановлено п'єзоелектричний акселерометр,

з'єднаний через підсилювач і аналогово-цифровий перетворювач з комп'ютером з програмою спектрального аналізу. На рисунку 4 показано загальний вигляд стенду під час експериментальних досліджень.

На рисунку 5 наведена експериментальна амплітудно-частотна характеристика (спектр) вимушених коливань вершини різця (без різання) в напрямку складової P_z сили різання під дією ультразвукового віброприводу. Зміною частоти ультразвукових коливань визначено, що найбільшу амплітуду коливань має вершина різця за частоти 19,2 кГц. Порівняння спектрів частот коливань вершини різця та в точці контакту ультразвукового віброприводу з пружною частиною різцетримача (т. К, рис. 1) показали їх збіг за амплітудою та частотою вимушених коливань 19,2 кГц, що підтверджує ефективність конструкції різцетримача щодо передачі хвилі ультразвукових коливань практично перпендикулярно до осі віброприводу. Така схема передачі ультразвукових коливань в напрямку до вершини різця дозволяє розвантажити вібропривід від сили різання, а використовувати імпульси коливань лише для деформації пружних пластин на величину амплітуди ультразвукових коливань. В результаті вібропривід має значно меншу потужність і практично не нагрівається при обробці різанням, що зменшує тепловідлення в робочій зоні верстата.

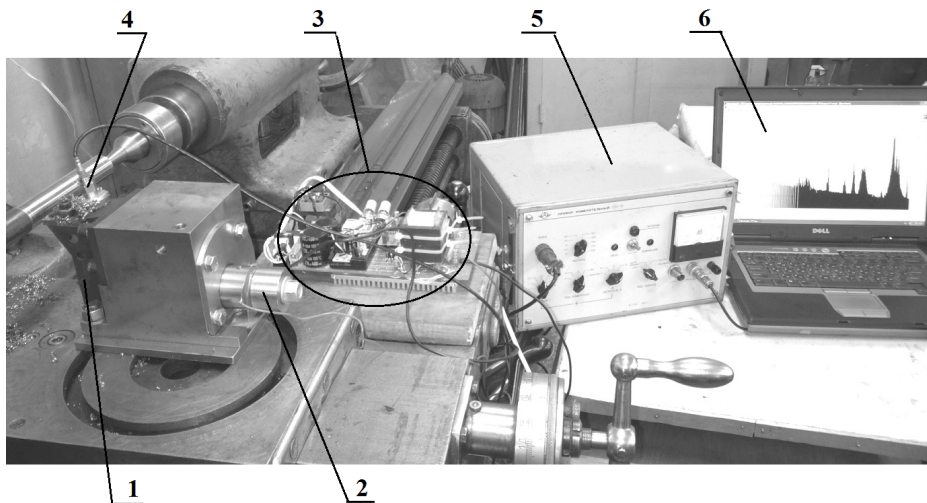


Рис. 4. Загальний вигляд стенду на базі токарно-гвинторізного верстата:
1 – різцетримач, ультразвуковий вібропривід; 3 – пристрій керування з генератором імпульсів; 4 –
п'єзоелектричний акселерометр; 5 – вимірювач шуму та вібрацій;
6 – комп'ютер з програмою спектрального аналізу

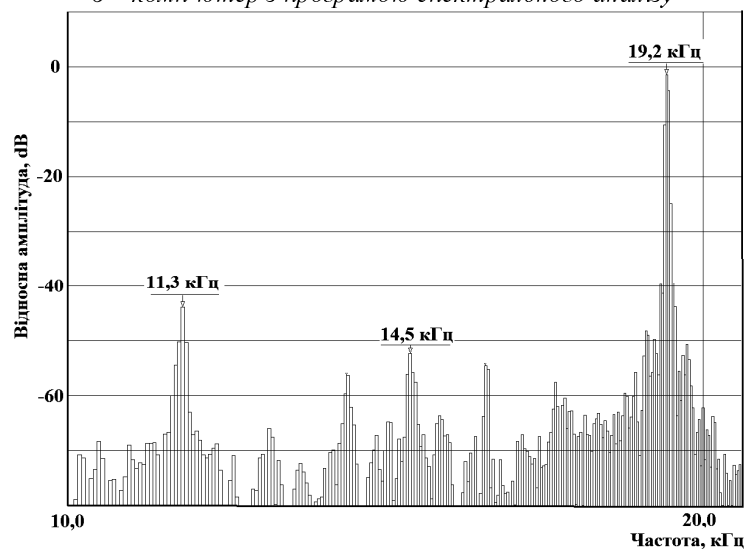


Рис. 5. Амплітудно-частотна характеристика вимушених коливань вершини різця від ультразвукового віброприводу без різання

На рисунку 6 наведено експериментальний спектр вимушених коливань вершини різця в напрямку P_z при ультразвуковому різанні. Вимірювання проводились в режимі тестування під час обробки

закріпленого в центрах валу зі сталі 45. У процесі обробки виконувалось регулювання частоти коливань віброприводу в діапазоні 10–20 кГц. Найбільшу амплітуду коливань вершини різця зареєстровано при сталому різанні на частоті 16,2 кГц. Зміна частоти ультразвукових коливань різця при різанні (16,2 кГц) по відношенню до частоти вимушених ультразвукових коливань без різання (19,2 кГц) пояснюється впливом самого процесу різання на частотну характеристику процесу. Використання розробленого пристрою для обробки важкооброблюваних матеріалів потребує подальших досліджень.

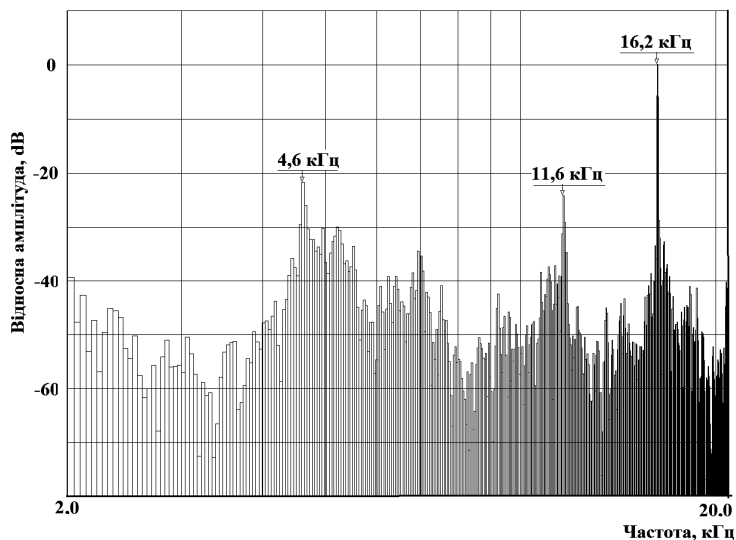


Рис. 6. Амплітудно-частотна характеристика коливань вершини різця при ультразвуковому різанні

Висновки. Для реалізації ультразвукових коливань вершини різця в напрямку швидкості різання запропоновано різцетримач, консольна частина з різцем у якого зв'язана пружними пластинами з корпусом різцетримача і дозволяє здійснювати коливальні рухи в мікрометричному діапазоні за рахунок деформації пружних пластин під дією силового імпульсного приводу. Як джерело ультразвукових коливань використано електрострикційний вібропривод, що забезпечує коливання в діапазоні 10–20 кГц з амплітудою 10–15 мкм.

Експериментальними дослідженнями підтверджена ефективність запропонованої конструкції різцетримача щодо передачі хвилі ультразвукових коливань практично перпендикулярно до осі віброприводу. Така схема передачі ультразвукових коливань в напрямку до вершини різця дозволяє розвантажити вібропривід від сили різання, а імпульси коливань використовувати лише для деформації пружних пластин на величину амплітуди ультразвукових коливань. У результаті вібропривід має значно меншу потужність і практично не нагрівається при обробці різанням, що зменшує тепловиділення в робочій зоні верстата.

Пристрій реалізує переваги способу точіння з ультразвуком за рахунок передачі ультразвукових коливань в напрямку швидкості різання, що забезпечує умови для обробки важкооброблюваних матеріалів, дозволяє підвищити точність обробки деталей, зменшити шорсткість оброблених поверхонь та підвищити продуктивність обробки. На основі цієї конструкції можуть бути розроблені пристрої для ультразвукового точіння на різні типи верстатів токарної групи як додаткове обладнання для розширення технологічних можливостей верстатів.

Список використаної літератури:

1. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов / А.И. Марков. – М. : Машиностроение, 1968. – 367 с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д.Кумабэ. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
3. Асташев В.К. Влияние ультразвуковых колебаний резца на процесс резания / В.К. Асташев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1992. – № 3. – С. 81–89.
4. Грановский Г. Резание металлов / Г.Грановский, В.Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.
5. Пристрій для ультразвукового точіння : Патент на корисну модель № 89116 : МПК В24В 1/04 ; Оpub. 10.04.2014, Бюл. № 7. – 3 с. (автори Шевченко О.В., Марковський Д.А., Бальченко М.Ю.).

6. *Киселев Е.С.* Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля : учебное пособие / *Е.С. Киселев.* – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 186 с.
7. *Уваркин П.В.* Формирование морфологии поверхности при ультразвуковой обработке конструкционной углеродистой стали / *П.В. Уваркин, Ж.Г. Ковалевская, А.И. Толмачев* // Современные проблемы машиностроения : труды IV Международ. науч.-техн. конф. – Томск : Изд-во ТПУ, 2008. – С. 189–193.
8. *Подураев В.Н.* Резание труднообрабатываемых материалов / *В.Н. Подураев.* – М. : Высшая школа, 1974. – 587 с.

ШЕВЧЕНКО Олександр Віталійович – доктор технічних наук, професор, кафедра Конструювання верстатів та машин НТУУ "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

– розробка основ проектування інструментального оснащення з пружними напрямними та орієнтованою жорсткістю для мікрорегулювання різального інструменту, вібраційної обробки та зменшення інтенсивності автоколивань в процесі різання.

Тел.: (050) 730–52–51.

E-mail: o.shevchenko@kpi.ua.

БАЛЬЧЕНКО Максим Юрійович – студент НТУУ "Київський політехнічний інститут".

Наукові інтереси:

– дослідження ультразвукової токарної обробки важкооброблюваних матеріалів.

Тел.: (093) 163–06–15.

E-mail: max.balch@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 23.07.2015