

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2024-3(37)-9-17

УДК 621.9

**Олександр Михайлович Пилипенко¹, Володимир Матвійович Ночвай²,
Валерій Анатолійович Яновський³**

¹доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації
Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: chura.pilipenko255@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-0385>

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри механічної інженерії
Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: nochvajvm@ztu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-0837>

³доцент кафедри механічної інженерії

Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: tmkts_java@ztu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1702-4282>

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ВНУТРІШНІХ КАНАВОК УЛЬТРАЗВУКОВИМ РІЗАННЯМ

У статті наведено аналіз позитивних ефектів ультразвукового різання і способів підвищення ефективності обробки внутрішніх канавок. За умов різання з накладанням вимушених коливань вплив факторів змащування та охолодження поверхонь тертя значно збільшується. При ультразвуковому різанні з накладанням вимушених вібрацій значно зменшується величина шорсткості обробленої поверхні. Запропоновано конструкцію багаторізевої спеціальної головки для обробки внутрішніх канавок. Застосування спеціальної головки дасть змогу значно підвищити якість, точність та ефективність обробки канавок завдяки зниженню впливу силових та температурних факторів на матеріал інструмента.

Ключові слова: ультразвукове різання; вимушені коливання; вібрації; різальний інструмент; ефективність обробки.

Рис.: 2. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Різання з накладанням вимушених коливань на один з компонентів технологічної системи є одним із прогресивних способів обробки матеріалів. Ідея використання ультразвукових коливань для удосконалення традиційного процесу різання розробляється уже тривалий час і на сьогодні їй присвячено велика кількість наукових праць. Разом з тим, розроблена теорія ультразвукового різання не є універсальною для всієї різноманітності видів і типів металообробки. Ефективність застосування спеціального обладнання залежить від великої кількості факторів і технологічних умов конкретного процесу різання.

Постановка проблеми. Під час ультразвукового різання підвищується оброблюваність різанням матеріалів особливо для важкооброблюваних у звичайних умовах. Оброблюваність матеріалів різанням визначається інтенсивністю зношування інструмента й опором руху різання, який оцінюється передусім за величиною сил різання та температурою.

Виготовлення труб значної довжини $L = (20...30) \cdot D$ з внутрішніми поздовжніми канавками є актуальною проблемою в умовах існуючих виробничих технологій. Головним чинником, що забезпечує працездатність труб, є якість оброблених поверхонь канавок. Традиційно використовується досить складний технологічний процес, що вміщує декілька операцій чорнової, чистової та фінішної обробки із застосуванням значної кількості громіздкого енергонасиченого верстатного та інструментального устаткування. Причиною такого підходу є неможливість реалізації високошвидкісного стабілізованого різання пазових поверхонь через їхню специфічну форму, розміри та технологічні обмеження, що накладаються на процес обробки. Особливо проблематичною стає обробка труб при застосуванні більш зносостійких, важкооброблюваних та спеціальних сплавів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед нових методів обробки є вібраційне різання, що характеризується тим, що інструменту надається коливальний рух відносно заготовки, що обробляється. Точіння з вібраціями є ефективним способом чорнкової та напівчистої обробки матеріалів різанням. Спосіб забезпечує надійне стружкодроблення та підвищення стійкості різального інструменту при використанні мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) [1; 2]. При правильному виборі напрямку коливань, їхньої частоти та амплітуди використання вібраційного різання гарантує злам стружки. Застосування вібраційного різання покращує низку найважливіших технологічних показників. Створюються передумови для поліпшення оброблюваності матеріалів, а також підвищення стійкості інструменту [3; 4]. Підвищити ефективність процесу можна, використовуючи високочастотні вібрації, спрямування яких співпадає з напрямком тангенційної складової сили різання. Це дозволяє підвищити швидкість різання, стійкість інструменту, знизити сили різання та шорсткість поверхні [3; 4].

Необхідно зазначити, що при вібраційному різанні також підвищується ефективність дії МОР і обробки взагалі [1; 2]. Точність обробки зберігається такою самою, як і при звичайному точінні [1].

Стабільне вібраційне різання може відбуватися із частотою, близькою до частоти власних коливань верстата – (200...1000 Гц) або інструмента (1...10 кГц) [5]. Застосовують два види цього процесу: оброблення з накладенням коливань низької частоти (до 200 Гц), метою якого є подрібнення стружки; оброблення з накладенням коливань малої амплітуди ($a = 5...10$ мкм) і ультразвукової частоти ($f = 15...50$ кГц), які приводять до поліпшення оброблюваності) [5].

Загальні закономірності вібраційного різання такі: короткочасна періодична зміна миттєвих швидкостей і кутів різання; змінні циклічні навантаження на матеріал, які обумовлені змінними швидкостями і кутами різання; зниження коефіцієнтів і сил тертя на майданчиках контакту інструмента зі стружкою і оброблюваною деталлю. Приведені особливості різання покращують умови роботи інструмента. У результаті дії примусових коливань знижується рівень сил і температури різання [6].

Застосування МОР також зменшує сили різання. В основі дії МОР на процес різання лежать три ефекти: змащувальний, охолоджуючий і миючий [7]. Для охолодження крім рідин застосовують також газові засоби (кисень, повітря, вуглекислоту, азот), які у вигляді струменя підводяться в зону різання [7].

Дослідження в напрямку вібраційного різання важкооброблюваних матеріалів, з використанням автоколивань та накладенням вимушених коливань є актуальними. Дослідження полягають в необхідності оптимізації технологічних параметрів вібраційного різання для забезпечення вимог, що задаються конструкторською документацією [8].

Вібраційне різання відбувається за рахунок використання вібраційного та віброударного обладнання. Робота цього обладнання відбувається за єдиною структурною схемою, а саме: від джерела енергії, привода енергоносія та системи елементів управління і розподілення енергії. Енергія передається на привід генератора вібрацій, який з'єднаний з виконавчою робочою ланкою, і на привід допоміжних робочих ланок [9]. З усіх типів віброзбуджувачів пневматичні є найбільш поширеною групою. Пневматичні віброзбуджувачі використовують енергію стиснутого повітря і працюють від стандартних промислових пневмосистем з тиском $2...7$ кгс/см² [9].

Віброзбуджувачі з пульсатором використовують при частотах до 15 Гц, значних амплітудах (20...30 мм). Діапазон частот автоколивальних віброзбуджувачів знаходиться в межах 15...60 Гц, а відцентрових – 20...4000 Гц [9].

Одним з поширених видів обробки на токарних верстатах є обробка консольним інструментальним оснащенням, до якого належать оправки, різцетримачі, борштанги [4]. Особливістю обробки консольним інструментом є висока ймовірність виникнення вібрацій при різанні, що знижує точність, якість та продуктивність обробки деталей, обмежує технологічні можливості верстатів [4].

У роботі [10] приведено особливості гібридних технологій лезової обробки деталей з покриттями, в т.ч. обробка з накладенням на різальний інструмент високочастотних коливань. Частотний діапазон примусових високочастотних коливань визначається з умов якісних змін у процесі стружкоутворення, коли вібраційна швидкість перевищує швидкість різання [10].

Автори зазначають, що використання частоти коливань > 25 кГц ускладнює технологію виготовлення магніостриктора та потребує суттєвого збільшення його потужності [10]. Автори роботи [10] рекомендують при конструюванні та виготовленні вібратора для вібротехнічної обробки покриттів набувати амплітудне значення коливань у межах $5 \dots 10$ мкм та частоту в межах $18 \dots 20$ кГц.

Розрахункова потужність магніостриктора становить $100 \dots 120$ Вт, що відповідає значенням питомої енергоємності стружкоутворення для покриттів [10].

Метою статті є підвищення ефективності обробки внутрішніх канавок шляхом використання комбінованого методу обробки: багаторізцевим інструментом із накладанням на нього вимушених коливань.

Виклад основного матеріалу.

1. Доцільність використання ультразвукового різання.

У сучасних умовах промислового виробництва найбільш розповсюдженою є обробка поздовжніх за технологічним процесом, що вміщує операції чорнового, напівчистового та чистового різання спеціальним інструментом у вигляді борштанги з наступним хонінгуванням у поздовжньому напрямку.

Основними недоліками такого підходу є:

- низька продуктивність обробки і значний штучний час;
- зниження точності обробки через зниження жорсткості деталі;
- збільшення шорсткості, хвилястості та наявність подряпин на оброблених поверхнях через інтенсивне утворення наросту на поверхні інструменту;
- неможливість усунення дефектів обробки наступними фінішними операціями.

Вказані недоліки є наслідками реалізації низької швидкості різання ($V = 10 \dots 20$) м/хв), що притаманна традиційній технології виготовлення внутрішніх канавок значної довжини. Відомо, що під час швидкісного різання закон зміни сили різання можна описати наступною залежністю: $P(t) = P_{cp} + p \cdot \sin(\omega t)$, P_{cp} – середнє значення опору різання; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота коливань різця; p – амплітудне значення змінної складової сили різання; $p \cdot \sin(\omega t)$ – поточне значення змінної складової сили різання.

При цьому значна частина роботи постійної складової різання P_{cp} витрачається на виділення тепла. Перпендикулярна складова сили різання P_{xcp} діє у напрямку притиску різця до деталі. При цьому пружні коливання, що виникають у процесі різання, призводять до зниження точності й утворення задирків.

У процесі поглиблення канавки величина P_{cp} поступово збільшується і підсилюється вплив збурюючих факторів. У результаті шорсткість оброблених поверхонь зростає і якість погіршується. У цій ситуації бажано створити такі умови різання, при яких параметри коливального руху різця не залежали б від глибини канавки. Традиційно, за

таких умов різними методами і способами намагаються мінімізувати вплив хаотичних вібрацій на процес механічної обробки. Вирішення такої задачі є складним і залежить від багатьох факторів.

Застосування ж ультразвукового різання (різання з накладанням вимушених вібрацій регулярного характеру) дає можливість отримувати сили різання імпульсного характеру без надмірного притиску інструмента до деталі. Через малу тривалість силового імпульсу напруження зосереджується перед різальною кромкою різця і процес пластичної деформації набуває більш сконцентрованого характеру. За таких умов можна досягнути заданої шорсткості, що здебільшого визначається геометричними параметрами різця і мало залежить від глибини різання t . Теоретично величину шорсткості можна розрахувати за формулою:

$$R_{\max} \approx \frac{S}{4 \cdot r_B} \cdot \Delta S + \frac{\Delta t}{2},$$

де S – величина подачі; ΔS – зміна величини подачі; Δt – зміна глибини різання;
 r_B – радіус закруглення вершини різця.

Під час ультразвукового різання, завдяки ефекту нечутливості до хаотичних вібрацій, величини ΔS та Δt теоретично прямують до нуля. Реальна величина шорсткості наближатиметься до мінімальної. Завдяки стабілізації коливальних вібрацій різальної кромки інструмента відбувається більш ефективно розбиття зрізаного шару на дрібні елементи сколювання, що підвищує якість обробленої поверхні.

2. Напрямок коливального руху при ультразвуковому різанні.

Найпростішими з точки зору реалізації є колювання обертальні або поступальні уздовж однієї з координатних осей. Кожен із цих видів має певні переваги і недоліки. Виходячи з конкретної схеми різання і обмеженості в габаритах інструментального блоку найбільш доцільним є реалізація коливальних згинів у напрямку швидкості різання. Необхідно відмітити, що в коливальній системі виникатимуть головна P_z та перпендикулярна P_x складові сили різання. Напрямок P_z співпадає з напрямком поздовжніх коливальних вібрацій. За рахунок складової P_x виникає пружна деформація елементів кріплення інструмента. В результаті знижується міцність кріплення і різальна кромка починає вібрувати в перпендикулярному напрямку. Таким чином на колювання згину накладаються поздовжні колювання і різальна кромка здійснює кругові коливальні рухи. У результаті цього процесу виникають ударні навантаження на задній поверхні різця, які прискорюють зношення інструменту та знижують його стійкість.

У даній ситуації більш доцільним є розробка пристроїв, які б усували дані недоліки шляхом стабілізації положення різального леза. Таким може бути пристрій, коливальна система якого показана на рис. 1.

Різець, що здійснює колювання згину, відігнутий до напрямку рівнодійної сили різання. Кут нахилу можна визначити за формулою:

$$\Theta = \arctg(P_x / P_z).$$

Центральна вісь колювання розташована нормально до напрямку дії рівнодійної сил різання і співпадає із напрямком вимушених коливальних вібрацій різця. Таким чином можна значно зменшити величину неперіодичних коливальних вібрацій різального леза, що спричинені динамічними характеристиками технологічної системи.

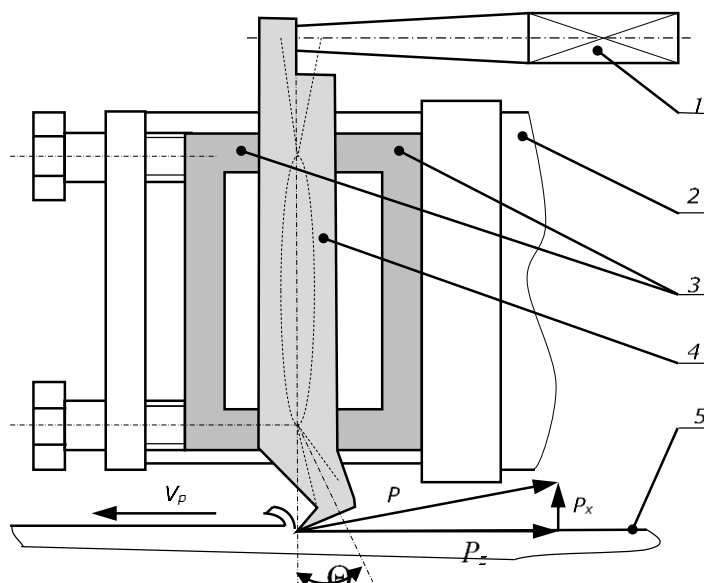


Рис. 1. Схема згину з відігнутим різцем:

1 – вібратор поздовжніх коливань; 2 – різцетримач; 3 – притискові пластини;
4 – різець; 5 – оброблена поверхня

Джерело: розроблено авторами.

3. Вплив мастильно-охолоджувальної рідини на процес ультразвукового різання.

Основні фактори дії мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) полягають у змашуванні та охолодженні поверхонь тертя, диспергуванні в зоні стружкоутворення, фізико-хімічному впливі на оброблену поверхню та вимиванні стружки із зони різання. За умов різання з накладанням вимушених коливань вплив цих факторів значно збільшується. Під час обробки внутрішніх пазових поверхонь забезпечення ефективної дії МОР є проблематичним через недостатню проникність МОР в зону різання. В окремих випадках вимушено використовують заповнення внутрішньої порожнини деталі рідиною під тиском, що спричинює додаткові технологічні труднощі.

Впровадження ультразвукового різання для вказаної обробки дає можливість розширити доступ МОР до зони різання шляхом використання переривчастого контакту та капілярних ефектів на робочих поверхнях. Завдяки цьому стає можливим використання в якості МОР спеціальних суспензій, що ефективно екранують і термоізолюють контактні площини.

Дослідженнями встановлено, що найвагомим фактором дії МОР при ультразвуковому різанні є не охолоджувальна її властивість, а мастильне плівкоутворення. Під час різання без вібрацій мастильна плівка надійно екранує лише 40 % рухомої площі контакту інструмента з оброблюваним матеріалом, тоді як переривчасте різання забезпечує повне змочування різального клину інструменту.

Склад МОР за таких умов має визначальний вплив на процес різання. Після тривалих випробувань найбільшою ефективністю відзначився склад з молібденітовою суспензією (дисульфід молібдену і графіт з оливою), характеризувався найбільшою міцністю плівки при максимальній адгезійності. Застосування МОР такого складу є рекомендованим для роботи спеціалізованого обладнання для ультразвукового різання поздовжніх внутрішніх канавок. Такий підхід дає змогу значно зменшити температуру в зоні різання.

4. Обладнання для ультразвукової обробки внутрішніх прямолінійних канавок.

Для реалізації ультразвукового різання під час обробки внутрішніх поздовжніх канавок у трубних заготовках значної довжини пропонується спеціалізоване обладнання на

основі спеціальної багаторізевої головки (ГБС). ГБС призначена для обробки поздовжніх прямих та гвинтових внутрішніх канавок значної довжини методом стругання з накладанням вимушених коливань.

ГБС (рис. 2) складається з трубчастого корпусу 1, всередині якого розміщені основні вузли: магнітостриктор (М) та гідравлічний генератор імпульсів (ГГІ). У передній частині корпусу знаходиться інструментальний блок 4 з комплектом різцевих вставок 6, що фіксується у визначених вузлових точках за допомогою напрямної цапфи 5. Внутрішня порожнина корпусу розділена герметично на напірну камеру А та зливну Б.

З метою зменшення інерційності всього пристрою, камеру А можна замінити окремим напірним трубопроводом, що приєднується до каналу В. Корпус має також дренажні Д і Е та вихлопні канали Г для видалення відпрацьованої рідини й повітря з головки. Оброблювана деталь 2 базується по зовнішній циліндричній поверхні з упором по торцю. Обидва торці герметизовано для централізованого видалення рідини та повітря, а також з метою покращення шумопоглинання.

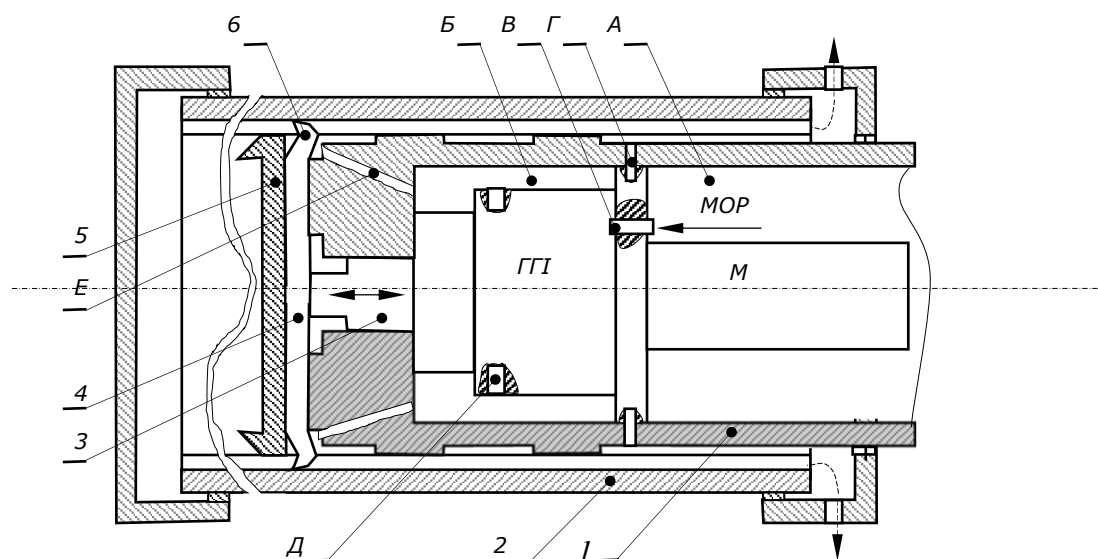


Рис. 2. Головка багаторізева:

1 – корпус трубчастий; 2 – оброблювана деталь; 3 – бойок;
4 – інструментальний блок; 5 – цапфа напрямна; 6 – різцеві вставки;
А – напірна камера; Б – зливна камера; В – канал; Г – вихлопний канал;
Д, Е – дренажні канали

Джерело: розроблено авторами.

Магнітостриктор М генерує коливання частотою 20 кГц, які передаються до циліндричного золотника ГГІ. ГГІ керує реверсивним зворотно-поступальним рухом поршня. Бойок 3, що з'єднаний з поршнем ГГІ, періодично ударяє по центру різцевого диска 4. Це призводить до виникнення коливань згину поперечних до диску і утворення в процесі обробки стоячих хвиль необхідної довжини. Різцеві вставки закріплені під кутом до напрямку швидкості різання з метою усунення надмірного тертя та заклинювання інструмента по задній поверхні при зворотному вигині.

Через наявність вимушених коливань різального клину проходить додаткове тепловиділення, що компенсується диференційованою подачею МОР у вказані точки через канали Е. Проте загальне тепловиділення при ультразвуковому різанні менше ніж за умов традиційного різання, що є наслідком зміни схеми різання та механізму деформації зрізуваного шару.

Основна частина потоку відпрацьованої рідини видаляється уздовж канавок у зворотному напрямку і, змішуючись з потоком відпрацьованого повітря від каналу L , інтенсивно очищує оброблені поверхні від залишків стружки та забруднень. Регулювання робочих параметрів ГБС здійснюється зміною тиску в гідросистемі при відповідній швидкості головного руху.

Запропонована конструкція ГБС дає змогу значно підвищити якість, точність та продуктивність обробки канавок завдяки зниженню впливу силових та температурних факторів на матеріал інструмента. Зменшення нагріву різального клину у поєднанні з його короткочасним періодичним контактом з матеріалом заготовки значно зменшить інтенсивність наростуотворення і підвищить якість оброблюваних поверхонь.

Використання позитивних ефектів ультразвукового різання досягається завдяки запропонованій конструкції ГБС без значних додаткових матеріальних та енергетичних витрат з більш раціональним використанням вихідних потужностей, що застосовуються у базовій технології виготовлення канавок. Використання комбінованого методу обробки (стругання багаторіздцевим інструментом із накладанням вимушених коливань) при обробці внутрішніх канавок трубчастих заготовок забезпечить:

- перехід від низькошвидкісного традиційного різання до ультразвукової обробки;
- підвищення якості і точності оброблюваних поверхонь;
- інтенсифікацію дії МОР та підвищення стійкості інструмента;
- підвищення продуктивності за умов збереження якості обробки;
- зниження енерговитрат при використанні ультразвукового обладнання.

Висновки.

1. Якісна продуктивна обробка внутрішніх канавок значної довжини у важкообробних матеріалах викликає значні труднощі за умов традиційних технологій виготовлення.

2. Підвищення ефективності обробки внутрішніх канавок можливе при використанні комбінованого методу: стругання багаторіздцевим інструментом із накладанням на нього вимушених коливань.

3. Розроблено оригінальний різальний інструмент для обробки внутрішніх канавок комбінованим методом – головку багаторіздцеву спеціальну з гідроприводом. Для накладання вібрацій використано гідравлічний генератор імпульсів, яким керує магнітострикційний перетворювач (вібратор). В останньому високочастотні електричні коливання частотою 20 кГц перетворюються в механічні тієї ж частоти. При цьому інструментальний блок повинен мати відповідну жорсткість.

4. Для забезпечення ультразвукової обробки ГБС має такі технічні характеристики:

– вимушені коливання накладаються на різальний інструмент як компонент технологічної системи;

– для успішного протікання ультразвукового стругання використано прикладення вимушених вібрацій за коливальною системою згинного типу. При цьому напрямок вектора швидкості при ультразвуковому різанні повинен бути протилежним напрямку рівнодійної сили різання;

– оптимальна частота коливань ГБС 20 кГц, що забезпечує ультразвукове різання з необхідною швидкістю V_p при амплітуді $a = 5$ мкм.

Список використаних джерел

1. Мартиненко, О. Д. Підвищення якості обробки деталей автомобілів за рахунок використання низькочастотних вібрацій / О. Д. Мартиненко, С. В. Лисенко // Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (1-2 грудня 2022 р.). – Харків : ДБТУ, 2022. – С. 117-118.

2. Шевченко, О. В. Ефективність ультразвукової токарної обробки / О. В. Шевченко, С. А. Манзюк // Вібрації в техніці та технологіях: тези доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції (11-12 жовтня 2018 р.). – Дрогобич, Посвіт, 2018. – С. 111-112.

3. Солодовник, Є. В. Технологічні особливості застосування вібрацій при механічній обробці / Є. В. Солодовник, С. В. Лисенко, О. Д. Мартиненко // Молодь і технічний прогрес в АПВ : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, (23-24 листопада 2023 р.). – Харків : ДБТУ, 2023. – С. 485-488.

4. Шевченко, О. В. Спеціальне інструментальне оснащення для розширення технологічних можливостей токарних верстатів / О. В. Шевченко, А. Ю. Беляєва // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2018 : матеріали тез доп. VIII Міжнародної науково-практичної конф. (10-12 травня 2018 р.) : у 2-х т. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 57-59.

5. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М. П. Мазур, Ю. М. Внуків, А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. О. Залога, Ю. К. Новосолов, Ф. Я. Якубов ; за ред. М. П. Мазура. – 3-є вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.

6. Теорія різання [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с. – Режим доступу: <https://km.kpi.ua>nauka>monograiyyi-pidruchnyky>.

7. Теорія різання та інструмент : навчальний посібник / Н. Р. Веселовська, Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. М. Ковальова. – Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2018. – 297 с.

8. Омелянов, О. М. Перспективи застосування вібрації при різанні матеріалів / О. М. Омелянов, Ю. А. Полевода, М. А. Замрій // Вібрації в техніці та технологіях. – 2021. – № 1 (100). – С. 104-114.

9. Паладійчук, Ю. Б. Типи і конструкції віброзбуджувачів сучасного машинобудування / Ю. Б. Паладійчук, І. А. Телятник // Вібрації в техніці та технологіях. – 2022. – № 4 (107). – С. 26-35.

10. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец, А. М. Пилипенко, Ю. А. Мельничук, В. В. Бурякин ; под общ. ред. С. А. Клименко. – Київ : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

References

1. Martynenko, O.D., & Lysenko, S.V. (2022). Pidvyschennia yakosti obrobky detalej avtomobiliv za rakhunok vykorystannia nyz'kochastotnykh vibratsij [Improving the quality of processing car parts due to the use of low-frequency vibrations]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Avtomobil'nyj transport v ahrarnomu sektori: proektuvannia, dyzajn ta tekhnolohichna ekspluatatsiia"* – Road transport in the agricultural sector: planning, design and technological operation (pp. 117-118). DBTU.

2. Shevchenko, O.V., & Manziuk, S.A. (2018). Efektyvnist' ul'trazvukovoi tokarnoi obrobky [Effectiveness of ultrasonic turning processing]. *Tezy dopovidei XVII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh"* – Abstracts of reports of the XVII International Scientific and Technical Conference "Vibrations in Engineering and Technologies" (pp. 111-112). Posvit.

3. Solodovnyk, Ye.V., Lysenko, S.V., & Martynenko, O.D. (2023). Tekhnolohichni osoblyvosti zas-tosuvannia vibratsij pry mekhanichnij obrobtsi [Technological features of the use of vibrations during mechanical processing]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Molod' i tekhnichnyj prohres v APV"* – Materials of the International scientific and practical conference "Youth and technical progress in the APV" (pp. 485-488). DBTU.

4. Shevchenko, O.V., & Beliaieva, A.Yu. (2018). Beliaieva Spetsial'ne instrumental'ne osnaschen-nia dlia rozshyrennia tekhnolohichnykh mozhlyvostej tokarnykh verstativ [Special tool equipment for expanding the technological capabilities of lathes]. *Tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo- praktychnoi konferentsii "Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system – 2018"* – Abstracts of reports of the 8th International scientific and practical conference "Complex qual-ity assurance of technological processes and systems" (pp. 57-59). ChNTU.

5. Mazur, M.P., Vnukov, Yu.M., Hrabchenko, A.I., Dobroskok, V.L., Zaloha, V.O., Novosolov, Yu.K., & Yakubov F.Ya. (2020). *Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of material cutting theory]*. Novyi Svit-2000.

6. Hloba, O.V., Vovk, V.V., Krasnovyd, D.A., & Solodkyj, V.I. (2022). *Teoriia rizannia [Cutting theory]*. KPI im. Ihoria Sikors'koho. <https://km.kpi.ua>nauka>monograiyyi-pidruchnyky>.

7. Veselovska, N.R., Iskovych-Lototskyi, R.D., & Kovalova, I.M. (2018). *Teoriia rizannia ta instrument [Theory of cutting and tools]*. Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet.

8. Omel'ianov, O.M., Polievoda, Yu.A., Zamrii, M.A. (2021). Perspektyvy zastosuvannia vibratsii pry rizanni materialiv [Prospects for using vibration when cutting materials]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology*, (1(100)), 104-114.

9. Paladiichuk, Yu.B. (2022). Typy i konstruksii vibrozbudzhuvachiv suchasnoho mashynobuduvannia [Types and designs of vibration exciters of modern mechanical engineering]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology*, (4(107)), 26-35.

10. Klimenko, S.A., Kolomiets, V.V., Hejfec, M.L., Pilipenko, A.M., Melniichuk, Ju.A., & Burykin, V.V. (2011). *Obrabotka rezaniem detalej s pokrytijami [Cutting of coated parts]*. ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy.

Отримано 01.10.2024

UDC 621.9

Oleksandr Pylypenko¹, Volodymyr Nochvai², Valery Yanovsky³

¹Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles and Technologies of Their Operation
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: chura.pilipenko255@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1200-0385>

²PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: nochvajvm@ztu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3742-0837>

³Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: tmkts_java@ztu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1702-4282>

INCREASING THE EFFICIENCY OF PROCESSING INTERNAL GROOVES BY ULTRASONIC CUTTING

Production of pipes with internal longitudinal grooves is an urgent problem in the conditions of existing production technologies. The use of new types of materials in industry requires the study of machining processes intensification based on the use of the latest cutting methods. The article provides an analysis of the positive effects of ultrasonic cutting and methods of increasing the efficiency of processing internal grooves. During ultrasonic cutting with the imposition of forced vibrations, the roughness of the treated surface is significantly reduced. Under the conditions of cutting with the imposition of forced oscillations, the influence of lubrication and cooling of the friction surfaces increases significantly. This is especially true for the intermittent cutting process. It should be noted that the main and perpendicular components of the cutting force will appear in the oscillating system. Longitudinal oscillations overlap bending oscillations and the cutting edge performs circular oscillatory movements. This leads to shock loads on the back surface of the cutter, which accelerates tool wear. In order to eliminate this shortcoming, it is proposed to place the central axis of oscillation normal to the direction of action of the uniform cutting forces. In addition, the direction of the central axis of oscillation must coincide with the direction of forced oscillations of the cutter. In this way, it is possible to significantly reduce the amount of non-periodic oscillations of the cutting blade caused by the dynamic characteristics of the technological system. The design of a multi-cutting special head for processing internal grooves is suggested. The use of a special head will make it possible to significantly increase the quality, accuracy and efficiency of groove processing due to the reduction of the influence of force and temperature factors on the tool material.

Keywords: ultrasonic cutting; forced oscillations; vibrations; cutting tool; processing efficiency.

Fig.: 2. **References:** 10.