



Омельянов О. М.
асистент

Полевода Ю. А.
к.т.н., доцент

Замрій М. А.
магістрант

**Вінницький національний
аграрний університет**

Omelyanov O.

Polievoda Y.

Zamrii M.

**Vinnitsia National Agrarian
University**

УДК 621.921

DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-10

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЇ ПРИ РІЗАННІ МАТЕРІАЛІВ

Віброрізання вважається одним з ефективних способів точіння заготовок з важкооброблюваних матеріалів. Раціональне призначення режимів різання при віброточінні дозволяє підвищити період стійкості металорізального інструменту, сприяє створенню умов для забезпечення постійного стружкодроблення. При різанні матеріалів на верстатах токарної групи з накладанням коливань на ріжучий інструмент, в зоні різання виникають процеси, відмінні від процесів, що виникають при точінні без коливань.

У статті розглянуті можливості застосування вібраційних коливань при різанні матеріалів. В даний час в машинобудуванні широко використовуються нові матеріали, що мають високі характеристики міцності, в'язкості та пластичності, з підвищенням яких погіршується оброблюваність: збільшуються сили різання та ефективна потужність, що витрачаються на різання; погіршується якість шорсткості поверхні; знижується період стійкості різального інструменту; збільшується кількість теплоти утвореної в зоні різання та змінюється характер її розподілу на поверхнях заготовки та інструменту; процес утворення стружки, її усадка та тип; інтенсивність процесу утворення наросту та його форма. У зв'язку з цим виникає питання про пошуки раціональних способів обробки, зокрема механічної обробки різанням на токарних верстатах.

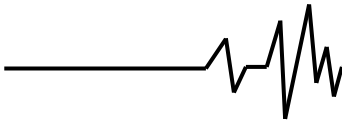
В даній науковій роботі обґрунтовано застосування низькочастотних коливань, що полягає в комплексній вібраційній дії на процес різання із забезпеченням дроблення суцільної стружки, зняття наросту з вершини різця та перешкоджаючи його утворенню, при цьому забезпечуючи отримання заданої шорсткості обробленої поверхні та збільшення періоду стійкості різця. Дослідницька робота в даному напрямку є актуальною і потребує подальших досліджень.

Ключові слова: вібраційне різання, вимушені коливання, параметри віброрізання, стружкоутворення, шорсткість поверхні.

Вступ. В даний час в машинобудуванні широко використовуються нові матеріали, що мають високі характеристики міцності, в'язкості та пластичності, з підвищенням яких погіршується оброблюваність: збільшуються сили різання та ефективна потужність, що витрачаються на різання; погіршується якість шорсткості поверхні; знижується період стійкості різального інструменту; збільшується кількість теплоти утвореної в зоні різання та змінюється характер її розподілу на поверхнях заготовки та інструменту;

процес утворення стружки, її усадка та тип; інтенсивність процесу утворення наросту та його форма. У зв'язку з цим виникає питання про пошуки раціональних способів обробки, зокрема механічної обробки різанням на токарних верстатах.

Механічна обробка різанням на токарних верстатах є основним видом механічної обробки деталей з подібних матеріалів. В даний час існує декілька різновидів токарної обробки з введенням в зону різання додаткового впливу, механічного,



термічного, хімічного та ін.: вібраційне різання з різними частотами коливань ріжучого інструменту; обробка з використанням випереджаючого пластичного деформування; плазмово-механічна обробка; обробка з попереднім підігрівом; обробка з використанням в процесі різання поверхнево-активних матеріалів. Кожен з перерахованих методів обробки має свої недоліки, що обмежують його застосування. Менше число недоліків має вібраційне різання.

Проблемами вібраційного різання важкооброблюваних матеріалів, з використанням автоколивань та накладенням вимушених коливань з різними амплітудно-частотними параметрами від низькочастотних коливань до ультразвукових займалося обмежене число дослідників [1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17].

Дослідження в даному напрямку є актуальними і полягають в необхідності оптимізації технологічних параметрів вібраційного різання для забезпечення вимог, що задаються конструкторською документацією, до оброблюваного виробу, що дозволить застосовувати вібраційне різання на всіх стадіях виготовлення виробів з важкооброблюваних матеріалів.

Формування мети досліджень. Метою дослідження є оптимізація режимів вібраційного точіння, виражених через узагальнену функцію вібраційного впливу, для досягнення мінімуму шорсткості обробленої поверхні.

Виклад основного матеріалу. Значна кількість виробів машинобудівного виробництва містить деталі з важкооброблюваних матеріалів, які мають підвищену міцність та зносостійкість. При обробці робочих поверхонь деталей з таких матеріалів необхідно забезпечення відповідної шорсткості.

Різання різних матеріалів на токарних верстатах супроводжується утворенням різних явищ в зоні різання, які впливають на процес різання, стійкість металообробного токарного інструменту та висоту мікронерівностей шорсткості обробленої поверхні заготовки. Одним з таких явищ прийнято вважати процес наростоутворення. Виходячи з матеріалів історичних джерел, що стосуються процесу наростоутворення та властивостей самого наросту, думки вчених розходяться. Реалії сьогодення такі, що наростоутворення досі залишається одним з проблемних об'єктів дослідження теорії та практики механічного різання матеріалів.

З літературного огляду найбільшої уваги заслуговують дослідження Г.І. Грановського та ін. [5], в яких авторами були описано вплив системи зовнішніх сил і сили тертя та адгезії.

Інтерес до процесу наростоутворення з'явився при пошуку ефективних способів інтенсифікації різання важкооброблюваних

матеріалів: нержавіючих та жаростійких сталей, сплавів на основі титану та т. п. [7]. В результаті експериментів автори виявили, що оброблену поверхню можна розділити на кілька зон, які включали в себе п'ять стадій наросту.

В роботі [5] колективом вчених під керівництвом Г.І. Грановського з застосуванням моделі, отриманої В.Д. Кузнецовим, були проведені дослідження процесу формування наростів в умовах сухого тертя. Багаторазові дослідження з моделювання в умовах сухого тертя показали, що зі збільшенням тиску в зоні різання швидкість ковзання зменшується, при цьому число наростів на однаковій довжині зростає, а при збільшенні швидкості ковзання кількість наростів зменшується.

У працях В.Ф. Боброва [8] були представлені матеріали широких досліджень, що стосуються механічної обробки металів різанням.

З результатів аналізу літературного огляду відомих публікацій, що стосуються дослідження процесу утворення наросту, можна сказати, що процес утворення наросту неконтрольований, сприяє виникненню труднощів при точінні заготовок та виконанні вимог конструкторської документації до оброблюваної поверхні, шляхом задання глибини різання та висоти мікронерівностей шорсткості поверхні.

У дослідженнях [11], виконаних Н.В. Талантовим та ін. було вивчено вплив контактної взаємодії на механізм зносу ріжучої поверхні інструменту.

Негативний вплив наросту на стійкість металорізального інструменту та висоту мікронерівностей шорсткості знайшло підтвердження в подальших дослідженнях [5].

У дослідженнях [12] проведених Ліпатовим А.А. було вивчено контактна взаємодія передньої поверхні ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом заготовки, під час переходу процесу наростоутворення до пластичного контакту при збільшенні швидкості різання.

З аналізу наведених результатів досліджень по формуванню наростів доцільно вважати циклічний характер утворення, який залежить від різних чинників: марок оброблюваного та інструментального матеріалів, подачі, швидкості та глибини різання, геометричної форми ріжучої кромки та стружколомаючої канавки інструменту. При цьому нарост двояко впливає на процес точіння та стійкість металорізального інструменту.

У дослідженні А.В. Панкін встановив своєрідне явище (властиве сталі, середньої твердості або виникає при обробці зі значною величиною зрізаного шару заготовки), яке пов'язане з виникненням випереджаючої тріщини перед вершиною ріжучого інструменту. Утворення випереджаючої тріщини характерно



для сталей, які були термічно оброблені: нормалізація або поліпшення, в результаті чого отримали властивості структури, при якій руйнування відбувається краще за зернам, ніж по прошаркам.

Для пластичних та менш твердих матеріалів, утворення випереджаючої тріщини не відбувається. Також, відсутність випереджаючої тріщини властиво при обробці різанням на високих швидкостях.

У дослідженнях [11] автори дотримуються протилежної теорії, в якій не спостерігається утворення випереджаючої тріщини.

Розбіжність думок вчених в питанні виникнення випереджаючої тріщини говорить про те, що проведені дослідження не мали загальної методики та не враховувалися всі фактори, що чинять значний вплив.

З результатів досліджень [10-12] авторами була відзначена, концентрація напружень біля ріжучої кромки інструменту, що залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу, яка приводила до утворення двох типів процесів руйнування. Якщо матеріал з пластичними властивостями - у вершини утворюється пластична зона. У матеріалів з пружними властивостями відбувається утворення випереджаючої тріщини, матеріал руйнується від сколювання. Автори відзначають, що при подальшій обробці пружно-пластичних матеріалів спільна дія деформації стиску та згинання може викликати руйнування по одному з двох напрямків (рис. 1.).

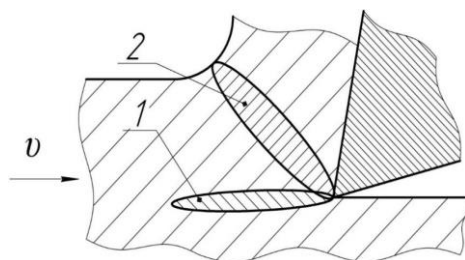


Рис. 1. Напрямок можливих руйнувань

1 - руйнування пружно-пластичних матеріалів, 2 - руйнування крихких матеріалів

Ю.Г. Кабалдін та ін. досліджували процес завивання стружки, для управління ним, в умовах виробництва. В результаті аналізу отриманих експериментальних даних, по численним експериментам, були визначені основні залежності, що впливають на завивання стружки.

М.Ф. Полетика в дослідженнях розглянув процес стружкоутворення в залежності від властивостей матеріалу. Випробування проводилися на різних матеріалах.

В роботах А.А. Ласукова та ін. був вивчений процес утворення стружки при точінні важкооброблюваних матеріалів. Зокрема, було

розглянуто процес різання сталей, що мають жаростійкі властивості

В роботі В.М. Корнеєвої та С.С. Корнеєва автори вивчили процес утворення стружки при точінні з надвисокими швидкостями

Альтернативний метод вивчення процесів, що відбуваються в зоні різання, був вивчений з точки зору застосування процесу вібраційного різання

Вивчення вібраційного точіння здійснювалося в трьох широко відомих напрямках:

1) вібрації автоколивального характеру, які переважно використовувалися при токарній та фрезерній обробках;

2) точіння з накладанням вимушених низькочастотних коливань на вершину ріжучого інструменту: застосовувалося при точінні, свердління, шліфуванні, вібропилки, віброножничі та ін.;

3) вібраційне різання з ультразвуковими коливаннями: основні сфери застосування при точінні та свердлінні.

В роботі [13, 16] авторами наведені наступні визначення, що поділяють коливання на різні типи.

Дієвість вібрацій виражається також величиною x пропорційній потужності.

$$x = 16\pi^4 A^2 f^3 \quad (1)$$

Процес вібраційного точіння ґрунтується в накладанні на стандартну кінематичну схему різання додаткового коливального руху ріжучого інструменту або коливань заготовки, що характеризується напрямком задання коливань, формою, амплітудою та частотою. Накладання вібраційного руху на різець або оброблювану заготовку в технологічних процесах свердління, різання на токарних верстатах, шліфування, штампування, пресування надає значний ефект, який полягає в зменшенні зусиль, що витрачаються на різання, зниження сил на тертя оброблюваного матеріалу та матеріалу інструмента, полегшенні пластичних деформацій в зоні різання, підвищенні періоду стійкості металорізального інструменту та поліпшенні якості обробки за рахунок зниження висоти мікронерівностей шорсткості.

Про автоколивальний характер вібрацій при точінні матеріалів було відзначено в статті Н.А. Дроздова, в якій автор вказав, що максимальне значення енергії, що витрачається на забезпечення сталості впливу автоколивань, здійснюється в системі тільки при необхідному куту зміщення фаз між коливаннями сили різання та силами коливальної системи, який повинен дорівнювати $\psi = 90^\circ$.

Ґрунтуючись на отриманих результатах, можна сформулювати висновок, що накладання



вібрацій, що мають автоколивальний характер, для зниження зусиль в процесі різання має протилежний характер та не дозволяє отримати позитивний ефект, що в свою чергу є суперечливим припущенням ранніх експериментальних досліджень.

Вперше авторське свідчення, що описувало метод точіння з накладанням вібрацій автоколивального характеру було видано А.М. Безбородову та В.Н. Подураєву, де з точки зору авторів запропонований метод задання коливального руху ріжучому інструменту був досить простим.

І.Г. Жарков в роботі [10, 11] провів дослідження по обробці важкооброблюваних матеріалів при вібраціях, що виникають в процесі різання. Найбільш відповідною маркою твердого сплаву були ВК8 та ВК6М. В результаті дослідів визначено, що найбільша стійкість різального інструмента спостерігалася з амплітудою коливань $A = 8 - 20$ мкм. Подальше збільшення та зменшення призводило до різкого зниження стійкості.

І.Г. Жарков знайшов залежність стійкості інструменту від амплітуди автоколивань, що представлена рівнянням виду:

$$T = QA^me^{-nA}, \quad (2)$$

де T - період стійкості різального інструменту;

A - амплітуда коливань;

Q, m, n - константи, які залежать від марок оброблюваного і матеріалу інструменту, а також умов точіння

М.Г. Яковлев, Д.М. Фадин та А.В. Шуваєв вивчали процес коливань робочого краю різального інструменту, при обробці різанням на токарному верстаті жаростійких сплавів, з виникненням автоколивань. Основний напрямок роботи полягав в розробці моделі процесу різання на токарному верстаті, яка повинна бути нелінійною, динамічною та дозволяти описувати автоколивання ріжучого інструменту.

Сформульований висновок, про те, що самозбуджувальні автоколивання сприяють зменшенню періоду стійкості металорізального інструменту, що в свою чергу суперечить висунутим припущенням інших дослідників [8], про застосування коливань для поліпшення процесу різання важкооброблюваних матеріалів та підвищення періоду стійкості різального інструменту.

Аналіз результатів, представлених вище досліджень дозволяє зробити висновок про відсутність єдиної думки в питанні можливого застосування автоколивань в умовах реального виробництва. При цьому, генерація та підтримання стабільних амплітудно-частотних

параметрів коливань не представляється можливим.

Виходячи з того, що вібрації автоколивального характеру є дестабільними та не піддаються керуванню, подальші дослідження були продовжені в області накладення змушених коливань.

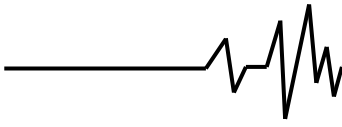
З результатів численних досліджень вібраційного різання з частотою коливань від 20 кГц та вище, які були представлені зарубіжними вченими [6], доцільно зробити висновок, що використання точіння з накладанням коливань на ріжучий інструмент, через переривчасто контактну взаємодію інструменту та заготовки, дозволяє досягти усунення утворення наростів, підвищити ефективність відведення стружки та збільшити період стійкості різального інструменту.

Н.В. Соліс Пінарготе в своїй роботі наводить дані досліджень токарної обробки з застосуванням вібраційного різання. Результати підтверджують, вище сказане, що при ультразвуковому різанні знижується сила різання. Значенням кута зрушення в межах $28 - 29^\circ$ відповідають великі пластичні деформації, яким відповідають великі сили різання. Через малі величини, порядку декількох десятків мікрометрів, значень амплітудно-частотних параметрів ультразвукових коливань з'являється необхідність в проектуванні спеціального верстатного устаткування.

Основоположником ідеї про застосування коливань інструменту для полегшення процесу точіння матеріалів був В.Л. Татаринов та його прихильники, такі як Н.І. Самокатов та Д.Н. Дубасов. Колективом авторів вперше було застосовано накладання коливань на процес механічної обробки матеріалів для поліпшення обробки матеріалів на токарних та стругальних верстатах. Коливання генерувалися у напрямку головного руху різання, шляхом періодичних ударів кулачкового механізму по консолі ріжучого інструменту. Частота коливань становила 10 Гц. В результаті проведених експериментів авторами було сформульовано висновок, що коливання, які генеруються на ріжучому інструменті, сприяють полегшенню процесів обробки матеріалів, а також поліпшують процес утворення стружки.

Повторний інтерес до використання у виробничому технологічному процесі точіння з накладанням коливань на ріжучий інструмент з'явився при виникненні труднощів, пов'язаних з обробкою сталей аустенітного класу, які були жаростійкими та нержавіючими.

В.Н. Подураєв [4] широко вивчав вібраційне різання. Автор зазначив, що точіння з низькочастотними коливаннями, спрямованими нормально до поверхні різання, призводить до кількісних змін в умовах утворення стружки та сприяє її руйнуванню. Основна увага була приділена використанню низькочастотних



коливань для поліпшення операцій обробки, пов'язаних з видаленням стружки.

Зіставляючи дослідження по різанню важкооброблюваних сталей, як із застосуванням коливань ріжучого інструменту, так і без них, В.Н. Подураєв [4] дійшов висновку, що для руйнування стружки при швидкостях різання до 200 м/хв та отримання стружки довжиною 10 - 20 мм досить встановити частоту вимушених коливань не більше 50 Гц. Для цих цілей підійдуть механічні, пневматичні та гідравлічні вібратори.

Отже, з результатів досліджень було встановлено, що в результаті застосування вібраційного точіння відбувається зміна властивостей матеріалу оброблюваної заготовки та умов точіння, що призводить до зміни процесу формування стружки. Відображення виявленого явища простежується у виникненні тріщин у безперервній суцільній стружці, які покривають частину товщини її перетину, а при походженні тріщинами всього перерізу стружки відбувається утворення стружки надлому.

Отримання дробленої стружки з формуванням випереджаючої тріщини, як було відзначено В.Ю. Блюменштейном, при різанні відбувається при вичерпанні ресурсу пластичності перед вершиною ріжучого інструменту. Такий же процес був виявлений В.Н. Подураєвим, при застосуванні коливань ріжучого інструменту, який встановив, що наявність певного зусилля в зоні різання сприяє розвитку випереджаючої тріщини [4].

Багатьма вченими, такими як В.Н. Подураєв, В.К. Асташев, В.Л. Татарінов, Н.І. Самокатов, Д.Н. Дубасов та ін., експериментально було підтверджено позитивний вплив від накладання коливань на вершину ріжучого інструменту [4]. Ними також зазначено, що накладання вимушених нормальних та дотичних коливань, як низьких частот, так і ультразвукових, на вершину ріжучого інструменту сприяє підтримці постійного процесу формування та дроблення стружки, підвищенню періоду стійкості матеріалу металорізального інструменту та зниження сил різання.

При вивченні чорнового вібраційного різання при точінні по чистому металу, було встановлено два діапазони, в яких спостерігалось підвищення періоду стійкості різального інструменту.

Подальше багаторазове повторення дослідів з вібраційного точіння з накладанням низькочастотних коливань маятникового типу дозволили виявити на обробленій поверхні хвилястість, висота якої перебувала в діапазоні від 0 до 50 мкм. Варто відзначити, що хвилястість, залишена після попередніх операцій, практично не впливає на якість поверхні при наступних процесах обробки.

Застосуванню різання з накладанням коливань для точіння матеріалів передували різні технологічні завдання, які були визначальними при розробці пристроїв для вібраційного різання. Основна проблема, вирішення якої досягається застосуванням вібраційного різання, забезпечення надійного стружкодроблення при токарній обробці в'язких та важкооброблюваних матеріалів.

Відомі пристрої, в яких верхівці різального інструменту задають осьові, радіальні, тангенціальні коливання або їх поєднання. В роботі [6] узагальнено та систематизовано дослідження та пристрої вібраційного різання.

Відомі пристрої вібраційного різання, в яких вершині різального інструменту надають коливання, одночасно поєднуючи два або три напрямки. Основна увага автором було приділено вібраційним приводам, заснованим на електромагнітному (для частот в діапазоні від 5 до 200 Гц), електрострикційному або магніострикційному (для частот в діапазоні від 20 до 50 кГц) принципах дії.

Відомий пристрій для вібраційного різання, патент 2212309, в якому тангенціальні коливання вершини ріжучого інструменту задаються за допомогою механічного вібратора.

Так, при точінні з коливаннями 100 Гц була відзначена нестабільність процесу точіння, що проявляється у формуванні на поверхні деталі хвилястості в поздовжньому перерізі. Зазначене явище пов'язане з існуючими фактичними зазорами в механізмах установки та великий інерції механічної системи, а висота хвилястості збільшувалася при збільшенні амплітуди коливань. Також встановлено, що точіння з частотою 25 Гц та амплітудою 150 мкм відповідало максимальній стійкості різального інструменту, при цьому шорсткість поверхні була гірше, ніж при аналогічних режимах з великими частотами. Таке явище пов'язане з тим, що при малих значеннях частот коливань надавалась більша амплітуда коливань.

Порівняльний аналіз шорсткості оброблених поверхонь, отриманих при віброрізанні, з еталонами шорсткості, показав, що висота мікронерівностей шорсткості знаходиться в діапазоні $Ra = 12,5 \dots 6,3$ мкм. При цьому було відзначено зростання хвилястості в поздовжньому перетині при збільшенні амплітуди коливань, а більш чітко вираженою хвилястістю ставала при амплітуді коливань, що відповідала максимальній стійкості ріжучого інструменту.

З метою комплексного дослідження впливу вібрацій ріжучого інструменту на механізм точіння при різанні матеріалів з низьким коефіцієнтом оброблюваності, були проведені серії дослідів, результати яких були відображені в роботах [13, 14].



З результатів експериментів [13], стало відомо, що інтенсивність коливань значно впливає на стійкість різального інструмента та на кількість матеріалу, що видаляється в процесі точіння. Варто зазначити, що стійкість різального інструменту при постійній амплітуді коливань та зміні частоти має екстремальний характер. Існування такої залежності свідчить тільки про те, що для конкретного режиму обробки необхідний підбір певної ефективної (по періоду стійкості різального інструменту) комбінації амплітудно-частотних параметрів, які об'єднуються в вібраційну швидкість. Для забезпечення ефективного процесу різання при точінні по необробленій поверхні, необхідно задання вібраційної швидкості в діапазоні від 4,7 до 5,6% від швидкості різання, при цьому також буде забезпечуватися максимальна стійкість різального інструмента.

Подальшими кроками по оптимізації технологічних параметрів і визначенні області їх змін при вібраційному різанні важкооброблюваних матеріалів полягало у визначенні факторів, що здійснюють найбільший вплив на процес вібраційного різання.

Для цього розглянемо роботи Є.Г. Швачкіна та А.П. Сергієва, де авторами були побудовані залежності періоду стійкості від амплітуди коливань для різних швидкостей та марок твердого сплаву.

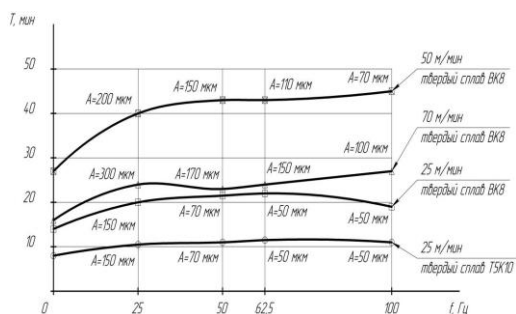


Рис.1. Залежність періоду стійкості різального інструменту (Т, хв) від частоти (f, Гц) та амплітуди коливань (А, мкм) при чорновому віброточінні

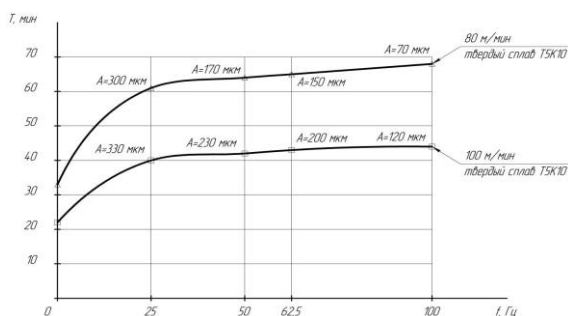


Рис.2. Залежність періоду стійкості різального інструменту (Т, хв) від частоти (f, Гц) та амплітуди коливань (А, мкм) при чистовому віброточінні

Порівняння графічних залежностей у вигляді кривих, що характеризують чорнове точіння по попередньо обробленій заготовці та чистового точіння можна зробити висновок про те, що максимальні результати на графіках не є граничними для обраних марок інструментальних матеріалів.

Різання матеріалів з накладанням на різучий інструмент коливань низької частоти сприяє виникненню в зоні різання таких процесів, які є абсолютно відмінними від процесів, що відбуваються при точінні без коливань. Раціональний підбір режимів коливань вібраційного різання забезпечує збільшення періоду стійкості металорізального інструменту, а також створює умови для постійного процесу дроблення стружки.

Для визначення фізичних процесів в зоні вібраційного різання за основу була прийнята схема, запропонована Н.В. Талантовим [11], на якій замінили жорстко закріпленій інструмент на різець, на який накладались маятникові коливання, що впливають на тангенціальну та нормальну складові сили різання, отримали схему, представлену на рис. 3.

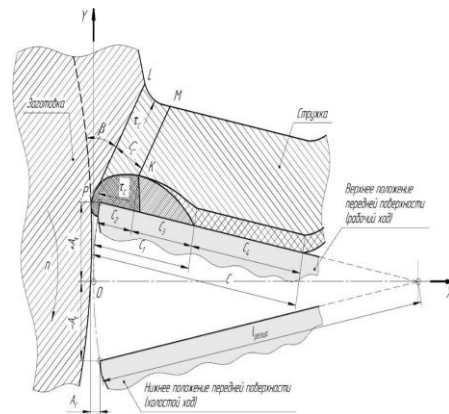


Рис. 3. Схема вібраційного точіння:

t_c - опір пластичної деформації, β - кут зсуву, PL - лінія початку зони утворення стружки, KM - лінія закінчення зони утворення стружки, C_c - величина області утворення стружки, C - розмір контактної зони стружки з інструментом, C_1 - пластична контактна зона, C_2 - пластична зміцнена контактна зона (відповідає за знос інструменту по задній поверхні), C_3 - пластична нестійка контактна зона (відповідає за знос інструменту по передній поверхні), C_4 - в'язко контактна зона, $l_{різця}$ - плече осі коливання інструменту, $+A_t$ - позитивна тангенціальна амплітуда вібраційного точіння, $-A_t$ - негативна тангенціальна амплітуда вібраційного точіння, A_r - нормальна амплітуда вібраційного точіння

Справедливим буде припущення про те, що при періоді коливань, меншому за час утворення наросту, ніж його утворення по задній



поверхні інструменту, наявність такої закономірності сприятиме відриву наросту на кожному циклі коливання інструменту, що в свою чергу забезпечить формування стабільної висоти мікронерівності шорсткості поверхні. Спостереження такого явища буде можливим тільки в разі, коли швидкість різання буде менше вібраційної швидкості різання, а інтенсивність процесу залежить від різниці швидкостей.

Існування такого явища, дозволяє вважати справедливим припущення про те, що утворення стружки при різанні з вібраціями має спільні риси при утворенні стружки при різанні з надвисокими швидкостями.

Траєкторія коливань вершини різця, що описує умовну схему вібраційного впливу в зоні різання, представлена на рис. 4.

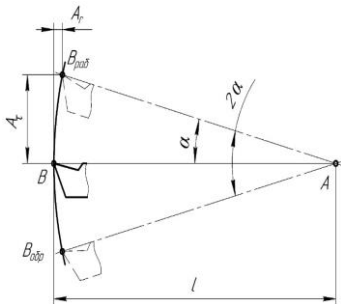


Рис. 4. Траєкторія коливань вершини різця

По роботам дослідників [13] на основі наявних результатів досліджень по формуванню шорсткості обробленої поверхні при різцевій обробці визначають домінуючі фактори, які суттєво впливають на процес утворення шорсткості:

- 1) геометрія ріжучої частини інструменту та траєкторія його руху щодо оброблюваної поверхні;
- 2) коливальні переміщення ріжучого інструменту щодо оброблюваної поверхні;
- 3) пружні та пластичні деформації оброблюваного матеріалу в зоні контакту з ріжучою кромкою;
- 4) шорсткість поверхні ріжучої кромки інструменту;
- 5) вивання частинок з поверхні оброблюваного матеріалу.

На основі домінуючих факторів колективом авторів під керівництвом Суслова А.Г. була запропонована математична залежність, що описує формування шорсткості при лезовій обробці:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (3)$$

де h_1 - складова профілю шорсткості, обумовлена геометрією та кінематикою переміщення робочої частини інструменту;

h_2 - складова профілю шорсткості, обумовлена коливаннями інструменту щодо оброблюваної поверхні;

h_3 - складова профілю шорсткості, обумовлена пластичними деформаціями в зоні контакту інструмента та заготовки;

h_4 - складова профілю шорсткості, обумовлена шорсткістю робочих поверхонь інструменту.

Для кожної зі складових профілю шорсткості представлені математичні залежності, за якими визначаються складові виходячи з конкретних умов обробки.

Прийнявши за основу математичну залежність формування шорсткості, запропоновану Сусловим А.Г., представлена більш зручна методика визначення шорсткості поверхні при різанні.

Розглядаючи складові представлені математичної залежності середньої висоти профілю шорсткості слід зазначити, що особливості вібраційного різання будуть впливати на складові h_1 , h_2 та h_3 .

При віброточінні шорсткість поверхні матиме складну форму. Для оцінки впливу складової h_1 можна моделювати форму шорсткості, отриманої віброточінням, шляхом 3D моделювання кінематики руху інструменту.

Необхідно відзначити, що для кожної частоти обертання заготовки необхідно визначення свого оптимального діапазону частот коливань ріжучого інструменту, при яких буде дотримуватися умова отримання мінімальної висоти мікронерівностей поверхні. Визначення оптимального діапазону частот коливань зводиться до встановлення таких частот, при яких кількість коливань ріжучого інструменту на один оберт заготовки буде кратна визначеному цілому значенню. Визначення кратного цілого значення коливань до конкретної частоти обертання заготовки можливо за такою залежністю

$$\frac{f}{n} = int, \quad (4)$$

де f - частота коливань ріжучого інструменту, Гц;
 n - частота обертання заготовки, Гц;
 int - ціле число, що характеризує число коливань ріжучого інструменту на один оберт заготовки.

Узагальнюючи результати аналізу віброточіння, можна сформулювати наступні зауваження, що і амплітуда коливань, і частота здійснюють значний вплив на шорсткість поверхні. Також варто відзначити, що амплітуда коливань впливає в деякому діапазоні, чого не можна сказати про частоту коливань, яка при постійній амплітуді здійснює більший вплив на мікронерівності поверхні.



Таким чином, для здійснення комплексного впливу режимів різання та амплітудно-частотних характеристик вібраційного точіння, слід дотримуватись таких умов:

- дотримання мінімального співвідношення частоти обертання заготовки та коливань ріжучого інструменту, відповідного певній частоті обертання заготовки;
- оптимальна амплітуда коливань ріжучого інструменту знаходиться в діапазоні від 50 до 100 мкм.

Необхідно відзначити, що складова висоти профілю шорсткості поверхні h_z , здійснює помітний вплив на шорсткість поверхні при віброточінні і може бути визначена тільки експериментально.

Вібраційна швидкість та прискорення сприяють поліпшенню шорсткості поверхні, зменшуючи висоту мікронерівностей на оброблюваній поверхні.

Узагальнюючи отриману залежність шорсткості поверхні від параметрів віброрізання, правомірним буде об'єднання трьох основних чинників впливу вібрацій в зоні різання в функцію вібраційного впливу $F(A, \omega)$.

Різний характер впливу складових функцій вібраційного впливу на шорсткість поверхні пояснюється впливом певних механізмів при віброточінні та виникненням специфічних явищ в зоні різання.

Беручи до уваги різний характер впливу складових функцій вібраційного впливу, при збільшенні частоти коливань, на механізм формування шорсткості поверхні, була побудована залежність шорсткості поверхні від частоти коливань при постійних амплітудах (рис. 5).

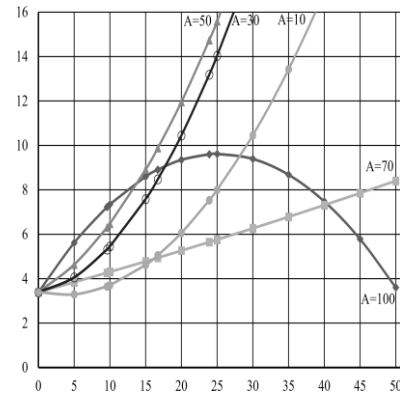


Рис. 5. Залежність шорсткості від частоти коливань

Аналіз залежності, зображеної на рис. 5, показав, що механізм формування шорсткості при амплітуді 100 мкм, є оптимальним, тому що зі збільшенням частоти коливань спостерігається зменшення висоти мікронерівностей шорсткості поверхні.

По результатам встановлених залежностей вібраційного точіння на формування мікронерівностей поверхні можна сформулювати завдання для подальших досліджень, які полягають у визначенні оптимального діапазону співвідношень частоти обертання заготовки та коливань різця, а також функції, яка описує вплив складової h_z , яка зумовлює пластичні деформації контактної зони дифузійно-в'язкої взаємодії ріжучого інструменту та матеріалу оброблюваної заготовки.

Виходячи кратності частот коливань та частот обертання заготовки розраховано таблицю оптимальних частот коливань для частот обертання заготовки 355, 450 та 560 об/хв, при яких буде формуватися мінімальна висота мікронерівності поверхні шорсткості (таблиця 1).

Таблиця 1

Оптимальні значення частот коливань

Частота f, Гц для 355 об/хв	Висота h, мкм	Частота f, Гц для 450 об/хв	Висота h, мкм	Частота f, Гц для 560 об/хв	Висота h, мкм
7	0,009	9	0,009	12	0,009
13	0,009	17	0,009	21	0,009
19	0,009	24	0,009	30	0,009
25	0,009	32	0,009	40	0,009
31	0,009	39	0,009	49	0,009
37	0,009	47	0,009	58	0,009
43	0,009	54	0,009	68	0,009
49	0,009	62	0,009	77	0,009
55	0,009	69	0,009	86	0,009
61	0,009	77	0,009	96	0,009
67	0,009	84	0,009	105	0,009
73	0,009	92	0,009	114	0,009
78	0,009	99	0,009	124	0,009



84	0,009	107	0,009	133	0,009
90	0,009	114	0,009	142	0,009
96	0,009	122	0,009	152	0,009
102	0,009	129	0,009	161	0,009

Аналізуючи представлений огляд необхідно виділити деякі особливості, які неодноразово були відзначені дослідниками при застосуванні різних методів та підходів до досліджень процесів, що відбуваються в зоні контакту заготовки та інструмента. Обґрунтування застосування низькочастотних коливань полягає в комплексній вібраційній дії на процес різання, що забезпечує дроблення суцільної стружки, зняття наросту з вершини різця та перешкоджаючи його утворенню, при цьому забезпечуючи отримання заданої шорсткості обробленої поверхні та збільшення періоду стійкості різця. Тому дослідницька робота в даному напрямку є актуальною.

Список використаних джерел

1. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник - 3-є вид. перероб. і доп. Львів : *Новий Світ-2000*, 2018. 471 с.
2. Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Томашенко В. В., Берізко М. М. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах. Навчальний посібник. Київ: *Техніка*, 2005. 512 с.
3. Грицай І. Є. Теорія різання. Навчальний посібник. Львів : *Видавництво Львівської політехніки*, 2018. 232 с.
4. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: «*Машиностроение*», 1970. 350 с.
5. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. М.: *Изд. Высш. шк.*, 1985. 304 с.
6. Кумабэ Д. Вибрационное резание. Под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. М.: *Машиностроение*, 1985. 424 с.
7. Головин А. О., Шатохин С. Н. Обработка резанием с высокочастотной осевой микро-осцилляцией шпинделя. *Технология машиностроения*. 2015. № 9. С. 17–21.
8. Бобров В. Ф. Определение напряжений в режущей части металлорежущих инструментов. Высокопроизводительное резание в машиностроении. М.: *Наука*, 1979. С. 223–228.
9. Вожжов А. А. Особенности расчета сил резания при вибрационном точении с учетом влияния параметров колебаний, накладываемых в радиальном направлении. *Вестник СевНТУ*. 2014. № 151. С. 41–46.
10. Ящерицын П. И. Теория резания: учебник. Минск: *Новое знание*, 2006. 512 с.
11. Талантов Н. В., Козлов А. А. Механизм взаимодействия стружки с передней

гранью инструмента. *Известия вузов. Машиностроение*. 1976. № 3. С. 147–150.

12. Липатов А. А. Особенности перехода от наростообразования к взаимодействию с пластическим контактом при обработке аустенитной стали. *Известия ВолгГТУ*. 2013. Т. 9. №7 (110). С. 31–34.

13. Будяк Р. В., Посвятенко Е. К., Аксьом П. А. Основные направления улучшения обрабатываемости деталей из аустенитных сталей. *Вісник національного транспортного університету*. Київ, 2016. №1 (34). С. 370–377.

14. Веселовська Н. Р., Турич В. В., Руткевич В. С. Контактна взаємодія інструмента з деталлю у процесах поверхневого пластичного деформування з ультразвуком. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. №2 (85). С. 51–59.

15. Solona O., Derevenko I., Kupchuk I. Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. 2019. Vol. 291. P. 110–120.

16. Полевода Ю. А. Перспективи застосування вібраційних ефектів в рідких технологічних системах харчових і переробних виробництв. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, серія технічні науки*. 2015. №1(89) Том 1. С. 124–130.

17. Опирский Б. Я., Денисов П. Д. Новые вибрационные станки: конструирование и расчёт. Львов: *Світ*, 1991. 160 с.

References

1. Mazur, M. P. (2018). Osnovi teoriiy rizannya materialiv [Basics of the theory of cutting materials]. Pidruchnik . Lviv. *Novij Svit-2000*. [in Ukrainian].
2. Stiskin, G. M. [ta in.] (2005). Tekhnologiya mekhanichnoyi obrobki na metaloobrobnikh verstatakh [Technology of mechanical treatment on metalworking machines] Navchalnij posibnik. *Tekhnika*. Kiev [in Ukrainian].
3. Griczaj, I. Ye. (2018). Teoriya rizannya. [Theory of cutting] Navchalnij posibnik. *Vidavnicztvo Lvivskoyi politekhniki*. Lviv [in Ukrainian].
4. Poduraev, V. N. (1970). Obrabotka rezaniem s vibracziyami. [Cutting with vibrations] «*Mashinostroenie*» [in Russian].
5. Granovskij, G. I., Granovskij, V. G. (1985). Rezanie metallov [Cutting metals]. Uchebnik dlya mashinostr. i priborostr. [in Russian].
6. Kumabe, D. (1985). Vibracziionnoe rezanie. [Vibration cutting] *Mashinostroenie* [in Russian].
7. Golovin, A. O., Shatokhin, S. N. (2015). Obrabotka rezaniem s vy`sokochastotnoj osevoj



mikro-oscyllyaczij shpindelya. [Cutting with high-frequency axial micro-oscillation of the spindle] *Tekhnologiya mashinostroeniya*. [in Russian].

8. Bobrov, V. F. (1979). Opredelenie napryazhenij v rezhushhej chasti metallorzhushhikh instrumentov. [Determination of voltages in the cutting part of metal-cutting tools] *Vysokoproizvoditelnoe rezanie v mashinostroenii* [in Russian].

9. Vozhzhov, A. A. (2014). Osobennosti rascheta sil rezaniya pri vibracziennom tochenii s uchetom vliyaniya parametrov kolebanij, nakladyvaemykh v radialnom napravlenii. [Features of calculating cutting forces in vibrational sharpening with accounting of the effect of the parameters of oscillations imposed in the radial direction]. *Vesnik SevNTU*. [in Russian].

10. Yashhericzyn, P. I. (2006). Teoriya rezaniya [Cutting theory] uchebnik. Minsk. [in Russian].

11. Talantov, N. V., Kozlov, A. A. (1976). Mekhanizm vzaimodejstviya struzhki s perednej gran`yu instrumenta. [Machine Interaction Mechanism with Front Tool Grade] *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*. [in Russian].

12. Lipatov, A. A. (2013). Osobennosti perekhoda ot narostoobrazovaniya k vzaimodejstviyu s plasticheskim kontaktom pri obrabotke austenitnoj stali. [Features of the transition from rigging to interaction with plastic contact when processing austenitic steel]. *Izvestiya VolgGTU*. [in Russian].

13. Budyak, R. V., Posvyatenko, E. K., Aksom, P. A. (2016). Osnovni napryamki polipshennya obroblyuvanosti detalej iz austenitnikh stalej. [Main directions for improving the processing of parts from austenitic steels] *Visnik natsionalnogo transportnogo universitetu*. Kiev [in Ukrainian].

14. Veselovska, N. R., Turich, V. V., Rutkevich, V. S. (2017). Kontaktna vzayemod`iya instrumenta z detallyu u procesakh poverkhnevoogo plastichnogo deformuvannya z ultrazvukom. [Contact interaction with a detail in the processes of surface plastic deformation with ultrasound] *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh*. [in Ukrainian].

15. Solona, O., Derevenko, I., Kupchuk, I. (2019). Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. [in English].

16. Polievoda, Yu. A. (2015). Perspektivy zastosuvannya vibratsiinykh efektiv v ridkykh tekhnolohichnykh systemakh kharchovykh i pererobnykh vyrobnystv. [Prospects for the application of vibration effects in liquid technological systems of food and processing industries] *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnogo ahrarynogo universytetu, seriia tekhnichni nauky*. [in Ukrainian].

17. Opirskij, B. Ya., Denisov, P. D. (1991). Novye vibracziionnye stanki: konstruirovaniye i

raschyot. [New Vibration Machines: Designing and Calculation] *svit* [in Russian].

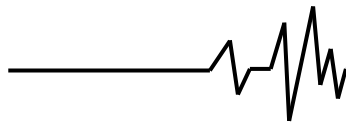
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИИ ПРИ РЕЗКЕ МАТЕРИАЛА

Виброрезание считается одним из эффективных способов точения заготовок из труднообрабатываемых материалов. Рациональное назначение режимов резания при таком процессе позволяет повысить период стойкости металлорежущего инструмента, способствует созданию условий для обеспечения постоянного дробления стружки. При резке материалов на станках токарной группы с наложением колебаний на режущий инструмент, в зоне резания возникают процессы, что отличаются от процессов, возникающих при точении без колебаний.

В статье рассмотрены возможности применения вибрационных колебаний при резке материалов. В настоящее время в машиностроении широко используются новые материалы, имеющие высокие прочностные характеристики, вязкости и пластичности, с повышением которых ухудшается обрабатываемость: увеличиваются силы резания и эффективная мощность, затрачиваемые на резку; ухудшается качество шероховатости поверхности; снижается период стойкости режущего инструмента; увеличивается количество теплоты образованной в зоне резания и изменяется характер ее распределения на поверхностях заготовки и инструмента; процесс образования стружки, ее усадка и тип; интенсивность процесса образования нароста и его форма. В связи с этим возникает вопрос о поисках рациональных способов обработки, в частности механической обработки резанием на токарных станках.

В данной научной работе обосновано применение низкочастотных колебаний, что заключается в комплексном вибрационном воздействии на процесс резания с обеспечением дробления сплошной стружки, снятие нароста с вершины резца и препятствую его образованию, при этом обеспечивая получение заданной шероховатости обработанной поверхности и увеличения периода стойкости резца. Исследовательская работа в данном направлении является актуальной и требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: *вибрационная резка, вынужденные колебания, параметры виброрезания, стружкообразования, шероховатость поверхности.*

**PROSPECTS FOR THE USE OF VIBRATION
DURING CUTTING MATERIAL**

Vibration is considered one of the effective ways to sharpen billets from difficult materials. The rational purpose of cutting modes with such a process allows you to increase the resistance of the metal-cutting tool, contributes to the creation of conditions to ensure constant crushing of chips. When cutting materials on the lathes of a turning group with the imposition of oscillations to the cutting tool, processes occur in the cutting zone, which differ from the processes arising from sharpening without oscillations.

The article discusses the possibilities of using vibration oscillations when cutting materials. Currently, new materials that have high strength characteristics, viscosity and plasticity are widely used in mechanical engineering, with an increase in the processability: cutting force increases and efficient power spent on cutting; The quality of surface roughness is worsen; the resistance of the

cutting tool is reduced; The amount of heat formed in the cutting zone increases and the character of its distribution on the surfaces of the workpiece and the tool changes; the process of forming chips, its shrinkage and type; The intensity of the process of formation of outflow and its form. In this regard, the question arises about the search for rational processing methods, in particular, mechanical processing with cutting on lathes.

In this scientific work, the use of low-frequency oscillations is substantiated, which is the complex vibrational effect on the cutting process with the enforcement of solid chips, removal from the top of the cutter and preventing its formation, while ensuring the presence of a given roughness of the treated surface and an increase in the cutter resistance period. Research work in this direction is relevant and requires further research.

Keywords: *vibration cutting, forced oscillations, parameters of vibration, chip formation, surface roughness.*

Відомості про авторів

Омельянов Олег Миколайович – асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету. Службова адреса: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ 21008

Полєвода Юрій Алікович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com.

Замрій Михайло Анатолійович – магістрант 1 року навчання спеціальності «208 Агроінженерія», Інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Омельянов Олег Николаевич – асистент кафедри общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета. Служебный адрес: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ 21008

Полєвода Юрій Алікович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета г. Винница, ул. Солнечная 3, 21008, email: vinyura36@gmail.com.

Замрій Михайло Анатольевич - магистрант 1 года обучения специальности «208 Агроинженерия», Инженерно-технологического факультета Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Omelyanov Oleg – Assistant of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety of Vinnitsa National Agrarian University, service address: Vinnitsa st. Sonyachna 3, VNAU 21008

Polievoda Yurii – candidate of technical sciences, associate professor of the department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com.

Zamrii Mykhailo - 1st year master's student majoring in 208 Agroengineering, Faculty of Engineering and Technology, Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: zamrij99@gmail.com).