



KAPITEL 5 / CHAPTER 5 MODERN CONCEPTS OF IMPROVING THE TOOL RESISTANCE OF THE TOOL DURING DEVELOPMENT

СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ВІБРОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ РОЗВЕРТАННІ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-07-08-014

Вступ

Оброблення матеріалів різанням на поточний час залишається основним технологічним способом отримання точних поверхонь виробів найрізноманітнішого призначення. Завдяки досягненням техніки і технологій протягом останніх десятиліть відбулись значні еволюційні зміни у поглядах на формування і реалізацію стратегії технологій оброблення матеріалів різанням. Серед видів чистового оброблення циліндричних отворів у заготовках із більшості конструкційних матеріалів вагому частку складає розвертання. Розвертання поєднує досить високу продуктивність оброблення отворів у широкому діапазоні діаметрів з досягненням точності розмірів в границях $IT8$ — $IT7$, забезпеченням необхідної геометричної форми і шорсткості поверхні в границях R_a 2,5...0,8 мкм, а також специфічних експлуатаційних властивостей рельєфу і поверхневого шару обробленого отвору. Серед різноманіття способів подолання вібрацій при розвертанні отворів найпривабливішим є використання інструментів зменшеної віброактивності. Решта з існуючих на сьогодні способів, незважаючи на їхню оригінальність і технічну досконалість їхнього втілення, у більшості випадків мають вкрай обмежену універсальність у застосуванні і потребують додаткових витрат ресурсів і часу на технічну підготовку виробництва. Оскільки більшість з використовуваних розверток є інструментами спеціалізованого призначення, максимальна адаптація їхньої конструкції до конкретних умов застосування обґрунтовує доцільність саме такого способу вирішення завдання забезпечення стабільного безвібраційного функціонування — за рахунок зосередження антивібраційного ефекту в самому інструменті відповідним поєднанням його конструктивного оформлення і геометричних параметрів.

5.1. Аналіз умов виникнення вібрацій при механічній обробці

Наявність періодичних коливань, що супроводжують процес різання металів при всіх видах оброблення і справляють істотний вплив на цей процес, звертає на себе увагу дослідників з самого початку розвитку науки про різання металів. Майже всі дослідження вібрації верстатів в тій чи іншій мірі базуються на класичних положеннях теорії коливань і стійкості руху, елементах теорії автоматичного регулювання та матеріалах експериментального дослідження верстатів. Слід зазначити, що хоча до цього часу немає єдиної думки з питання виникнення і розвитку автоколивань при різанні, більшість наукових шкіл і учених схильні вважати причинами обурення автоколивань елементів



технологічної системи не одне, а декілька фізичних явищ, які можуть діяти одночасно або окремі з цих явищ можуть домінувати. Це залежить від конкретних умов і стану пружної системи верстат — пристосування - інструмент - деталь (СПД), перш за все жорсткості і демпфуючої здатності елементів системи, міцності і пластичності оброблюваного матеріалу, виду обробки, режимів різання і т. д [2]. Рівень інтенсивності автоколиваний пружних технологічних систем істотно впливає на стійкість інструменту, продуктивність обробки і якість обробленої поверхні виробів (хвилястість, шорсткість, наклеп, залишкові напруги). Для кожного технологічного процесу існує певний оптимальний рівень коливаний, при якому спостерігається максимальна стійкість інструменту і висока якість обробленої поверхні. За рахунок управління рівнем інтенсивності автоколиваний можна домогтися десятикратного збільшення стійкості інструменту, дво-, п'ятикратного підвищення продуктивності і істотного поліпшення експлуатаційних характеристик і якості обробленої поверхні [2].

5.2. Огляд способів запобігання вібраціям при обробленні розвертанням

Для підвищення динамічної стійкості операцій механічної обробки в даний час розроблено і знаходиться в стадії розробки і дослідження велике число прогресивних інструментів, спеціальних пристроїв і оснащення. Застосування таких інструментів, пристроїв і оснащення з підвищеними коефіцієнтами η_0 і С дозволяє практично завжди змінити амплітуду коливаний в потрібному напрямку і наблизити її впритул до оптимального значення A_{om} , тобто. успішно завершити процес управління інтенсивністю автоколиваний і істотно підвищити продуктивність, стійкість інструменту і якість обробленої поверхні виробів. Деякі зразки таких інструментів, пристроїв і оснащення описані нижче.

Підвищення вібростійкості і продуктивності металорізальних інструментів може бути досягнуто внаслідок збільшення їх жорсткості або з ще більшим успіхом підвищенням їх демпфуючої здатності.

Демпфуюча здатність інструменту може бути підвищена так званним конструктивним демпфуванням, тобто за рахунок збільшення опору в стиках, в місцях з'єднань ріжучих пластинок з ріжучим блоком і Блоку з державкою інструменту, а також активним демпфуванням, тобто введенням в конструкцію інструментів спеціальних віброгасильних пристроїв.

Перспективними є також розробки інструментів з активним демпфуванням. Активне демпфірування досягається за рахунок використання збурюючих пристроїв з додатковим джерелом енергії. Сила опору (демпфірування) пропорційна швидкості віброперемішень, тому доцільно для підвищення демпфірування до інструменту докласти додаткову силу, пропорційну швидкості.

Управління інтенсивністю автоколиваний технологічної системи можна здійснювати інструментами з регульованою жорсткістю.



5.3. Огляд конструкцій розверток і перспективи удосконалення їхніх конструкцій і застосування у складі технологічних систем з метою підвищення вібростійкості

Призначення і типи розверток.

Розвертка призначена для виготовлення точних отворів. Залежно від технологічних вимог за допомогою розверток можна отримати отвори з точністю від 10 до 6 квалітетів за шорсткості обробленої поверхні $Ra = (6,3—0,4)$. Розвертку застосовують після попереднього оброблення отворів зенкером, розточувальним різцем або свердлом, її можна використовувати як чистовий або чорновий інструмент. Правильна робота розвертки залежить від конструкції та якості її виготовлення, умов експлуатації (режиму різання, охолодження, величини припуску, якості заточування й доведення різальних кромки).

Вітчизняні виробники різального інструменту постачають на ринок розвертки наступних типів: циліндричні; конічні (під інструментальні, котлові (заклепкові) та інші конуси); ступінчасті для оброблення отворів класів допусків G6, H6, Js6, K6, G7, H7, Js7, K7, M7, N7, P7, E8, U8, F8, H8, D9, E9, F9, H9, H10, H11, а також комплектні розвертки номерів № 1...№ 6 для оброблення отворів під доведення. Переважну частку цього асортименту складають розвертки з інструментальних сталей, які забезпечують стабільність заявлених показників точності і якості оброблених отворів при їхньому обробленні з вкрай низькими (6...8 м/хв) швидкостями різання. Такі інструменти вже не відповідають сучасному стану технологій металооброблення.

Провідні зарубіжні компанії-виробники, як от Sandvik Coromant, Kennametal, і широко представлені в Україні корейські, китайські і ізраїльські компанії Korloy, ZCC, ISCAR останнім часом зосередили зусилля на виробництві і насиченні ринку розвертками з твердих сплавів. Використання розверток з різальною частиною з твердих сплавів, спроможних здійснювати оброблення зі швидкостями різання понад 200 м/хв, дозволяє радикально підвищити продуктивність розвертання при реалізації сучасних концепцій технології оброблення різанням High Speed Cutting/ Multi Task Cutting [3-8].

За приклад наведено характеристики твердосплавних розверток серій CoroReamer 435 [3-8]. CoroReamer 435 — це серія універсальних високопродуктивних розверток для оброблення широкого діапазону матеріалів — сталей, чавунів, кольорових металів. Вона забезпечує жорсткі допуски на отвір і високу якість поверхні завдяки внутрішньому підведенню МОР, геометрії різальної кромки і максимально нерівномірному розташуванню зубців. Максимально нерівномірне розташування зубців передбачає різний кутовий крок для усіх без винятку зубців. При такому розподілі кроку жоден із зубців не розташовується діаметрально навпроти іншого, завдяки чому розвертка формує отвори зі значно меншими відхиленнями від круглості, ніж після оброблення розвертками пересічної конструкції (рис. 1).

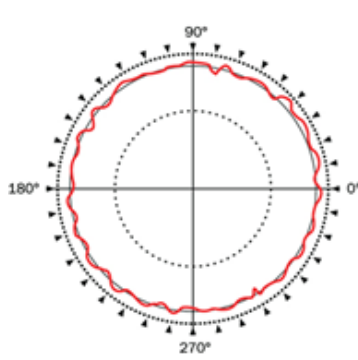


Рис.1. Круглограма отвору, обробленого розверткою CoroReamer™ 435 Sandvik Coromant [3-8]

Додатково до зазначеного ефекту при використанні розверток з максимально нерівномірним кутовим розташуванням зубців спостерігається значне зменшення вібрацій при обробленні з високими швидкостями різання. Характерною особливістю інструментів цієї серії є їхня пристосованість до оброблення з внутрішнім підведенням МОР. Внутрішнє підведення МОР здійснюється через сопла (осьові для розверток з прямими стружковими канавками і бокові для розверток з гвинтовими стружковими канавками) забезпечує подавання МОР точно в зону різання, що сприяє підвищенню стійкості інструменту і ефективність відведення стружки (рис. 2).

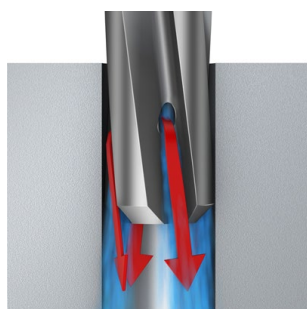


Рис.2. Оброблення отвору розвертками серії CoroReamer™ 435 Sandvik Coromant [3-8]

Наведені особливості надають привабливості використання розверток розглянутої конструкції в різних галузях машинобудування, як от загального машинобудування, оброблення прес-форм і штампів, автомобільної, енергетичної, аерокосмічної галузей тощо. [3-8].

Певного поширення набувають інноваційні розробки збірних конструкцій розверток і модульних інструментальних систем для розвертання.

За конструктивним оформленням змінної різальної частини збірні розвертки поділяються на розвертки зі змінними головками і розвертки зі змінними пластинами. За приклади подібних конструкцій на рис.3 і 5 наведені відповідно розвертки RMR™ компанії Kennametal, модульна інструментальна система зі змінними головками RHM-E™ для розвертання компанії Kennametal і збірні регульовані розвертки серій IRT та IRB з механічним кріпленням змінних пластин компанії Korloy.

Серед оригінальних конструктивних удосконалень робочої частини розверток варто навести конструкцію так званої «протягувальної» розвертки HBRE компанії Korloy. Головною відмінністю цієї конструкції є великий нахил гвинтових зубців лівого напрямку — $\omega = 45^\circ$, — нехарактерний для більшості



Рис. 3. Модульна інструментальна система зі змінними головками RHM-E™ для розвертання компанії Kennametal

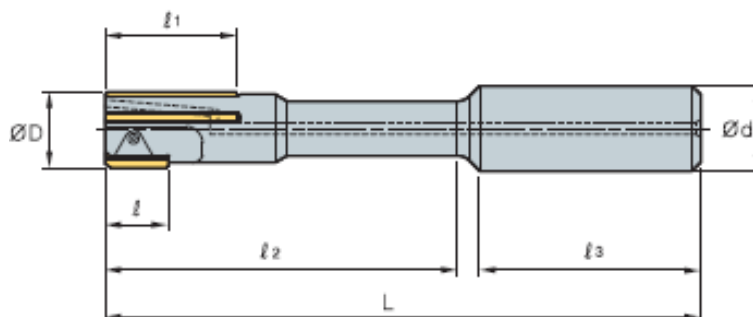


Рис. 4. Збірна регульована розвертка серій IRT та IRB з механічним кріпленням змінних пластин компанії Korloy

розверток. За ствердженнями розробника це рішення забезпечує значне підвищення точності і якості оброблення наскрізних отворів діаметром від 3 мм до 20 мм, сприятливі умови відведення стружки без залучення примусового видалення її МОР, рівномірніший розподіл навантаження на різальні кромки і підвищення стійкості інструменту. Збільшена загальна довжина різальних кромки у даному випадку сприяє поліпшенню динамічних характеристик і справляє позитивного впливу на вібростійкість технологічної системи.

5.4. Аналіз впливу конструктивних параметрів розверток з чергуванням нахилу гвинтових зубців на вібростійкість і обґрунтування концептуальних особливостей їхньої будови

Згідно [1] гасінню коливань при багатолезовому обробленні сприяє раціональний вибір режимів різання і, особливо, швидкості різання; оптимальне заточування лез інструменту; розташування зубців, при якому досягається стійкість у системі; врахування характеристик спрямування коливальних властивостей багатолезових інструментів.

Одним з ефективних способів зменшення вібрацій при обробленні розвертанням конструктивними заходами є виконання зубців розверток з їхнім розташуванням з нерівномірним кутовим кроком. Проте [1], використання



інструментів з нерівномірним кроком зубців не є універсальним і значною мірою визначається поєднанням певних технологічних умов оброблення і станом технологічної системи. Неоднозначність прояву антивібраційного ефекту при розвертанні отворів розвертками з різним кутовим кроком розташування зубців наочно проявляється у роботах різних авторів, в яких спостерігається певна розбіжність у висновках щодо оптимальних величин різниці кутових кроків зубців. Використання додаткових демпфувальних елементів для зменшення вібрації в конструкціях осьового інструменту для оброблення отворів не завжди доцільне насамперед з компонувальних обмежень і, крім того, призводить по його подорожчання, певного зменшення надійності і зростання витрат часу і ресурсів на підготовку виробництва. Відтак удосконалення розверток у цьому напрямку може бути доцільним виключно за умов сталого виробництва і за обґрунтованої його серійності.

Вібрації при багатолезовому обробленні мають свою специфіку внаслідок того, що в різанні бере участь декілька лез, відтак динамічна система верстата отримує одночасно значну кількість збурювальних впливів, різних за величиною та напрямком.

Зворотна реакція пружної системи проявляється на кожному окремому лезі у вигляді пружних переміщень і приростів сили різання. Стійкість в системі досягається при рівності сил збурювання і демпфування, величина яких значною мірою залежить від конструкції і поточного технічного стану верстата, інструменту, жорсткості їхніх окремих елементів і сполучень, швидкості переміщення елементів технологічної системи, ступеню демпфування в них, а також від конструктивних параметрів багатолезового інструменту: форми, розмірів, кількості і взаємного розташування зубців, геометричних параметрів різальних лез, жорсткості тіла інструменту і частоти його власних коливань.

Значною мірою на динамічні процеси в технологічній системі впливають змінні технологічні чинники — механічні властивості поверхневого шару оброблюваної заготовки і рівномірність їхнього розподілу по оброблюваній поверхні, рівномірність припуску, який підлягає зрізанню, дійсні розміри використовуваного інструменту на момент застосування, які в свою чергу обумовлені первинними технологічними похибками його виготовлення, технологічними похибками відновлення інструменту і його поточним зносом. Усі наведені чинники можуть бути джерелом коливань, при тім їхня неоднозначність і випадковість виникнення впливають на величину і напрямок збурювальних сил. Зменшення коливань інструменту в принципі можна досягти керуванням режимами різання в процесі оброблення при використанні верстатів з безступінчастим регулюванням з адаптивними системами ЧПК. Проте щодо оброблення розвертанням, як і для решти видів оброблення отворів осьовим багатолезовим інструментом, на сьогодні цей метод не набув поширення через складність технічної реалізації і обмеженість застосування насамперед внаслідок того, що він дозволяє контролювати величину і напрямок вектору збурювальних сил.

Використання розверток з чергуванням нахилу гвинтових зубців дозволяє підвищити вибробстійкість процесу розвертання за рахунок великого кута



нахилу зубців ($\omega \approx 30^\circ$) і різниці кутів нахилу суміжних зубців. При цьому рівномірне розташування зубців по торцю розвертки (переріз А—А на рис. 5) забезпечує постійність перерізу зрізаного шару, що виключає одну з основних причин виникнення збурювальної сили, а великий кут нахилу зубців підвищує демпфування інструменту зі сторони калібрувальної частини (переріз С—С на рис. 5).

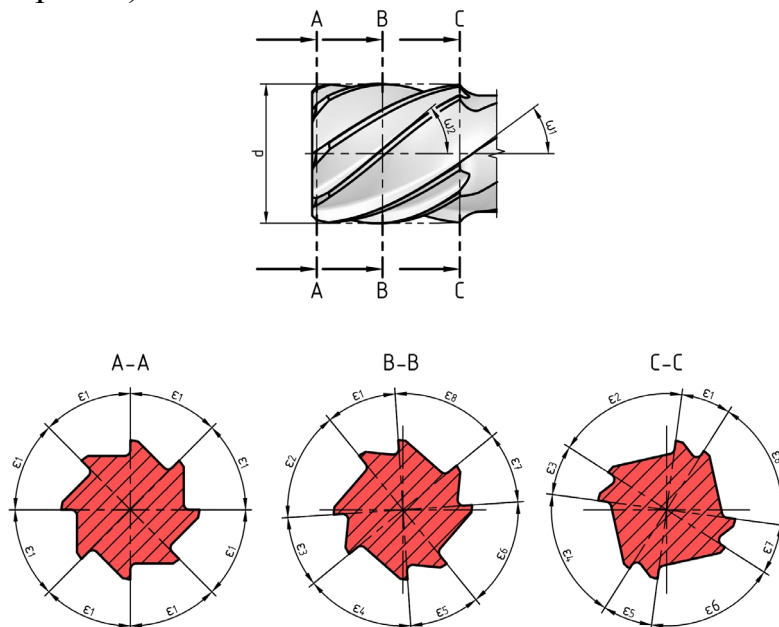


Рис. 5. Розвертки з різним нахилом зубів

Зміна величини центрального кута по мірі віддалення від торця розвертки (перерізи В—В, С—С на рис. 5) забезпечує прояв ефекту нерівномірності кутових кроків, які змінюються від 0° до $6-8^\circ$; що пояснюється забезпеченням самоперерізання хвиль, які утворюються зубцями з постійним кутом нахилу зубців і зсувом фази цих хвиль. При цьому відзначається, що чим більше кут нахилу зубців розвертки, тим менша величина різниці нахилу суміжних зубців забезпечує роботу без вібрацій.

Різальні кромки лез розверток розглянутої конструкції являють собою симетричні криві різного нахилу ($\omega = 40^\circ \pm 4^\circ \dots 6^\circ$), які забезпечують сприятливі умови роботи зубців при виведенні розвертки з обробленого отвору.

Встановлено, що максимальна величина різниці нахилу зубців $\Delta\omega_{max}$ обмежена збіжністю двох сусідніх зубців у кінці калібрувальної частини залежно від довжини робочої частини розвертки l_p , а також діаметра d , кількості z і кута нахилу ω зубців розвертки.

Обмеження кута різниці нахилу $\Delta\omega$ не більше 8° можна пояснити забезпеченням безвібраційної роботи розверток при $\Delta\omega \leq 6^\circ$, а також зменшенням проникнення МОР у стружкові канавки при збіжності суміжних зубців з великим значенням $\Delta\omega$ понад 8° і технологічними складнощами, пов'язаними з обробленням стружкової канавки поміж цими зубцями.

Принцип послідовного виконання гвинтових зубців з чергуванням їхнього нахилу у пропонованому варіанті у порівнянні з їхнім розміщенням з



нерівномірним кутовим кроком надає значних переваг щодо зменшення вібрацій при обробленні насамперед завдяки більшій універсальності у поширенні на різні типорозміри розверток і у придатності до використання в широкому діапазоні режимів різання.

Таким чином оформлення робочої частини розверток за означеним принципом дозволяє значно зменшити прояв фактору вторинного збудження коливань в процесі різання. Це можна пояснити тим, що при різанні багатолезовим інструментом з послідовною зміною форми різальних кромek сліди на поверхнях різання від рухів послідовно розташованих зубців не співпадають. Перетин цих слідів виключає зковзування зубців і копіювання контактного рельєфу, що має місце при обробленні інструментами з різним кутовим кроком зубців. При розвертанні зміна ширини зрізуваного шару та довжина контакту з обробленою поверхнею калібрувальних ділянок зубців впливають на величину різниці нахилу $\Delta\omega$, а саме: зростанню обох із цих величин відповідає зменшення різниці нахилу суміжних зубців розвертки.

Висновки

У представленій роботі було розглянуто вирішення проблеми подолання вібрації при розвертанні отворів. Сучасні концепції розвитку технологій металооброблення передбачають підвищення ефективності використання різального інструменту насамперед за рахунок зростання продуктивності оброблення з суттєвим підвищенням режимів різання. За умов зростання швидкісних і силових характеристик оброблення різанням виникнення вібрацій дуже часто виявляється стримуючим фактором, який у виробничих умовах змушує накладати режимні обмеження на процеси оброблення і не повною мірою використовувати потенціальні спроможності наявних інструменту і устаткування. Відтак підвищення вібростійкості технологічних систем оброблення різанням є одним з пріоритетних напрямків інтелектуальної діяльності в галузі технологій і технічних засобів оснащення процесів оброблення різанням.

Запропоновано удосконалення методики проектування інструментів з чергуванням нахилу зубців, а саме: уточнено методику перевірки геометричних розрахунків таких інструментів і запропоновано удосконалення технологічного способу їхнього виготовлення, який забезпечує постійну уздовж різальної кромки ширину задньої поверхні зубців розверток даної конструкції. Виявлено значне зростання — до 1,5-2 разів — стійкості і надійності розверток з чергуванням нахилу зубців.