

Білецький І.В.

Галицький В.В.

Глембоцька Л.Є., к.т.н.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОЦЕСИ ТА ПРОБЛЕМИ ТОНКОГО РІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТАМИ

Тонкими зрізами характеризується робота таких різальних інструментів (РІ) шеверів, протяжок, черв'ячних фрез і довбачів та розверток, а на деяких ділянках зрізу і циліндричних фрез. При торцевому фрезеруванні через биття кромок в зоні різання виявляється різна кількість активних зубів, робота деяких з них теж характеризується тонкими зрізами. Подібне явище має також місце при чистовій обробці різцями, яка виконується з малими подачами та з миттєвими значеннями тонких зрізів внаслідок нерівномірного руху супорта. Вважається, що тонкі товщини зрізу, які отримуються при невеликих подачах, доцільно використовувати на фінішних операціях обробки деталей.

Тонким різанням називається різання з товщиною зрізу, співставною з величинами радіусів округлення лез, рівних 0,01...0,05 мм – для тільки заточених РІ і рівних 0,1...0,2 мм – для РІ, які пройшли фазу приробного зношування. Основною ознакою тонкого різання є реальна величина переднього кута (-10° ... -70°).

Питанням обробки металів з малими товщинами зрізу при точінні, фрезеруванні і протягуванні присвячені роботи таких авторів: Зорев Н.Н., Горетька З.Д., Маргуліс Д.К., Синопальников В.А., Stempel H., Engelhard W., Deguer W., Victor H., Blanck D. та ін. Цими роботами встановлено, що зі збільшенням товщини зрізу від 0,001 до 1 мм (в 1000 разів), питомий тиск в зоні різання зменшується від 2,15 до 0,02 ГПа відповідно, тобто майже в 100 разів. Це пояснюється тим, що при малій товщині зрізу перетворення окремого шару припуску у стружку проходить не по передній поверхні, а по перехідній (по дузі радіуса заокруглення). В результаті цього дійсний передній кут суттєво зменшується і як наслідок, зменшується величина кута зсуву та збільшується площа поверхні зсуву, а отже, зростають питомі сили різання (рис. 1).

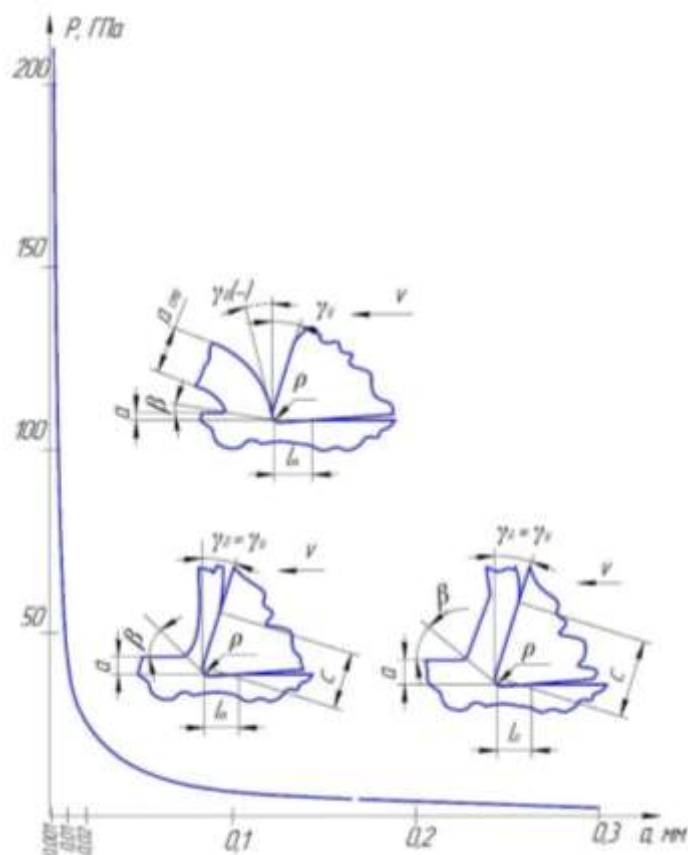


Рис. 1. Вплив товщини зрізу на питому силу різання

У цих умовах, при перетворенні шару, що зрізається, в стружку, має місце переважна значна деформація стиску, а не зсуву, з найвищими коефіцієнтами, як внутрішнього, так і зовнішнього тертя. При перетворенні в стружку шар, що зрізається, знаходиться в умовах високого всебічного стиску, коли пластичність багатьох матеріалів зростає. Зона умовної площини зсуву характеризується дуже малими кутами зсуву – близько $8...15^\circ$ і великими площами цієї поверхні зсуву, а також коефіцієнтами усадки стружки, що перевищують величину 10.

Зв'язок між товщиною зрізу і довжиною контакту стружки з передньою поверхнею різців в разі не тонкого різання досліджувався Зорєвим М.М., Лоладзе Т.Н., Полетікою М.Ф. Встановлено, що при обробці різних сталей при збільшенні товщини зрізу від 0,15 мм до 0,9 мм має місце відповідне зростання довжини контакту стружки. Дослідження Абуладзе Н.Г. дозволили встановити навіть відповідну аналітичну залежність. Дослідження Полетіки М.Ф. дозволили встановити цікаву залежність, що для дев'яти різних матеріалів відношення довжини контакту з передньою поверхнею леза до величини усадки стружки залишається практично постійним. Зорєв М.М. також вивчав довжину контакту стружки з передньою поверхнею залежно від швидкості різання. Таким чином, встановлено, що мають місце однозначні залежності тонкого різання лише від товщини зрізу, а не тонкого різання – від товщини зрізу та від швидкості різання.

На межі між тонким і не тонким різанням є істотний розрив у величинах довжин контакту, який свідчить про якісний перехід в структурі вигляду деформацій шару, що зрізається. Можна припустити, що реалізація вказаного переходу може визначатися поєднанням значень безлічі як очевидних, відносно малозначимих факторів (величини радіусу округлення леза, хімічної спорідненості інструментального і оброблюваного матеріалів, коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя і т.і.), так і ряду неочевидних чинників (величини заднього кута, жорсткості ТС і т. д.).

Дослідженням кутів зсуву для умовної площини зсуву і зміною величини площі поверхні зсуву займалися учені Зорєв М.М., Огарків М.М., Oxley P., Armarego E. Встановлено, що коефіцієнт тертя стружки об передню поверхню лез РІ не постійний по величині, а залежить від нормального навантаження, різко падаючи з його підвищенням. По величині він зменшується від 1,3 до 0,25, що відповідає випадку зменшення величини переднього кута. З іншого боку, що безпосереднє підвищення переднього кута приводить до збільшення кута зсуву. Багаточисельні дослідження показують, що при рівності величин кута тертя і переднього кута умовний кут зсуву приблизно дорівнює $45...50^\circ$, а при їх різниці в $50...60^\circ$ виникає умовний кут зсуву, по величині менший 10° . Оскільки при тонкому різанні передній кут характеризується глибокими негативними величинами, то єдиною можливістю збільшити умовний кут зсуву і зменшити величину поверхні зсуву є зменшення коефіцієнта тертя, тобто вибору інструментального матеріалу далекої хімічної спорідненості з оброблюваним матеріалом заготовки.

Таким чином, при перевищенні значення товщини зрізу відносно величини радіуса заокруглення леза, перша практично лінійно впливає на реальні величини передніх і задніх кутів, на довжини контактів задньої його поверхні з поверхнею різання і передньої поверхні зі стружкою та на величини сил різання. Але при значеннях товщини зрізу, співставних з величиною радіуса заокруглення леза, власне задня поверхня леза з прямолінійною твірною втрачає контакт з поверхнею різання, а власне передня поверхня леза з прямолінійною твірною - з поверхнею стружки. Контакт поверхонь різання та стружки при різанні в цьому випадку обмежується лише перехідною дуговою поверхнею леза, тому реальні величини передніх і задніх кутів стануть зменшеними. Це призведе до суттєвого зростання величин напруження в зонах первинного і вторинного пластичного деформування з округленою передньою поверхнею та збільшення величини пластичного напруження в контактні зі округленою задньою поверхнею леза, а також збільшення величин пружних напружень в попередніх перед лезом зонах шару припуску та шару тіла заготовки. Крім того, величина кута зсуву в умовній площині зсуву стане меншою, а величина площі зсуву - більшою. Наслідком дії описаного механізму різання стане суттєве зростання величини статичного питомого навантаження на лезо такого РІ, і, одночасно, динамічна стабільність протікання самого процесу різання - значно погіршиться. При тонкому різанні лезами РІ за період його стійкості площа обробленої поверхні зменшується, а об'єм знятого шару матеріалу – суттєво зменшується. Одночасно інтенсивність спрацювання лез суттєво зростає. Інтегральним показником «ефективності» такого різання може бути відношення інтенсивності спрацювання леза РІ до площі обробленої поверхні чи об'єму знятого різанням матеріалу заготовки. За величиною такий показник буде на декілька порядків перевищувати відповідний показник при звичайному (тобто не тонкому) різанні. А тому, при проектуванні і експлуатації РІ використовувати умови тонкого різання потрібно лише в обмежених випадках, наприклад, лише для чистових та калібрувальних зубців.

Загребя В.Л.
Разбіцький В.В.
Райковська Г.О., д.пед.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Інформатизація суспільства у всіх сферах діяльності вносить суттєві зміни в конструкторсько-технологічну діяльність інженера на виробництві, оскільки розвиток нових комп'ютерних технологій зумовлює перехід на значно вищий рівень застосування САПР. І сьогодні ключовим фактором виживання машинобудівних підприємств є максимально можливе скорочення термінів проектування та освоєння нової продукції. Один з найбільш вірогідних шляхів вирішення цієї проблеми – це використання інформаційних технологій підтримки життєвого циклу продукції, що випускається (CALS-або PLM-технології). Впровадження в інженерну практику методів автоматизації проектування дозволяє перейти від традиційних методів проектування до моделювання за допомогою CAD/CAM/CAE-систем.

На сьогоднішній день основними критеріями вибору тієї або іншої системи САПР є:

- повнота функціональних можливостей (включаючи адаптацію до вітчизняних стандартів);
- наявність унікальних функцій, які життєво необхідні підприємству або мають дуже важливе значення (наприклад, оптимізаційне моделювання);
- середня вартість одного робочого місця;
- простота інтерфейсу і легкість освоєння (включаючи наявність необхідних підручників і довідників на українській або російській мовах).

Найчастіше при проектуванні використовуються САПР Pro/Engineer і CATIA, при технологічній підготовці – система ADEM. В даний час в умовах локальної автоматизації при створенні виробу застосовується послідовний цикл виготовлення. Він відповідає стандартизованим процедурам, що склалися в рамках «паперової технології».

Послідовний цикл виготовлення умовно можна розділити на сім основних тимчасових етапів: 1) проектування виробу; 2) моделювання виробу і інженерні розрахунки; 3) розробка і випуск конструкторської документації; 4) технологічне планування; 5) розробка технологічного процесу виготовлення, проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення; 6) розробка керуючих програм; 7) виробництво і контроль виробу.

При традиційному послідовному циклі при проектуванні кожен наступний етап починається тільки після завершення попереднього і оформлення паперової документації. Головним недоліком виконання таких робіт вважається відносно велика тривалість циклу і неможливість в достатній мірі врахувати технічні рішення інших учасників процесу створення виробу. Щоб уникнути вказаних недоліків слід використовувати наскрізний паралельний цикл створення виробу з використанням САПР.

У межах життєвого циклу промислових виробів САПР розв'язує задачі автоматизації робіт на стадіях проектування і підготовки виробництва. Основна мета створення САПР – підвищення ефективності праці інженерів, яка включає:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення строків проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості та техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

Таким чином, при використанні наскрізного паралельного циклу проектування виробу в САПР можна виділити чотири основні етапи: 1) проектування виробу; 2) моделювання виробу та інженерні розрахунки, технологічне планування і відпрацювання на технологічність; 3) розробка і затвердження конструкторської документації; розробка технологічного процесу виготовлення, проектування і виготовлення системи технологічного оснащення; розробка керуючих програм; 4) виробництво і контроль виробу.

Використання SolidWorks у комплексі з іншими додатками, створює умови контролю над всім виробничим ланцюгом – від задуму до виготовлення реального виробу.

З впевненістю можна стверджувати, що запровадження програмного комплексу SolidWorks передбачає побудову раціональної системи, яка ефективно вирішуватиме бізнес задачі сучасного конкурентоздатного підприємства.

Погорільчук В.А.

Талько О.І.

Степчин Я.А., к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОСТАТИЧНИХ НАПРЯМНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Підвищення точності й продуктивності обробки на металорізальних верстатах є актуальною науково-технічною проблемою машинобудування. Для прецизійних і важких металорізальних верстатів одним з ефективних шляхів її вирішення є використання гідростатичних напрямних, які мають більш високу точність, навантажувальну здатність й вібростійкість, ніж інші типи напрямних.

Перспективними, але недостатньо розробленими й дослідженими є адаптивні, замкнуті й незамкнуті, гідростатичні напрямні з вбудованими плаваючими регуляторами активного нагнітання робочої рідини. Вони можуть мати навантажувальну характеристику з більшим діапазоном негативної податливості, що дозволяє істотно зменшити вплив пружних деформацій технологічної системи верстата на точність обробки.

Тому задача поліпшення технологічних можливостей металорізальних верстатів шляхом використання незамкнутих гідростатичних напрямних з однопотоковими плаваючими плунжерними регуляторами активного нагнітання робочої рідини є важливою для сучасного машинобудівного виробництва.

Відоме технічне рішення для незамкнутої гідростатичної напрямної із двухпоточними плаваючими регуляторами активного нагнітання робочої рідини, вбудованими в несучі кишені, що досліджене В.Г. Дьомінім. Навантажувальні й енергетичні характеристики такої напрямної теоретично й експериментально досліджені на прикладі незамкнутої круглої осьової гідростатичної опори, що є імітаційним аналогом даного рішення.

Ця незамкнута гідростатична напрямна із двухпоточним вбудованим плаваючим регулятором дозволяє одержати навантажувальну характеристику з діапазоном негативної податливості, проте приводить до великої витрати робочої рідини, особливо при малих навантаженнях. При цьому підсумковий енергетичний показник дослідженої напрямної, значно поступається показнику пасивної напрямної у всьому дослідженому навантажувальному діапазоні.

Більш ефективним є технічне рішення для незамкнутої гідростатичної напрямної з однопотоковими плаваючими плунжерними регуляторами активного нагнітання робочої рідини, вбудованими в несучі кишені (рис. 1)

Плаваючий плунжер регулятора із внутрішнім дроселюванням має східчасту форму й встановлений з малими радіальними зазорами в незамкнутій східчастій порожнині несучої кишені. При цьому верхній торець плунжера утворює керований зазор з опорною поверхнею напрямної. На верхньому торці плунжер має дистанційний виступ, що необхідний для початкового надходження робочої рідини в несучу кишеню при малих навантаженнях.

Робоча рідина під постійним тиском $p_n = const$ через капілярний канал d нагнітається під тиском $p_p < p_n$ в керуючу камеру, виконану на верхньому торці плунжера та через керований зазор h_p регулятора надходить у несучу кишеню під тиском $p_k < p_p$. Стабілізація осьового положення плунжера забезпечується за рахунок різниці площ його нижнього й верхнього торця, а також різниці діючого на них тиску робочої рідини. Регулятор не має другого потоку робочої рідини і є однопотоковим, що є більш технологічним рішенням і дозволяє значно зменшити втрати потужності на нагнітання робочої рідини.

Основними умовами нормальної роботи конструкції є:

- збереження паралельності поверхонь опори й регулятора (симетричність стаціонарного положення, відсутність перекосів).

- незначна величина перетікання робочої рідини між циліндричними поверхнями регулятора;

- деформації базових деталей незначні.

В активному навантажувальному діапазоні, коли плунжер регулятора перебуває в середньому положенні й може переміщатися під дією на його торці тиску робочої рідини, математична модель імітаційної гідростатичної опори представляє систему рівнянь, що виражають умови силової рівноваги плунжера й рухливої частини опори, а також умови балансу потоків робочої рідини в несучій кишені опори й у керуючій камері регулятора.

У першому пасивному діапазоні (при малих навантаженнях), коли верхній торець плунжера притиснутий до опорної поверхні, рівняння силової рівноваги плунжера заміняється умовою його спільного руху з рухливою частиною опори.

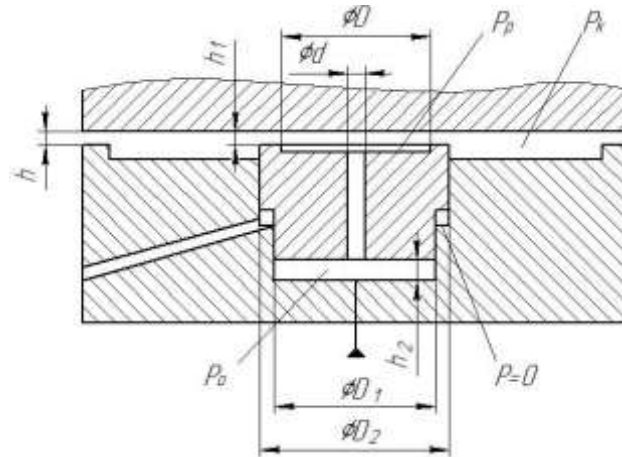


Рис. 1. Конструкція незамкнутої гідростатичної напрямної з однопотоковими плаваючими плунжерними регуляторами активного нагнітання робочої рідини

На основі рівнянь балансу потоків робочої рідини для несучої кишені імітаційної опори та витрати рідини при радіальному потоці через капілярний щілинний зазор, рівнянь Рейнольдса та Хагена-Пуазейля розроблена математична модель у вигляді системи чотирьох алгебраїчних рівнянь. Ця модель виражає баланс витрат, а також умови рівноваги плунжера й рухливої частини опори:

$$\begin{cases} h^3 \cdot p_k = h_p^3 \frac{2\pi \cdot x}{l \cdot \ln R} (p_k - p_p) \\ \frac{d^4 \cdot \ln R}{21,33 \cdot l_d} (p_k - p_p) = h_p^3 (p_k - p_p) \\ p_p + S_{\text{вих}} p_k = S \cdot p_H \\ s_o p_k + s_n p_H = f \end{cases} \quad (1)$$

Основні залежності у вигляді підсумкових формул матимуть вигляд:
Щілина між опорними поверхнями напрямної:

$$h = \left[\frac{0,2945 \cdot b \cdot d^4}{l_d \cdot l} \left(\frac{s_o \cdot p_H \cdot (1 - S)}{f - s_n \cdot p_H} + S_{\text{вих}} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

Видаткова характеристика опори:

$$q = p_k \frac{h^3 \cdot l}{12 \cdot \mu \cdot b} = \frac{0,0245 \cdot d^4}{\mu \cdot l_d} \left(p_H (1 - S) + S_{\text{вих}} \frac{f - s_n \cdot p_H}{s_o} \right) \quad (3)$$

Висновки:

1. Гідростатична опора із плунжерним регулятором має більшу витрату робочої рідини в порівнянні з пасивною опорою (з дросельною системою живлення) тільки у верхній частині активного й у верхньому пасивному діапазонах, а не у всьому навантажувальному діапазоні.

2. Розрахунки показали, що плунжер рухливий тільки в одному – середньому (активному) навантажувальному діапазоні. При малому навантаженні на опору зазор регулятора досить різко зменшується (до нуля) й регулятор при цьому повністю перекриває потік робочої рідини в несучу кишеню опори, спрацьовуючи при цьому, як клапан. Це вимагає обмеження рухливості плунжера в нижній частині активного діапазону, введенням у конструкцію нижнього дистанційного упору.

3. При великому навантаженні на опору робочий зазор регулятора необмежено зростає з високою інтенсивністю. Це вимагає обов'язкового обмеження рухливості плунжера у верхній частині активного діапазону навантаження опори.

4. Забезпечити ефективну працездатність опори у всьому діапазоні навантаження дозволяє паралельне дроселювання робочої рідини, при якому додатковий потік надходить у несучу кишеню опори паралельно регулятору через дросель постійного опору.

Талько О.І., студент
Кузнець Ю.В., студент
Симон Р.А., аспірант
Мельник О.Л., к.т.н.
Виговський Г.М, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Значний прогрес в металообробці, зокрема і лезовій обробці металів, був досягнутий в тому числі і завдяки удосконаленням хімічного складу змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ (ЗОТС) та способів їх подачі в зону обробки.

На думку дослідника *Vishal S. Sharma* особливо чітко зв'язок між здобутками в лезовій обробці та удосконаленням ЗОТС простежується при обробці важкооброблюваних матеріалів. Останнє можна пояснити тим, що теплопровідність сучасних важкооброблюваних матеріалів нижча (теплопровідність титанових сплавів становить порядку 15 Вт/м²С) ніж звичайних конструкційних чи інших сталей (наприклад, для сталі 25Л - 45Вт/м²С), що призводить до підвищення температури в зоні різання і вимагає використання ефективних ЗОТС.

З іншої сторони, при використанні ЗОТС виникають ряд проблем, які вимагають прийняття раціональних технічних рішень:

1) на 30% збільшуються хронічні захворювання шкіри верстатників пов'язані саме з використанням ЗОТС;

2) застосування ЗОТС вимагає збільшення загальних витрат виробництва на 12–17 %.

Витрати на ЗОТС включають витрати на приготування, використання та утилізацію ЗОТС та обробку стружки, так як стружка в змащеному стані не може бути включена в повторне використання металу без знежирювання. Знежирюванню також підлягають оброблені деталі. Тому, з однієї сторони, використання ЗОТС дозволяє підвищити стійкість інструмента та продуктивність обробки, але, з другої сторони, вимагає додаткових витрат на її використання та розробку заходів мінімізації негативного впливу на здоров'я працівників.

Тому детальне вивчення сучасних методів та способів охолодження та змащування зони різання та інструменту з урахуванням фізико-хімічних властивостей сучасних ЗОТС може дозволити підвищити ефективність обробки матеріалів (особливо важкооброблюваних).

В роботах *Vishal S. Sharma* та інших вчених зазначено, що основні причини втрати стійкості різального інструменту можуть бути класифіковані наступним чином: адгезійні явища, термічний вплив (пластична деформація, термічні дифузії та хімічна взаємодія), механічні поломки (абразивний знос, мікро- та макросколювання та втомна поломка). Значно знизити температурний фактор та знизити ймовірність адгезії стружки з різальним інструментом можна за рахунок використання ЗОТС.

Для сучасного виробництва існує ряд підходів до застосування ЗОТС:

1. використання традиційного рідинного охолодження (вільнопадаючим потоком, розпилення рідин);
2. охолодження стисненим повітрям чи іншими газами під тиском;
3. криогенне охолодження;
4. технології мінімального використання ЗОТС;
5. "сухе" різання.

Гази, зокрема повітря, мають досить низьку питому теплопровідність у порівнянні з рідинами. Відтак для інтенсифікації охолодження стисненим повітрям чи газами ряд дослідників пропонує здійснювати попереднє охолодження газів. Останнє збільшує градієнт температур та інтенсифікує теплообмін. В ряді робіт пропонується поєднувати охолодження повітрям з технологією технології мінімального використання ЗОТС, що дає кращі результати за умови раціонального підбору газу, змащувально-охолоджуючої рідини та режимів їх подачі.

Криогенне охолодження полягає в подачі рідкого азоту різними способами (температура порядку мінус 196°С) в зону різання. Даний підхід має такі вагомні переваги: відсутність потреби утилізації відпрацьованого ЗОТС, відсутність забруднення стружки тощо.

В роботі дослідника *N.R. Dhar* та інших дослідників наведені результати експериментального дослідження стійкості інструменту при криогенному та традиційному охолодженні емульсолами (рис.1.). Так при обробці високоміцних сталей карбідними інструментами при швидкості різання 100 м/хв при глибині різання 0,5 мм стійкість інструменту при традиційному охолодженні емульсолами становить

13,45 хв, а при криогенному охолодженні – 57,45 хв. В цьому контексті розробляються конструкції інструментів для підведення рідкого азоту через інструмент.

Експериментальні дослідження стійкості інструментів з різними покриттями при використанні технології MQL (Minimum quantity lubrication) проведені рядом дослідників, зокрема в роботі "High speed MQL finish-turning of Inconel-718 with different coated tools" (Journal of Materials Processing Technology 192–193 (2007) 281–286) показано (рис.2), що дана технологія для всіх досліджених типів покриттів дає кращі результати. Такий результат може бути пов'язаний з тим, що при технології MQL має місце випаровування ЗОТС в зоні різання і за рахунок цього ефективніше охолодження в зоні різання. Ряд досліджень застосування технології MQL показали, що при точінні найбільш ефективним є подача ЗОТС на головну задню поверхню різця.

За даними Onur Özbek (The effect of vibration and cutting zone temperature on surface roughness and tool wear in eco-friendly MQL turning of AISI D2), використання MQL при свердлінні, точінні та фрезеруванні на 30-38% покращує якість поверхні, на 17-59% знижує сили різання, на 6,5-51% знижує температуру різання та на 27-409% підвищує період стійкості інструменту в порівнянні з сухим точінням.

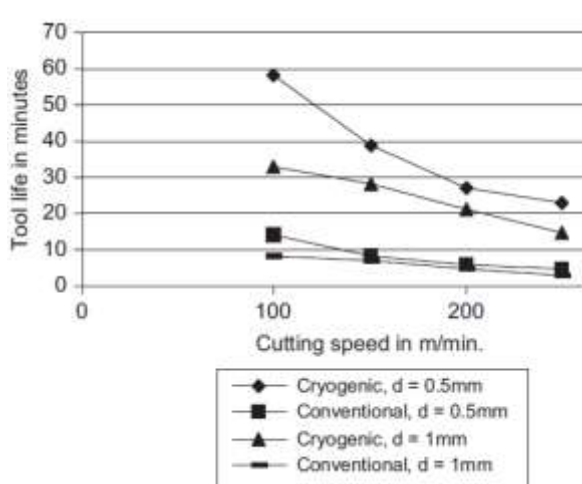


Рис. 1. Стійкість інструменту при різних швидкостях (подача 0,1 мм/об) за даними N.R. Dhar та ін.

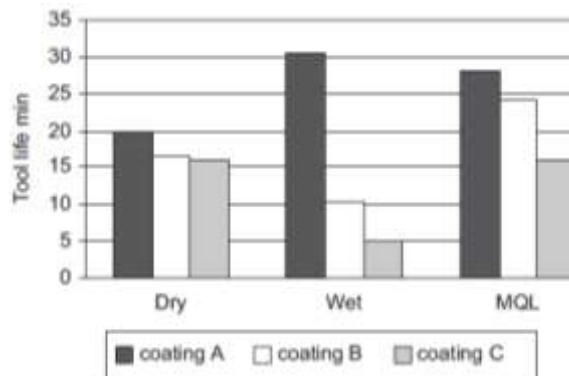


Рис. 2. Період стійкості інструменту та характеристики отриманих поверхонь для 3-х варіантів покриттів інструменту в технології MQL за даними Y. Kamata та ін.

Проте в деяких експериментальних дослідженнях отримано зворотній результат: при інших рівних умовах для "сухої" обробки отримані кращі показники якості обробки та менше зношування інструменту ніж при технології мінімального використання ЗОТС. Ряд дослідників пов'язують це з тим, що "сухе" різання сприяє простішому процесу стружковідомування в певних умовах за рахунок більш простих процесів деформації завдяки дії вищої температури. З цього можна зробити висновок, що оптимізація застосування ЗОТС є нетривіальним завданням, що вимагає комплексного врахування факторів економічного, екологічного та технологічного плану – скорочення витрат на ЗОТС, мінімізація негативного впливу на людину та екологію з отриманням заданих показників обробки.

З аналізу сучасних підходів до зниження температури в зоні різання шляхом різних технік застосування ЗОТС можна зробити висновок, що градієнти температур в інструменті та заготовці збільшуються за рахунок більшої ефективності охолодження. Тому, на нашу думку, актуальним є подальші дослідження термічних деформацій інструментів та геометричної точності отриманих розмірів оброблюваної деталі при застосуванні тих чи інших технік введення ЗОТС.

На сьогодні опубліковано велику кількість експериментальних досліджень впливу різних технік використання ЗОТС на процеси лезової обробки, але зробити універсальні висновки та рекомендації досить важко. З цього виходить, що при наявності великої експериментальних даних, актуальним є математичне забезпечення оптимізації технологічних процесів.

На нашу думку математичне забезпечення технологічної підготовки виробництва в даному випадку може бути реалізоване за рахунок нелінійної багатокритеріальної оптимізації. Для останнього пропонується застосування засобів штучних нейронних мереж для прогнозування ефективності застосування тих чи інших технік використання ЗОТС.