

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТОРЦЕВИМ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

(Представлено к.т.н. Виговським Г.М.)

Розглянуто ретроспективний аналіз формування високошвидкісної обробки деталей. Приведено результати теоретичних досліджень високошвидкісної обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом. Наведено ряд переваг високошвидкісного різання в порівнянні з традиційною обробкою. Надано ряд умов для вдосконалення високошвидкісного фрезерування.

Ключові слова: високошвидкісна обробка, фрезерування, плоска поверхня.

Постановка проблеми. В умовах сучасного розвитку техніки, комплексна механізація і автоматизація виробничих процесів і вдосконалення методів підготовки та управління виробництвом стають одними з головних завдань в машинобудуванні.

У технологічних процесах обробки металів різанням операції фрезерування становлять до 35 % від загальної кількості, з яких операції торцевого фрезерування складають 25 %. Ці дані говорять про те, що операції фрезерування значною мірою визначають витрати, пов'язані з виготовленням великої номенклатури деталей.

Швидкість різання значною мірою впливає на всі характеристики даного процесу. Прагнення досягти найвищої швидкості обробки при фрезеруванні визначається необхідністю зниження основного часу. У поєднанні з можливостями інтегрованого процесу прискореного формоутворення це відкриває нові можливості у створенні конкурентоспроможної продукції.

Технологія високошвидкісної механічної обробки (в закордонній літературі High Speed Machining або HSM) належить до найпрогресивніших методів обробки деталей різних конфігурацій. Вже сьогодні промисловість різних країн світу досить ефективно використовує високошвидкісне фрезерування для обробки металів і сплавів. Тому високошвидкісне фрезерування є важливим етапом для подальшого розвитку процесів різання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На початку 30-х років відомий дослідник С. Salomon займався наслідками дуже високих швидкостей різання, проводячи випробування з дисковими пилами. У дослідженнях А.М. Сулима, В.А. Шулов, А.Ю. Албагічевим, В.А. Мойсеєвим, А.І. Ісаєва, А.А. Маталін, Е.В. Рижова, П.І. Ящеріцина, А.Г. Сулова та ін. виконаний аналіз численних факторів, що впливають на якісні параметри поверхневого шару деталей при високошвидкісній обробці різанням. У зв'язку з цим для вирішення ряду завдань виникає необхідність в аналізі теоретичних закономірностей високошвидкісного різання.

Мета дослідження. Полягає в розгляді теоретичних аспектів використання високошвидкісної обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом. Визначити переваги високошвидкісного фрезерування, в порівнянні з традиційною обробкою, та навести ряд умов для вдосконалення високошвидкісного різання.

Викладення основного матеріалу. При сучасному рівні розвитку машинобудування все більша увага приділяється якості і собівартості продукції. Поява високошвидкісної лезової обробки дозволила підвищити продуктивність різання в кілька разів. Однак для подальшого вдосконалення процесу необхідно приділяти особливу увагу вимогам до якості продукції, що випускається. Провідну роль при цьому відіграє забезпечення заданої якості поверхневого шару.

З удосконаленням верстатобудування і появою нових інструментальних матеріалів збільшувалася швидкість різання. В даний час з успіхом застосовується новий вид механічної обробки, а саме – високошвидкісна механічна обробка (ВШМО). Для ВШМО створені спеціальні високошвидкісні верстати, оснащення та інструменти. Обробка з високими швидкостями є принципово новою технологією, для якої характерні свої особливості, такі як низька сила різання, високі температури тощо. Застосування високошвидкісної обробки в ряді випадках дозволяє відмовитися від використання фінішних операцій: шліфування, шабріння. Широке застосування ВШМО знайшла у виробництві штампів та прес-форм. Проте процеси, що відбуваються при ВШМО, ще не достатньо вивчені. Знаходження продуктивних і ефективних методів забезпечення якості поверхневого шару деталей при високошвидкісному торцевому фрезеруванні різних металів і сплавів, що дозволить отримувати вироби із заданими властивостями поверхневого шару.

З розвитком техніки все більш широке застосування знаходять матеріали, які важко обробляти за існуючими технологіями. Наприклад, загартовані сталі високої твердості обробляються шліфуванням, що призводить до отримання поверхневого шару із залишковими напруженнями розтягу і одночас відбувається значне збільшення температури в зоні різання.

Забезпеченню якості поверхневого шару при високошвидкісній обробці різанням присвячено дослідження багатьох зарубіжних і вітчизняних авторів, таких як Томас Скопесек, Юрій Свобода, Петро Хофманн та ін. [3, 4, 7]. Якість поверхневого шару, а також його управління описано дослідниками: А.М. Сулима, В.А. Шулов, А.Ю. Албагічевим, В.А. Мойсєєвим [5, 6]. Однак отримати поверхню з заданими параметрами поверхневого шару важко, оскільки відсутні методи забезпечення його якості. Є методики для розрахунку окремих параметрів, таких як шорсткість, залишкові напруження, мікротвердість. Проте практично всі вони виведені для традиційних методів лезової механічної обробки і не враховують весь комплекс властивостей, що характеризують стан поверхні деталі в цілому. Високошвидкісна лезова обробка різних металів з урахуванням особливостей формоутворення в умовах локального термопластичного зсуву вимагає створення власного технічно обґрунтованого способу забезпечення якості поверхневого шару із заданими величинами залишкових напружень, шорсткості, мікротвердості, структурно-фазового складу і неоднорідності властивостей.

Високошвидкісне фрезерування можна віднести до найбільш використовуваних методів обробки деталей. Вже сьогодні промисловість різних країн світу досить ефективно використовує високошвидкісне різання при швидкостях різання 500...1500 м/хв. і вище.

На початку 30-х років С. Salomon займався наслідками дуже високих швидкостей різання (рис. 1) [8], проводячи випробування з дисковими пилами. Працюючи зі швидкістю 15000 м/хв., він дійшов висновку, що температура при обробці різанням досягає максимуму і при подальшому підвищенні швидкості різання знижується значення менше за критичне для оброблюваного матеріалу. Тому протягом тривалого часу критична область температури або так звана "долина смерті" розглядалася як хитка думка у високошвидкісному фрезеруванні. На даний час не підлягає сумніву, що ця теорія була неправильною. При підвищенні швидкості різання однозначно підвищується температура, а разом з нею і знос інструменту.

Протягом десятиліть багато вчених вивчали цю теорію. У 1947 році це був Кузнєцов – 5000 м/хв., в 1958 році – Кроненберг – 7000 м/хв. і в 1972 – Арндт – 13000 м/хв. Всі ці представники проводили складні випробування, в яких пропускали виріб вздовж інструменту. При цьому Кроненберг висунув теорію, що швидкість різання спочатку збільшується, а потім сильно знижується. Арндт з'ясував, що знос інструментів при ультрависоких швидкостях різання значно підвищується.

Але лише на початку 1960 року вдалося отримати вирішальні основні знання з процесу різання і механізмів дії при високих швидкостях. Технічному інституту з виробничої техніки і металорізальним верстатам міста Дармштадт вдалося, використовуючи магнітні кулькопідшипники, проникнути в область високих швидкостей $V_c = 4700$ м/хв. При цьому вперше стали відомі величезні переваги для промислового застосування. З'явилася можливість здійснити зменшення часу обробки при поліпшеній точності на 40 %. Надалі в цьому інституті були організовані дослідні проекти під керівництвом професора Шульца і розроблено базові документи щодо практичного використання цієї технології.

Ще на початку 80-х років експерти не бачили майбутнього цієї технології. Причиною цього було те, що виходили лише з того, що можливому вирашу за часом протистояли високі температури в зоні різання та дуже великий знос інструменту, який ставив під сумнів економічність цього методу. На сьогоднішній день ми можемо точно сказати, що аргументація була неправильною.

Тим не менш, цей розвиток тривав приблизно 60 років, тобто до початку 90-х років поки не були розроблені необхідні машинні системи, шпинделі, управління та інструменти, щоб користувач міг виконувати практичні роботи за прийнятними цінами.

Сьогоднішня тенденція розвитку високошвидкісного фрезерування однозначно рухається в напрямку високих швидкостей різання. Свідченням тому, також є найновіші розробки верстатів на ринку. Верстатні лінії новітньої конструкції працюють на швидкостях від 10000 до 20000 об./хв. це практично стало стандартом і досягається без великих фінансових витрат.

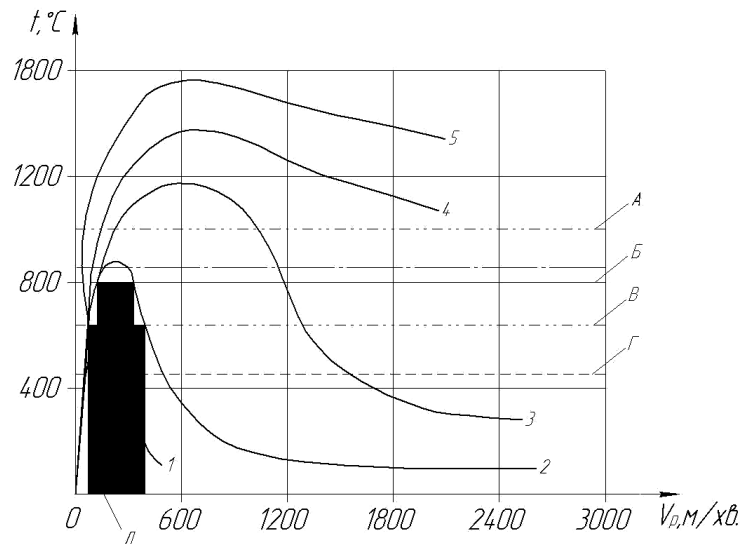


Рис. 1. Залежність температури від швидкості різання:
 1 – алюміній, 2 – кольорові метали, 3 – бронза, 4 – ливарні чавуни, 5 – сталі;
 інструмент: А – карбід вольфраму (980 °С), Б – вольфрамо-кобальтові сплави (850 °С),
 В – вольфрамові сталі (650 °С), Г – вуглецева сталь (450 °С);
 Д – не рекомендується обробка

Збільшення швидкості різання вище за екстремум призводить до зменшення температури. Для алюмінію ці швидкості різання порівняно невисокі. Однак для бронз, сталей вони були настільки високі, що їх реалізація, а також дослідження викликали складнощі.

Дослідження високошвидкісного фрезерування деталей різної конфігурації у ФРН було розпочато в 1984 р. 18-ю промисловими фірмами. У процесі досліджень технології високошвидкісного фрезерування розглядалися режими обробки різних матеріалів, вплив по суті нової технології на характеристики верстата та його вузлів. В результаті вироблені рекомендації з високошвидкісної обробки різних матеріалів (рис. 2) [8].

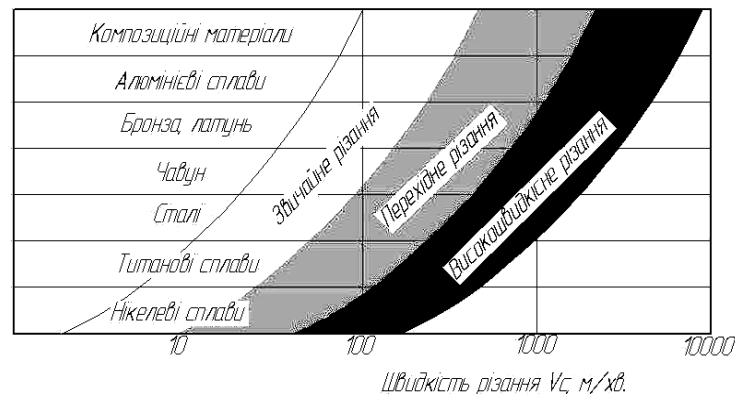


Рис. 2. Застосування високошвидкісної механічної обробки для різних видів металів

Фактори, що впливають на процес високошвидкісного фрезерування. Сильне підвищення швидкості різання призводить до значного збільшення температури в зоні різання. Коефіцієнт тертя між інструментом і деталлю зменшується. Завдяки цьому зменшується тертя по передній грані інструменту і сплющування стружки. Хід та утворення стружки змінюється.

Утворення стружки: зміна утворення стружки і ходу стружки призводить до зменшення зусиль різання, що позитивно позначається на точності розмірів і покращеній якості поверхні, а також дозволяє обробляти тонкостінні деталі або використовувати більш тонкі інструменти з великим виступом. Зменшується механічне навантаження інструменту.

Температура в зоні різання: інструмент піддається великим термічним навантаженням. Це виражається в підвищеному зносі. Тому високошвидкісні інструменти повинні виконувати особливі вимоги щодо термічного навантаження.

Підвищення швидкості різання: з підвищенням швидкості різання і отже збільшенням швидкості подачі досягається наступне: підвищення обсягу стружки або відповідно зменшення основного часу. Завдяки високому числу обертів шпинделя зменшуються коливання інструменту, що дозволяє обробляти чутливі до коливань деталі.

Наслідки підвищення швидкості різання



На сьогоднішній день застосування процесів високошвидкісного різання як найважливіших складових високих технологій має сенс лише в тому випадку, коли вся технологічна система – верстат, різальний інструмент, пристосування, система діагностики – орієнтована на використання високошвидкісної обробки.

У вимогах до верстатів для високошвидкісної обробки з'явилися деякі пункти, пов'язані зі швидкодією механічних систем і систем управління: частота обертання шпинделя до 30 000–40 000 об./хв., потужність головного приводу більше 20 кВт, швидкість програмованих подач – від 40 до 60 м/хв., швидкість швидких ходів – до 92 м/хв., дискретність – від 5 до 20 мкм; осьове прискорення/уповільнення >1 g, швидкодія ЧПУ – від 1 до 20 мс, швидкість обміну даних – 250 Кбіт/с (1 мс), висока жорсткість і термостійкість шпинделя, великий попередній натяг і добре охолодження підшипників шпинделя, обдув шпинделя повітрям або рідинне охолодження, жорстка рама верстата зі здатністю поглинати вібрації, компенсація різних похибок – температурних, ходового гвинта, – можливість установки більш досконалих і перспективних систем ЧПУ.

Очевидно, що верстати (оброблюючі центри) з прямокутною системою координат, доповнені для об'ємної обробки додатковими координатами, при обробці на таких високих подачах, володіючи великою інерційністю, не завжди могли б реалізувати нову технологію при складній конфігурації виробу. Тому з освоєнням високошвидкісного різання різко зрісла зацікавленість верстатами з паралельною кінематикою [1, 2].

Станини, напрямні, приводи високошвидкісних верстатів повинні мати високу статичну і динамічну жорсткість. Зменшення ваги рухомих конструкцій, за рахунок використання легких матеріалів і зручного розташування напрямних – лише деякі ознаки сучасних високошвидкісних фрезерних верстатів, конструкція яких повинна бути оптимальною. Проте зі збільшенням розміру перетину зрізу досягаються граничні значення, що роблять експлуатацію небезпечною. Динаміку привода потрібно поліпшувати за допомогою лінійного привода і легких, але дуже жорстких елементів. Інструменти при високих швидкостях обробки повинні бути збалансовані.

Одним з важливих факторів при ВШО є не тільки зниження величини крутного моменту в зоні високих швидкостей, але й перерозподіл тепла в зоні різання. При невеликих перетинах зрізу в даному діапазоні швидкостей основна маса тепла концентрується в стружці, не встигаючи переходити в заготовку. Тому вважається, що високошвидкісне торцеве фрезерування, особливо в технологіях ВШО, базується на скороченні кількості тепла, що виникає при обробці різанням, яке, зазвичай, і є причиною зносу інструменту.

ВШМО на даний час відіграє важливу роль при виробництві в машинобудівній і приладобудівній галузях, тому що її використання забезпечує високу точність і якість обробки та значно зменшує час на виготовлення деталей (виробів). Для високошвидкісної обробки насамперед потрібне використання тільки спеціальних високошвидкісних інструментальних шпинделів, які потрібні для високої швидкості обертання. При роботі на великих робочих подачах і високій швидкості різання необхідно забезпечити стійкий процес різання.

Високошвидкісна механічна обробка має безліч технічних переваг, порівняно з традиційною, а саме:

- зниження сил різання на 30–35 %, що зменшує деформацію оброблюваної деталі і дозволяє обробляти тонкостінні деталі до високої точності;
 - зменшення температури оброблюваної деталі;
 - збереження точності обробки протягом тривалого часу в результаті зниження напружень у верстаті і інструменті за рахунок зменшення сил різання;
 - збільшення подачі в 4–8 разів;
 - зростання продуктивності знімання металу в 3–5 разів;
 - зменшення вібрацій інструменту і деталі;
 - зниження вартості інструмента;
 - високошвидкісна обробка дозволяє одержувати досить високі значення шорсткості поверхні (при високоточному налаштуванні інструменту можливе отримання обробленої поверхні з $Ra < 0,5$ мкм);
 - відсутність проблем стружкодроблення.
- Порівняльна характеристика параметрів традиційного і високошвидкісного фрезерування торцевою фрезою (табл. 1) [8].

Таблиця 1

Порівняння параметрів фрезерування

Показник	Традиційне фрезерування	Високошвидкісне фрезерування
Частота обертання, п хв. ⁻¹	6000	15–40000
Подача f , м/хв.	0,2–0,8	1,5–5
Глибина різання t , мм	1–5	0,02–0,5
Твердість HRC	<36	<62
Сила різання	висока	низька
Тепловіддача	висока	мала

При фрезеруванні високошвидкісна обробка визначається швидкістю різання, яка, в свою чергу, залежить від частоти обертання шпинделя та діаметра інструмента. Чим більший діаметр фрези, тим менша частота обертання шпинделя при тій же швидкості різання і навпаки, тобто фрезерування можна зробити високошвидкісним на універсальному металорізальному обладнанні при збільшенні в певному діапазоні діаметра інструмента.

Для того, щоб високошвидкісне фрезерування було найбільш ефективним, необхідно дотримуватися ряду умов, головними з яких є:

- вибір марки інструментального матеріалу (K10, K20 на основі карбіду вольфраму та ін.), механічних характеристик зрізаного шару, стану фрезерного верстата;
- вибір конструкції торцевої фрези відповідно до величини припуску на обробку, жорсткості і потужності фрезерного верстата (більше 22 кВт);
- вибір геометрії торцевої фрези (переднього і заднього кутів, кута нахилу головної різальної кромки, головного кута в плані та ін.) відповідно до механічних властивостей зрізаного шару і умовами фрезерування;
- якісне механічне кріплення різальних елементів, що виключає утворення на пластинах тріщин та інших дефектів;
- точна установка торцевих фрез на верстаті;
- модернізація фрезерних верстатів з метою збільшення числа обертів шпинделя, потужності електродвигуна головного приводу, збільшення жорсткості і вібростійкості верстата;
- призначення раціональних режимів фрезерування.

При високошвидкісному фрезеруванні існує жорсткий зв'язок значень швидкісного діапазону з властивостями оброблюваного й інструментального матеріалу, технологічним середовищем та видом обробки, що вимагає поглибленого вивчення фізичних явищ, що відбуваються в процесі різання.

Технологія високошвидкісного фрезерування є однією з найбільш сучасних і ефективних альтернатив класичних методів фрезерування, що значно відрізняється якістю і швидкістю обробки.

Висновки:

1. Наведено розгляд ретроспективного аналізу формування високошвидкісної обробки деталей.
2. Наведено результати теоретичних досліджень високошвидкісної обробки поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом.
3. Порівняно з традиційною обробкою, високошвидкісне фрезерування забезпечує: зниження сил різання; зменшення температури оброблюваної деталі; отримання шорсткості оброблюваної поверхні за якістю аналогічної абразивної обробки; зниження часу обробки на 40–70 % і вартості на 20–50 %.
4. Визначено основні вимоги до устаткування для високошвидкісної механічної обробки.

5. Запропоновано ряд умов для вдосконалення високошвидкісного фрезерування.

Список використаної літератури:

1. *Афонин В.Л.* Обрабатывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры : учеб. пособие / *В.Л. Афонин, П.В. Подзоров, В.В. Слепцов* ; под общ. ред. *В.Л. Афонина*. – М. : Издательство МГТУ Станкин, Янус-К, 2006. – 452 с.
2. *Афонин В.Л.* Механизмы параллельной структуры. Кинематика и динамика / *В.Л. Афонин*. – М. : ИЦ МГТУ Станкин, 2005. – 180 с.
3. *Гамрат-Курек Л.И.* Выбор варианта изготовления изделий и коэффициенты затрат / *Л.И. Гамрат-Курек, К.Ф. Иванов*. – М. : Машиностроение, 1975. – 134 с.
4. *Гусев А.С.* Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках / *А.С. Гусев*. – М. : Машиностроение, 1989. – 248 с.
5. *Леонов Б.Н.* Исследование термоконтактных явлений в процессе тонкого точения металлов резцами из твёрдого сплава и эльбора : автореф. ... дис. канд. наук / *Б.Н. Леонов*. – Куйбышев, 1973.
6. *Маталин А.А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / *А.А. Маталин*. – М. : Машгиз, 1956 – 225 с.
7. *Рогов В.А.* Методика и практика технических экспериментов / *В.А. Рогов, Г.Г. Позняк*. – М. : Изд. центр “Академия”, 2005. – 288 с.
8. *Рыбак Л.А.* Новые технологии высокоскоростной механической обработки на станках с параллельной кинематикой / *Л.А. Рыбак, Е.В. Гапоненко, Ю.А. Мамаев*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/pdf/2012/6/7430.pdf>.

СИРОЇД Євгеній Сергійович – аспірант кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– підвищення працездатності чистових торцевих фрез для високошвидкісної обробки плоских поверхонь деталей.

E-mail: siroyd@mail.ua

Стаття надійшла до редакції 04.10.2013