

УДК 621.914

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.
Житомирський державний технологічний університет

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

Розглянуто питання сучасних тенденцій розвитку процесів обробки матеріалів для забезпечення високої продуктивності та якості обробки.

Постановка проблеми. Серед галузей народного господарства значна роль належить машинобудуванню, прогрес у якому неподільно пов'язаний з удосконаленням технології виробництва машин.

Якість машин значною мірою залежить від деталей, що входять до їх складу, тому підвищення якості продукції має першочергове значення. Відомо, що машини, які конструктивно однакові та виготовлені з одних матеріалів, часто мають різну надійність. Причиною цього, в багатьох випадках, є різні технології виготовлення їх деталей і передусім на фінішних операціях процесів, при яких формуються кінцеві властивості і стан робочих поверхонь, що визначають їх експлуатаційні показники.

Тому значна увага приділяється фінішній обробці матеріалів різанням, частка яких складає 60–95 % в загальній трудомісткості обробки деталей і актуальною є проблема підвищення продуктивності обробки різанням при заданій точності та якості оброблених поверхонь деталей.

Останнім часом намітився ряд тенденцій розвитку процесів обробки, що визначають, в цілому, шляхи подальшого руху машинобудівної галузі та ефективних методів формування кінцевої якості деталей. Вивчення цих тенденцій дозволяє намітити шляхи подальших досліджень та напрямків удосконалення інструментів та технологічного обладнання.

Мета роботи полягає в розгляді існуючих тенденцій розвитку матеріалів різанням, встановлення найбільш перспективних методів формування високої якості обробки деталей та визначення основних проблем, що необхідно вирішити для їх широкого застосування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана з виконанням НДР Житомирського державного технологічного університету “Удосконалення процесів обробки плоских поверхонь деталей торцевим фрезеруванням”

РК № 01060013148 та “Прогресивні інструменти та технологічні процеси для виготовлення деталей верстатів” РК № 01060013149.

Основна частина. Останнім часом серед напрямків розвитку нових технологій обробки різанням значна увага приділяється технологіям, що схематично представлено на рисунку 1.

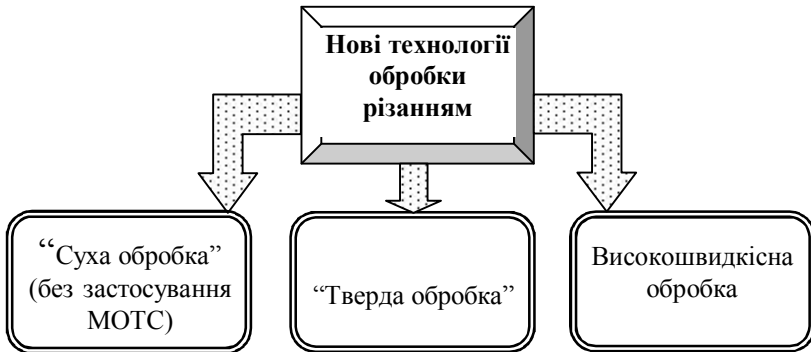


Рис. 1. Нові технології обробки різанням

Під “сухою обробкою” розуміється обробка різанням без застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС), або з мінімальним обсягом їх використання. Ряд світових автомобільних концернів запровадили відповідні технології й сьогодні “суха обробка” широко використовується на виробництві [1].

Це пояснюється тим, що особливо при переривчастому різанні в об’ємі інструментального матеріалу виникають термоциклічні напруження (при робочому та холостому ході), а застосування МОТС збільшує їх величину. Це призводить до появи мікросколів перпендикулярних до головних різальних кромки і, як наслідок, – до інтенсивного зносу інструменту. Крім цього, використання інтенсивних режимів різання з високими температурами в зоні різання призводить до того, що МОТС не потрапляє в зону обробки, що зменшує ефективність від їх використання.

Застосування “сухої обробки” вимагає відповідних змін у конструкції й умовах застосування інструменту. Необхідною умовою застосування інструменту в умовах сухої обробки є оптимізація мікрота макрогеометрії, підбір марок інструментального матеріалу.

До основних переваг “сухої обробки” можна віднести: підвищення ефективності обробки; поліпшення умов праці; зменшення собівартості обробки.

За даними [1] підвищення ефективності обробки досягається за

рахунок: збільшення режимів різання; збільшення стійкості інструментів; скорочення витрат на підготовку МОТС і на підтримку відповідних систем.

При раціональній геометрії інструменту, марці інструментального матеріалу та режимах обробки, стійкість інструменту для “сухої обробки” до двох разів перевищує стійкість інструменту при обробці з МОТС [1].

Важливим питанням є також захист навколишнього середовища. Так у Європі діє більш 10 000 законів і актів про охорону навколишнього середовища, у тому числі регламентуючі питання відходів механообробки.

Разом із тим, відмова від застосування МОТС вимагає зміни конструкції інструментів, а в окремих випадках – і верстатів.

“Тверда” обробка виникла при заміні шліфування лезовою обробкою. При цьому обробці підлягають деталі з твердістю 50HRC і більше.

Раціональна геометрія інструменту і режим обробки створюють в зоні обробки температури, які досягають температури відпуску оброблюваного матеріалу, а після відділення стружки відбувається швидке охолодження матеріалу та його загартування.

Продуктивність обробки при твердому точінні в три рази більша, ніж при шліфуванні. Обмеженням для розширення використання твердого точіння є необхідність застосування більш жорстких та вібростійких верстатів.

Інструментальним матеріалом для твердого точіння є кераміка і кубічний нітрид бору [1].

Високошвидкісна механічна обробка (HSM – High Speed Machining) зробила революційний переворот у методах обробки різанням. Вирішальний фактор в оцінці процесу HSM обробки – продуктивність верстатів, що визначають вартість виробництва і, таким чином, амортизацію інвестицій [2–3].

У світовому верстатобудуванні сьогодні спостерігається стійка тенденція створення верстатів, призначених для HSM обробки. Досягнення в області технології створення різальних інструментів, розвиток систем моделювання дозволили ефективно застосовувати HSM обробки в різних галузях.

Основною метою високошвидкісної обробки є істотне підвищення продуктивності обробки за рахунок збільшення режимів різання.

В основі принципу високошвидкісної обробки лежить теорія німецького дослідника Карла Саломона, який встановив, що підвищення швидкості різання призводить в окремих діапазонах до

зменшення температури різальних кромок. Це дає можливість застосовувати обробку при більш високих швидкостях різання ніж при звичайних. Проте, технологія високошвидкісної обробки має на увазі не просте підвищення швидкості різання, а перегляд усієї концепції обробки. Високошвидкісна обробка припускає не просте підвищення частоти обертання шпинделя, а саме, збільшення швидкості різання, у тому числі, при тих же частотах обертання за рахунок збільшення діаметра інструменту. Таким чином, основні відмінності високошвидкісної обробки від звичайної полягають у: збільшенні швидкості різання та подачі; зменшенні перетину стружки; скороченні до мінімуму температури на різальних кромках; зменшенні зусиль різання та зносу інструменту.

Потенціал високошвидкісної обробки визначається такими особливостями [1]: велике питоме знімання матеріалу в одиницю часу; висока якість обробки; зменшення зусиль різання, за рахунок цього можливість обробки тонкостінних деталей; менше порушення цілісності верхніх шарів матеріалу.

Тому використання високошвидкісної обробки є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку технології обробки.

Необхідно також врахувати тенденцію збільшення обсягу фінішних операцій у загальній трудомісткості обробки деталей, це підтверджують також висновки спеціалістів міжнародної організації технологів-машинобудівників CIRP.

При цьому точність і якість пов'язані із застосуванням нових, ефективних процесів обробки, у тому числі з використанням інструментів з надтвердих матеріалів, а також комбінованих фізико-механічних і фізико-хімічних методів для залишкового формування робочих поверхонь деталей.

При цьому необхідно врахувати кардинальні зміни щодо застосування тих чи інших матеріалів у галузях народного господарства. Так, наприклад, відбувається різке збільшення частки алюмінію в автомобілебудуванні, що призвело до відповідного прогресу в розробці і впровадженні нових технологічних підходів з обробки алюмінію [1, 3].

Альтернативою сірому чавуну для виготовлення блоків циліндрів двигунів останнім часом є високоміцний чавун з вермикулярним графітом (ЧВГ), що володіє добрими ливарними властивостями та високими міцнісними характеристиками, порівнянними з високоміцним чавуном із кулястим графітом (ЧКГ).

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики чавунів

Вид чавуну	ЧПГ	ЧВГ	ЧКГ
Межа міцності на розтяг (МПа)	250	450	750
Модуль пружності (ГПа)	105	145	160
Сталостна міцність (МПа)	110	200	250
Теплопровідність(Вт/м ² до)	47	37	28

Основною перешкодою до широкого застосування чавуну з вермикулярним графітом є його погана оброблюваність.

В авіакосмічній галузі також має місце досить швидка зміна оброблюваних матеріалів. Збільшується частка використання таких матеріалів, як керамічні композити, інтерметаліди, полімерні композити, металічні композити тощо.

Але переважну частку оброблюваних матеріалів у машинобудуванні складають традиційні матеріали: кольорові сплави; незагартовані та загартовані сталі; сірі, ковкі та високоміцні чавуни і впровадження високопродуктивної швидкісної обробки цих матеріалів є дуже актуальним.

Ряд провідних фірм Америки (серед яких Cincinnati Milacron, Cummins Engine, General Motors, Kennametal, Eastmen Kodak Company, Honda Engineering та ін.) створили консорціум “Ефективна високошвидкісна обробка” з метою координації зусиль у цій галузі.

За даними фірм, використання високошвидкісного фрезерування збільшує продуктивність при обробці інструментальних сталей високої міцності більш ніж у 3 рази, при обробці алюмінієвих деталей в автомобільній промисловості – в 10 разів тощо.

Для реалізації надшвидкісної обробки провідними фірмами розроблено високошвидкісне металообробне обладнання.

На сьогоднішній день найбільших успіхів в галузі високошвидкісної і високопродуктивної обробки переважна більшість фірм домоглися в галузі фрезерування і свердління.

Ріст швидкості різання обмежується теплофізичними характеристиками традиційних інструментальних матеріалів (твердих сплавів і швидкорізальних сталей).

Різальна частина інструментів при роботі піддається стиранню, тепловим впливам і силовим навантаженням. Ці дуже тяжкі умови роботи визначають вимоги до фізико-механічних характеристик різальної частини. Придатність подібних матеріалів визначається їхньою твердістю, теплостійкістю, механічною міцністю, зносостійкістю, технологічністю, вартістю тощо.

Однак під впливом високої температури при різанні твердість

оброблюваних та інструментальних матеріалів знижується і, зокрема, твердість інструменту може виявитися недостатньою для здійснення різання. Очевидно, що температура різання значною мірою визначатиме можливість збільшення швидкості різання.

Важливість механічної міцності для інструментальних матеріалів обумовлена особливістю навантаження різальних елементів. Сили різання, що виникають у процесі різання, викликають в об'ємі інструментального матеріалу напруги стиску, згину, розтягу. Тому межі міцності на згин, стиск, ударну в'язкість є основними показниками інструментальних матеріалів [4–9].

Таблиця 2

*Фізико-механічні характеристики
інструментальних матеріалів*

Матеріал	Марка	Мікро- твердість, МПа	Тепло- стійкість,	Межа міцності на згин, МПа	Ударна в'язкість, Дж/м ² ·10 ⁶
Тверді сплави	T15K6	27500	1176	1130	2,94
	BK8	15700	1123	1570	5,88
Швидкорізальна сталь	P18	13200	888	3530	9,81
Мінералокераміка	ЦМ332	22 500	1473	390	0,98
Кубічний нітрид бору	Ельбор	90700	1573	785	-
Легована сталь	ХВГ	11800	503	3430	9,81
Вуглецева сталь	У10А	12800	493	2940	9,81
Алмази	А	98 700	973	290	--

Процес чорнового високошвидкісного фрезерування здійснюється фрезами, виготовленими із швидкорізальної сталі (HSS). Перевагою фрез HSS є можливість застосування при відносно малій жорсткості верстата. Але через низьку швидкість різання значення робочої подачі обмежено. До того ж, стійкість такого інструменту істотно нижча (порівняно з твердосплавними фрезами), тому механообробка загартованої сталі практично неможлива.

В даний час створюються нові марки швидкорізальних сталей із теплостійкістю більш 700 °С, а також марки з малим вмістом вольфраму, при цьому пластини твердих сплавів, покривають шаром

зносостійкого матеріалу (карбіду, нітриду або карбонітриду титану), що підвищує стійкість пластин у 2–3 рази.

Твердосплавні інструменти широко застосовуються для високошвидкісної обробки матеріалів, при цьому змінюється форма різальних пластин.

Другим напрямком є зміна структури самого сплаву і складу покриттів. Основною тенденцією є зменшення зерен твердосплавного порошку. За минулі кілька років розмір зерна твердого сплаву зменшився більш ніж у 5 разів.

У результаті зменшення зерна істотно підвищуються технологічні властивості твердого сплаву, у першу чергу, твердість і згинна міцність (в'язкість сплаву). Підвищення згинної міцності зменшує знос, викликаний викришуванням. Іншим наслідком зменшення розміру зерна є можливість одержання більш гострої кромки з меншим кутом різального клина, у результаті чого зменшуються зусилля різання і температури в зоні контакту. Зі зменшенням розміру зерна знижується теплопровідність твердого сплаву і збільшується кількість тепла, що іде в стружку.

Сьогодні основну частку складають тверді сплави з розміром зерна 1,3–0,8 мкм, що дозволяє створювати гострі різальні кромки та зменшити зусилля і температуру різання. Це дає можливість їх широкого використання при твердому фрезеруванні і сухій обробці.

Слід зазначити, що з покриттями в даний час випускають біля 75 % твердосплавних інструментів (табл. 3).

У той же час результати багатьох досліджень дозволяють стверджувати, що твердосплавні інструменти з покриттями порівняно з інструментами без покриттів не мають очевидної переваги як при точінні титанових сплавів, так і при їхньому фрезеруванні. При фрезеруванні цих сплавів кінцевими сферичними фрезами швидкість різання досягає 400 м/хв., причому руйнування інструменту відбувається звичайно шляхом зносу по задній поверхні при порівняно невеликому кратерному зносі. Його стійкість істотно подовжувалася при охолодженні, причому охолодження масляним туманом виявилось значно ефективніше за охолодження поливом [3].

При цьому температури різання, залежно від його часу, спочатку плавно зростають пропорційно часу обробки, а потім при досягненні критичної температури приблизно 700 °С починається її різкий підйом при усіх швидкостях різання, хоча оптимальної з усіх цих швидкостей є швидкість різання 220 м/хв. Це вказує на термозалежність титанових сплавів від режимів обробки.

Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики покриттів

Склад покриття	Мікротвердість (HV)	Стійкість до окислювання, °C	Коефіцієнт тертя
TiN	1930–2200	600	0,5
TiC	2800–3000	400	-
TiCN	3000	400	0,4
TiAlN	3000–3500	540	0,4
TiAlCrN	3500	920	0,4
CrN	1650–2150	700	0,5
Al ₂ O ₃	2100–3000	1200	-
ZrN	2800	600	0,6
MoS ₂	1500	-	0,02

Інструмент із твердого сплаву має більш високу стійкість навіть при високій, але постійній температурі в зоні різання, ніж при її коливаннях. Різка зміна умов різання збільшує кількість тепла, що виділяється, і механічні напруги на різальній кромці, що значно знижує стійкість інструменту.

Процес відводу тепла від різальних кромок залежить від своєчасної евакуації стружки, і для цього краще використовувати повітряний струмінь, поданий під великим тиском замість емульсії на водяній основі. Це пояснюється тим, що в зоні різання створюється висока температура і будь-яка рідина на водяній основі біля кромки випаровується. При цьому рідина буде інтенсивно охолоджувати інструмент під час холостого ходу, що буде призводити до теплових ударів.

Перспективними матеріалами для виготовлення різальних частин різців, є полікристали кубічного нітриду бору. При фінішній обробці таким інструментом заготовок із чавуну і загартованих сталей високої твердості досягається шорсткість поверхні, що відповідає шліфуванню.

У першу чергу, це відноситься до зрослої частки інструментів із кромками з полікристалічного алмазу, як найбільш продуктивного інструментального матеріалу при обробці легких сплавів [1].

Загальновідомий внесок у науково-технічний прогрес синтетичних алмазів і кубічного нітриду бору, причому в останні роки темпи росту останнього (13 % на рік) перевищують темпи росту синтетичних

алмазів (8 % на рік).

Широке застосування одержали лезові різальні інструменти із синтетичних надтвердих матеріалів: полікристалічних алмазів (PCD) і кубічного нітриду бору (PCBN), що пояснюється рядом обставин (рис. 2).



Рис. 2. Основні причини збільшення обсягів застосування надтвердих матеріалів

В останні три десятиріччя в промисловості широко використовуються надтверді матеріали (НТМ), створені на основі кубічного нітриду бору. Основна галузь застосування цих матеріалів – чистове і напівчистове точіння загартованих сталей, сірих і високоміцних чавунів на великих швидкостях при відсутності ударних навантажень [4].

При цьому ставляться нові вимоги до інструментальних надтвердих матеріалів. Так перспективним є:

- створення й освоєння виробництва PCD і PCBN з діаметром заготовок до 50 мм, із розміром зерен 1–30 мкм, твердістю 30–50 ГПа;
- виготовлення PCBN у двох конструктивних виконаннях: суцільні і двошарові;
- підвищення фізико-механічних властивостей НТМ (міцності, тріщиностійкості, стабільності та надійності пластин);

➤ розширення номенклатури випуску торцевих і кінцевих фрез для оснащення високошвидкісного обладнання.

Економічний ефект від впровадження інструменту з PCD і PCBN при високошвидкісній обробці деталей із чорних і кольорових металів, неметалевих матеріалів забезпечується [10]:

➤ за рахунок збільшення швидкості різання в 5–15 разів і продуктивності обробки в 1,5–10 разів;

➤ за рахунок підвищення якості обробленої поверхні і збільшення стійкості інструменту як мінімум на порядок, а для інструментів з PCD – до 100 разів;

➤ за рахунок заміни шліфування високотвердих деталей на лезову обробку.

Висновки.

1. Наведені дослідження дозволяють прийти до висновку, що на сучасному етапі значна увага приділяється пошуку шляхів інтенсифікації процесів різання, серед яких “суха” та “тверда” обробки, процеси високошвидкісного різання.

2. Дослідженнями [1–10] встановлено особливості використання різних методів обробки для здійснення процесу різання матеріалів з особливими фізико-механічними властивостями та підвищеними вимогами до якості обробки.

3. Отримані дані свідчать про необхідність подальших досліджень при використанні сучасного обладнання та нових конструкцій різальних інструментів, при цьому є необхідність глибокого вивчення процесів формоутворення оброблених поверхонь при використанні особливих параметрів процесу різання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Підручник для студентів вищих навчальних закладів / *А.І. Грабченко, М.В. Верезуб, Ю.М. Внукова та ін.*; за ред. *А.І. Грабченка*. – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 451 с.
2. *Кузин В.В.* Режущий инструмент для высокоскоростного резания / *В.В. Кузин* // Тр. “Новые материалы и технологии – НМТ-2002”. В 2 т. – М. : МАТИ-ФГТУ им. К.Э. Циолковского, 2002. – Т. 2. – С. 30–31.
3. *Потапов В.А.* Высокоскоростная обработка / *В.А. Потапов, Г.И. Айзеншток*. – М., 1986. – 60 с. (Обзорная информация /ВНИИТЭМР. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. 1. Металлорежущее оборудование. Вып. 9).

4. Современные процессы механической обработки и качество поверхности деталей машин : сб. науч. тр. / отв. ред. С.А. Клименко ; НАН Украины, ИСМ им. В.Н. Бакуля. – К., 1998. – 191 с.
5. *Погонин А.А.* Механизм стружкообразования при высокоскоростной обработке (ВСО) металлов и сплавов / *А.А. Погонин, А.А. Москвитин* //Известия вузов. Машиностроение. – 2003. – № 3. – С. 24–28.
6. *Кузин В.В.* Работоспособность режущих инструментов из нитридной керамики при обработке чугунов / *В.В. Кузин* // Вестник машиностроения. – 2004. – № 5. – С. 39–43.
7. *Мигранов М.Ш.* Исследование износостойких покрытий для режущего инструмента с нанокристаллической структурой / *М.Ш. Мигранов* // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 1. – С. 56–62.
8. *Польцер Г.* Внешнее трение твердых тел, диссипативные структуры и самоорганизация / *Г.Польцер, В.Эбленг, А.Фирковский* // Трение и износ. – 1988. – Т. 9. – № 1. – С. 12.
9. *Кузин В.В.* Исследования процесса высокоскоростного резания керамическими инструментами / *В.В. Кузин* //Вестник машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 47–51.
10. *Боровский Г.В.* Высокоскоростное фрезерование серого чугуна / *Г.В. Боровский, О.Б. Якушева, А.А. Жамолетдинов* //Станки и инструмент. – 1993. – № 2. – С. 29–31.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, проректор із науково-педагогічної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

Подано 09.09.2010