

М.В. Новіков, д.т.н., проф.
С.А. Клименко, д.т.н., с.н.с.
М.Ю. Копейкіна, пров. інж.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕНИМИ ПНТМ

Представлено аналіз основних світових тенденцій розвитку процесів лезової обробки інструментом, що оснащений полікристалічними надтвердими матеріалами. Наведено приклади їх реалізації у процесах обробки різанням.

Під час удосконалення машин особлива увага приділяється процесам фінішної механічної обробки. При цьому максимальний результат пов'язаний не тільки з продуктивністю знімання матеріалу припуску, але й з необхідністю формування в поверхневих шарах виробу такого стану, який би найкраще забезпечував працездатність виробу в експлуатації. Мінімізація витрат пов'язана не тільки зі зниженням собівартості процесу обробки, але й з необхідністю забезпечення найменших витрат, що супроводжують життєвий цикл виробу в експлуатації.

У вирішенні цієї проблеми велика увага приділяється різальному інструменту.

Особливий інтерес з погляду ефективності використання в машинобудуванні представляє клас полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) – композити на основі алмаза та кубічного нітриду бору.

У світлі відзначеного вище, основні тенденції розвитку процесів лезової обробки інструментами, оснащеними ПНТМ, представляються наступними.

• Високошвидкісна та високопродуктивна обробка

Високошвидкісна обробка є ефективним способом підвищення продуктивності за рахунок скорочення основного часу. Особливо ефективна високошвидкісна обробка у тих випадках, коли частка основного часу в структурі штучного часу велика та перекриває частку допоміжного часу. Скорочується час циклу і вартість обробки. Аналіз показує, що в порівнянні з підвищенням стійкості інструмента збільшення продуктивності обробки за рахунок підвищення швидкості різання є набагато більш ефективним інструментом зниження економічних витрат на виробництво (рис. 1, [1]).

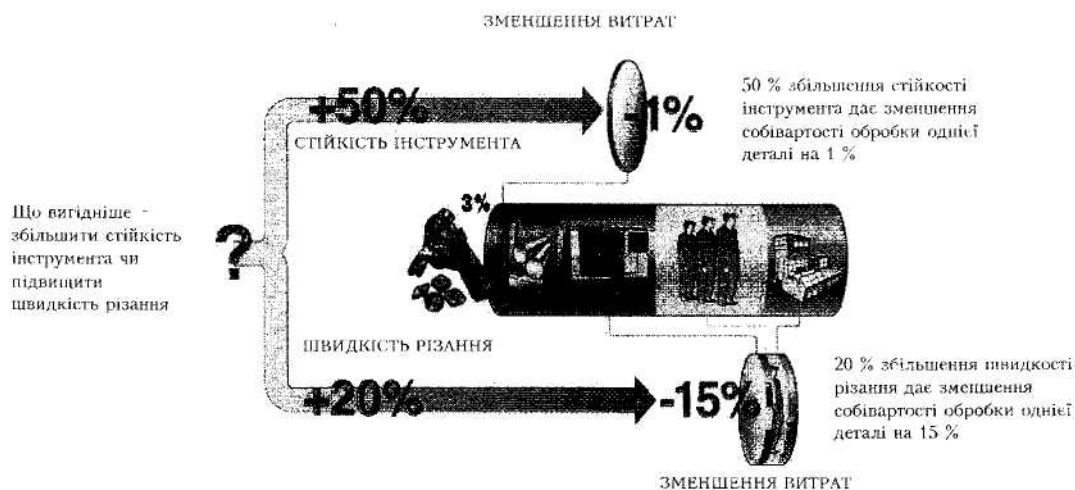


Рис. 1. Вплив зміни умов обробки на ефективність процесу обробки

Характерною рисою процесів високошвидкісної обробки є зменшення інтенсивності росту температури різання, зменшення деформацій, підвищення вібростійкості процесу різання, поліпшення форми стружки, зниження зносу інструмента, шорсткості обробленої поверхні та підвищення якості поверхневого шару та точності виробів. Слід зазначити, що зі збільшенням режимів обробки частка впливу фізико-хімічних процесів на знос інструмента збільшується. Тому

до матеріалу різального інструмента, який застосовується при високошвидкісній обробці, пред'являються дуже високі вимоги хімічної інертності відносно таких металів, як залізо, нікель, титан тощо і вимоги високої стійкості до окислювання.

Швидкості різання при високошвидкісній обробці в 2–3 рази перевищують швидкості при звичайній (до 1000 м/хв) [2]. У зв'язку зі скороченням часу контакту між кромками різального інструмента і заготовкою поводження її матеріалу при високому ступені деформації, високій температурі цього матеріалу та інструмента до кінця поки невідомо і не може бути точно описано загальноприйнятими законами металознавства. При звичайних швидкостях різання з їхнім збільшенням сила різання зменшується, а при дуже високих завдяки силам інерції – збільшується.

Максимальне збільшення температур відбувається, головним чином, в області звичайних швидкостей різання. Їхнє подальше збільшення призводить до непропорційного росту температури стружки. При дуже високих швидкостях різання температури стружки досягають температур плавлення матеріалу заготовки.

У 1933 р. був опублікований патент німецького інженера Золомона, який вважав, що залежність $T = f(v)$ при зростанні швидкості різання має максимум, тобто температура різання, досягаючи деякої максимальної величини, з подальшим підвищенням швидкості різання зникає. У ряді робіт з високошвидкісної обробки це піддається сумніву [3]. А.А. Виноградов [4] теоретично показав, що такий ефект можливий тоді, коли з підвищенням швидкості різання в діапазоні високих її значень істотно зменшується коефіцієнт тертя, що обумовлює зростання кута зсуву до значення, після якого темп росту температури різання з ростом швидкості різання сповільнюється, а при подальшому зростанні, аж до значення, близького до 45° , буде зменшуватися. Це може бути реалізовано за рахунок прояву якогось ефекту, наприклад, хімічного або іншого виду взаємодії оброблюваного матеріалу з інструментальним, а також елементами навколишнього середовища – формування рідкої фази на контактних ділянках інструмента, плівок з аномально низьким коефіцієнтом тертя і т.д.

Перспективними матеріалами для оснащення різальних інструментів, які працюють з високими швидкостями різання, є ШГТМ (рис. 2), що саме і характеризуються низькими значеннями коефіцієнтів тертя, а процес різання якими супроводжується малою усадкою стружки.

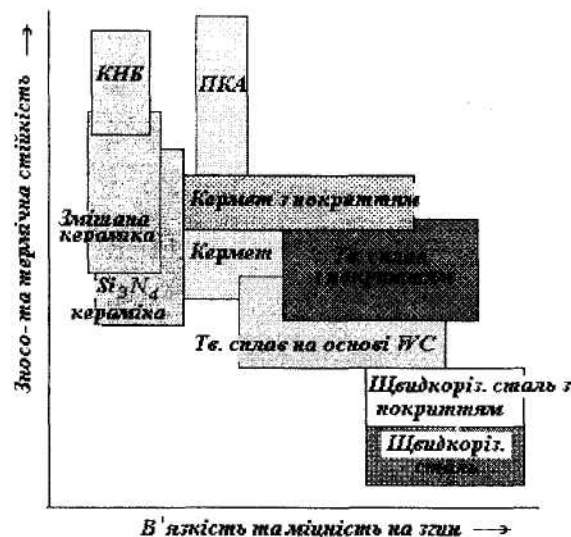


Рис. 2. Области використання інструментальних матеріалів

Високопродуктивна обробка поряд з високими швидкостями різання характеризується великими значеннями подачі. Наприклад, при обробці напиляного покриття ПГ-СР4 інструментом, оснащеним ШГТМ на основі КНВ, досягалася подача більше 4,5 м/хв [5].

• Обробка без охолодження або з мінімальним застосуванням МОТС

Економічно, технічно, технологічно й екологічно вигідніше робити обробку різанням без застосування чи з мінімальним застосуванням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС).

Обробка без застосування МОТС має важливе значення саме при використанні лезових інструментів з ПНТМ. Для обробки такими інструментами характерні високі швидкості різання, а отже, і високі температури в зоні різання. В цих умовах рідке технологічне середовище перетворюється в пару, яка утворює навколо зони різання парову сорочку. Це вже саме по собі знижує ефективність процесу охолодження. Крім того, час від часу виникає прорив парової сорочки, який призводить до влучення холодної МОТС на нагріті ділянки інструмента, викликаючи тепловий удар, що скорочує стійкість різального інструмента з ПНТМ, а найчастіше призводить до його руйнування.

У разі потреби обробки з охолодженням подача МОТС у зону різання може подаватися краплями чи МОТС може застосовуватися в розпиленому вигляді. Як холодоагент може бути використане холодне повітря, яке подається у зону різання.

В питанні застосування МОТС при обробці різанням важливу роль відіграє екологія. Відомо, що найкращим теплоносієм є вода, однак її використання призводить до корозії устаткування. Додавка ж до складу МОТС різних інгібіторів корозії призводить до забруднення навколишнього середовища й ускладнює процес прибирання стружки й устаткування.

У цілому застосування МОТС при обробці інструментом, оснащеним ПНТМ на основі КНБ, підвищує стійкість інструмента в 1,2–1,7 раза. При цьому режими різання залишаються на колишньому рівні, а саме МОТС та устаткування для її подачі вимагають певних фінансових витрат. До цього варто додати витрати на прибирання та переробку відпрацьованих МОТС, витрати на вирішення екологічних проблем. Собівартість процесу обробки зростає. Усе це ставить під сумнів економічну доцільність застосування МОТС.

• **Застосування інструментів з функціональними захисними покриттями та модифікованим поверхневим шаром**

Для підвищення працездатності інструментів варто мінімізувати абразивне стирання різальних кромок. Матеріали різальних інструментів повинні мати можливість опору механізмам зносу, що обумовлює дифузію та розчинення в оброблюваному матеріалі, а також бути досить в'язкими, щоб протистояти сколюванню та розтріскуванню різальних кромок. Оскільки такими властивостями жоден інструмент у комплексі не володіє, то одним з найбільш ефективних рішень проблеми підвищення працездатності інструмента є нанесення на їхні робочі поверхні різальних покриттів (табл.) [2].

Більшість цих покриттів є PVD-покриттями, зокрема, Ti, TiCN, TiAlN і Cr, з товщиною 1–5 мкм (1–10 мкм у Cr). З підвищенням температури різання вони значно менше втрачають твердість, ніж CVD-покриття.

Таблиця 1

Властивості захисних покриттів

Склад покриття	Мікротвердість (HV)	Стойкість до окислювання (макс. температура використання, °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
TiAlCrYN	2700	950	–
CrN	1650–2150	700	0,5
Al ₂ PO ₃	2100–3000	1200	–
ZrN	2800	600	0,6
MoS ₂	1500	–	0,02
WC/C	1500	300	0,2

Покриття на різальних інструментах, у першу чергу забезпечують збільшення стійкості та поліпшення інших властивостей цих інструментів. Сучасні покриття стають усе більш тонкими без зниження зносостійкості інструментів, а технологія їхнього нанесення усе більш філігранною. З розширенням номенклатури геометричних параметрів різальних кромок ці покриття стають усе більш різноманітними [6].

Розроблена швейцарською фірмою "Fraisa" повітряна технологія DSC (Dual Surface Coating – подвійне покриття поверхні) створення покриттів дозволяє одержувати в інструментах передню та задню поверхні з різними функціонально оптимізованими зовнішніми поверхнями. При цьому задня поверхня отримує тверде термічно ізольоване покриття, а передня – напоякований шар з коефіцієнтом тертя, близьким до нуля.

Існуюча тенденція до обробки з мінімальним охолодженням або зовсім без нього вимагає вирішення багатьох проблем, що відносяться до різальних інструментів, зокрема, проблем стабілізації їхньої стійкості та досягнення необхідної якості обробленої поверхні. Одним із способів вирішення цих проблем фірма "Gühring" вибрала інтеграцію змащення в інструмент. Методом PVD шар сульфиду молибдену товщиною 0,2–0,5 мкм наносять на покриття, дозволяючи одержати мінімальний коефіцієнт тертя і виняткові можливості ковзання стружки по передній поверхні інструмента. Такий підхід найбільш ефективний при обробці дуже в'язких матеріалів чи у випадках ускладненої подачі змащення в зону різання, оскільки значною мірою виключає небезпеку холодного приварювання й утворення наросту.

Останнім часом практично усі світові виробники випускають різальні інструменти, оснащені ПНТМ на основі КНБ, із захисними покриттями. Найбільш часто зустрічається покриття TiAlN.

Перспективним напрямком підвищення працездатності різальних інструментів є нанесення на його поверхні покриттів з надтвердих матеріалів.

У практиці механообробки все частіше зустрічаються приклади застосування твердосплавного чи керамічного інструмента з алмазним покриттям [6]. Так, наприклад, для обробки різанням деталей з кольорових металів на основі алюмінію потрібен спеціальний інструмент із визначеною геометрією різальної кромки. Фірма "Sumilimo Electric" розробила багатогранні пластини із Si_3N_4 з алмазним покриттям.

Тонкі алмазні покриття (до 50 мкм) знаходять широке застосування на інструментах складної форми (свердлах, розгорненнях та ін.). Такі покриття, на відміну від полікристалів, не містять зв'язки, мають твердість, практично рівну твердості природного алмаза, мають більшу теплопровідність в порівнянні з міддю.

Швейцарська фірма "Alesa" розробила нове надтонке алмазне покриття для твердосплавних пластин, що не переточуються, яке використовується при гострінні та фрезеруванні матеріалів, що не утримують заліза. За допомогою спеціального технологічного процесу шар полікристалічного алмаза міцно зчіплюється з твердосплавною підкладкою, що підвищує хімічну стабільність покриття, а дуже висока якість його поверхні забезпечує мінімальний коефіцієнт тертя на передній поверхні інструмента. Швидкість різання таким інструментом досягає 2000 м/хв.

На думку німецької фірми "Cemcon", чим дрібніші кристали в алмазному покритті, тим вищою може стати його планована стійкість, і при створенні кристалів з розмірами в нанометричному діапазоні можна розраховувати практично на 100-кратне збільшення періоду стійкості інструментів у порівнянні із звичайними розмірами кристалів у покриттях в межах 1–5 мкм. Таке "гладке" покриття дозволяє виконувати без застосування МОТС обробку силумінових сплавів, а також багатьох інших важкооброблюваних матеріалів.

В даний час розроблений ряд перспективних технологій модифікування поверхневого шару інструментальних матеріалів, що поряд із захисними покриттями дозволяють підвищити його працездатність. Це – лазерна обробка, іонна імплантація, окислення тощо.

Стосовно ПНТМ механізм дії захисних покриттів та модифікації поверхневого шару вивчений дуже мало. У той же час, сьогодні – це один з основних шляхів керування працездатністю інструментів, оснащених такими матеріалами.

• Обробка з високими динамічними навантаженнями

У промисловості найчастіше існує думка, що різальні інструменти, оснащені ПНТМ, призначені тільки для виконання фінішних процесів обробки, тобто надтверді матеріали мають високу крихкість та не можуть експлуатуватися в умовах різання з ударом. Також є необхідність використання таких інструментів і при обробці з динамічними навантаженнями.

В даний час і в перспективі широке поширення отримують деталі, виготовлені з матеріалів з гетерогенною структурою. Така структура матеріалів обумовлює наявність у процесі різання перемішаних навантажень на лезо різального інструмента.

Багато виробів виготовляються з використанням технологій наплавлення, напилювання, лиття в земляні форми. У цих випадках на поверхні деталей мають місце значні макроперівності та відхилення профілю. Обробка таких деталей супроводжується якщо не ударними навантаженнями на різальний інструмент, то значною зміною глибини різання, що також обумовлює динамічні навантаження.

І, нарешті, багато деталей конструктивно мають переривчасті поверхні, що при обробці різанням викликає ударні навантаження на різальний інструмент.

Обробка деталей з відзначеними вище особливостями істотно ускладнюється, якщо використовувані конструкційні матеріали мають високу твердість.

Працездатність інструментального матеріалу при експлуатації з динамічними навантаженнями визначається широким комплексом механічних властивостей — твердістю, модулем Юнга, коефіцієнтом тріщиностійкості, міцністю на стиск і вигин тощо. З ПНТМ на основі КНБ, які випускаються в країнах СНД, краще поєднання механічних властивостей має композит киборит. Інструменти, оснащені киборитом, показали високу працездатність при обробці з ударом. Останнім часом з'явилися нові композити на основі КНБ, такі як гетероніт, що дозволяють створювати різальні інструменти, які ефективно працюють в умовах високих динамічних навантажень (рис. 3).

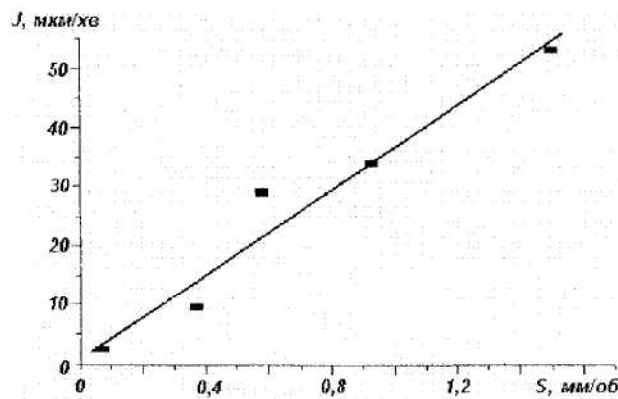


Рис. 3. Вплив розміру подачі на інтенсивність зношування інструмента, оснащеного ПНТМ гетероніт, при обробці напиленого покриття ПГ-СР4

• Відхід від дискретних методів обробки, поєднання операцій

Сучасна технологія механічної обробки має тенденцію відходу від дискретних методів, що значно розтягує операції виготовлення деталей у часі та просторі, до поєднання декількох операцій на одному верстаті, що працює в автоматичному режимі, незалежно від твердості матеріалу та конфігурації оброблюваної деталі. Багато в чому це вирішується за рахунок геометричних параметрів та особливостей конструкції інструмента.

Насамперед мова йде про створення різальних інструментів, що дозволяють обробляти гаму різних поверхонь. Використовуючи один різець, можна нарізати канавки, точити вправо і вліво, відрізати чи обробляти деталь зі складнофасонним профілем. Основним принципом такої обробки є деформація робочої частини інструмента, що призводить до появи фронтального зазору під кутом α між різальною пластиною та заготовкою. На величину кута впливають бічні сили різання. Цей кут може мінятися, на відміну від стандартних інструментів, де він завжди постійний.

На практиці поверхні, оброблені за такою технологією, у більшості випадків не мають потреби в шліфуванні.

Іншим прикладом комплексної обробки є точіння, поєднане з поверхневим пластичним деформуванням або термічною обробкою. У цьому процесі за рахунок геометричних параметрів інструмента — великого негативного переднього кута, великої величини радіуса округлення різальної кромки і фаски зносу на задній поверхні — у зоні обробки формуються такі умови (велика деформація матеріалу чи висока температура), які забезпечують зміцнення оброблюваного матеріалу нижче рівня зрізу, що сприяє утворенню на обробленій поверхні білого шару. Для такої

обробки ефективні інструменти, оснащені ПНТМ, що мають низький коефіцієнт теплопровідності та відносно високий коефіцієнт тертя з оброблюваним матеріалом, наприклад, композит-10.

Знизити удвічі вартість лезової обробки отворів в деталях порівняно зі звичайно застосовуваним шліфуванням можна, використовуючи для цього двокромочні пластини фірми "Maral Präzisionswerkzeuge" [6]. Одна кромка пластини виконана з КНБ (для попереднього гостріння), інша – з полікристалічного алмаза (для остаточного). При розточуванні отворів у сталі твердістю 60 HRC при швидкості різання 130 м/хв досягається шорсткість Rz 1–2, що дозволяє виключити наступне хонінгування.

Лезовий інструмент, оснащений ріжучою частиною із ПНТМ на основі синтетичного алмаза та щільних модифікацій нітриду бору, забезпечуючи геометричні та фізико-механічні параметри стану поверхневого шару, одночасно модифікує поверхневий шар оброблюваного виробу, змінюючи його хімічний склад.

При обробці сплавів, що містять залізо, нікель, титан та ін. метали, відбувається хімічна взаємодія з утворенням їхніх з'єднань з бором та азотом. Наприклад, у спектрах мас негативних вторинних іонів поверхні сплаву, легованого титаном, після контактування з матеріалом на основі КНБ присутні піки, що відповідають TiB , TiN , TiB_2 , TiN_2 , а це свідчить про протікання хімічних реакцій між нітридом бору і титаном.

У зоні контакту відбуваються хімічні реакції з утворенням нітридів, боридів, карбідів та оксидів елементів, що входять до складу контактуючих матеріалів. На обробленій поверхні деталі формується шар нових хімічних сполук, що впливає на роботу в експлуатації.

• Багатокоординатна обробка складнопрофільних виробів одним інструментом

Новий спосіб підвищення ефективності обробки інструментом із ПНТМ – багатокоординатна обробка одним інструментом [7]. Обробка проводиться інструментом з перемінною різальною вершиною практично методом обкату робочої частини різального інструмента. Така технологія передбачає необхідність проектування та виготовлення спеціальних інструментів, але є дуже перспективною як з технічної, так і з економічної точок зору. Наприклад, за допомогою одного різця можна цілком обробити профіль таких складних деталей, як колесо літака (рис. 4).

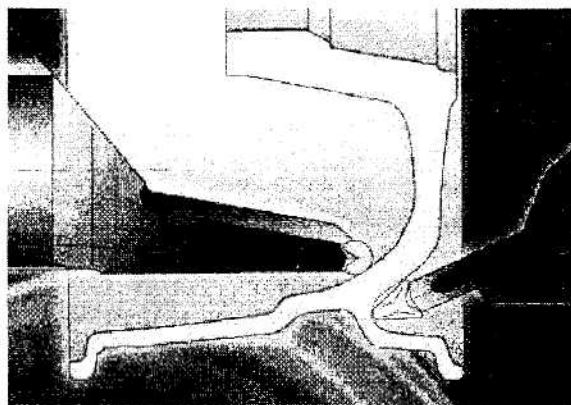


Рис. 4. Обробка складнопрофільного виробу лезовим інструментом

Особливо ефективно застосування такої технології при виготовленні деталей з важкооброблюваних матеріалів. До інструмента висуваються високі вимоги по стабільності геометричних параметрів, а до його матеріалу – по зносостійкості. ПНТМ у цьому випадку практично не має альтернативи.

• Обробка осьовим інструментом

Розглянута вище обробка складнопрофільних поверхонь тісно пов'язана з розробкою нових технологічних процесів на основі зробленої кінематики формотворного руху. Це особливо важливо при обробці осьовим інструментом, зокрема, кінцевими фрезами (рис. 5).

Такі різальні інструменти в сукупності із сучасними верстатами з великим числом ступенів свободи, такими як верстати з рівнобіжною кінематикою, керованими від ЕОМ, дозволяють обробляти дуже складні поверхні практично з будь-яких конструкційних матеріалів.

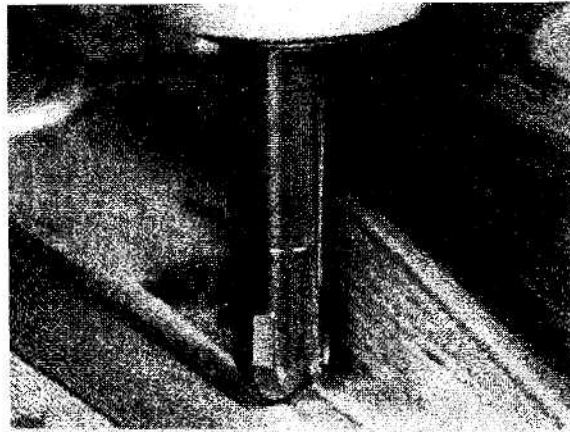


Рис. 5. Обробка кінцевою фрезою

У каталогах фірм, що роблять інструмент, оснащений ПНТМ, осьовий інструмент (особливо кінцеві фрези) представлений вкрай обмежено, однак область його застосування і попит на нього постійно розширюються.

- **Обробка «сирих» сталей інструментами, оснащеними ПНТМ, обробка в'язких спеціальних сталей**

В даний час інструмент, оснащений ПНТМ, застосовується при обробці матеріалів, що мають підвищені механічні властивості. У більшості випадків «сирі» метали та сплави обробляються інструментом із твердих сплавів. Це відноситься і до обробки сплавів з аустенітною структурою, сплавів на Ni-основі.

Зазначене пов'язано з низькою ефективністю інструмента з ПНТМ при обробці таких матеріалів внаслідок інтенсивних адгезійних процесів на поверхнях контактування інструмента.

Створення ПНТМ інструментального призначення, що однаково добре працюють при обробці зміцнених та «сирих» матеріалів, сплавів з аустенітною структурою, сплавів, що деформаційно зміцнюються, наприклад, литих високомарганцевистих сталей, жароміцних нікелевих сплавів, дозволить різко скоротити номенклатуру застосовуваних інструментів і підняти ефективність технологічних процесів обробки за рахунок інтенсифікації режимів різання та високої стійкості різальних інструментів.

- **Підвищення точності обробки та якості обробленої поверхні**

Підвищення якості та точності обробки деталей були і залишаються одними з найважливіших задач процесу обробки. Важливість цих питань постійно зростає у зв'язку зі створенням та застосуванням нових конструкційних матеріалів, що мають комплекс підвищених фізико-механічних властивостей.

Забезпечити вимоги до точності та якості обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів можливо застосуванням інструментів, оснащених ПНТМ. Це багато в чому пов'язане з тим унікальним комплексом властивостей, яким володіють такі матеріали. Також великим резервом у цьому питанні є вивчення закономірностей процесу стружкоутворення при різанні інструментом із ПНТМ, закономірностей формування мікронерівностей на обробленій поверхні, механізмів зношування інструментів. Керування відзначеними явищами дає можливість направлено забезпечувати вимоги до точності та якості оброблених деталей.

Створення різальних інструментів, у конструкціях яких враховуються закономірності процесів різання і, зокрема, особливості процесів різання інструментом із ПНТМ, наприклад, різального інструмента з циліндричною чи конічною передньою поверхнею дозволяє направлено керувати якістю оброблених виробів. Інструменти, що змінюють за рахунок своєї геометрії умови пластичного деформування оброблюваного матеріалу перед інструментом, дозволяють одержувати деталі з малою шорсткістю обробленої поверхні. Наприклад, при однакових умовах гострішня плазмово-наплавленого порошкового покриття ПГ-СР5 різцями з кибориту найменша досяжна шорсткість для інструмента з циліндричною передньою поверхнею складає $Ra\ 0,238 \pm 0,08$, а для інструмента звичайної конструкції — $Ra\ 0,544 \pm 0,19$.

- Розробка і впровадження нових технологічних процесів на основі застосування обчислювальної техніки та устаткування, оснащеного мікропроцесорними системами керування

Аналіз досвіду в галузі машинобудування показує, що майбутнє — за широким використанням технологічних процесів на базі верстатів із застосуванням мікропроцесорних систем керування [8].

Замість обробних центрів, побудованих на принципах потокових автоматичних ліній та гнучких автоматизованих комплексів, створюються верстати з рівнобіжною кінематикою, що забезпечені комп'ютерними системами із широкими можливостями нелінійного адаптивного контролю процесу обробки та постійного поетапного уточнення параметрів процесу за рахунок керуючого алгоритму, адаптованого до умов, що постійно змінюються. Параметри процесу обробки коректуються на кожній технологічній стадії. Контрольний алгоритм адаптується до умов обробки, що можуть реально змінюватися через зношування інструмента, відхилення точності серії деталей, випадкових явищ у динаміку та кінематику привода і т.п. До функцій установки інструмента і відповідних змін режимів різання додається функція контролю процесу.

Витрата інструмента на подібному устаткуванні в 2–3 рази вище, ніж на звичайному. При цьому необхідно враховувати, що подальше збільшення питомої ваги важкооброблюваних матеріалів неминуче призведе до збільшення витрати інструмента, якого на обробку таких матеріалів потрібно в 2–10 разів більше, а вартість простоїв автоматичного устаткування з вищою інструмента на два порядки більше, ніж універсального. В таких умовах особливо повинні проявитися переваги інструмента з ПНТМ.

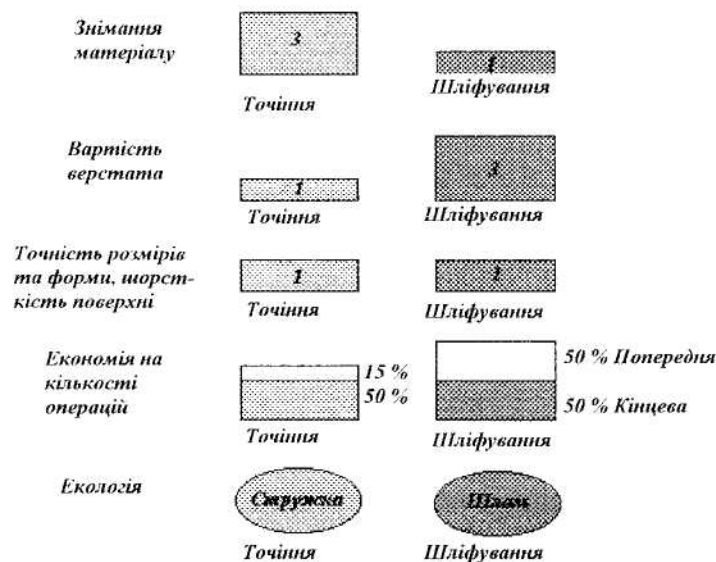


Рис. 6. Показники процесів точіння та шліфування

Сучасні процеси фінішної механічної обробки базуються на результатах широкого кола наукових досліджень природи і закономірностей протікання механічних та фізико-хімічних явищ у зоні контактування інструмента з виробом з урахуванням дії навколишнього середовища, механізмів зношування і руйнування інструментів, закономірностей формування стану поверхневого шару виробів у процесі обробки. Результати такого широкого комплексу наукових досліджень є запорукою створення нового інструмента, що успішно працює як по сирих, так і по зміцнених матеріалах в умовах ударних та неударних навантажень, дозволяючи значною мірою замінити операції шліфування на різання (рис. 6 [9]), спростити кінематику та конструкцію верстатів.

При цьому ключову роль у забезпеченні ефективності технології відіграє використовуваний матеріал різального інструмента. Реалізація відзначених тенденцій, насамперед, пов'язана зі створенням інструментальних ПНТМ з підвищеними механічними, теплофізичними та хімічними властивостями, розробкою принципів керування процесами механіки та фізико-хімічної контактної взаємодії інструментального матеріалу з оброблюваним і елементами навколишнього середовища, створенням ефективних сумішей та технологій нанесення захисних

покриттів і модифікування поверхневого шару ПНТМ, розробкою інструментів, конструкції яких базуються на новітніх уявленнях про закономірності процесу різання інструментами, оснащеними ПНТМ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Токарный инструмент: Каталог. — Швеция: АВ Sandvik Coromant, 2000.
2. *Потанов В.А.* Третья международная конференция по высокоскоростной обработке // <http://stankoinform.ru>.
3. *Кузнецов В.Д.* Физика резания и трения металлов и кристаллов. — М.: Наука, 1977. 310 с.
4. *Виноградов А.А.* К вопросу о реализации гипотезы сверхскоростного резания металлов // Абразивосодержащие композиты для изготовления инструмента и качество поверхности деталей при физико-механической обработке: Сб. науч. тр. — Киев: ИСМ АН Украины, 1992. — С. 96–106.
5. Деформационно-упрочненный композит на основе cBN для лезвийной обработки пикелевых сплавов / И.А. Петруша, А.А. Шульженко, С.А. Клименко и др. // Сверхтв. мат. — 2002. — № 2. — С. 15–25.
6. *Потанов В.А.* Состояние инструментальной техники в 2000 г. // <http://stankoinform.ru>.
7. Проспект фирмы «Iskar», 2002.
8. Интеллектуальное производство / Под. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. — Новопоцок: ПГУ, 2002. — 268 с.
9. Обработка твердых материалов. Ваш первый выбор: Рекламный буклет. — Kennametal Hertel AG, 2001.

НОВІКОВ Микола Васильович — доктор технічних наук, професор, академік НАН України, директор Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

— створення, дослідження властивостей та застосування полікристалічних надтвердих матеріалів.

КЛИМЕНКО Сергій Анатолійович — доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, завідувач відділу Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

— механічна та фізико-хімічна взаємодія в процесах обробки різанням;
— створення, дослідження та застосування різальних інструментів з полікристалічних надтвердих матеріалів.

КОПЕЇКІНА Марина Юрївна — провідний інженер Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

— механічна та фізико-хімічна взаємодія в процесах обробки різанням;
— створення, дослідження та застосування різальних інструментів з полікристалічних надтвердих матеріалів.

Подано 01.07.2003