

УДК 621.914

В.С. Антонюк, професор, д-р техн. наук,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056,
vp@kpi.ua,

Ю.О. Мельничук, канд. техн. наук,

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074,
yutmel07@mail.ru

М.О. Разжавін, інженер

Публічне акціонерне товариство «Краматорський завод важкого верстатобудування»,
вул. Орджоникидзе, 6, м. Краматорськ, Донецька обл., Україна, 84306
info@kzts.com

ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ КРУПНОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИСОКОМІЦНИХ СПЛАВІВ

Розглянуті закономірності обробки крупногабаритних деталей з високоміцних сплавів на важких верстатах інструментом з ПНТМ на основі нітриду бору. Показана можливість високопродуктивного точіння загартованих деталей однокромочними інструментами з циліндричною передньою поверхнею, оснащеними різальними пластинами з ПНТМ з великими подачами. Розроблені рекомендації для попередньої та напівчистої токарної обробки інструментом із ПНТМ які забезпечили формування високоякісних поверхонь з малою шорсткістю.

Ключові слова: інструмент; високоміцні сплави; крупногабаритні деталі; стійкість; шорсткість поверхні.

Вступ. Розвиток сучасного машинобудування значною мірою пов'язаний з підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик деталей машин і механізмів і, відповідно, застосуванням при їх виробництві матеріалів з високими фізико-механічними властивостями. До таких матеріалів відносяться важкооброблювані залізобетонні сплави високої твердості, а саме, загартовані сталі та сталі з підвищеним вмістом марганцю та інших легуючих елементів. з них виготовляються великогабаритні металоемні вироби, такі як деталі енергетичного обладнання та гірничо-металургійного комплексу, турбіни, валки прокатних станів, вали і шпинделі важких верстатів та ін.

Значне розширення асортименту важкооброблюваних матеріалів як при виготовленні високоточного обладнання, так і в вигляді крупногабаритного устаткування, що отримують на такому обладнанні, потребує наявності інструменту, який здатний найбільш ефективно обробляти високоміцні та зносостійкі конструкційні матеріали, широке застосування яких обумовлено підвищеними вимогами до надійності та довговічності деталей, машин і механізмів [1].

Вимоги, що пред'являються до процесу виготовлення таких деталей, передбачають поєднання високої продуктивності обробки з високою стійкістю та надійністю різального інструменту, що обумовлює актуальність проведення комплексних досліджень закономірностей процесу отримання полікристалічних надтвердих матеріалів, механіки та фізико-хімії процесів контактної взаємодії різального інструменту з оброблюваним матеріалом в зоні різання, уявлень про механізм їх зношування та розробки методики діагностування стану різального інструменту [2].

Метою роботи є розробка високоєфективного інструменту для обробки крупногабаритних деталей з високоміцних сталей та сплавів

Зважаючи на те, що кінцевою метою створення інструментальних матеріалів і вдосконалення їх властивостей є розробка металорізального інструменту, підвищення його працездатності, поліпшення експлуатаційних характеристик і розширення технологічних можливостей, які визначаються фізико-механічними властивостями інструментальних матеріалів для досягнення поставленої мети необхідно:

розробити нові види композиційних полікристалічних надтвердих матеріалів різного призначення для виготовлення високоєфективного різального і шліфувального інструменту;

дослідити особливості формування зміцнюючих дискретних покриттів на робочих поверхнях різального інструменту, оптимізувати їх склад і топографію;

розробити нові види високоєфективного різального інструменту та технологію обробки конструкційних матеріалів різанням і реалізувати їх при виготовленні та експлуатації важких токарних верстатах.

Значним резервом підвищення продуктивності обробки деталей різанням є розширення застосування інструментів оснащених полікристалами надтвердих матеріалів (ПНТМ) на основі щільних модифікацій нітриду бору – кубічного (КНБ) марки кіборит і борсініт виробництва Інституту надтвердих

матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України та на основі вюрцитного (ВНБ) композиту гексаніт-Р, виробництва Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, обумовлена унікальним поєднанням їх фізико-механічних характеристик;

високої твердості 40-75 ГПа (в 2-4 рази вище ніж у твердих сплавів; високої теплостійкості – 1100-1300°C; хорошої теплопровідності – 0,10-0,12 кал/с·с·град, близької до теплопровідності твердих сплавів, яка не знижується при підвищенні температури; хімічна інертність до сполук заліза з вуглецем; здатність різальної кромки до самозаточування (радіус її закруглення не перевищує 25-40 мкм протягом всього періоду стійкості інструменту практично незалежно від режимів різання); достатня в'язкість і міцність, яка забезпечує надійне застосування даного інструменту при торцевому фрезеруванні.

Фізико-механічні та експлуатаційні характеристики ПНТМ складають якісно нову групу інструментальних матеріалів, оптимальні умови застосування яких характеризуються надвисокими швидкостями різання і відносно малими товщинами стружки, що знімається, великою потужністю різання і порівняно невеликими енергетичними витратами, малими силами різання і високою точністю обробки, достатньо значним тепловідведенням в зоні різання і відсутністю нагрівання деталі, низькою шорсткістю обробленої поверхні і високою якістю поверхневого шару деталі, підвищеними вимогами до обладнання і до всього технологічного процесу виготовлення деталей в цілому.

Для ефективного використання інструментів з ПНТМ на основі КНБ при обробці крупногабаритних деталей необхідні важкі верстати з точним рухом в площині без торцевого биття інструментальних шпинделів, що відповідає підвищеним вимогам до обладнання, забезпечуючи оптимальну швидкість різання.

Такі важкі токарні верстати, які не тільки не поступаються кращим світовим аналогам, але й перевершують їх, зараз серійно виготовляються в Україні на Публічному акціонерному товаристві "Краматорський завод важкого верстатобудування" (ПАТ «КЗВВ») як для машинобудівних підприємств України ПАТ «НКМЗ», ПАТ «Енергомашспецсталь», так і на експорт. ПАТ «КЗВВ» є одним з найбільших у світі розробником і виробником важких і унікальних верстатів для обробки деталей тіл обертання діаметром до 6000 мм і масою до 250 тонн.

За час експлуатації такі верстати показали себе як надійні, зручні в роботі машини, здатні з високим ступенем точності обробляти деталі. Якість виконання робочих органів верстата забезпечує високу точність обробки деталей: радіальне й торцеве биття до 0,01 мм, некруглість і нециліндричність у межах 0,008-0,01 мм, шорсткість поверхні Ra 0,8 мкм. Це дозволяє значно скоротити трудомісткість виготовлення, виключити виготовлення дорогого оснащення, тим самим зменшити витрати виробництва та підвищити конкурентоспроможність продукції, що виготовляється.

Чистова токарна обробка деталей із загартованих сталей інструментом із ПНТМ дозволяє в ряді випадків відмовитися від шліфування – традиційного способу одержання поверхонь із параметром шорсткості менше Ra 1,25. Але при цьому використовують малі подачі (0,10–0,15 мм/об), що значно обмежує продуктивність такої обробки [3].

Із загартованих сталей високої твердості виготовляються великогабаритні металоємні вироби, а вимоги, що пред'являються до таких деталей, обумовлюють необхідність поєднання високої продуктивності чистової обробки із стійкістю інструменту, достатньої для завершення процесу обробки без зміни різального інструменту.

Необхідність забезпечення низької шорсткості обробленої поверхні вимагає значного зниження режимних параметрів обробки, в першу чергу, подачі інструменту. Основним методом вирішення цього завдання і, відповідно, головною тенденцією у вдосконаленні процесів лезової обробки є збільшення швидкості різання. В той же час, з підвищенням режимів обробки має місце істотна інтенсифікація зношування різального інструменту і значне зниження періоду його стійкості [4].

Збільшення продуктивності при левовій обробці матеріалів можна досягнути за рахунок зміни конструкції інструменту

Дослідження показали, що знизити висоту мікронерівностей обробленої поверхні можна за рахунок застосування різців із передньою поверхнею у вигляді тіл обертання, які дозволяють інтенсифікувати обробку за рахунок збільшення величини поздовжньої подачі. Для цього виготовлені різці спеціальної конструкції, при встановленні в які різальних пластин круглої форми забезпечувалася циліндрична випукла форма передньої поверхні. Застосування такого інструменту дозволяє проводити як чистову так і чорнову обробку важкооброблюваних матеріалів (рисунок 1).

Робота такими різцями, характеризується специфічними умовами пластичного деформування оброблюваного матеріалу перед передньою поверхнею інструмента, що забезпечує можливість істотного зниження шорсткості обробленої поверхні при збільшених значеннях подачі. При роботі таким інструментом стружка від головної та допоміжної різальних крайок сходять у різних напрямках. На відміну від інструмента із плоскою передньою поверхнею при циліндричній передній поверхні інструмента проекція різальної крайки на основну площину має радіус кривизни в кілька разів більший, що знижує шорсткості обробленої поверхні.

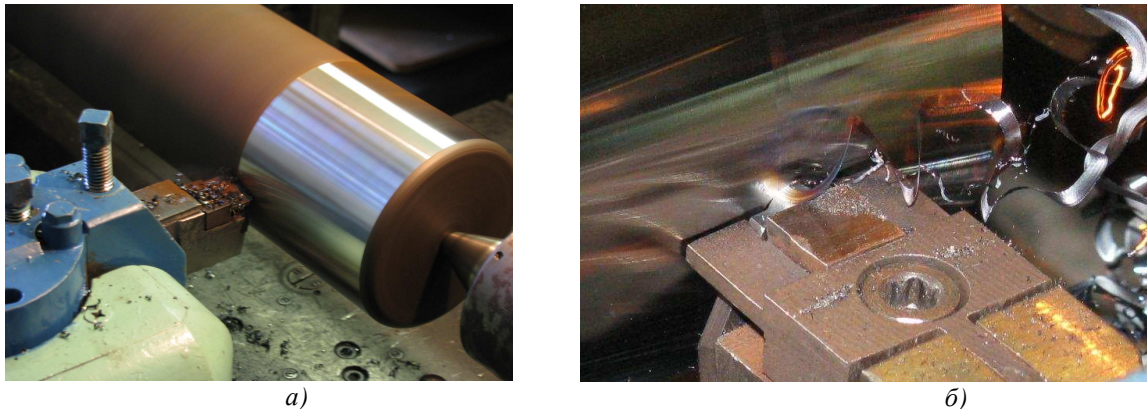


Рисунок 1 – Точіння вала із загартованої сталі ШХ15 (HRC 62) різцем із циліндричною передньою поверхнею: а – чорнове точіння; б – чистове точіння

Порівняльні експерименти показали, що при поздовжнім точінні загартованої сталі інструментом із циліндричною передньою поверхнею при трьох значеннях подачі $S = 0,1, 0,19, 0,38$ мм/об параметр шорсткості поверхні Ra значно нижче в порівнянні із шорсткістю поверхні, обробленої з тими ж режимами різцем із плоскою передньою поверхнею. Установлено, що при використанні інструмента із циліндричною передньою поверхнею при подачі $S = 0,1$ мм/про ($v = 75$ м/хв, $t = 0,1$ мм) досягається шорсткість обробленої поверхні $Ra 0,2$. У свою чергу, при точінні різцем с круглою різальною пластиною при подачі $0,12$ мм/об шорсткість обробленої поверхні становить $Ra 0,63$, а при використанні інструмента Вірег-геометрією така шорсткість поверхні забезпечується при подачі $0,2$ мм/об. При точінні з більш високими подачами спостерігається значне збільшення різниці в значеннях висоти мікронерівностей при використанні двох видів інструментів.

На рисунку 2 представлені профілограми оброблених поверхонь після точіння інструментами із циліндричними та плоскою передньою поверхнею з вищевказаними величинами подачі, з яких видно, що нерівності при обробці з рівними подачами мають однаковий крок, однак істотно відрізняються по висоті.

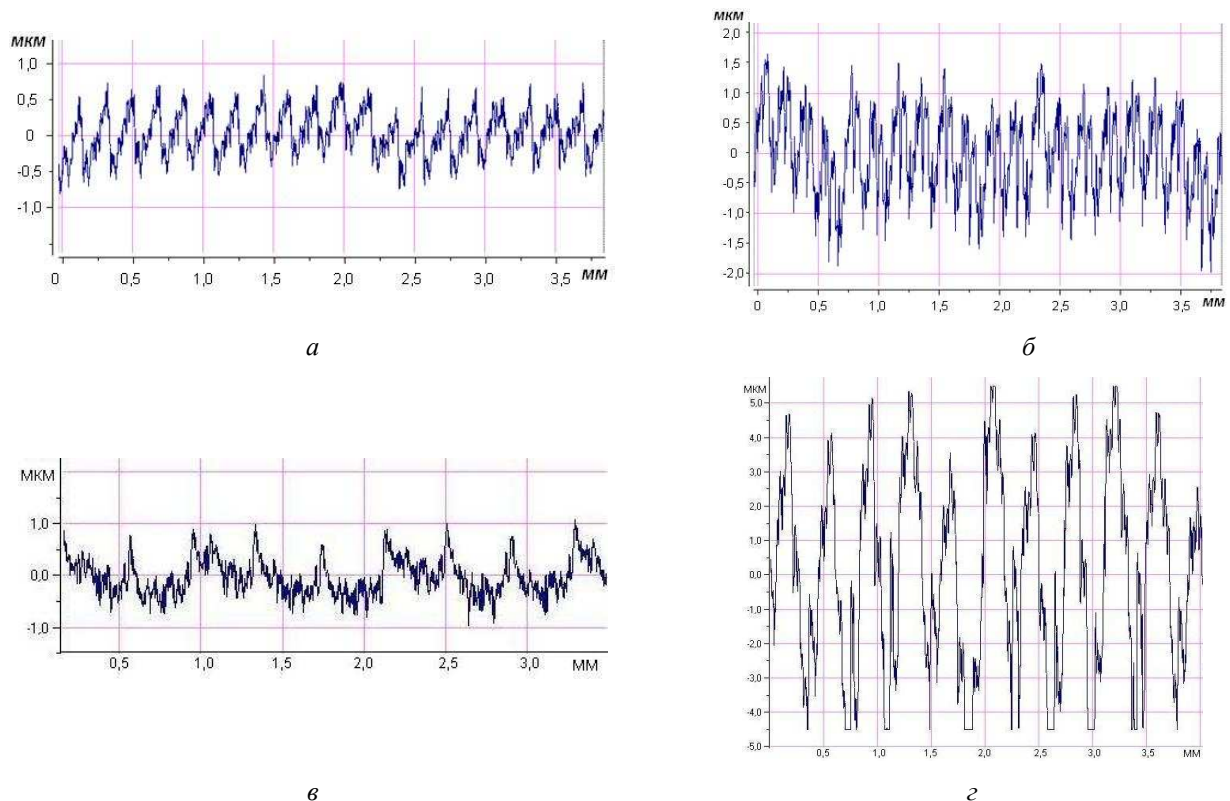


Рисунок 2 – Профілограми поверхонь, оброблених інструментами з циліндричною (а, в) і плоскою (б, г) передніми поверхнями: а, б – $S = 0,19$ мм/об; в, г – $S = 0,38$ мм/об ($v = 75$ м/хв, $t = 0,1$ мм; $l = 100$ мм)

При подачі $S = 0,19$ мм/об параметри Ra й Rz становлять відповідно 0,29 й 1,10 мкм, при $S = 0,38$ мм/об – Ra 0,34; Rz 1,65 – при обробці інструментом із циліндричною передньою поверхнею; при $S = 0,19$ мм/об – Ra 0,80; Rz 2,6 і при $S = 0,38$ мм/об – Ra 2,80; Rz 8,60 – при обробці інструментом із плоскою передньою поверхнею.

З ростом подачі при обробці інструментом з циліндричною передньою поверхнею висота нерівностей монотонно зростає (рисунок 3). Однак при подачах $S > 0,6$ – $0,7$ мм/об відбувається різке збільшення висоти нерівностей обробленої поверхні, що свідчить про недоцільність подальшого збільшення подачі в даних умовах у зв'язку з погіршенням якості поверхні.

Відносна опорна крива профілю tp містить найбільшу інформацію про форму нерівностей поверхні й дозволяє судити про фактичну площу контакту при взаємодії шорсткуватих поверхонь на заданому рівні перетину p .

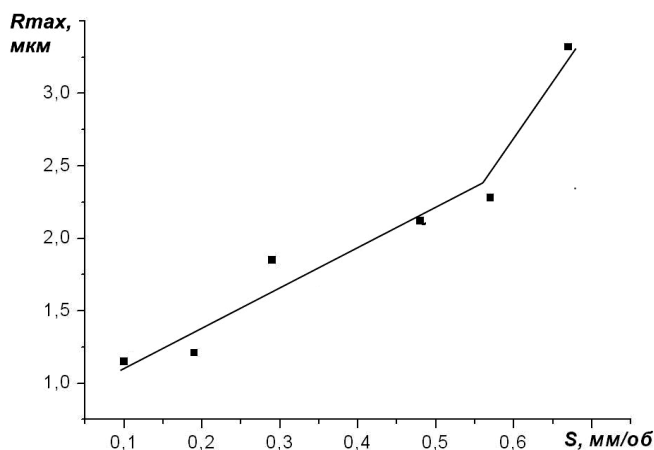


Рисунок 3 – Залежність максимальної висоти нерівностей профілю поверхні, обробленої інструментом із циліндричною передньою поверхнею ($v = 75$ м/хв, $t = 0,1$ мм)

Аналіз даних, представлених на рисунку 4, показує, що відносні опорні криві профілів поверхонь, отриманих при обробці інструментом із циліндричною передньою поверхнею при подачах $S = 0,19$ мм/об й $S = 0,57$ мм/об істотно не відрізняється від таких, отриманих при використанні різця із плоскою передньою поверхнею.

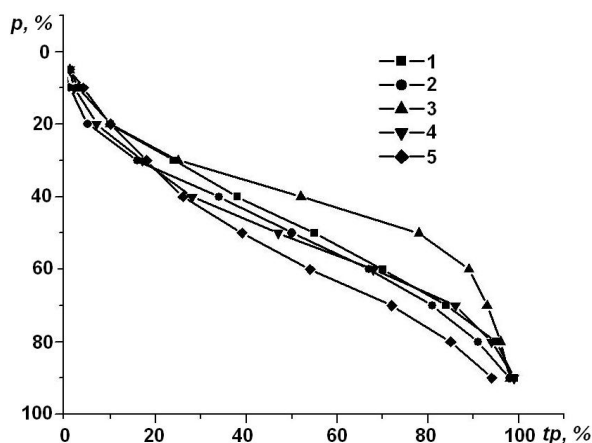


Рисунок 4 – Опорні криві профілів нерівностей обробленої поверхні: 1 – різець із плоскою передньою поверхнею: $S = 0,19$ мм/об; 2, 3, 4, 5 – різець із циліндричною передньою поверхнею: 2 – $S = 0,19$ мм/об; 3 – $S = 0,29$ мм/об; 4 – $S = 0,57$ мм/об; 5 – $S = 0,67$ мм/об

У цих випадках опорна довжина профілю на рівні перетину 20 % становить 7–10 %, на рівні 30 % – 17–20 %, на рівні 40 % – 28–35 %. Істотно виділяється відносна опорна крива профілю поверхні після точіння з подачею $S = 0,29$ мм/об. При цьому забезпечується опорна довжина профілю t_{20} – 7–10 %, t_{30} – 25 %, t_{40} – 52 %. Повільно t_p зростає при обробці з подачею $S = 0,67$ мм/об.

Обробка точінням інструментом із циліндричною передньою поверхнею (рисунок 8) в діапазоні подач 0,19–0,57 мм/об дозволяє одержати поверхні не тільки з низькими величинами висот

мікронерівностей, але й забезпечити порівняно більшу опорну довжину профілю, а іноді і перевищує, отриману при точінні інструментом із плоскою передньою поверхнею.

Обробка інструментом із циліндричною передньою поверхнею може проводитися з подачами 0,2–0,7 мм/об, що в 2–5 разів вище в порівнянні із традиційним інструментом із плоскою передньою поверхнею. При цьому висота мікронерівностей обробленої поверхні становить Ra 0,20–0,80. Виходячи з умови забезпечення найбільшої площі обробленої поверхні, діапазони оптимальних умов обробки інструментом із циліндричною передньою поверхнею – швидкість різання 1,4–1,6 м/хв, подача 0,35–0,45 мм/об, глибина різання $t = 0,1$ мм.

Стійкість інструмента із циліндричною передньою поверхнею при обробці зі швидкостями різання 60–90 м/хв становить 30–80 хв залежно від величини подачі, що дозволяє проводити обробку довгомірних великогабаритних деталей.

Висновок. Таким чином вивчення закономірностей обробки новими інструментальними композиціями, та закономірностей різання загартованих сталей інструментами з циліндричною передньою поверхнею, оснащеними ПНТМ на основі КНБ дозволило створити методики підвищення надійності різального інструменту. Запропоновані конструкції однокромочних інструментів з циліндричною передньою поверхнею, оснащених ПНТМ на основі нітриду бору, дозволяють проводити обробку високоміцних сталей та сплавів з великими подачами. Розроблені рекомендації для попередньої та напівчистої токарної обробки інструментом із ПНТМ забезпечили формування високоякісних поверхонь з шорсткістю $Ra = 0,40$ – $1,25$ мкм ($R_{tm} = 1,5$ – $4,5$ мкм) і підвищення продуктивності чистої обробки великогабаритних деталей з високоміцних сталей та сплавів в 4–7 разів більше, ніж при традиційному чистовому точінні інструментом з ПНТМ на основі КНБ.

Библиографический список использованной литературы

1. Антонюк В.С. Научно-технические и экспериментальные аспекты создания высокоэффективных тяжелых токарных станков повышенной точности с ЧПУ / В.С. Антонюк, В.М. Волкогон, Ю.О. Муковоз // Технологические системы. — 2008. — №3. — С. 9 – 17.
2. Клименко С.А. Износ и стойкость инструмента с ПСТМ на основе КНБ при чистовом точении закаленных сталей с большими подачами / С.А. Клименко, А.С. Манохин, Ю.А. Мельничук // Сверхтвердые материалы. — 2012. — № 1. — С. 66 – 74.
3. Котляр Д.А. Влияние вида механической обработки на структуру поверхностных слоев стали ХВСТ / Д.А. Котляр, В.С. Антонюк, Ю.А. Федоран // Вісник НТУУ "КПІ". Машинобудування. — 2011. — № 63. — С. 28 – 31.
4. Клименко С.А. Высокопроизводительное чистовое точение деталей из закаленных сталей резцами с цилиндрической передней поверхностью / С.А. Клименко, Ю.А. Мельничук, А.С. Манохин // Инструментальный світ. — 2010. — № 4(48). — С. 7 – 9.

Надійшла до редакції 19.03.2013 р.

Антонюк В.С., Мельничук Ю.А., Разжавин М.А. Высокоэффективный инструмент для обработки крупногабаритных деталей из высокопрочных сплавов

Рассмотрены закономерности обработки крупногабаритных деталей из высокопрочных сплавов на тяжелых станках инструментом с ПНТМ на основе нитрида бора. Показана возможность высокопроизводительного точения с большими подачами закаленных деталей однокромочными инструментами с цилиндрической передней поверхностью, оснащенных режущими пластинами из ПНТМ. Разработаны рекомендации для предварительной и получистовой токарной обработки инструментом с ПНТМ, которые обеспечили формирование высококачественных поверхностей с малой шероховатостью.

Ключевые слова: инструмент; высокопрочные сплавы; крупногабаритные детали; стойкость; шероховатость поверхности.

Antonyuk V.C., Melnyychuk Yu.A., Rozghavin M.A. High effective tools for machining of large-size parts from the ultrastrong alloys

Regularities of large-size parts machining of ultrastrong alloys on huge lathes with the PCHM tool on the basis of boron nitride are considered. Possibility of high-performance turning with big giving of the tempered parts by one-edging tools with the cylindrical forward surface, equipped with cutting plates from PCHM is shown. Recommendations for preliminary and semi-fair turning with the PCHM tool are developed which provided high-quality surfaces formation with a minor roughness.

Keywords: tool, ultrastrong alloys, large parts; resistance; surface roughness.