

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

*Розглядаються нові технології зміцнення робочих поверхонь деталей машин, які дозволяють отримувати будову зміцнених поверхневих шарів із визначеними фізико-механічними характеристиками, точністю та шорсткістю. Запропоновано новий комплексний метод зміцнення поверхонь деталей машин, при якому формується композитна будова зміцненого шару з якісними фізико-механічними характеристиками, низькою шорсткістю та високою точністю.*

*The new technologies of strengthen the working surfaces of machine parts that allow for strengthened structure of the surface layers of defined physical and mechanical characteristics, accuracy and roughness have been considered. The new complex method of strengthening surfaces of machine parts, which composite structure formed hardened layer of quality physical and mechanical properties, low roughness and high accuracy offered.*

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розвиток нових технологій поверхневого зміцнення дає можливість отримувати високоенергетичні зміцнені шари, часто гетерогенної структури, з високими фізико-механічними характеристиками. Якісні та кількісні показники цих шарів характеризуються нерегулярними характеристиками, пікові показники яких мають високі значення. Кількісні показники (точність та шорсткість) поверхонь після операцій зміцнення в основному не відповідають високим вимогам, що ставляться до робочих поверхонь деталей сучасних машин. Це вимагає фінішної механічної обробки, методи та режими яких ще не розроблені.

### 2. МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонувати нові методи механічної обробки та інструментальні матеріали для механічної обробки зміцнених робочих поверхонь деталей машин для досягнення потрібних параметрів точності та шорсткості.

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

### 3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На даний час ґрунтовні дослідження з механічної обробки деталей машин з важкооброблюваними зміцненими поверхнями проводяться в інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Базуючись на дослідженнях, проведених у вищезазначеній науковій установі, в тому числі результатах наукових досліджень д.т.н. Клименка С.А., рекомендовано проводити механічну обробку таких поверхонь інструментом з надтвердим матеріалом.

Питання обробки гетерогенних покриттів інструментами, оснащених пластинами з твердих сплавів та інструментами з надтвердих матеріалів висвітлено в роботі [2], де наведено дані про чорнову обробку гетерогенних покриттів інструментами, оснащених пластинами з твердих сплавів – груп ВК і ТТК. Чистову обробку гетерогенних покриттів, коли потрібно зрізати малі припуски, проводять інструментами з надтвердих матеріалів (ПНТМ), що дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок підвищення швидкості різання. При цьому знижується собівартість механічної обробки. У роботі показано, що при точінні кристалічних покриттів на контактних ділянках інструменту з ПНТМ на основі кубічного нітриду бору (КНБ), на відміну від інших видів інструментальних матеріалів, не спостерігається слідів адгезійного зношування. Також, авторами досліджено, що з підвищенням швидкості різання зменшується вплив неоднорідності структури оброблюваного матеріалу на інтенсивність зношування інструменту.

У роботі [1] наведено результати проведених досліджень процесу точіння покриттів з аморфно-кристалічною структурою (систем Fe-B, Fe-Si-B, Fe-Cr-B) інструментами з полікристалічного надтвердого матеріалу (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ). Через невеликі товщини покриття глибини різання не перевищували десятих долей міліметра. Отримані авторами результати свідчать, що особливості структури покриттів суттєво обумовлюють шорсткість обробленої поверхні. Зростання значення фрактальної розмірності сукупності механічних властивостей матеріалу покриття, яка характеризує гетерогенність його структури, значно збільшується висота мікронерівностей та спостерігається зменшення впливу режимів різання на шорсткість обробленої поверхні. Автори роблять висновок, що точіння інструментами, оснащеними ПНТМ на основі КНБ – ефективний метод обробки покриттів з структурою, близькою до композитної (наявністю твердої та м'якої фаз), який забезпечує можливість отримання стану поверхневого шару з потрібними по умовам експлуатаційного навантаження деталей параметрами.

Рекомендації док. техн. наук С.А. Клименка [3] показують, що для лезової обробки деталей із загартованих сталей, чавунів і напиленими покриттями на основі Fe, Co і Ni застосовують інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами на основі щільних модифікацій нітриду бору – вюрцитоподібної та сфалеритної. Застосовуючи даний інструмент підвищується продуктивність процесу механічної обробки за рахунок суттєвого підвищення швидкості різання. Поряд з тим, відзначено, що обробку інструментами з надтвердих матеріалів слід проводити на верстатах підвищеної жорсткості.

У роботі, також відмічено, що працездатність різального інструмента визначається хімічним складом оброблюваного матеріалу, а саме наявність адгезивно-активних до нітриду бору металів (Ti, Cr) зумовлюють підвищену інтенсивність зношування інструменту. Це призводить до певного зниження продуктивності за рахунок зниження швидкості різання, яке потрібно для зменшення зношування інструменту.

У роботі [4] рекомендовано точити високотверді матеріали інструментами, оснащеними полікристалічними надтвердими матеріалами. Автор зазначає, що із зростанням радіуса при вершині різця знижується шорсткість обробленої поверхні. Вказано, що на отримання потрібної шорсткості деталей має суттєвий вплив заточування та доводка інструменту. В іншій роботі [5] автор розглядає обробку відновлених поверхонь деталей машин із високою твердістю 58...63 HRC, для яких рекомендовано застосовувати інструмент із КНБ.

У роботі [6] показано високу працездатність інструментальних композитів із надтвердих матеріалів на основі КНБ при використанні їх в різальних інструментах для точіння загартованих сталей, відбілених чавунів, нікелевих сплавів.

У роботі [7] приведені результати дослідження зміни параметрів поверхні, обробленої інструментом, оснащеним ПСТМ на основі КНБ. Показано, що такі інструменти дозволяють забезпечувати шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 0,25-0,63$  мкм при високій продуктивності обробки (при  $S = 0,3-1,0$  мм/об).

У роботі [8] наведені результати дослідження процесу чистового точіння загартованої сталі ХВГ твердістю HRC 60–62 інструментом, оснащеним ріжучою вставкою із композиту на основі кубічного нітриду бору (система cBN–Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), де встановлено вплив технологічних режимів обробки на складові сили різання, величину вібрації, шорсткість обробленої поверхні. Автори рекомендують точити загартовані сталі ХВГ твердістю HRC 60–62 інструментом, оснащеним

ріжучою вставкою із композиту на основі кубічного нітриду бору, встановивши режими різання, при яких величина коливань сили різання на частоті обертання шпинделя буде мінімальною, що забезпечується за режимами обробки: глибиною різання  $t = 0,1$  мм, подачею  $s = 0,166-0,208$  мм/об. При цьому забезпечується мінімальна шорсткість обробленої поверхні.

Обробка матеріалів високої твердості на нікелевій основі найбільш продуктивно і якісно виконувати інструментами, оснащеними ПНТМ на основі КНБ. Показано, що використання такого інструменту дозволяє в 5-10 разів збільшити швидкість різання у порівнянні із прийнятими при обробці твердосплавними різцями. Аналогічну обробку рекомендують і автори [9] при точінні нікелевих сплавів типу ВС і ВЖЛ в умовах ВАТ «Мотор-Січ».

У роботі [10] наведено результати з цілого комплексу досліджень точіння загартованих сталей, відбілених чавунів, нікелевих сплавів, неметалічних матеріалів. На основі досліджень доведено, що одним з ефективних способів підвищення продуктивності обробки за рахунок скорочення основного часу є застосування високих швидкостей обробки, а це для даних видів деталей є можливим при застосуванні різальних інструментів оснащених надтвердими матеріалами на основі КНБ.

У роботі [11] розглянуто особливості обробки деталей з покриттями твердістю 40...60 HRC, які відносяться до розряду важкооброблювальних. Інструмент, оснащений твердим сплавом не дозволяє продуктивно проводити обробку поверхонь з даною твердістю. Для покращення техніко-економічних показників обробки важкооброблювальних поверхонь автори рекомендують застосовувати різальний інструмент, оснащений полікристалічним надтвердим матеріалом на основі кубічного нітриду бору. Слід застосовувати найбільш працездатні при точінні цілісні полікристали композиту 10 (гексаніту-Р) (ТУ 2-035-808-81), кибориту (ТУ 2-037-636-88) і двохшарові полікристали 10Д. Автори вказують, що при обробці покриттів, стійкість різців з полікристалічних надтвердих матеріалів в 20...30 разів вища, ніж різців з твердого сплаву Т15К56. При цьому продуктивність обробки завдяки збільшенню швидкості різання зростає в 3...4 рази. Різці із вказаних матеріалів дозволяють видаляти поверхневі шар, який може мати багато структурних і хімічних неоднорідностей та твердих включень низькі пластичні властивості, присутністю в поверхневому шарі шлаків, оксидних плівок, витримуючи динамічні навантаження на різальне лезо інструмента. Чистову обробку рекомендовано проводити інструментом із полікристалів 10, 10Д, композиту 01 (ельбора-Р, ТУ 2-036-789-79) та

інших надтвердих полікристалічних матеріалів на основі кубічного нітриду бору. Особливо ефективним є застосування інструмента з механічним кріпленням різальних елементів у державці. При наявності важкооброблюваного покриття із дефектом, слід застосовувати інструмент із полікристалів кибориту, що дозволяє видаляти весь дефектний шар за один робочий прохід, тобто залежно від міцнісних характеристик покриття призначати глибину до 2,5 мм. Застосування різців із композиту 10 найбільш ефективним є при точінні з глибиною різання до 1,0 мм.

Як видно із розглянутих досліджено авторів, інструменти із ПНТМ на основі кубічного нітриду бору дозволяють ефективно обробляти широку гаму сучасних конструкційних матеріалів з високими механічними властивостями (в тому числі високої поверхневої твердості) та є перспективними до застосування.

Переваги процесу шліфування полягають в забезпеченні високої розмірної точності, порядку 2 – 4 мкм, а також шорсткості обробленої поверхні  $Ra = 1,25 \dots 0,32$  мкм. Технологічні можливості процесу шліфування дозволяють розглядати його як один з методів підвищення ефективності на чорнових та чистових операціях механічного обробки.

Для підвищення продуктивності шліфування та розширення його технологічних можливостей, знаходить застосування швидкісне шліфування, яке забезпечується підвищенням швидкості абразивного круга. У свою чергу, швидкісне шліфування вимагає створення абразивних кругів з високою міцністю на розрив, малим дисбалансом і з відповідними різальними властивостями робочої поверхні.

Дослідженню процесів шліфування присвячені роботи Шахбазова Я.О. [12] Пилипенка О.М. [13], Kundrak J. [14], S.K. Jha [15] Братана С.М. [16], В.А. Федоровича [17] та інших, в яких розкрита фізична суть явищ, закладені теоретичні основи та напрямки для подальшого розвитку теорії шліфування. Ці роботи заклали початок створенню принципово нових методів шліфування, які знайшли широке застосування в машинобудівних виробництвах. У більшості наведених робіт визначені основні вимоги до процесу шліфування, які зводяться до підвищення продуктивності і зниження собівартості обробки при одночасному поліпшенні якості поверхневого шару.

Підвищення продуктивності різання при шліфуванні здійснюється шляхом збільшення робочої швидкості круга й інтенсифікації процесу мікрорізання. Із збільшенням швидкості абразивного круга до 60 – 80 м/с можливе значне підвищення продуктивності процесу шліфування зі збереженням шорсткості обробленої поверхні деталі, або зменшення шорсткості обробленої поверхні при збереженні продуктивності обробки.

Підвищенню ефективності механічної обробки шляхом шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та оброблюваної деталі вказує В.В. Кальченко [18]. Автором розроблена загальна модель для продуктивного шліфування деталей з циліндричними, торцевими, сферичними, логчастими, торовими, гвинтовими і криволінійними поверхнями. Даний метод шліфування підвищує продуктивність процесу та якість оброблених поверхонь деталей.

Про ефективність швидкісного шліфування свідчать наступні дані по роботах [3]: із підвищенням швидкості шліфування стружкоутворення полегшується, навіть різальні кромки абразивних зерен з від'ємними передніми кутами утворюють зливну стружку; значно зменшуються розміри навалів, тому що, якщо при шліфуванні до 35 м/с частина абразивних зерен тільки деформує оброблюваний матеріал, то в діапазоні 35...50 м/с відбувається стружкоутворення; можливе зниження температури оброблюваної заготовки. Відомо, що із підвищенням швидкості абразивного круга на обробленій поверхні виникають дефекти термічного походження (припали). Однак, якщо із збільшенням швидкості круга підвищувати швидкість заготовки, то температура обробленої поверхні знижується. Проведені дослідження фірмою "Універсал Грайдинг", дозволяють рекомендувати умови, при яких створюється оптимальний температурний режим; досягається поліпшення якості обробленої поверхні, що пояснюється, як зменшенням товщини зрізу кожним зерном, так і коефіцієнтом тертя, зміною об'єму деформації, її локалізацією в зоні різання. Це дозволяє зменшити шорсткість обробленої поверхні, глибину розповсюдження в деталь пластичної деформації, товщину наклепаного шару та структурні зміни. Тобто, можна зробити висновки, що збільшення швидкості шліфування понад 60 м/с є більш ефективнішим з точки зору інтенсивності зрізання металу при чорновому шліфуванні, коли основна увага приділяється продуктивності обробки з урахуванням товщини дефектного шару та обмеження шорсткості обробленої поверхні після напівчистового шліфування.

#### 4. ВИСНОВКИ

Кінцева механічна обробка зміцнених поверхонь деталей машин за допомогою надтвердих інструментальних матеріалів на основі кубічного нітриду бору є ефективним способом досягнення потрібних точності та шорсткості даних поверхонь. Як для лезової обробки, так і для шліфування рекомендується високошвидкісну продуктивну обробку зі швидкостями вище 60 м/с.

1. Клименко С.А. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту / С.А. Клименко, Ю.О. Мельничук, Г.В. Встовський. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2009. – 172 с. 2. Технологічне управління станом поверхневого шару у процесі точіння покриттів з аморфно-кристалічною структурою. [Електронний ресурс] / Н.В. Новиков, Ю.О. Мельничук, С.А. Клименко // Режим доступу: [http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/Stvm/2008\\_1/articles%5C10.htm](http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/Stvm/2008_1/articles%5C10.htm).

3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-ти томах. Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом. Монография. / Под редакцией проф. док. техн. наук С.А. Клименко. Киев – 2006. – 317 с. (Усл. печ. л. 25,48). 4. Мановицкий А.С. Взаимосвязь силы резания и шероховатости обработанной поверхности при точении закаленной стали ШХ15 резами из киборита. Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин / А.С. Мановицкий. Збірник наукових праць. – Національна академія наук. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля. – Київ, – 2009. С.221-225. 5. Мановицкий А.С. Анализ и моделирование процесса снятия наплавленного припуска при точении инструментом из КНБ восстановленных деталей. Резание и инструмент в технологических системах. / А.С. Мановицкий – Международный научно-технический сборник. Выпуск 69. Харьков, НТУ «ХПИ», – 2005, С.153-161. 6. Мельничук Ю.А. Опыт высокоэффективной лезвийной обработки инструментом, оснащенный ПСТМ на основе КНБ и алмаза. Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. / Мельничук Ю.А. – Збірник наукових праць. – Національна академія наук. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля. – Київ, – 2009. – С.226-235. 7. Манохин А.С. Неровности поверхности, обработанной косоугольным инструментом, оснащенный ПСТМ на основе КНБ / А.С. Манохин, Н.Е. Стахнив, С.А. Клименко. // Сверхтвердые материалы, 2009, №2. – С.61-70. 8. Стахнив Н.Е.. Динамические явления при чистовом точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ / [Н.Е. Стахнив, Л.И. Девин, И.А. Петруша, А.С. Осипов]. // Сверхтвердые материалы, 2009, №3. – С.75-83. 9. Клименко С.А. Технологические возможности лезвийного инструмента, оснащенного композитами на основе КНБ / [С.А. Клименко, М.Ю. Копейкина, Ю.А. Муковоз, Ю.А. Мельничук и др.] // Тяжелое машиностроение. – 2004. – №5 – С.35-38. 10. Мельничук Ю.А. Опыт высокоэффективной лезвийной обработки инструментом, оснащенный ПНТМ на основе КНБ и алмаза / Ю.А. Мельничук. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Збірник наукових праць. – Київ. – 2009. – 272С. 11. Шахбазов Я.О. Аналіз механізму утворення та прогнозування шорсткості обробленої поверхні деталей при круглому шліфуванні. Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 69. Харьков, НТУ «ХПИ», – 2005, – С.365-372. 12. Пилипенко О.М. Науково-технічні основи підвищення ефективності механічної обробки газотермічних покриттів: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / ІНМ НАН України. – К., 2004. – 36 с. 13. Kundrak J. Process, method and equipment for grinding of hard materials / J. Kundrak, Z. Szabo // Technology'92, Kassa. - 1992, sept.8. - P. 224 - 227. 14. Jha S.K.. Investigations and

*analysis of grinding coefficients when grinding hardmetals / S.K. Jha, M.D. Uzinyan. Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 68. Харьков, НТУ «ХПИ», – 2005, С.175-186. 15. Братан С.М.. Обеспечение качества и повышение стабильности обработки при чистовом и тонком шлифовании / С.М. Братан. Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 69. Харьков, НТУ «ХПИ», – 2005, С.13-20. 16. Федорович В.А.. Методология исследования процессов алмазно-абразивной обработки / В.А. Федорович, М. Ковалець, М. Янковяк. Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 68. Харьков, НТУ «ХПИ», – 2005, С.350-361. 17. Кальченко В.В. Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та оброблюваної деталі. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора технічних наук. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків – 2006, – С.36. 18. Братан С.М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового та тонкого шліфування. Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора технічних наук. Одеський національний політехнічний університет. – Одеса, – 2006 р. – С.36.*