

**КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ  
ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ****Майборода В. С., Міницька Н. В.**

Представлен анализ методов поверхностной обработки режущего инструмента и определены наиболее эффективные, с точки зрения обеспечения высоких эксплуатационных требований, которые выдвигаются промышленностью к современному режущему инструменту. Показаны преимущества метода магнитно-абразивной обработки в условиях больших зазоров, особенно при обработке сложнопрофильных изделий и возможности равномерного «мягкого» влияния на обрабатываемую поверхность, в зонах тонких кромок. Также показана перспективность этого метода не только при использовании перед нанесением тонких покрытий, но и в качестве метода обработки, который позволяет исправить отдельные дефекты поверхностей, которые возникают после нанесения покрытий.

Представлений аналіз методів поверхневого оброблення різального інструменту та визначено найбільш ефективні, з точки зору забезпечення високих експлуатаційних вимог, що висувуються промисловістю до сучасного різального інструменту. Показані переваги методу магнітно-абразивного оброблення в умовах великих щілин, особливо при обробленні складнопрофільних виробів і можливості рівномірного «м'якого» впливу на оброблювану поверхню, в зонах тонких кромок. Також показана перспективність цього методу не тільки при використанні перед нанесенням тонких покриттів, а і в якості методу оброблення, що дозволяє виправити окремі дефекти поверхонь, які виникають після нанесення покриттів.

The analysis of methods of surface processing of cutting tools is presented and the most effective methods, from point of view of providing high operational requirements which are put forward by out industry to the modern cutting tools are determined. The advantages of the method of magnetic-abrasive processing in the conditions of the large gaps, especially when processing complex-profile products and the possibility of even mild effects on the processed surface, in the areas of thin edges are shown. Also the potential of this method not only when used before applying thin coating but also as a method of processing, which allows to correct the some defects of surfaces which arise after the application of coatings is shown.

Майборода В. С.

д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»

Миницкая Н. В.

канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ»

ulyasha30@bigmir.net

УДК 621.923

Майборода В. С., Мініцька Н. В.

### КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Підвищення працездатності різального інструменту в значній мірі визначається формуванням необхідних властивостей його робочих поверхонь, в особливості на заключних етапах виготовлення і пов'язано, перш за все, зі зміною властивостей як поверхневого шару готових виробів, так і безпосередньо стану поверхні, в особливості її мікрогеометрії.

Традиційні методи фінішного оброблення різального інструменту, які спрямовані на підвищення експлуатаційних показників інструменту можна поділити на такі основні групи:

– методи механічного оброблення і зміцнення, пов'язані з поверхневим пластичним деформуванням поверхневого шару, які спрямовано на формування в ньому високо дефектної структури з підвищеною щільністю дислокацій, подрібненою мікроструктурою, тощо і на створення мікрорельєфу поверхні, який забезпечує отримання високих експлуатаційних показників інструменту. До цих методів можна віднести методи фінішного механічного оброблення, такі як алмазне шліфування і полірування [1], методи вібраційного, дрібноструменевого і гідроабразивного оброблення [2] тощо;

– методи нанесення покриттів на робочі поверхні різального інструменту (РІ), які можна поділити на декілька груп, а саме:

– хіміко-термічного оброблення (ХТО) – титанування, ніобійхромовання, карбонітрація, тощо [3];

– осадження з газової фази;

– вакуумне осадження, до якого можна віднести іонну імплантацію, ХТО у тліючому розряді, парогазову конденсацію;

– лазерне термічне оброблення та поверхнєве легування [4];

– електроіскрове легування.

Метою даної роботи є аналіз методів поверхневого оброблення різального інструменту та визначення найбільш ефективних, з точки зору забезпечення високих експлуатаційних вимог, що висуваються промисловістю до сучасного різального інструменту.

Усі вище зазначені методи поверхневого зміцнення РІ спрямовані на підвищення експлуатаційних властивостей, але вони мають як свої переваги, так і недоліки [5]. В особливості це стосується стану поверхні і поверхневого шару інструменту після їх здійснення. Особливу увагу будемо приділяти тим методам, які можна використовувати на твердосплавному різальному інструменті на фінішних етапах його виготовлення, коли виникають потреби у виправленні геометрії, мікрогеометрії поверхні. Класифікувати методи фінішного оброблення твердосплавного РІ доцільним по схемі, наведеній на рис. 1.

При механічному фінішному обробленні, яке виконується з метою підвищення працездатності і зміцнення поверхні інструменту виявляються наступні ефекти: змінюється структура поверхневого шару; збільшується «запасена енергія» поверхневого шару; зменшується шорсткість поверхні, згладжуються і «заліковуються» концентратори напружень поверхневого шару інструментального матеріалу. Крім того, важливим фактором є і формування низької шорсткості поверхні робочих елементів багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНПП), згладженого мікрорельєфу, вільного від концентраторів напружень, викришувань, виривів, тощо. Більш детально методи механічного фінішного оброблення, яке виконується з метою підвищення працездатності і зміцнення поверхні інструменту, розглянуто авторами у [6].

До методів ХТО відносяться процеси, що поєднують у собі термічний і хімічний вплив на робочі поверхні інструмента з метою зміни складу [7], структури і властивостей поверхневого шару інструментального матеріалу.



Рис. 1. Методи підвищення працездатності твердосплавного різального інструменту

Склад, структура, будова і фізико-механічні властивості отриманого після ХТО поверхневого шару інструментального матеріалу залежать від насичуючого середовища, температури і тривалості ХТО. Вважається, що найперспективним середовищем з погляду активності насичуючого елемента є газове [7]. Виходячи з властивостей матеріалів придатних для нанесення покриттів найбільш перспективними є тугоплавкі сполуки, такі як карбіди і бориди перехідних металів які поєднують в собі такі властивості як твердість, теплостійкість, зносостійкість і є необхідними при експлуатації ріжучого інструменту [8].

Треба відзначити, що недоліком методів ХТО є те, що РІ з дифузійними покриттями має небезпечну зону, якою є перехідна зона [9] – зона покриття-основа з максимальними позитивними напруженнями, яка і може сприяти сколюванню покриття, що є небажаним (рис. 2) [10]. Тому одним із напрямків підвищення надійності різального інструменту з покриттям є створення в поверхневому шарі різального інструменту напруженого стану, коли позитивні напруження, їх максимальне значення розташовується найглибше від перехідної зони в тілі інструменту, а в поверхневому шарі, як в покритті, так і в основі сформовано стискаючі напруження. Вирішення цієї задачі може бути досягнуто за рахунок або формування перед дифузійним насиченням в поверхневому шарі певного напруженого шару, який би після насичення мав необхідні властивості, або за рахунок фінішного оброблення інструменту з покриттям.

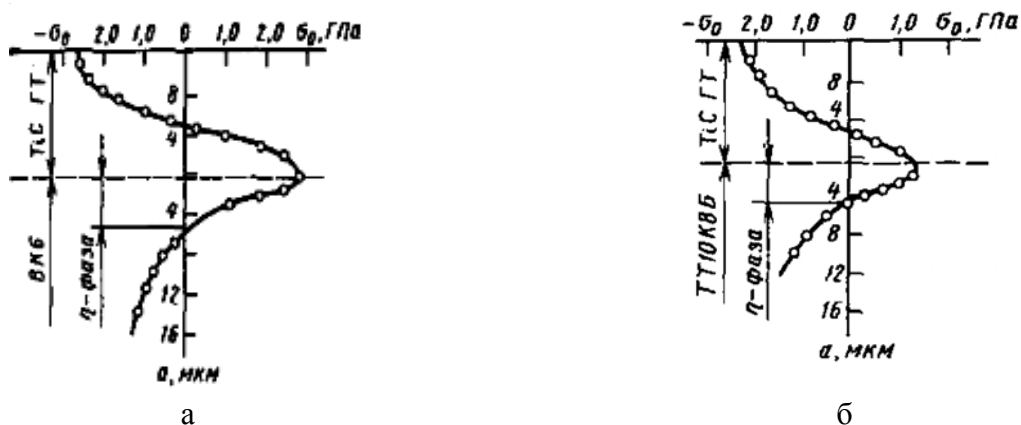


Рис. 2. Характер розподілу залишкових напружень у композиції покриття – інструментальний матеріал:

а – BK6 – TiC; б – TT10K8B – TiC

Зазначимо і той факт, що важливим фактором, який визначає працездатність твёрдосплавного РІ є стан мікрогеометрії поверхні. Нажаль в процесі ХТО відбувається значне погіршення шорсткості поверхні до Ra 0,8-1 [11], а питання пов'язані з особливостями мікрогеометрії, такі як стан опорної поверхні, ступінь розгалуженості, тощо, практично не визначалися. Саме тому застосування спеціальної фінішної поліруючої операції після нанесення покриття є досить актуальною задачею.

При лазерному легуванні в наслідок надзвичайно високих швидкостей як нагріву, так і охолодження, що у 10–100 разів перевищують швидкість охолодження при загартуванні інструмента, у поверхні інструментального матеріалу формуються особливо дрібнозерниста чи навіть псевдоаморфна структура, що має підвищену (на 20–30 %) твердість по порівнянню з твердістю вихідного інструментального матеріалу [4]. Недоліки цього методу перш за все пов'язані з локальним впливом світлового пучка на інструмент, що зміцнюється, а тому і використання цього методу дещо обмежене.

Сутність методу іонно-плазмового напилення [12] полягає у конденсації плазми металу на всі робочі поверхні інструменту при одночасному проходженні плазмохімічної реакції з утворенням тугоплавких з'єднань, які рівномірно покривають різальний інструмент.

До недоліків зазначеного методу відносяться складність виготовлення та висока вартість обладнання, недостатньо міцне зчеплення покриття з основою, яке в багатьох випадках пов'язане з суто технологічними проблемами підготовки поверхні під напилення, її очищення, створення поверхневих шарів з спеціальними властивостями, наявність мікрокрапельної складової матеріалу катоду, яка призводить до погіршення шорсткості поверхні інструменту і, як правило, більша за Ra = 0,5–0,7 мкм [13].

Використання нових покриттів багатошарового композиційного типу (методами хімічного осадження і фізичного осадження покриттів) на основі карбідів, нітридів і карбонітридів [10, 13] тугоплавких перехідних металів IV–VI груп періодичної системи елементів, дозволяє підвищити опір зносостійкого покриття крихкому втомленому руйнуванню, особливо в умовах підвищених контактних напружень, циклічного навантаження частини РІ (переривчасте різання), при необхідності повторного заточення інструмента в процесі його експлуатації.

Введення підшарів металів, що мають підвищену кристалохімічну спорідненість з матеріалами покриття й інструмента, забезпечує підвищену міцність адгезії покриття й інструментального матеріалу, знижує напруження на границі їх розділу (рис. 3) [10]. Так, інструментальний матеріал з покриттям має підвищені поверхневу твердість та теплостійкість, низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом. Покриття, яке наноситься на контактні площини інструменту, дозволяють стабілізувати процеси тертя та деформування при різанні, знижує контактні напруження та температури в зоні різання та різальній частині інструменту [13]. Але якість інструменту з покриттям і його працездатність в значній мірі залежить від підготовки поверхні інструменту перед нанесенням покриття. Тому при розробці технології нанесення покриття треба враховувати вимоги до поверхні та якості її підготовки (фазовий склад, зернистість, структура, дефектність, шорсткість, ступінь забруднення, напружено-деформований стан поверхневого шару) [7, 13]. Крім того методи хімічного осадження (ХОП) і фізичного осадження (ФОП) покриттів, як правило, вважаються фінішними методами, після яких будь-яка операція зміцнення, або полірування із застосуванням традиційних методів оброблення не виконується через небезпеку видалення окремих частин покриття в особливості з тонких і гострих частин різального інструменту. Але, як відмічалось вище, недоліками практично усіх методів нанесення покриттів є погіршення шорсткості поверхонь і формування в поверхневому шарі покриття – основа несприятливої, з точки зору міцності і забезпечення підвищеної працездатності різального інструменту, епюри залишкових напружень. Тому бажаним було би виправлення зазначених недоліків. При цьому потрібно використання методу оброблення з регульованим, рівномірним і досить «м'яким» впливом на оброблювану поверхню. Одним з таких методів є метод, що використовує рухомо-скоординований магнітним полем інструмент – метод об'ємного магнітно-абразивного оброблення (МАО).

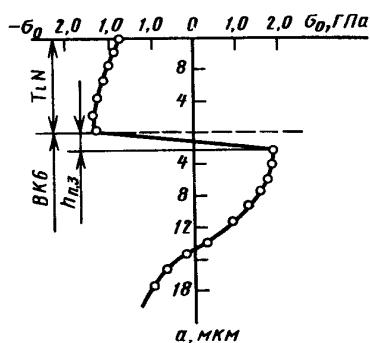


Рис. 3. Характер розподілу залишкових напружень в композиції покриття – інструментальний матеріал – VK6 – TiN;  $h_{пз}$  – глибина впливу іонного бомбардування на інструментальну матрицю

Відомі дослідження впливу MAO в якості попереднього оброблення перед нанесенням іонно-плазмових покриттів на лопатки компресорів ГТД з сплавів титану та спеціальних сплавів (типу ЭИ, ЭП) і якості поліруючо-зміцнюючого оброблення лопаток з покриттями на їх експлуатаційні характеристики [14]. Доведена доцільність використання такого комплексного MAO. MAO кінцевого РІ з швидкорізальних сталей в умовах великих магнітних щілин в комплексі з нанесенням покриттів методами ХОП і ФОП показала, що забезпечується покращення мікрогеометричних характеристик поверхневого шару інструменту, зростає його твердість на поверхні і твердість загальна [15], відбуваються позитивні зміни у мікроструктурі поверхневого шару [16], суттєво підвищується працездатність [17], в особливості при комбінуванні методів MAO і нанесення покриттів. Але виконані дослідження було обмежено типом оброблюваних деталей. Дослідження, незважаючи на позитивні результати, лише відкривають можливі напрямки подальших робіт і потребують подальшого розвитку як в напрямку розробки методів оброблення, в особливості кінематики процесу MAO в умовах великих щілин, так і удосконалення методів нанесення покриттів для використання в умовах комплексних технологій.

Визначенню механізму виникнення змін напруженого стану поверхневого шару в деталях після MAO присвячено роботи виконані під керівництвом Ю. М. Барона. Так, у роботі [17] зазначено, що збільшення твердості зразків відповідає величині залишкових напружень, створюваних дислокаціями, що виникають від механічного впливу зерен магнітно-абразивного порошку на поверхню зразків. У роботі [16] зміну напруженого стану поверхневого шару у швидкорізальних сталях пов'язано з аустенітними перетвореннями і можливостями окремої аморфізації поверхневого шару [15]. Але повної однозначної відповіді на механізм нагартування матеріалу деталей не запропоновано, внаслідок обмеженої кількості досліджень.

Практично відсутня інформація про можливості використання комплексного технологічного ланцюжка, який використовує MAO і нанесення зносостійких покриттів для твердосплавного РІ, в особливості для БНТП, як деталей складної форми не враховані фактори і явища які можуть відбуватися при застосуванні такої комплексної технології.

Не зважаючи на позитивний вплив методу MAO на властивості поверхневого шару деталей після оброблення, відсутні будь які систематизовані рекомендації що до керованого впливу процесу MAO на фізико-механічні властивості поверхневого шару твердого сплаву. Факт покращення характеристик поверхневого шару подають, виключно, як додатковий позитивний вплив методу MAO. Значна кількість результатів, що отримана переважно в умовах малих щілин, обмежена тим, що не використано позитивних можливостей методу MAO, які пов'язані з динамічними явищами і особливостями процесу. Саме реалізація динамічного навантаження МАІ в умовах великих щілин може дозволити метод MAO за його впливом наблизити до методів струминного зміцнення поверхневого шару деталей. При цьому, в повній мірі зберегти позитивні властивості самого методу MAO.

Преваги методу МАО в умовах великих щілин, особливо при обробленні складнопрофільних виробів і можливості рівномірного «м'якого» впливу на оброблювану поверхню, в зонах тонких кромок, визначають його перспективність не тільки при використанні перед нанесенням тонких покриттів, а і в якості методу оброблення, що дозволяє виправити окремі дефекти поверхонь, які виникають після нанесення покриттів. При цьому очікується суттєве підвищення якості деталей.

### ВИСНОВКИ

Підсумовуючи вище зазначене, необхідно відмітити позитивні результати по застосуванню комплексної технології для підвищення працездатності РІ, яка складається з комбінування МАО і нанесення тонких спеціальних покриттів. Особливо це актуально з урахуванням явищ, пов'язаних з погіршенням шорсткості, і формуванням несприятливого напруженого стану поверхонь після нанесення покриттів, а також спроможністю МАО виконувати відносно «м'яке» рівномірне оброблення, яке виключає виникнення високих контактних напружень, аналогічних напруженням при обробленні класичним абразивним або лезовим інструментом. А також забезпечувати досить якісну підготовку поверхні і поверхневого шару під нанесення покриттів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Влияние режимов алмазно-электролитического шлифования на прочность и долговечность твердого сплава ВК15 / Александрова Л. И., Ячник Н. И., Лошак М. Г. и др. // Синтет. алмазы. – 1975. – №6. – С. 29–32.
2. Дальский А. М. Механическая обработка металлов / А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 1981. – 264 с.
3. Лоскутов В. Ф. Нанесение карбидных покрытий на поверхность стали / В. Ф. Лоскутов // Металлофизика. – 1978. – Вып. 73. – С. 95–97.
4. Рыкалин Н. Н. Лазерная обработка материалов / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, А. Н. Кокора. – М. : Машиностроение, 1975. – 296 с.
5. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей / Н. В. Новиков, А. А. Бидный, Б. А. Ляшенко и др. – К., 1989. – 112 с.
6. Майборода В. С. Методы поверхностного финишного оброблення твердосплавного різального інструменту / В. С. Майборода, Н. В. Мініцька, Д. Ю. Джулій // Вісник НТУУ «КПІ». – Машинобудування. – № 62. – 2011. – С. 213–217.
7. Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация / Д. А. Прокошкин. – М. : Металлургия, 1984. – 240 с.
8. Изучение роста износостойких слоев из карбида титана на твердых сплавах / Г. Л. Платонов, В. Н. Аникин, А. И. Аникеев и др. // Порошковая металлургия. – 1980. – № 8. – С. 48–52.
9. Технологические особенности нанесения покрытий из карбида титана на твердые сплавы / В. Н. Аникин, А. И. Аникеев, Н. Н. Золотарева и др. // Прогрессивные технологические процессы в инструментальном производстве. – М. : ЦП НТО МАШПРОМ, 1979. – С. 263–266.
10. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М. : Машиностроение, 1993. – 336 с.
11. Кипарисов С. С. Карбид титана (получение, свойства, применение) / С. С. Кипарисов, Ю. В. Левинский, А. П. Петров. – М. : Металлургия, 1987. – 216 с.
12. Борисов Ю. С. Плазменные порошковые покрытия / Ю. С. Борисов, А. Л. Борисова. – К. : Техніка, 1986. – 222 с.
13. Васин С. А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учеб. для техн. вузов / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 448 с.
14. Исследование влияния видов обработки поверхности и многослойного покрытия пера лопаток на их характеристики сопротивления усталости / Б. А. Грязнов, В. С. Майборода, Ю. С. Налимов и др. // Проблемы прочности. – 1999. – № 5. – С. 109–116.
15. Майборода В. С. Магнітно-абразивна обробка кінцевого і осевого різального інструменту. 4. Використання магнітно-абразивної обробки, як попередньої операції перед дифузійним насиченням поверхневого шару під час хіміко-термічної обробки / В. С. Майборода, М. М. Бобіна, Н. В. Ульяненко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2001. – № 6. – С. 38–45.
16. Структура та властивості поверхневого шару інструменту з сталі Р6М5 після магнітно-абразивної обробки / М. М. Бобіна, В. С. Майборода, Н. В. Ульяненко, А. Б. Бобін // Фізика і хімія твердого тіла. – 2002. – № 4. – Том. 3. – С. 577–580.
17. Барон Ю. М. Характеристика поверхностного слоя закаленной инструментальной стали Р6М5, подвергнутой магнитно-абразивному полированию и магнитной обработке / Ю. М. Барон, В. А. Литвиненко. – Ленинград : ФТИ АН СССР, 1984. – С. 153–158.