

УДК 669.295: 621.91

Ханюков К.С., аспірант,
Говорун Т.П., канд. фіз. мат. наук, доцент,
Пахненко Д.В., магістрантка,
Бурлака А.Ю., студент,

Сумський державний університет, м. Суми, hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua

ЗМЦНЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ Ti, Al, Si та N

Надійність та довговічність деталей машин та механізмів визначається конструктивною міцністю матеріалів, з яких вони виконані. Експлуатаційні характеристики багатьох виробів – зносостійкість, корозійна стійкість, теплоопір та інші – визначаються властивостями поверхні [1]. Збільшення зносостійкості і зменшення зношування інструменту для обробки матеріалів може бути досягнуто за рахунок застосування різних покриттів і методів модифікування поверхні. В наш час постійно постає питання про підвищення ефективності покриттів та продуктивності металообробної промисловості, а також розробки нових інструментальних матеріалів для покращення якості та зносостійкості покриттів.

Виходячи із умов роботи інструментів зносостійкі покриття повинні володіти: високою твердістю і зберігати її при температурах різання; інертністю до адгезії та високотемпературної корозії з оброблюваним матеріалом у всьому діапазоні температур різання; стабільністю механічних властивостей аж до температури теплостійкості інструментального матеріалу; інертністю до розчинення в оброблюваному матеріалі при високих температурах; опором до руйнування при значних коливаннях температур і напругах. На сьогоднішній день найбільш ефективним методом поліпшення характеристик ріжучого інструменту є нанесення на робочі поверхні наноструктурованих покриттів, що володіють необхідними властивостями, і дають можливість збільшити термін експлуатації інструменту: в 5-10 разів – при роботі з конструкційними сталями; в 4 рази – при роботі з жароміцними сталями; в 1,5-2 рази – при роботі з титановими сплавами [2]. Покриття повинне мати високу щільність, має бути суцільним по всій поверхні, захищаючи тим самим матеріал інструменту від матеріалу оброблюваної поверхні. Твердість покриття повинна бути вищою за твердість матеріалу інструменту, також не можна допустити зчеплюваність покриття з матеріалом оброблюваної поверхні при будь-яких температурах різання. Матеріали, які застосовуються в зміцнюючих покриттях, класифікуються за типом хімічного зв'язку між атомами і мають металевий, ковалентний та/або іонний зв'язок [1].

Нанокompозитні покриття на основі Ti, Al, Si та N зараз все частіше застосовуються для ріжучих інструментів. Так, нітрид титану TiN – це широко застосовуване, традиційне з'єднання, яке наноситься на вуглецеві, нержавіючі і швидкорізальні сталі, а також на тверді сплави і кераміку. В процесі металообробки температура інструменту знижується за рахунок високої щільності поверхні нітриду титану. TiN був одним з перших облицювальних матеріалів, використовуваних в промислових ріжучих інструментах, і він до тепер використовується в якості дифузійних бар'єрів і для декоративних покриттів. Матеріал можна отримати як в результаті фізичного осадження з парової фази (PVD), так і хімічного [2].

Покриття AlN формували методом магнетронного реактивного розпилення циліндричних мішеней з Al в газовій суміші Ar + (40-60) об'ємних % N₂ при тиску 0,6-0,9 Па. Робочі гази подавали як окремо (Ar - в область розпилення мішені, N₂ - в область підкладки), так і у вигляді суміші. Отримані покриття мають волокнисту (стовпчасту) будова, при цьому волокна AlN мають гексагональну решітку.

При виготовленні інструменту у якості зміцнюючих покриттів основну увагу приділяють з'єднанню TiAlN через гарні експлуатаційні властивості, які характеризуються після

отримання широкою областю стехіометричного складу і відтворюваністю їх характеристик [2]. Нітридні покриття найбільш технологічні у виробництві, і можна стверджувати, що такі покриття, як TiAlN та AlTiN, мають унікальні експлуатаційні властивості: висока твердість при високих температурах в зоні контакту різання; термічна і хімічна стійкість, висока еластичність; низька теплопровідність. Одним з важливих переваг TiAlN покриття є його схильність до окислення і до утворення відносно стійких поверхневих оксидних плівок. Підвищити зносостійкість таких покриттів при різанні можна подрібненням зерна до рівня нанощкали (розмір зерна менше 100 нм), тобто отримання наноструктурованих покриттів.

Покриття TiAlN перевершують покриття TiN за твердістю, зносостійкістю і особливо стійкістю до окислення. Температура різання в сучасній високошвидкісній галузі різання може досягати 1000 °С, що може викликати окислення та зниження твердості покриттів TiAlN.

У порівнянні з традиційними міцними покриттями TiN, AlN або TiAlN, покриття TiAlSiN, яке утворює структуру аморфної оболонки Si₃N₄ для нанокристалічного покриття TiAlN привернуло увагу по всьому світу уваги завдяки своїм підвищеним властивостям, як у якості комплексних покриттів, так і мультишарів багат шарових покриттів.

Дослідження структури і властивостей покриттів TiN, AlN, TiAlN та TiAlSiN, осаджених методом магнетронного розпилення на установці ВУП-5М при залишковому тиску в робочій камері 10⁻³ - 10⁻⁴ Па, проводили на зразках із швидкорізальної сталі Р6М5 після стандартної термічної обробки та полірованих пластинах монокристалічного кремнію (розміром 10×5×1 мм). Було розглянуто механізми зміцнення матеріалу зносостійкого покриття, вплив технологічних параметрів процесу конденсації покриття на його параметри структури та механічні властивості (табл. 1).

Таблиця 1 – Механічні властивості та характеристики зносостійких покриттів

Покриття	Колір	Твердість Нц, ГПа	Товщина, мкм	Максимальна температура, °С
TiN	золотий	20-24	2 – 7	600
AlN	сірий	12-16	2-5	600
AlTiN	сіро-фіолетовий	32	1-3	800
TiAlN	фіолетово-чорний	35	1-7	900
TiAlSiN	коричневий	32-37	1-4	1100
Сталь Р6М5 без покриття	сірий	6-9	-	-

Встановлено, що інтенсивність зношування сталі Р6М5 без покриття в 6 разів більше, ніж з покриттям AlTiN, TiAlN та TiAlSiN, в 3 рази - ніж з покриттям TiN та AlN. Інструмент з покриттям характеризується підвищеною надійністю і більш високою стійкістю та дозволяє проводити процес обробки з більш високими режимами різання.

Список посилань

1. Pogrebnjak, A.D. Protective coatings with nanoscale multilayer architecture: Current state and main trends [Текст] / A.D. Pogrebnjak, M.A. Lisovenko, A. Turlybekuly, V.V. Buranich // Physics-Uspekhi. – 2021. – Vol. 64(3). – pp. 253–279, doi: 10.3367/UFNe.2020.08.038823.
2. Hovorun, T. Improvement of the physical and mechanical properties of the cutting tool by applying wear-resistant coatings based on Ti, Al, Si, and N [Текст] / T. Hovorun, K. Khaniukov, V. Varakin, V. Pererva, S. Vorobiov, A. Burlaka, R. Khvostenko // Journal of Engineering Sciences. 2021. – Vol. 8(2). – pp. C13-C23, doi: 10.21272/jes.2021.8(2).c3.