

УДК 620.178.162:621.793.1

Володимир Голубець, д.т.н., проф., Олександр Гасій, к.т.н., доц., Володимир Степанишин, к.т.н., доц., Іван Гончар, к.т.н., доц.

Національний лісотехнічний університет України, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОТРИВКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ ЙОННО-ПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ

Volodymyr Holubets, Dr., Prof., Oleksandr Hasiy, Ph.D., Assoc. Prof., Volodymyr Stepanyshyn, Ph.D., Assoc. Prof., Ivan Honchar, Ph.D., Assoc. Prof.,

ENHANCING TOOL STEEL WEAR RESISTANCE WITH ION-PLASMA SPRAYING

З метою виявлення можливості застосування йонно-плазмових покриттів для зміцнення інструменту проведено дослідження зносостійкості зразків з покриттями при тестуванні в лабораторних умовах за схемою „клин-диск”. За таких умов забезпечувались порівняно високі локальні тиски в контактї, наближені до умов тертя при роботі металорізного інструменту. Режими осадження вакуумних покриттів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Компоненти покриттів і режими їх нанесення

№ покриття	Компоненти покриття	Матеріали випаровувача і струм дуги, А		Робочий газ	Тиск газу, Па	Опорна напруга, В	Температура підкладки °С	Товщина покриття, мкм
		I випаровувач	II випаровувач					
1	Ti	Ti/100	–	–	–	150	350	5...6
2	Ti-N	Ti/100	–	N ₂	0,4...0,5	150	350	5...6
14	Ti-Ni-N	Ti/100	Ni/100 ^{*)}	N ₂	0,4...0,5	200	400	4...5

*) – напилення з нікелевого катода зі щільним сепаратором з метою відокремлення мікрокрапельних фаз під час осадження покриття

Випробовування триботехнічних характеристик зразків без покриття на задній поверхні та з покриттям Ti-N (№2) + Ti (№1) показали, що сила тертя для зразка з покриттям була дещо меншою, ніж для непокритого. При терті на повітрі сила тертя збільшувалась у 2...3 рази в порівнянні з випадком наявності змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР). Інтенсивність зношування зразка з покриттям Ti-N (№2) + Ti (№1) сягала $j = 0,24$ мм/км, а для непокритого була дещо більшою ($j = 0,28$ мм/км). Бороздки на поверхні зразка без покриття були глибші, ніж на зразку з покриттям, що пов'язано з більшою адгезійною взаємодією матеріалів пари „Р6М5 – сталь 45” в порівнянні з парою „Ti-N – сталь 45”. При збільшенні навантаження на зразок інтенсивність зношування збільшується. Так, для зразків з покриттями Ti-N (№2) + Ti (№1) при навантаженні 0,53 кН інтенсивність зношування становила $j = 0,11$ мм/км, а при навантаженні 0,63 кН вона збільшувалась до 0,13 мм/км. При навантаженнях 0,53 і 0,63 кН спостерігається різний характер зміни сили тертя в залежності від часу. Як видно з наведених даних, зі збільшенням навантаження зменшується сила тертя, однак починає проявлятися схильність до схоплювання. Температура ЗОР при меншому навантаженні є нижчою. При навантаженні 0,43 кН інтенсивність зношування на 5-му кілометрі становила 0,14 мм/км, а температура ЗОР була вищою, ніж під час випробувань при навантаженні 0,53 кН і $V = 1,2$ м/с. На поверхні тертя зразка і контртіла зафіксовано задири і налипання, що є характерним для випадку адгезійного

зношування. Сила тертя впродовж всього експерименту була в межах 28...35 Н. Зі збільшенням навантаження від 0,33 до 0,43 кН інтенсивність зношування зразків з покриттями (TiN+Ni) + TiN (№14 + №2) при терті в ЗОР зі швидкістю 1,2 м/с зросла з 0,08 до 0,13 мм/км. Сила тертя майже не зменшилась і становила 33...38 Н. Порівняння інтенсивності зношування зразків з покриттями (Ti+TiN) та (TiN+Ni)+TiN показує, що друге покриття забезпечує при даних режимах більшу працездатність зразків.

Порівняння процесу зношування зразків з покриттям на задній грані і без нього (покриття тільки на передній поверхні) при дослідженнях з навантаженням 0,53 кН показало, що інтенсивність зношування зразків без покриття $j = 0,27$ мм/км, а з покриттям – 0,25 мм/км. На непокритих зразках були зафіксовані налипання, а на контртілі – вириви і налипання. Це підтверджує наявність інтенсивного адгезійно-втомного зношування. Сила тертя за час випробувань змінювалась стрибкоподібно в межах 42...82 Н. Мали місце скачки сили тертя, характерні для адгезійного зношування.

Температура ЗОР при випробуванні зразків без покриття на задній грані також змінювалась стрибкоподібно. На 5-му кілометрі шляху були відзначені різкі скачки сили тертя, що викликало значне підвищення температури ЗОР. Контактна поверхня зразка з покриттям не мала налипань, а контртіло після випробувань було гладким. Вірогідно, в даному випадку переважає окислювальне зношування, тому поверхнева плівка не дає можливості схоплюватися. При терті зразків з покриттям сила тертя не змінювалась стрибкоподібно, а була постійною на всьому шляху тертя, сама пара тертя працювала плавно. Сила тертя становила 42...50 Н і була меншою, ніж при випробуванні зразка з покриттям тільки на одній поверхні. Таким чином, покриття на задній поверхні незначно зменшує силу тертя та інтенсивність зношування зразка.

Порівняння зносостійкості зразків з покриттями Ti+TiN та (TiN+Ni) + TiN при навантаженні 0,53 кН показує, що друге покриття в даному випадку зношується більш інтенсивно, особливо в початковий період. При збільшенні навантаження до 0,63 кН при $V = 1,2$ м/с інтенсивність зношування зменшується для покриття (TiN+Ni) + TiN.

Однак мають місце стрибки сили тертя від 28 до 68 Н і ріст температури ЗОР в порівнянні з навантаженням 0,53 кН. Поява стрибкоподібних явищ викликана збільшенням інтенсивності адгезійного схоплювання, внаслідок чого на контактній поверхні з'являються характерні лунки і викришування.

Порівняння зносостійкості зразків з двошаровими покриттями в однакових умовах показує, що покриття (TiN+Ni)+TiN володіє кращою працездатністю. Зразки з покриттям Ti+TiN зношуються більш інтенсивно як в початковий період, так і при терті, що встановилося. Застосування покриттів, що знижують на контактних площинах силу тертя і мають низький коефіцієнт теплопровідності, приводить до зменшення кількості тепла, що надходить до матеріалу інструменту. Зазначеними властивостями володіють обидва двошарові покриття. Порівнюючи інтенсивності зношування поверхонь тертя зразків з покриттями при $V = 2$ м/с і $P = 0,33$ кН, можна стверджувати, що найбільшою стійкістю володіє покриття №2 + №14 (TiN + (TiN+Ni)) ($j = 0,08$ мм/км), відтак №2 + №1 (Ti+TiN) ($j = 0,14$ мм/км), і найменш стійким виявилось покриття №10 (TiN+Ni) ($j = 0,186$ мм/км).

Таким чином, для зміцнення металорізального інструменту, що працює в умовах безперервного різання і зазнає адгезійно-втомного зношування, найбільш ефективним є двошарове покриття (TiN+Ni)+TiN (№14 + №2). Основним матеріалом його робочого шару є TiN, який має задовільні фізико-механічні (високу твердість та великий модуль пружності) і зносотривкі властивості при високих температурах, є хімічно інертним (зменшує коефіцієнт тертя і температуру в зоні різання), добре наноситься плазмовим напиленням. Підшар TiN+Ni служить для міцного зчеплення покриття з основою, забезпечує еластичність і узгоджує теплофізичні характеристики з робочим шаром.