

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8

ІОННО-ПЛАЗМОВІ ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ ПОКРИТТІВ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

1. Методи підвищення різальної здатності інструментів

В даний час промисловість більшості економічно розвинутих країн світу все більше використовує інструменти зі швидкорізальної сталі, твердих сплавів, керметів та ріжучої кераміки з функціональними покриттями (зносостійкими, зміцнюючими, фрикційними тощо), синтезовані методами фізичного осадження покриттів у вакуумі (PVD). Відмінність устаткування, що використовує фізичні методи синтезу покриттів, складається в розходженнях засобів випару речовини у вакуумі, від котрих сильно залежить ступінь іонізації пароіонного потоку, а також в деяких конструктивних особливостях устаткування. Для нанесення покриттів на різальні інструменти використовують установки, що мають такі різновиди джерел плазми:

- дугові джерела, що генерують у вакуумний простір камери плазму плямою низьковольтного розряду високого струму, який утворюється винятково в парах матеріалу, катода, що дозволяє забезпечити ступінь іонізації плазми до 80–95 % (технологія КІБ, агс–PVD);

- магнетронно-іонні джерела плазми, які генерують плазму у вакуумний простір камери завдяки розпиленню речовини при бомбардуванні катода-мішені високоенергетичними іонами інертного газу (звичайно аргон), при цьому ступінь іонізації пароіонного потоку звичайно не перевищує 20–30 %.

Пріоритет у розробці устаткування і технології КІБ (агс–PVD) належить Україні, Українському фізико-технічному інституту (м. Харків). Іонно-плазмові установки з дуговими джерелами плазми одержали переважне поширення у світовій практиці при виробництві різального інструмента з покриттям, особливо інструмента зі швидкорізальної сталі.

Незалежно від принципу роботи установок механізм

утворення покриття приблизно такий.

Атоми речовини, які покинули поверхню випарника, направляються до підкладки зі швидкістю порядку сотень – тисяч метрів за секунду. При зіткненні з підкладкою атом передає їй частину енергії, частка котрої тим менша, чим вища температура підкладки. Маючи деякий надлишок енергії, атом речовини якийсь час переміщується по поверхні підкладки, втрачаючи поступово енергію і прямує до теплової рівноваги з підкладкою, тобто переходить в адсорбований стан.

При зустрічі атомів утворюються атомні групи, більш стійкі до повторного випару, тому що кінетична енергія атомів частково переходить у потенційну енергію зв'язку. Зародком майбутньої плівки така група може стати, якщо її розмір перевищує деякий критичний, при якому можливість конденсації (остаточного закріплення на підкладці) перевищує можливість розпаду групи на атоми.

Подальше зростання зародків відбувається за рахунок приєднання до них знову адсорбованих атомів, а також за рахунок безпосереднього осадження атомів на поверхню зародка. Розростаючись, окремі острівці-зародки зливаються, поступово створюючи суцільну плівку. На завершальному етапі, коли сформована суцільна плівка, її зростання носить децю однорідний характер.

Для швидкорізального інструмента можливість варіювання технологічними параметрами синтезу обмежується необхідністю підтримки вузького діапазону температур нагрівання підкладки при іонному очищенні та осадженні покриттів від 500 до 550 °С. Така умова забезпечує, з одного боку, надійне зчеплення покриття з підкладкою, а з іншого, – охороняє її від термічного розміцнення. Виходячи з цього, технологічний процес нанесення зносостійких покриттів на швидкорізальний інструмент рекомендується здійснювати в умовах, що передбачають необхідність підтримки оптимальної температури протягом усього технологічного циклу.

На рис.1 подана схема впливу основних технологічних параметрів процесу КІБ на якісні характеристики напиленого

швидкорізального інструмента. Зі схеми очевидно, що більшість технологічних параметрів впливають як прямо, так і непрямо – через зміну температури поверхні напилюваної підкладки.

Дослідженнями впливу температури підкладки при іонному бомбардуванні і на початку осадження на середню стійкість твердосплавних пластин із покриттям показано, що максимальній стійкості відповідає температура приблизно 800 °С. При більш низьких температурах спостерігається тенденція до відшарування покриття, а при температурі вище оптимальної 1000–1200 °С є тенденція до руйнації.

Ці експерименти показують, що нагрівання підкладки до температури приблизно 800 °С не призводить до десорбції (повторного випару) на потенційних «буграх» рельєфу, що мігрують по поверхні атомів, на початковому етапі формування плівки.

Оптимальні температурні умови нанесення покриттів на швидкорізальний інструмент подані на рис. 2. На етапі I іонного очищення і термоактивації поверхні підкладки найважливішими параметрами процесу є температура та час досягнення цієї температури. Температура обмежена значеннями приблизно 540–550 °С, а час очищення і термоактивації приймають у межах 5–10 хв. Такий вузький інтервал часу очищення обумовлений, з одного боку, необхідністю забезпечення якісного очищення, а з іншого, – зберіганням розмірів радіусів округлення різальних кромки від збільшення (розтравлювання).

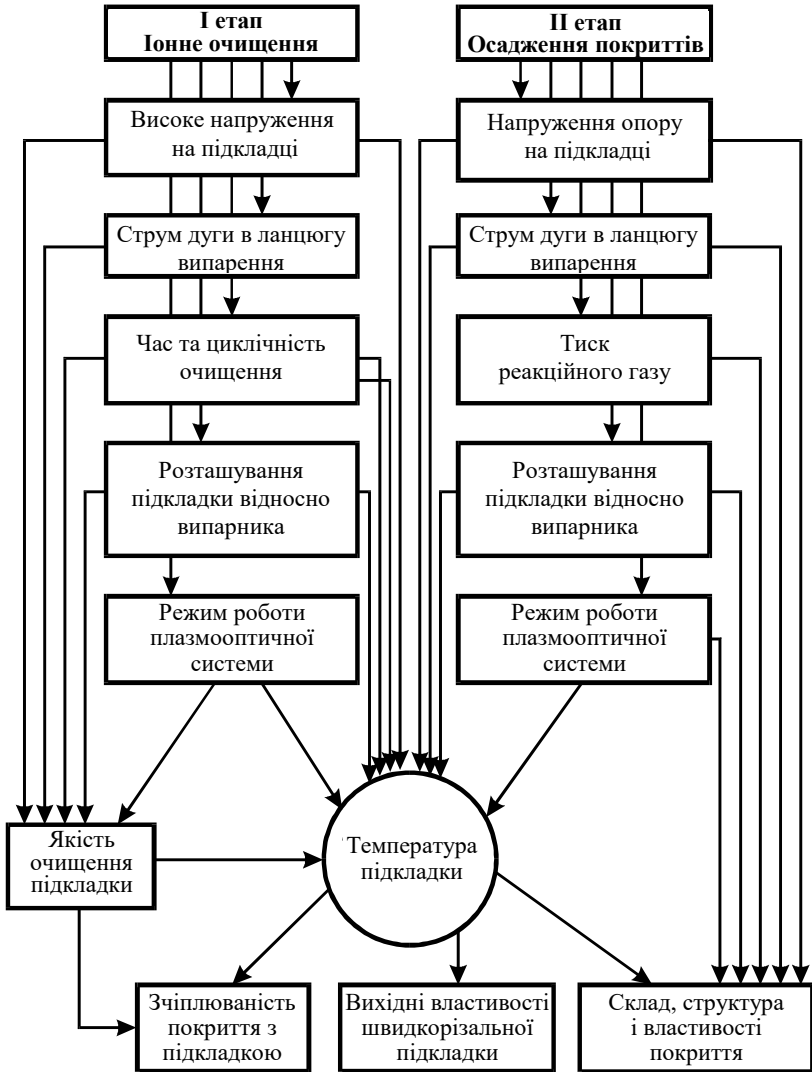


Рис. 1. Схема впливу технологічних параметрів процесу нанесення зносостійких покриттів на якісні характеристики напиленого швидкорізального інструмента

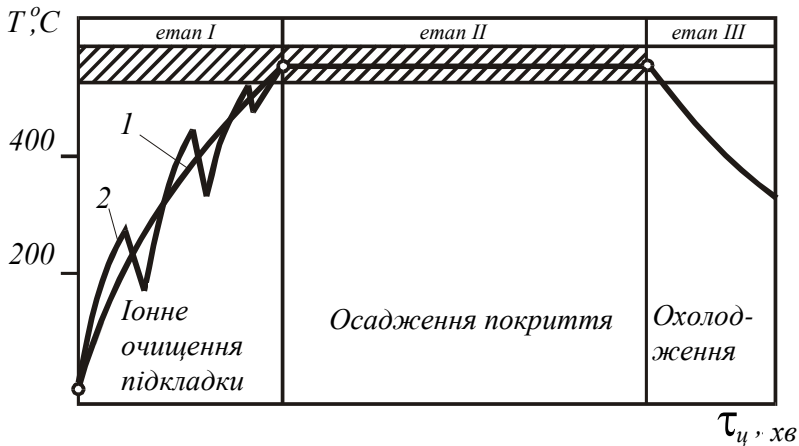


Рис. 2. Оптимальні температурні умови нанесення покриттів на швидкорізальний інструмент методом КІБ:
1 – безупинне нагрівання; 2 – циклічне нагрівання

На етапі II – осадження покриття – оптимальними є умови підтримки температури підкладки на рівні $525 \pm 10 ^\circ\text{C}$. При такій температурі забезпечується формування покриття з найкращою структурою.

На етапі III – охолодження інструмента з покриттям роблять у камері установки «Булат» до температури $190 ^\circ\text{C}$, що запобігає окислюванню зносостійких плівок на повітрі.

Тепловими умовами осадження та формування зносостійкого покриття можна управляти такими способами: зміною розміру напруги на підкладці і сили струму в ланцюзі випарника; короточасним підключенням високої напруги; підігрівом (охолодженням) за допомогою додаткових джерел тепла (охолодження); застосуванням технологічної оснастки для кріплення інструмента з низькою (високою) теплоємністю.

Охолодження швидкорізального інструмента є завершальним етапом технологічного циклу. Воно здійснюється в камері установки до температури $190 ^\circ\text{C}$ із метою запобігання

окислювання інструмента, після чого камера розкривається, і він остигає на повітрі.

Найбільш складнокерованим фактором, який залежить від більшості режимних параметрів технологічного циклу, а також маси і габаритних розмірів інструментів, засобу їхнього кріплення в робочих пристосуваннях і переміщення щодо випарника, що впливає на якість та працездатність інструмента, є температура підкладки як на етапі іонного очищення, так і в процесі нанесення покриття.

Розроблено принципи, технологію та устаткування комплексної поверхневої іонно-плазмової обробки (КПО). Відповідно до цих принципів підвищення довговічності покриттів може бути досягнуте шляхом збільшення пластичної міцності і жорсткості ріжучого клина інструмента за рахунок формування зносостійкого комплексу (рис. 3). Він складається з:

- шару 2, що термостабілізує і сприяє росту пластичної міцності та жорсткості ріжучого клина інструмента;

- зовнішнього зносостійкого покриття 4 моношарового, композиційного, багатошарового або багатошарово-композиційного типів, що має підвищену опірність втомної руйнації, особливо в умовах підвищених контактних стаціонарних або циклічних навантажень;

- адгезійного підшару 3, який має підвищену кристалохімічну сумісність з матеріалами і шару, що термостабілізує, та забезпечує підвищення їхньої адгезійної міцності.

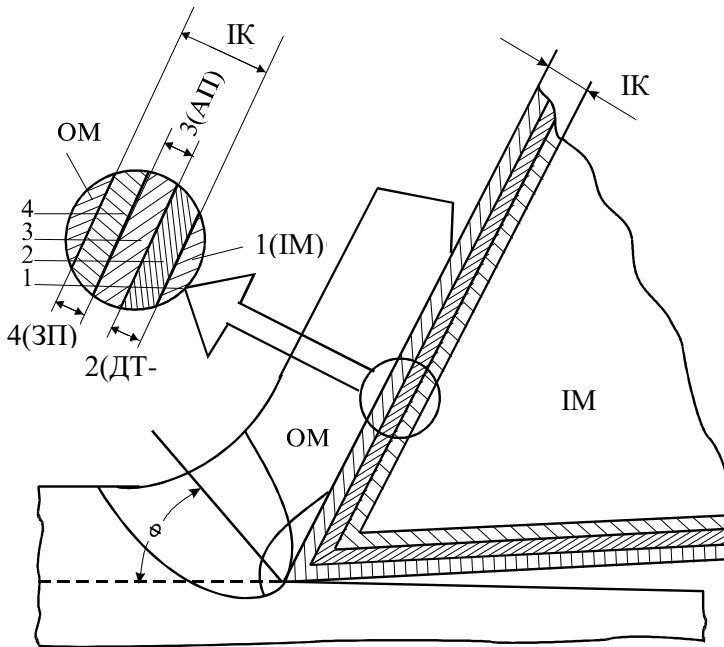


Рис. 3. Принципова схема зносостійкого комплексу (ЗК)

для різального інструмента:

1 – інструментальний матеріал (ІМ); 2 – дифузійний термостабільний шар (ДТ-шар); 3 – адгезійний підшар (АП); 4 – зносостійке покриття (ЗП)

При цьому необхідно дотримуватися двох умов синтезу покриття:

– активна взаємодія дотичних фаз матеріалів шарів 2, 3, 4 повинна забезпечувати міцну адгезію між ними;

– взаємодія стичних фаз матеріалів шарів 2, 3, 4 при температурах експлуатації інструмента не повинна призводити до формування тендітних інтерметалоїдних фаз, що знижують властивості інструментального матеріалу.

2. Послідовність виконання технологічних операцій

Принципова послідовність операцій процесу КІПО інструмента з метою формування ІК подана на рис. 4, тут же для порівняння наведена традиційна технологія КІБ, застосовувана для нанесення покриттів на різальний інструмент. Як очевидно з поданої схеми, принципова відмінність технології КІПО від стандартної технології КІБ полягає в поділі процесів прогріву й очищення інструмента (останню проводять газовою плазмою), формуванні шару, що термостабілізує, 2, послідовного осадження адгезійного підшару 3 і зносостійкого покриття 4.



Рис. 4. Блок-схема технологічного процесу комплексної іонно-плазмової обробки (КІПО) різального інструмента

Розроблені склади ІК (КІПО) [A - (Ti,Cr) - (Ti,Cr)N; A-Zr-TiCN] (рис. 5) підвищують стійкість у 10–15 разів порівняно зі стійкістю контрольних інструментів та в 1,5–8 разів порівняно зі стійкістю пластин із стандартними покриттями (рис. 6).

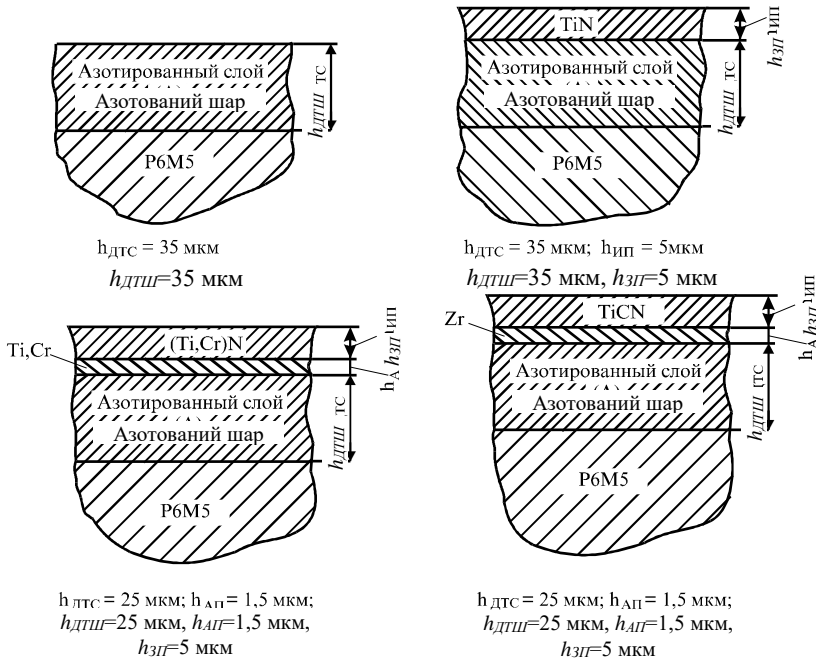


Рис. 5. Варіанти зносостійких комплексів, прийнятих для досліджень ріжучих властивостей інструмента

Промислові стійкісні дослідження свердел із швидкорізальної сталі підвищеної теплостійкості Р12ФЗКЮМЗ при свердлінні отворів у заготовках із титанового сплаву показали, що для важкого термічного навантаження інструмента термостабілізуючий шар може служити самостійним зміцнюючим елементом. Підтвердженням сказаного може служити той факт, що свердла з азотованим (термостабілізуючим) шаром не тільки не поступалися за стійкістю свердлам із кращими варіантами ІК (КІПО), але й у 5–6 разів перевершували за стійкістю контрольні свердла і свердла зі стандартними покриттями Ті та Сr. Інструменти зі швидкорізальної сталі, особливо складнопрофільного типу, як правило, піддаються повторним переточуванням у процесі експлуатації. Якщо інструмент переточується по одній з робочих поверхонь (свердла, мітчики, черв'ячні фрези,

протяжки тощо), а технологія повторного заточення не призводить до руйнації покриття по довжині різальних кромок, то можна впевнено прогнозувати подальшу можливість ефективного використання інструмента з покриттям.

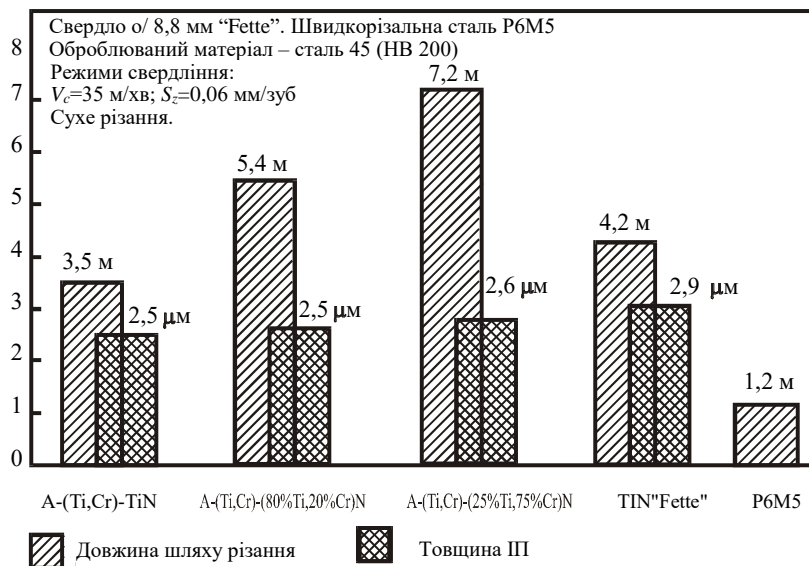


Рис. 6. Вплив складу ІК (КІПО) на довжину шляху різання L свердел фірми "Fette"

Комплексна іонно-плазмова обробка інструмента з швидкорізальної сталі може бути достатньо ефективною і у випадках необхідності повторних заточувань різального інструмента в процесі його експлуатації.

Для орієнтації у виборі складів зносостійких комплексів наводиться таблиця 1.

Рекомендований склад покриттів для нанесення на різальні інструменти,
призначені для різання важкооброблюваних матеріалів

Таблиця 1

Оброблюваний матеріал	Покриття	Рекомендований інструментальний матеріал замість матриці під покриття	Орієнтовне значення швидкості різання V, м/хв, при обробці інструментом		Підвищення стійкості інструмента при нанесенні покриття (різання при оптимальній швидкості)
			без покриття	з покриттям	
Корозійно-стійкі сталі феритного, мартенситного класів (типу 08X13, 12X13, 1X12H2BMB)	(Ti, Cr)-(Ti, Cr)N-TiN (Ti, Zr)-(Ti, Zr)N-ZrN	BK6-M, BK6 TT10K8-B	140-160	170-200	2,5-3,5
			120-150	155-180	
Корозійно-стійкі, жароміцні сталі аустенітного класу (типу X18H10T, X18H12T, X23H18, X15H5)	Zr-(Nb, Zr)-ZrN Ti-(Ti, Al)N-Al ₂ O ₃	BK6-M, BK6 TT10K8-B	10-20	15-28	2,0-2,8
Жароміцні, жаростійкі хромонікелеві сталі (типу X12H20T3P)		BK6, TT10K8-B	50-60	60-70	1,8-2,2
Сплави на титановій основі типу ВТ1, ВТ3, ВТ6, ВТ14, ВТ20, ВТ22)	Zr-(Nb, Zr)N-ZrN Cr-(Mo, Cr)N-CrN Zr-(Zr, Cr)N-(Zr, Cr, Al)N	BK6	40-50	55-80	1,8-2,5
Жароміцні деформовані сплави (типу ХН60В, ХН77ТЮ, ХН77ТОР, ХН35ВТЮ)	(Ti, Cr)-(Ti, Cr)N-TiN (Ti, Cr)-(Ti, Cr, Al)N-(Ti, Al)N Cr-(Mo, Cr)N-CrN	BK6, TT10K8-B	20-45	25-60	1,8-2,5

3. Порядок виконання роботи

1. Навести основні особливості методу комплексної поверхневої іонно-плазмової обробки (КІПО)?
2. Охарактеризувати принципові схеми зносостійкого багат шарового комплексу.
3. Встановити методи застосування контролю якості покриттів?
4. Розглянути передумови підвищення працездатності різального інструмента нанесенням покриттів.
5. Навести приклади підвищення працездатності різальних інструментів.
6. Зазначити нові тенденції розвитку технології синтезу покриттів.