

ного перенесення (B) є недостатньо вивченим і загальновідоме співвідношення густини потоку вологи під дією градієнта тиску (1) потребує уточнення відповідними коефіцієнтами, або комплексом фізичних величин (A)

$$I_{\Delta p} = -AB \frac{dp}{dx}. \quad (1)$$

Найбільш продуктивним способом сушіння [1, 2] вважається вакуумно-діелектричне, де використовується поєднання вакуумного сушіння з діелектричним нагріванням деревини. Потужність діелектричного (W_t/m^3) нагрівання описується залежністю:

$$N = AE^2 \xi t g \delta 2\pi f, \quad (2)$$

де: A – коефіцієнт пропорційності фізичних величин; E – напруженість електромагнітного поля, Вт/м; ε – діелектрична проникливість деревини; $t g \delta$ – тангенс кута діелектричних витрат; f – частота коливання електромагнітного поля.

Потрібно відзначити, що у процесі сушіння змінюється величина напруженості електромагнітного поля, діелектричної проникливості і тангенса кута діелектричних витрат залежно від вологості і породи деревини. Вакуумно-діелектричні сушарки є дуже дорогими, їх вартість є на порядок більшою, ніж конвективних. Вони потребують високої кваліфікації обслуговуючого персоналу і великих витрат електричної енергії. Спеціальні способи (вакуумний, діелектричний, конденсаційний, адсорбційний, рідинний) сушіння використовуються в окремих видах діяльності і не застосовуються для масового виробництва.

Ефективність різних видів конвективного способу сушіння пиломатеріалів слід оцінювати за певними критеріями – показниками. Ці критерії можна умовно поділити на три групи: технічні, технологічні та економічні [3]. До технічних потрібно віднести продуктивність сушарки та коефіцієнт корисної дії сушарки. До технологічних слід віднести тривалість процесу сушіння, якість висушуваного матеріалу, споживання теплової, електричної та інших видів енергії. З економічних критеріїв найважливішим є собівартість сушіння. Розглянемо декотрі з них.

Продуктивність сушарки описується формулою:

$$P_k = \frac{T}{\tau_c + \tau_d} E \rightarrow \max. \quad (3)$$

При цьому $P_k \rightarrow \max$ за такими значеннями величин, $T, E \rightarrow \max$ та $\tau_c + \tau_d \rightarrow \min$. У позначеннях прийнято: T – тривалість роботи сушарки у рік, $T = 365 k_T$, k_T – коефіцієнт корисної дії сушарки; E – обсяг матеріалу, яка знаходиться у сушарці; τ_c – тривалість процесу сушіння, яка включає безпосередньо тривалість сушіння – τ_c та тривалість допоміжних операцій – τ_d . Величина коефіцієнта корисної дії сушарки змінюється у межах $k_{Tmin} < k_T \leq 1,0$, вона є різною для окремих типів камери.

Тривалість процесу сушіння визначається табличним або графоаналітичним методами. При визначенні графоаналітичним методом

$$\tau_c = C_r \frac{KS_1^2}{a'_M 10^6} CA_n A \phi I g \frac{W_n}{W_k}, \quad (4)$$

де: C_r – поправка на багатомірність, враховує ширину пиломатеріалів, $0,5 < C_r \leq 1,0$; K – множник, який враховує співвідношення одиниць вимірювання, $50 < K \leq 72$; S_1 –

товщина пиломатеріалів (заготовок); C – коефіцієнт, який враховує сповільнення процесу сушіння у штабелі різної ширини; A_n – коефіцієнт, який враховує реверсивність циркуляції; A_ϕ – коефіцієнт, який враховує ступінь насичення агента сушіння на першій ступені режиму; W_n, W_k – відповідно початкова і кінцева вологість пиломатеріалів; a'_M – коефіцієнт теплопровідності деревини при температурі змоченого термометра – t_m .

За однакових умов (порода і розміри матеріалу, кінцева і початкова вологість, тип сушарки) тривалість сушіння залежить від інтенсивності процесу, що можна виразити через коефіцієнт вологості:

$$a' = \frac{S_1}{2} \frac{\frac{dw}{d\tau}}{\frac{dw}{dx}}, \quad (5)$$

де $dw/d\tau$ – швидкість сушіння; dw/dx – розподіл вологості деревини по товщині S_1 .

Таким чином, визначення ефективності різних видів конвективного сушіння пиломатеріалів є складною комплексною задачею, де потрібно враховувати технічні, технологічні та економічні аспекти цього процесу. Різні комбінації видів конвективного сушіння можуть інтенсифікувати процес або його штучно сповільнити, досягти високої якості матеріалу і забезпечити збереження його природних властивостей, зменшити витрати енергії на процес.

Література

1. Горьев А.А. Вакуумно-диэлектрические сушильные камеры. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 105 с.
2. Серговский П.С., Расев А.Н. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
3. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород. – М.: Экология, 1992. – 224 с.

УДК620.169:621.793 Доц. О.Б. Гасій, к.т.н.; ст.викл. Й.Л. Ацбергер – УкрДІТУ

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕТАЛО- І ДЕРЕВОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЙОННО-ПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ

Проаналізовано результати останніх досліджень в області нанесення покриттів йонно-плазмовим напиленням. Розглянуто основні напрямки вдосконалення даної технології, сформульовано задачі, які потребують подальшого вирішення.

O.B. Hasiy, Y.L. Acberger – USUFWT

To question of rising of metal – and wood-cutting instrument resistance by ion-plasma evaporation

The results of last researches in the sphere of ion-plasma evaporation were surveyed in the article. The main trends of this technology development were observed and further problems were formulated.

Електрофізичні методи є одними з найбільш високотехнологічних та екологічно чистих методів нанесення покриттів. Із групи вакуумних технологій в основному на практиці використовуються технології осадження покриттів із парів та

плазми металів, отриманих шляхом термічного розпилення, катодного розпилення, реактивного електронно-променевого плазмового напilenня (РЕП), активованого реактивного напilenня (ARE), магнетронного напilenня, реактивного іонізаційного напilenня (Sputtering), йонно-плазмового напilenня в умовах йонного бомбардування (КІБ).

Особливість еволюції електрофізичних методів полягає в тому, що кожний наступний метод є результатом вдосконалення попередніх з використанням сучасних на той час технологій. Зокрема, принципово метод КІБ, аналогічно до інших, ґрунтується на осадженні на поверхню оброблюваної деталі напильованого матеріалу із плазми в умовах йонного бомбардування. Суть процесу полягає в тому, що між корпусом камери і холодним катодом із матеріалу, що напильється, запалюється вакуумна дуга за допомогою додаткового електромагнітного електрода. Згенеровані із дугового розряду пари металу іонізуються і прискорюються за рахунок різниці потенціалів між підкладкою (деталлю) і корпусом камери, величина якої значно перевищує напругу вакуумної дуги; вступають при цьому у плазмохімічні реакції з реактивним газом (найчастіше – азотом і ацетиленом) і конденсуються на деталі у вигляді чистих металів чи хімічних сполук (нітридів, карбідів та інших – залежно від складу реактивного складу реактивного газу). Принципова схема установки для йонно-плазмового напilenня типу "Булат" наведена на рис. 1.

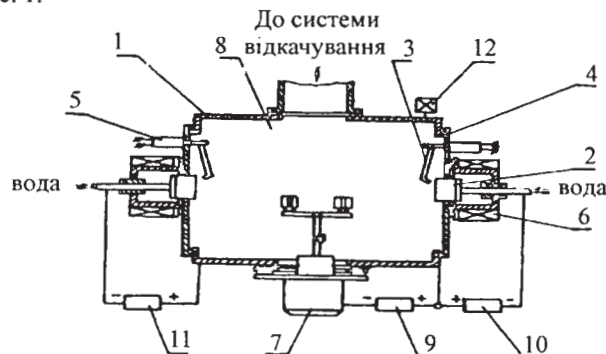


Рис. 1. Схема установки типу "Булат 3" для нанесення покриттів в умовах йонного бомбардування: 1-корпус вакуумної камери; 2-катод; 3-запалюваний електрод; 4-випаровувач; 5-солений підпалюючого електрода; 6-фокусуюча система; 7-механізм обертання підкладки; 8-напильовані зразки; 9-джерело живлення підкладки; 10,11-блок живлення випаровувачів; 12-автоматичний напуск реакційних газів

Переваги методу КІБ полягають у наступному:

- можливість нанесення на поверхню деталі практично будь-яких струмопровідних матеріалів;
- досить проста конфігурація установки;
- можливість отримання багатокомпонентних і багатошарових покриттів шляхом використання кількох випаровувачів;
- можливість керування режимними параметрами процесу і за їх рахунок структурою і властивостями покриттів;
- висока ефективність процесу внаслідок того, що коефіцієнт іонізації плазموутворюючого газу може досягати 90 – 100 %, що дозволяє більш ефективно управляти потоком плазми;

- можливість нанесення покриттів на деталі складної конфігурації;
- низька шорсткість покриття, яке практично відтворює геометрію поверхні деталі;
- висока мікротвердість: до $H_v = 18 \div 25$ ГПа;
- висока корозійна тривкість;
- висока зносотривкість як пар тертя, так і різального інструменту, яка збільшується в 1,5÷2,5 р. залежно від структури покриття (рис. 2), можливість широкого регулювання зносотривкості за рахунок впливу на фізико-хімічні процеси у зоні тертя шляхом застосування покриттів різного складу;
- коефіцієнт суцільності отриманого покриття досягає практично 100 %.

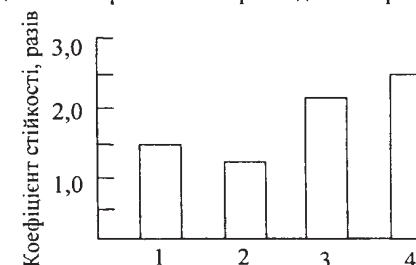


Рис. 2. Стійкість модульних фрез із сталі Р6М5 із покриттями при обробці сталі 20 ХНЗА: 1-покриття TiC; 2-покриття TiN; 3-двошарове покриття TiC+TiN; 4-двошарове композиційне покриття (TiN+Me)-TiN

Відчутним недоліком даної технології є мала швидкість осадження покриттів (3-10 мкм/год), але, зокрема, для ріжучого інструменту занадто велика товщина покриття може суттєво змінити геометрію ріжучої кромки і є недоцільною.

Дослідженням фізики процесу йонно-плазмового напilenня та впливу покриттів на експлуатаційні характеристики матеріалів присвячені роботи В.Г. Падалки, А.А.Еттінганга, А.І.Аніксева, В.П.Табакова, В.А.Синопальникова та інших.

Найбільш вдалим і класичним покриттям на твердосплавному інструменті WC-Co була композиція TiC – Ti(CN) – TiN (рис. 3), розроблена фірмою "Sandvik Koromant" (Швеція) (рис. 3) ще у шістдесятих роках.

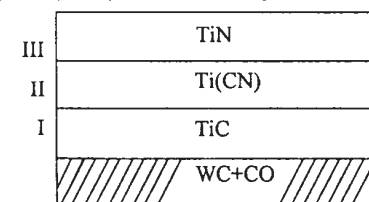


Рис. 3. Модель йонно-плазмового покриття

Основним матеріалом робочих шарів існуючих йонно-плазмових покриттів залишається TiN, який має задовільні фізико-механічні і зносотривкі властивості при високих температурах, є хімічно інертним, добре наноситься плазмовим напilenням. Різні шари покриття мають наступне функціональне призначення: I шар служить для міцного зчеплення покриття з основою; II – для забезпечення еластичності, запобігання росту наскрізних тріщин та узгодження теплофізичних характеристик робочого (III) та адгезійного (I) шарів; III – для надання високої механічної стійкості, зносотривкості, інертності стосовно оброблюваного матеріалу в умовах різання та покращення інших експлуатаційних характеристик. Най-

частіше для створення багатошарових композицій використовуються наступні системи: TiC-Ti(CN)-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN, TiN-Al₂O₃, TiC-Ti(CNO)-Al₂O₃-Cr₂O₃.

Роботи по створенню нових покриттів велись в основному в напрямку пошуку складів та конструкцій захисних плівок, робочий шар яких мав би мінімальний коефіцієнт тертя із оброблюваним матеріалом, а внутрішні шари забезпечували б надійну адгезію із основою та достатню еластичність та стійкість проти розтріскування в умовах різання.

Основою абсолютної більшості покриттів є TiN, але існує ряд розробок по заміні цієї сполуки на ZrN, HfN, ZrC, HfC та нітриди і карбіди інших перехідних металів IV-VI груп. Роботи по розвитку технології йонно-плазмового напилення здійснюються у таких головних напрямках:

- вдосконалення конструкції установок;
- оптимізація режимних параметрів процесу;
- пошук нових матеріалів для отримання покриттів з кращими фізико-механічними властивостями та експлуатаційними характеристиками;
- фізико-хімічний вплив на підкладку.

Дослідження, що належать до першої групи, мають на меті:

- удосконалення конструкцій плазмотронів для збільшення їх продуктивності та зменшення вмісту крапельної фази;
- підвищення ступеня іонізації плазми та розширення можливостей управління плазмовим потоком;
- удосконалення систем регулювання плазмохімічних процесів та можливість широкого регулювання складу та будови конденсатів.

Ці роботи виконуються, зокрема, на НВО "Новатех" [1-5]. Найбільш цікавими є такі конструктивні рішення:

- застосування довгого катоду, який проходить через всю камеру з контролем біжучого положення катодної плями, що дозволяє підтримувати стабільність горіння дуги;
- розробка пристрою для двохступеневого вакуумного розряду для зменшення долі крапельної фази;
- виготовлення катодів у вигляді смуг, що дає змогу оперативного керувати режимними параметрами.

Оптимізація режимних параметрів, зокрема, таких як тиск плазмоутворюючого газу і магнітна індукція [6], дозволяє керувати такими властивостями нітридів Cr, Zr, Mo, як мікротвердість зносотривкість, коефіцієнт тертя. Зменшенню в плазмовому потоці частинок матеріалу катода сприяє підпал вакуумної дуги тоді, коли температура катода досягне температури, при якій струм термоелектронної емісії буде не меншим за струм дуги, а концентрація насичуючої пари перевищить 10^{14} см^{-3} [7].

До третьої групи напрямків належить розробка порошкових TiN- і TiC- катодів з пористістю 8-10 % [8]. Неоднорідність і рельєфність структури катода обумовлює підвищення швидкості ерозії, а при наявності реактивного газу (N₂, C₂H₂) – підвищення інтенсивності синтезу тугоплавких хімічних сполук в порівнянні з монолітними катодами, що дозволяє одержати більш однорідні покриття.

Вплив на підкладку шляхом її попереднього нагріву з наступним нанесенням підшару Al-FeSe, як показано у роботі [9], сприяє покращенню адгезії напиленого шару з основою.

Крім робіт в окремих напрямках розвитку даної технології робляться також спроби моделювання фазового складу йонно-плазмових покриттів. Зокрема, в роботі [10] прогнозується фазовий склад залежно від температури підкладки, тиску реактивного газу, швидкості плазмового потоку, співвідношення потоків іонів металів на основі термодинамічного методу визначення характеристик гетерогенних систем, виходячи із принципу максимальної ентропії.

Проаналізовані роботи, безумовно, дозволяють поглибити знання про процес йонно-плазмового напилення. Однак очевидно, що подальші роботи по розробці нових складів покриттів, які б могли знайти широке застосування, залежать від вирішення наступних вузлових проблем:

- дослідження механізму виникнення внутрішніх залишкових напружень у конденсатах та розробка складу і будови покриттів із мінімальним значенням таких напружень;
- збільшення в плазмовому потоці долі йонної фази в порівнянні з крапельною і паровою;
- зменшення скоплювання поверхонь покриття інструментів з оброблюваним матеріалом в умовах різання;
- розробка покриттів з меншим падінням твердості зі зростанням температури.

Література

1. Установка электродугового нанесения металлических покрытий в вакууме: Пат.2001159 Россия, МКИ⁵ с 23 с 8/00, с 23 с 14/32/НПО Новатех.
2. Устройство электродугового испарения металлов: Пат.2001970 Россия, МКИ⁵ с 23 с 14/32/НПО Новатех.
3. Установка для нанесения упрочняющих покрытий методом электродугового испарения: Пат.2001972 Россия, МКИ⁵ с 23 с 14/32/НПО Новатех.
4. Устройство электродугового нанесения металлических покрытий в вакууме: Пат. 2001973 Россия, МКИ⁵ с 23 с 14/34/НПО Новатех.
5. Электродуговой испаритель металлов: Пат. 2002853 Россия, МКИ⁵ с 23 с 14/32/НПО Новатех.
6. Влияние условий конденсации на характеристики ионно-плазменных покрытий (Cr, Zr, Mo)/N.A.B.Коровкин, В.И.Васильев, О.В.Полунин, А.М.Филатов// Трение и износ.-1993.-Т.14, №4.-С.790-797.
7. Способ получения плазмы металлов с помощью вакуумной дуги: А.с.1730864 СССР, МКИ⁵ с 23 с 14/32/ Э.И.Асиновский, С.Я.Бронин, В.П.Полищук, и др., Институт высоких температур АН СССР.
8. Косогор С.П. Процессы эрозии порошковых катодов и текстура вакуумно-плазмовых пленок и покрытий// Новые порошковые материалы и технологии/ Алтайский государственный университет. – Барнаул, 1993. – С.97-102.
9. Способ получения покрытий в вакууме: А.с.1827399 СССР, МКИ⁵ с 23 с 14/24/ В.И.Ульянов, Б.А.Мовчан, А.Ф.Манулик, Е.Б.Онопренко; Институт электросварки им. Е.О.Патона.
10. Карплан М.Г., Сайдахмедов Р.Х., Фетисов Г.П. Термодинамический расчет фазового состава нитридных ионно-плазменных покрытий// Тезисы докладов I собрания металлословос Рос-син, 22-24 сент.1993г./ Приволжский дом науч.-техн. пропаганды. – Пенза, 1993. – С. 41-42.
11. Бойко Ю.Ф., Белова Е.К., Алексеева О.А. Особенности субструктуры вакуумно-плазменных конденсатов TiN// Физика и химия обработки материалов. – 1986, №5. – С. 71-73