

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.923

О.М. Пилипенко, доц.

Черкаський інженерно-технологічний інститут

Л.Г. Полонський, доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ШЛІФУВАННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

Підвищення ефективності алмазного шліфування зносостійких покриттів є актуальною задачею машинобудування. Пропонується розв'язання цієї задачі здійснювати методом прикладання до деталі ультрачастотних коливань зовнішнього джерела. Радіальне направлення цих коливань інтенсифікує процес шліфування та вигідно відрізняється від традиційних методів.

Відновлення та зміцнення деталей машин, особливо імпортного виробництва, є актуальною задачею для сучасних машинобудівних та ремонтних підприємств України.

Дякуючи цілій низці переваг над традиційними операціями наплавки, широке використання отримали методи газотермічного напилення зносостійких покриттів. Ефективність використання цих методів для підвищення зносостійкості деталей машин може знижуватись через проблеми, що пов'язані з механічною обробкою. Обмеження режимів різання здійснюється з метою послаблення термосилового режиму обробки та недопущення дефектів мікро- і макроструктури покриттів. Частково вирішує проблему застосування полікристалів надтвердих матеріалів (ПНТМ) різних марок: композиит-10, киборит та інші [1]. Але лезова обробка може використовуватись тільки для покриттів обмеженого хімічного складу і товщини.

Технологічно-спадкоємні фактори обумовлюють недостатню адгезійну міцність ($\sigma_{ад.}$) та внутрішні залишкові напруження ($\sigma_{вн.}$) (ЗН). Чим вище $\sigma_{вн.}$, тим менше $\sigma_{ад.}$ і, відповідно, працездатність деталі з покриттям. Методи активації поверхні деталі перед напиленням мають різну результативність та корелюються з методами газотермічного напилення (табл. 1).

Таблиця 1

Методи активації поверхні деталі

№ п/п	Назва методу активації	Обладнання	Стан активованої поверхні	Корелюємий метод напилення*	Недоліки методу активації	Очікувана адгезійна міцність $\sigma_{ад.}$, МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	Піскоструминний	Піскоструминний апарат	Вершини профілю з закругленою формою	1, 2, 3, 4	Залишки піску у виймках, наклеп	20–25
2	Дробоструминний	Дробоструминний апарат	Вершини профілю з закругленою формою	1, 2	Залишки металу і окислів, наклеп	20–25
3	Формування "рваної нарізі"	Токарно-гвинторізний верстат	Профіль нарізі з зазублинами	1, 2, 3	Радіальне биття, незагартована поверхня тіла обертання	45–50
4	Панесення підшару	Обладнання для напилення	Порувата шорстка поверхня	2, 3, 4	Підбір матеріалу підшару	40–45
5	Голькофрезування з вимушеними коливаннями	Спеціальний верстат	Виступи і кратери різної висоти	1, 2, 3, 4	Незагартована поверхня	80–90
6	Плазмово-дугова активація	Плазмоводугова установка	Неактивована поверхня деталі	1	Обмежене використання	50–60

* У стовбці № 5 позначені методи напилення: 1 – електродугової металізації, 2 – газополумєневий, 3 – плазмовий, 4 – детонаційний.

Аналіз таблиці 1 показує, що найбільш універсальними є 1, 3, 4, 5 методи активації поверхні деталі перед напилюванням або при напиленні. Методи 3, 5 і 6 сприяють найвищим показникам $\sigma_{ад.}$, але є нерівнозначними. Формування "рваної нарізі" може використовуватись тільки при

відновленні деталей – тіл обертання – і у незагартованому стані. Після напилення такі круглі поверхні мають радіальне биття, яке повинно враховуватись при визначенні товщини покриття.

Метод 4 забезпечує середні значення $\sigma_{ад}$, і обмежено може використовуватись при газополум'яному, плазмовому та детонаційному напиленні. До того ж, необхідно погоджувати марку матеріалу підшару дали основного матеріалу, що напилюється. Наприклад, для самофлююсівних покриттів ПГ-СР1, ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, СНГН добру результативність у якості підшару показали нікельалюмінієві сплави ПН70Ю30 та ПН85,15. А для керамічних покриттів – нікельтитановий сплав ПН55Т45 [2]. Напилення підшару на 20–30 % зменшує вгмну міцність покриття за рахунок великої ушкоджуваності.

Високоєфективним є метод плазмоводугової активації, що поєднує процес активації з напиленням. Крім основної плазмової дуги, збуджується ще і додаткова – між металевим дротом і напилюваною поверхнею деталі. Додаткова дуга утворює на напилюваній поверхні катодну пляму, що очищує цю поверхню від окислів та іонним бомбардуванням активує її [3]. Недоліком методу є вузька область використання плазмоводугової металізації.

Найнижчі показники $\sigma_{ад}$ після напилення маємо при 1 і 2 методах активації. Суттєвим недоліком дробоструминної активації поверхні є явище можливого перенаклепу та забрудненість поверхні окалиною та частинками піску.

Інтенсифікація механічної обробки покриттів може здійснюватись одним з нетрадиційних методів. З одного боку, такий метод не повинен підвищувати деформаційно-напружений стан покриття, формуючи додаткові дефекти структури та знижуючи $\sigma_{ад}$, а з іншого – повинен підвищувати продуктивність обробки різальним інструментом як з надтвердих матеріалів, так і зі звичайних. Відомий в практиці машинобудування метод інтенсифікації різання важкооброблюваних матеріалів, в т. ч. і газотермічних покриттів, – різання з попереднім плазмовим підігрівом [4, 5]. Метод може бути реалізованим зі значними енергетичними витратами і тільки лезовою обробкою покриттів товщиною не менш 0,8–1,0 мм.

Більш перспективним методом інтенсифікації механічної обробки зносостійких покриттів є ультразвукове різання з зовнішнім джерелом коливаль. Підвищення продуктивності забезпечується без укорочення деформаційно-напруженого стану покриття, а за рахунок принципово іншої схеми стружкоутворення [6].

Відомо, що робота шліфування витрачається на пластичну деформацію матеріалу при утворенні мікростружок і на зовнішнє тертя абразивних зерен та зв'язки круга з оброблюваною поверхнею. УЗ-коливання впливають на обидві складові енергетичних витрат: а) підвищується швидкість генерації дислокацій, що зміцнює матеріал і, в той же час, підвищується швидкість руху дислокацій, який сприяє здійсненню пластичної деформації при менших статичних навантаженнях; б) циклічне переміщення контактних поверхонь круга та деталі викликає періодичний поворот векторів сил тертя на гранях робочих абразивних зерен, що зменшує зовнішнє тертя. Миттєві значення складових сил різання, які мають імпульсний характер в багато разів (на порядок) перевищують статичні значення. Такий вплив УЗ-коливаль може бути використаний для інтенсифікації процесу шліфування покриттів, тобто, згідно з ефектом Блага-Лангенієкера, пластична деформація (E) здійснюється при менших напруженнях (σ). Напруження матеріалу, що оброблюється, є функцією сил різання та буде обмежуватись надмірною локальною концентрацією дислокацій біля структурних перешкод і бар'єрів. Основними перешкодами для вільного руху дислокацій в газотермічних покриттях, крім традиційних меж зерен, блоків та смуг сковзання, є окисні плівки частинок, пори та інші дефекти макроструктури. Досягнення критичної концентрації дислокацій та послідуєче їх злиття у голіві накопичення біля міцних перешкод, згідно з моделлю Зінера-Стро, призводить до утворення мікротріщини. Накопичення у будь-якого бар'єра n -однорічних дислокацій зливається та утворює мікротріщину при зовнішньому напруженні:

$$\tau < \frac{G}{2\pi n}, \quad (1)$$

де G – модуль зсуву;

причому розмір мікротріщин можна визначити за формулою:

$$h \approx \frac{\pi^2 \sigma_0}{2\pi n}, \quad (2)$$

де σ_0 – вектор Бюргера.

Збільшують імовірність утворення мікротріщин внутрішні залишкові напруження, що формуються в результаті зіступання покриттів при охолодженні. Мікротріщина може бути

механічно стабільною, навіть при малих розмірах, так як створює навколо себе велике внутрішнє напруження. Локальна пружна енергія одиниці об'єму поблизу дислокації пропорційна квадрату вектора Бюргерса (b^2) [7]. Якщо вектор Бюргерса збільшується в n разів через накопичення дислокацій, то пружна енергія збільшується в n^2 разів. При досягненні в локальному обсязі у голови накопичення дислокацій критичного значення пружної енергії здійснюється розкриття мікротріщини. Характер розкриття залежить від вихідного фізичного стану покриття. Для самофлюсівних пластичних покриттів характерним є розширення дислокації в площині скозвання, а для керамічних крихких покриттів – розколювання ядра дислокації перпендикулярно площині скозвання у розтягнутій області, що приєднується до краю екстраплощини (рис. 1а, 1б).

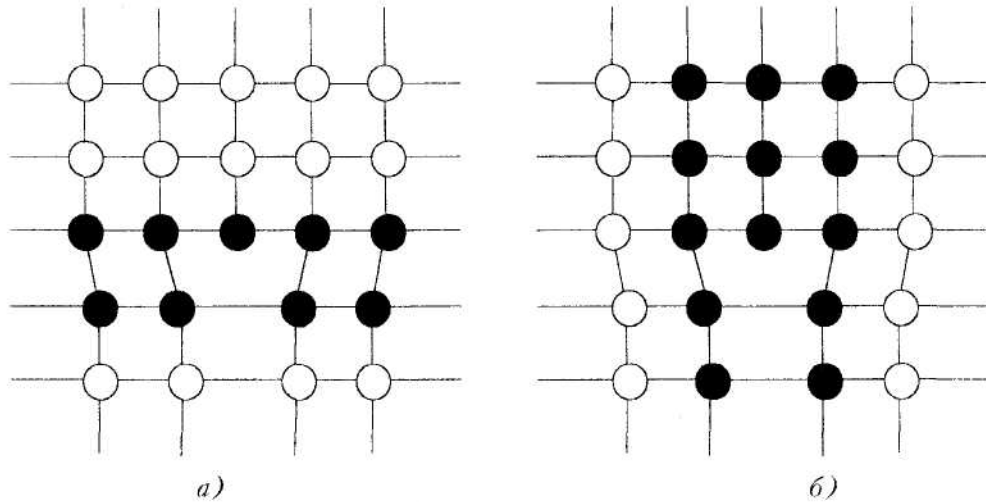


Рис. 1. Типи розщиплення ядра дислокації: а) пластичний стан кристала; б) крихкий стан кристала

Взаємодія дислокацій з УЗ-коливаннями призводить до поглинання енергії коливань в кристалах. Під дією перемінних пружних напружень збуджується коливальний рух дислокацій. При коливаннях дислокації зштовхуються з тепловими фонанами та втрачають частину своєї енергії. Найбільш вигідний механізм дислокаційного поглинання енергії УЗ-коливань у газотермічних покриттях може бути резонансного типу або амплітудно-залежного гістерезису. Згідно з моделлю Келера-Гранато-Люкке, 3-х мірна сітка дислокацій у кристалі матеріалу напильової частинки має відстань M між окремими базовими вузлами, а відстань між проміжними точками закріплення – m (рис. 2).

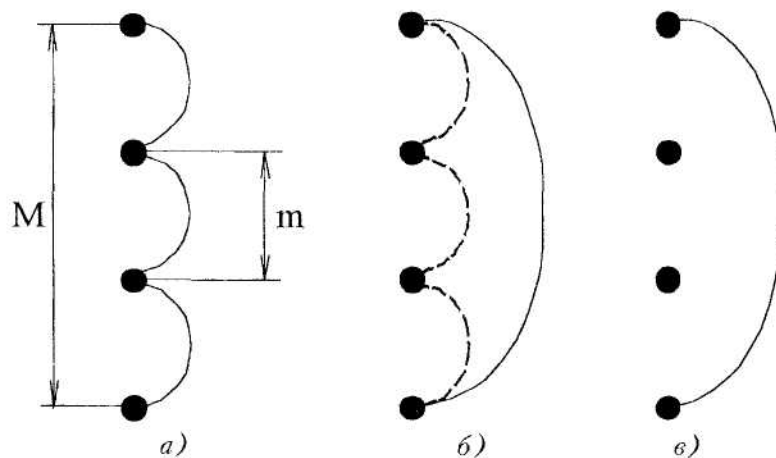


Рис. 2. Коливальний рух дислокацій при різній інтенсивності УЗ-коливань: а) енергія коливань менша енергії зв'язку дислокацій з точковим дефектом кристала; б) енергія коливань сумірна з енергією зв'язку; в) енергія коливань значно більша енергії зв'язку

УЗ-коливання відрізків дислокацій довжиною m , при незначній інтенсивності не спонукають їх до відриву від точкових дефектів (проміжні точки) і описуються рівнянням пружної струни, що коливається у фононній густині. Якщо прийняти умову, що густина є постійною ($\rho = \text{const}$), то рівняння буде мати такий вигляд:

$$u_{tt} = a^2 u_{xx} + f(x, t), \quad (3)$$

де $a = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}}$; $f(x, t) = \frac{1}{\rho} F(x, t)$ – густина сили (енергії коливань), віднесена до одиниці маси;

a – постійна демпфірування дислокації у фононній густині.

Частотна залежність дислокаційного поглинання має резонансний характер з максимумом декремента затухання на частоті $\omega_m = \omega_0 \frac{c}{a}$, де ω_0^c – власна резонансна частота відрізка m .

Постійна демпфірування a залежить від фізико-механічних властивостей покриття і визначається експериментально. Підвищення інтенсивності УЗ-коливань до кілогерцового діапазону може призвести до нестійкого положення дислокаційної петлі (рис. 2,б), або до повного відриву дислокаційної петлі від точкових дефектів (рис. 2,в). Останній варіант може призвести до потужної генерації дислокацій, їх критичного накопичення біля міцних перешкод і послідувального утворення мікротріщин.

Правильний вибір амплітудно-частотної характеристики вимушених УЗ-коливань елементів технологічної системи при шліфуванні газотермічних покриттів дозволить підвищити продуктивність процесу обробки, зменшити рівень залишкових напружень та уникнути формування мікротріщин і відшарування покриттів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Точение износостойких защитных покрытий / Клименко С.А., Муковоз Ю.В., Полонський Л.Г., Мельничук П.П. – К.: Техника, 1997. – 144 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Б.Н. Ардаговская. – К.: Наук. думка, 1987. – 544 с.
3. *Ситникова М.М.* Дослідження і розробка плазмо-дугового процесу отримання зносостійких металізаційних покриттів для відновлення деталей паперового обладнання: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Запоріжжя, 1987. – 24 с.
4. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / А.Н. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кулин, А.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
5. Обработка износостойких покрытий / Под общей ред. Ж.А. Мрочка. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.
6. *Пилипенко О.М.* Особливості ультразвукового шліфування // Вісник ЖІТІ, 1999. – № 10. – С. 77–79.
7. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

ПИЛИПЕНКО Олександр Михайлович – доцент кафедри технології машинобудування, декан механіко-технологічного факультету Черкаського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– механічна обробка газотермічних покриттів.

ПОЛОНСЬКИЙ Леонід Григорович – доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– механічна обробка газотермічних покриттів;

– історія розвитку техніки газотермічних покриттів та їх механічної обробки.

Подано 23.12.1999.