

**М.В.Красота, доц., канд. техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук,
І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, В.В. Русских, доц., канд. техн. наук**
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження методів обробки порошкових покриттів

В статті наведено аналіз методів обробки порошкових покриттів, що використовуються на теперішній час, виявлено їх недоліки. Розглянуто альтернативні методи обробки та можливість їх використання для покриттів, що отримуються методами наварювання, наплавлення та напилювання порошкових матеріалів. Запропоновано використання поверхневого пластичного деформування для калібрування поверхні та зменшення припуску на подальшу механічну обробку. Через високу твердість та крихкість порошкових покриттів деформування пропонується виконувати у твердому стані з використанням остаточного тепла в одному технологічному циклі з нанесенням покриття.
покриття, металевий порошок, механічна обробка

Для обробки покриттів, отриманих наплавленням, напилюванням, наварюванням традиційно використовують лезову та абразивну обробку.

Використання лезової обробки покриттів, як правило, обмежується високою твердістю та ламкістю матеріалу покриття, що в більшості випадків робить неможливим дану обробку.

Велика твердість і ламкість порошкових покриттів не допускає значних зусиль різання, які притаманні лезовій обробці. Тому використовувати токарну обробку навіть для чорнової обробки часто недоцільно внаслідок виривання припечених частинок з поверхневого шару і можливості розтріскування покриття. Обробку поверхні після

© М.В.Красота, І.В. Шепеленко, І.Ф. Василенко, В.В. Русских, 2011

нанесення порошкових покриттів виконують в основному шліфуванням. Шліфування застосовується для чорнової, чистової і фінішної обробки відновлених поверхонь [1].

Шліфування – динамічний процес фізико-хімічної дії на поверхневий шар деталі з притаманними йому термопружнопластичними деформаціями. За час обробки деталь сприймає велику кількість силових і температурних імпульсів, величина яких варіюється у визначених межах. Температура нагріву деталі коливається від 500...600 до 900...1200 °С. Амплітуда коливань змінюється в межах від 0,5...2 до 10...20 мкм. Поверхня, що шліфується знаходиться в складному напруженому стані.

Із зміною хвилястості робочого профілю круга і затупленням абразивних зерен змінюється деформування зовнішніх шарів деталі, що оказує вплив на інтенсивність теплоутворення і розвиток дифузійних і окислювальних процесів. З підвищенням температури збільшується швидкість структурних змін і рухомість дислокацій. При шліфуванні можливо виникнення дефектів поверхні (тріщин, припалів), які стають джерелами руйнування деталі.

Шліфування є процесом масового тонкого швидкісного різання металу абразивними зернами. Якщо розглянути роботу одного абразивного зерна, то вона має принципово однакову схему з процесом зняття стружки одним зубом фрези. Однак вказаний процес має і свої особливості.

У шліфувального круга нема суцільної ріжучої кромки по утворюючій. В той же час виникає необхідність врахування складної залежності між товщиною і шириною шару, який знімається одним абразивним зерном. Наявність неправильної геометричної форми окремих хаотично розташованих абразивних зерен і округлених вершин створюють умови для появи від'ємних кутів різання.

Високі швидкості різання і масовість елементарних процесів забезпечують

майже миттєве зняття великої кількості дрібних стружок. Динамічна дія кожного зерна на шорстку поверхню сприяє підвищенню температури різання і викришуванню ріжучих елементів, що викликає швидке зношування шліфувальних кругів.

При всіх видах обробки різання і навіть при самих тонких, як наприклад суперфінішування, хонінгування, полірування в поверхневому шарі відбуваються істотні зміни фізико-механічних властивостей металу, які визначають якість обробленої поверхні і її експлуатаційні властивості.

Покриття, що наносяться способами наварювання, напилювання, наплавлення порошкових матеріалів, можуть відрізнятися широкою різноманітністю хімічного складу й структури матеріалу, що наноситься, його фізико-хімічними й технологічними властивостями. Разом з тим, можна виділити ряд загальних специфічних особливостей будови й властивостей покриттів різних видів та функціонального призначення, з якими пов'язані проблеми їх подальшої механічної обробки.

Як правило, покриття отримані вказаними способами мають низьку пластичність. Будова покриттів, отриманих напилювання та контактним наварюванням порошоків відрізняється шаруватістю. Частки металу сильно витягнуті й розділені плівками оксидів, що істотно послабляє зв'язок між частками й шарами. Формування покриття, що супроводжується інтенсивною деформацією часток і надзвичайно високими швидкостями кристалізації, приводить до утворення пористості і великих залишкових напруг.

Так, при контактному наварюванні порошоків швидкість нагрівання може сягати близько 50000 град/с при густині струму 0,9...1,2 кА/мм², пористість при самих оптимальних режимах складає близько 5...10% [2, 3].

Поле напруг створюється як у повному об'ємі покриття, так і локалізується в об'ємі кожної частки. Метал після напилювання має значно більшу крихкість у порівнянні з вихідним матеріалом.

При обробці різанням це може приводити до утворення неприпустимих дефектів покриття [1, 4]: викришуванню й частковому відшаруванню матеріалу, появи відколів на границях нанесеного шару, тріщин і мікротріщин.

Знижена теплопровідність покриттів внаслідок їхньої пористості й наявності оксидів викликає при різанні концентрацію температур і температурних напруг у зоні обробки. У багатьох випадках це проявляється в утворенні припалів при лезовій обробці на оброблюваній поверхні й підвищеній схильності до появи мікро- і макроруйнувань поверхневого шару.

Обробка порошкових покриттів водночас характеризується високою схильністю матеріалу до зміцнення, перенаклепу поверхневого шару різальним інструментом. Підвищення температурно-швидкісних умов обробки або питомих тисків на оброблюваний матеріал викликає утворення відшарування обробленої поверхні [1].

Покриття, нанесені методами наплавлення, наварювання та напилювання, відрізняються значною неоднорідністю будови й фізико-механічних властивостей по товщині. Тому при подальшій обробці поверхонь складної конфігурації (фасонних, з уступами, канавками й т.п.), коли величина припуску, що видаляється на різних ділянках може помітно відрізнятися, існують значні труднощі одержання на всій обробленій поверхні однакових характеристик якості (твердості, шорсткості, щільності, однорідності хімічного складу й ін.).

У ряді випадків має місце значна анізотропія фізико-механічних властивостей покриттів щодо головних рухів у процесі їх отримання. Наприклад, при наварюванні та напилюванні властивості покриття в напрямку переміщення пальника щодо оброблюваної поверхні й перпендикулярно цьому переміщенню істотно відрізняються. Анізотропія фізико-механічних властивостей матеріалу відбивається на технологічних характеристиках процесу його обробки [5]. У результаті напруженість процесу різання і

якість обробленої поверхні залежать не тільки від виду й схеми обробки, а також напрямків швидкості різання й подачі стосовно траєкторії нанесення покриття.

Нанесення порошкових покриттів різними методами характеризується нерівномірністю товщини, покриття, яка виникає внаслідок нерівномірності дозування та подачі порошку, а також його втратами при транспортуванні до поверхні. В результаті отримується значне радіальне биття поверхні, яке при наступній механічній обробці приводить до дискретності контакту різального інструменту та деталі, та створення додаткових динамічних навантажень на інструмент та покриття.

Пористість матеріалу в поєднанні з особливостями його будови, крихкістю й схильністю до наклепу викликає значні труднощі одержання поверхонь із малою шорсткістю. Обробка ламких матеріалів супроводжується утворенням стружки надлому. У цьому випадку поверхневий шар формується шляхом послідовного ламкого руйнування і являє собою поверхню з характерними для такого виду руйнування нерівностями й западинами. Неоднорідна, шарувата будова матеріалу по товщині приводить до того, що поверхня руйнування може формуватися залежно від локальної міцності у двох або більше суміжних шарах покриття, тобто на різних його рівнях. Це створює додаткові труднощі технологічного забезпечення малої шорсткості поверхні й високої якості поверхневого шару виробу на завершальних стадіях обробки різанням.

Покриття, отримані методами напилювання та наварювання, характеризуються високими абразивними властивостями внаслідок присутності в них включень високої твердості (оксидів, нітридів, боридів і ін.), що досягає 18 000...20 000 МПа й більше. Інтенсивний абразивний вплив на інструмент є головною причиною низького періоду стійкості лезових різальних інструментів при обробці матеріалів, отриманих способами газотермічного напилювання. Стираюча здатність покриттів проявляється особливо активно у зв'язку з особливостями стружкоутворення при різанні таких матеріалів. Низька пластичність шару, що зрізається, і утворення стружки надлому супроводжується концентрацією навантажень безпосередньо в ріжучій кромці інструменту, що приводить до високих питомих тисків і підвищеного зношування, особливо по задній поверхні леза.

Підвищене розмірне зношування лезових інструментів може викликати значні труднощі забезпечення заданої точності обробки, особливо при різанні покриттів з композицій, що містять карбіди, нітриди, бориди й високоміцні інтерметаллідні з'єднання, змінюючи режим термомеханічного впливу на оброблюваний матеріал. При обробці наварених та напилених покриттів локальне збільшення контактних навантажень і температури в зоні стружкоутворення, викликані зношуванням інструмента, будуть приводити до викришування, утворення мікротріщин, тріщин і відколів на обробленій поверхні.

Металевий пил і дрібнодисперсні частки оброблюваного матеріалу, що утворюються при різанні, як правило, є токсичними. Крім того, потрапляння високоміцних фракцій стружки надлому в зазори рухомих вузлів і деталей металорізального устаткування й технологічного оснащення викликає прискорене зношування останніх. Це приводить до необхідності застосування при обробці покриттів потужних промислових витяжних пристроїв.

Зважаючи на проведений аналіз особливостей обробки порошкових покриттів, можливо зробити висновок, що технологічні методи, які використовуються на теперішній час мають ряд недоліків. Зокрема, обробка абразивним та лезовим інструментом має високу трудомісткість, а також може певним чином погіршувати властивості покриттів створюючи поля напруг, викришування, відшаровування та розтріскування матеріалу.

Значні труднощі механічної обробки покриттів, пов'язані з їх високою твердістю, пористістю, крихкістю, інтенсивним абразивним впливом на робочі поверхні інструмента, неможливістю в більшості випадків використовувати мастильно-

охлаодні середовища, можуть бути настільки великі, що викликають необхідність оцінити принципову можливість застосування методу різання для забезпечення необхідних показників якості виробу. Отже, варто шукати вирішення проблеми оброблюваності у використанні якісно інших методів обробки.

Метою даною роботи є проведення аналізу альтернативних методів обробки порошкових покриттів для подальшого їх дослідження.

За даними [5, 6] поверхневе пластичне деформування (ППД) покриттів відзначається рядом переваг у порівнянні з абразивною та лезовою обробкою: зберігається цілісність матеріалу, відсутнє шаржування поверхневого шару частками абразиву, в значній мірі знижений термічний вплив, стабільні процеси обробки, створюються сприятливі стискаючі навантаження.

Для зниження припуску на обробку порошкових покриттів представляє інтерес калібрувальна обробка під певний розмір при жорсткому положенні деформуючого інструменту.

Внаслідок використання поверхневого пластичного деформування металу калібруючим інструментом отримується чиста поверхня, точні форми і розміри деталей, а також зміцнені поверхневі шари.

Якість обробленої поверхні (мікро- і макрогеометрія, глибина і ступінь наклепу поверхневого шару, його мікротвердість, характер розподілення залишкових напруг і т. інш.) і точність обробки деталей методами, що зміцнюють-калібрують, залежать від умов деформування і напруженого стану металу в місці контакту інструмента і деталі. На якісні показники процесу найбільший вплив мають максимальні значення нормальних і дотичних напруг, переданих від інструмента, що зміцнює-калібрує, на деталь.

Найбільш поширеними методами ППД є обробка деталей роликівими, кульковими накатками. У місці зіткнення ролика або кульки з поверхнею, що обробляється, виникають контактні стискаючі напруги, в результаті чого метал пластично деформується, набуваючи форму, подібну профілю інструмента. Поверхневі нерівності при цьому згладжуються.

Через крапковий контакт при обробці кульковими інструментами необхідний ефект зміцнення і згладжування поверхні досягається при значно менших нормальних силах.

Застосовуючи методи обробки, що зміцнюють-калібрують, для остаточної обробки точних деталей, можна значно поліпшити чистоту обробленої поверхні, досягти більшої точності обробки, і в результаті зміцнення поверхневих шарів металу у визначених межах підвищити експлуатаційні якості виробів, що виготовляються.

Поверхневий шар металу, зміцнений холодним пластичним деформуванням, забезпечує в окремих випадках: збільшення міцності деталі особливо при роботі в умовах вібраційних і знакозмінних навантажень; підвищення зносостійкості поверхонь тертя; збільшення міцності з'єднання деталей при пресових посадках; зменшення впливу на міцність деталей концентрації напруг у місцях надрізів, отворів і ін.; підвищення втомленої міцності, підвищення опору деталей корозії за рахунок поліпшення чистоти обробленої поверхні.

Обробка деталей накочуванням роликами, кульками, прокочуванням між роликами і т.д. дозволяє в ряді випадків збільшити зносостійкість оброблених поверхонь в 1,5...6 разів. Ці методи особливо ефективні у відношенні збільшення втомленої міцності деталей засобів транспорту.

Широко застосовуване накочування роликком або кулькою підвищує межі витривалості сталевих деталей на 25...80% при значному поліпшенні чистоти поверхні. Дослідження і практика показують, що така обробка оказує великий вплив на деталі. При холодному накочуванні поверхнева твердість матеріалу підвищується в 2 рази, втомлена міцність - на 25...50% при одночасному значному збільшенні межі міцності

при розтягу і зрізі.

Обробка, що зміцнює, значно підвищує втомлену міцність сталевих деталей, особливо в тих випадках, коли деталь має концентратор напруг, наприклад, поперечний отвір або надріз. У результаті пластичного деформування металу і вирівнювання мікронерівностей значно збільшується опорна поверхня мікропрофіля. Це сприяє більш швидкому припрацюванню деталей, що спрягаються у рухливих з'єднаннях, і більшій міцності нерухомих посадок.

Особливо сильно впливає шорсткість поверхні на тривалість зберігання посадки для виробів малих діаметрів із вузькими межами допусків, тому що висота мікронерівностей стосовно номінального діаметра сполучення буде більшою. Обкатування застосовується для обробки плоских, криволінійних, зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь деталей.

Якість обкатуваної поверхні залежить від матеріалу, розмірів і форми оброблюваної деталі, режимів зміцнення, конструкції ролика (кульки), якості мастила.

Овальність і конусність циліндричних поверхонь, отримана при попередній обробці, зберігається після обкатування деталей роликівими і кульковими накатками пружної дії. При обкатуванні (розкочуванні) жорсткими роликівими і кульковими накатками можливо деяке поліпшення геометрії деталі і точності обробки.

Твердість поверхневого шару, глибина наклепу і розмір залишкових напруг зростають із збільшенням тиску на ролик.

Шорсткість обробленої поверхні при обкатуванні зменшується зі збільшенням нормального зусилля на ролик. Надмірний тиск може викликати перенаклеп поверхні, її шелушіння і відшаровування.

Із збільшенням ширини циліндричної стрічки ролика можлива робота з великими подачами, тобто з підвищеною продуктивністю. Однак із збільшенням ширини стрічки і діаметра ролика для досягнення необхідної шорсткості поверхні і наклепу потрібне більше зусилля накатки. Такі ролики вимагають більш жорсткої системи станок— пристосування - інструмент - деталь. Тому розміри ролика вибирають відповідно до жорсткості оброблюваної деталі.

При обробці невеликих по розміру деталей ширина циліндричної стрічки може бути прийнята 1...6 мм, а для великих і досить жорстких деталей 6...15 мм.

Зовнішній діаметр накатних роликів рекомендується менший, тому що при тому самому зусиллі обкатування при меншому діаметрі ролика збільшуються контактні напруги і наклеп поверхні. Однак цей діаметр визначають також, з огляду на конструктивні розуміння, зв'язані з необхідністю розміщення усередині ролика підшипника достатньої жорсткості.

Матеріал для виготовлення роликів, що обкатують і розкочують, повинен мати високу твердість по робочому профілю, зносостійкість, малий коефіцієнт тертя при сполученні з оброблюваною деталлю, стійкість проти корозії, малу спроможність до захоплення з оброблюваним металом і бути немагнітним.

Незважаючи на чисельні переваги методу ППД, застосування цієї технології для обробки твердих зносостійких покриттів досліджено недостатньо.

Деформування твердих покриттів неминує потребує значних зусиль та навантажень на інструмент та покриття, що негативно позначиться на якості покриття.

Використання пластичного деформування можливе за умов певної пластичності матеріалу, яку можливо отримати при високих температурах. Дана обробка має назву термомеханічної [7-9].

Високотемпературна механічна обробка виконується при температурах 900...1000°C, що приводить як правило до значних структурних перетворень в поверхневих шарах, тому використовувати такий спосіб для обробки покриттів з легованих порошків не доцільно.

Тепла деформація звичайно проводиться при температурі $(0,3 \dots 0,6)T_{пл}$. Вона характеризується перебудовою тонкої структури безпосередньо переповзанням дислокацій, але без істотної міграції границь.

Особливості теплової деформації обумовлені наступними факторами:

- при вказаних температурах відбувається одночасне введення дислокацій в метал (при деформуванні) і їх перерозподілення з утворенням більш стійких конфігурацій полігонізації;

- температурний інтервал деформації для ряду сплавів може співпадати з фазовим або структурним перетворенням в них, і тоді виникають нові явища в пластичному проведенні цих сплавів, обумовленими одночасно протікаючими перетвореннями;

- при нагріванні знижується опір пластичному деформуванню (іноді без зміни фазового стану сплавів), що використовується на практиці для здійснення формоутворення важкодеформуємих металів і сплавів.

Тепла деформація сталей при температурах $300 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ приводить до отримання більш високих значень границі текучості і міцності на розтяг, ніж холодна деформація. У випадку обробки багатофазних матеріалів міцність багатофазних сплавів визначається міцністю кожної фази і може бути приблизно обчислена через відносні площини, які займають ці фази в сплаві.

Для здійснення термомеханічної обробки можливо використання тепла як при окремому попередньому нагріванні поверхні, так і при здійсненні обробки в одному технологічному циклі при нанесенні покриття [4], використовуючи залишкову теплоту після нанесення покриттів наварюванням, наплавленням чи напилюванням.

Порівняльна характеристика альтернативних способів, що можуть бути використані для обробки порошкових покриттів представлена в табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристика способів обробки поверхонь

Оціночні показники	Термомеханічна обробка	Холодне пластичне деформування	Токарна обробка	Шліфування
Коефіцієнт зносостійкості поверхні (по відношенню до сталі 45, загартованої СВЧ)	1,1	1,0	0,95	0,98
Товщина шару, що знімається (калібрується), мм	0,2	2,0	2,0	0,1
Трудомісткість обробки, $1 \text{ м}^2/\text{год}$	9,0	36,2	16,7	54,6
Енергоємність обробки, $1 \text{ м}^2/\text{кВт}$	168	126	97	162

Як видно з табл. 1, високими характеристиками володіє спосіб пластичного деформування (в холодному стані – ППД, та в нагрітому – термомеханічна обробка).

Для отримання більш повних результатів по доцільності використання проаналізованих способів необхідно провести комплекс досліджень з огляду їх впливу на параметри поверхонь і властивості матеріалів.

Список літератури

1. Ящерицын П.И., Жалнерович Е.А. Шлифование металлов./Изд. 2-е перераб. и доп./ Мн.:Беларусь, 1970. – 463 с.
2. Дорожкин Н.Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. – Минск: Наука и техника, 1975, - 152 с.
3. Верещагин В.А. Исследование и разработка технологии электроконтактного припекания металлических порошков на режущие кромки. – Автореферат. диссерт. кандид. техн. наук. – Минск, 1981.

4. Лопата Л.А., Красота М.В. Поєднання процесів електроконтактного прип'якання порошків і теплового пластичного деформування//Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – вип. 12, С. 79-86.
5. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. В 2-х томах. М.: Металлургия, 1968. 1172 с.
6. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностно-пластическим деформированием. Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 327 с.
7. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами./А.Г. Бойцов, В.Н. Маликов и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 144 с.
8. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия., 1983. 480 с.
9. Павлов И.М. Обработка давлением труднодеформируемых материалов. – М.: Наука, 1984. – 151 с.

М.Красота, И. Шепеленко, И. Василенко, В. Русских

Исследование методов обработки порошковых покрытий

В статье приведен анализ методов обработки порошковых покрытий, определены их недостатки. Рассмотрены альтернативные методы обработки и возможность их использования для покрытий, что наносятся методами наварки, наплавки и напыления порошковых материалов. Предложено использовать поверхностное пластическое деформирование для калибровки поверхности и уменьшения припуска на последующую механическую обработку. Из-за высокой твердости и хрупкости покрытий деформирование предлагается выполнять в твердом состоянии с использованием остаточного тепла в одном технологическом цикле с нанесением покрытия.

M.Krasota, I.Shepelenko, I.Vasilenko, V.Russky

Research of methods of processing of powder coverings

In article the analysis of methods of processing of powder coverings is resulted that are used at present, their lacks are defined. Alternative methods of processing and possibility of their use for coverings that are put by methods of welding and a dusting of powder materials are considered. It is offered to use superficial plastic deformation for calibration of a surface and reduction of an allowance by the subsequent machining. Because of high hardness and fragility of coverings deformation is offered to be carried out in a firm condition with use of residual heat in one work cycle with covering drawing.

Одержано 11.04.11