

УДК 621.891

О.В.Диха, О.П.Бабак, С.Ф.Посонський, А.А.Вичавка

Хмельницький національний університет

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНЕВОЇ БУДОВИ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ КОМБІНОВАНОЮ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОЮ ОБРОБКОЮ

Представлені результати досліджень властивостей поверхневих шарів зразків після зміцнення електро механічною обробкою та електророзрядною цементацією.

Ключові слова: *електромеханічна обробка, електророзрядна цементація, поверхнева будова, мікротвердість*

Вступ

З інтенсифікацією експлуатаційних процесів, збільшенням швидкостей переміщення робочих органів, підвищенням температур і тиску роль якості поверхневого шару значно зростає.

На основі традиційних методів фінішної обробки (шліфування, хонінгування, доведення) досягається необхідна форма деталей із заданою точністю, але не завжди забезпечуються необхідні властивості поверхневого шару. Тому одним з головних завдань досліджень в галузі машинобудування є розробка прогресивних технологічних процесів на основі використання нових фізичних явищ, що забезпечують підвищення якості оброблюваних поверхонь. В теперешній час все ширше застосування знаходять високоенергетичні комбіновані методи модифікації поверхневого шару деталей, засновані на інтенсивній дії на матеріал концентрованих потоків енергії при лазерній, електронно-променевої, плазмовій та електро механічній обробці.

Електрофізичні способи обробки трибологічних поверхонь характеризуються одночасною термічною і силовою дією на поверхню оброблюваної деталі і можуть проводитись в режимі поверхневої пластичної деформації [1], при якій досягається зміцнення і вигладжування мікронерівностей. При цьому можна значно знизити шорсткість оброблюваної поверхні деталей, що дозволяє використовувати електрофізичну обробку як чистову взаємін, наприклад, шліфування, яке є менш продуктивним ніж електрофізичні методи.

Для каталізації процесів, що відбуваються в зоні обробки ППД застосовують додатковий нагрів контактної зони. Найбільшого поширення при цьому набули електроконтактні процеси [2]. Для підведення енергії в зону контакту використовують різні способи, основні з яких наведені на рис. 1.

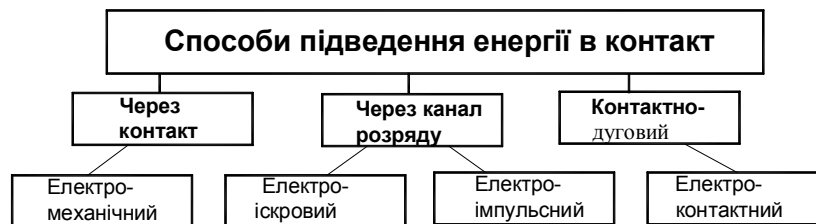


Рис. 1 Способи поверхневого електроконтактного зміцнення

Сутність електрофізичних способів нагріву зони контакту полягає в локальному нагрів місця взаємодії інструменту та заготовки, які ввімкнуті в електричний ланцюг як електроди з невеликою різницею потенціалів та великим струмом.

Одним з нових перспективних напрямків поверхневого зміцнення є створення на поверхні дискретних зміцнених зон [3-4]. При формуванні дискретних поверхонь використовують різні технології і способи: механічні, високоенергетичні, електрохімічні, комбіновані та ін. Обробка дискретної поверхні за допомогою ППД разом із зміцненням дозволяє утворити на поверхні заглиблення, які сприяють утриманню мастила і накопичують продукти зношування, що вважається одним з факторів зменшення зносу.

В даній роботі розглядаються методи модифікації поверхонь деталей трибовузлів машин за допомогою способів електро механічної обробки та електроконтактної цементації.

Дискретна електромеханічна обробка.

Електромеханічна обробка (ЕМО) характеризується одночасною термічною і силовою дією на поверхню оброблюваної деталі і може проводитись в режимі поверхневої пластичної деформації, при якій досягається зміцнення і вигладжування мікронерівностей. При цьому можна значно знизити шорсткість оброблюваної поверхні деталей, що дозволяє використовувати електромеханічну обробку як чистову взамін, наприклад, шліфування, яке є менш продуктивним ніж ЕМО.

Одночасно із підвищенням якості обробки при ЕМО в поверхневому шарі утворюються шари зміцнених гартівних структур з будовою дрібнодисперсного мартенситу, так званого "білого шару", що має вищу, ніж у мартенситу гарту зносостійкість та інші фізико-механічні та експлуатаційні характеристики.

Принципова схема ЕМО показана на рис. 2. Під час обробки інструмент-вигладжувач 7 і заготовка 5 ввімкнуті в електричний ланцюг, який формує великий струм (200- 500 А) в зоні їх контакту, що обумовлює швидкісний нагрів- охолодження контактної поверхневого шару.

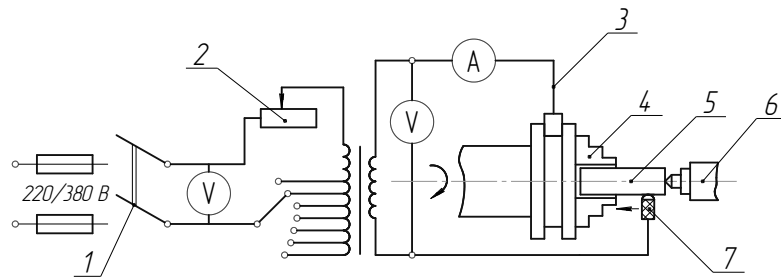


Рис. 2. Принципова схема електромеханічної обробки на токарному верстаті: 1 – вмикач; 2 – регулятор; 3 – підведення струму; 4 – патрон; 5 – заготовка; 6 – задній центр; 7 – інструмент

Аналіз структури білого шару допомагає розкрити його природу і розширює можливості використання ЕМО. Не дивлячись на те, що білий шар вже отриманий за різних умов контактної взаємодії пар (при терті ковзання, у випробуваннях на удар, при шліфуванні, ППД і т. д.), єдиної думки про його природу немає. Одна група учених дотримується дифузійно-хімічної гіпотези, за якою білий шар утворюється в результаті дифузії азоту в поверхневий шар з утворенням нітридної фази або кисню з повітря, або вуглеводу з основного металу і мастила [5, 6]. Інша група дослідників дотримується термічної гіпотези утворення білого шару [7, 8]. Одні з них вважають, що білим шаром є безструктурний мартенсит, що утворився при деформації високотемпературної фази, що зазнала поліморфне перетворення в наклепаному або частково рекристалізованому стані [7, 9]. Інші дослідники представляють цей шар як квазірівноважну аустенітно-мартенситну систему, твердість якої обумовлена спотворенням ґраток аустеніту через відмінності параметрів осередків спряження аустеніту та мартенситу [8].

Багатообразність процесів, при яких виникає білий шар, наводить на думку про те, що причини виникнення його у кожному конкретному випадку різні. Переважання тих або інших факторів визначає характер утворення і, можливо, властивості білого шару. Цей висновок підтверджується тим, що білий шар був отриманий як в процесах і умовах, що виключають фазові перетворення, так і в процесах, що виключають дифузійні явища [7]. Утворення білого шару при ЕМО, як показує аналіз, йде в основному за рахунок термічних процесів.

При ЕМО дискретного типу через місце контакту пропускається електричний струм великої густини та низької напруги. В місці контакту формуються маслоємкі лунки, які сприяють підвищенню мастильної здатності, а також утриманню продуктів зношування, утворених в процесі роботи деталі. Навколо лунок формується метастабільна структура (рис. 2) яка утворюється внаслідок швидкого нагрівання електричним струмом та наступного швидкого охолодження за рахунок відводу тепла в глибокі деталі.

Одним із корисних ефектів такого способу утворення маслоємких лунок є зменшення ймовірності утворення мікротріщин від поверхнево-пластичної деформації за рахунок підвищеної пластичності виробу під час нагрівання. Наявність дискретно розташованих лунок та зміцнених структур сприяє покращенню експлуатаційних характеристик деталі.

В даній роботі було проведено дослідження структурного стану поверхневого шару після дискретної ЕМО.

Поверхня сталі 45 різної структури була оброблена ЕМО дискретного типу, при цьому густина струму складала $2,8 \times 10^8 \text{ А/м}^2 \dots 5 \times 10^8 \text{ А/м}^2$. Дослідження показали, що на поверхні деталі формується мартенситна структура нового типу (рис. 3), яка переходить в мартенситно-трооститну.

Внаслідок швидкого нагрівання не забезпечується однорідність аустеніта, тому при охолодженні утворюється неоднорідний за хімічним складом дрібногочастий мартенсит (рис. 3). Така будова мартенситу обумовлює його високу твердість порівняно з гомогенним, який одержують при звичайному гартуванні. В даному випадку перегрів сталі не спостерігається, так як час витримки при нагріванні малий (менше 1 с.).

Утворена зміцнена мартенситна структура навколо лунок має сприятливий рівень стискаючих залишкових напружень, які суттєво підвищують межу витривалості сталі і тріщиностійкість лунок та сприяють підвищенню зносостійкості деталі в цілому.

Зміна структури в більш глибоких шарах практично не відбувається і на глибині більше 1 мм залишається незмінною і складається з мартенситу, який було сформовано перед початком досліджень.

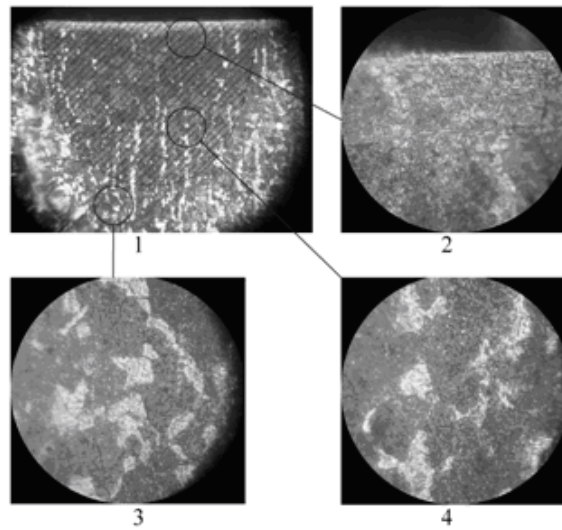


Рис. 3. Мікроструктура обробленої поверхні.
1 – збільшення в 200 разів; 2, 3, 4 – збільшення в 1250 разів

Для аналізу впливу запропонованої дискретної електромеханічної обробки на властивості поверхневого шару були проведені випробування мікротвердості біля зон обробки.

Аналіз зміни мікротвердості по глибині (рис. 4) лунок показав, що змінена структура навколо лунок суттєво залежать від параметрів електричного нагрівання, та часу контакту.

Мікротвердість незагартованих зразків після обробки збільшилась більш ніж у 1,5 рази, а мікротвердість загартованих зразків після обробки збільшилась більш ніж у 2 рази. Це пояснюється тим, що дрібнозерниста структура, маючи більший опір, сприяє більш інтенсивному виділенню теплоти й більш глибокій прогартуваності поверхневого шару.

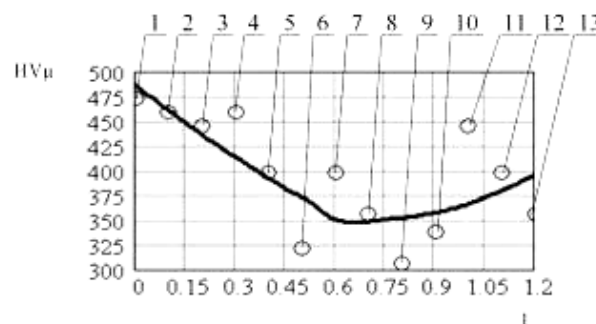


Рис. 4. Графік зміни мікротвердості загартованої сталі 45 по глибині

Оскільки швидкість нагрівання при ЕМО дуже висока, то, очевидно, повна рекристалізація попередньо загартованих зразків не встигає відбутися. Існує спадковість зміцнення ©О.В.Диха, О.П.Бабак, С.Ф.Посонський, А.А.Вичавка

конструкційних сталей при повторному загартуванні. Ефект спадковості звичайно пояснюється передачею дефектів кристалічної решітки, які утворилися в результаті попереднього зміцнення. Тому ЕМО загартованих деталей підвищує механічні властивості оброблюваного металу.

При ЕМО попередньо загартованих деталей був виявлений деякий об'єм із зниженою мікротвердістю (рис. 4). Це можна пояснити тим, що температура в цій області залишається достатньо довго для рекристалізації.

Встановлено також, що на характер утворення зміцнених зон навколо лунок можна впливати швидкістю переміщення інструмента або деталі один відносно одного та величиною струму.

Дискретна електроконтактна цементация (ЕКЦ).

Сутність способу електроконтактної цементации (рис.5) полягає в наступному. На внутрішню циліндричну поверхню оброблюваної втулки 1 з струмопровідного матеріалу встановлюється прошарок з вуглецевого тканого матеріалу 2. Електрод-індентор 3 розташовується у зоні обробки. Механічне навантаження в контактній поверхні втулки та індентора здійснюється за допомогою важельної системи 4 з вантажами. Електрод-індентор та втулка під'єднуються до джерела живлення малої напруги і великої сили струму. В результаті в зоні контакту виникає великий електричний опір внаслідок чого поверхня контакту нагрівається. Таким чином, під дією великого термічного впливу і механічного тиску відбувається процес дифузійного насичення поверхневого шару в зоні контакту вуглецем. Поздовжнє періодичне переміщення оброблюваної втулки і циклічне навантаження дозволяють отримувати на робочій поверхні втулки дискретно зміцнені ділянки. Відомо, що для підвищення мастильної здатності на поверхнях тертя утворюють різними способами спеціальні заглиблення для утримання мастила. В даному випадку такі заглиблення утворюються внаслідок електроерозії і механічного тиску індентора в зоні контакту інструмента і оброблюваної деталі.

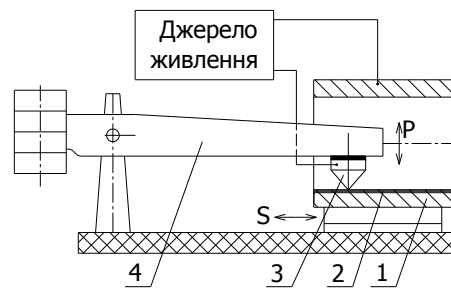


Рис. 5. Схема способу електроконтактної цементации

Вищеописаний спосіб використано нами для створення на поверхні деталей з низьковуглецевої сталі шару з твердими (що утворюються внаслідок науглецювання) та м'якими (що не піддавались науглецюванню) зонами. Така структура забезпечує підвищення зносостійкості завдяки наявності науглецьованих ділянок та покращує змащування поверхні за рахунок незміцнених ділянок, в яких під час тертя затримуються і мастило і продукти зношування [10].

Для проведення електроконтактної цементации було обрано сталь 20, а джерелом вуглецю - тканина з вуглецевих волокон ТГН-2М. За рахунок джерела живлення вуглецевий матеріал нагрівається до температури, що перевищує 2000°C , що є достатньою для поверхневого оплавлення низько вуглецевої сталі на глибину до 1 мм. Внаслідок науглецювання вміст вуглецю в поверхневому шарі зростає до 3,0 – 3,5 %.

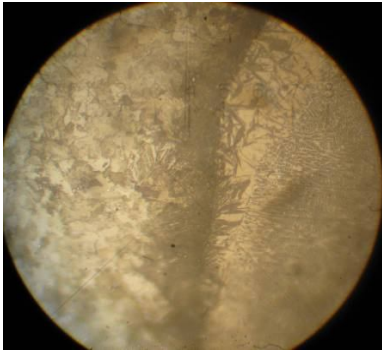


Рис. 6. Мікроструктура сталі після електроконтактної цементації

Структура насиченого шару по глибині неоднорідна і має декілька структурних зон (рис.6). На поверхні сформувалась структура ледебуриту з орієнтованими вглиб дендритами, що пронизують лунку від поверхні до перехідної зони, структура якої – мартенсит та залишковий аустеніт. Найбільшу товщину має зона з ледебуритною структурою – близько 700 мкм. Мікротвердість в цій зоні від 1100 до 700 одиниць. Такі коливання твердості зумовлені наявністю в структурі ділянок зі значною кількістю цементиту первинного.

Висновки

1. Дискретна ЕМО обробка утворює на поверхні сталевих зразків локально-зміцнені зони з підвищеною мікротвердістю. Мікротвердість загартованих зразків при цьому вища ніж незагартованих, але для загартованих зразків спостерігалось деяке підповерхнєвє зниження мікротвердості.

2. Дискретна ЕКЦ з використанням електроконтактного нагрівання та вуглецевого матеріалу дозволяє сформувати в поверхневому шарі дискретно зміцнені зони з ледебуритною структурою високої твердості, що в поєднанні з основними металом можуть забезпечити високу зносостійкість.

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – М.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
2. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Под ред. В.А. Волосатова. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
3. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры / Б.А. Ляшенко, А.Я. Мовшович, А.И.Долматов // Технологические системы. – 2001. – № 4. – С. 17-25.
4. Возненко В.В. Поліпшення експлуатаційних характеристик деталей приладів шляхом формування функціональних поверхонь з дискретно-орієнтованою топографією: Автореф. дис... канд. техн. наук: НТУУ. – К. – 2006. – 21 с.
5. Карпенко Н.В, и др. Применение токарной обработки для поверхностной ТМО. Сб. "Прочность металла при циклических нагрузках". М., "Наука", 1977, 18–21 с.
6. Крагельский и др. Основы расчетов на трение и износ. М., Машиностроение, 1977, 286 с.
7. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Л., Машиностроение, 1979, 296 с.
8. Бражюнас А.Ф, Тепловое состояние инструмента при электромеханической обработке. "Вестник машиностроения", 1972, № 12, 56–57 с.
9. Тимошенко Б.И. Упрочнение деталей электрокомбинированным методом. "Электронная обработка материалов", 1977, № 4, 82–84 с.
10. Диха О.В. Вимірювання тривалості контактної взаємодії при створенні дискретних зносостійких поверхонь / О.В. Диха, С.Ф. Посонський, Н.К. Медведчук / Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. №2, 2009. с.143-146.