

**Каразей В.Д.,  
Зеленюк О.О.,  
Диха О.В.**

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЯКІСТЬ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

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 застосовуються знаходять високоенергетичні комбіновані методи модифікації поверхневого шару деталей, засновані на інтенсивній дії на матеріал концентрованих потоків енергії при лазерній, електронно-променевої, плазмовій та електромеханічній обробці.

Електромеханічна обробка (ЕМО) характеризується одночасною термічною і силовою дією на поверхню оброблюваної деталі і може 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 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.

Разом з цим на сьогоднішній день ще не повністю обгрунтований механізм формування поверхневого "білого шару" і формування його основних характеристик, в тому числі, геометричних при різних умовах обробки. Відповідно дослідження процесів керування якістю поверхонь деталей машин, оброблених ЕМО, є актуальною задачею.

Принципова схема ЕМО показана на рис. 1. 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.

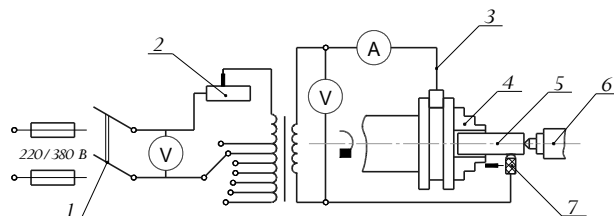


Рис. 1 – Принципова схема електромеханічної обробки на токарному верстаті:

1 – вмикач; 2 – регулятор; 3 – підведення струму;  
4 – патрон; 5 – заготовка; 6 – задній центр; 7 – інструмент

Схема вигладжування показана на рис. 2. Груба поверхня 3 після обробки отримує профіль 4. Профілограма (рис. 3) отримана при обробці ЕМО [2] нормалізованої сталі 45. Попередньо оброблена різцем поверхня мала параметр шорсткості  $Rz = 26 - 30$  мкм, а після згладжування  $Rz = 2$  мкм.

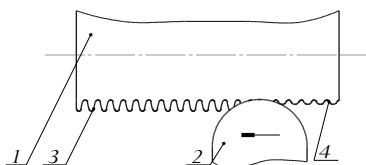


Рис. 2 – Схема вигладжування поверхні заготовки під час ЕМО:

1 – заготовка; 2 – інструмент; 3 – вихідна шорсткість;  
4 оброблена поверхня



Рис. 3 – Профілограма поверхні після електро-механічного згладжування

Шорсткість поверхні і точність її обробки при ЕМО залежать від припуску на згладжування [2]. На підставі закону постійності об'єму твердого тіла при ідеальному згладжуванні рівень згладженої

поверхні повинен відповідати рівню теоретичної середньої лінії 0-0 (рис. 4) Середня лінія профілю проходить таким чином, що ділить навпіл перетини, обмежені контуром профіля. Отже:

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

де  $F_1, F_2$  – площа виступів нерівностей;

$S_1, S_2$  – площі западин нерівностей.

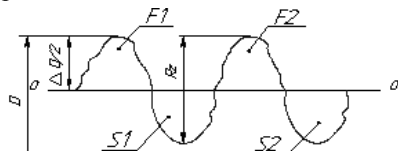


Рис. 4 – Профіль незгладженої поверхні:

$D$  – діаметр попередньо обробленої поверхні;  $\Delta D/2$  – зменшення діаметру згладженої поверхні

У першому наближенні вважають, що  $\Delta D/2 = Rz/2$  або  $\Delta D \approx Rz$ . Хоча в реальних умовах, в залежності від профілю шорсткості попередньої обробки, ці величини різняться. Якщо позначити величину шорсткості після згладжування  $Rz^*$ , то можна записати:

$$\Delta D = CRz - Rz^*,$$

де коефіцієнт  $C = 1,2 \div 1,5$  залежить від форми головної різальної кромки інструменту [2].

За інших однакових умов коефіцієнт  $C$  значною мірою залежить від умов наростоутворення під час обробки [2]. Нарости сприяють зменшенню об'ємів виступів профілю і тому коефіцієнт  $C$  збільшується. Більші значення цього коефіцієнту приймають на підготовчих під ЕМО операціях при обробці з малими швидкостями і великими подачами. Отже встановлено, що задаючи умови підготовки поверхні під ЕМО і коефіцієнт  $C$  при згладжуванні з оптимальними зусиллями, можна визначити зміну діаметру і задатись відповідним припуском на обробку.

Зусилля обробки також суттєво впливає на геометричні та інші параметри згладжування при ЕМО. Визначальними чинниками, що впливають на зусилля при електромеханічному вигладжуванні і визначають якість обробленої поверхні є форма поверхні контакту інструменту і заготовки та фізико-механічні властивості контактуючих матеріалів [3]. Фактична площа контакту заготовки та вигладжувача залежить від початкової шорсткості і кривини їх поверхонь. При кількісній оцінці впливу шорсткості поверхні на фактичну площу контакту широко застосовують криву опорного профілю поверхні [3]. Практично у всіх відомих дослідженнях [1 - 4] вказується на зростання площі опорної поверхні, обробленою ЕМО в порівнянні з чистовим точінням і шліфуванням орієнтовно на 30 - 50 відсотків.

В роботах Аскіназі Б.М. [2] встановлені залежності для розрахунку оптимального зусилля  $P$  вигладжування за критерієм мінімальної шорсткості обробленої поверхні. У випадку, якщо зусилля  $P$  буде нижче оптимального, то шорсткість поверхні обробки збільшується; у випадку, якщо зусилля  $P$  буде більше оптимального, процес згладжування починає переходити в процес висаджування і з'являється так звана вторинна шорсткість [2]. При отриманні наведеної нижче залежності були враховані особливості процесу ЕМО, пов'язані з динамікою процесу контакту, високою пластичністю нагрітого поверхневого шару і високою швидкістю деформацій.

$$P = v k_n \sigma F \left( \frac{Rz}{Rz - z} \right)^m$$

де  $v$  – швидкісний коефіцієнт;

$k_n$  – перехідний коефіцієнт (характеризує співвідношення між границями текучості і міцності оброблюваного матеріалу);

$\sigma$  – межа міцності нагрітого металу;

$F$  – площа поверхні контакту;

$Rz$  – параметр шорсткості згладжуваної поверхні;

$z$  – зближення в контакт інструменту і заготовки при згладжуванні;

$m$  – показник стиснення (для сталі  $m = 1,2$ ).

Контактна поверхня  $F$  має значення не тільки для розрахунку зусилля згладжування, але й для визначення електричних параметрів ЕМО. В роботі [2] наведені дані для розрахунку площі контакту при обробці радіусною пластиною або роликком циліндричної незагартованої сталльної заготовки, які можна представити у вигляді:

$$F = 2\pi \cdot 0,85Rz\sqrt{Rr},$$

де  $R$  – радіус інструменту;

$r$  – радіус заготовки.

Експериментальна перевірка розрахункових формул, проведена М. Г. Ханінім при обробці сталі 45 з початковою шорсткістю поверхні в межах 5-го класу, показала, що при чистових режимах ЕМО середні відхилення фактичних значень  $P$  і від розрахункових знаходяться в межах 8 - 12%, що є прийнятним для інженерних розрахунків. При цьому з різних досліджень встановлено, що значення робочого тиску при нормальних умовах обробки знаходяться в межах 30 - 50 МПа.

В загальному випадку кінцева шорсткість обробленою ЕМО деталі залежить від ряду факторів:

- 1) вихідної шорсткості заготовки;
- 2) стану і геометрії робочої поверхні інструменту;
- 3) елементів режиму обробки;
- 4) робочого зусилля обробки;
- 5) потужності ЕМО.

З геометричної точки зору величина кінцевої шорсткості при обробці інструментом радіусом  $R$  з поздовжньою подачею  $S$  визначається простою залежністю [2]:  $Rz = S^2 / 8R$ . При цьому шорсткість вигладжувача повинна бути на порядок вищою від шорсткості оброблюваної поверхні.

Як показують дослідження різних авторів [1 - 8], збільшення початкової шорсткості призводить до підвищення неоднорідності будови утвореної поверхні і коливань зусиль деформації від оптимального значення. При виборі режимів чистової обробки ЕМО необхідно враховувати в основному шорсткість поверхні, точність і глибину зміцнення. При цьому в якості підготовчої операції слід використовувати шліфування.

Для чистових методів обробки з невеликою глибиною зміцнення використовують підвищенні швидкості ковзання порядку 30 - 120 м/хв. Зазначений діапазон швидкостей вийти на оптимальне значення робочого тиску, що обумовлене характерною екстремальністю швидкісних залежностей від визначальних факторів у вказаному діапазоні.

При обробці з швидкостями нижче 10 м/хв поверхневий шар прогрівається на більшу глибину, що обумовлює зростання глибини зміцнення і підвищує ступінь деформації нерівностей, тобто шорсткість обробленої поверхні знижується [2]. Число проходів інструмента незначно впливає на чистоту обробленої поверхні, оскільки практично після першого проходу шорсткість формується в остаточному вигляді [2].

Із представленого огляду досліджень процесу забезпечення якості поверхонь тертя після електромеханічної обробки можна зазначити наступне.

1. ЕМО є прогресивним способом фінішної обробки поверхонь деталей машин, що забезпечує кращі показники якості поверхневого шару порівняно з традиційним шліфуванням.

2. Визначальним фактором впливу на умови формування характеристик шорсткості при ЕМО є в зоні контакту інструмента і заготовки, який в свою чергу залежить від: зусилля притискання, форми і шорсткості контакту, фізико-механічні властивості матеріалів.

3. Швидкісний фактор процесу вигладжування при ЕМО дозволяє керувати температурними процесами в контактній зоні і, відповідно, ступенем деформації нерівностей.

#### Література

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – М.: Машиностроение, 1982. – 248 с.
2. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
3. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 576 с.
4. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Дудкина Н.Г., Захаров И.Н. Электромеханическая обработка: технические и физические основы, свойства, реализация. – Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.
5. Ковалевский С.В., Тулупов В.И. Электромеханическое чистовое точение с импульсным током – как способ получения износостойких поверхностей // Тезисы докладов 7-й МНТК "Новые материалы и технологии в машиностроении – 2007". – Брянск: БГИТА. – 2007.
6. Паршев С.Н., Белов А.А. Автоматическое управление технологическими режимами электромеханической обработки поверхности стальных деталей // Материалы 44-й научн. конф. ВГТУ. – Волгоград: ВГТУ. – 2007.
7. Алексеев В.П., Бойко А.И., Замота Т.Н., Изюмский В.А. Электрохимико - механическая доводка рабочих поверхностей втулок торцевого уплотнения турбокомпрессора // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2006. – № 3. – С. 5-8.

8. Диха О.В., Чумаков О.П. Електромеханічна обробка як прогресивний спосіб підвищення зносостійкості деталей машин // Тези допов. 6-ї міжнар. конф. молод. вчених "Інформатика та механіка". – Кам'янець - Подільський, 2008. – С. 40-41.

Надійшла 14.12.2009