

УДК 621.793.620.172

Тулупов В. І., Онищук С. Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ З МОДИФІКУВАННЯМ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

Надійність роботи машин та механізмів багато в чому залежить від якості поверхонь сполучених деталей. Умови, в яких працюють сполучені деталі, визначають такий з показників надійності, як довготривалість. У зв'язку з цим виникає завдання створення на основі існуючих методів зміцнення робочої поверхні деталі [1–4] нових високоефективних методів зміцнення поверхні вигладжуванням.

Одним зі способів зміцнення сталевих деталей є механічна обробка поверхонь вигладжуванням при пропусканні електричного змінного струму через зону контакту інструмента з деталлю. В результаті утворюється дискретна структура поверхні у вигляді зміцнених фрагментів [5].

Одним з перспективних методів зміцнення поверхонь деталей машин, що працюють в умовах знакозмінних навантажень є фрикційне електроімпульсне модифікування (ФЕМ), сутність якого є в нанесенні покриття у вигляді твердої змазки з наступним вигладжуванням з одночасним використанням імпульсного струму [6].

Дискретна структура, що утворюється внаслідок фрикційного електроімпульсного модифікування залежить від умов здійснення процесу, а саме складу модифікатора та режимів здійснення процесу вигладжування.

Метою роботи є дослідити вплив режимів електроімпульсного вигладжування з модифікуванням на якість поверхні оброблюваної деталі.

Як матеріал для фрикційного електроімпульсного модифікування обрано дисульфід молібдену (MoS_2). Для дисульфиду молібдену притаманна чітко виражена шарувата структура з можливістю легкого ковзання шарів один відносно іншого. Зв'язок між шарами достатньо слабкий та опір на зсув по площині розділу незначний. Цим обумовлений низький коефіцієнт тертя, що зберігається низьким навіть при значному нагріванні та високих навантаженнях [7].

При введенні дисульфиду молібдену в зону тертя його високодисперсні частки, що мають хорошу адгезію, заповнюють западини мікронервностей поверхонь, тим самим збільшуючи їх опорну площу. В процесі тертя частки орієнтуються паралельно напрямку ковзання та утворюють гладку й слизьку захисну плівку, що витримує значні контактні тиски.

Фрикційне електроімпульсне модифікування вигладжуванням з пропусканням імпульсного струму засноване на поєднанні силової та теплової дії на нанесений шар твердої змазки. Як результат утворюється регулярна дискретна структура (РДС) поверхні у вигляді зміцнених фрагментів з дисульфідом молібдену (MoS_2) та фрагментів з MoO_3 . Розташування зміцнених фрагментів залежить від частоти та тривалості імпульсів струму, а також режимів вигладжування [8]. Наявність фрагментів з MoO_3 свідчить про те, що при температурах 600°C дисульфід молібдену (MoS_2) переходить у новий хімічний стан (окислюється) з утворенням MoO_3 [9].

Дослідження методу фрикційного електроімпульсного модифікування вигладжуванням з пропусканням імпульсного струму прямокутної форми через зону контакту інструмента з деталлю виконувалось в дослідницькій лабораторії кафедри технології машинобудування ДДМА. Обробка виконувалась на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1К625.

Зразки для дослідження технологічного методу фрикційного електроімпульсного модифікування вигладжуванням виготовлялися з круглого прокату зі сталі 40ХН ГОСТ 4543-71 у нормалізованому стані. Зразки встановлювалися на оправці та закріплювалися в трикулачковому патроні. Перед виконанням фрикційного електроімпульсного модифікування дослідні зразки оброблялися чистовим точінням до $Ra = 2,5$ мкм.

Для забезпечення локального розігріву зони контакту інструменту з заготовкою використовувався генератор імпульсного струму (рис. 1, а). Індентор для вигладжування виготовлявся з твердого сплаву Т15К6 та закріплювався у спеціальній державці. Шорсткість поверхні індентора доведена поліруванням до $Ra = 1,25$ мкм. Вигладжувач ізолювався текстолітовими прокладками від різцетримача верстата (рис. 1, б). Зусилля накатування фіксувалось за допомогою індикатора часового типу ИЧ10. Перед виконанням експериментів прилад було потавровано.



Рис. 1. Оснащення для вигладжування:
а – генератор імпульсів струму прямокутної форми; б – вигладжувач

Для дослідження технологічного методу фрикційного електроімпульсного модифікування вигладжуванням використовувався план експерименту типу 2^3 . Технологічними факторами були обрані: сила струму X_1 (I): «-» – 100А, «+» – 200А; зусилля притискання пластини X_2 (P): «-» – 250Н, «+» – 500Н; поздовжня подача X_3 (s): «-» – 0,14 мм/об, «+» – 0,23 мм/об. Інші умови вигладжування: частота обертання заготовки $n = 40$ хв⁻¹, частота імпульсного струму 20 Гц, шпаруватість – 2, напруга живлення 3...9 В.

Вимірювання шорсткості поверхні виконувалось профілометром-профілографом мод. TR200. Опрацювання результатів експериментів дозволило отримати математичну модель:

$$Ra = 0,7529 + 0,3388 I + 0,0021 P + 0,2079 S, \quad (1)$$

де Ra – шорсткість поверхні, мкм;

I – сила імпульсного струму, А;

P – сила притискання індентора, Н;

S – поздовжня подача вигладжування, мм/об.

Адекватність отриманої математичної моделі оцінювалась за критерієм Кохрена та Стьюдента.

Рівень мікротвердості визначено за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 методом Роквелла при навантаженні 100 г. Результати вимірів мікротвердості наведені на рис. 2. Вплив режимів фрикційного електроімпульсного модифікування на мікротвердість проводили через рівні відстані на шліфах (на подовжньому зрізі). Виміри виконані з кроком 0,04 мм на глибину 0,3 мм. Вимірювання окулярним мікрометром на приладі ПМТ-3 дозволяло вести з точністю $\pm 0,5$ поділки шкали.

Мікротвердість поверхневого шару зразків, зміцнених технологічним методом, що досліджувався, була в межах 3,5...7,7 ГПа, залежно від режимів обробки, при початковій мікротвердості поверхні деталі 2...2,12 ГПа. Шар, розташований на глибині від 0,03 до 0,15 мм, мав найбільшу твердість, досягаючи 6,0...7,7 ГПа залежно від режимів обробки. Загальна мікротвердість цього шару мало змінюється по глибині. Далі йде плавне зменшення твердості на глибину до 0,25...0,30 мм залежно від режимів обробки.

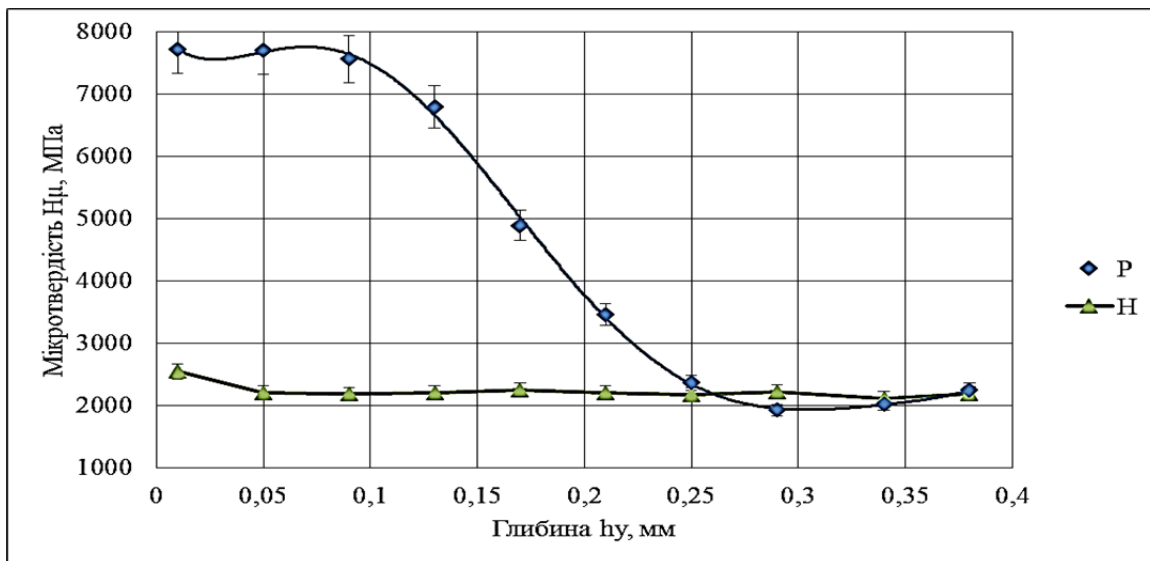


Рис. 2. Залежність мікротвердості від глибини зміцненого шару (сталь 40ХН)

На рис. 2 можна визначити шар, що має знижену твердість, товщина якого дорівнює у середньому 0,08 мм. Він є пограничним між основним металом і зміцненим шаром, в якому сталися фазово-структурні перетворення у результаті пластичної деформації і термічного розігріву імпульсом електричного струму. Мікротвердість цього шару на 4...8 % нижча, ніж основний матеріал зразка.

Для дослідження впливу фрикційного електроімпульсного модифікування на структуру та фазовий склад поверхневого шару оброблюваних деталей було проведено металографічний аналіз. Мікроструктура металу зразків вивчалася за допомогою металографічного мікроскопа «Неофот-30» при збільшеннях 50х, 100х, 500х. Для визначення мікроструктури металу зразок був підданий травленню 4 %-м розчином азотної кислоти. Переглядом після травлення виявлені зони, (з зовнішньої циліндричної поверхні і з боку внутрішнього отвору), що відрізняються більш темним шавленням від основного металу. Товщина зони становить з зовнішньої циліндричної поверхні – 2 мм. Мікроструктура металу зразка (рис. 3) являє собою перліт і ферит по межах зерна, величина зерна оцінюється 9,0 номером шкали № 1 ГОСТ 5639-82 - з зовнішньої циліндричної поверхні зразка.

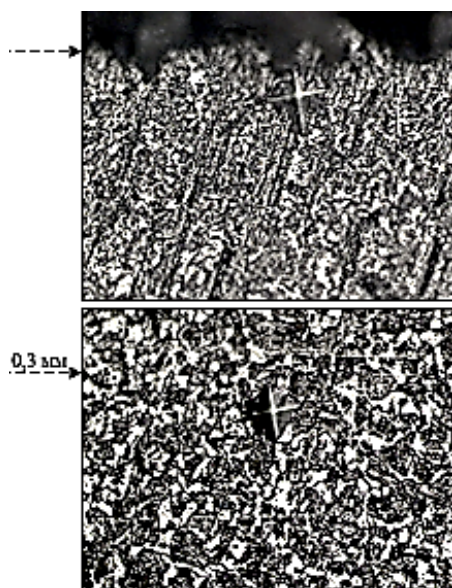


Рис. 3. Мікроструктура зразка (x 500)

Хімічний склад металу зразка фрикційного електроімпульсного модифікування було перевірено спектральним аналізом. Результати спектрального аналізу наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад металу зразка після фрикційного електроімпульсного модифікування

	Склад елементів, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
Зразок	0,40	0,31	0,67	0,014	0,022	0,61	1,25	0,05	0,022	0,12
Сталь 40ХН ГОСТ 4543-71	0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,50- 0,80	≤ 0,035	≤ 0,035	0,45- 0,75	1,00- 1,40	-	-	≤ 0,30

ВИСНОВКИ

На підставі експериментальних досліджень впливу режимів електроімпульсного модифікування на шорсткість поверхні зразків зі сталі 40ХН встановлено характер впливу та отримано залежність від сили імпульсного струму I , подачі S та зусилля P .

Визначено спектральним аналізом наявність Мо в поверхневому шарі зразка, що свідчить про локальне модифікування після електроімпульсного вигладжування.

Удосконалення технологічного методу засноване на направленому введенні уніполярного імпульсного струму прямокутної форми в зону фінішного формування поверхні оброблюваних деталей з утворенням регулярної дискретної структури її поверхневого шару з його модифікуванням. Застосування такого технологічного струму дозволяє більш ефективно забезпечити модифікування матеріалів, які використовуються в технологічному методі зміцнення.

Проведені дослідження дозволили доповнити ряд методів поверхневого зміцнення і дають можливість визначення області раціонального застосування удосконаленого методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кабатов А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием [Текст] / А. А. Кабатов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2013. – № 58. – С. 49–54.
2. Овсєнко А. Н. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения / А. Н. Овсєнко, В. И. Серебряков, М. М. Гаек. – М. : Янус-К, 2004. – 296 с.
3. Применение наноструктурных материалов и активированных методов инженерии поверхности для создания современных объектов техники [Текст] / В. Л. Басинюк [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов : международный научно-технический журнал. – 2012. – N 3. – С. 46–66.
4. Витязь П. А. Повышение износостойкости поверхностей трения трибомодифицированием в среде смазки с наноразмерными алмазосодержащими добавками / П. А. Витязь, В. И. Жорник, В. А. Кукарєко ; под ред. В. В. Клубовича // Современные перспективные материалы. – Витебск: ВГТУ, 2011. – С. 146–184.
5. Багмутов В. П. Импульсное электромеханическое упрочнение стальных изделий с образованием регулярной дискретной структуры поверхностного слоя / В. П. Багмутов, С. Н. Паршев // Вестник машиностроения. – 1996. – № 2. – С. 38.
6. Эдигаров В. Р. Влияние режимов поверхностного фрикционно-электрического модифицирования на структуру, механические и эксплуатационные свойства стали осей балансиров : автореф. дис. канд. техн. наук / В. Р. Эдигаров. – Тюмень, 2006. – 20 с.
7. Прудников М. И. Антифрикционные твердосмазочные покрытия – современная альтернатива резьбовым пастам для сборки обсадных труб / М. И. Прудников // Сфера. Нефть и газ. – 2016. – № 5 (55) – С. 30–32.
8. Ковалєвський С. В. Дослідження методу фрикційного електроімпульсного модифікування / С. В. Ковалєвський, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : Вид-во ЧДТУ, 2017. – Т. 1. – С. 146–147.
9. Пат. 124776 Україна В23Н7/00. Спосіб місцевого зміцнення сталевих деталей / Ковалєвський С. В., Тулупов В. І., Онищук С. Г. – № и2017 10241 ; заявл. 23.10.2017 ; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.