

Дворук В.І.,*
Борак К.В.,**
Добранський С.С.,**
 *Національний авіаційний університет,
 м. Київ, Україна,
 **Житомирський агротехнічний коледж,
 м. Житомир, Україна
 E-mail: vidvoruk@gmail.com

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ
 КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ ПРИ ТЕРТІ КОВЗАННЯ В
 МАСІ НЕЗАКРІПЛЕНОГО АБРАЗИВУ МЕТОДОМ
 ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ**

УДК 621.891

Приведено результати лабораторних досліджень впливу електроерозійної обробки на структурні зміни та трибологічні характеристики сталі 65Г. З'ясовано, що в результаті електроерозійної обробки утворюється поверхневий шар з дрібногольчастою мартенситною структурою, завдяки чому суттєво підвищується зносостійкість даної сталі при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву.

Ключові слова: електроерозійне зміцнення, незакріплений абразив, мартенситна структура, мікротвердість, зносостійкість.

Вступ

Розвиток сучасного сільськогосподарського машинобудування дуже гостро ставить проблему підвищення зносостійкості конструкційних сталей при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву. Один із шляхів розв'язання цієї проблеми пролягає у застосуванні методів зміцнюючої технології. Серед розмаїття таких методів значна роль належить електроерозійному зміцненню, відомому з 40-50-х років 20 століття.

Сутність електроерозійної обробки полягає у зміні форми, розмірів, шорсткості і властивостей поверхні сталі під дією електричного розряду [1,2]. Фізичні явища і процеси, що спостерігаються при такій обробці вивчали Б.Р. Лазаренко, Н.І. Лазаренко, В.С. Авраменко, В.П. Александров, Ю.А. Геллер, Б.М. Золотих, М.М. Писаревський, Н.К. Фотєєв, М.О. Василенко та інші.

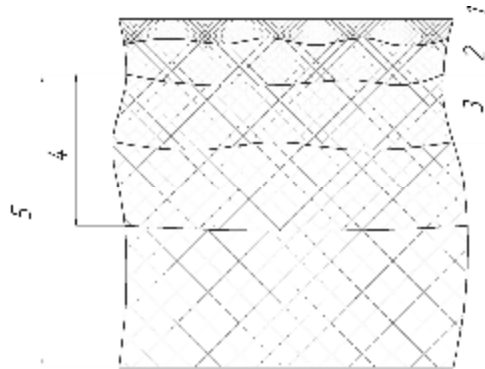


Рис. 1 – Схема розташування зон поверхневого шару сталі після електроерозійної обробки

Дія дугового розряду на сталі призводить до істотних змін структури і напруженого стану їх поверхневих шарів в зоні дугового розряду. Металографічний аналіз поперечного перерізу зразку показав [2], що після електроерозійного зміцнення його поверхневий шар складається з таких зон (рис 1):

1 – насичення елементами робочої рідини; 2 – відкладення матеріалу електрод-інструменту; 3 – білого шару; 4 – термічного впливу; 5 – пластичної деформації.

Послідовність розташування вказаних зон, їх кількість, структура і властивості значною мірою залежать від оброблюваного матеріалу, режиму обробки, робочої рідини, матеріалу електрод-інструменту, а також умов протікання процесу. Чіткого розмежування між ними не існує і в більшості випадків вони перекривають одна одну.

При використанні мінерального мастила як робочої рідини спостерігається відкладення сажі на поверхні металу, а також дифузія вуглецю в поверхневий шар з утворенням відповідних карбідів [3,4].

Перенесення матеріалу електрод-інструменту на металеву поверхню можливе при його підключенні до негативного полюсу джерела живлення (пряма полярність) у випадку електроерозійної обробки при малих міжелектродних зазорах. Вказаний матеріал не лише переноситься на підложку, але також дифундує в глибші шари [2].

Білий шар, як правило, має дрібнозернисту структуру. Його товщина залежить від сили струму, температури охолоджуючої рідини та теплопровідності підложки. В ньому легко утворюються сплави компонентів підложки, матеріалу електрод-інструменту, елементів робочої рідини, а також карбідів і оксидів. Так, наприклад, в [4] відмічається зміна хімічного складу сплаву ЭИ437Б і сталі 12Х18Н9Т після електроерозійної обробки, хоча чіткої залежності між цією зміною та технологічними показниками обробки, при цьому, не встановлено.

При м'яких режимах ($W < 10^{-3}$ Дж) електроерозійної обробки у воді послідовність розташування структурних складових в межах зони термічного впливу за її глибиною буде такою: мартенсит, тростито-сорбіт, відпущений метал, основний метал, а у вуглецевмісних робочих рідинах - аустеніт, мартенсит тростито-сорбіт, відпущений метал, основний метал.

Після обробки при жорстких режимах у вуглецевмісних робочих рідинах мартенситній зоні передує ледебуритна. За мартенситною зоною розташовуються решта зон, вказаних вище.

В процесі електроерозійної обробки поверхня металу зазнає значних імпульсних впливів, пов'язаних з переміщенням хвилі напруги від розширення-стиснення металу при його нагріванні-охолодженні; тиском газу, утвореного при випаровуванні робочої рідини; тиском потоку факелів, що рухаються зі швидкістю, близькою до швидкості звуку; дією електростатичних та електромагнітних сил, що виникають в процесі обробки, а також структурними змінами в зоні термічного впливу та іншими факторами.

Зона пластичної деформації проявляється у вигляді подрібнення зерен, дислокацій та зміни параметрів кристалічної ґратки. Так, І.С. Стекольников виявив суттєву зміну розміру зерна поза межами одиничної лунки, а М.М. Писаревський констатував збільшення параметру ґратки досліджуваної сталі з $3,59 \text{ \AA}$ до $3,64 \text{ \AA}$.

Електроерозійна обробка характеризується рядом переваг, зокрема:

- незалежністю продуктивності та якості процесу від фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів;
- відсутністю необхідності в спеціальних інструментах, твердіших, ніж оброблюваний матеріал;
- скороченням витрат матеріалів;
- простотою;
- можливістю локального застосування на великогабаритних виробках без залучення спеціальної оснастки;
- можливістю повної механізації й автоматизації процесу;
- високою продуктивністю та ефективністю.

Однак, незважаючи на вказані переваги, електроерозійне зміцнення не набуло широкого застосування в сільськогосподарському машинобудуванні. Пояснюється це рядом причин, в тому числі:

- недостатньою вивченістю закономірностей зношування при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву;
- можливістю виникнення неприпустимо високих внутрішніх напружень, які тягнуть за собою появу тріщин в поверхневому шарі.

Постановка проблеми

Дана робота спрямована на усунення причин, що гальмують широке застосування методу електроерозійного зміцнення в сільськогосподарському машинобудуванні, а мета її складається у вивченні впливу вказаної обробки на структуру та зносостійкість сталі 65Г.

Результати досліджень

Електроерозійну обробку зразків проводили на установці 01.10.016А (рис. 1). Як діелектричне середовище застосовували воду.

Мікроструктуру поверхні сталі 65Г після електроерозійної обробки досліджували за допомогою мікроскопу «Neophot-32». Спостереження проводили методом світлого та темного полів у поляризованому світлі, зі зміною кратності збільшення.

Дослідження розподілу мікротвердості за глибиною зміцненого шару проводили в чотирьох точках на відстані 5, 10, 15 та 20 мм від торця зразка. Наклепаний шар, утворений при розрізуванні зразків, усували глибоким хімічним травленням. Вимірювання мікротвердості проводили методом відновленого відбитку на приладі марки ПМТ-3. Під час випробувань застосовували навантаження 4,905 Н тривалістю 20 с, яке прикладали плавно без поштовхів. Похибка навантаження не перевищувала 1% від номінального значення. Відмінність розмірів l_v відбитків в процесі випробувань була в межах 3%. Відстань між центрами сусідніх відбитків на поверхні перевищувала розмір самого відбитку більше, ніж у три рази.

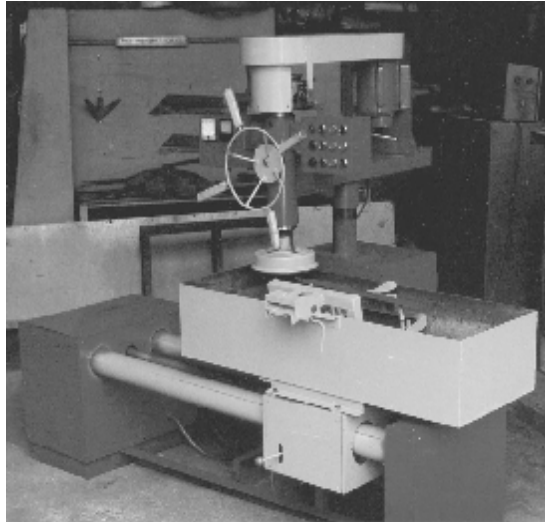


Рис. 1 – Установа для електроерозійної обробки 01.10.016А

У процесі дослідження калібрувальний коефіцієнт мікроскопу встановлювався так, щоб похибка не перевищувала 5% вимірюваного значення.

Для випробування на зносостійкість зразків сталі, зміцнених електроерозійною обробкою, урахувавши технологічні обмеження стосовно можливості використання вказаної обробки, а також потребу відтворення реальних умов абразивного зношування, вдосконалено спосіб “крильчатки” (патент № 59681 [6]), відповідно до якого розроблено установку для лабораторних випробувань матеріалів та покриттів на зносостійкість (патент № 57585 [7]).

Результати структурних досліджень показали, що після електроерозійної обробки, незалежно від її режимних показників, утворюється зносостійкий шар дрібногольчастого мартенситу (рис. 2).

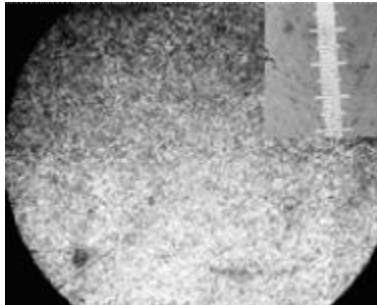


Рис. 2 – Структура обробленого шару (1 под. – 10 мкм)



Рис. 3 – Мікротріщини в мартенситному шарі (1 под. – 10 мкм)

Пояснюється це забезпеченням при обробці рівня температури робочого середовища (води) в межах 20...60 °С, за якого швидкість охолодження поверхні перевищує 200 °С/с, що достатньо для утворення мартенситної структури.

При збільшенні сили струму до 500 А в зміцненому шарі з’являються мікротріщини (рис. 3). Причиною тріщиноутворення є внутрішні напруження, що виникають внаслідок нерівномірного охолодження поверхні і серцевини металу, а також збільшення об’єму та неоднорідності протікання мартенситного перетворення.

Внутрішні напруження збільшуються при зростанні температури гартування і швидкості охолодження в інтервалі температур мартенситного перетворення M_n і M_k . Для зниження напружень необхідно уповільнювати швидкість охолодження нижче точки M_n і запобігати перегріву сталі.

Міцність зчеплення легованого шару з матеріалом основи після електроерозійної обробки дуже висока, оскільки межа поділу між ними практично відсутня (рис. 4) .

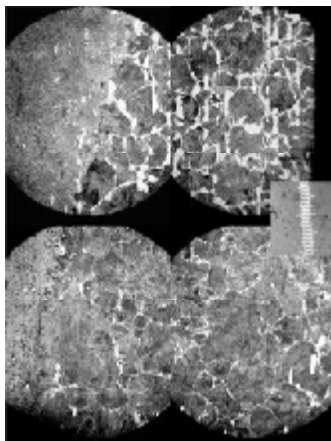


Рис. 4 – Структура перерізу зразка після електроерозійної обробки від зони розплавлення через шар основного металу (1 под. – 10 мкм)

Як можна бачити, основний метал складається з суміші фериту та перліту. Колонії перліту доволі великі і сягають 50 - 200 мкм. Розміри мартенситного шару знаходяться в межах 2 - 30 мкм. Результати вимірювання мікротвердості показали, що після електроерозійної обробки вона підвищується до 10,5...11,2 ГПа.

Для визначення впливу електроерозійної обробки на інтенсивність зношування поверхні при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву проведено відповідні випробування зі змінними експлуатаційними умовами (швидкість руху зразка, питомий тиск абразиву на зразок, розмір абразивного зерна). Результати випробувань представлено на рис. 5, 6.

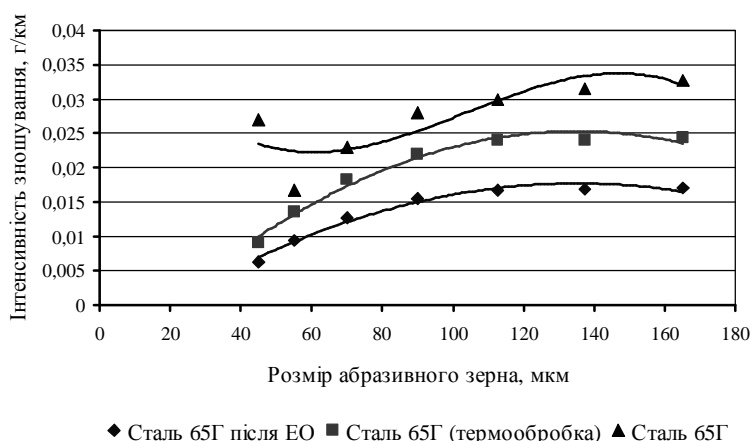


Рис. 5 – Залежність інтенсивності масового зносу I_m від розміру абразивного зерна

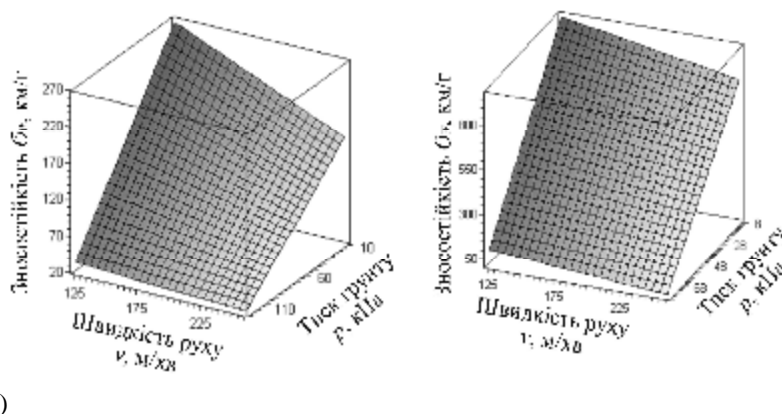


Рис. 6. – Залежність зносостійкості S_w від тиску абразиву p та швидкості руху зразка v : а) сталь 65Г; б) сталь 65Г після електроерозійної обробки

Звідки видно, що застосування електроерозійної обробки сприяє підвищенню зносостійкості сталі 65Г при зношуванні в масі незакріпленого абразиву зі змінними характеристиками останнього (розмір абразивного зерна) і параметрами навантаження зразків (тиск, швидкість) в середньому на 60...80%.

Висновки

Електроерозійна обробка сприяє істотному підвищенню зносостійкості сталі 65Г при терті ковзання в масі незакріпленого абразиву, що пояснюється утворенням поверхневого шару дрібнозернистого мартенситу високої твердості.

Література

1. Обработка электроэрозионная. Термины и определения. ГОСТ 25331-82. – [введ. 01.07.1983]. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 11 с.
2. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фотеев – М.: Машиностроение, 1980 – 184 с.
3. Красюк Б.А. Выявление строения поверхностных слоев железных сплавов на протравливаемых образцах // Б.А. Красюк // Заводская слюев лаборатория. – 1956. - Т. 22, N5. – С. 678 – 682.
4. Александров В. П. Исследование технологических характеристик электроэрозионной обработки жаропрочных материалов / В.П. Александров. - М.: Наука, 1964 – 124 с.
5. Пат. 59681 Україна, МПК G01N3/00 Спосіб дослідження матеріалів та покриттів на зносостійкість / С.М. Герук, М.А. Савченко, К.В. Борок, заявник К.В. Борок. – u 2010 13233, заяв. 08.11.2010, опубл. 25.05.2011, Бюл. №10, 2011 р.
6. Пат. 57585 Україна, МПК A01B23/00. Установка для дослідження зносостійкості матеріалів та покриттів / С.М. Герук, М.А. Савченко, К.В. Борок – заявник К.В. Борок. – u 2010 07973; заяв. 25.06.2010; опублік. 10.03.2011, юл. №5 2011 р.
7. Борок К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – 20 с.

Надійшла в редакцію 28.11.2014

Dvoruk V.I., Borak K.V., Dobranskyi S.S. **Improve the wear resistance of structural steel in friction slip into the mass of loose abrasive by electrical discharge machining .**

The results of laboratory studies of the effect of electrical discharge machining on the structural changes and tribological properties of steel 65G. It was found that as a result of electrical discharge machining steel 65G formed surface layer of drobnoholchastoyu martensitic structure, leading to the significant increases wear resistance of steel under sliding friction in weight loose abrasive.

Keywords: Electro-strengthening, loose abrasive, martensitic structure, microhardness, wear resistance.

References

1. Obrabotka elektroerozionnaya. Terminy i opredeleniya. GOST 25331-82. M.: Izdatel'stvo standartov, 1982, 11 p.
2. Foteev N.K. Tehnologiya elektroerozionnoy obrabotki. M. Mashinostroenie, 1980 – 184 p.
3. Krasnyuk B.A. Vyyavlenie stroeniya poverhnostnyh sloev zheleznyh splavov na protravlivayuschihysya obraztsah. Zavodskaya sloev laboratoriya, 1956. T. 22, No5, PP. 678 – 682.
4. Aleksandrov V. P. Issledovanie tehnologicheskikh harakteristik elektroerozionnoy obrabotki zharoprochnykh materialov. M. Nauka, 1964, 124 p.
5. Pat. 59681 Ukraïna, MPK G01N3/00 Sposib doslidzhennya materialiv ta pokrittiv na znosostiykist' / S.M. Geruk, M.A. Savchenko, K.V. Borak, zayavnik K.V. Borak, u 2010 13233, zayav. 08.11.2010, opubl. 25.05.2011, Byul. №10, 2011 r.
6. Pat. 57585 Ukraïna, MPK A01V23/00. Ustanovka dlya doslidzhennya znosostiykosti materialiv ta pokrittiv / S.M. Geruk, M.A. Savchenko, K.V. Borak – zayavnik K.V. Borak, u 2010 07973; zayav. 25.06.2010; opublik. 10.03.2011, yul. №5 2011 r.
7. Borak K.V. Pidvischennya znosostiykosti robochih organiv diskovih rruntoobrobnih znaryad' metodom elektroeroziynoï obrobki: Avtoref.dis. kand. teh. nauk, Harkiv: HNTUSG, 2013, 20 p.