

АНАЛІЗ ЯКОСТІ СУЛЬФОЦЕМЕНТОВАНИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

Гапонова О.П.

Сумський державний університет

У роботі розглянуті особливості формування електроіскрових покриттів сталевих деталей сіркою і вуглецем, що можуть застосовуватися з метою підвищення твердості, зносостійкості та запобігання схлопуванню при терті. Для цього на поверхню деталі рекомендується наносити консистентну речовину, що містить сірку, після чого, не чекаючи висихання консистентної речовини, проводити процес легування графітовим електродом. Проведено металографічний і дюрOMETричний аналіз поверхневих шарів на сталі 20 після сульфоцементації методом електроіскрового легування. Показано, що структура шару складається з ділянок: приповерхневий «м'який» шар, дифузійна зона – зміцнена зона й основний метал. Зі збільшенням енергії розряду збільшуються такі якісні параметри поверхневого шару, як товщина, мікротвердість і суцільність покриття, а також шорсткість поверхні. Рентгеноспектральний аналіз показав, що м'який шар збагачений сіркою. Зі збільшенням енергії розряду кількість сірки на поверхні знижується, а глибина сульфідованого шару збільшується.

Ключові слова: електроіскрове легування, поверхневий шар, сульфідкування, цементація, мікротвердість, мікроструктура.

Вступ

Збільшення надійності та терміну експлуатації сучасних машин призвело до необхідності використання деталей, виготовлених з матеріалів і сплавів з поліпшеними властивостями. Поліпшення властивостей цих деталей забезпечується, як правило, застосуванням високолегованих і важкооброблюваних корозійностійких сталей, що обумовлює великі витрати, як дефіцитних легуючих елементів, так і металорізного інструменту для їх обробки. Особливо гостро склалася ситуація в Україні, що не має необхідних ресурсів для виробництва високолегованих сплавів з нікелем, хром, ванадієм, молібденом, вольфрамом. У свою чергу, застосування високолегованих сталей і сплавів призводить до підвищення собівартості деталей машин, що пов'язано зі збільшенням ціни вихідних матеріалів при їх виробництві, великою витратою металорізальних і штампових інструментів, ускладненням технологічного процесу, пов'язаного з особливостями їх механічної та термічної обробки.

При експлуатації деталей машин та інструменту найбільш інтенсивно зовнішньому впливу (зносу, корозії, кавітації, окисленню і т.д.) піддаються їх поверхневі шари, тому саме структура і властивості поверхневих шарів відповідають за працездатність виробів. Підвищення довговічності деталей машин та інструменту застосуванням різних методів інженерії поверхні є економічно вигідним, а в багатьох випадках єдиним способом збільшення їх терміну служби. Тому застосування дешевих матеріалів, наприклад, вуглецевих і / або низьколегованих сталей, замість високолегованих сталей і сплавів, з

необхідною конструкційної міцністю після поверхневого оброблення є економічно вигідним і надійним способом збільшення працездатності деталей машин та інструменту.

Сучасні методи поверхневого зміцнення металевих деталей трибосистем (хіміко-термічна обробка, напилення (PVD, CVD, магнетронне напилення), наплавлення та ін.) дозволяють істотно збільшити термін служби пар тертя [1]. Основним завданням застосовуваних методів є забезпечення якісних параметрів поверхневого шару: підвищення (або зниження) твердості та мікротвердості, зниження (або підвищення) шорсткості, підвищення зносостійкості, відновлення зношених поверхонь, зміна величини і знака залишкових напружень, збільшення втомної міцності і т.п.

Нові можливості, для обробки поверхонь деталей відкриває використання концентрованих потоків енергії, зокрема, потоків, що генеруються електроіскровим розрядом [2-4]. Процеси перебудови структури оброблюваного матеріалу відбуваються в умовах далеких від термодинамічно рівноважних і дозволяють отримувати поверхневі шари з унікальним комплексом фізико-механічних властивостей [5]. Аналіз результатів застосування методу електроіскрового легування (ЕЛ) сталевих поверхонь показав, що режими енергетичного впливу впливають на механічні та триботехнічні властивості матеріалу, а також на якість і напружено-деформований стан модифікованого поверхневого шару [6-8].

На даний час в машинобудуванні гостро стоїть проблема створення поліфункціональних покриттів для важко навантажених пар тертя, що працюють в умовах високих лінійних швидкостей і прикладених тисків, при недостатній кількості мастила або при повній її відсутності. Аналіз науково-технічної літератури свідчить про те, що в останні роки проводяться роботи по розробці технологій, які можна застосовувати для виробів, що працюють без зовнішнього змащування. Нові можливості в цьому напрямку відкриває метод електроіскрового легування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що насичення сіркою поверхонь тертя сприяє підвищенню зносостійкості, поліпшує припрацювання і протизадирні властивості. Традиційні способи сульфидування, засновані на методі хіміко-термічної обробки, мають недоліки, що стримують їх застосування у виробництві: нагрівання всієї деталі, а відповідно і структурні зміни металу; деформації і викривлення; тривалість процесу до трьох і більше годин; велика витрата електроенергії; негативний вплив на екологію та ін.

У [9] пропонується спосіб сульфидування методом ЕЛ, що протидіє захопленню, і полягає в створенні на поверхні деталі шару, насиченого сіркою. Цей спосіб є більш дешевим, простим у виконанні й екологічно безпечним.

Відомо, що процес цементації сталевих поверхонь забезпечує підвищення твердості та зносостійкості. В [10] запропонований спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням (ЦЕЕЛ), який має ряд переваг, основними з яких є: досягнення 100% суцільності зміцненого поверхневого шару; підвищення твердості поверхневого шару деталі, за рахунок дифузійно-гартівних процесів; можливість здійснення легування у зазначених місцях без необхідності в одночасному захисті решти поверхонь деталі; відсутність об'ємного нагрівання деталі, а, отже, жолоблень і деформацій; простота застосування технології; гнучка прив'язка до наявного обладнання; процес зміцнення не вимагає спеціальної підготовки і високої кваліфікації робітника і т.д.

Таким чином, виникає необхідність у вирішенні задачі, спрямованої на створення нового способу отримання сульфоцементованих покриттів сталевих деталей методом електроіскрового легування, що забезпечує підвищення твердості та зносостійкості з одночасним зниженням схоплювання поверхонь, що необхідно для деталей пар тертя, які працюють без змащення.

Метою роботи

Підвищення якості сталевих поверхонь деталей шляхом розробки нового, енергоефективного та екологічно безпечного способу сульфоцементовання, здійснюваного методом електроіскрового легування, що забезпечує локальність впливу, відсутність жолоблень і деформацій, а також необхідності захисту інших поверхонь від впливу процесу, збільшення мікротвердості, зносостійкості, запобігання схоплюванню контактуючих поверхонь при терті й ін.

Методика досліджень

З метою визначення впливу енергетичних параметрів обладнання ЕІЛ на якісні параметри покриттів, виготовляли зразки зі сталі 20 розміром 15x15x8 мм, на які наносили консистентну речовину у вигляді сірчаної мазі з вмістом сірки 33,3%. Після цього, не чекаючи висихання консистентної речовини, виконували ЕІЛ графітовим електродом марки ЕГ-4 на установці моделі «Елітрон – 52А» із застосуванням різних режимів: 0,13; 0,55 і 3,4 Дж.

Для дослідження топографії поверхні зразка після ЕІЛ, а також дослідження розподілу сірки в поверхневому шарі, використовували растровий електронний мікроскоп з рентгенівським мікроаналізатором «РЭММ – 102». Шорсткість поверхні після обробки визначали на профілографі-профілометрі мод. 201 заводу «Калибр» шляхом зняття і обробки профілограм.

Металографічний аналіз покриттів виконували за допомогою оптичного мікроскопа «МІМ-7», дюраметричні дослідження – на приладі «ПІМТ-3».

Результати досліджень

На рис. 1 подані топографії поверхонь зразків зі сталі 20 після сульфоцементовання методом ЕІЛ. Аналізуючи топографію поверхонь досліджуваних зразків можна зробити висновок, що загальний характер форми елементів мікронерівностей поверхонь одноманітний. Значне збільшення мікронерівностей на поверхні зразка спостерігається після ЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж, що пов'язано зі збільшенням енергетичного впливу. Значення шорсткості поверхні залежно від енергетичних параметрів обробки представлені в табл. 1, а профілограми – на рис. 2.

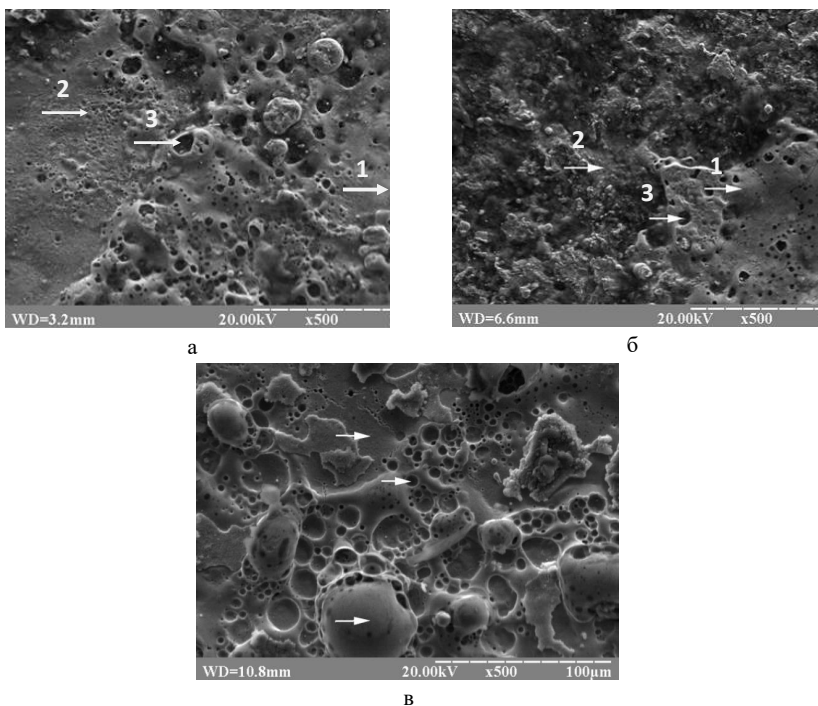
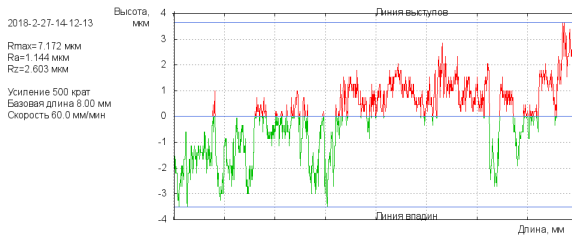


Рис.1. Топографії ділянок поверхні сталі 20 після сульфидентації:
 а – $W_p = 0,13$ Дж; б – $W_p = 0,55$ Дж; в – $W_p = 3,4$ Дж

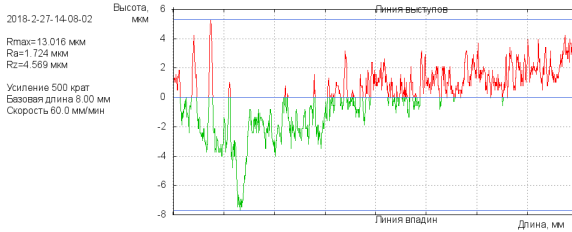
Таблиця 1

Якісні параметри сульфидентованих покриттів, отриманих методом ЕІЛ, на сталі 20

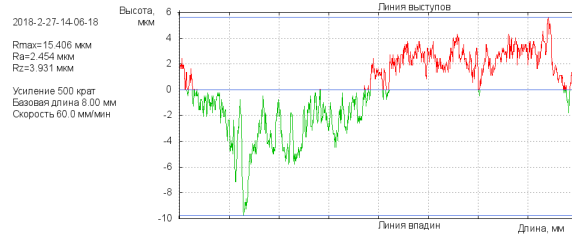
Енергія розряду, Дж	Шорсткість, мкм			Шар зниженої мікротвердості		Зміцнений шар		Кількість сірки на поверхні, %	Глибина шару з підвищеним вмістом сірки, мкм
	Ra	Rz	Rmax	Н _μ , МПа	h, мкм	Н _μ , МПа	h, мкм		
0,13	1,1	2,6	7,1	1350	15	1830	30	1,01	60
0,55	1,7	4,6	13,0	1460	20	2000	40	0,65	90
3,4	2,5	3,9	15,4	1600	30	2150	50	0,45	150



а



б

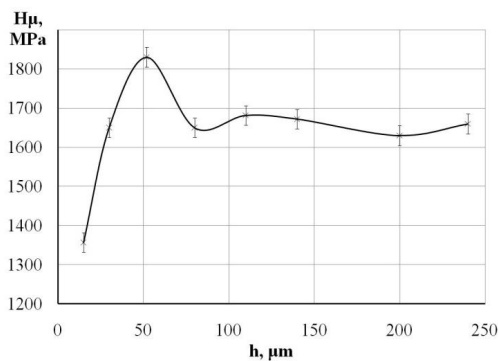
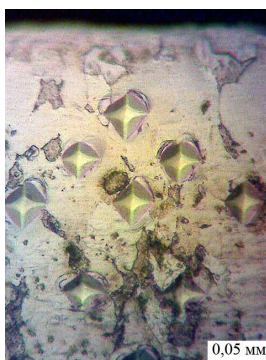


в

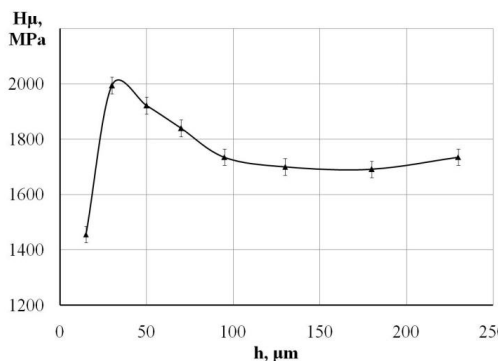
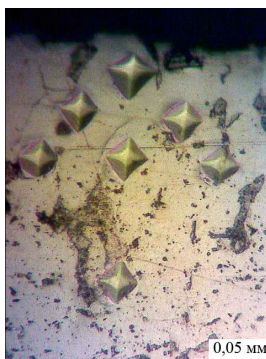
Рис.2. Профілограми поверхневих шарів на сталі 20, сформованих при сульфоцементатії методом ЕІЛ: а – $W_p = 0,13$ Дж; б – $W_p = 0,55$ Дж; в – $W_p = 3,4$ Дж

Металографічний аналіз показав, що після ЕІЛ на мікроструктурі можна виділити декілька ділянок: приповерхневий темний шар, дифузійна зона й основний метал (рис. 3). Як і слід було очікувати, товщина дифузійної зони збільшується з підвищенням енергії розряду.

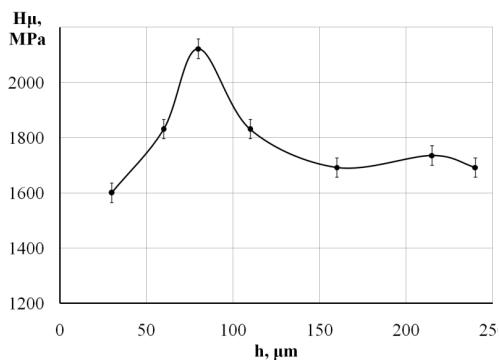
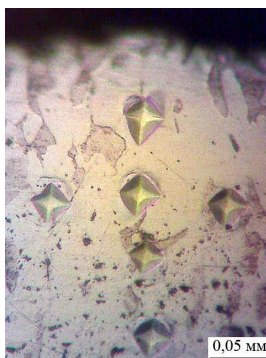
Дюрометричні дослідження сульфоцементованих покриттів свідчать про те, що приповерхневий шар має невисоку твердість 1350 – 1600 МПа, дифузійна зона – підвищену до 2150 МПа (рис. 3 і табл. 1). Необхідно відзначити, що зі збільшенням енергії розряду твердість і глибина шару зниженої мікротвердості та зміцненого шару збільшуються. Очевидно, така особливість формування сульфоцементованого шару, отриманого методом ЕІЛ, пов'язана з різною дифузійною швидкістю вуглецю та сірки вглиб металу [11].



а



б



в

Рис.3. Мікроструктура та розподіл мікротвердості у поверхневому шарі сталі 20 після сульфидементції методом ЕІЛ: а – $W_p = 0,13$ Дж; б – $W_p = 0,55$ Дж; в – $W_p = 3,4$ Дж

На рис. 1 подані топографії різних ділянок поверхневих шарів при сульфидементції сталі 20, отриманих, відповідно, з енергією розряду $W_p = 0,13, 0,55$ і $3,4$ Дж. Для оцінки хімічного складу на поверхні обрані три характерні зони: 1 – гладка поверхня, 2 – шорстка поверхня, 3 – пора.

Спектри характерних зон сульфоцементованої поверхні при $W_p = 0,13$ Дж, а також хімічний склад характерних зон сформованих покриттів, отриманих на різних режимах ЕЛЛ, показані на рис. 4 і табл. 2, відповідно.

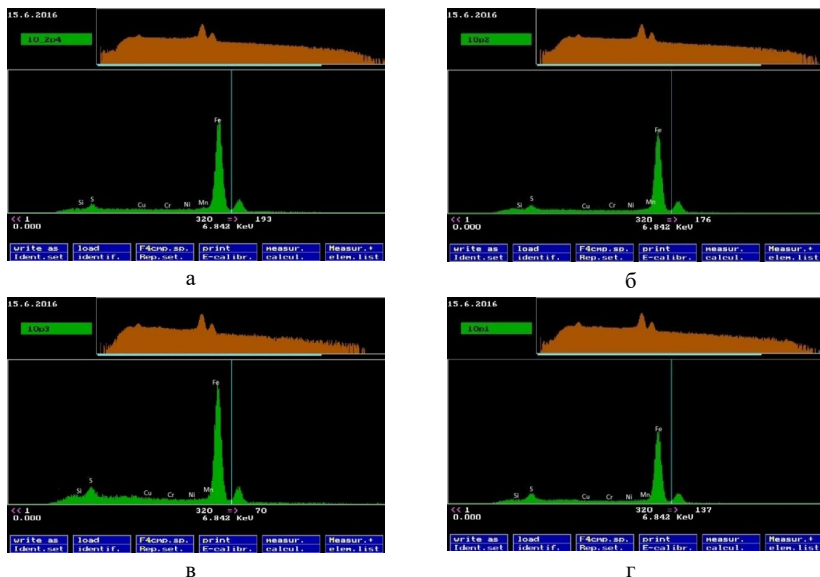


Рис.4. Спектри сульфоцементованої поверхні методом ЕЛЛ при $W_p = 0,13$ Дж в характерних зонах: а – гладка поверхня, б – шорстка поверхня, в – поря, г – з усієї поверхні

Таблиця 2

Хімічний склад поверхні сталі 20 в характерних зонах і з усієї досліджуваної поверхні після сульфоцементування методом ЕЛЛ

Досліджува на точка, ділянки (Σ) поверхні	Елементи, %						
	S	Cu	Cr	Ni	Mn	Si	Fe
$W_p = 0,13$ Дж							
1	0,97	0,23	0,20	0,21	0,60	0,24	97,55
2	1,2	0,23	0,24	0,19	0,58	0,22	97,34
3	0,87	0,21	0,19	0,16	0,62	0,18	97,77
Σ	1,01	0,22	0,21	0,19	0,60	0,21	97,56
$W_p = 0,55$ Дж							
1	0,77	0,20	0,21	0,21	0,61	0,24	97,76
2	0,64	0,22	0,23	0,17	0,59	0,22	97,93
3	0,53	0,24	0,19	0,14	0,56	0,23	98,11
Σ	0,65	0,22	0,21	0,17	0,59	0,23	97,93

W _p = 3,4 Дж							
1	0,57	0,25	0,21	0,19	0,56	0,26	97,96
2	0,34	0,23	0,22	0,17	0,57	0,24	98,23
3	0,53	0,20	0,23	0,15	0,57	0,22	98,10
Σ	0,45	0,27	0,26	0,15	0,59	0,25	98,03
1 – гладка поверхня, 2 – шорстка поверхня, 3 – пора, Σ – вся поверхня							

В результаті аналізу табл. 2 встановлено, що зі збільшенням енергії розряду у всіх характерних зонах спостерігається зменшення кількості сірки, що, можливо, пов'язано з вигоранням сірки при протіканні імпульсного розряду в процесі ЕІЛ. Крім того, підвищений вміст сірки спостерігається в місцях пор, що пояснюється скупченням сірчаної речовини на цих ділянках.

Досліджено розподіл елементів по мірі поглиблення від поверхні при кроці сканування 15 мкм. Результати подані на рис. 5 і в табл. 3.

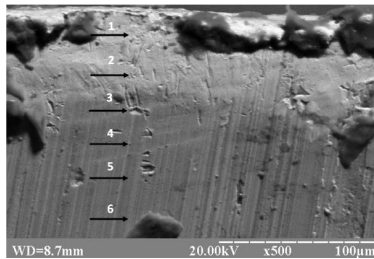


Рис.5. Визначення хімічного складу поверхневого шару за глибиною сталі 20 після сульфосементації методом ЕІЛ

Таблиця 3

Хімічний склад поверхневого шару сталі 20 по мірі поглиблення від поверхні після сульфосементації

Досліджу-вана точка поверхні	Елементи, %						
	S	Cu	Cr	Ni	Mn	Si	Fe
W _p = 0,13 Дж							
1	0,78	0,21	0,23	0,21	0,62	0,23	97,72
2	0,58	0,19	0,20	0,18	0,59	0,22	98,04
3	0,17	0,21	0,19	0,16	0,62	0,20	98,45
4	0,05	0,22	0,11	0,19	0,61	0,19	98,63
5	0,03	0,18	0,24	0,23	0,59	0,24	98,49
6	0,02	0,20	0,23	0,16	0,63	0,23	98,53

W _p = 0,55 Дж							
1	0,54	0,23	0,21	0,21	0,57	0,24	98,00
2	0,41	0,19	0,23	0,19	0,59	0,22	98,17
3	0,25	0,16	0,19	0,23	0,61	0,20	98,36
4	0,12	0,21	0,16	0,21	0,54	0,23	98,53
5	0,08	0,18	0,23	0,16	0,53	0,24	98,58
6	0,05	0,24	0,21	0,25	0,52	0,17	98,56
7	0,03	0,22	0,24	0,19	0,58	0,24	98,50
W _p = 3,4 Дж							
1	0,47	0,22	0,24	0,21	0,56	0,23	98,07
2	0,39	0,19	0,23	0,19	0,59	0,22	98,17
3	0,28	0,17	0,18	0,23	0,51	0,20	98,43
4	0,18	0,22	0,17	0,21	0,55	0,23	98,44
5	0,12	0,19	0,24	0,15	0,55	0,23	98,52
6	0,08	0,24	0,21	0,25	0,52	0,17	98,56
7	0,08	0,25	0,23	0,19	0,56	0,23	98,46
8	0,07	0,23	0,20	0,20	0,53	0,25	98,52
9	0,06	0,25	0,21	0,26	0,50	0,20	98,52
10	0,05	0,19	0,20	0,16	0,55	0,23	98,55
11	0,03	0,20	0,19	0,14	0,40	0,23	98,81

Зі збільшенням енергії розряду від 0,13 до 3,4 Дж кількість сірки на поверхні покриття знижується, а глибина сульфидованого шару збільшується (табл. 3).

Результати рентгеноспектрального аналізу свідчать про те, що сірка накопичується в поверхні металу на глибині до 30 мкм, її концентрація на цій відстані становить близько 0,4%. При ЕЛ графітовим електродом вуглець дифундує вглиб металу і на відстані 30-50 мкм від поверхні формується зміцнених шар з мікротвердістю близько 2000 МПа (табл. 1, рис. 3).

Висновки

1. Вивчені можливості застосування енергоефективного та екологічно чистого методу одночасного насичення вуглецем і сіркою сталевих поверхонь деталей методом електроіскрового легування.

2. В результаті аналізу топографії поверхневого шару після сульфоцементації методом ЕЛ встановлений однотипний характер форми сформованих елементів мікронерівностей поверхні. Значне збільшення мікронерівностей на поверхні зразка спостерігається зі збільшенням енергії розряду до $W_p = 3,4$ Дж. Шорсткість поверхні при цьому становить $Ra = 2,5$ мкм.

3. Металографічний і діурометричний аналіз після сульфоцементації методом ЕЛ показали, що оброблена поверхня складається з окремих ділянок шарів: «м'якого», зміцненого й основного металу. З ростом енергії розряду збільшується товщина, мікротвердість і суцільність обробленої поверхні.

4. Наявність в консистентній речовині сірки сприяє процесу сульфідуювання. Вміст сірки по мірі поглиблення з поверхні при сульфоцетатації сталі 20 методом ЕЛ з енергією розряду 3,4 Дж знижується, і на глибині до 30 мкм її концентрація становить близько 0,4%.

Список використаних джерел

1. Машков Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибо систем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. – Москва: Наука, 2000. – 278 с.
2. Тарельник В. Б. Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием: монография / В. Б. Тарельник. – Сумы: МакДен, 2002. – 324 с.
3. Tarelnyk V. New Method of Friction Assemblies Reliability and Endurance Improvement / V. Tarelnyk, V. Martsynkovskyy, A. Dziuba // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 630. – P. 388-396. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.630.388
4. Повышение качества покрытий нанесенных электроискровым методом / Т. С. Скобло, А. Д. Мартыненко, А. В. Харьяков, А. В. Тихонов, А. Н. Килимник // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – 2004. – Вип. 23. – С. 191-196.
5. Коротаяев Д.Н. Технологические возможности формирования износостойких наноструктур электроискровым легированием : монография / Д.Н. Коротаяев. – Омск:СибАДИ, 2009. – 255 с.
6. Анализ структурного состояния поверхностного слоя после электроэрозионного легирования. I. Особенности формирования электроэрозионных покрытий на стали 45 / В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова, Е.В. Коноплянченко, Н.С.Евтушенко, В.О. Герасименко // Металлофизика и новейшие технологии. – 2018. - Т. 40. - № 2. – С. 235–254. DOI:10.15407/mfint.40.02.0235
7. Тарельник В. Б., Гапонова О. П., Коноплянченко Е. В., Довжик М. Я. Исследование закономерностей процессов формирования поверхностных слоёв при электроэрозионном легировании. Часть II // Металлофиз. новейшие технол. 2017, т. 39, № 3, сс. 363–385.
8. Подчерняева И.А. Формирование и свойства композиционных ЭИЛ-покрытий на сталях ШХ15 и Р6М5 с использованием новых керамических покрытий / И.А. Подчерняева, А.Д. Верхотуров, Я. А. Востриков, Л.А. Коневцов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – №2. –С. 34-39.
9. Патент України на корисну модель UA 115059 У, МПК (2017.01), В23Н 1/00, С23С 8/60 (2006.01), С22С 37/00, С22С 37/06, С22С 37/08. Спосіб сульфідуювання поверхні сталевих і чавунних деталей методом електроерозійного легування / Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Білоус А.В., Жуков О.М., Косенко П.В., Гапонова О.П. – № u201611901; заявл. 24.11.2016; опубл. 27.03.2017. – Бюл. № 6/2017.
10. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием. Пат. 2337796. Российская Федерация. МПК В 23Н 9/00 / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В.; Заявлено 05.10.2006; Опубликовано 10.04. 2008, Бюл. № 31. с.3;
11. Патент України на корисну модель UA 115059 У, МПК (2017.01), В23Н 1/00, С23С 8/60 (2006.01), С22С 37/00, С22С 37/06, С22С 37/08. Спосіб сульфідуювання поверхні сталевих і чавунних деталей методом електроерозійного легування/ Тарельник В.Б.,

Аннотация

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СУЛЬФОЦЕМЕНТОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Гапонова А.П.

В работе рассмотрены особенности формирования электроискровых покрытий стальных деталей серой и углеродом, которые могут применяться с целью повышения твердости, износостойкости и предотвращения схватывания при трении. Для этого на поверхность детали рекомендуется наносить консистентное вещество, содержащее серу, после чего, не дожидаясь высыхания консистентного вещества, проводить процесс легирования графитовым электродом. Проведен металлографический и дюриметрический анализ поверхностных слоев на стали 20 после сульфоцементации методом электроискрового легирования. Показано, что структура слоя состоит из участков: приповерхностный «мягкий» слой, диффузная зона – упрочненная зона и основной металл. С увеличением энергии разряда увеличиваются такие качественные параметры поверхностного слоя, как толщина, микротвердость и сплошность покрытия, а также шероховатость поверхности. Рентгеноспектральный анализ показал, что мягкий слой обогащен серой. С увеличением энергии разряда количество серы на поверхности снижается, а глубина сульфидированного слоя увеличивается.

Ключевые слова: электроискровое легирование, поверхностный слой, покрытие, сульфидирование, цементация, микротвердость, микроструктура.

Abstract

QUALITY ANALYSIS OF SULF-CEMENTED COATINGS OBTAINED BY ELECTRIC-SPEAKING METHOD

O.Gaponova

The paper considers the features of the formation electrospark coatings of steel parts with sulfur and carbon, which can be used to increase hardness, wear resistance and prevent seizing. It is recommended to put on surface of the part a sulfur grease lubrication, and then, without waiting for drying, carry out the process of alloying with a graphite electrode. Metallographic and durometric analysis of coatings on steel 20 after sulfocementation by electrospark alloying was carried out. It is shown that the structure of coating consists of sections: a near-surface “soft” layer, a diffuse zone — a hardened zone, and a base metal. With an increase in discharge energy, such qualitative parameters of the coating as thickness, microhardness and continuity, as well as surface roughness are increased. X-ray spectral analysis is showed that the soft layer is enriched of sulfur. With increasing discharge energy, the quantity of sulfur on the surface is decreased, and the depth of the sulfidized layer is increased.

Keywords: electrospark alloying, surface layer, coating, sulfination, cementation, microhardness, microstructure.