УДК 621.9.048
DOI: 10.31471/2415-3184-2019-2(20)-118-126

***В. Б. Тарельник*[1], *О. П. Гапонова*[2],**
***Б. А. Саржанов*[1]**
[1]*Сумський національний аграрний університет,*
[2]*Сумський державний університет*

СПОСІБ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

В роботі проведений аналіз методів зміцнення, які використовують при виготовленні деталей з листових металів. При цьому застосовується велика кількість технологічних методів, як екологічно безпечних, так і шкідливих для навколишнього середовища. З метою захисту від абразивного зносу поверхню деталей піддають різним видам зміцнення: наплавлення твердими та зносостійкими матеріалами, плазмове напилювання, хіміко-термічна обробка (ХТО) й ін. Однак, зазначені методи є енерговитратними й пов'язані з підвищеною техногенною й екологічною небезпекою. В статті представлено технічне рішення, яке відноситься до галузі машинобудування та ремонту машин, зокрема до екологічно безпечного відновлення й одночасного зміцнення, шляхом цементації методом електроерозійного легування (ЦЕЕЛ) графітовим електродом деталей, виготовлених з листової сталі. Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей із листової сталі методом ЦЕЕЛ включає гартування і відпуск. На першому етапі здійснюють нагрівання сталевої деталі до температури гартування сталі, з якої вона виготовлена, з подальшим охолодженням на повітрі або у маслі, а на другому етапі виконують нагрівання обробленої на першому етапі деталі до температури відпуску з подальшим охолодженням на повітрі. Для досягнення температури гартування та відпуску при ЦЕЕЛ поверхонь деталей з листової сталі товщиною від 1,0 до 10 мм застосовують енергію розряду 4,6-6,8 Дж і продуктивність 0,2-3,0 см² / хв.., причому, для рівномірного розподілу мікротвердості за перетином при гартуванні на повітрі ЦЕЕЛ проводять з обох сторін деталі. Застосування способу супроводжується значним зниженням витрат електроенергії та часу на термооброблення, відсутністю жолоблень та деформацій, а отже і необхідності додаткової механічної обробки для усунення відхилень форми заготовки після термооброблення, застосуванням простого й екологічно чистого обладнання.

Ключові слова: екологічно безпечне зміцнення, електроерозійне легування, цементація, відпуск, мікроструктура, мікротвердість, шорсткість.

Вступ. В даний час для різних галузей промисловості (електроенергетики, паливної промисловості, чорної та кольорової металургії, космічної промисловості, хімічної та нафтохімічної промисловості, машинобудування, металообробки й ін.), сільського та комунального господарства виготовляється, відновлюється та зміцнюється величезна кількість деталей з листових металів. При цьому застосовується велика кількість технологічних методів, як екологічно безпечних, так і шкідливих для навколишнього середовища.

Нерідко, з метою більш ефективного захисту від абразивного зносу, поверхню деталей піддають різним видам зміцнення: наплавлення твердими й зносостійкими матеріалами [1-3], лазерне наплавлення [4, 5], плазмове напилювання [6], хіміко-термічна обробка (ХТО) [7] й ін.

Ремонтне зварювання й наплавлення деталей машин і механізмів на сьогоднішній день є одними з основних технологічних методів відновлення експлуатаційних властивостей деталей і зміцнення їх поверхонь. Наплавлення – це нанесення шару металу на поверхню заготовки або виробу за допомогою зварювання плавленням (ГОСТ 2601-84).

При виконанні наплавлення зварюванням та плазмовим напилюванням на працівників можуть впливати небезпечні й шкідливі виробничі фактори, до яких відносяться (ГОСТ 12.0. 003-74): підвищена запилюваність і загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень ультрафіолетової й інфрачервоної радіації; підвищена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; небезпека ураження електричним струмом; іскри, бризки, викид розплавленого металу й шлаків. Крим цього, під час наплавлення працівники можуть вдихати зварювальні аерозолі, що містяться у складі твердої фази, оксиди різних матеріалів та інші сполуки, а також токсичні гази. Вплив на організм шкідливих речовин, що виділяються, може бути причиною гострих і професійних хронічних захворювань і отруєнь.

Незважаючи на те, що в результаті ХТО значно підвищується якість поверхневих шарів деталей машин, цей метод має й ряд недоліків. Це деформації й жолоблення; громіздке й дороге технологічне оснащення; тривалість процесу; використання енергоємного встаткування й ін. Крім цього, окремі операції ХТО небезпечні для навколишнього середовища. Так, основним недоліком ціанування є отруйність ціанистих солей і необхідність у зв'язку із цим вживання спеціальних заходів з охорони праці та навколишнього середовища.

Слід зазначити, що усі вище розглянуті методи є енерговитратними і пов'язані з підвищеною техногенною й екологічною небезпекою.

Таким чином, незважаючи на наявність ряду відомих екологічно безпечних способів зміцнення, відновлення й заміни ділянок поверхонь деталей, що зношуються, проблема не втратила своєї актуальності, а розробка нових екологічно безпечних способів, зміцнення деталей з листових сталей є складовою екологічної безпеки.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. При відновленні дискових робочих органів, які часто виготовляють з листів сталей 65Г і 70Г з твердістю робочої зони дисків після термічної обробки HRC 35-45 при товщині леза 0,3-0,5 мм, можна застосовувати зміцнювальні технології: наплавлення твердими і зносостійкими матеріалами, хіміко-термічну обробку (борування), зміцнення методом електроерозійної обробки, нанесення полімерних і композиційних матеріалів, плакування зносостійкою стрічкою, зміцнення накаткою та ін. [8]. Ріжучі кромки дисків можуть бути також зміцнені лазерно-термічною обробкою на ширину 15-20 мм і на глибину 0,5-1,5 мм [9].

Відомий також спосіб підвищення зносостійкості ріжучих деталей, який полягає у тому, що деталь обробляють потужним джерелом енергії – газоплазмовим струменем, спрямованим під кутом 34-37° до поверхні заготовки, при цьому як матеріал для ножів використовують сталі, здатні загартовуватися на повітрі, переважно кремній-марганцевисті сталі. Відбувається одночасне формування кромок ножів, їх заточка і термічне зміцнення – гартування [10].

Однак відомі способи мають ряд недоліків, особливо такі, які пов'язані з термообробленням (ТО), зокрема, складність обладнання, неможливість зміцнення дрібних деталей складної форми, неможливість застосування на деталях зі сталей, нездатних гартуватися на повітрі.

Згідно з [11], до основного обладнання для ТО відносять нагрівальні печі, в яких здійснюється нагрівання і витримка виробів за заданим режимом при гартуванні і відпуску, а також гартівні ванни, в яких здійснюють охолодження при гартуванні та високому відпуску деяких легованих сталей. При цьому складність і негативний вплив технологічного обладнання на техногенну безпеку небезпечних виробництв, велика витрата електроенергії, тривалість процесу, жолоблення або деформація заготовок після ТО, необхідність проведення додаткової механічної обробки для усунення відхилень форми заготовки після ТО обмежують застосування об’ємного нагрівання.

Підсумком науково-технічного прогресу в розвинутих країнах стало створення екологічно небезпечних об'єктів, до яких відносяться електростанції, металургійні, хімічні, нафтохімічні і гірничодобувні підприємства, нафто- і газопроводи [12]. Істотно більшу шкоду навколишньому середовищу при короткочасних і довготривалих наслідках надають навіть не стаціонарні шкідливі викиди цих об'єктів, а аварійні ситуації, що в ряді випадків мають глобальний характер.

Основною технічною задачею пропонованого способу є підвищення рівня техногенної безпеки небезпечних виробництв, задіяних у технологічні процеси ТО при зміцненні відновлюваних деталей.

Одним з найбільш простих з технологічної точки зору методів зміцнення деталей є поверхневе електроерозійне легування (ЕЕЛ). Його перевагами є: локальність впливу, мала витрата енергії, відсутність об'ємного нагріву матеріалу та ін. Застосовуючи ЕЕЛ, можна підвищити твердість металевої поверхні нанесенням на неї матеріалу більш високої твердості або дифузійним введенням у поверхневий шар необхідних хімічних елементів з навколишнього середовища або з матеріалу анода [13].

Відомий спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням (ЦЕЕЛ) [14], який має ряд переваг, основними з яких є: досягнення 100% суцільності зміцнення поверхневого шару; підвищення твердості поверхневого шару деталі за рахунок дифузійно-гартівних процесів; легування можна здійснювати в необхідних місцях, не захищаючи при цьому решту поверхні деталі; відсутність об'ємного нагрівання деталі і пов'язаних з цим жолоблень та деформацій; простота застосування технології; гнучка прив'язка до наявного обладнання; процес зміцнення не

вимагає спеціальної підготовки і високої кваліфікації робітника. В даному способі використовується енергія розряду (W_p) 0,036-6,8 Дж і продуктивність 1,0-0,2 см²/хв.

При ЦЕЕЛ товщина зміцненого шару залежить від енергії розряду і часу легування (продуктивності процесу). Зі збільшенням енергії розряду та часу легування товщина зміцненого шару збільшується. При цьому зростає шорсткість поверхні. Так, при ЕЕЛ вуглецем середньовуглецевої легованої сталі 40Х (Ra = 0,5 мкм) з продуктивністю 0,2 см²/хв. при енергії розряду 6,8 Дж товщина шару підвищеної твердості становить понад 1,15 мм. Шорсткість поверхні при цьому відповідає Ra = 11,7-14,0 мкм.

Найбільш близьким до пропонованого технічного рішення за сукупністю ознак є спосіб ЦЕЕЛ, який використовують для зниження шорсткості поверхні деталей машин і, отже, для розширення області їх застосування. Даний спосіб полягає в тому, що ЦЕЕЛ проводять поетапно, знижуючи на кожному етапі енергію розряду [15].

Незважаючи на наведені вище переваги, даний спосіб має ряд недоліків:

– зниження у результаті відпалу мікротвердості та товщини зміцненого поверхневого шару при поетапному впливі на нього електричного розряду при ЦЕЕЛ;

– тривалість процесу ЦЕЕЛ;

– складність у виборі необхідних режимів (енергії розряду та продуктивності) для забезпечення заданих результатів (потрібної твердості по перетину деталі) при ЦЕЕЛ деталей різної товщини, наприклад, деталей сільськогосподарських машин, що виготовляються з листової сталі 65Г.

Метою роботи є удосконалення технології зміцнення сталевих деталей з листової сталі, шляхом створення нового, екологічно безпечного способу цементації методом електроерозійного легування їх поверхонь графітовим електродом.

Методика дослідження. Для визначення впливу енергетичних параметрів ЕЕЛ на якісні параметри сталі 65Г, проводили ЦЕЕЛ на установці моделі «Элитрон 52А» зразків розміром 15х15х (1-10) мм із даної сталі із застосуванням різних режимів. Крім того, досліджували кілька зразків різної товщини зі сталей 30Х13 і 40Х. Кожному режиму ЦЕЕЛ відповідала своя енергія розряду (W_p) і продуктивність – площа сформованого покриття в одиницю часу (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність продуктивності ЕЕЛ від енергії розряду

Енергія розряду (W_p), Дж	0,52	1,3	2,6	4,6	6,8
Продуктивність, см^2/хв.	1,0-1,3	1,3-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Процес зміцнення зразків проводився у два етапи:

– перший етап – нагрівання до температур гартування обраної сталі та подальше охолодження на повітрі або у маслі;

– другий етап – нагрівання до температури відпуску і подальше охолодження на повітрі, (табл. 2).

Таблиця 2

Температура гартування і відпуску сталі методом ЦЕЕЛ

Марка сталі	Температура гартування, °С	Температура відпуску, °С
65Г	820-830	200
30Х13	950-1050	200
40Х	840-860	200

Для кожної товщини зразків реєстрували час досягнення необхідної температури гартування або відпуску (продуктивність процесу).

Температуру зразків у процесі ЕЕЛ графітовим електродом реєстрували пірометром моделі «CEM DT- 8866»

Структуру зразків вивчали на оптичному мікроскопі «Неофот-2». На мікротвердомірі ПМТ-3 проводили дюрометричний аналіз на розподіл мікротвердості по перетину зразка при навантаженні на індентора P = 0,5 Н. Твердість обробленої ЦЕЕЛ та не обробленої (зворотної) поверхонь зразка вимірювали на приладі Роквелла ТК за шкалою С.

Шорсткість поверхні визначали на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття і обробки профілограм.

Результати досліджень. Для вирішення зазначеної вище технічної задачі створено спосіб [15] екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕЕЛ у два етапи, що включає, гартування і відпуск, в якому, відповідно до створеного технічного рішення, на першому етапі здійснюють нагрівання сталевої деталі до температури гартування сталі, з якої вона виготовлена, з подальшим охолодженням на повітрі або у маслі, а на другому етапі виконують нагрівання обробленої на першому етапі деталі до температури відпуску з подальшим охолодженням на повітрі, при цьому для досягнення температури гартування і відпуску при ЦЕЕЛ поверхонь деталей з листової сталі товщиною від 1,0 до 10 мм застосовують енергію розряду 4,6-6,8 Дж і продуктивність см²/хв. Крім того, для рівномірного розподілу мікротвердості по перетину при гартуванні на повітрі ЦЕЕЛ проводять з обох сторін деталі.

У результаті електроіскрового легування поверхні сталі графітовим електродом відбуваються процеси:

– насичення поверхні сталі вуглецем, причому за рахунок концентрованих потоків енергії спостерігається аномально висока дифузія вуглецю, при цьому вміст вуглецю в поверхневому шарі може становити 3-4% [16];

– надшвидкісне гартування при короткочасному нагріванні розрядом електричного струму до високої температури, а потім миттєве охолодження, що призводить до утворення нерівноважних структур з дрібним зерном, високою гетерогенністю за складом, структурою, з високим рівнем термічних напружень;

– пластичне деформування при локальній дії на матеріал імпульсного тиску.

Перераховані процеси впливають на формування певних властивостей отриманих поверхневих шарів. У таблиці 3 подані результати вимірювання твердості листового прокату зі сталей 65Г, 40Х та 30Х13 після електроерозійного легування за схемами:

1) електроерозійне легування графітовим електродом, охолодження на повітрі;

2) електроерозійне легування графітовим електродом, охолодження у маслі.

Таблиця 3

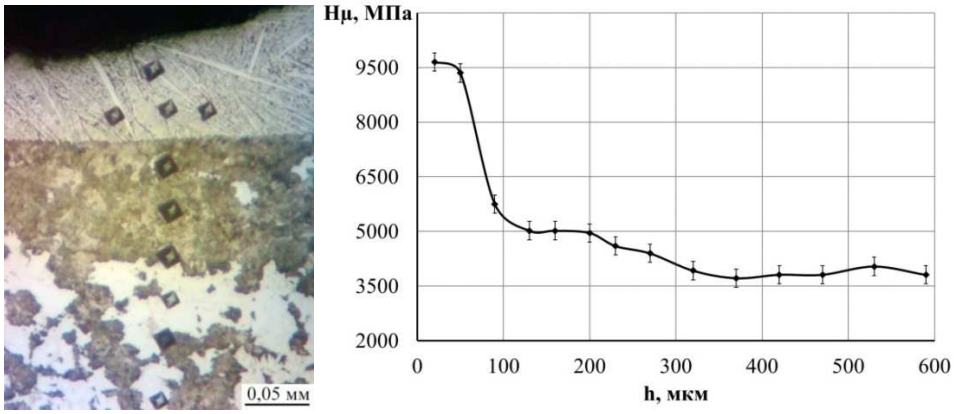
Технологічні параметри зміцнення зразків із сталевих листів методом цементації електроерозійним легуванням

Товщина зразка, мм	Енергія розряду, W_p, Дж, гартування / відпуск	Продуктивність, см/хв., гартування/ відпуск	Твердість, HRC, сторона ЕЕЛ	Твердість, HRC, зворотна сторона зразка	Твердість, HRC, сторона ЕЕЛ	Твердість, HRC, зворотна сторона зразка	Шорсткість, *Ra*, мкм
			охолодження на повітрі		охолодження у маслі		
Сталь 65Г (прокат листовий, згідно з ГОСТ 19903-74)							
1	4,6/4,6	0,3/1,0	69/69	55/55	72/71	69/67	3,7
2	6,8/4,6	3,0/07	69/69	53/53	72/71	67/65	4,1
3	6,8/6,8	2,0/3,0	68/68	45/44	71/70	66/62	4,3
4	6,8/6,8	1,5/2,4	66/66	43/43	70/69	64/60	4,5
5	6,8/6,8	1,4/3,0	63/63	41/41	70/68	62/60	4,9
6	6,8/6,8	1,0/2,0	62/62	40/40	70/67	62/60	5,2
7	6,8/6,8	0,7/1,0	60/60	38/38	69/65	61/60	5,1
8	6,8/6,8	0,5/0,7	60/60	37/37	69/64	61/60	5,5
9	6,8/6,8	0,3/06	59/59	35/35	65/62	61/60	6,7
10	6,8/6,8	0,2/04	59/59	33/33	63/59	61/59	6,8
Сталь 30Х13 (прокат листовий, згідно з ГОСТ 5582-75)							
4,0	6,8/6,8	1,5/2,4	65/64	42/40	67/65	60/59	4,3
Сталь 40Х (прокат листовий, згідно з ГОСТ 19903-74)							
5,0	6,8/6,8	1,4/3,0	63/62	38/34	65/61	50/48	5,1

Необхідно відзначити, що в результаті цементації і наступної локальної ТО методом ЕЕЛ відбувається значне підвищення твердості поверхневого шару. В результаті перерахованих вище процесів, що відбуваються при ЕЕЛ, можна досягти твердості до 72 HRC на поверхні, що піддається ЕЕЛ, і до 69 HRC на зворотному боці тонкої листової заготовки (табл. 3).

Результати металографічного і дюрометричного аналізу підтверджують утворення нерівноважних структур підвищеної твердості після ЕЕЛ графітовим електродом.

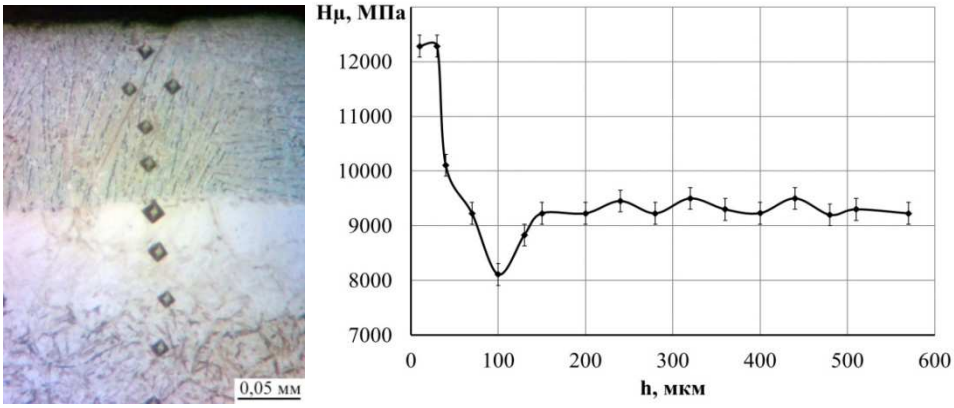
На рис. 1 зображені мікроструктура і розподіл мікротвердості у міру поглиблення від поверхні зразка сталі 65Г товщиною 3 мм після ЦЕЕЛ і охолодження на повітрі. Максимальна мікротвердість 9500 МПа властива поверхні зразка, що піддається легуванню. У міру поглиблення, мікротвердість знижується. На глибині 300 мкм мікротвердість становить 4000-4500 МПа і далі по всьому перетину змінюється незначно.



а **б**

Рис. 1. Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) зразка товщиною 3 мм зі сталі 65Г після ЦЕЕЛ і охолодження на повітрі

На рис. 2 зображені мікроструктура і розподіл мікротвердості у міру поглиблення від поверхні зразка сталі 65Г товщиною 2 мм після ЦЕЕЛ і охолодження у маслі.



а **б**

Рис. 2. Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) зразка товщиною 2 мм зі сталі 65Г після ЦЕЕЛ і охолодження у маслі

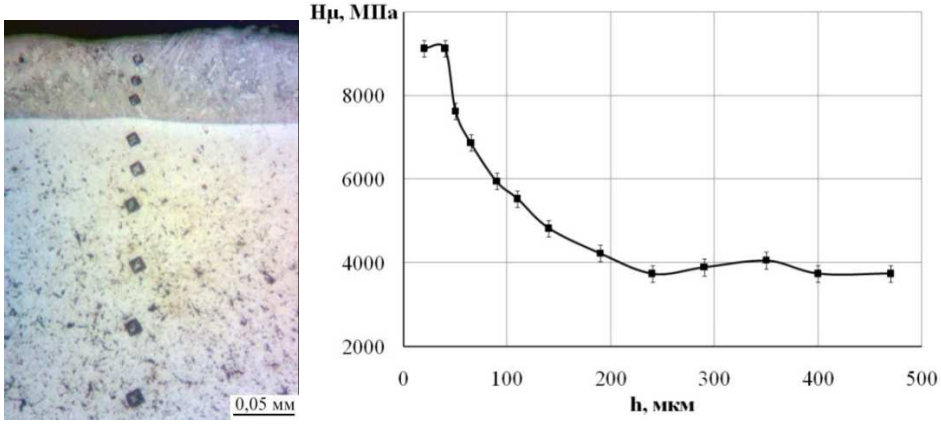
Максимальна мікротвердість 12500 МПа властива поверхні зразка, що піддається легуванню. У міру поглиблення, мікротвердість знижується. На відстані від поверхні 80-120 мкм спостерігається зменшення «провал» мікротвердості до 8000 МПа, після чого величина Hμ підвищується до 9100-9600 МПа і далі по всьому перетину не змінюється.

На рис. 3 зображені мікроструктура і розподіл мікротвердості у міру поглиблення від поверхні зразка стали 30Х13 товщиною 4 мм після ЦЕЕЛ і охолодження на повітрі.

Максимальна мікротвердість 9500-9700 МПа властива поверхні зразка, що піддається легуванню. Зі збільшенням відстані від поверхні мікротвердість знижується. На глибині 200 мкм мікротвердість становить 4000-4200 МПа і далі по всьому перетину змінюється незначно.

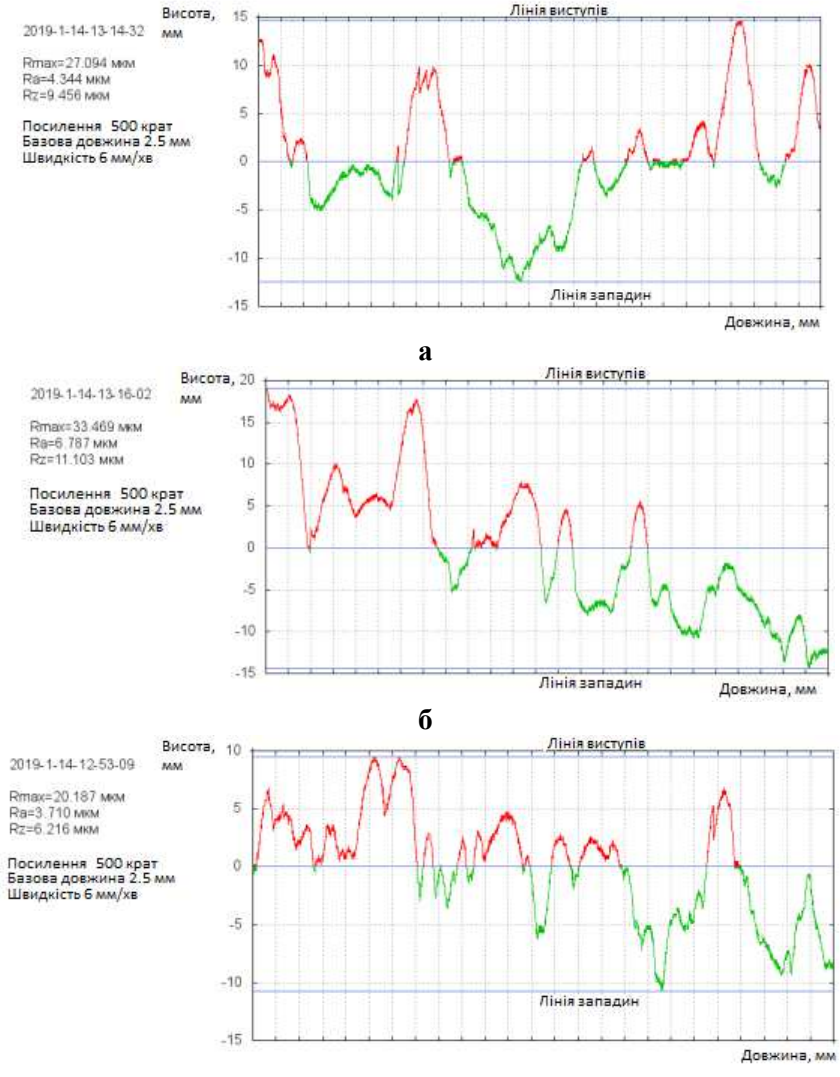
Шорсткість поверхні, що піддається легуванню, при використанні максимальних режимів установки «Элитрон 52А», що відповідають енергії розряду 6,8 Дж, на різних ділянках зразків з різних матеріалів змінюється незначно. Відзначається тенденція збільшення шорсткості поверхні зі збільшенням товщини зразка.

На рис. 4 показані профілограми з максимальною і мінімальною шорсткістю зразків сталі 65Г, легованих з енергією розряду 6,8 Дж та шорсткості поверхні зразка зі сталі 65Г товщиною 1 мм, легованої з енергією розряду 4,6 дж.



а **б**

Рис. 3. Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) зразка товщиною 4 мм зі сталі 30Х13 після ЦЕЕЛ і охолодження на повітрі



а

б

в

Рис. 4. Профілограми максимальної (а) і мінімальної (б) шорсткості поверхні зразків зі сталі 65Г, легованих з енергією розряду 6,8 Дж, та шорсткості поверхні зразка зі сталі 65Г товщиною 1 мм, легованої з енергією розряду 4,6 Дж

Слід зазначити, що для більш рівномірного розподілу мікротвердості по перетину при гартуванні на повітрі необхідно проводити ЦЕЕЛ по обидві сторони зразка.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, при цементації методом ЕЕЛ мікрометалургійні процеси протікають у відрізку часу, обумовлені частками секунди, і при цьому не відбувається розігрівання всієї маси деталі. Незважаючи на короткочасність дії одиничних імпульсів і загальну невисоку температуру деталі, у її поверхневих шарах розвиваються дифузійні процеси, необхідні для формування шару. У результаті надшвидкісного нагрівання й охолодження матеріалів (до декількох тисяч градусів за секунду), високого тиску, що розвивається каналом розряду в крапці його виникнення, утворюється дифузійний шар, відбувається цементація методом ЕЕЛ. При цьому сам процес зміцнення поверхневих шарів деталі методом ЦЕЕЛ залишається екологічно безпечним.

Висновки. Запропоновано спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графітовим електродом. Рекомендовано ЦЕЕЛ проводити у два етапи, що включає гартування і відпуск. На першому етапі здійснюють нагрівання сталевої деталі до температури гартування сталі, з якої вона виготовлена, з подальшим охолодженням на повітрі або у маслі, а на другому етапі виконують нагрівання обробленої на першому етапі деталі до температури відпуску з подальшим охолодженням на повітрі, при цьому для досягнення температури гартування і відпуску при ЦЕЕЛ поверхонь деталей з листової сталі товщиною від 1,0 до 10 мм застосовують енергію розряду 4,6-6,8 Дж і продуктивність 0,2-3,0 см²/хв.

Застосування запропонованого способу супроводжується значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії, часу, що витрачається на термооброблення, відсутністю жолоблень і деформацій, а отже, і необхідності додаткової механічної обробки для усунення відхилень форми заготовки після ТО, застосуванням простого і екологічно чистого обладнання.

Література

1 Panasyuk A., Umanskyi O., Storozhenko M., Akopyan V. Development of TiB2−based cermets with Fe−Mo binder. Key Engineering Materials, 2013. Vol. 527. P. 9–13. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.527.9

2 Umanskyi O., Storozhenko M., Antonov M., Terentjev O., Koval O., Goljandin D. Effect of thermal spraying method on the microstructure and wear behaviour of FeNiCrBSiC−CrB_2 coating. Key Engineering Materials, 2019. Vol. 604. P. 16–19. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.37

3 Storozhenko M. S., Umanskii A. P., Terentiev A. E., Zakiev I. M. Effect of the structure of TiB_2−(Fe−Mo) plasma coatings on mechanical and tribotechnical properties. Powder metallurgy and Metal Ceramics, 2017. Vol. 56, № 1−2. P. 60−69. DOI: 10.1007/s11106-017-9847-y

4 Барвинок В.А., Смелов В.Г., Сотов А.В., Косырев С.А. Восстановление торца пера лопатки ГТД метод импульсной лазерной наплавки. Проблемы машиностроения и автоматизации, 2014. № 3. С. 158-162.

5 Smelov V.G., Sotov A.V., Kosirev S.A. Development of process optimization technology for laser cladding of GTE compressor blades. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. V. 9. No 10. P. 1854-1858.

6 Жаткин С.С., Паркин А.А., Минаков Е.А. Особенности микроструктуры Stellite 190W при плазменно-порошковой наплавке на медь. Естественные и технические науки, 2011. № 6(56). С. 562-564.

7 Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel. Engineering, Scientific Research Publishing, 2011. Т. 9(3). С. 942-948.

8 Шовкопляс А. В. Дисковые рабочие органы борон: технологии изготовления и восстановления. Лесотехнический журнал. Технологии. Машины и оборудование, 2016. №1. С. 203-211.

9 Кожуро Л.М. Технология сельскохозяйственного машиностроения: курс лекцій. Минск, 2005. – 414 с. - URL: http://www.batu.edu.by/publication/tekhnologiya-selskokhozyaistvennogo-mashinostroeniya-kurslektsiil-m-kozhuro.

10 Способ изготовления ножей сельскохозяйственных машин: пат. 2031146 РФ: МПК C21D9/18; заявл. 09.07.1992, опубл. 20.03.1995. 3 с.

11 Сафонов Б.П. Технологические процессы в сервисе. Часть 2. Справочные материалы для студентов специализации 230712: учебное пособие. Новомосковск: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. 57 с.

12 Радионов А.В. Оценка техногенного риска оборудования опасных производств системным многоуровневым аналізом. Збірник наукових праць НУК, 2015. №4. С. 82-91.

13 Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976. 46 с.

14 Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням: пат. України на винахід 82948: МПК 23С 8/00; опубл. 25.03.2008, Бюл. №10. 4 с.

15 Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням: пат. України на винахід 101715: МПК 23Н 9/00, опубл. 25.01.2013, Бюл. № 8. 3с.

16 Шовкопляс А. В. Дисковые рабочие органы борон: технологии изготовления и восстановления. Лесотехнический журнал. Технологии. Машины и оборудование, 2016. №1. С. 203-211.

17 Заявка реєстраційний №a201909724 від 10.09.2019 р. на видачу патенту на винахід «Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графітовим електродом» Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Саржанов О.А., Коноплянченко Є.В., Гапон О.О., Саржанов Б.О.

V. Tarelnyk[1], O. Haponova[2],
B. Sarzhanov[1]
[1]Sumy National Agrarian University,
[2]Sumy State University

METHOD OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HARDENING OF SHEET METAL PARTS BY ELECTROEROSIVE ALLOYING WITH A GRAPHITE ELECTRODE

This paper analyzes the hardening methods used in the production of sheet metal parts. In this case, a large number of technological methods, both environmentally friendly and environmentally unfriendly, are used. In order to protect it against abrasive wear, the surface of parts is subjected to different types of hardening: overlaying with hard and wear-resistant materials, plasma spraying, thermochemical treatment (TCT), etc. However, these methods are energy-intensive and involve the increased man-made and environmental hazards. The technical solution is represented in the article. It relates to the field of mechanical engineering and machine repair, in particular to the environmentally friendly restoration and simultaneous hardening of sheet steel parts by means of cementation with electroerosive alloying (CEEA) with a graphite electrode. The method of environmentally friendly hardening of sheet metal parts by CEEA includes quenching and tempering. At the first stage, a steel part is heated to the quenching temperature of steel, it is made of, with subsequent air or oil cooling, and at the second stage, the part is heated to the tempering temperature with subsequent air cooling. To reach the quenching and tempering temperatures in the case of CEEA of sheet metal part surfaces, from 1.0 to 10 mm thick, a discharge energy of 4.6–6.8 J and a productivity of 0.2–3.0 cm^2/min are used. To achieve the uniform distribution of cross-sectional microhardness in case of air quenching, CEEA is performed on both sides of the part. The method application is accompanied by a significant reduction of costs on electricity and time for heat treatment, absence of grooves and deformations. Hence there is no need for additional machining of the parts to eliminate deviations from the initial shape after heat treatment, and simple and environmentally friendly equipment can be used.

Key words: environmentally friendly hardening, electroerosive alloying, cementation, tempering, microstructure, microhardness, roughness.

References

1 Panasyuk A., Umanskyi O., Storozhenko M., Akopyan V. Development of TiB_2−based cermets with Fe−Mo binder. Key Engineering Materials, 2013. Vol. 527. P. 9–13. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.527.9

2 Umanskyi O., Storozhenko M., Antonov M., Terentjev O., Koval O., Goljandin D. Effect of thermal spraying method on the microstructure and wear behaviour of FeNiCrBSiC−CrB2 coating. Key Engineering Materials, 2019. Vol. 604. P. 16–19. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.37

3 Storozhenko M. S., Umanskii A. P., Terentiev A. E., Zakiev I. M. Effect of the structure of TiB2−(Fe−Mo) plasma coatings on mechanical and tribotechnical properties. Powder metallurgy and Metal Ceramics, 2017. Vol. 56, № 1−2. P. 60−69. DOI: 10.1007/s11106-017-9847-y

4 Barvinok V.A., Smelov V.G., Sotov A.V., Kosyrev S.A. Vosstanovleniye tortsa pera lopatki GTD metod impul'snoy lazernoy naplavki. Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii, 2014. № 3. S. 158-162.

5 Smelov V.G., Sotov A.V., Kosirev S.A. Development of process optimization technology for laser cladding of GTE compressor blades. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. V. 9. No 10. P. 1854-1858.

6 Zhatkin S.S., Parkin A.A., Minakov Ye.A. Osobennosti mikrostruktury Stellite 190W pri plazmenno-poroshkovoy naplavke na med'. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki, 2011. № 6(56). S. 562-564.

7 Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel. Engineering, Scientific Research Publishing, 2011. T. 9(3). S. 942-948.

8 Shovkoplyas A. V. Diskovyye rabochiye organy boron: tekhnologii izgotovleniya i vosstanovleniya. Lesotekhnicheskiy zhurnal. Tekhnologii. Mashiny i oborudovaniye, 2016. №1. S. 203-211.

9 Kozhuro L.M. Tekhnologiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroyeniya: kurs lektsíy. Minsk, 2005. – 414 c. - URL: http://www.batu.edu.by/publication/tekhnologiya-selskokhozyaistvennogo-mashinostroeniya-kurslektsiil-m-kozhuro.

10 Sposob izgotovleniya nozhey selskohozyaystvennyih mashin: pat. 2031146 RF: MPK C21D9/18; zayavl. 09.07.1992, opubl. 20.03.1995. 3 s.

11 Safonov B.P. Tehnologicheskie protsessyi v servise. Chast 2. Spravochnyie materialyi dlya studentov spetsializatsii 230712: uchebnoe posobie. Novomoskovsk: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2007. 57 s.

12 Radionov A.V. Otsenka tehnogennogo riska oborudovaniya opasnyih proizvodstv sistemnyim mnogourovnevyim analizom. Zbirnik naukovih prats NUK, 2015. No 4. S. 82-91.

13 Lazarenko N.I. Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskih poverhnostey. M.: Mashinostroenie, 1976. 46 s.

14 Sposib tsementatsiyi stalevyh detaley elektroeroziynim leguvannyam: pat. Ukrainy na vinahid 82948: MPK 23S 8/00; opubl. 25.03.2008, Byul. No 10. 4 s.

15 Spossb tsementatsiyi stalevih detaley elektroeroziynim leguvannyam: pat. Ukrainy na vinahid 101715: MPK 23N 9/00, opubl. 25.01.2013, Byul. No 8. 3s.

16 Shovkoplyas A. V. Diskovyie rabochie organyi boron: tehnologii izgotovleniya i vosstanovleniya. Lesotehnicheskiy zhurnal. Tehnologii. Mashinyi i oborudovanie, 2016. No 1. S. 203-211.

17 Zayavka reyestratsiynyy №a201909724 vid 10.09.2019 r. na vydachu patentu na vynakhid «Sposib ekolohichno bezpechnoho zmitsnennya detaley z lystovoyi stali metodom elektroeroziynoho lehuvannya stalevykh poverkhon′ hrafitovym elektrodom» Tarel′nyk V.B., Martsynkovs′kyy V.S., Haponova O.P., Sarzhanov O.A., Konoplyanchenko YE.V., Hapon O.O., Sarzhanov B.O.

Надійшла до редакції 17 грудня 2019 р.