

УДК 621.793.6

*В. Г. Каплун, П. В. Каплун, Ю. І. Шалапко***КОМПЛЕКСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН***Наведено результати експериментальних досліджень властивостей поверхні конструкційних сталей після зміцнення з використанням комплексних технологій електроіскрового та лазерного легування з подальшим іонним азотуванням.*

Підвищення довговічності та надійності машин є одним з найважливіших завдань машинобудування. Досвід експлуатації машин свідчить, що майже 80 % деталей машин виходить з ладу в зв'язку зі зношуванням і руйнуванням їх поверхні. Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є зміцнення поверхневих шарів деталей машин. В даний час існує велика кількість технологій зміцнення поверхні конструктивних елементів. Для різних умов експлуатації необхідні різні фізико-механічні властивості, структура, хімічний та фазовий склад поверхневих шарів, які забезпечать максимальні експлуатаційні параметри деталей машин. Таких оптимальних властивостей поверхневих шарів не завжди можна досягнути за допомогою стандартних технологій зміцнення, що вимагають використання кількоступеневої обробки поверхонь за допомогою високоенергетичних методів обробки, зокрема, з використанням електричних розрядів, лазерів тощо.

Відомі приклади застосування технологій для комплексного зміцнення поверхні деталей машин [1-6], які дозволили значно підвищити зносостійкість і довговічність конструктивних елементів.

Нами проведені дослідження зміни фізико-механічних характеристик поверхневих шарів (мікротвердості і мікроструктури) сталей після застосування технологій електроіскрового легування (ЕІЛ), лазерного легування з оплавленням (ЛО) поверхні та послідовного іонного азотування в плазмі тліючого розряду.

Методика експериментальних досліджень

Дослідження проводилися на сталях 45, 30ХГСА і 20Х13. Зразки виготовлялись зі сталей, що досліджувались без попередньої термічної обробки і мали шорсткість $R_a = 0,125$ мкм. На зразки зі сталі 45 наносились покриття з твердого сплаву ВК8 методом ЕІЛ на установці ЕЛФА-541 за таким технологічним режимом: діаметр легуючого електрода – 1 мм, частота обертання електрода – 600 хв.⁻¹, ємність конденсаторного блоку – 1 мкФ, тривалість імпульсів – 12 мкс, сила струму – 12,8 А, швидкість проходження – 0,8 мм/с, кількість проходів – 2, товщина покриття – 10 мкм. Після цього покриття опроміню-

валося лазерним променем в режимі термічної обробки та оплавлення поверхні за параметрами, що наведено нижче.

Зразки зі сталей 45, 30ХГСА, 20Х13 легували лазерним оплавленням тонких шарів з порошків металів, їх суміші та твердого сплаву ВК8, що наносили на поверхню перед легуванням за допомогою клею БФ-2. Легування проводили на лазерній установці КВАНТ-18М за таким режимом: пляма опромінювання – 4 × 4 мм, густина енергії імпульсу – 1,2.....2,2 Дж/мм², тривалість імпульсу – 3 мкс, довжина хвилі опромінювання – 1,04 мкм; коефіцієнт перекриття – 0,2.

Всі зразки після легування азотувалися в плазмі тліючого розряду. Азотування проводилось за режимом: температура дифузного насичення – 650 °С, тиск насичуючого середовища – 250 Па, склад насичуючого середовища – 25 об. % N₂ + 73 об. % Ar + 2 об. % H₂, час азотування 180 хв.

Вимірювання мікротвердості проводилися на мікротвердомірі ПМТ-3. Мікроструктурні дослідження проводилися методом металографії з використанням мікроскопа МІМ-10 та растрової мікроскопії з використанням мікроскопа РЕМ-101М.

Результати експериментальних досліджень

В таблиці 1 наведені результати вимірювань мікротвердості і товщини зміцненого поверхневого шару зразків із різних сталей після комплексної обробки поверхні методами ЕІЛ, лазерного легування різними методами при різних значеннях густини енергії імпульсу (з оплавленням поверхні та без оплавлення) і послідовним іонним азотуванням в плазмі тліючого розряду. З результатів, що наведені у таблиці 1, можна зробити висновок, що в залежності від методу зміцнення, параметрів легування і легуючого елемента одержували різні поверхневі шари із твердістю від 5200 до 9890 МПа та товщиною від 20 до 110 мкм. Твердість зміцненого поверхневого шару залежить від структури матеріалу та кількості карбідів легуючих елементів, що утворюються в розплаві при дії лазерного променя або електричної дуги. Товщина зміцненого шару залежить від густини енергії імпульсу лазерного променя. Чим вища концентрація карбідів за-

ліза та легуючих елементів в поверхневому шарі сталі та більша густина енергії імпульсу лазерного променя, тим більша твердість і товщина зміцненого шару (режим 2 з таблиці 1). Так при густині енергії імпульсу лазерного променя 1,6 Дж/мм² товщина зміцненого шару склала 52 мкм і концентрація карбідів вольфраму була більшою в порівнянні з режимом 2, де товщина зміцненого шару склала 110 мкм, при густині енергії імпульсу лазерного променя 2,2 Дж/мм². Мікротвердість поверхні зміцненого шару дорівнювала відповідно 5910 та 5200 МПа.

Дослідженнями встановлено, що після іонного азотування всіх легованих зразків мікротвердість поверхні значно збільшувалась (табл. 1). Це можна пояснити тим, що в результаті іонного азотування утворилися нітриди заліза (MeN, Me₂₋₃N, Me₄N), що мають високу твердість.

Азотовані шари, що утворюються в результаті іонного азотування, мають на поверхні нітридну зону, товщина якої може складати від 1 до 10 мкм, та зону внутрішнього азотування товщиною до 400 мкм. Зона внутрішнього азотування складається, в основному, з твердого розчину азоту в залізі (α -фаза) з різною концентрацією азоту, що поступово зменшується від нітридної зони до серцевини. Товщиною і фазовим складом нітридної зони та зони внутрішнього азотування можна керувати за допомогою технологічних параметрів іонного азотування і тим самим впливати на фізико-механічні характеристики конструкційних елементів і їх поверхні [7, 8, 9].

Таблиця 1

№ п/п	Марка сталі	Вихідна мікротвердість поверхні зразків Н ₁₀₀ , МПа	Метод легування поверхні	Густина енергії імпульсу при лазерному легуванні, Дж/мм ²	Мікротвердість поверхні після легування Н ₁₀₀ , МПа	Мікротвердість поверхні після азотування Н ₁₀₀ , МПа	Товщина зміцненого шару після легування, мкм
1	Сталь 45	2200	ЛО (Nb)	1,2	7180	10950	20
2	Сталь 45	2400	ЕЛ (ВК8) + ЛО	2,2	5200	8710	110
3	Сталь 45	2350	ЛО (ВК8)	1,6	5910	13200	52
4	30ХГСА	3650	ЛО (W)	1,8	7200	11700	55
5	30ХГСА	3120	ЛО (Nb)	1,6	5820	13360	50
6	20Х13	2370	ЛО (Ti + Ni)	1,6	7860	8200	45
7	20Х13	2280	ЛО (Nb)	1,6	7250	11450	48
8	20Х13	2240	ЛО (Mo)	1,6	9890	10800	42

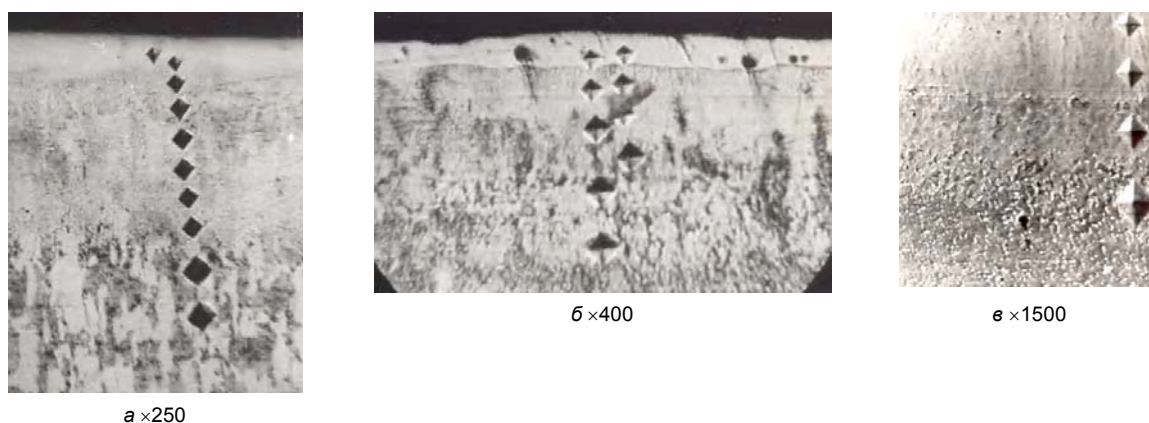


Рис. 1. Мікроструктура поверхнього шару сталі 45 після:

а – ЕЛ (ВК8) з глибоким лазерним оплавленням (ЛО) і послідуочим іонним азотуванням в тліючому розряді; б – ЕЛ (ВК8) – з поверхневим лазерним оплавленням покриття ВК8 + послідуоче іонне азотування; е – фрагмент мікроструктури поверхнього шару ЛО (ВК8) + азотування (растрова мікроскопія)

Твердість зразків на глибині 50 мкм в 1,5.....2 рази перевищувала вихідну (рис. 1, 2). Дослідженнями багатьох авторів [10, 11, 12] показано, що в результаті лазерного легування і лазерного гартування на поверхні утворюється мікродисперсна структура, що приближається до аморфної з утворенням в зоні термічного впливу перехідної зони з грубозернистою структурою.

На рис. 1, а показана мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після електроіскрового легування сплавом ВК8 з наступним глибоким лазерним оплавленням поверхні (ЕІЛ (ВК8) +ЛО) та лазерного легування поверхні в режимі мікрооплавлення покриттям ВК8 (рис. 1, б). Грубозернисту структуру поверхневого шару досить чітко видно, а також фіксується й перехід в дрібнозернисту (рис. 1, в). На поверхні зміцненого шару є тонкий нітридний прошарок (1,5.....2 мкм) білого кольору, котрий має дуже високу мікротвердість (8710.....13200 МПа), котра поступово зменшується по глибині зразка.

На рис. 2 представлена мікроструктура зміцненого шару зразків із сталей 30ХГСА і 20Х13 після лазерного легування вольфрамом, молібденом і ніобієм та послідовним іонним азотуванням. Рис. 2 (а, в, г) свідчать, що після лазерного легування вольфрамом і ніобієм існує різка границя між зміцненим шаром і основою, причому перехідна

зона, ледь помітна, хоча й має досить великі розміри (до 50 % від зони легування). Після лазерного легування молібденом існує невелика (рис. 2, б) перехідна зона, що має збільшенні зерна в структурі матеріалу. Це можна пояснити тим, що вольфрам і ніобій є більш активними карбидоутворюючими елементами ніж молібден, що і вплинуло на утворені мікроструктури перехідних зон, та у прошарках термічного впливу при лазерному легуванні. На поверхні зміцненого шару всіх зразків добре розрізняється білий шар нітридів, товщиною 1,5.....2 мкм.

Таким чином, на основі проведених досліджень показано, що застосування комплексної технології зміцнення із застосуванням електроіскрового та лазерного легування поверхні металів з послідовним іонним азотуванням дозволяє отримати інші, більш високі фізико-механічні властивості поверхневих шарів з різним фазовим складом (карбідами та нітридами заліза і легуючих елементів) та градієнтною структурою і твердістю по глибині зразків. Цими властивостями можна добре керувати, що сприятиме підвищенню експлуатаційних характеристик конструкційних елементів.

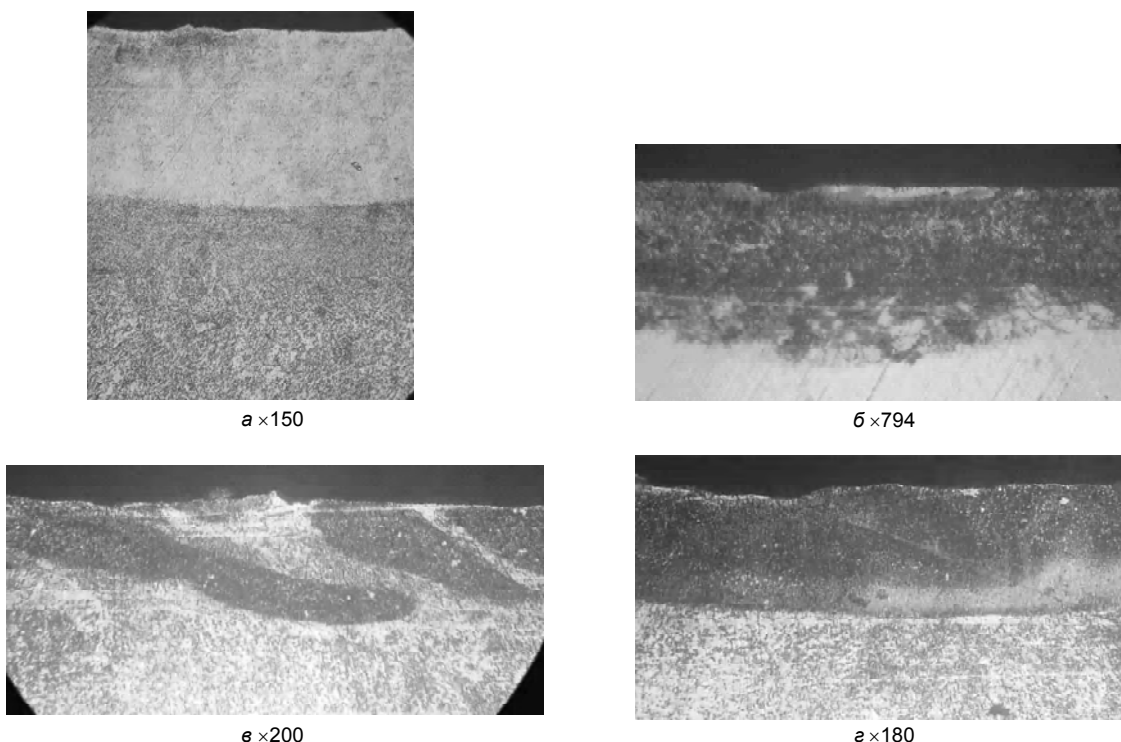


Рис. 2. Мікроструктура поверхневого шару після лазерного легування різними елементами з оплавленням і послідовним іонним азотуванням в тліючому розряді:

- а – сталь 30 ХГСА – лазерне легування вольфрамом ЛО (W) + азотування – енергія імпульсу 2,2 Дж/мм²;
- б – сталь 20Х13 – лазерне легування молібденом ЛО (Mo) + азотування – енергія імпульсу 1,8 Дж/мм²;
- в – сталь 30 ХГСА – лазерне легування ніобієм ЛО (Nb) + азотування – енергія імпульсу 1,9 Дж/мм²;
- г – сталь 30ХГСА – лазерне легування ніобієм ЛО (Nb) + азотування – енергія імпульсу 2,2 Дж/мм²

Перелік посилань

1. Комплексное упрочнение лопаток компрессора. /В.Г. Каплун, В.А. Богуслаев и др./ Вісник двигунобудування №1/2002. – Видавн. ОАО «Мотор Січ». – Запоріжжя, 2002. – С. 96-100.
2. Патент №22015А Спосіб отримання комбінованих покриттів тугоплавких металів. /Каплун В.Г., Олександренко В.П., Пастух І.М., Пилипів О.В., 1997 р.
3. Каплун П.В. Вплив покриттів на зносостійкість і довговічність підшипників кочення. //Проблеми трибології (Problems of Tribology) – Хмельницький. – 2003. – №4. – С. 131-140.
4. Шалапко Ю.І., Каплун В.Г., Гончар В.В. Модифікування сталі 45 лазерним випромінюванням/ /Вісник Технологічного університету - 2002. – ч. 1.– №5. С. 164-168.
5. Norbert Radek, Jurij Szalapko. Manufacture of heterogeneous surfaces by electro- spark deposition and laser beam//Вісник двигунобудування-2006. – № 2 – С. 208-210.
6. Radek N., Szalapko J. Powioki elektroiskrowe WC-Co modyfikowane wiązki laserowej// Проблеми трибології.– 2006.– №3. – С. 88-92.
7. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. / – М.: Машиностроение. –1976. –256 с.
8. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активированных газовых средах. / – М.: Машиностроение. – 1976. – 224 с.
9. Каплун В.Г., Каплун П.В. Вплив технології нанесення дифузійних покриттів на характеристики міцності і пластичності конструкційних сталей. // Вісник Технологічного університету Поділля, Хмельницький. – 1999. –№3. – С. 7-10.
10. Совместное применение лазерной обработки и поверхностной пластической деформации после электроискрового легирования стали хромом /Берегев Г. А., Браталов В.П., Пепеляев В. В.// Электронная обработка материалов. – 1990. – №1. – С. 7-9.
11. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Методы поверхностной лазерной обработки. М., Высшая школа, 1987. – С. 192.
12. Y.I. Shalapko, V.G. Kaplun .Fretting-wear of constructional steel 1045 after laser modification of surface// Applied mechanics and engineering – 2002. – volume 7, p.425-431.

Поступила в редакцию 20.06.2007

Приведены результаты экспериментальных исследований свойств поверхности конструкционных сталей после упрочнения с использованием комплексных технологий электроискрового и лазерного легирования с последующим ионным азотированием.

The article deals with the results of experimental investigations of surface properties of structured steels after strengthening with complex technologies of electro-sparkling and laser alloying with subsequent ionic nitriding.