

Кіндрачук М.В.¹, Яхья М.С.¹, Герасимова О.В.¹, Іщук Н.В.²

¹ Національний авіаційний університет. Україна, Київ.

² Національний технічний університет України "КПІ". Україна, Київ

ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕЙ НАНЕСЕННЯМ ДИСКРЕТНИХ АЗОТОВАНИХ ШАРІВ

Анотація

Розглянуто особливості впливу попередньої дискретної лазерної обробки на фазовий склад, будову і властивості азотованих шарів на сталях. Показано, що якісний та кількісний характер змін в азотованому шарі визначається попередньо сформованим структурно-фазовим станом.

Abstract

Preliminary discrete treatment affection on the phase composition, structure and properties on steel nitrid's surface layers were considered. It was shown that the strong changes of the steel structure inside of nitrided layers related to the phase and structure composition after laser treatment.

Постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами

Суттєвим недоліком практично всіх видів хіміко-термічної обробки, в тому числі і азотування, є необхідність нагрівання виробів до високих температур та тривала витримка при цих температурах і, відповідно, великі енерговитрати. І хоча деякого підвищення температури, наприклад при цементації сталі, особливо побоюватися не слід завдяки використанню спадково-дрібнозернистих сталей і правильного підбору наступної термічної обробки, все ж для більшості матеріалів підвищення температури є небажаним, оскільки призводить до росту зерна та погіршенням механічних властивостей. Інший шлях — збільшення часу ізотермічної витримки — виявляється часто економічно недоцільним. Разом з тим, відомо, що вуглецеві сталі практично не зміцнюються при азотуванні за низької розчинності азоту в α -залізі в субкритичній області температур [1]. Практично не піддаються хіміко-термічній обробці високолеговані сталі. В зв'язку з цим увага багатьох дослідників спрямована на пошук нових способів інтенсифікації процесу масоперенесення в умовах хіміко-термічної обробки металів і сплавів.

Одним із важливих шляхів пришвидшення дифузії в металах є, наприклад, використання режиму циклічної зміни температури. Такий режим особливо для металів і сплавів, що зазнають фазові перетворення за мартенситним механізмом, приводить до збільшення швидкості дифузії [2, 3].

Проте, цей ефект невеликий і не дозволяє суттєво скоротити час хіміко-термічної обробки.

Використовують й інші методи інтенсифікації дифузійних процесів. Так, відомий спосіб термо-механічної обробки сталі [4], який включає цементацію, високотемпературну термомеханічну поверхневу обробку і звичайний ізотермічний відпал з нагрівом струмами високої частоти. Відомі також способи попередньої пластичної деформації з наступним азотуванням та цементацією [5] і механіко-хіміко-термічної обробки металів [6]. Про суттєве підвищення швидкості перенесення атомів різних елементів при окремих видах (механічної, механоультразвукової, фрикційно-зміцнюючої тощо) обробок, що приводить до виникнення в оброблюваному металі шарів, відзначається в [7]. В ряді робіт показано прискорюючий вплив імпульсного лазерного випромінювання на дифузійну рухомість атомів, якими насичується матеріал [8]. Прискорене формування дифузійних шарів має місце при поєднанні процесу тертя з дією газового середовища, в якому відбувається насичення сталі [9].

Як буде показано нижче, інтенсифікувати хіміко-термічну обробку, тобто пришвидшити дифузю атомів азоту, вуглецю та інших елементів вглиб матеріалу і отримати ті ж параметри покриттів (їх товщину, мікротвердість та ін.) при менших температурах та витримках (а відтоді при менших енергозатратах) або при стандартних режимах насичення отримати покриття більшої товщини і з кращими показниками мікротвердості і зносостійкості, можна за рахунок збільшення дефектності кристалічної будови матеріалу, а саме збільшення густини дислокацій, подрібнення зерен і, відповідно, збільшення протяжності їх границь.

Мета роботи

Робота присвячена дослідженню впливу попередньої обробки поверхні сталі лазерним випромінюванням в твердому стані на подальшу хіміко-термічну обробку, зокрема азотування.

Матеріали і методика дослідження

Лазерну дискретну обробку сталей У8, 40Х, 40Х18Н10Т, 40Х13 здійснювали на установці "ЛАТУС-31" за режимами: потужність випроміню-

нювання — 0,9–1,1кВт, діаметр ділянки фокусування променя — 5 мм, швидкість пересування лазерного променя — 0,5, 0,8, 1,2, 1,4 м/хв (рис. 1). При цьому температура поверхневого шару для сталі перевищувала АСз, але була нижчою температур плавлення.

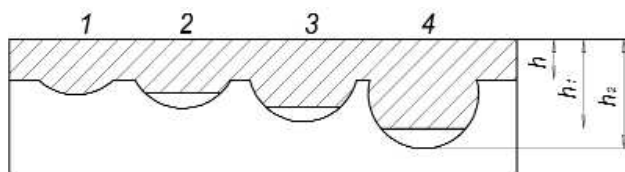


Рис. 1. Схема лазерної обробки сталі У8.

1, 2, 3, 4 — ділянки лазерної обробки, які відповідають швидкостям пересування променя лазера відповідно 1,4, 1,2, 0,8, 0,5 м/хв, h — глибина азотованого шару без лазерної обробки, h_1 — глибина азотованого шару в зоні лазерної обробки, h_2 — глибина лазерної обробки

Азотування проводили в середовищі аміаку за температури 800–860 К. Час витримки — 15–20 год.

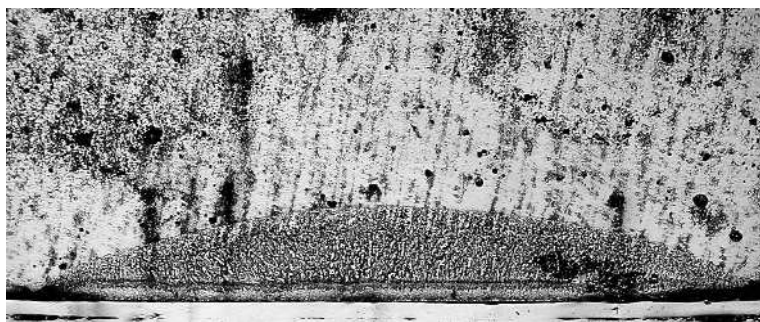


Рис. 2. Мікроструктура сталі У8 після лазерної обробки та азотування ($V=0,8$ м/хв).
x500

Дослідження структури, товщини, фазового складу, мікротвердості та вмісту азоту поверхневих шарів зразків проводили методами метало-

графічного та рентгеноструктурного аналізу в $Fe_{K\alpha}$ випромінюванні, дюрOMETричного аналізу та газового аналізу з використанням відповідно металографічного мікроскопу "Neophot-21" з цифровою приставкою, ДРОН-3, ПМТ-3 та аналізатора фірми "Леко" ТМ 114.

Результати дослідження та їх обговорення

Зміни в морфології зеренної структури сталі після лазерної обробки і наступного азотування показанні на рис. 2.

Ці зміни характеризуються інтенсивним подібненням вихідної зеренної структури. При такому перетворенні структури різко зростає протяжність границь зерен, зростає площа та активність їх поверхні, що спричиняє прискорення дифузії атомів проникнення.

Аналіз отриманих даних показав, що залежно від технологічних параметрів лазерної обробки (швидкості пересування лазерного променя) змінюється фазовий склад, товщина і мікротвердість азотованого шару (табл. 1).

На ділянках зразків без лазерної обробки товщина азотованого шару складала 0,15 мм, а мікротвердість на поверхні — 3,5 ГПа. Після лазерної обробки товщина азотованого шару визначається товщиною обробленого лазером шару і досягає 0,460 мм з мікротвердістю 8 ГПа (рис. 2). За даними [1] мікротвердість азотованого шару на вуглецевих сталях не перевищує 3 ГПа. Після обробки лазером на поверхні зразків формується азотований шар високої твердості (рис. 3). Зниження мікротвердості при підвищенні швидкості руху лазерного променя напевно пов'язано із скороченням тривалості дії лазера і неповним завершенням фазового перетворення.

Таблиця 1

Параметри поверхневих шарів на сталі У8

Вид обробки	Швидкість пересування лазерного променя V, м/хв	Товщина шару, мм	Поверхнева мікротвердість, ГПа	Вміст азоту, %	Фазовий склад дифузійного шару
Азотування без лазерної обробки	—	0,115	3,5	0,071	α - Fe_2O_3 ; γ - Fe_2O_3 ; Fe_2O_3 ; FeC; FeS; Fe_3C ; FeC; FeO; Fe_3N ; Fe_2N ; Fe_4N ; ϵ -Fe
Азотування після лазерної обробки при швидкості пересування лазерного променя	0,5	0,632/0,461*	7,3	0,158	FeS_2 ; Fe_3O_4 ; Fe_2O_3 ; FeO; γ - Fe_2O_3 ; α - Fe_2O_3 ; FeO; Fe_2C ; Fe_3C ; FeC; Fe_2N ; Fe_3N ; Fe_4N ; FeS; α -Fe; ϵ -Fe
	0,85	0,580/0,200	8,7	0,150	
	1,2	0,192/0,190	7,3	0,143	
	1,4	0,124/0,120	7,0	0,143	Fe_2O_3 ; FeC; Fe_2N ; Fe_3C ; Fe_5C_2 ; α -Fe; ϵ -Fe

* - в чисельнику — товщина обробленого лазером шару,
- в знаменнику — товщина азотованого шару.

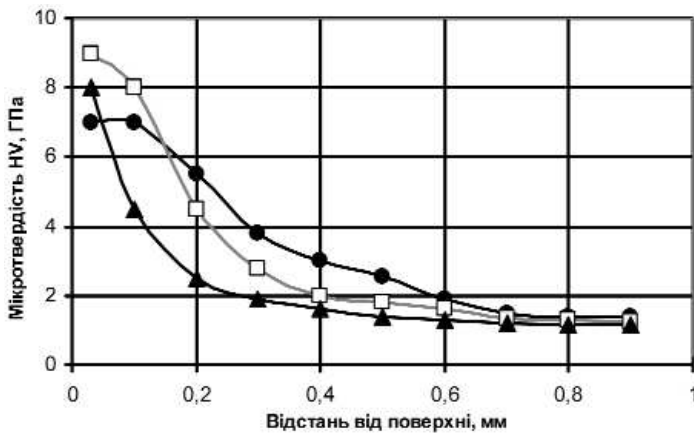


Рис. 3. Зміна мікротвердості за глибиною шару в залежності від швидкості пересування лазерного променя:
 ● – $V=0,5$ м/хв., □ – $V=0,8$ м/хв., ▲ – $V=1,4$ м/хв

Мікротвердість з віддаленням від поверхні в глибину шару плавно знижується до рівня вихідної матриці. Ефективна глибина шару після обробки зі швидкістю переміщення променя лазера 0,8 м/хв складає приблизно 0,45 мм для сталі У8 і 0,1 мм для сталі 12Х18Н10Т (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри азотованих шарів на сталях з попередньою лазерною обробкою

Матеріал	Товщина шару*, мм	Поверхнева мікротвердість, ГПа
У8	0,45	3,7
40Х13	0,21	8,8
12Х18Н10Т	0,10	12,0

* швидкість пересування лазерного променя 0,8 м/хв

Фазовим рентгеноструктурним аналізом показано, що без попередньої лазерної обробки в азотованому шарі переважає ϵ -фаза (гексагональний нітрид заліза Fe_3N), тоді як після лазерної обробки основу нітридного шару складає γ -фаза (кубічний нітрид заліза Fe_4N). Крім того спостерігається тенденція розширення інтерференційних ліній α -фази. Такі зміни структурного стану поверхні дозволяють не тільки зменшити кількість крихкої і пористої ϵ -фази, підвищити концентрацію азоту в α_N і γ -фазах, але і суттєво прискорити дифузійні процеси в порівнянні з традиційними методами [10].

Відомо, що перспективним методом зміцнення і підвищення довговічності деталей машин є створення зносостійких дискретних покриттів [11]. Такі покриття дозволяють забезпечити необхідні експлуатаційні показники і зниження напружень. Експериментальними дослідженнями встановлено, що площа обробки повинна бути 15–25%. Це обумовлено створенням такого напружено-дефор-

мованого стану, який забезпечує мінімальні напруження при терті, що підтверджено аналітичними розрахунками [12]. Тому були проведені триботехнічні випробування дискретно оброблених лазером сталей, з наступним азотуванням. Лазерну обробку проводили за такими параметрами: діаметр лазерного променя – 5 мм, відстань між центрами зміцнених зон – 10 мм.

Встановлено, що зносостійкість середньовуглецевої сталі 40Х з дискретними азотованими шарами в 7–9 разів вища за її зносостійкість в азотованому стані без лазерної обробки (табл. 3).

Дослідження напруженого стану зміцненої поверхні показало, що в процесі дискретної лазерної обробки формуються залишкові напруження, неоднорідно розподілені по перерізу лазерно зміцненої зони (доріжки при безперервному і плями при імпульсному режимах роботи). На поверхні доріжки напруження досягають значень $(320-410) \pm 60$ Н/мм². З віддаленням від центру до краю доріжки напруження знижуються практично до нуля. В зразках, підданих додатково азотуванню, залишкові напруження зменшуються в центрі доріжки до $(60-100) \pm 60$ Н/мм². Це пов'язано в основному з температурним впливом в процесі азотування.

Таблиця 3

Залежність зносостійкості сталі 40Х від виду обробки

Вид обробки	Площа обробленої поверхні, %	Знос, мг/см ² за 10 ³ м
Без обробки	–	125,5
Азотування	100%	35,0
Дискретна обробка лазером	10	14,7
	20	10,2
	30	12,4
	40	15,6
	50	19,0
Дискретна обробка лазером + азотування	10	7,8
	20	4,0
	30	7,0
	40	9,1
	50	10,2

Висновки

Таким чином, з аналізу отриманих залежностей витікає, що лазерна обробка поверхні вносить значний вклад в процес наступного азотування. При цьому якісний та кількісний характер змін в азотованому шарі визначаються попередньо сформованим структурно-фазовим станом. Підвищена розчинність азоту в кристалічній ґратці сталі при обробці її поверхні променем лазера є наслідком утворення високої щільності легкорухомих дислокацій сильного диспергування вихідної зеренної



структури та збільшення протяжності границь зерен. Поверхнєве зміцнення, що включає дискретну лазерну обробку і наступне азотування суттєво підвищує зносостійкість сталей. Все це свідчить про перспективу технологічного поєднання методів лазерної обробки і хіміко-термічної обробки для цілеспрямованої інженерії поверхні.

Література

1. *Чаттерджи-Фишер Р., Ейзелл Ф.В.* Азотирование и карбонитрирование / Под ред. Супова А.В. — М.: Металлургия, 1990. — 280 с.
2. Влияние термоциклической обработки в области $\gamma \leftrightarrow \alpha$ переходов на подвижность атомов в Fe—Ni сплавах / Д.С. Герцрикен, М.Е. Гуревич, Ю.Н. Коваль, В.М. Тышкеви // Термоциклическая обработка металлических изделий. — Ленинград: Наука, 1982. — С. 14—16.
3. *Кіндрачук М.В., Панарін В.Є., Москаленко Ю.М.* Вплив термоциклічної обробки на структуру і властивості плазмових покриттів із евтектичних сплавів на основі заліза // *Металознавство та обробка металів.* — 1995. — №1. — С. 38—45.
4. *Южанов И.В., Юдив В.П.* Термомеханическая обработка цементированной стали 18ХГТ//*МиТОМ.* — 1972. — №2. — С. 75—80.
5. *Вплив* попередньої пластичної деформації на процеси насичення сплавів на основі заліз азотом та вуглецем / Л.Д. Демченко, С.І. Сидоренко, В.Г. Тиняєв, Ю.П. Шейко та ін. // *Металлофизика и новейшие технологии.* — 2000. — 22, №8. — С. 95—101.
6. *Станчук Є.А., Скорпинец Н.М.* Влияние комплексного метода обработки на структуру поверхностных слоев деталей и режущих инструментов // *Тр. Ленинградского кораблестроит. ин-та.* — 1973. — Вып. 67. — С. 64—65.
7. *Бабей Ю.И.* Об аномальном ускорении диффузии при образовании белых слоев// *ФХММ.* — 1975. — №4. — С. 104—106.
8. *Герцрикен Д.С., Мазанко В.Ф., Фальченко В.М.* Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах. — Киев: Наук. думка, 1991. — 208 с.
9. *Юркова О.І., Білоцький О.В.* Структура дифузійних шарів, утворених на сталі Ст.3 при терті у газових середовищах // *Металознавство та обробка металів.* — 2004. — №3. — С. 32—37.
10. *Патент* України С23С8/02 №19551. Спосіб комбінованої лазерно-хіміко-термічної обробки. М.В. Кіндрачук, Н.В. Іщук, В.М. Писаренко, Л.Ф. Головка. — Бюл. "Промислова власність". — 2006. — 12. — С. 12—15.
11. *Кіндрачук М.В., Іщук Н.В., Постернак В.В.* Триботехнічні властивості плазмових покриттів з дискретною структурою // *Проблеми трибології.* — 2003. — №1. — С. 75—81.
12. *Кіндрачук М.В., Яхья М.С., Іщук Н.В.* Напружено-деформований стан дискретно оброблених лазером сталей під час контактної взаємодії // *Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник.* — К.: НАУ, 2006. — Вип. 46. — С. 29—39.