

Вплив лазерного легування на параметри зносостійкості поверхневих шарів сталі 12X18H10T

З. А. Дурягіна, доктор технічних наук, професор

О. А. Кузін, кандидат технічних наук

М. О. Кузін*, кандидат технічних наук

Н. В. Цигилик

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

*Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, Львів

З використанням підходів контактної механіки проаналізовано вплив лазерного легування ніобієм та $MoSi_2$ на зміну параметрів зносостійкості сталі 12X18H10T. Встановлено, що при режимах експлуатації деталей, коли силове навантаження значно менше границі текучості сталі 12X18H10T, доцільно проводити лазерне легування деталей з використанням CO_2 лазера безперервної дії потужністю 800 Вт. При збільшенні навантажень в процесі експлуатації, коли силове навантаження наближається до границі текучості сталі 12X18H10T, слід проводити легування лазером потужністю 6,3 кВт, що призводить до підвищення контактної міцності поверхневих шарів.

Однією з актуальних проблем сучасного матеріалознавства і контактної механіки руйнування є розробка технологічних рішень для підвищення надійності і довговічності деталей, вихід з експлуатації яких може призвести до зупинки роботи всього обладнання або аварійних збоїв. До таких деталей відносяться фланці кожухотрубчастих теплообмінників, які виготовлені зі сталі 12X18H10T, що працюють в умовах інтенсивного зношування. Інструментом для вирішення поставленої задачі обрано лазерне легування в режимі оплавлення, як однієї з найбільш економічних технологій поверхневої обробки. Аналіз впливу режимів лазерного легування на параметри зносостійкості поверхневих шарів сталі здійснено з позицій матеріалознавства та контактної механіки.

Лазерне легування сталі 12X18H10T проведено на CO_2 лазері безперервної дії ЛГН – 702 («Кардамон») потужністю 800 Вт з довжиною хвилі випромінювання 10,6 мкм, швидкістю сканування променя за поверхнею зразка $V = 400$ мм/хв, діаметром плями лазерного випромінювання 1,5 мм (режим I). Для порівняння обробку за режимом II здійснювали на CO_2 лазері безперервної дії фірми «TRUMPF» потужністю 6,3 кВт з довжиною хвилі випромінювання 10,6 мкм, плоским пучком розміром $l \times b = 20 \times 1$ мм і швидкістю сканування променя за поверхнею зразка $V = 1690$ мм/хв [1].

Формування поверхневих шарів проводили при продувці азотом, який був додатковим легуючим елементом. Склад обмазки (46 % Nb + 29 % MoSi₂ + 25 % рідкого скла) підбрано з огляду на необхідність підвищення зносотривкості та корозійної тривкості досліджуваної сталі [1 – 3]. Слід зазначити, що режим лазерного легування підбрано зважаючи на термодинамічний прогноз імовірності утворення метастабільних фаз, аналіз багатокомпонентних діаграм стану з урахуванням хімічної спорідненості між легувальними елементами та підходів контактної механіки. На цій основі створено алгоритмічні схеми, за якими здійснюється вибір оптимальних режимів обробки [4, 5].

Математичну модель механіки, що описує поведінку тіл в умовах контактних навантажень побудовано із врахуванням особливостей мікроструктури поверхневих шарів сталі. Базою даних для моделювання були результати вимірювання мікротвердості (при навантаженні на індентор 1 Н з огляду на співмірність відбитку з розміром плями контакту) та кількісна металографія мікроструктури сформованих поверхневих шарів (табл. 1, рис. 1). Оскільки поверхневі шари мають чітко виражену градієнтну будову, то матеріал вважається неоднорідним, а для його опису використано математичну модель механіки пружного координатно-неоднорідного ізотропного континуума [6].

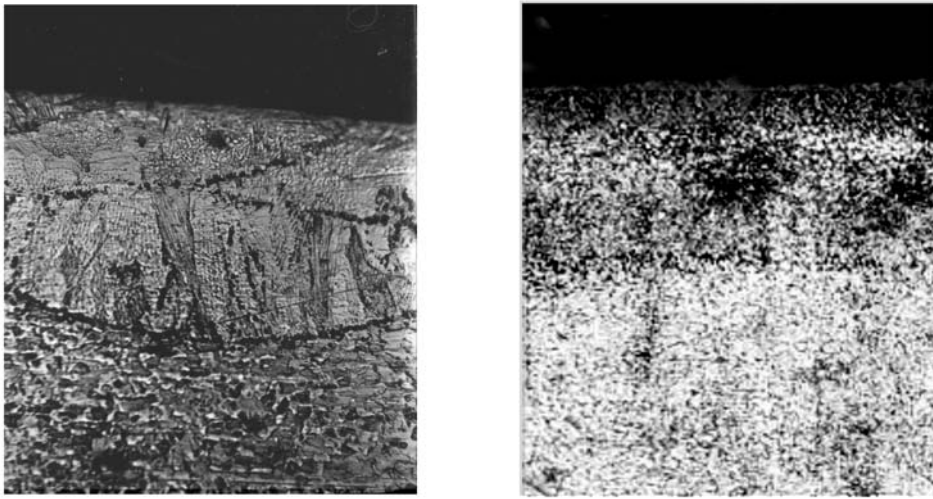
Таблиця 1

Зміна мікротвердості HV за глибиною L після лазерного легування

| Вихідний стан | | Лазерне легування за режимом I | | Лазерне легування за режимом II | |
|---------------|---------|--------------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| L, мкм | HV, ГПа | L, мкм | HV, ГПа | L, мкм | HV, ГПа |
| 32 | 3,93 | 25 | 7,258 | 34 | 9,12 |
| 45 | 3,92 | 50 | 5,472 | 65 | 7,695 |
| 62 | 3,94 | 75 | 4,845 | 94 | 5,092 |
| 81 | 3,93 | 100 | 4,674 | 115 | 3,99 |
| 95 | 3,93 | 125 | 3,971 | 144 | 3,971 |
| 103 | 3,92 | 150 | 4,24 | 169 | 3,99 |
| 153 | 3,93 | 200 | 3,99 | 200 | 3,971 |
| 203 | 3,92 | 250 | 3,99 | - | - |
| 264 | 3,92 | - | - | - | - |

Відомо, що для чисельного моделювання і розв'язання контактних задач фрикційної поведінки необхідно знайти функціональну залежність зміни механічних властивостей матеріалу, отриманих експериментально. Встановлено, що у нашому випадку функціональне наближення слід здійснювати за експоненціальною функцією:

$$F(x) = A_0 + A_1 e^{-Bx}, \quad (1)$$



а

б

Рис. 1. Мікроструктура поверхневого шару після лазерного легування сталі 12X18H10T. а – обробка за режимом I, б – обробка за режимом II. а – х300, б – х500.

де A_0 , A_1 , B – константи. Причому, A_0 , та A_1 встановлюються з фізичних міркувань, а B знаходимо методом найменших квадратів шляхом мінімізації квадратичного відхилення між дискретними експериментальними і функціональними даними [7].

Зважаючи на це було встановлено наступні функціональні залежності:

– для вихідного стану: $HV_0(x) = (3.93) \cdot 10^9$,

– для режиму I: $HV_I(x) = (3.8 + 6.2e^{-0.02364972411x}) \cdot 10^9$,

– для режиму II: $HV_{II}(x) = (3.9 + 10.1e^{-0.0201952536x}) \cdot 10^9$,

де x – відстань від поверхні за глибиною.

За результатами аналізу середньої відносної похибки між функціональними і експериментальними даними встановлено, що для режиму I вона складає 0,037, а для режиму II – 0,022, відповідно.

Методика визначення модуля пружності, характеристик міцності матеріалу та взаємозв'язок між мікротвердістю за Вікерсом і за Меєром для нашої моделі описана у попередній роботі [1]. Поведінку матеріалу аналізували при параболічному законі розподіленого навантаження, що характерно для аналізу поведінки тіла в умовах тертя [8]. Виходячи з цього, поверхневі шари сталі 12X18H10T до і після лазерного легування були досліджені за трьома схемами навантажень: низькоінтенсивних – $|\bar{p}| \leq \sigma_{T0}$, середньоінтенсивних – $\sigma_{T0} \leq |\bar{p}| \leq \sigma_{T1}$, високоінтенсивних – $\sigma_{T1} \leq |\bar{p}|$, де σ_{T0} , σ_{T1} – границя міцності матеріалу сталі у вихідному стані і після лазерного легування за режимом I, \bar{p} – розподілене силове навантаження.

Для розв'язання поставлених задач було написано програму, яка працює в області комп'ютерної алгебри Maple [9] та дозволяє чисельно аналізувати

фрагменти поверхні матеріалу при різних умовах силового навантаження. Для низькоінтенсивного режиму навантаження вибрали силове навантаження $|\bar{p}| = 0.75 \cdot \sigma_{T0} = 0.96 \cdot 10^6$, для середньоінтенсивного – $|\bar{p}| = 0.75 \cdot \sigma_{T1}$, для високоінтенсивного – $|\bar{p}| = 0.75 \cdot \sigma_{T2}$ відповідно. Крім того, було проаналізовано відносну область знеміцнення для різних ділянок поверхні при різних навантаженнях (табл. 2).

Таблиця 2

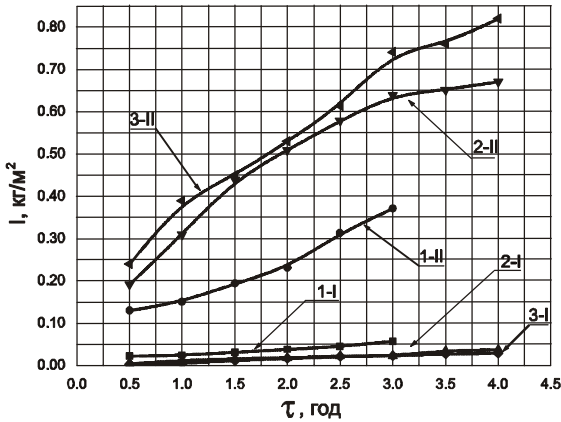
Відносна область (%) знеміцненого матеріалу при різних навантаженнях

| Досліджуваний зразок | Режим низько- інтенсивних навантажень | Режим середньо- інтенсивних навантажень | Режим високо- інтенсивних навантажень |
|--|--|--|--|
| Матеріал у вихідному стані | 6 | 24 | 36 |
| Матеріал після лазерного легування за режимом I | 0 | 10 | 20 |
| Матеріал після лазерного легування за режимом II | 0 | 8 | 12 |

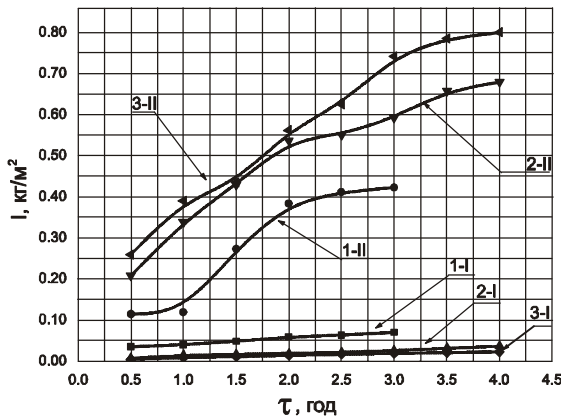
Отримані результати дозволяють зробити висновок, що при навантаженнях низької інтенсивності сталь 12X18H10T можна використовувати без поверхневого легування, при навантаженнях середньої інтенсивності необхідно використовувати лазерне легування за режимом I, при навантаженнях високої інтенсивності – лазерне легування слід здійснювати за режимом II. Це корелює з гетерогенною будовою поверхневих шарів. Адже після лазерного легування сталі 12X18H10T за режимом I сформувався поверхневий шар товщиною 82 – 104 мкм (рис. 1 а), а після обробки за режимом II з обмазки того ж складу товщина шару зменшилася до 80 – 90 мкм (рис. 1 б). За результатами рентгеноструктурного фазового та мікрорентгеноспектрального аналізів встановлено, що в обох випадках поверхневі шари складаються з високолегованого Fe_r (C, Cr) твердого розчину та фаз NbC, Mo_2C , SiC, TiCN. Залежно від режиму обробки розміри окремих фрагментів структури та характер їх розподілу за глибиною різний. Після обробки за режимом II структура має яскраво виражену комірчасту будову.

Використання програмного комплексу «Образ» показало, що при цьому розміри зерен твердого розчину коливаються від 4 – 11 мкм до 2,8 – 9,0 мкм, а вторинних фаз – від 1,0 – 2,1 мкм до 0,75 – 1,60 мкм відповідно. Інтегральна питома частка дрібнодисперсних фаз збільшуються до 81,5 %. З'являються субмікродисперсні вторинні фази розміром 0,75 – 1,00 мкм у кількості 17 %.

Після лазерного легування сталі 12X18H10T за режимом I інтегральна мікротвердість поверхневого шару зменшується від 3,82 до 2,46 ГПа на глибині до 100 мкм (рис. 1 а, табл. 1). При цьому зносостійкість підвищується у 3,7 рази (рис. 2 а).



а



б

Рис. 2. Інтенсивність зношування пар тертя сталь 12X18H10T – контртіло сталь 12X18H10T. 1 – I – вихідний стан, 2 – I – лазерне легування за режимом I, 3 – I – лазерне легування за режимом II. 1 – II – контртіло, 2 – II – контртіло, 3 – II – контртіло. а – навантаження 0,52 МПа, б – навантаження 0,68 МПа.

Після лазерного легування сталі 12X18H10T за режимом II інтегральна мікротвердість поверхневого шару зменшується від 4,8 до 4,0 ГПа на глибині 68 мкм (табл. 1). Зносостійкість при цьому підвищується у 8 разів (рис. 2 б). Така зміна властивостей поверхневого шару після лазерного легування обумовлена особливостями градієнтної структури, що характеризується різним ступенем мікрогетерогенності. Зокрема, у зовнішньому поверхневому шарі ідентифіковано конгломерати фаз нанорозмірів.

Висновки Встановлено, що при навантаженнях середньої інтенсивності (до 1,773 МПа) легування сталі 12X18H10T слід проводити за режимом I, а при збільшенні навантажень до 2,229 МПа – за режимом II. Поверхневі шари, сформовані за режимом II, мають більшу твердість, зносостійкість та контактну міцність внаслідок наявності в їх структурі конгломератів вторинних фаз нанорозмірів.

Література

1. Дурягіна З.А., Кузін О.А., Кузін М.О. Вплив режимів лазерного легування на параметри зносотривкості сталі 12X17Т. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – 47, № 3. – С. 53 – 58.
2. Дурягіна З. А. , Лазько Г. В. Структура та властивості сталі 12X18H10T після комплексного лазерного легування. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – № 3. – С. 681 – 685.
3. Дурягіна З.А., Щербовських Н.В., Беспалов С.А. Вплив лазерного легування з порошкових сумішей на структуру та механічні властивості сталі 12X18H10T. // Металлофізика и новейшие технологии. – 2011. – 3, № 7. – С. 969 – 975.
4. Goryacheva I.G. Contact mechanics in tribology. – Kluwer, 1998. – 344 p.
5. Панасюк В.В., Андрейкив А.Е., Чернец М.В. К теории контактной прочности элементов конструкций. // Физико-химическая механика материалов. – 1981. – № 6. – С. 69 – 72.

6. Бурак Я., Кузін М. Побудова математичної моделі механіки металічних пружних систем з врахуванням дисипативних явищ. // *Машинознавство*. – 2008. – № 10. – С. 8 – 11.
7. Vyakova A.V., Milman Yu.V., Vlasov A.A. Application of Plasticity Characteristic Determined by Indentation Technique for Evaluation of Mechanical Properties of Coatings: Part I. Specific Features of Test Method Procedure. // *Science of Sintering*. – 2004. – 36. – P. 27 – 41.
8. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
9. Сдвижков А.О. Математика на компьютере: Maple 8. – М.: Солон-Прес, 2003. – 176 с.

Одержано 29.10.12

З. А. Дурягина, О. А. Кузин, М. О. Кузин, Н. В. Циглик

Влияние режимов лазерного легирования на параметры износостойкости поверхностных слоев стали 12Х18Н10Т

Резюме

С использованием подходов контактной механики проанализировано влияние лазерного легирования ниобием и MoSi_2 на изменение параметров износостойкости 12Х18Н10Т. Установлено, что при режимах эксплуатации деталей, когда силовая нагрузка значительно меньше границы текучести стали 12Х18Н10Т, необходимо проводить лазерное легирование деталей с использованием CO_2 лазера непрерывного действия мощностью 800 Вт. При увеличении нагрузки в процессе эксплуатации, когда силовая нагрузка приближается к границе текучести стали 12Х18Н10Т, необходимо проводить лазерное легирование лазером мощностью 6,3 кВт, что вызывает повышение контактной прочности поверхностных слоев.

Z. A. Duriagina, O. A. Kuzin, M. O. Kuzin, N. V. Tsiglik

Influence of laser alloying modes to the wear resistance parameters of 12H18N10T steel surface layer

Summary

With the use of approaches of contact mechanics the influence of the laser alloying with Nb, MoSi_2 on the changes of wear resistance parameters of 12H18N10T steel is analyzed. It is found that at the modes of details exploitation, when power load is considerably smaller then limit of fluidity of 12H18N10T steel, it is necessary to conduct the laser alloying of details with the use of CO_2 laser of continuous action power of 800 W. As load increases in the process of exploitation, when the power load approaches a limit of 12H18N10T steel yield strength it is necessary to conduct the laser alloying with power of 6,3 kW, that causes the increase of contact durability of surface layers.