

швидкість дифузії і хімічних реакцій, прискорює формування оксидних плівок. У той же час дислокації у білому шарі блокуються, ускладнюється їх переміщення і гальмується зародження тріщин, а значить і зменшується кількість продуктів зношування.

Отже, фрикційне зміцнення сірого чавуну, особливо з використанням як технологічне середовище поверхнево активної полімервмісної мастильно-охолоджуючої рідини типу МХО-64а, суттєво підвищує опір зношуванню під час тертя ковзання без мащення. При цьому треба зміцнювати лише одну деталь пари тертя, більш технологічну.

1. Гурей І.В. Вплив імпульсного зміцнення на малоциклову втому сталей у корозійних середовищах // Вісник ТДТУ. 1998. 3. № 4. С. 124-129. 2. Крагельський І.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М., 1977. 3. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания / Пер. с нем. О.Н. Озерского, В.Н. Пальянова; Под ред. М.Н. Добычина. М., 1984.

УДК 669.14.018

Дурягіна З.А.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Фізика металів та матеріалознавство”

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ПОВЕРХНІ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ ЛАЗЕРНИМ ЛЕГУВАННЯМ

©Дурягіна З.А., 2000

Проаналізовано вплив теплофізичних параметрів випромінювання під час лазерного легування на формування оптимальної структури поверхні нержавіючих сталей.

The effect of irradiation thermophysical parameters on forming the stainless steel optimum structure under laser doping had been considered.

Метою роботи було встановити закономірності формування певної структури поверхневих шарів нержавіючих сталей, які одержували внаслідок лазерного легування, та оцінити фазовий стан поверхні. Це дасть можливість простежити кінетичні особливості структуроутворення для розробки механізму одержання шарів з заданою наперед морфологією поверхні, що забезпечуватиме необхідний комплекс об'ємних властивостей матеріалу.

Об'єктом дослідження вибрані нержавіючі сталі різних структурних класів, марок 12Х13, 12Х17, 14Х17Н2, 12Х18Н19Т, 04Х16Н11М3Т, 07Х13АГ20, хімічний склад яких наведено в табл. 1.

Для підвищення корозійно-механічної стійкості цих конструкційних матеріалів їх поверхневі шари піддавали лазерному легуванню цирконієм та ніобієм. Нанесення цих елементів проводили на лазерній установці ЛНГ-702 "Кардамон" з довжиною хвилі безперервного лазерного випромінювання 10,6 мкм при вихідній потужності 800 Вт із швидкістю горизонтального переміщення 400 мм/хвил.

Хімічний склад (%) досліджуваних сталей

Марка сталі	C (не більше)	Si (не більше)	Mn (не більше)	Cr	Ni	S (не більше)	P (не більше)	Ti	Інші елементи
12X13	0,09-0,15	0,80	0,80	12-14	-	0,025	0,030	-	
12X17	0,12	0,80	0,80	16-18	-	0,025	0,035	-	
14X17H2	0,11-0,17	0,80	0,80	16-18	1,5-2,5	0,025	0,030	-	
12X18H10T	0,12	0,80	2	17-19	9-11	0,020	0,035	5C-0,8	2,5-3,5 Mo
04X16H11M3T	0,035	0,38	0,80	15-17	10-12	0,025	0,035	5C	
07X13AG20	0,068	0,38	19-22	12-14	0,38	0,025	0,035	-	

Оброблені таким способом зразки досліджували у вихідному стані. Будову поверхневих шарів вивчали металографічно та за результатами виміру мікротвердості по глибині обробленої зони. Рентгеноструктурний фазовий аналіз проводили на установці "ДРОН-5М" з машинною обробкою одержаних результатів.

Треба відмітити, що залежно від типу основного матеріалу, легуючі елементи, які модифікуються в поверхню висококонцентрованими потоками енергії безперервного лазерного випромінювання, утворюють різні за будовою та товщиною шари. Однак внаслідок лазерного легування, практично на всіх сталях металографічно виявлено утворення окремих зон, будова яких складається з дисперсних кристалітів дендритного характеру, в міжосних просторах яких зафіксовано виділення різних фаз. Відмітимо, що колонії дендритів не мають чіткої орієнтації в напрямку відводу тепла і суттєво різняться між собою ступенем травимості. Виявлено, що колонії, які характеризуються зниженою здатністю до травлення, мають підвищені значення мікротвердості порівняно з колоніями з підвищеною травильністю. Це можна пояснити завдяки складному фазовому стану поверхневих шарів, що утворюються внаслідок лазерного легування (табл. 2).

Таблиця 2

Результати рентгеноструктурного фазового аналізу зразків нержавіючих сталей після лазерного легування

Сталь	Легуючий елемент	Фазовий стан поверхні
14X17H2	Nb	α -Fe, Fe ₂ Nb, NbC, Nb ₂ C
12X17	Nb	α -Fe, Fe ₂ Nb, Fe ₃ Nb ₃ C, NbC, Nb ₂ C
04X16H11M3T	Nb	γ -Fe, Mo ₂ C, Fe ₂ Ti, Fe ₂ Nb, NbC, Nb ₂ C, Ni ₃ Ti
12X18H10T	Nb	γ -Fe, Ni ₃ Ti, Fe ₂ Nb, Cr ₂ Ti, NbC, Nb ₂ C, Cr ₂₃ C ₆
07X13AG20	Nb	γ -Fe, FeN, Cr ₇ C ₃ , NbC, Cr ₂₃ C ₆
07X13AG20	Zn	γ -Fe, Cr ₂ C, ZrCr ₂ , FeZr ₂ , Fe ₃ Zr, ZrC
14X17H2	Zn	α -Fe, ZrCr ₂ , Cr ₂₃ C ₆ , Cr ₇ C ₃ , Fe ₂ Zr

Одержані поверхневі шари характеризуються доброю адгезією до поверхні, суцільні, рівномірні за товщиною, без видимих дефектів, з чіткою, переважно хвилястою, лінією розділення з основним матеріалом. Відшарувань, пор та мікротріщин не виявлено.

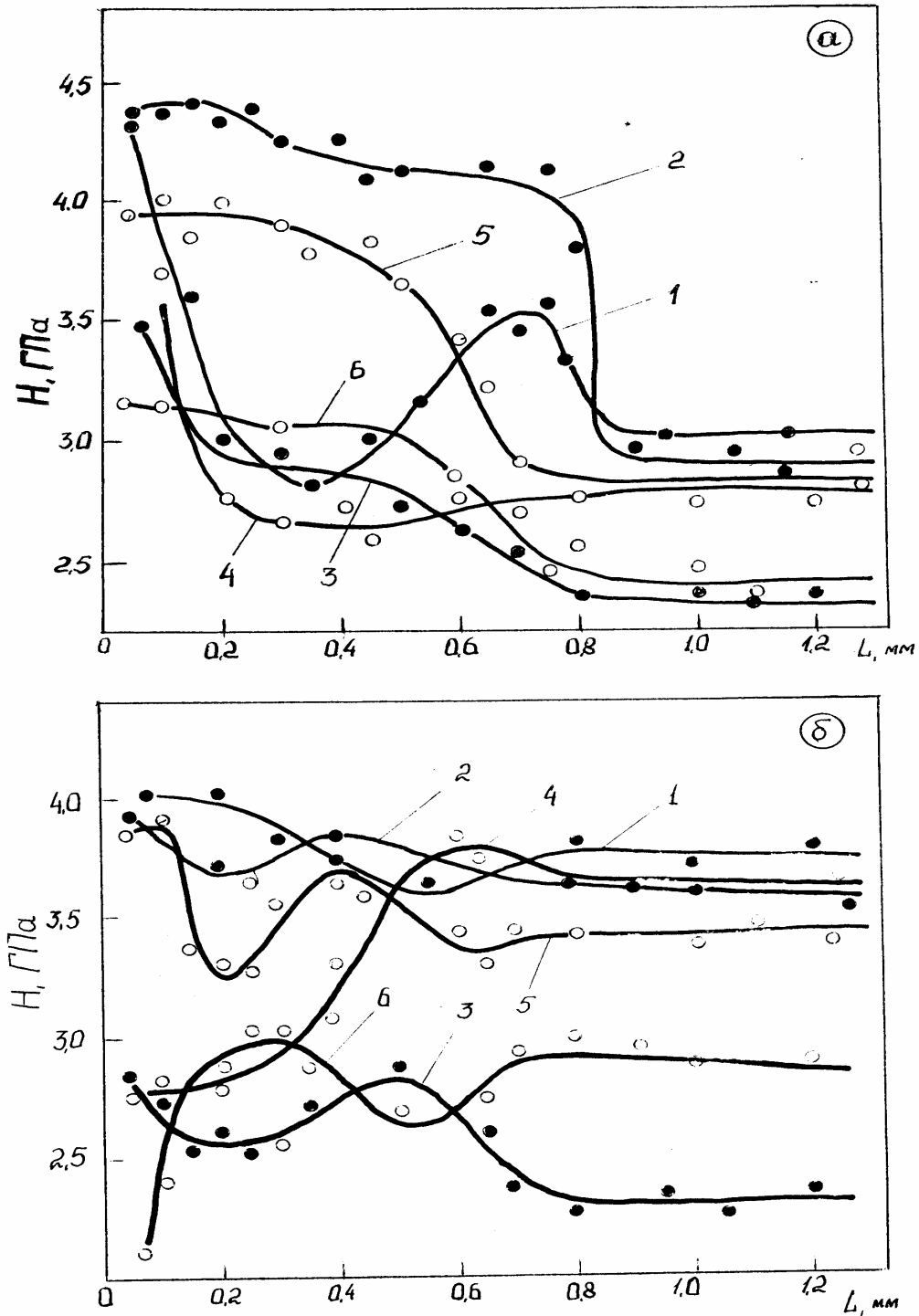
Підготовлені та досліджені таким способом зразки завантажували в титанові ампули наважкою евтектичного сплаву $Li_{17}Pb_{83}$, заварювались титановими кришками аргонно-дуговим способом. Для запобігання витікання розплаву, титанові ампули заварювали в захисні ампули із сталі 12X18H10T та витримували в печі в ізотермічному режимі при температурах $350^{\circ}\dots 500^{\circ}C$ протягом 3000...10000 год. Після завершення випробувань, ампули розгерметизовували та проводили тестування зразків на стабільність структури та властивостей.

Ізотермічна витримка в розплаві $Li_{17}Nb_{83}$ при $350^{\circ}C$ протягом 3000 год не спричиняла розрихлення поверхні досліджуваних зразків. Зона лазерного легування чітко окреслена, структурних перетворень не виявлено. Лише в сталях аустенітного класу, легованих нікелем 12X18H10T, з'являються дрібні пітінги із сферичним кратером, що свідчить про локалізацію корозійних процесів за структурно-вибірковим механізмом. Треба відмітити, що для зразків сталей аустенітного класу, легованих марганцем та азотом (07X13AG20) вищевказаних явищ не спостерігалось. За результатами виміру мікротвердості (рис.1а,б) властивості поверхневих шарів лишаються стабільними як для зразків, легованих ніобієм, так і цирконієм.

Збільшення тривалості ізотермічної витримки до 10000 год дещо змінює характер взаємодії нержавіючих сталей з розплавом свинцево-літієвої евтектики. Зразки, які витримували в розплаві $Li_{17}Pb_{83}$ при $350^{\circ}C$ лишаються працездатними на всій базі випробувань для сталей різних структурних класів (рис.1). Підвищення температури розплаву до $500^{\circ}C$ зумовлює появу на сталях феритного та перехідного класів ознак рідкометалевої корозії різного ступеня інтенсивності. Металографічно це виявляється в утворенні пітінгів клиновидної форми, в деяких місцях спостерігаються ознаки виразкової корозії, яка в окремих місцях спричиняє зародження тріщин, що поширюються, переважно, інтеркристалітно. Товщина зони лазерного легування помітно зменшується, проходить її структурна фрагментація з явною тенденцією до коагуляції карбідних та інтерметалідних фаз. Одночасно спостерігається деяка деградація властивостей, що пов'язується із зміною структури та фазового стану поверхні*.

Отже, використовуючи методику лазерного легування з врахуванням теплофізичних властивостей підкладки, можна сформувати на поверхні нержавіючих сталей шари з заданими наперед властивостями. Це виявляється доцільним особливо, коли досліджувані матеріали використовують для роботи в контактi з рідкометалевими середовищами, корозія в яких передусім визначається структурно-фазовим станом поверхні та залежить від температурно-часових умов експлуатації виробів.

* Дурягіна З.А., Бондарь, Пастухова. Механизм и характер взаимодействия хромистой нержавеющей стали с расплавами свинца и висмута // Физико-химическая механика материалов. 1987. № 6. С. 13-16.



Характер зміни мікротвердості по глибині зразків сталей 07X13AG20 (а) та 04X16H11M3T (б) після лазерного легування: 1-Nb; 2-Nb, 350°, 3000 год; 3-Nb, 500°, 10000 год ($\text{Li}_{17}\text{Nb}_{83}$); 4-Zr; 5-Zr, 350°, 3000 год; 6-Zr, 500°, 10000 год ($\text{Li}_{17}\text{Nb}_{83}$).

Цільове моделювання структури поверхневих шарів стає можливим внаслідок оцінки теплофізичних властивостей дифузійної рідкометалевої ванни, що утворюється внаслідок лазерного оплавлення поверхні. При дуже великих швидкостях нагрівання в металі не встигають реалізуватися дисипативні процеси в твердому агрегатному стані, внаслідок чого пружна енергія, акумульована в дефектах структури, вивільнюється тільки після

плавлення одночасно з руйнуваннями зв'язків дальнього порядку. Висока концентрація конвективних мікропотоків забезпечує вирівнювання мікроструктури розплаву. Інакше кажучи, додаткова енергія, акумульована в дефектах та вивільнена під час лазерного оплавлення поверхні, спричиняє подрібнення атомних групувань (кластерів), які в світлі сучасних уявлень, виконують роль потенційних центрів зародків при подальшій кристалізації. Концентрація кластерів внаслідок подрібнення зростає, однак, імовірність досягнення зародком критичного розміру, відповідно, зменшується.

Під час подальшого охолодження розплаву із швидкістю $4 \cdot 10^5$ К можлива реалізація двох варіантів: чи одержується супердисперсна, так звана "рентгеноаморфна" структура поверхні; чи завдяки дефіциту розплаву та враховуючи специфіку ближнього впорядкування, кластери не встигають досягти критичного розміру, внаслідок чого реалізується квазіаморфізація.

Виходячи з термодинамічних міркувань, під час лазерного легування треба очікувати суттєвого переохолодження розплаву як завдяки дилатаційних явищ, так і внаслідок переважаючого ентропійного ефекту кристалізації над ентропією плавлення системи. Отже, під час теплофізичних розрахунків, пов'язаних з моделюванням повної структури поверхні при її лазерному легуванні, поряд із швидкістю кристалізації треба враховувати також термодинамічні властивості самого розплаву.

На підставі проведених досліджень відмітимо, що лазерне легування поверхні нержавіючих сталей ніобієм та цирконієм суттєво підвищує їх ресурс працездатності в розплаві евтектики $Li_{17}Nb_{83}$ в інтервалі температур 300° - 500° С. При цьому, більшою стабільністю структури та властивостей поверхні, характеризуються сталі аустенітного класу після лазерного легування ніобієм. Це можна пояснити утворенням однорідного, високолегованого твердого розчину, армованого дисперсними включеннями фаз Fe_2Nb , Ni_3Ti та численними карбідами.

Одержані експериментальні та теоретичні результати можна покласти в основу нових технологій лазерної обробки, зокрема, лазерного легування, що суттєво розширить можливості управління структурою поверхні, а відповідно і об'ємними властивостями матеріалу.

УДК 620.178.152.

Керницький І.С., Козуб В.В., Панкевич Б.В.

ДУ "Львівська політехніка", кафедра "Нарисна геометрія і графіка"

СТІЙКІСТЬ КОМПЛЕКСНИХ ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТЬ В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

© Керницький І.С., Козуб В.В., Панкевич Б.В., 2000

Розроблена реакційна суміш для поверхневого зміцнення сталейних деталей. Показана висока зносостійкість такого покриття в умовах абразивного зношування при різних навантаженнях та швидкостях ковзання.