

ГРАВІМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БОРОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Досліджено кінетику зміни відносної маси прикатодного шару і борованих деталей. Встановлено склад і будову прикатодного шару, запропоновано шляхи зменшення або запобігання його утворення. Розроблено методику неруйнівного контролю глибини боридного шару за зміною маси при борованні.

Утворення прикатодного шару в процесі електролізного боровання впливає на кінетику росту дифузійної зони, ускладнює проведення наступної термічної обробки, збільшує витрати електроліту [1,2,3]. Подальше його неповне розчинення у гарячій воді може погіршувати чистоту поверхні і перешкоджати термічній обробці борованих прецизійних деталей. Крім того, утворення боридного шару приводить до зміни маси деталі. Аналіз її зміни може бути використаний як оцінка глибини боридної зони.

У зв'язку з цим у даній роботі досліджено склад прикатодного шару, кінетику його утворення, а також зміни маси деталі в процесі електролізного боровання.

Склад прикатодного шару досліджували після розчинення у воді при 100°C шару налиплої у ванні бури. Усереднений хімічний склад шару на циліндричному зразку, борованому протягом трьох годин при (950±10)°C і щільності струму 20 А/дм², подано в табл.1. Як бачимо, прикатодна область збагачена бором, вуглецем і металами. Розподіл цих елементів описує експоненційний закон. Умовно область можна розподілити на дві частини. Перша, ближча до деталі, має товщину до 1 мм. У ній концентрується основна кількість домішок, особливо вуглецю. Ця частина прикатодного шару погано розчиняється у воді і присутня у вигляді осаду на поверхні борованої деталі після кип'ятіння. Друга частина залежно від параметрів електролізу має товщину до 10-15 мм і легко розчиняється в киплячій воді. Очевидно, що в процесі боровання необхідно сповільнити або попередити утворення першої частини прикатодного шару.

Для вивчення кінетики утворення прикатодного шару дослідження виконували на циліндричних зразках висотою 25 мм і діаметром 15 мм із сталі 20; 45; 9ХС; ДИ23 як представників конструкційних, інструментальних і легованих марок сталі. Хіміко-термічну обробку здійснювали за схемою: боровання плюс відпал у ванні електролізу. Температура електроліту становила 900°C, щільність струму електролізу - 20 А/дм². Електролізне боровання виконували протягом 1, 2, 3, 4, 5 годин. Ізотермічному дифузійному відпалові протягом 1, 2, 3, 4, 5 годин підлягали зразки після кожного режиму боровання. Для однієї партії зразків на кінцевій стадії боровання вмикали зворотний струм електролізу протягом 30 хвилин.

Таблиця 1

Хімічний склад прикатодного шару

Місце визначення	Режим обробки	Вміст елементів, %			
		B	C	Fe	Cr
Твірна циліндра	боровання	23,55	0,61	0,048	0,023
	боровання + відпал	23,55	0,60		
	боровання + зворот. струм	18,3	0,48		
Верхня основа	боровання	24,2	0,88	0,064	0,017
	боровання + відпал	24,1	0,78		

циліндра	борування +зворотний струм	17,9	0,61		
----------	----------------------------	------	------	--	--

Вплив режимів електролізного борування визначали експериментально за масою шару застиглого електроліту, що є на зразку. За параметр, що характеризує розмір прикатодного шару, брали питому масу шару, обумовлену як відношення маси шару $M_{ш}$ до маси зразка M_3 .

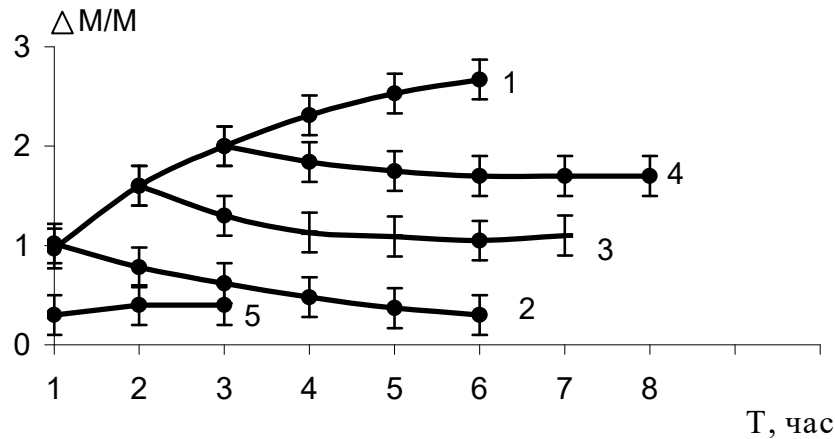


Рис.1. Зміна питомої маси прикатодного шару від режимів борування: 1 - борування без відпалу; 2 - 4 - борування з відпалом; 5 - борування із зворотнім струмом електролізу на останній стадії ХТО.

Залежність питомої маси прикатодного шару від тривалості борування і дифузійного відпалу подані на рис.1. Їх аналіз свідчить, що хімічний склад сталі не впливає на кінетику утворення шару. Збільшення періоду електролізного борування супроводжується зростанням маси прикатодного шару згідно з параболічним законом. Дифузійний відпал протягом 1-2 годин помітно зменшує масу шару. При цьому найбільший ефект виявляється в перші години борування. Збільшення періоду борування зменшує вплив відпалу на розмір прикатодного шару. Розміри прикатодного шару пропорційно залежать від напрямку струму електролізу. Як видно, переключення на зворотний струм наприкінці борування протягом 20-30 хвилин є найбільш ефективним заходом боротьби з утворенням прикатодного шару.

Зміну маси зразків після борування використовували для розробки неруйнівного експрес-контролю глибини боридного шару. За показник глибини шару H брали зміну питомої маси зразків – відношення збільшення маси ΔM до площі бориду. Борований шар утворюється за рахунок заліза, що міститься в деталі, і бору, що надходить з електроліту. Загалом борований шар є композицією послідовно розташованих боридів FeB і Fe_2B . У цьому випадку можна вважати, що загальна зміна маси дорівнюватиме сумі мас боридів (M_1 і M_2 відповідно) за відрахуванням маси заліза (M_{Fe}), що утворюватиме фази:

$$\Delta M = (M_1 + M_2) - M_{Fe} \quad (1)$$

При цьому

$$M_{Fe} = M'_{Fe} + M''_{Fe}, \quad (2)$$

де M'_{Fe} – маса заліза в бориді FeB ;

M''_{Fe} – маса заліза в бориді Fe_2B .

Вміст заліза в боридах можна визначити за співвідношенням атомних ваг компонентів, і тоді після підстановки в залежність (1) отримуємо

$$\Delta M = 0,17 M_1 + 0,1 M_2 \quad (3)$$

Боридні шари на деталях циліндричної форми (типу втулок) матимуть масу:

$$M_1 = 1/2 \rho_1 S_{\delta k} (H_1 + H_2) \quad (4)$$

$$M_2 = 1/2 \rho_2 S_{\delta k} (1-K)(H_1 + H_2), \quad (5)$$

де ρ_1 и ρ_2 – щільності фаз FeB и Fe₂B відповідно;

H_1 и H_2 - глибини боридних шарів на зовнішній і внутрішній поверхнях ;

K - вміст фази FeB у боридному шарі.

З (3), (4), (5) отримуємо

$$\frac{\Delta M}{S_{\delta}} = \frac{I}{2} [0,1\rho_2 + (0,17\rho_1 - 0,1\rho_2)K] (H_1 + H_2) \quad (6)$$

Якщо замінити площу борованої поверхні масою зразка, отримаємо

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{I}{0,008B} (0,0008 + 0,0004K) (H_1 + H_2) \quad (7)$$

Як правило, для деталей з невеликими розмірами на внутрішній і зовнішній поверхнях утворюються приблизно рівні за глибиною шари, тобто $H_1 = H_2 = H$. Після перетворення одержимо

$$H = \frac{4B}{0,8+0,4K} \cdot \frac{\Delta M}{M}, \quad (8)$$

де M - вихідна маса деталі .

Ця залежність дозволяє оцінити глибину борованого шару за відносною зміною маси борованої деталі.

Отриману емпіричну залежність (8) для неруйнівного контролю глибини боридного шару перевіряли за допомогою металографічного аналізу. Зразки були виконані зі сталей 10 і 20 у формі втулок, розміри яких подані в табл.2.

Таблиця 2

Розміри експериментальних зразків

Матеріал	Зовнішній діаметр, d, мм	Внутрішній діаметр, мм	Висота, l, мм
Сталь 10	16	13	30
Сталь 20	20	18	30

Обробку здійснювали за схемою "борування+дифузійний відпал", тривалість обробки варіювали від 1 до 5 годин. Глибину шару боридів визначали за допомогою мікроскопу Неофот 21, коефіцієнт K обчислювали як відношення середньої глибини шару монобориду заліза до середньої глибини всього шару. Масу зразків до і після борування вимірювали на терезах ВЛА - 200 - М.

Результати обчислень виявили задовільну кореляцію з результатами металографічного аналізу. Залежність загальної глибини боридного шару від відносної зміни маси для сталі 10 подана на рис.2.

Як видно, глибина шару лінійно залежить від відносної зміни маси зразка, режимів борування, а також матеріалу деталі. Для сталі 20 були отримані аналогічні залежності. Відмінності, що виявляються, очевидно, пов'язані зі зміною співвідношення фазових складових боридного шару, що знайшло відображення у значенні коефіцієнта K .

Проведені дослідження дозволили розробити режим хіміко-термічної обробки плашок п'ятнадцятитонних волочильних станів, виготовлених із сталі 30ХГСА. Деталі дослідно-промислової партії працювали в умовах стирання в поєднанні з динамічними навантаженнями. Середня експлуатаційна стійкість плашок, що перебували у контакті зі сталями 15ХМ, 10, 20, 30, 40, 45, збільшилася в три рази. Випробування були проведені в умовах Дніпропетровського трубопрокатного заводу ім.Леніна.

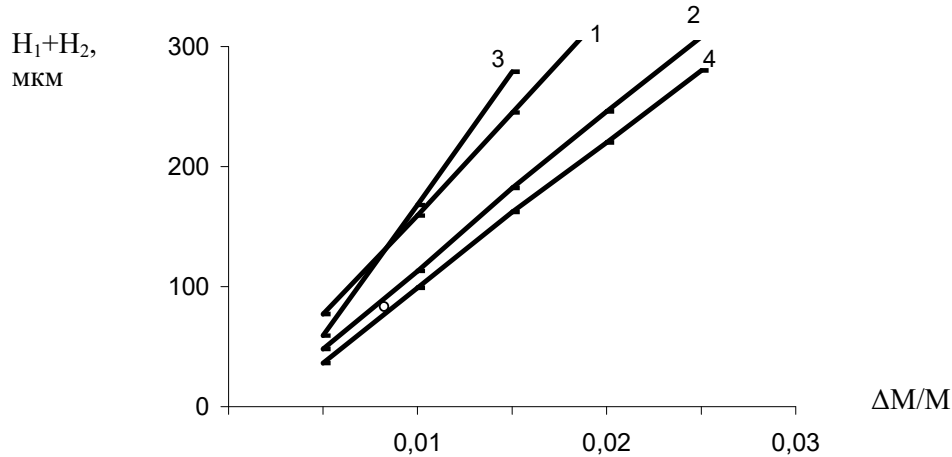


Рис.2. Залежність сумарної глибини боридного шару від зміни відносної маси для сталі 10: 1,2 - за теоретичними даними при $K=0$ і $K=0,4$; 3,4 - за результатами експерименту при $K=0$ і $K=0,4$

Отже, можна зробити такі висновки:

1. Прикатодна область при електролізному боруванні збагачена бором, вуглецем і металами. Умовно її можна поділити на дві частини, видалити першу з них важко.
2. Зростання маси прикатодного шару при електролізному боруванні описує параболічний закон. Найбільш ефективним заходом боротьби з прикатодним шаром є вмикання зворотного струму електролізу на останньому етапі хіміко-термічної обробки.
3. Для неруйнівного експрес-контролю глибини борованого шару з достатньою точністю можна змінювати масу деталі при боруванні.

The kinetics of alteration mass of cathode layer and boronized parts has been investigated. The composition and structure of the cathode layer have been determined, and ways to decrease or prevent its formation have been suggested. Method of nondestructive test of the depth of boronized layer by change of its mass during boronizing has been developed.

Література

1. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование сталей. М.,1978.- 239 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С.Ляховича.- М.:Металлургия, 1981.- 424 с.
3. Спиридонова И.М., Бондаренко А.М., Ворошнин Л.Г. Повышение стойкости борированных изделий последующей термической обработкой // Известия АН БССР. Серия Физико-технических наук.- 1978.- №3.- С.21-23.

Одержано 27.03.2000 р.