

І.М. Спірідонова, О.В. Саєвич, В.П. Федаш, В.І. Мостовий

Вплив методів і режимів насичення на типи та кількість дефектів боридного шару

Дніпропетровський національний університет

Досліджена залежність появи тріщин від часу борирування - при збільшенні часу процесу спостерігається збільшення і поглиблення тріщин (при постійній густині струму). Зміна температурного режиму має вирішальне значення на кількість активних центрів та швидкість дифузії і масопереносу. Поєднання електролізного борирування з подальшим відпалом дозволяє одержувати якнайменше дефектні і досконалі боридні шари. Дослідження виникнення дефектів свідчать про можливість їх подальшого зникнення унаслідок процесів масопереносу. З цієї точки зору виникає підрозділ дефектів на групи: дефекти, які при певних режимах або подальших обробках заліковуються і дефекти, усунути які неможливо.

Стаття постуила до редакції 07.12.2008; прийнята до друку 15.06.2009.

Борирування металевої поверхні підвищує термін служби деталей, що працюють в умовах сухого і в'язкого тертя [1,2]. Проте, працездатність поверхневого шару значною мірою залежить від ступеня досконалості (якості) боридного покриття. Маючи високу твердість, він також відомий своєю крихкістю [3]. Крихкість боридного шару пов'язана з його низькими пластичними характеристиками, а також з дефектами, що виникають як в самому процесі борирування так і при подальшій обробці деталей.

У зв'язку з цим в роботі вивчалось утворення дефектів в боридних шарах, одержаних різними методами борирування: порошкового, рідинного, електролізного, циклічного і імпульсного.

Борируванню піддавали сталь 45 на зразках розміром 10x10x30 мм. Насичення бором поверхні проводили за стандартними схемами різними методами за режимами, що провокували утворення дефектів. Порошкове борирування проводили при температурі 950 °С протягом 3 годин; рідинне борирування - при температурі 950 °С протягом 3 годин; електролізне - при температурі 950 °С протягом 1 години при густині струму 25 А/дм²; циклічне - при температурі 900 °С протягом 2 годин насичення (5 хв електроліз-20 хв вимкнений струм, 10 хв електроліз-25 хв струм вимкнений); імпульсне - при температурі 950-1000 °С протягом 3 годин.

Методом металографії на покриттях виявляли слідувачі особливості і види дефектів: наявність включень нестехіометричних бориів FeхBy, дифузійні пори, ділянки перлиту, продвжні і поперечні тріщини, а також включення графіту. Встановлено, що їх утворення залежить як від методу

борирування, так і від часу і температури за тим, чи іншим способом.

Наявність дефектів різних видів в дифузійній зоні схематично представлені на рис. 1.

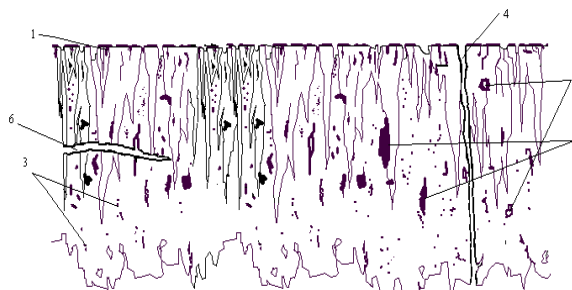


Рис. 1. Дефекти дифузійної зони: 1-включення нестехіометричних боридів FeхBy, 2- дифузійні пори, 3-ділянки перлиту, 4- продвжна тріщина, 5- включення графіту, 6-поперечна тріщина.

На рис.2-3 приведені дефекти боридних шарів, які утворились при борируванні електролізним способом. Наявність нестехіометричних вищих боридів в поверхневій зоні боридного шару представлена на рис. 2-а; наявність пор і графітних включень – на рис 2-б.

Тріщини, що розташовані паралельно поверхні представлені на рис. 3-а; а тріщини, що розташовані уздовж дифузійного шляху, тобто перпендикулярно поверхні - на рис. 3-б.

Дефекти, отримані при різних способах насичення представлені в таблиці 1.

Аналіз результатів показує, що нестехіометричні бориди заліза утворюються тільки при електролізному борируванні. Це можна пояснити

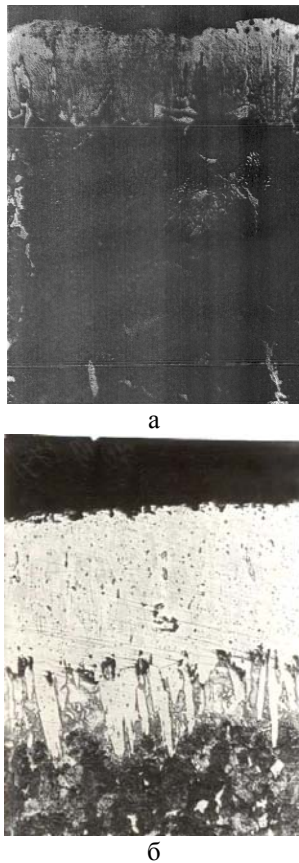


Рис. 2. Дефекти боридного шару (сталь 45, $t=2$ год, $T=900^{\circ}\text{C}$): а – наявність нестехіометричних боридів $\text{Fe}_x\text{Cr}_y\text{Ni}_z$ (збільшення $\times 200$), б – включення графіту, пори боридного шару (збільшення $\times 400$).

тим, що приповерхнева концентрація атомів бору при електролізі поступово підвищувалася. За рахунок цього дифузія атомарного бору в поверхневі шари металу при високих температурах зростає, і як наслідок – спостерігається утворення нестехіометричних боридів заліза. Їх утворення при електролізному борируванні, залежить від часу і температури проведення процесу. При тривалому процесі борирування і високій поверхневій концентрації бору спостерігається розвиток високодефектного шару нестехіометричних боридів $\text{Fe}_x\text{Cr}_y\text{Ni}_z$, що і підтверджується результатами досліджень, наведених в таблиці 2.

Так включення $\text{Fe}_x\text{Cr}_y\text{Ni}_z$ в боридному шарі з'являються при електролізному борируванні тільки після 2 годин, а у разі циклічного електролізного борирування - після 3-х годинного насичення. Таку відмінність в часі можна пояснити тим, що в процесі циклічного борирування, (періодичне включення і вимкнення струма), при вимкненому струмі відбувається розчинення фаз в приповерхневих шарах металу (зокрема включення $\text{Fe}_x\text{Cr}_y\text{Ni}_z$) за рахунок вирівнювання градієнта концентрації бору.

Утворення дефектів боридного шару також залежить і від температури, при якій проводиться процес (табл.3.).

При порошковому, електролізному і циклічному електролізному методах борирування в дифузійній зоні з'являються пори. Механізми їх формування

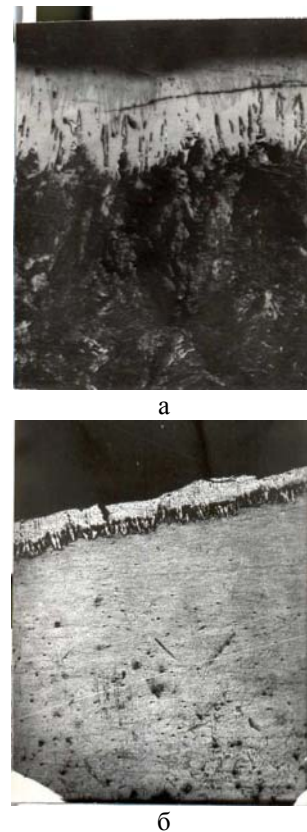


Рис. 3. Тріщини в боридному шарі (н/сталь, $t=2$ год, $T=900^{\circ}\text{C}$): а – продовжна тріщина (збільшення $\times 200$), б – поперечна тріщина (збільшення $\times 100$).

залежать від способу насичення поверхні бором.

У випадках електролізного і циклічного електролізного борирування утворення пор пов'язане з інтенсивною дифузією бору і виникненням вакансій в сплав. Навіть при звичайній термообробці в поверхневому шарі зразка можливе утворення мікропор і пор, які є результатом злиття вакансій в бівакансії, з подальшим утворенням комплексу (конгломерату) вакансій або об'ємної пори. Оскільки і електролізне і циклічне електролізне борирування проходять при високих температурах, то вже це провокує утворення великої кількості пор, тобто процес утворення пор закладений «генетично» і протікає паралельно з процесом насичення поверхні металу бором. В результаті такого насичення відбувається утворення нових з'єднань – бориду заліза, що і є причиною зміни кристалеві решітки сплаву. За рахунок подальшої дифузії атомів бору і заліза об'єм нової фази росте, і можливо сприяє закриттю пор.

Практично при всіх методах нанесення боридного шару за винятком циклічного спостерігається існування ділянок перлиту (таблиця 1). Проте дані приведені в таблиці 2 показують, що при невеликій товщині боридного шару, який утворюється протягом перших двох годин в процесі циклічної електролізної ХТО ділянки перлиту відсутні, тоді як при звичайному електролізному

Таблиця 1

Дефекти боридного шару залежно від способу насичення

Спосіб насичення	Температура, °С	Час насичення, год	Види дефектів					Продовжні тріщини	Поперечні тріщини
			FexBy	Пори	Ділянки перлиту	Включення графіту			
Порошковий (на основі В4С)	950-1000	3	-	+	+	+	+	+	
Рідинний (на основі В2О3)		3	-	-	+	-	-	-	
Електролізний		3	+	+	+	+	+	+	
Електролізний+відпал		3	-	-	-	-	+	-	
Циклічне електролізне боридування		3	-	-	+	-	-	-	
Імпульсне боридування		3	-	-	+	-	-	-	

Таблиця 2

Утворення дефектів в процесі електролізної і циклічної електролізної хіміко-термічної обробки (ХТО) на сталі 45 залежно від часу насичення

№	Температура, °С	Час насичення, год	Види дефектів					Продовжні тріщини	Поперечні тріщини
			FexBy	Пори	Ділянки перлиту	Включення графіту			
Електролізне боридування									
1	850-900	1	-	+	+	-	-	-	
2		2	+	+	+	+	-	+	
3		3	+	+	+	+	-	+	
4		6	+	+	+	+	+	+	
Циклічне боридування ($\tau=(5/20+10/2) \cdot n$, где n-кількість циклів)									
1	850-900	1	-	-	-	-	-	-	
2		2	-	-	-	+	-	-	
3		3	+	+	+	+	-	-	
4		6	+	+	+	+	-	+	

Таблиця 3

Утворення дефектів в процесі електролізної і циклічної електролізної ХТО на сталі 45 залежно від температури

№	Температура, °С	Час насичення, год	Види дефектів					Продовжні тріщини	Поперечні тріщини
			FexBy	Пори	Ділянки перлит-ные	Включення графіту			
Електролізне боридування									
1	800-850	3	-	+	-	-	-	-	
2	850-900	3	+	+	+	+	-	+	
3	950-1000	3	+	+	+	+	+	+	
Циклічне боридування ($\tau=(5/20+10/2) \cdot n$, где n-кількість циклів)									
4	800-850	3	+	+	+	-	-	-	
5	850-900	3	+	+	+	+	-	-	
6	950-1000	3	+	+	+	+	-	-	

боридуванні спостерігається їх поява навіть після першої години. Проте навіть при шестигодинному боридуванні при температурі 900 °С ділянки перлиту існують (таблиця 2). Такий ефект можна пояснити відставанням спрямованості масопереносу в нормальному напрямі. На схемі (рис. 4) показана перевага дифузії бору у напрямі [001] зростання боридних голок.

Результати наведені в таблиці 1 також показують, що як продовжні, так і поперечні тріщини утворюються тільки при порошковому і електролізному боридуванні. Саме в цих випадках боридний шар має найбільшу глибину, з неоднорідністю по його товщині та великою концентрацією дефектів різних видів. Різні коефіцієнти лінійного і температурного розширення

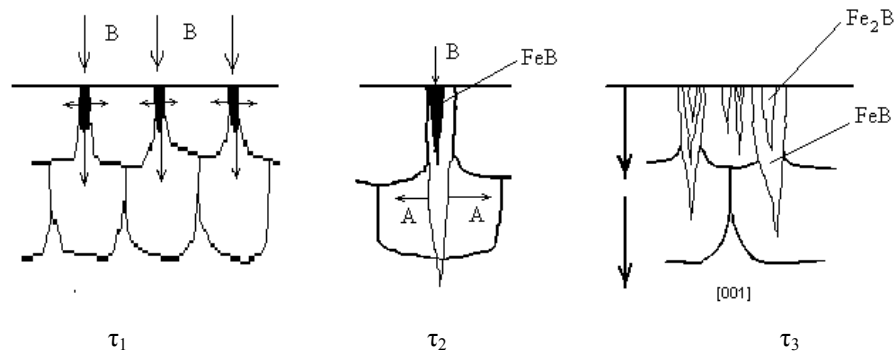


Рис. 4. Переважний напрямок зростання боридних голок ($\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ – послідовне зростання часу борирування).

при охолодженні зразків обумовлюють виникнення внутрішніх високих механічних напруг, які сприяють утворенню тріщин (рис 3 а-б). Причому у разі електролізного борирування поява продовжених тріщин спостерігається тільки при 6-годинному насиченні, тоді як поперечні тріщини утворюються вже після першої години процесу борирування. Це можна пояснити збільшеною кількістю дефектів перехідного шару (і природно різким збільшенням внутрішньої напруги), що супроводжує зростання голок бориду в кристалевій решітці сплаву-основи, які викликають розшарування.

Аналіз отриманих результатів показує переваги електролізного методу борирування, хоча при ньому з'являється необхідність оптимізації одного з факторів, який впливає на появу дефектів, а саме – густина струму. Зростання числа дефектів залежить від густини струму - збільшення густини струму забезпечує більшу кількість макродефектів.

Висновки

1. Встановлено, що кількість і тип дефектів боридного шару залежать від методу насичення поверхні та від режиму процесу.
2. Розподіл дефектів на макро- і мікро- дефекти умовно. Концентрація мікрододефектів може змінюватися у досить широких межах (декілька порядків), а межі концентрації макродефектів значно менші та точніші.
3. Найдосконалішими є покриття отримані електролізним методом. При електролізному борируванні можлива оптимізація параметра, що впливає на кількість дефектів - густина струму.
4. Отримані види дефектів можна підрозділити на два типи: здібні до заліку і ті, що не заліковуються. Відповідно до цього всі методи нанесення боридного покриття діляться на ті, що заліковують і не незаліковують дефекти.

- [1] В.В. Пукас, И.В. Петкс, И.Е. Мурашов. *Прогрессивные технологические способы повышения долговечности деталей машин*. Техника, Киев. 80 с. (1975).
- [2] И.М. Любарский, Л.С. Палатник. *Металлофизика трения*. Металлургия, М. 176 с. (1976).
- [3] В.П. Глухов. *Оридные покрытия на железе и сталях*. Наук. Думка, Киев. 288 с. (1970).
- [4] И.М. Спиридонова. Структура и свойства железоборуглеродистых сплавов // *Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов*. Днепропетровск: ДГУ. сс. 92-94 (1982).
- [5] И.М. Спиридонова, О.Д. Макаренко, О.Г. Лысейко, В.А. Рыбников. Исследование моноборида железа // *Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов*. Днепропетровск: ДГУ. сс. 115-120 (1983).

I.M. Spiridonova, O.V. Saevich, V.P. Fedash, V.I. Mostovyi

Influence of Methods and Modes of Satiation is on Types and Amount of Defects of Borate Layer

Dnepropetrovsk national university

Dependence of appearance of cracks is investigational on time of borate - there is an increase and deepening of cracks at the increase of time of process (at the permanent closeness of current). The change of temperature condition has a decision value on the amount of active centers that speed of diffusion and mass transfer. Combination of electrolysis of borate with the subsequent annealing allows to get imperfect and perfect boride layers less all. Researches of origin of defects testify to possibility them subsequent disappearance as a result of processes of mass transfer. From this point of view there is subsection of defects on groups: defects which at the certain modes or subsequent treatments are healed defects, removing which is impossible.