

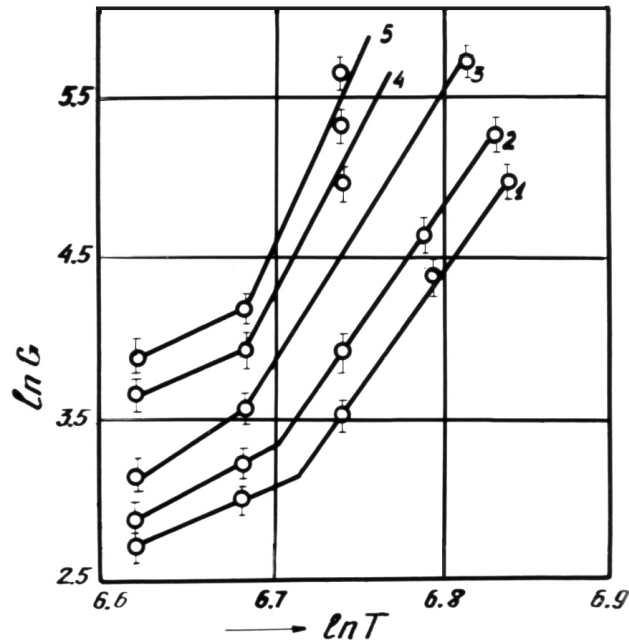


Рис. 1. Зміна ваги боріваних зразків при нагріві у пічній атмосфері: 1 - 2 хв.; 2 - 5 хв.; 3 - 10 хв.; 4 - 30 хв.; 5 - 60 хв.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ БОРОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

У цій роботі з метою оптимізації режимів термічної обробки порівнювали окиснення боріваного шару та прогартовуваність перехідної зони при різних видах термообробки на вуглецевих (сталь 45; У8) та легованих (40Х; ШХ15; 9ХС; 5ХНМ) сталях: гартування безпосередньо з ванни борування, а також при повторному нагріванні у печах з повітряною атмосферою та в розплавах солей. Термічна обробка боріваних деталей у пічній атмосфері може забезпечити необхідний рівень твердості вуглецевої сталі. Однак для

збереження властивостей боридного шару та боріваної поверхні необхідно обмежити температуру нагрівання під гартування 1123 К. Як середовище для повторного нагрівання легованих марок сталей до температур понад 1123 К рекомендується використовувати розплави боратних солей. При гартуванні з ванни борування після електролізу з постійним струмом закристалізований шар бури знижує швидкість охолодження деталей. Для забезпечення загартовуваності необхідно застосувати дифузійний відпал та зворотну полярність наприкінці електролізу, що сприяє розчиненню прикатодного шару.

Термічну обробку боріваних деталей автори [1,2] рекомендують виконувати з ванни борування. Гартування з повторного нагрівання використовують, якщо необхідно подрібнити аустенітне зерно перехідної зони та основного металу. При цьому деталі нагрівають у розкислених солевих ваннах, у захисних атмосферах, що містять вуглець, або у високовуглецевих порошкових засипках. Для захисту від окиснення застосовують також спеціальні замазки, пасти [3,4,5] та поверхневе високочастотне гартування [6]. Нагрівання у печах з повітряною атмосферою вважається неможливим [1,2].

Однак охолодження у воді деталей із ванни борування може не забезпечити достатньої загартовуваності внаслідок наявності закристалізованого шару електроліту. Поряд з цим повторне нагрівання (у т.ч. поверхневе) сприяє появі тріщин та дефектів у боридній зоні внаслідок значної різниці між коефіцієнтами лінійного розширення боридів заліза та перехідної зони. Додаткова дія високих температур викликає деборування поверхні та знижує зносостійкість боріваного шару.

У цій роботі з метою оптимізації режимів термічної обробки порівнювали окиснення боріваного шару та прогартовуваність перехідної зони при різних видах термообробки: гартування безпосередньо з ванни борування, а також при повторному нагріванні у печах з повітряною атмосферою та в розплавах солей. Дослідження виконували на вуглецевих (сталь 45; У8) та легованих (40Х; ШХ15; 9ХС; 5ХНМ) марках сталей.

Електролізне борування виконували при температурі 1123 К і щільності струму 20 А/дм² протягом двох годин. При необхідності після борування зразки витримували у

ванні протягом двох годин при вимкненому струмі електролізу (тобто за режимом борування + дифузійний відпал). Частину зразків боровали з реверсійним струмом. Як охолоджувальне середовище використовували воду, масло, а також гартували через воду в масло. Швидкість охолодження контролювали за допомогою хромель-алюмелевої термопари, яку розміщували у центрі зразка. Структуру та мікротвердість борованого шару та перехідної зони досліджували на мікроскопі "Неофот" з приставкою. Твердість контролювали за методом Роквелла.

Спеціальне нагрівання борованих зразків у пічній атмосфері та розплавах солей виконували в інтервалі температур 1053-1213 К з витримкою від 1 до 60 хвилин. Результати нагрівання сталі 45 оцінювали за якістю поверхні та рівнем окиснення, який визначали ваговим методом. Товщина окисної плівки пропорційна приростові маси.

Отримані результати впливу температури на окиснення борованих зразків подані на рис.1. Нагрівання до 1053-1093 К незначно змінює приріст маси (G) при витримках від 1 до 60 хвилин. В області температур понад 1173 К швидкість окиснення різко зростає. В інтервалі 1113-1153 К спостерігається перегин кривої функціональної залежності $\ln G = f(\ln T)$, що свідчить про зміну механізмів окиснення.

Про це свідчать також спостереження за станом поверхні зразків. При 1093 К на ній з'являється склоподібна плівка, під якою знаходиться бездефектний неокиснений метал. Починаючи з температури 1133 К, плівка змінює свій колір на темно-бурий, склоподібна окалина стає розпушеною, на деяких ділянках з'являються пухирці, під якими виявляються ділянки шару зі слідами руйнування. Металографічний аналіз показав, що нагрівання до 1053-1093 К не змінює глибини борованого шару. Його мікротвердість теж не змінюється. При температурі понад 1113 К у боридній зоні з'являються окиснені ділянки на границях кристалітів. Далі, при температурах понад 1173 К, дефекти з'являються у борованому шарі та доходять до основи. Мікротвердість боридних фаз знижується (табл.1).

Таблиця 1

Характеристики боридного шару

Режим обробки	Характеристики боридного шару	
	Товщина, 10^{-6} м	Мікротвердість, ГПа
Борування	120	19,5
Борування + нагрівання 1080 К	115	18,9
Борування + нагрівання 1173 К	115	15,9

Механізм процесів окиснення боридного шару можна подати так. При нагріванні в області температур 1053-1093 К на поверхні виробів виникає тонкий склоподібний шар окислів, в основному, борного ангідриду. Оскільки температура плавлення B_2O_3 становить 1033 К, то в дослідженому діапазоні плівка розплав захищає метал від окиснення. При дальшому підвищенні температури борний ангідрид починає активно випаровуватися. Утворення легких продуктів сприяє доступу у нижчі шари, появи складних окислів $B_2O_3 \cdot FeO$ та прискоренню процесу окиснення. Спочатку до фронту реакції бор підводиться міжзеренними межами, потім утворюються ділянки, збіднені на бор. Одночасно зі зменшенням бору зменшується вміст вуглецю у підшарку.

Подібний характер має зміна ваги зразків при витримці у розплавах боратних солей (бури та синтетичного шлаку). Спочатку приростає маса, а потім її втрачається. Як окислювальне середовище для порівняння використовували розплав кухонної солі. Як виявили дослідження, бороване покриття у кухонній солі руйнується на два порядки швидше, ніж у інших розплавах. Найменше окиснюються зразки при занурюванні у

розплав бури. З підвищенням температури швидкість розчинення боридного шару зростає, з 1213 К різко інтенсифікується процес окиснення.

Результати свідчать про можливість збереження якості борованої поверхні при нагріванні у пічній атмосфері при умові обмеження температури до 1123 К для вуглецевих сталей. Розплав бури може захистити боровану деталь від руйнування і при нагріванні до вищих температур, що необхідно для деяких легованих сталей.

З технологічних схем термообробки при електролізному боруванні найбільш доцільним є об'ємне гартування безпосередньо з ванни з розплавом бури. Однак після борування деталі, витягнуті із електроліту, перебувають в оболонці закристалізованого розплаву - прикатодного шару, збагаченого бором, окислами заліза та вуглецем. Його розмір збільшується при збільшенні часу витримки та щільності струму. Згідно з технологією після борування він розчиняється у спеціальних ваннах у воді при 373 К. Дослідження показали, що швидкість охолодження зразків при гартуванні безпосередньо з ванни у воду зменшується у 7-10 разів, і вони мають твердість 39-40 HRC. Гартування відмитих від прикатодної шкірки зразків з повторного нагрівання у пічній атмосфері збільшує їх твердість до 62-64 HRC.

Для запобігання утворенню прикатодного шару використовували три методи: зміну полярностей електродів у кінці борування; застосування відпалу в електроліті для борування без струму електролізу (так званий дифузійний відпал) та використання реверсійного струму. Матеріалом для дослідження були зразки зі сталі 45; щільність струму становила 20 А/дм²; температура - 1173±10 К.

Можливості використання реверсійного струму для борування досліджував Коротков В.Д. [7]. Він встановив, що в цьому випадку гальмується розчинення анодів, заліковуються дефекти та прискорюється насичення прикатодної поляризації; одночасно зменшується винесення електроліту з ванни. Дослідження глибини та фазового складу дифузійної зони, проведені у роботі, свідчать про різні швидкості електродних процесів. При співвідношенні анодної та катодної експозиції τ_k/τ_a 1:1 зростає боридний шар. Переважно анодна поляризація τ_k/τ_a 1:2 приводила до дифузії бору з поверхні. Синхронні зміни відбувалися у прикатодному шарі (див. табл.2). Його розмір, який оцінювали пропорційно до маси, що припадає на одиницю площі, залежав від параметрів реверсійного струму. При рівних катодних та анодних експозиціях прикатодні шари не піддавалися вимірюванню.

Комплексна хіміко-термічна обробка, описана у роботі [8], також зменшує розміри прикатодного шару. Однак повного його розчинення можна досягти тільки при використанні струму зворотньої полярності наприкінці електролізу. Одночасне використання дифузійного відпалу та анодної експозиції скорочує час перебування деталей у ванні борування.

Таблиця 2

Вплив параметрів електролізу на розміри прикатодного шару

Час борування, хв.			Час експозиції при боруванні реверсійним струмом, сек		Відносна вага прикатодного шару, г/см ²
При прямому струмі, τ_k	При відсутності струму	При зворотньому у струмі, τ_a	τ_k/τ_a	$\tau_k+\tau_a$	
60	-	-	-	-	0,240
60	30	-	-	-	0,210
60	60	-	-	-	0,108
60	-	05	-	-	0,120

60	-	15	-	-	0,008
60	-	20	-	-	відсут.
60	60	15	-	-	відсут.
60	60	20	-	-	відсут.
-	-	-	3:1	4	0,03
-	-	-	3:1	80	0,023
-	-	-	2:1	3	0,001
-	-	-	2:1	1,5	0,008
-	-	-	1:1	2	відсут.
-	-	-	1:2	3	розчин поверх.
-	-	-	1:4	4	-"-

Відсутність прикатодного шару дозволяє отримати при гартуванні із ванни борування показники твердості, наближені до результатів вимірювань після повторного нагрівання у розплаві бури та в пічній атмосфері. У табл.3 подані результати вимірювання твердості борованого підшарку після гартування різних марок сталей та наступного відпуску при 473 К.

Таблиця 3

Твердість підшарку борованих деталей, HRC

Марка сталі	Твердість підшарку борованих деталей, HRC			
	Гартування з ванни борування	Гартування з ванни борування з зворотним струмом в останні 20 хв.	Гартування з повторного нагрівання у розплаві бури	Гартування з повторного нагрівання в пічній атмосфері
45	35±10	51±4	52±2	54±3
У7	39±5	61±2	66±2	67±2
40Х	36±4	51±2	53±1	58±2
ШХ15	35±1	62±2	63±2	66±4
9ХС	52±2	64±2	62±2	64±3
5ХНМ	46±2	57±2	58±2	63±1

Гартування через воду у масло та наступний відпуск змінюють мікроструктуру борованого підшарку. Після охолодження на повітрі перехідна зона має структуру перліту з виділеннями цементитних або спеціальних карбідів. Гартування з ванни борування при звичайних режимах призводить до появи сорбо-трооститних структур. Тільки для сталі 9ХС в перехідній зоні виявляли ділянки мартенситу. При охолодженні з ванни при боруванні за режимами, що забезпечують відсутність прикатодного шару, підшарок мав троосто-мартенситну структуру. Це приводило до закономірних змін при визначенні твердості. Наявність борованого підшарку підвищує показник твердості різних марок сталей порівняно з даними довідника [9].

Таким чином, можна зробити такі висновки:

1. Термічна обробка борованих деталей у пічній атмосфері може забезпечити необхідний рівень твердості вуглецевої сталі. Однак для збереження властивостей боридного шару та борованої поверхні необхідно обмежити температуру нагрівання під гартування 1123 К.
2. Як середовище для повторного нагрівання легованих марок сталей до температур понад 1123 К рекомендується використовувати розплави боратних солей.

3. При гартуванні з ванни борування після електролізу з постійним струмом закристалізований шар бури знижує швидкість охолодження деталей. Для забезпечення загартуваності необхідно застосувати дифузійний відпал та зворотну полярність наприкінці електролізу, що сприяє розчиненню прикатодного шару.

Kinetics has been investigated and mechanism of oxidation of boride layer has been proposed in case of its heating in furnace medium. Comparison investigations of the processes of thermal treatment of boronized parts made of carbon steel that involve hardening heat in furnace medium and in borate solutions have been carried out. Temperature of hardening heat of carbon steel assuring required hardness and surface quality has been determined. To carry out hardening out of a boronization tank, conditions ensuring dissolution of cathode layer that forms on the parts in the process of electrolysis boronizing have been investigated.

Література

1. Ворошнин Л.Д., Ляхович Л.С. Борирование стали.- М.: Металлургия, 1978 .- с.91.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : Справочник // Под ред. Л.С.Ляховича - М.: Металлургия, 1981.- 424 с.
3. Гринберг Е.М., Чиркова Ф.В., Головин С.А. Особенности технологического процесса борирования точного инструмента.
4. А.с. 1164289 СССР, МКИ С 21Р1/70 Состав для защиты от окисления при термической обработке изделий/С.О.Болдовская, В.С.Аракельян, В.П. Бродахин.- Оpubл. 1985. Бюл. №24. - С. 4-8.
5. А.с. 1339164 СССР, МКИ 21 Д 9/22, 1/46, 1987 Способ обработки стальных изделий /И.М.Спиридонова, Е.Д. Сюткина, Е.Н. Черненко , В.И. Мостовой и др.- Не опубл.
6. Гуслиенко Ю.А., Лабунец В.Ф., Евтушенко О.В. Применение высокочастотного нагрева для термической обработки комбинированных электролитических покрытий//Защитные покрытия на металлах.- 1981.- №15.- С.28-31.
7. Пасечник С.Я., Коротков В.Д. Электролитное борирование чугунов // Защитные покрытия на металлах.- К.: Наукова думка, 1967. Вып.1.-С.40-46.
8. Спиридонова И.М., Ворошнин Л.Г., Бондаренко А.М. Повышение стойкости борированных изделий последующей термической обработкой // Известия АН БССР. Сер. Физико-техническая, 1978.- №3.- С.21-23.
9. Марочник сталей и сплавов / В.Г.Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. // Под общ.ред. В.Г. Сорокина.-М.:Машиностроение, 1989.- 640 с.

Одержано 12.01.2000 р.