

Швидкість переміщення ланцюгів елеватора 0,4—2,0 м/с. Місткість ковшів елеватора 1,5—140 дм³, продуктивність елеватора 20—250 м³/год., висота підйому 50—75 м.

Література:

1. Беленя Е. И. Предварительно напряженные металлические несущие конструкции. М.: Стройиздат, 1963.
2. Бычков Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. М.: Госиздат. 1962
3. Джураев А.Х. Повышение усталостной прочности металлических конструкций методом предварительного напряжения: Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: 1983

УДК 621.79

ЦИНКУВАННЯ СТАЛІ

Скімов О., Луценко Е., здобувачі вищої освіти ТЕК гр. А2/2

Миколаївський національний аграрний університет
Наукові керівники к.е.н., доц. Полянський П.М., к.т.н., проф. Іванов Г.О.

Анотація

Розглянуто основні методи та технологія проведення цинкування сталі для отримання підвищеної корозійної стійкості сталі.

Annotation

It is considered basic methods and technology of conducting of zinc-plating of steel for the receipt of the promoted corrosive firmness of steel.

Сучасні вимоги до виробництва деталей з сталей все більше потребує покращених фізико-механічних властивостей уже готових виробів. Для підвищення підвищення корозійної стійкості сталі застосовується цинкування в атмосфері гарячих газів (300-550 °С), що містять сірководень.

До основних методів цинкування відносяться:

- 1) гаряче цинкування (занурення в розплавлений цинк);
- 2) цинкування в порошок цинку;
- 3) цинкування в парах цинку;
- 4) металізація;
- 5) електролітичне цинкування.

Перші три методи цинкування є хіміко-термічними, оскільки передбачають нагрів деталей, в результаті якого утворюється дифузійний шар, що є сплавом заліза і цинку. Ці методи забезпечують міцніший зв'язок поверхневого шару із сталлю, ніж два останні методи.

I. Гаряче цинкування. Протравлені і промиті вироби занурюють через шар флюсу в розплавлений цинк, нагрітий до 430-460 °С; тривалість цинкування (від 10-20 с. до декількох хвилин) залежить головним чином від розмірів деталей; глибина цинкованого шару 0,02-0,03 мм.

II. Цинкування в порошок цинку. Цей метод дозволяє одержувати на деталях складного профілю з глибокими крізними отворами, нарізкою, виточками і т.д. дифузійні шари хорошої якості, рівномірні по глибині і не мають слідів налиплого цинку. Шар, що утворюється при

обробці в порошку цинку, має інший склад і будову, а отже, інші властивості, ніж шар, одержуваний при «гарячому цинкуванні».

Цинкування в порошку цинку виконується в залізних ящиках і в печах з ретортою, що обертається. Перший з цих способів більш простий, але менш продуктивний. Використовуваний для цинкування порошок (75-89% Zn, інше - окису цинку і домішки) є відходом виробництва, одержуваним при вогняному методі витягання цинку з руд при дистиляції цинку.

Для цинкування в ящиках можна застосовувати 100% цинковий порошок, але краще використовувати різні суміші. П. П. Давидов запропонував застосовувати порошок цинку, оброблений соляною кислотою. Для цього до порошку цинку додають 1,0% соляної кислоти, потім склад просушують і дроблять шматки, що утворилися. Такою обробкою порошку досягається утворення деякої кількості хлористого цинку, прискорюючого процес цинкування. Крім того, усувається окислення деталей і порошку при нагріві ящика. Рекомендується використовувати порошок з розміром частинок 0,1-0,25 мм. Після кожного процесу цинкування порошок знов обробляється тією ж кількістю соляної кислоти, а після 10-кратного вживання додають до нього 10% свіжого порошку.

Призначені для цинкування деталі, очищені від іржі і окалини дріб'ю або піскоструминною обробкою, укладають в ящики, вживані при алюмініювання або хромуванні. Час витримки при 380 °С обмежується 3-4 год. Глибина цинкованого шару досягає при цьому 0,03-0,04 мм.

Вплив тривалості цинкування в порошку цинку при 380 °С на глибину цинкованого шару приведено нижче (за даними П. П. Давидова):

Тривалість цинкування в год.	1	2	3	5	8	10
Глибина шаруючи в мм	0,020	0,024	0,032	0,043	0,050	0,070

Деталі виходять сріблито-сірого кольору з незначною шорсткістю.

Іноді для цинкування застосовують порошкоподібну суміш яка складається з 75% цинку і 25% кварцового піску, що запобігає спікання частинок цинку. Для зменшення окислення порошку цинку при нагріві рекомендується також додавати до нього 2% порошку деревного вугілля.

Після закінчення цинкування деталі промиваються у воді і піддаються пасивації у ванні, що містить 50 г CrO₃ і 4 г H₂SO₄ або 150 г CrO₃ і 50 г NaCl. Після пасивації деталі промиваються в холодній і гарячій воді. Для підвищення корозійної стійкості оцинковані деталі рекомендується піддавати фосфатуванню або безлегування оксидуванню.

Цинкування в порошку цинку в ретортах, що обертаються, широко вживане в США, як це видно з мал. 1, протікає швидше, ніж в ящиках. Це пояснюється тим, що до поверхні сталі безперервно поступає свіжий порошок. Процес здійснюють при 370-440 °С. Для визначення тривалості витримки при 380-390 °С приймають, що за 1 год глибина дифузійного шару збільшується на 0,015-0,020 мм. Швидкість обертання реторти рекомендується підтримувати в межах 1-15 об/хв, причому кожна установка має свою оптимальну швидкість обертання, при якій глибина шару отримують максимальну. Витрата цинкового порошку на 1 м² цинкованій поверхні складає, за різними даними, 160-300 р. Вартість цинкування сталі в порошку цинку в 2-2,5 рази нижче за вартість гальванічного цинкування.

Цинкування в порошку цинку можна здійснювати в атмосфері водню або аміаку. У разі використання аміаку глибина цинкованого шару за 4 год при 400 °С досягає 0,1 мм. Процес цинкування в суміші порошоків цинку і окислу алюмінію швидшає в атмосфері хлористого водню.

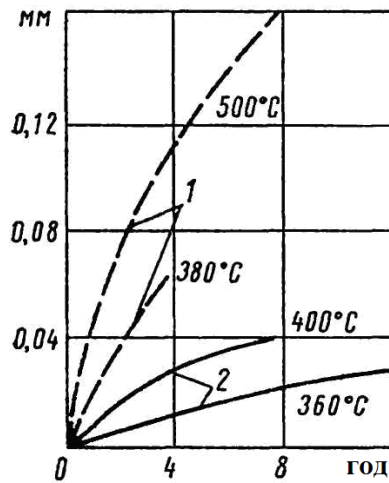


Рис. 1. Вплив часу цинкування при різних температурах на глибину дифузійного шару низьковуглецевої сталі:
1 – цинкування в реторті, що обертається; 2 – цинкування в ящику

При вмісті в суміші 50% окислу алюмінію цинкування можна виробляти при температурах до 850° С. При цьому досягається велика глибина дифузійного шару і висока концентрація в ньому цинку, в результаті підвищується корозійна стійкість сталі.

III. Цинкування в парах цинку. Цей метод цинкування здійснюється у вакуумі або у відновних середовищах.

Цинкування у вакуумі при розрідженні до 10^{-2} – 10^{-3} мм.рт.ст. (1,33– 0,13 н/м²) забезпечує велику швидкість процесу і дозволяє понизити температуру обробки.

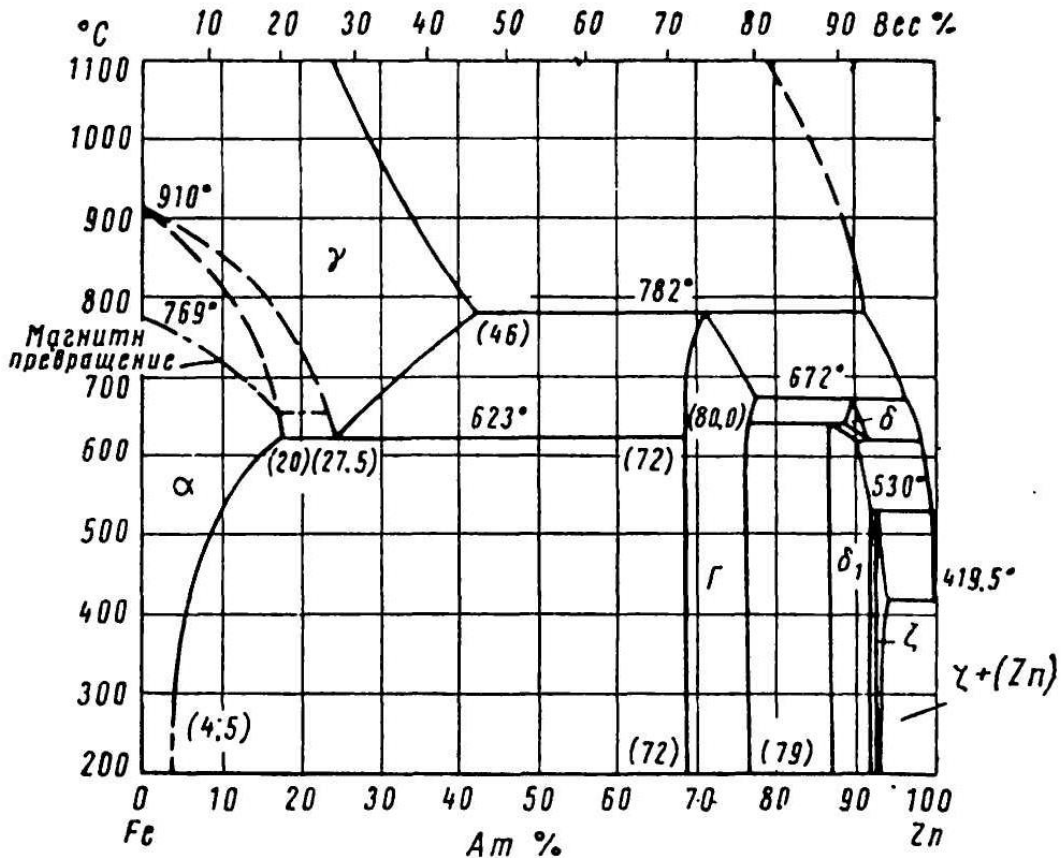


Рис. 2. Діаграма стану системи Fe-Zn

Цинкування в парах цинку при високих температурах було проведено для труб з низьковуглецевої сталі для регенераторів, необхідних у виробництві синтетичного бензину. Труби після піскоструйної обробки заповнюються сумішшю, 78% цинкового пилу, 22%

глинозему, і вставляються в каркас, що вміщає 200 труб, на якому укріплюють корита з сумішшю, що складається з 60% цинкового пилу і 40% глинозему. Каркас поміщають в муфель печі (довжина 16,8 м). Повітря з муфеля витісняється азотом, який при нагріві до 200-500 °С поступово замінюється воднем. Процес продовжується при температурі 870 °С і тиску 30 мм.рт.ст. При такій температурі цинковий порошок повністю випаровується. Глибина цинкованого шару досягає 0,15 мм. Менш відповідальні деталі цинкуються при 720-730 °С.

Газове цинкування здійснювали в потоці водню, що пропускається через піч. У першу зону печі (350-380 °С) поміщали фарфорові човники з розплавленим хлористим цинком, а у другу (850-1050 °С) – зразки. Була досягнута глибока дифузія цинку в сталь, але концентрація в шарі цинку опинилася недостатньою.

Розглянемо структуру цинкованого шару. При цинкуванні протікає зустрічна дифузія заліза і цинку крізь проміжні фази. Послідовність чергування гомогенних фаз в дифузійному шарі відповідає ізотермі при даній температурі діаграми стану системи Fe-Zn (мал. 2). Спочатку утворюється твердий розчин цинку в (рис. 3), потім - вузька зона порівняльно твердої Г-фази (на базі з'єднання Fe_3Zn_{10} , якому раніше приписувалася формула Fe_5Zn_{21}). Далі при продовженні дифузії цинку в залізо, а залоза до поверхні, виникає наступна, бідніша залізом, порівняльно в'язка δ_1 -фаза (на базі з'єднання $FeZn_7$) і, нарешті, крихка ζ -фаза (на базі $FeZn_{13}$) і в'язка η -фаза (η - твердий розчин заліза в цинку, що містить тисячні частки відсотка заліза, тобто майже чистий цинк).

Реакція між залізом і розплавленим цинком вивчалася багатьма дослідниками, що викликано як практичним (від фазового складу шару залежить його в'язкість), так і теоретичним інтересом, оскільки виявилось, що температурна залежність швидкості росту інтерметалевих фаз, що утворюються при цинкуванні заліза в розплавленому цинку, має вельми своєрідну закономірність. Швидкість росту окремих фаз і кінцеві структури дифузійного шару визначаються співвідношенням швидкості процесу розчинення заліза в рідкому цинку і швидкості стрічної дифузії заліза і цинку крізь проміжні фази. Встановлено, що нижче і вище за інтервал температур 490-520 °С. Із зростання інтерметалевих фаз в часі відбувається по параболічному закону, а у вказаному інтервалі температур дифузійний шар росте з великою швидкістю по прямолінійному закону (мал. 4 і 5).

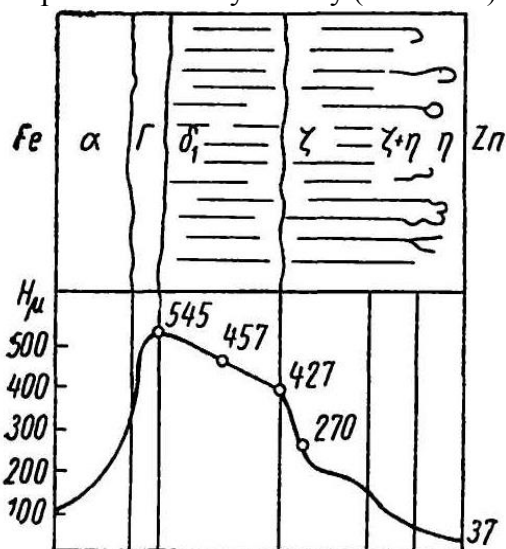


Рис. 3. Зміна мікротвердості по глибині цинкового покриття, що утворюється в розплавленому цинку

Таким чином, при взаємодії заліза з рідким цинком протікають реакції двох типів. Реакції першого типу відповідають зростанню фаз по параболічному закону, реакції другого типу - зростанню фаз по прямолінійному закону. При реакціях другого типу (490-520 °С) зона шару з Г-фазою не утворюється, а при реакціях першого типу утворюється (фіг. 4, 5). Мабуть, аномалія в глибині шару при температурах біля 500 °С пов'язана з тим, що швидкість

розчинення заліза в цинку при цих температурах вища швидкості утворення Г-фази, внаслідок чого виникають лише багатші цинком фази.

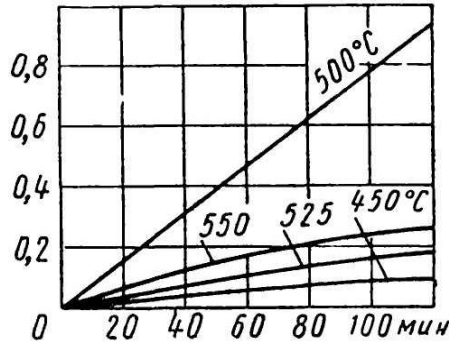


Рис. 4. Залежність глибини дифузійних шарів від тривалості цинкування при різних температурах

Характерною межею другого типу реакції заліза з цинком є освіта на залозі сітчастої структури фази δ_1 - FeZn_7 (у раніших роботах δ_1 -фазі приписувалася формула FeZn_{10}). По проміжках цієї кристалічної структури рідкий цинк швидко досягає поверхні заліза, де і відбувається реакція. Тому δ_1 -фаза росте лінійно, причому швидкість росту велика.

Найкрихкішою фазою, що різко знижує пластичність дифузійного шару, є ζ -фаза. Тому прагнуть до того, щоб товщина ζ -фази була невелика і шар складався в основному з δ_1 - і η -фаз. Г-фаза більш крихка і тверда, ніж δ_1 -фаза, але її товщина не перевищує 0,004 мм. Г-фаза утворюється на самому початку процесу (швидше, ніж за 1 мін) і надалі її товщина практично не міняється (рис. 6, б).

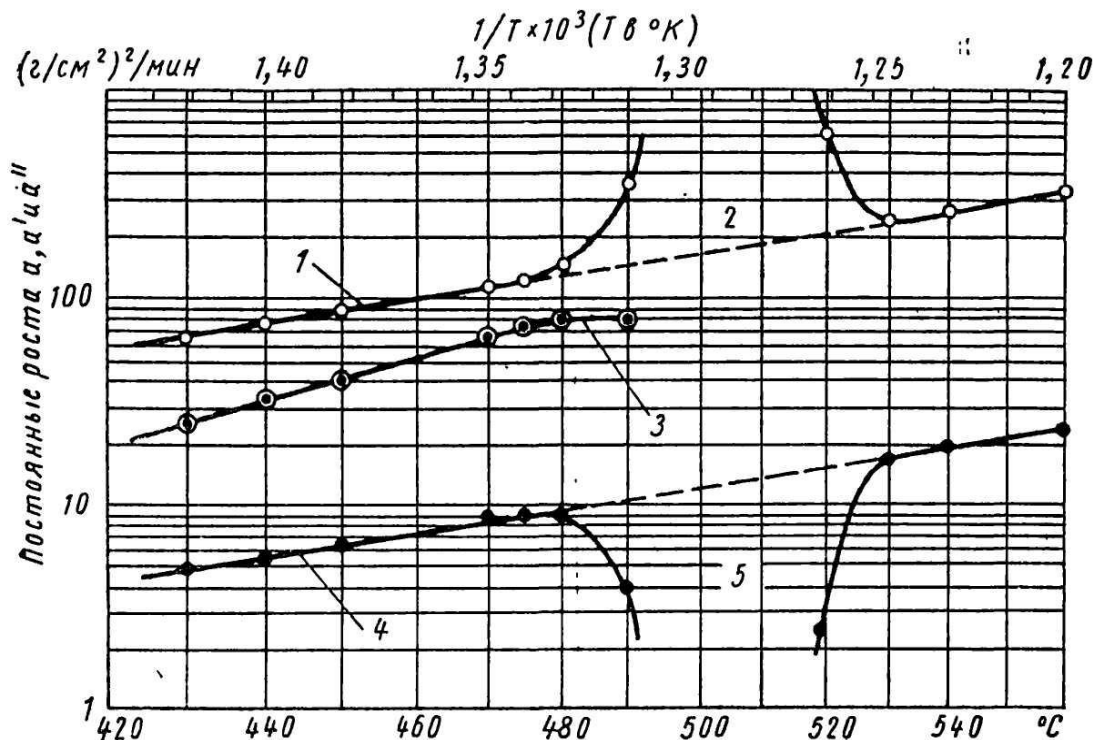


Рис. 5. Залежність постійних зростання фаз δ_1 і Γ від температури цинкування заліза:
 1- спад заліза $\alpha \cdot 10^8$; 2 - лінійна залежність зростання фаз від часу;
 2- 3 - вміст заліза в δ_1 -фазі $\alpha' \cdot 10^8$; 4 - вміст заліза в Γ -фазі $\alpha'' \cdot 10^{10}$; 5 - Γ -фаза відсутня

Цинкування в розплаві цинку частіше здійснюється при 430-460° С. Збільшення витримки і особливе підвищення температура приводить до розвитку зони крихкої ζ -фази і зменшенню товщини δ' -фази. Із збільшенням тривалості цинкування ζ -фаза спочатку росте швидко, але потім швидкість її росту відстає від швидкості росту δ' -фази. Це указує на велику швидкість дифузії заліза крізь Г-7 і δ' -фази, ніж цинку крізь ζ -фазу.

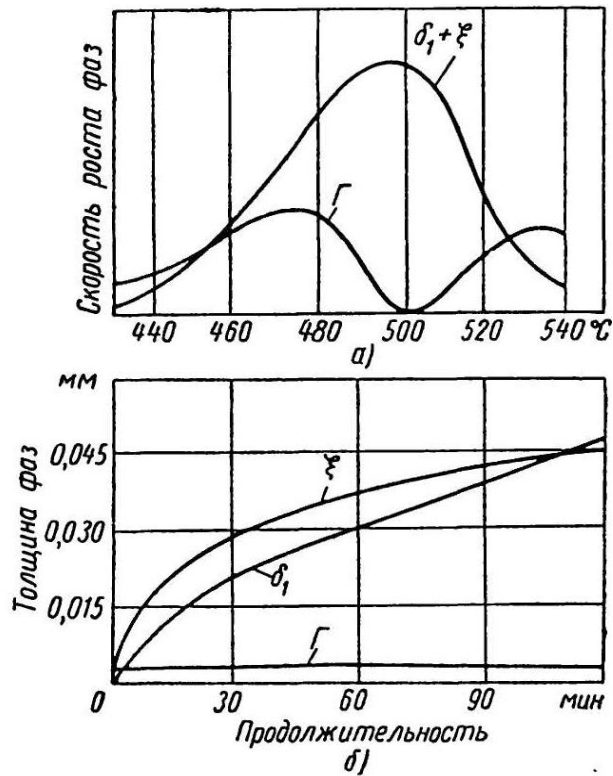


Рис. 6. Залежність кінетики зростання фаз Γ , δ' , ζ при короточасній витримці від температури цинкування (а) і тривалості процесу при 460 °С (б)

Підвищення в сталі змісту вуглецю, фосфору і кремнію сприяє розвитку ζ -фази, що погіршує пластичні властивості дифузійного шару. Для цинкування рекомендується кипляча безкремнієва сталь, оскільки присутність навіть 0,15- 0,20% Si (у спокійній розкислюючій крем'янистій сталі) викликає отримання крихких шарів. Зміна характеру взаємодії заліза з розплавленим цинком залежно від вмісту в залізі кремнію показана на мал. 7. Кремній розширює температурну зону, в межах якої розчинення заліза протікає по прямолінійному закону. Проте при високому вмісті в залозі кремнію ця зона повністю замикається.

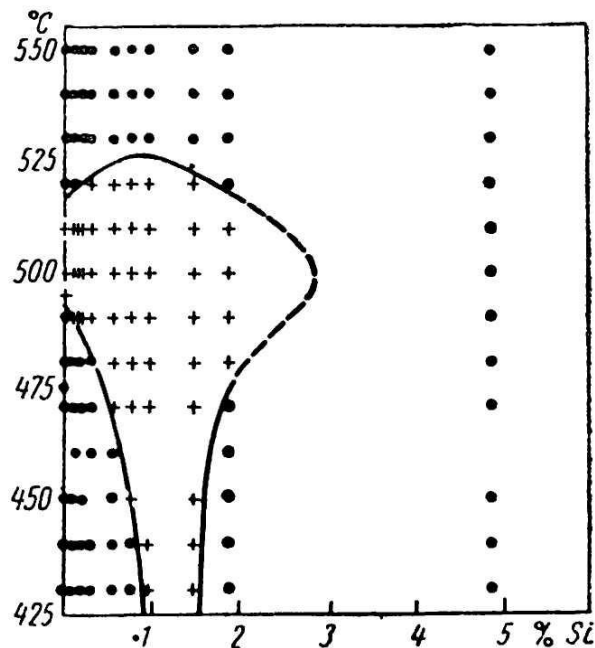


Рис. 7. Вплив змісту кремнію в розплаві цинку на характер залежності глибини дифузійного шару від тривалості обробки; позначення:
- параболічна залежність; + - прямолінійна залежність

При додаванні в цинкову ванну 0,05% Al зменшується чад цинку, і поверхня покриття стає світлішою. При додаванні 0,15-0,20% Al зменшується товщина ζ - і δ' - фаз, і покриттів складається в основному з η -фази (твердого розчинну заліза в цинку), відокремленою від заліза тонкою проміжною зоною (сумішню фаз $\zeta + \eta$). Це підвищує в'язкість дифузійного шару і виключає його відшаровування.

Механізм впливу алюмінію на зміну будови шару остаточно не з'ясований. Передбачається, що на поверхні заліза виникає якась тонка плівка (можливо, FeAl_3), перешкоджаючи дифузії заліза в цинк і, отже, гальмуючи розвиток δ' - і Γ -фаз.

Термічна обробка цинкового покриття майже не застосовується, проте вона вельми збільшує в'язкість і товщину покриття, що подовжує термін служби оцинкованих деталей. Недоліком подальшої термічної обробки є погіршення виду поверхні (вона стає тьмяно-матовою), але до такої поверхні дуже гарно прилягає краска. Термічну обробку рекомендується проводити при 490-570 °С з витримкою 30-10 с; при цьому виникає широка зона δ' -фаза за рахунок розчинення η -фази і крихкої ζ -фази.

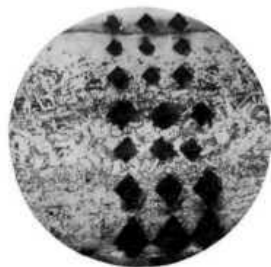


Рис. 8. Мікроструктура сталі 08 після перебуванні на протязі 17 с в розплавленому цинку при 480 °С

Мікроструктура цинкованого шару дроту, одержаного методом занурення в розплавлений цинк, суміщеним з процесом патентування, показано на рис. 8. Шар складається з металевоцинкових сплавів з різноманітним вмістом цинку і різної мікротвердості. Сама поверхня, найбільш м'яка зона шару (великі розпливчасті відбитки піраміди), співпадає складу сплаву. В середині слою добре видно характерна евтектична структура, мікротвердість цієї зони декілька вища, ніж середніх. До серцевини сталі примикає вузька майже не перехідна зона, найбільш збідніла цинком, найбільш тверда, яка має стовбурну побудову, її можна віднести до Γ -фази.

За даними П.П. Давідова, при цинкуванні в порошок цинку середній склад вмісту заліза в верхньому шарі, отриманом при 380 °С, рівно 8-11%, а поверхня твердого слою складає HV250-260. За іншими даними вміст заліза в цинковому шарі 8-10% а іноді і нижче (до 6%). При підвищенні температури вміст заліза в дифузійному шарі підвищується до 18-28%, за рахунок чого корозостійкість зменшується. З підвищенням температури декілька знижується твердість слою (рис. 9). Твердість шару, отриманого з порошку цинку, в декілька разів вище, ніж отриманого під гарячим або гальванічному цинкуванні.

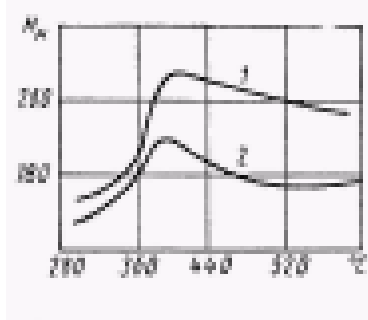


Рис. 9. Зміна мікротвердості дифузійного шару в залежності від температури цинкування (термін процесу 1 год):
1-навантаження 100 Г; 2-навантаження 250

Потенціал поверхні шару сталі, оцинкованому в порошці, рухається в межах від -0,20 до -0,25 В, а потенціал цинка – 0,76 В.

Рентгенобудовий аналіз показує що поверхня шару представляє собою δ' -фазу з Гексогональною решіткою. Ця фаза гомогенна в інтервалі 88,5-93% Цн. Зона примикаюча до середини і до серцевини, є Γ – фаза, яка гомогенна в інтервалі 75-78% Цн. Мікроструктура шару, отриманого в порошці цинку, приведена на рис. 10. Стовбурні зерна являють собою, δ' -фазу.

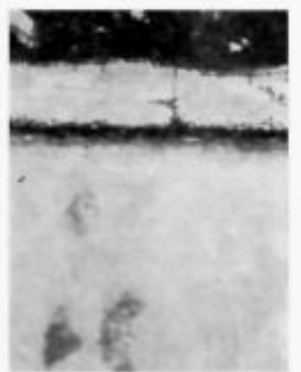


Рис. 10. Мікроструктура сталі 08, оброблена в порошці цинку при температурі 380 °С і витримці 3 год (x400)

Властивості цинкованої сталі. Цинкування - один з ефективних методів захисту чорних металів від корозії. Цинкове покриття захищає метал від корозії не тільки механічно (як це має місце при гальванічному нікелюванні, лудінні і т.д.), але і електрохімічний. Цинк є електропозитивним по відношенню до заліза, тобто активнішим металом; тому, якщо під дією корозії або в результаті механічних пошкоджень поверхня оцинкованого заліза оголіє, то в першу чергу окислюватиметься цинк, оберігаючи залізо від корозії до тих пір, поки не оголіє велика частина поверхні заліза.

Цинкові покриття мають високу корозійну стійкість в повітрі, у воді і в деяких органічних середовищах (бензині, маслі), але нестійкі в кислотах і лугах. Гарячому цинкуванню (занурення в розплав цинку), крім листів, труб, дроту, різного посуду, піддаються деталі апаратури для отримання питної води, спиртів, деталі опріснювальних установок, холодильників, газових компресорів і т.д.

Дифузійний шар, що утворився при цинкуванні в порошок, в деяких середовищах опиняється менш стійким проти корозії, ніж покриття, одержане методом занурення; у інших середовищах співвідношення в стійкості покриттів може бути зворотним. Зокрема, шар, одержаний в порошок цинку, показує при атмосферних випробуваннях майже такі ж добрі результати, як і кадміюване покриття. Сталь, піддана цинкуванню в порошок, показує також вищу корозійну стійкість в морській воді, ніж сталь, оброблена гарячим цинкуванням. Дифузійне цинкування добре захищає елементи конструкцій споруд нафтопромислів від корозії в морській воді, у вологому повітрі і ґрунтових водах, що містять сірководень.

Наприклад, палі споруд нафтопромислів протягом 4 років експлуатації зберегли 80% цинкованого шару.

Дифузійне цинкування підвищує корозійно-втомна міцність сталі. Так, корозійно-втомна міцність нормалізованої і потім цинкованої сталі 35 в 3%-ном розчині хлористого натрію така ж, як у незахищеної на повітрі; корозійно-втомна міцність сталі 20ХН в ґрунтовій зоні після цинкування в 2 рази вище, ніж до цинкування.

Дифузійне цинкування у декілька разів підвищує стійкість насосних штанг, що працюють в свердловинах в корозійному середовищі. Воно застосовується для обробки деталей машин, приладів, електроустаткування, болтів і гайок нафтового устаткування. Великою перевагою цього методу перед гарячим цинкуванням є чистота поверхні і відсутність налиплого цинку.

Цинкована будь-яким способом сталь володіє підвищеною стійкістю в гарячих газах, що містять сірководень. Як відомо, а такому середовищу відбувається інтенсивна корозія стали, і на її поверхні утворюється пористий рихлий шар сірчистого заліза, володіючий великим об'ємом і малою теплопровідністю, внаслідок чого відбувається «розбухання» поверхні, і деталі швидко виходять з ладу. У цих середовищах стійкість цинкових покриттів, одержаних різними способами, обмежується наступними граничними температурами: 300° С для гарячого і гальванічного цинкування; 400-500 °С для цинкування в порошок цинку (глибина шаруючи 0,05—0,06 мм); 550° С для цинкування в парах цинку (глибина шаруючи 0,15 мм).

Для підвищення стійкості в сірчаних газах доцільно піддавати цинкуванню не тільки вуглецеві, але і теплостійкі і високохромові окалійностійкі сталі.

Дифузійне цинкування зменшує схильність до випадання сажі на поверхні стали при 400—450 °С із з вуглеводнів і інших органічних сполук.

Дифузійний шар, одержаний в парах цинку на трубах апаратури для синтезу бензину, не руйнується протягом 1 року при роботі в газовому потоці з температурою 535 °С, що містить 10% сірководня. Оцинковані у такий спосіб труби і інші деталі широко застосовуються в хімічній промисловості, наприклад в регенераторах для виробництва аміаку, метанолу, капролактаму і т.д.

Аустенітні хромонікельові сталі цинкувати не слід, оскільки цинк з нікелем утворюють крихкі з'єднання.

Література:

1. Технологія металлов : учебник / под ред. Б. В. Кнорозова – М. : Металлургия, 1978. – 880 с.
2. Технологія металлов и материаловедение : учебник / под ред. Л. Ф. Усовой. – М. : Металлургия, 1987. – 800 с.
3. Технологія конструкционных материалов : учеб. пособие / под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Солнцев Ю. П. Металловедение и технология металлов : учеб. пособие / Ю. П. Солнцев, В. А. Веселов, В. П. Демянцевич – М. : Металлургия, 1988. – 512 с.
5. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232.: іл.
6. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 232.: іл.
7. Технологія металлов и материаловедение : учебник / под ред. Л. Ф. Усовой. – М. : Металлургия, 1987. – 800 с.
8. Химико-термическая обработка металов и сплавов : учеб. пособие / под ред. А. Н. Минкевич. – М. : Машиностроение, 1965. – 494 с.
9. Технологія металлов и конструкционных материалов : учеб. пособие / [Скобников К. М., Глазов Г. А., Петраш Л. В. и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1972. – 520 с.

УДК 331.451

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ФІЗІОЛОГІЇ ПРАЦІ ТА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

Атрощенко А.С., здобувач вищої освіти гр. М4/1

Миколаївський національний аграрний університет
Науковий керівник ст. викл. Курепін В.М.