

УДК 621.785.53

ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМАШИН ТА ТРАКТОРІВ МЕТОДОМ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ НІТРОЦЕМЕНТАЦІЇ В ПОРОШКОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**В.О. Костик, доцент, к.т.н., К.О. Костик, доцент, к.т.н.,
А.С. Долженко, магістрант, Національний технічний університет «ХПІ»**

Анотація. Виконано зміцнення поверхневого шару сталі методом низькотемпературної нітроцементації в макродисперсному карбо- та азотовмісному порошковому середовищі. Обрано та обґрунтовано оптимальні технологічні параметри розробленого процесу хіміко-термічної обробки. Розраховано коефіцієнт дифузії азоту для легованої сталі 40X при запропонованій обробці.

Ключові слова: низькотемпературна нітроцементація, сталь, дифузійний шар, поверхнева мікротвердість, дифузія азоту.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОМАШИН И ТРАКТОРОВ МЕТОДОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ В ПОРОШКОВОЙ СРЕДЕ

**В.О. Костик, доцент, к.т.н., Е.А. Костик, доцент, к.т.н.,
А.С. Долженко, магистрант, Национальный технический университет «ХПИ»**

Аннотация. Выполнено упрочнение поверхностного слоя стали методом низкотемпературной нитроцементации в макродисперсной карбо- и азотосодержащей порошковой среде. Выбраны и обоснованы оптимальные технологические параметры разработанного процесса химико-термической обработки. Рассчитан коэффициент диффузии азота для легированной стали 40X при предложенной обработке.

Ключевые слова: низкотемпературная нитроцементация, сталь, диффузионный слой, поверхностная микротвердость, диффузия азота.

SURFACE HARDENING OF AUTOMOBILES AND TRACTORS PARTS BY METHOD OF LOW-TEMPERATURE CARBONITRIDING IN POWDER MEDIUM

**V.O. Kostyk, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, K.O. Kostyk,
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, A.S. Dolzhenko, master student,
NTU «KhPI»**

Abstract. Performed is strengthening of the surface layer of steel method of low-temperature carbonitriding in macrodispersed carbo - and nitrogen-bearing powder mixture. Chosen and justified the optimal technological parameters of process developed chemical-thermal processing. The diffusion coefficient of nitrogen alloyed steel 40X for the proposed treatment.

Key words: low-temperature carbonitriding, steel, diffusion layer, surface microhardness, the diffusion of nitrogen.

Вступ

Конструкційні сталі мають широку галузь застосування, однією з яких є деталі автома-

шин, тракторів та інші машини з широкою номенклатурою деталей, які працюють в умовах корозійного руйнування та зносу.

Корозійні втрати виробів з чорних і кольорових металів за час експлуатації становлять третину їх маси. Тому розробка новітніх антикорозійних технологій є пріоритетним напрямом у машинобудуванні.

Явище зносу, що обмежує терміни експлуатації машин, виникає у процесі взаємодії поверхонь при терті та розвивається в якнайтонших поверхневих шарах металу глибиною в тисячні, соті і (дуже рідко) десяті частки міліметра. Тому при вирішенні проблеми підвищення зносостійкості машин та їх найвідповідальніших складових деталей велика увага приділяється різним методам зміцнення поверхневих шарів і, зокрема, хіміко-термічній обробці.

Аналіз публікацій

Процес нітроцементації відкриває сприятливі перспективи для широкого використання низьколегованих і вуглецевих сталей замість високолегованих для виготовлення деталей машин, тому що азот є досить ефективним легувальним елементом, який підвищує міцність і зносостійкість поверхневих шарів оброблюваних деталей. Нітроцементація дозволяє отримати стабільно високу міцність і експлуатаційні якості деталей [1].

Останнім часом все більше стали використовувати низькотемпературну нітроцементацію при 540–610 °С тривалістю від 3 до 12 годин. Важливою перевагою поверхневого насичення атомарними елементами є можливість обробляти дуже складні за формою деталі та одержувати рівномірний зміцнений шар однакової товщини [2–3].

Мета і постановка задачі

Метою роботи є зміцнення поверхневого шару сталі методом низькотемпературної нітроцементації в порошковому середовищі.

Для досягнення поставленої мети необхідно шляхом проведення експериментальних випробувань встановити оптимальний режим хіміко-термічної обробки.

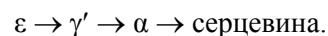
Експериментальні дані та їх обробка

Матеріалом дослідження є сталь 40X. Нітроцементацію проводили в герметично закритому контейнері з додаванням макродиспер-

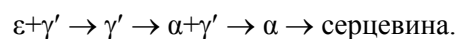
сного карбо- та азотовмісного порошку. Нагрівання здійснювали в камерній печі.

Структура нітроцементованого шару залежить від температури. Поблизу поверхні нітроцементованої сталі 40X частіше розташовується тонка крихка і непротравлена нітридна зона, яка складається з ϵ - і γ' -фаз або з ξ , ϵ - і γ' -фаз. Під цією зоною знаходиться основна зона нітроцементованого шару. Вона складається з α - і γ' -фаз; в тій її частині, яка знаходиться біля нітридної зони, іноді наявні нітриди заліза у вигляді тонких прожілок. На підставі електронно-мікроскопічного дослідження дійшли висновку, що в нітроцементованому шарі сталі 40X під впливом нітридів легувальних елементів, що виділяються, відбувається дроблення блоків. Нітриди мають розміри близько 200–500 Å і розташовуються переважно по межах цих блоків.

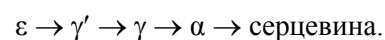
При насиченні заліза азотом за температури, нижчої за евтектоїдну (591 °С), спочатку утворюється твердий розчин азоту в α -залізі. Після того як буде досягнуто граничне насичення фази, починається утворення γ' -фази. Подальше збільшення вмісту азоту приводить до утворення ϵ -фази. Як зазвичай при дифузійному насиченні, концентрація азоту зменшується від поверхні до серцевини. Тому фазовий склад шарів по глибині за температури дифузії можна представити схемою



За зниження температури, внаслідок зміни граничної розчинності азоту в α - і γ' -фазах, відбувається виділення залишкової γ' -фази, і за кімнатної температури фазовий склад шарів буде відповідати схемі

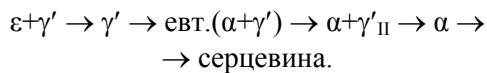


Якщо температура нітроцементації є вищою за евтектоїдну, то в доповненні до вказаних фаз утворюється ще і γ -фаза. У цьому випадку за температури дифузії нітроцементований шар складається з наступних фаз



При повільному охолодженні α - і ϵ -фази розпадаються з виділенням залишкової γ' -фази, а γ -фаза зазнає евтектоїдного перетворення –

суміш $\alpha + \gamma'$ -фаз. У результаті фазовий склад нітроцементованого шару відповідає схемі



З підвищенням температури нітроцементациї швидкість дифузії азоту вглиб сильно зростає, знижуючи концентрацію азоту на поверхні. Твердість матеріалу стає нижче, що пояснюється утворенням більш великих нітрідних частинок. Глибина шару стає більшою.

Чим вище температура процесу, тим товщим виходить дифузійний шар. Однак для отримання високої твердості поверхні процес слід вести за температур не вище 550 °С. За більш високих температур спостерігається різке зниження твердості поверхневого шару. За температур нижче 500 °С також не рекомендується вести процес, оскільки в цьому випадку сталь насичується азотом в недостатній мірі. З підвищенням температури азотування швидкість дифузії азоту вглиб сильно зростає, знижуючи концентрацію азоту на поверхні.

Для сталі 40X зі збільшенням температури від 500 до 650 °С глибина дифузійного шару збільшується від 92 мкм до 290 мкм, а глибина нітрідного шару – від 20 мкм до 65 мкм (рис. 1).

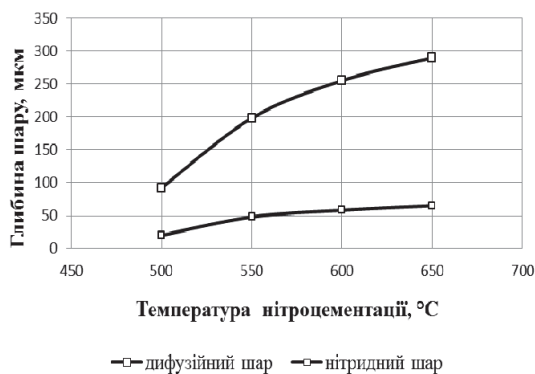


Рис. 1. Зміна глибини дифузійного та нітрідного шарів залежно від зміни температури для нітроцементациї сталі 40X

Зміцнення карбонітрідного шару проявляється у вищій, порівняно з вихідним станом, твердості поверхні. На рис. 2 зображено зміну поверхневої твердості сталі 40X залежно від температури нітроцементациї. Підвищення твердості поверхневого шару сталі відбувається, головним чином, у результаті виділення з фериту за кімнатної температури

нестабільних α'' -нітрідів та утворення дуже твердих нітрідів легувальних елементів. Кількість поглиненого азоту, а також тип і кількість нітрідів, що виділилися, визначають ступінь підвищення твердості.

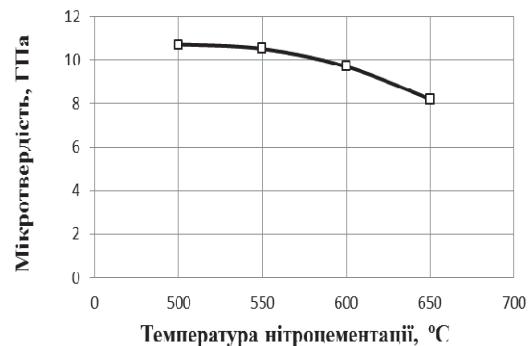


Рис. 2. Зміна поверхневої твердості залежно від температури нітроцементациї

Під шаром сполук твердість нижче і, відповідно до концентраційного профілю азоту, знижується від поверхні до серцевини матеріалу. Криві на рис. 3 відображають зміну твердості сталі 40X після низькотемпературної нітроцементациї від поверхні до серцевини зразка. За температури 500 °С твердість на поверхні є високою, але товщина поверхневого шару є недостатньою. При 550 °С твердість на поверхні є високою і глибина шару відповідає необхідному значенню, ближче до серцевини твердість повільно зменшується. При 600 °С та 650 °С твердість поверхні має нижчі значення, ніж при 500 °С та 550 °С. Тому оптимально для низькотемпературної нітроцементациї обрати температуру 550 °С.

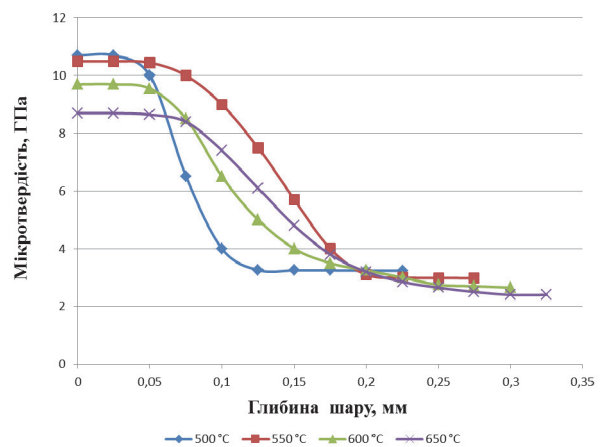


Рис. 3. Зміна твердості сталі 40X після низькотемпературної нітроцементациї залежно від відстані від поверхні

Тривалість процесу нітроцементації пов'язана з появою такого дефекту дифузійного шару як «темна складова», тому що у процесі витримки відбуваються перетворення у фазовій будові дифузійної зони, які призводять до цього дефекту [3–6]. У початковий період насичення дифузії азоту відбувається у двофазну аустенітно-феритну область, коли швидкість дифузії вуглецю є ще малою. З підвищенням активності середовища та розігрівом сталі відбувається насичення поверхні сталі вуглецем і десорбція азоту, яка супроводжується утворенням пор.

Глибина дифузійного шару також залежить від тривалості витримки. Зі збільшенням часу від 1 години до 5 годин глибина дифузійного шару збільшується від 137 мкм до 198 мкм, а глибина нітридного шару – від 12 мкм до 48 мкм (рис. 4).

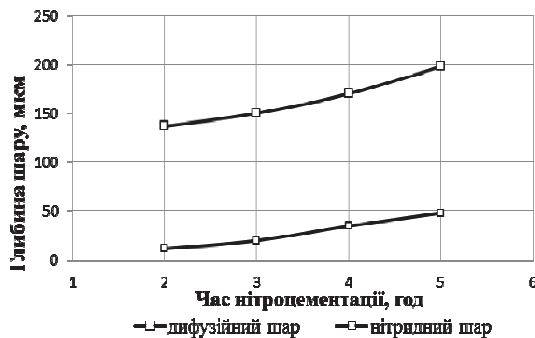


Рис. 4. Зміна глибини дифузійного та нітридного шарів залежно від зміни часу при нітроцементації сталі 40X

Тривалість процесу нітроцементації і, як наслідок, глибина шару істотно впливають на твердість сталі. На рис. 5 відображено зміну твердості сталі 40X після низькотемпературної нітроцементації залежно від відстані від поверхні. Як видно з графіків, найвищої твердості шару було досягнуто після нітроцементації протягом 5 годин.

При нітроцементації максимальний перепад за вмістом азоту між поверхнею відповідного шару сполук і серцевиною досягається вже через декілька хвилин після початку обробки, і в надалі ця різниця вже не змінюється. Елементи, що утворюють нітриди, уповільнюють дифузії і відповідно зменшують швидкість зростання азотованого шару. Це повністю відноситься і до шару сполук.

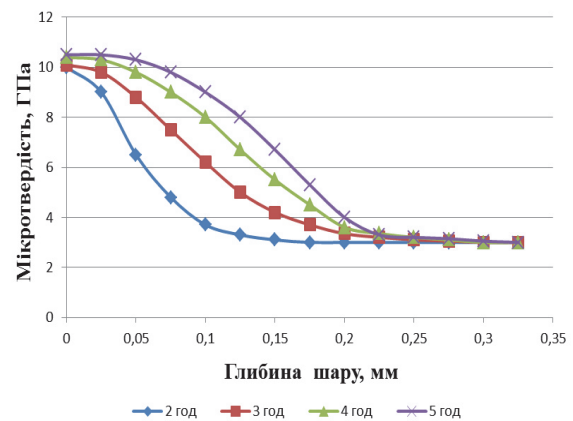


Рис. 5. Зміна твердості сталі 40X після низькотемпературної нітроцементації залежно від відстані від поверхні

Вуглець і азот, дифундуючи в аустеніт або ферит, утворюють твердий розчин проникнення, оскільки фактичний радіус атома вуглецю ($0,77\text{Å}$) і азоту ($0,71\text{Å}$) складають менше $0,59$ від фактичного атомного радіуса заліза ($1,28\text{Å}$). Тверді розчини проникнення характеризуються переважною дифузією тільки одного компонента (з меншим атомним радіусом), атоми якого проникають між вузлами матриці. При такому характері дифузії спрощується математичний опис процесу. Математичне вираження процесів атомної дифузії не має закінченої форми. Для визначення швидкості дифузії використовують рівняння Фіка, проте реальні криві розподілу концентрації елемента за глибиною дифузійної зони часто їм не відповідають, внаслідок впливу поверхневих ефектів, що не враховуються в цих рівняннях. Практично для кількісної оцінки коефіцієнта дифузії використовують друге рівняння дифузії (друге рівняння Фіка) [2–4].

При низькотемпературній нітроцементації відбувається подрібнення блоків матриці, виникнення пружних напружень і деформація решітки α -фази. Завдяки розвитку полігонізованої структури з'являється велика кількість додаткових каналів дифузії. Це дає можливість атомам азоту в процесі насичення єдиним фронтом переміщатися вглиб α -фази. До того ж атомний радіус більше у вуглецю, ніж в азоту, що під час насичення призводить до додаткової деформації кристалічної решітки, тим самим прискорює дифузії азоту вглиб. Виділення нітридів супроводжується збідненням твердого розчину як по азоту, так і по елементу, що утворює

нітрид. При утворенні зон внутрішнього зміцнення для коагуляції нітридів та карбідів, що виділилися, необхідний дифузійний потік не тільки атомів азоту та вуглецю, але і легувальних елементів. Також визначено, що в ε-фазі за рахунок дифузії легувальних елементів карбіди розчиняються.

Вуглець, що дифундує при хіміко-термічній обробці, поглинається нітридами, що утворилися в шарі сполук, внаслідок чого цей шар можна розглядати як карбонітридний.

Залежність коефіцієнта дифузії азоту для легованої сталі 40X залежно від температури нітроцементації показана на рис. 6. Як і очікували, з підвищенням температури коефіцієнт дифузії зростає.

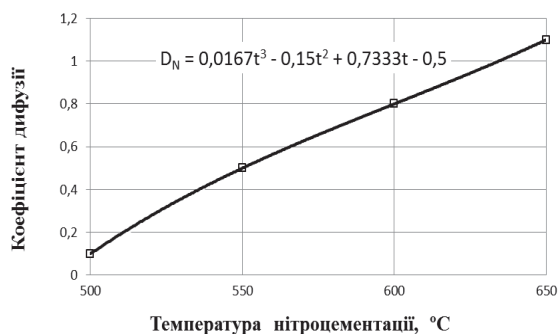


Рис. 6. Залежність коефіцієнта дифузії азоту для легованої сталі 40X від температури нітроцементації

Апроксимацією поліномом третього ступеня отримано рівняння зміни коефіцієнта дифузії азоту в сталі 40X в діапазоні температур 500–650 °C. Коефіцієнт кореляції при цьому дорівнює одиниці, що означає адекватність отриманого рівняння, наведеного на рис. 6.

Висновки

Низькотемпературна нітроцементація сталі 40X в азото- і вуглецевмісній речовині дозволяє отримати карбонітридні фази, більш подібні до класичних фаз, що утворюються при азотуванні, за рахунок більшої активності атомарного азоту, ніж атомарного вуглецю за температур 500–650 °C.

Оптимальним режимом зміцнення поверхневого шару нітроцементацією вважаємо за температури 550 °C протягом 5 годин, після проведення якої поверхнева твердість становить 10,5 ГПа із загальною глибиною дифузійного шару 0,2 мм.

Прискорення дифузії зростає майже в 5–10 разів залежно від температури ХТО при використанні запропонованого нами способу нітроцементації. З підвищенням температури ефективний коефіцієнт дифузії зростає і змінюється за формулою поліному третього ступеня.

Література

1. Чаттерджи-Фишер Р. Азотирование и карбонитрирование / Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.-В. Эйзелл, Р. Гофман и др.; пер. с нем. В.А. Федоровича; под ред. А.В. Супова. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
2. Тарасов А.Н. Высокотемпературная нитроцементация и низкотемпературное никотрирование стали 16Х-ВИ для повышения износостойкости / А.Н. Тарасов, А. Г. Нятин, П. Р. Шевченко // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – № 5. – С. 27–31.
3. Айрапетян Н.А. Повышение износостойкости конструкционных сталей с помощью низкотемпературного насыщения углеродом и азотом / Н. А. Айрапетян // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 5. – С. 23–26.
4. Fernandes F.A. P. Wear of plasma nitrided and nitrocarburized AISI 316L austenitic stainless steel / F.A. P. Fernandes, S.C. Heck, R.G. Pereira, A. Lombardi-Neto et al. // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2010. – Т. 40(2). – С. 175–179.
5. Shu-Hung Yeh. Effects of Gas Nitriding on the Mechanical and Corrosion Properties of SACM 645 Steel / Shu-Hung Yeh, Liu-Ho Chiu, Heng Chang // Engineering, Scientific Research Publishing. – 2011. – Т. 9(3). – С. 942-948.
6. Ben Slima S. Ion and Gas Nitriding Applied to Steel Tool for Hot Work X38CrMoV5 Nitriding Type: Impact on the Wear Resistance / S. Ben Slima // Materials Sciences and Applications, Scientific Research Publishing. – 2012. – Т. 9(3). – С. 640–644.

Рецензент: С.С. Дьяченко, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 20 червня 2013 р.