

УДК 623.746: 629.7.083.003.13 (045)

А.К. Скуратовський¹, канд. техн. наук, О.В. Радько², канд. техн. наук

1 - Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

2 - Національний університет оборони України, м. Київ, Україна,

АБРАЗИВНА СТІЙКІСТЬ СТАЛІ 38Х2МЮА ПІСЛЯ ІОННОАЗОТУЮЧОЇ ОБРОБКИ

Исследована абразивная стойкость деталей из стали 38Х2МЮА после упрочнения импульсным газотермоциклическим ионным азотированием. Показано, что благодаря формированию диффузионного слоя она по сравнению с упрочнением газовым азотированием увеличивается в 1,3...1,4 раза в зависимости от режимов обработки. Делается вывод о перспективах использования импульсивного ионноазотирующей обработки для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов на машиностроительных предприятиях.

The abrasion resistance of 38Х2МЮА steel details after the impulsive gasthermocyclic ionic nitriding strengthening are explored. It is shown that due to forming of diffusive layer it grows by a factor of 1.3...1.4 depending on the treatment modes. Drawn a conclusion about the prospects of the impulsive ionnitriding treatment using for renewal and work-hardening of machines and mechanisms details on machine-building enterprises.

Вступ

Сучасне машинобудування характеризується складними умовами експлуатації машин. Більшість машин, як показує аналіз [1], виходять з ладу в результаті зносу поверхонь окремих деталей, а витрати на ремонт і технічне обслуговування машин у декілька разів перевищують їхню вартість, тому матеріали деталей, що труться, повинні відзначатися високою зносостійкістю. Для досить великого числа машин і механізмів характерним є також абразивне зношування [2].

Підвищення зносостійкості деталей машин може досягатись використанням нових технологічних методів зміцнення їх робочих поверхонь. Серед різних способів підвищення опору абразивному зношуванню в даний час все більше знаходить застосування азотування [3]. У роботі [4] досліджений вплив температур попереднього відпускання і газового азотування на зносостійкість і структуру поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА. Показано, що із збільшенням температури попереднього відпускання інтенсивність абразивного зносу азотованої сталі знижується. У роботі [5] приведені результати досліджень абразивної стійкості поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА на основі яких робиться висновок, що при газовому азотуванні формується шар нітриду заліза Fe_2N (ϵ -фаза), під яким розташовується дифузійна зона, що складається з легованої азотом матриці і включень нітриду легуючих елементів, яка значно впливає на довговічність пари тертя, а абразивна стійкість збільшується майже в два рази.

При виготовленні із сталі 38Х2МЮА відповідальних деталей моторобудування, гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання, зубчастих коліс, різних деталей складної конфігурації часто застосовують процес азотування [6], що включає гаряче прокатування заготовок, гартування їх в мастилі, високе відпускання, механічну обробку і азотування при температурі 520 - 560°C. Недоліком цього способу є високі енергетичні витрати на здійснення процесу (нагрівання під гартування і високе відпускання, тривалий, до 40-80 годин, процес азотування), при цьому глибина азотованого шару не перевищує 0,5 мм, а твердість - $HV = 900$.

Одним з перспективних способів підвищення зносостійкості деталей вважається застосування методу іонного азотування, зокрема його удосконаленого різновиду – газотермоциклического іонного азотування (ГТЦ ІА) у пульсуючому режимі [7], при якому поєднуються переваги використання пульсуючого струму високої напруги та газотермічних циклів насичення поверхневих шарів матеріалу азотом.

Постановка задачі

Метою даної роботи є дослідження абразивної стійкості поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА після зміцнення імпульсним ГТЦ ІА у порівнянні з газовим азотуванням.

Методика досліджень

Поверхнєве зміцнення зразків зі сталі 38Х2МЮА за допомогою імпульсного ГТЦ ІА здійснювалося на установці ВІПА-1 [8], яка має у своєму складі автоматизовану систему контролю та управління технологічним процесом. Обробка відбувалася за 16

Рис.1. Схема машини тертя
1–клинопасова передача; 2–планка; 3–зразок; 4–кінцевий упор; 5–вісь куліси; 6–ходовий гвинт; 7–пружина; 8–кулачок; 9–барaban з шліфшкуркою та алмазним кругом; 10,11–черв'ячні передачі; 12–електродвигун

режимами: тиск реакційного газу P варіювався від 50 до 250 Па через кожні 50 Па; температура процесу T становила

400, 500 та 600°C; склад реакційного газу: 95%N₂ + 5% C₃H₈; 90%N₂ + 5%C₃H₈ + 5%Ar; 80%N₂ + 5%C₃H₈ + 15%Ar; час обробки t від 1,5 до 4 годин. Одна частина зразків підлягала зміцненню без попередньої термообробки, а іншу було попередньо термооброблено за режимом: гартування T=930...950°C у оливі, відпуск T=600...675°C, твердість 35...37 HRC. Оцінку абразивної стійкості проводили за питомим зменшенням маси зразків. Зразки піддавалися зношуванню шляхом тертя по закріпленім абразивним часткам (шліфувальній шкурці) на машині тертя [9], схема якої представлена на рис.1. Для підвищення достовірності результатів випробувань шліфувальна шкурка закріплена на циліндричній поверхні барабана, а привод виконано з можливістю переміщення зразка вздовж осі обертання барабана по гвинтовій лінії, що забезпечує сталість швидкості тертя при постійній швидкості обертання барабана, а також зберігає напрямок ковзання протягом усього досліду на відміну від відомої конструкції машини тертя Х4-Б [10], де шліфувальна шкурка закріплена на торцевій поверхні барабана, а привод забезпечує переміщення зразка по архімедовій спіралі до центра обертання. Попереднє макроприпрацювання зразків здійснюється встановленням на торці барабана алмазним шліфувальним кругом, діаметр якого дорівнює діаметру барабана. Це забезпечує незмінність повного номінального контакту зразка з абразивною поверхнею в процесі спрацювання. Дослідження проводилися при наступних умовах: зразки виконувались з прямокутною формою перерізу розмірами 4 x 5 мм, причому більша сторона розташовувалась вздовж напрямку ковзання; абразивною стираючою поверхнею служила шліфувальна шкурка зернистістю 160, яка після кожного випробування замінювалась новою з тієї ж партії; питоме навантаження на зразок складало 1 МПа при довжині шляху тертя 40 метрів і швидкості тертя 0,15 м/с. Знос зразків визначався за втратою маси, а потім перераховувався в лінійний з урахуванням щільності випробуваних матеріалів. Відносна зносостійкість визначалась як співвідношення абсолютних величин зносу поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА після зміцнення імпульсним ГТЦ ІА та термообробленої без поверхневого зміцнення. Зважування проводилося на лабораторних аналітичних терезах ВЛР-200. Перед зважуванням зразки промивали бензином Б-70 (ГОСТ 1012-72) та просушували.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати проведених порівняльних досліджень абразивної стійкості зразків зі сталі 38Х2МЮА після газового азотування а також після газотермоциклічного іонного азотування (ГТЦ ІА) у пульсуючому режимі з попередньою ТО і без неї наведені у таблиці 1.

Таблиця. 1

Результати дослідження абразивної стійкості зразків

№ ре- ре- жиму обро- бки	Час дифуз. наси- чення, хв	Тиск реак- ційного газу, Па	Склад реакцій- ного газу, %	Темпе- ратура процесу, К	Лінійний знос, мм			Відносна зносостійкість		
					Газове азоту- вання	ГТЦ ІА без попе- редньої ТО	ГТЦ ІА з попе- редньою ТО	Газове азоту- вання	ГТЦ ІА без попе- редньої ТО	ГТЦ ІА з попе- редньою ТО
1	180	125	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +5%Ar	500	1,00	0,78	0,74	1,00	1,29	1,35
2	150	200	95%N ₂ + 5%C ₃ H ₈	600	1,02	0,78	0,73	1,02	1,29	1,39
3	210	75	80%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +15%Ar	400	1,00	0,80	0,77	1,01	1,26	1,30
4	150	175	80%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +15%Ar	600	1,02	0,78	0,73	1,02	1,29	1,38
5	210	50	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +5%Ar	500	0,99	0,79	0,76	1,00	1,28	1,32
6	180	100	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + 5%Ar	400	0,99	0,80	0,76	1,00	1,26	1,34
7	240	225	95%N ₂ + 5%C ₃ H ₈	500	1,01	0,78	0,75	1,01	1,28	1,34
8	90	250	80%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +15%Ar	400	1,00	0,79	0,77	1,00	1,27	1,30
9	180	125	95%N ₂ + 5%C ₃ H ₈	600	1,01	0,77	0,72	1,01	1,37	1,40
10	150	50	80%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +15%Ar	500	1,02	0,79	0,73	1,02	1,27	1,38
11	210	175	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +5%Ar	400	1,01	0,78	0,75	1,01	1,28	1,33
12	150	100	95%N ₂ + 5%C ₃ H ₈	600	0,99	0,76	0,71	1,01	1,34	1,42
13	210	225	80%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +15%Ar	400	1,00	0,79	0,74	1,00	1,27	1,35
14	180	150	95%N ₂ + 5%C ₃ H ₈	500	1,01	0,78	0,75	1,01	1,28	1,34
15	240	25	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +5%Ar	600	1,02	0,77	0,73	1,02	1,33	1,39
16	90	150	90%N ₂ + 5%C ₃ H ₈ + +5%Ar	400	0,99	0,79	0,76	1,00	1,29	1,32

Дослідження абразивної стійкості поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА після зміцнення імпульсним ГТЦ ІА виявили у порівнянні з газовим азотуванням зростання її значень (залежно від технологічних режимів та попередньої термообробки) у 1,3...1,4 разу. Це свідчить про позитивний вплив іонноазотуючої обробки на абразивну стійкість сталевих матеріалів взагалі. У роботі [11] показано, що азотований шар зміцнених ГТЦ ІА зразків складається з двох зон: нітридної зони та зони внутрішнього азотування. Основою складовою нітридної зони є ϵ - фаза (гексагональний карбонітрид $Fe_{2,3}(NC)$), яка розташована безпосередньо на поверхні. Далі, у глибину, розташована γ' - фаза (гранецентрований нітрид Fe_4N), яка має чисто нітридний характер через погану розчинність у цій фазі вуглецю. Зона внутрішнього азотування складається з α - твердого розчину (об'ємноцентрований азотистий ферит), який спостерігається аж до виходу на матрицю. Концентрація вуглецю на поверхні складає близько 2 % ат. й зменшується до мінімальних значень на глибині порядку 10...12 мкм, що пояснює утворення у нітридній зоні карбонітридної ϵ - фази за рахунок інтенсивної дифузії вуглецю від основи до поверхні. Концентрація ж азоту на глибині 10 мкм сягає значення 8 %, що відповідає ϵ - фазі, далі вона зменшується до значень відповідно γ' - фази та α - твердого розчину. Відомо, що за опір зношуванню відповідають у першу чергу будова та якість нітридного шару, у той час, як опір механічним навантаженням (статичним, згину, знакозмінним, ударним тощо) визначається структурою зони внутрішнього азотування. Саме наявність у нітридній зоні значної кількості ϵ - фази пояснює підвищення зносостійкості зміцнених зразків, адже добре відомим є позитивний вплив високої твердості карбонітриду $Fe_{2,3}(NC)$ на зносостійкість.

Попередня термообробка сприяє збільшенню мікротвердості та глибини зміцнення оброблених поверхневих шарів. Цим, очевидно, можна пояснити дещо більшу абразивну стійкість зміцнених ГТЦ ІА зразків з попередньою термообробкою у порівнянні зі зразками, зміцненими ГТЦ ІА без попередньої термообробки.

Висновки і перспективи подальших досліджень

В результаті проведення досліджень зразків зі сталі 38Х2МЮА зміцнених ГТЦ ІА виявлено підвищення абразивної стійкості їх поверхневих шарів у порівнянні з газовим азотуванням у 1,3...1,4 разу (залежно від технологічних режимів та попередньої термообробки). Використання результатів проведених досліджень на практиці надає можливість обґрунтованого вибору технологічних режимів імпульсного ГТЦ ІА при зміцненні та відновленні поверхонь деталей машин та механізмів. З огляду на позитивний вплив підвищення абразивної стійкості елементів конструкцій зі сталі 38Х2МЮА після застосування імпульсного ГТЦ ІА, вважається за доцільне подальше проведення досліджень щодо визначення одночасного впливу параметрів технологічного процесу на декілька експлуатаційних властивостей, наприклад, на абразивну стійкість та опір втоми тощо. Крім того, аналогічні дослідження необхідно проводити для більш широкої номенклатури конструкційних матеріалів.

Список літератури

1. Крылов К. А. Долговечность узлов трения самолетов . — М. : Транспорт, 1976. — 184 с.
2. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. - М:Машиностроение, 1966.- 331 с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. М.,Машиностроение, 1976, 256с.
4. Куксенова Л. И., и др. Структура и износостойкость азотированной стали Журнал «Металловедение и термическая обработка металлов», Москва, "Издательство Машиностроение". 2004, №1.
5. Березина Е. В. Разработка технологии формирования наноструктурированного азотированного слоя конструкционных сталей для повышения их износостойкости: автореф. дис. канд. техн. наук / Березина Екатерина Валерьевна. — М., 2007. — 20 с.
6. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. Борисенко Г. В., и др. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
7. Пат. 10014 Україна, МПК (2006) С23С 8/06. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді
8. /Ляшенко Б. А., Рутковський А. В., Мірненко В. І, Радько О. В. ; заявник та патентовласник Національна академія оборони України. — № 19782 ; заявл. 19.09.06 ; опубл. 15.12.06, бюл. № 12.
9. Триботехнічні властивості зміцнених газотермоциклічним іонним азотуванням сталевих деталей авіаційної техніки / Б. А. Ляшенко, В. І. Мірненко, О. В. Радько, А. К. Скуратовський // Наукові вісті НТУУ КПІ. — 2007. — № 5. — С. 98—102.
10. Пат. 14682 Україна МПК (2006) G01N3/56. Машина тертя для випробовування матеріалів в умовах абразивного спрацьовування / Скуратовський А. К.; заявник та патентовласник Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". — № u2005 12033; заявл. 14.12.2005; оп. 15.05.2006, бюл. № 5.
11. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин.-К.: Наук. Думка, 1979.-79 с.
12. Формування зносостійких поверхневих шарів газотермоциклічним іонним азотуванням / Б. А. Ляшенко, В. І. Мірненко, А. К. Скуратовський, О. В. Радько // Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение. — 2007. — № 5. — С. 139—146.