

¹О. В. Радько, канд. техн. наук,
²А. К. Скуратовський, канд. техн. наук, доц.,
¹Н. А. Медведєва, канд. техн. наук,
¹В. В. Жигинас, пошукач

ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛІ 30ХГСН2А ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

¹Національний авіаційний університет
²НТУУ «Київський політехнічний інститут»

Досліджено абразивну стійкість деталей зі сталі 30Х2ГСН2А після зміцнення імпульсним газотермоциклічним іонним азотуванням. Показано, що завдяки формуванню дифузійного шару стійкість порівняно із зміцненням газовим азотуванням підвищується в 1,4 ... 1,5 рази. Робиться висновок про перспективи використання іонноазотуючої обробки для відновлення і зміцнення деталей машин і механізмів на машинобудівних підприємствах.

Вступ. Одним із основних стратегічних напрямів ресурсозбереження є впровадження ресурсозберігаючих технологій для подовження термінів експлуатації деталей машин і механізмів. Більшість машин виходить з ладу через зношування окремих поверхонь їх конструкційних елементів [1], а витрати на їх ремонт та технічне обслуговування у декілька разів можуть перевищувати вартість нової продукції, тому матеріали деталей, що труться, повинні мати високу зносостійкість. Підвищення зносостійкості деталей машин може досягатися використанням нових технологічних методів зміцнення їх робочих поверхонь. Серед способів підвищення опору поверхонь деталей зношуванню широкого застосування набуло азотування [2; 3]. Більш перспективним у порівнянні зі звичайним газовим азотуванням, яке характеризується такими недоліками, як велика тривалість обробки та значні енерговитрати, вважається іонне азотування, зокрема його удосконалений різновид – газотермоциклічне іонне азотування (ГТЦ ІА) у пульсуючому режимі [4]. Проте, питання щодо доцільності застосування імпульсного ГТЦ ІА для підвищен-

ня саме абразивної стійкості зміцнених матеріалів вивчене ще недостатньо.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження абразивної стійкості сталі 30ХГСН2А після зміцнення імпульсним ГТЦ ІА для порівняння з її абразивною стійкістю після обробки газовим азотуванням.

Методика досліджень. Поверхнєве зміцнення зразків зі сталі 30ХГСН2А імпульсним ГТЦ ІА здійснювалося на установці ВПА-1, яка має у своєму складі автоматизовану систему контролю та управління технологічним процесом. Обробка відбувалася за 16 режимами: тиск реакційного газу P варіювався від 100 до 200 Па через кожні 10 Па; температура процесу T становила 450, 500 та 500 °С; склад реакційного газу: 95 % N_2 + 5 % C_3H_8 ; 70 % N_2 + 30 % Ar ; 80 % N_2 + 5 % C_3H_8 + 15 % Ar ; час обробки t від 2,5 до 5 годин. Одна частина зразків підлягала зміцненню без попередньої термообробки, а іншу було попередньо термооброблено за режимом: гартування $T = 880 \dots 900^\circ C$ у маслі, відпуск $T = 520 \dots 550^\circ C$, твердість 39...41 HRC.

Оцінку абразивної стійкості проводили за питомим зменшенням маси зразків. Зразки піддавалися зношуванню шляхом тертя по закріпленім абразивним часткам (шліфувальній шкурці) на машині тертя [5], схема якої наведена на рис. 1.

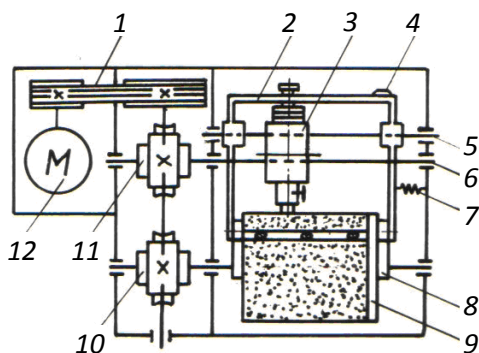


Рис. 1. Схема машини тертя: 1 – клинопасова передача; 2 – планка; 3 – зразок; 4 – кінцевий упор; 5 – вісь куліси; 6 – ходовий гвинт; 7 – пружина; 8 – кулачок; 9 – барабан з шліфшкуркою та алмазним кругом; 10, 11 – черв'ячні передачі; 12 – електродвигун

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, де шліфувальна шкурка закріплена на торцевій поверхні барабана, а привод забезпечує переміщення зразка по архімедовій спіралі до центра обертання. Попереднє макроприпрацювання зразків здійснюється встановленим 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 за наступних умов: зразки виконувались з прямокутною формою перерізу розмірами 4×5 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 м і швидкості тертя 0,15 м/с.

Знос зразків визначався за втратою маси, а потім перераховувався в лінійний з урахуванням щільності випробуваного матеріалу (7850 кг/м³). Відносна зносостійкість визначалась як співвідношення абсолютних величин зносу поверхневих шарів сталі 30ХГСН2А 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. Результати проведених досліджень абразивної стійкості зразків зі сталі 30ХГСН2А після газового азотування і після імпульсного ГТЦ ІА з попередньою ТО та без неї наведені у таблиці 1. Аналіз отриманих результатів показав, що значення відносної абразивної стійкості поверхневих шарів сталі 30ХГСН2А після зміцнення імпульсним ГТЦ ІА зростають у 1,4...1,5 разу порівняно із значеннями, отриманими після її газового азотування. Величина зростання залежить від режимів ГТЦ ІА та попередньої термообробки. Це свідчить про позитивний вплив іонноазотуючої обробки на абразивну стійкість сталевих матеріалів.

Таблиця 1

Результати дослідження абразивної стійкості зразків

№ ре-жи-му	t , хв	P , Па	Склад реакційного газу, %	T , °С	Лінійний знос, мм			Відносна зносо-стійкість		
					Газове азоту-вання	ГТЦ	ГТЦ	Газове азоту-вання	ГТЦ	ГТЦ
						ІА без ТО	ІА з ТО		ІА без ТО	ІА з ТО
1	240	140	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	500	1,01	0,75	0,68	1,01	1,35	1,49
2	210	170	95%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈	550	1,03	0,75	0,67	1,03	1,37	1,53
3	270	120	70%N ₂ + 30%Ar	450	1,00	0,74	0,70	1,00	1,35	1,43
4	210	160	70%N ₂ + 30%Ar	550	1,03	0,74	0,68	1,03	1,38	1,51
5	270	110	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	500	0,98	0,73	0,67	0,98	1,34	1,46
6	240	130	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	450	1,02	0,72	0,66	1,02	1,37	1,50
7	300	190	95%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈	500	1,01	0,74	0,65	1,01	1,36	1,55
8	150	200	70%N ₂ + 30%Ar	450	1,02	0,73	0,65	1,02	1,37	1,51
9	240	140	95%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈	550	1,00	0,71	0,65	1,00	1,38	1,56
10	210	110	70%N ₂ + 30%Ar	500	1,02	0,71	0,65	1,02	1,35	1,52
11	270	160	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	450	1,01	0,72	0,69	1,01	1,33	1,49
12	210	130	95%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈	550	0,99	0,70	0,62	0,99	1,41	1,59
13	270	180	70%N ₂ + 30%Ar	450	1,02	0,72	0,65	1,02	1,37	1,56
14	240	150	95%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈	500	1,00	0,71	0,65	1,00	1,38	1,55
15	300	100	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	550	1,03	0,74	0,67	1,03	1,39	1,53
16	150	150	80%N ₂ + 5%С ₃ Н ₈ + +15%Ar	450	0,99	0,72	0,64	0,99	1,39	1,54

При дифузійному насиченні сталевій поверхні азотом у тліючому розряді утворюються тверді розчини втілення, адже атомний радіус азоту складає 0,071 нм, що є приблизно у два рази менше,

ніж у атомів заліза. Особливістю зміцнення при утворенні розчинів втілення є висока рухливість міжвузловин при порівняно низьких температурах. Взаємодія пружних полів, пов'язана з міжвузловинними атомами, дислокаціями, іншими дефектами кристалічної будови, призводить до направленої міграції міжвузловин та захвату домішок дефектами будови. Це сприяє гальмуванню дислокацій та зміцненню матеріалу.

У роботі [6] показано, що азотований шар зміцнених ГТЦ ІА зразків складається з двох зон: нітридної та зони внутрішнього азотування (ЗВА). Основою складовою першої є ϵ – фаза (гексагональний карбонітрид $\text{Fe}_{2-3}(\text{NC})$), 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. ЗВА 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 будова та якість нітридного шару, у той час, як опір механічним навантаженням (статичним, згину, ударним тощо) визначається структурою ЗВА. Саме наявність у нітридній зоні значної кількості ϵ – фази пояснює підвищення зносостійкості зміцнених зразків, адже добре відомим є позитивний вплив високої твердості карбонітриду $\text{Fe}_{2-3}(\text{NC})$ на зносостійкість.

Попередня термообробка сприяє збільшенню мікротвердості та глибини зміцнення оброблених поверхневих шарів. Цим пояснюється більша абразивна стійкість зміцнених ГТЦ ІА зразків з попередньою термообробкою у порівнянні зі зразками, зміцненими ГТЦ ІА без попередньої термообробки.

Висновки. В результаті проведення досліджень зразків зі сталі 30ХГСН2А зміцнених ГТЦ ІА виявлено підвищення абразивної стійкості їх поверхневих шарів у порівнянні з газовим азоту-

ванням у 1,4...1,5 раза (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 30ХГСН2А після застосування імпульсного ГТЦ ІА, вважається за доцільне подальше проведення досліджень щодо комплексного впливу параметрів технологічного процесу одночасно на декілька експлуатаційних властивостей зміцнених деталей, наприклад, на абразивну стійкість та опір втомі, тощо.

Список літератури

1. *Кіндрачук М. В.* Трибологія : [підручник] / М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашечко, С. В. Корбут – Київ : НАУ-друк, 2009. – 392 с.

2. *Куксенова Л. И., и др.* Структура и износостойкость азотированной стали Журнал «Металловедение и термическая обработка металлов», Москва, "Издательство Машиностроение". 2004, №1.

3. *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.

4. *Пат.* 10014 Україна, МПК 7 С23С 8/06. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді: 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 – 5 с.

5. *Пат.* 14682 Україна МПК (2206) 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.

6. *Ляшенко Б. А.* 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.

Радько О. В., Скуратовский А.К., Медведева Н.А., Жигинас В.В.
Повышение абразивной стойкости стали 30ХГСН2А применением энергосберегающих технологий поверхностного упрочнения // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. – С.145–151.

Исследована абразивная стойкость деталей из стали 38ХГСН2А после упрочнения импульсным газотермоциклическим ионным азотированием. Показано, что благодаря формированию диффузионного слоя она по сравнению с упрочнением газовым азотированием увеличивается в 1,4...1,5 раза в зависимости от режимов обработки. Делается вывод о перспективах использования ионноазотирующей обработки для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов на машиностроительных предприятиях.

Рис. 1, табл. 1, список лит.: 6 наим.

Radko O.V., Skuratovsky A.K., Medvedeva N.A., Ghiginas V.V.
30HGSN2A steel abrasive resistance increase through energy-efficient technology of surface hardening

The abrasion resistance of 38ХГСН2А steel details after the impulsive gas-thermocyclic ionic nitriding strengthening are explored. It is shown that due to forming of diffusive layer it grows by a factor of 1,4...1,5 depending on the treatment modes.. Drawn a conclusion about the prospects of the ionnitriding treatment using for renewal and work-hardening of machines and mechanisms details on machine-building enterprises.

Ключові слова: абразивна стійкість, газотермоциклічне іонне азотування, зміцнення.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2012