

¹О. В. Радько, канд. техн. наук.,

¹Н. А. Медведєва, канд. техн. наук.,

²А. К. Скуратовський, канд. техн. наук, доц.,

³В. І. Мірненко, д-р техн. наук., старш. наук. співроб.

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ З МЕТОЮ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ЇХ ПРИПРАЦЮВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

¹Національний авіаційний університет,

²Національний технічний університет України «КПІ»,

³Національний університет оборони України

Наведено результати дослідження впливу якості поверхні зразків зі сталі 30ХГСА, зміцнених імпульсним газотермоциклічним іонним азотуванням, на час їх припрацювання та зносостійкість. Показано, що для зменшення періоду припрацювання доцільно застосовувати режими обробки, які забезпечують у вихідному стані якість поверхні, аналогічну тій, що виникає на етапі сталого зношування.

Вступ. Проблеми тертя, мащення та зношування деталей машин і механізмів належить до числа найбільш складних проблем сучасної техніки. У більшості випадків процеси зношування розвиваються на поверхні деталей та у тонкому приповерхневому шарі. Інтенсивність протікання цих процесів у поверхневих шарах, в кінцевому рахунку, визначає надійність та ресурс конструкційних елементів трибосполучень.

Якість поверхневого шару визначається шорсткістю поверхні, фізичним станом поверхневого шару конструкційного матеріалу та його напруженим станом. Мікрогеометрія поверхні матеріалу, її рельєф та фізико-механічні властивості поверхневого шару є одними з найістотніших факторів, що визначають зносостійкість та працездатність деталей трибосполучень, їх ресурс та надійність. Саме тому дослідження процесів формування якості поверхні різними технологічними способами є вкрай актуальними.

Одним з перспективних методів поверхневого зміцнення за-раз є газотермоциклічне іонне азотування (ГТЦ ІА) у пульсуючому режимі [1]. Проте, аналіз досліджень і публікацій щодо його вико-

ристання для зміцнення деталей машин [2–3] свідчить про недостатню кількість досліджень стосовно впливу параметрів технологічного процесу на якість поверхні оброблених матеріалів та, як наслідок, на пов'язані з цим час припрацювання та зносостійкість трибосполучень.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу якості поверхні (а саме – шорсткості) зміцнених імпульсним ГТЦ ІА зразків зі сталі 30ХГСА на час їх припрацювання та зносостійкість.

Методика досліджень. Поверхневе зміцнення імпульсним ГТЦ ІА зразків зі сталі 30ХГСА здійснювалося за 16 режимами: тиск реакційного газу $P = 50 \dots 250$ Па; температура процесу $T = 400, 500$ та 600°C ; склад реакційного газу: $95\%\text{N}_2 + 5\%\text{C}_3\text{H}_8$; $90\%\text{N}_2 + 5\%\text{C}_3\text{H}_8 + 5\%\text{Ar}$; $80\%\text{N}_2 + 5\%\text{C}_3\text{H}_8 + 15\%\text{Ar}$; час обробки $t = 1,5 \dots 4$ год. Одна частина зразків підлягала зміцненню без попередньої термообробки (ТО), а іншу було попередньо термооброблено: гартування $T = 930 \dots 950^\circ\text{C}$ у оліві, відпуск $T = 600 \dots 675^\circ\text{C}$, твердість $35 \dots 37$ HRC.

Шорсткість поверхонь визначали за допомогою модулю, зібраного на основі профілометра моделі 296 [6]. Базова довжина складала 3 мм, відсікання кроку – 0,8 мм.

Триботехнічні характеристики іонноазотованих шарів визначалися на машині тертя [3] за наступних умов: мастильне середовище – мастило ЦИАТИМ-201; питоме навантаження $P = 2,5 \dots 25$ МПа; швидкість ковзання $V = 0,4; 0,7; 1,0; 1,3$ м/с. Контакт пари тертя відбувався за схемою «диск-колодка».

Результати досліджень. Дослідженнями якості поверхні зміцнених зразків (рис. 1, табл. 1) виявлено незначне погіршення шоркості поверхні після їх обробки з $R_a = 0,25$ мкм у неазотованих зразків до $R_a = 0,29 \dots 0,459$ мкм у азотованих. Однак, таке незначне зростання шорсткості дозволяє залишатися якості поверхні у межах одного класу. Найменшу шорсткість мали зразки, зміцнені за режимами № 4, 9, 12 (табл. 1).

Цікавим є той факт, що у більшості випадків значення R_a на поверхні доріжки тертя зміцненого зразка після триботехнічних випробувань було меншим, ніж значення R_a до них, наприклад, 0,148 мкм проти 0,320 мкм відповідно.

Це можна пояснити тим, що у процесі приробки та подальшої роботи структура поверхневих шарів та геометрія поверхонь тертя

змінюються докорінним чином, адже під час тертя в умовах граничного змащування поверхонь з відносно невеликими нерівностями

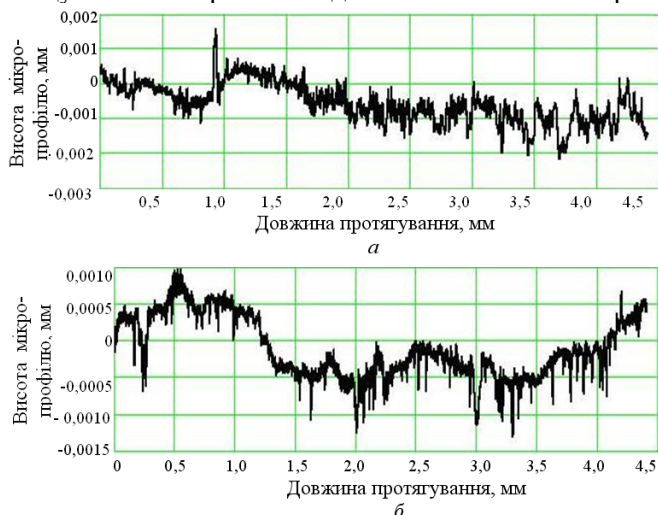


Рис. 1. Профілограми з поверхні зміцненого імпульсним ГТЦ ІА ($T = 500^{\circ}\text{C}$; $90\%\text{N}_2 + 5\%\text{C}_3\text{H}_8 + 5\%\text{Ar}$; $P = 125 \text{ Па}$; $t = 3 \text{ год}$) зразка (а) до та (б) після триботехнічних випробувань

через розрив мастильної плівки має місце металевий контакт по виступах обох поверхонь. Інтенсивне деформування та зминання вершин окремих виступів відбуваються на початку роботи двох контактуючих поверхонь, поки вони не припрацюються, тобто нерівності цих поверхонь не приймуть більш стійкої форми та розмірів, що забезпечують збільшення фактичної площі контакту. Під час припрацювання виступи набувають оптимальної кривизни, що забезпечує найбільшу стійкість масляної плівки. Формується нова якість поверхні, що не має з вихідною нічого спільного.

При збільшенні часу випробувань зразків із різною вихідною шорсткістю в однакових умовах (однакові мастильне середовище, навантаження та швидкість ковзання) спостерігалася тенденція до наближення її величин до одного певного значення. Очевидно, для даних умов тертя існує якась визначена рівноважна мікروشорсткість, котра не тільки не змінюється, а й відтворюється у процесі тривалої експлуатації пари тертя.

Таблиця 1

**Шорсткість іонноазотованих поверхнь зразків зі сталі 30ХГСА
залежно від технологічних режимів обробки**

№ ре- жи- му	t, хв	P, Па	Склад суміші, %	T, °C	Зразки з ТО		Зразки без ТО	
					R _a до трибо- випро- бувань, мкм	R _a після трибо- випро- бувань, мкм	R _a до трибо- випро- бувань, мкм	R _a до трибо- випро- бувань, мкм
1	180	125	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +5%Ar	500	0, 357	0, 300	0,300	0,310
2	150	200	95%N ₂ +5%С ₃ H ₈	600	0, 400	0, 409	0,457	0,420
3	210	75	80%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +15%Ar	400	0, 389	0, 347	0,416	0,258
4	150	175	80%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +15%Ar	600	0, 184	0, 195	0, 238	0, 254
5	210	50	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ + 5%Ar	500	0,290	0, 365	0, 455	0, 326
6	180	100	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ + 5%Ar	400	0,450	0,400	0,386	0,297
7	240	225	95% N ₂ + 5% С ₃ H ₈	500	0, 265	0, 326	0,259	0,338
8	90	250	80%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +15%Ar	400	0, 347	0,300	0,397	0,388
9	180	125	95%N ₂ + 5% С ₃ H ₈	600	0, 209	0, 190	0, 230	0, 180
10	150	50	80%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +15%Ar	500	0, 320	0, 148	0, 320	0, 148
11	210	175	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ + 5%Ar	400	0, 283	0, 129	0,250	0,229
12	150	100	95% N ₂ ++5% С ₃ H ₈	600	0, 190	0, 200	0, 259	0, 203
13	210	225	80%N ₂ +5%С ₃ H ₈ +15%Ar	400	0,395	0, 290	0, 437	0, 361
14	180	150	95% N ₂ + 5%С ₃ H ₈	500	0,300	0, 310	0,350	0,376
15	240	25	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ + 5%Ar	600	0,298	0, 320	0,315	0,302
16	90	150	90%N ₂ +5%С ₃ H ₈ + 5%Ar	400	0, 405	0,312	0,400	0,359

Подальші дослідження показали (табл. 2), що найбільш зносо-
стійкими виявилися не ті зразки, що мали мінімальну шорсткість
поверхні, а зразки із деякою визначеною для даної пари тертя шор-
сткістю, яку можна вважати оптимальною. Це пов'язано з тим, що
на процес тертя суттєвий вплив мають мастильні матеріали, що
знаходяться у западинах, та окисні плівки на нерівностях, що також
запобігають безпосередньому контакту поверхнь тертя.

Висновки: В результаті проведених досліджень встановлено,
що для скорочення до мінімуму періоду припрацювання та підви-
щення зносостійкості сталевих деталей машин після їх зміцнення
імпульсним ГТЦ ІА необхідно при технологічній обробці створю-
вати таку шорсткість поверхні та мікроструктуру поверхневих

Результати триботехнічних випробувань

№ ре- жи- му	Інтенсивність зношування, $I_n \cdot 10^{-5}$ кг/см ² на 1000 м шляху				Коефіцієнт тертя, μ			
	ТО + ГТЦ ІА		ГТЦ ІА		ТО + ГТЦ ІА		ГТЦ ІА	
1	0,74	0,81	0,73	0,76	0,049	0,052	0,052	0,052
2	1,22	1,19	1,25	1,19	0,070	0,071	0,070	0,073
3	0,89	0,94	0,90	0,91	0,065	0,068	0,070	0,063
4	0,77	0,73	0,82	0,77	0,059	0,051	0,053	0,050
5	0,96	1,00	0,97	1,03	0,063	0,059	0,064	0,060
6	2,55	2,45	2,51	2,48	0,105	0,106	0,104	0,104
7	0,75	0,70	0,79	0,76	0,048	0,057	0,055	0,060
8	1,14	1,02	1,08	0,98	0,068	0,066	0,066	0,066
9	0,90	0,92	0,94	0,96	0,055	0,057	0,069	0,064
10	0,95	0,91	0,95	0,93	0,063	0,057	0,059	0,051
11	1,19	1,29	1,22	1,13	0,081	0,078	0,080	0,077
12	0,79	0,83	0,79	0,86	0,048	0,056	0,050	0,057
13	1,18	1,28	1,07	1,12	0,079	0,070	0,073	0,070
14	3,32	3,27	3,23	3,32	0,148	0,158	0,162	0,166
15	0,71	0,79	0,75	0,77	0,050	0,055	0,050	0,056
16	0,69	0,78	0,74	0,77	0,053	0,058	0,059	0,055

шарів, які забезпечуватимуть з найменшими витратами часу та з мінімальним руйнуванням металу перехід від початкового до сталого зношування. Тому, з урахуванням викладеного вище, технологам машинобудівних підприємств доцільно застосовувати такі режими імпульсного ГТЦ ІА, які б забезпечували у вихідному стані якість поверхні, аналогічну якості поверхні, що виникає при сталому зношуванні.

Перспективою подальшого розвитку напряму формування якості поверхонь тертя з метою підвищення їх триботехнічних характеристик є дослідження цього питання для більш широких номенклатур матеріалів та технологічних процесів.

Список літератури

1. Пат. 10014 Україна, МПК 7 C23C 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.

2. *Пастух И.М.* Модификация металлов с применением азотирования в тлеющем розряде: состояние и перспективы / И.М. Пастух // Проблемы трибологии – 2004. – № 3. – С. 42– 55.

3. *Мельников О.В.* Ионно-плазменное азотирование деталей АТ, изготовленных из сталей и сплавов, в полом катоде / О.В.Мельников, А.О.Гаврелюк, О.А. Галабурда // Соверш. технол. процессов ремонта авиаци. техн. / Моск. Гос. Техн. Ун-т гражданской авиации. – М.: Транспорт, 1997. – С. 39–51.

4. *Пат.* 24695 Україна МПК (2206) G01N3/56. Машина тертя: Скуратовський А.К.; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – № u 2007 02330; Заявл. 03.03.2007; Опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10 – 4 с.

Радько О. В., Медведева Н.А, Скуратовский А.К. Мирненко В.И.
Формирование качества поверхностей трения с целью сокращения времени их приработки и повышения износостойкости// Проблемы тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.127–132.

Приведены результаты исследования влияния качества поверхности образцов из стали 30ХГСА, упрочненных импульсным газотермоциклическим ионным азотированием, на время их приработки и износостойкость. Показано, что для уменьшения периода приработки целесообразно применять режимы обработки, обеспечивающие в исходном состоянии качество поверхности, аналогичное возникающему на этапе устойчивого изнашивания.

Табл. 4, рис. 1, список лит.:4 наим.

Radko O.V., Medvedeva N.A., Skuratovsky A.K., Mirnenko V.I.
Formation of friction surfaces quality to reduce the time of their grinding and wear resistance

The results of the strengthened by a pulsed gasthermocyclic ionic nitriding, steel 30ХГСА samples surface quality influence at the time of their grinding and wear resistance investigation are given. It is shown that to reduce the break-in period appropriate to apply the treatment regimes that provide a baseline quality of the surface, similar to the one arising at the stage of stable wear.

Ключові слова: якість поверхні, шорсткість, іонне азотування, зносостійкість, припрацювання.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2011

¹М. Н. Регульский, канд. техн. наук, старш. науч. сотр.,

²Г. М. Борозенец, канд. техн. наук, доц.,

²А. В. Баишта, канд. техн. наук,

²К. В. Карпова, студ.

УЧЕТ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН ОСЕВОГО НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА УСТАЛОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСИММЕТРИЧНОГО ПРОФИЛЯ

¹Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины,

²Национальный авиационный университет, ptznau@ukr.net

На примере анализа напряженного состояния модельных образцов с односторонней выборкой и односторонним выступом при их осевом нагружении показана необходимость учета жесткостных характеристик испытательных машин по углу поворота захватов от изгибающих моментов в процессе испытаний на усталость конструктивных элементов несимметричного профиля

Введение. Определение характеристик сопротивления усталости конструкций нередко связано с необходимостью проведения испытаний на усталость специальных образцов сложной конфигурации при осевом приложении переменной циклической нагрузки. Такие образцы, как правило, имитируют некоторый конструктивный элемент или фрагмент конструкции с определенным типом концентратора напряжений. В ряде случаев для определения эффективных коэффициентов концентрации напряжений проводят испытания модельных образцов, имеющих форму вырезки из конструкции в натуральном масштабе [1; 2].

В тонкостенных конструкциях несимметрия профиля сечения стенок может быть обусловлена выборкой, выступом, валиком одностороннего сварного шва, приваренной полкой и др. Особенностью, характеризующей нагруженность указанных конструкций в зоне концентраторов, является инициирование изгибающих моментов в местах одностороннего изменения толщины стенки. В результате, при осевом нагружении стенка в зоне концентратора воспринимает кроме осевой силы еще и момент изгиба, инициированный вследствие несимметрии профиля. С целью расчетно-экспериментальной оценки характеристик усталости таких конструкций проводят испытания соответствующих