

УДК 539.4

С.О. Дерев'янку¹, В.І. Калініченко²

¹ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

² – Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка, м. Київ, Україна

Підвищення довговічності підшипників кочення покриттями

Однією з фундаментальних задач машинобудування є підвищення надійності та довговічності обладнання і машин. За статистичними даними на зношування і руйнування поверхонь тертя деталей машин припадає близько 80% несправностей та поломок.

У машинобудуванні широко використовуються підшипники кочення. Вони виконують дуже важливу функцію – дозволяють валу обертатись, одночасно надійно фіксуючи його від переміщень (осьових та радіальних). Збільшення питомих навантажень і швидкостей руху, а також несприятливі умови експлуатації машин, їх вузлів і деталей призводять до підвищення інтенсивності зносу контактуючих поверхонь.

На контактну витривалість деталей з покриттями впливає ряд факторів, а саме: товщина хімічного і фазового складів, залишкових напружень покриття, твердості основи та міцності покриття. Досліджень щодо впливу цих факторів дуже мало і наразі вони є дуже актуальними

Кожна з технологій нанесення покриття має свої переваги та недоліки але немає однієї технології, що забезпечує всі ці фактори. Тому застосування декількох одинарних технологій, які в комплексі забезпечують всі названі вище фактори є дуже перспективним. Найпоширенішою технологією підвищення довговічності при змінному контактному навантаженні є ХТО – цементації та нітроцементації. Але вони здійснюються при дуже високих температурах і застосовують водневомісткі насичуючі середовища.

В даній роботі винайдено новий метод технологічного процесу, а саме: низькотемпературна ХТО в безводневих середовищах з оптимальними властивостями дифузійного шару (висока твердість, максимальна товщина, мінімальний градієнт твердості по товщині, та оптимальні залишкові напруження стиску); наступна термічна обробка.

На рис. 1 – 3 наведені залежності мікротвердості по глибині сталей після нітрогартування та оксинітрогартування за різними технологічними режимами.

З рис 1 і 3 видно, що після нітрогартування сталі ШХ15 максимальна мікротвердість виникає на певній відстані від поверхні і залежить від режиму нітрогартування. Зменшення мікротвердості на поверхні обумовлене частковою дифузією азоту і вуглецю з поверхневого шару в навколишнє середовище. Зі збільшенням часу витримки збільшується товщина дефектного поверхневого шару, який необхідно видаляти шліфуванням. При оксинітрогартуванні не виникає дефектного шару на поверхні і весь азот дифундує в глибину металу, збільшуючи твердість і товщину азотованого шару (рис. 2).

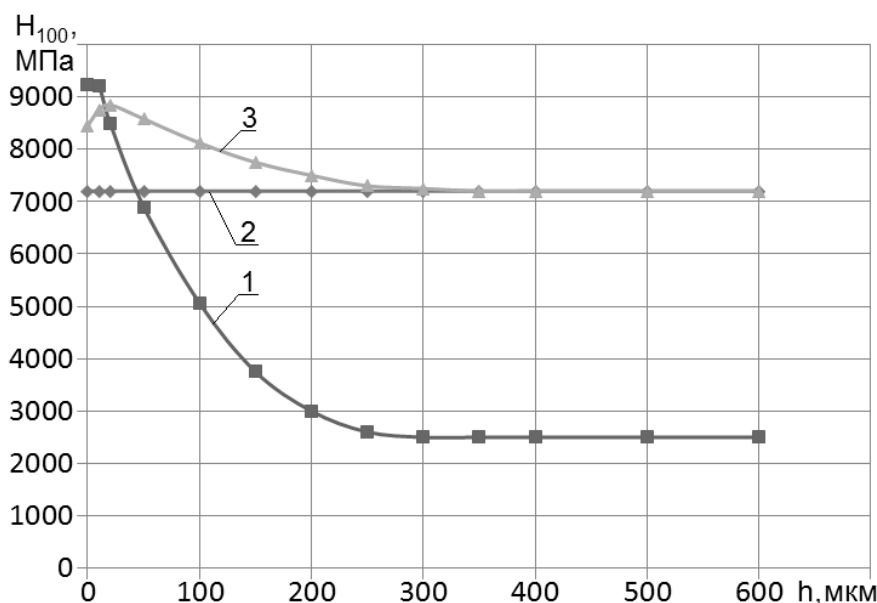


Рис. 1. Розподіл мікротвердості від поверхні по глибині сталі ШХ15 після: 1 – іонного азотування; 2 – гартування; 3 – нітрогартування за оптимальним режимом.

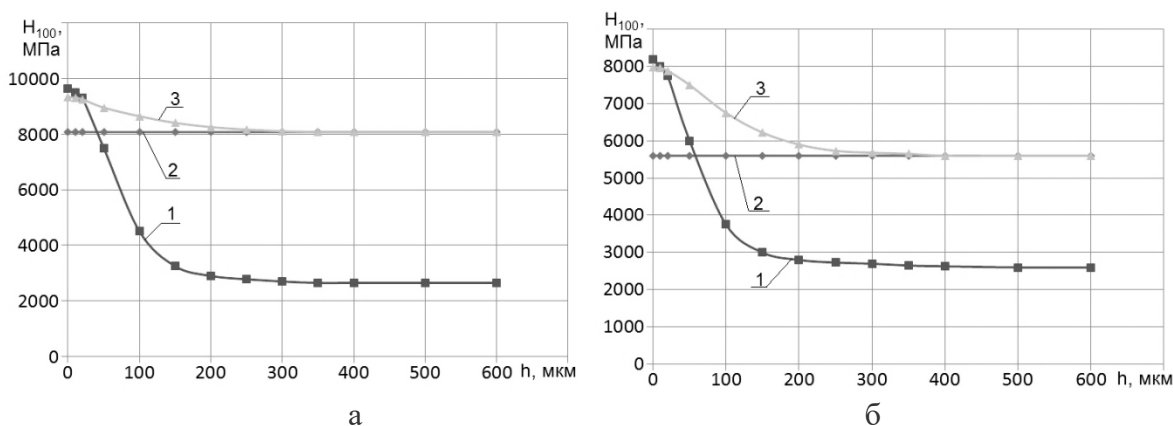


Рис. 2. Розподіл мікротвердості від поверхні по глибині сталей X12M (а) і 40X (б) після: 1 – іонного азотування; 2 – гартування; 3 – оксинітрогартування.

Дослідження довговічності сталей при змінному контактному навантаженні показали, що при перших циклах навантаження виникають значні пластичні деформації поверхні матеріалу в місцях контакту, які зменшуються з часом та досягають мінімального значення. Вже після дев'яти тисяч циклів навантаження в зразках із сталі 40X без термічної обробки через пластичну деформацію на доріжці кочення утворювалася канавка глибиною 17...18 мкм (рис.4). По краях канавки утворилися буртики у вигляді виступів над площиною кільця висотою до 30 мкм. Аналогічні буртики утворювалися і на зразках без термічної обробки з подальшим іонним азотуванням, але їх висота була значно меншою і не перевищувала 10 мкм. На зразках з високою твердістю основи (гартованих та нітрогартованих) таких буртиків не утворювалось. З рис. 4 видно, що в початковий період (до $0,01 \cdot 10^6$ циклів) мікротвердість поверхні азотованих і не азотованих зразків спочатку спадає в зв'язку з перебудовою структури поверхні. При подальшому циклічному навантаженні відбувається ущільнення структури поверхневого шару і підвищення його мікротвердості до максимального значення, котре на 10–15% перевищує мікротвердість поверхні до початку випробувань. Така мікротвердість зберігається до початку руйнування (розвитку мікротріщин) і знижується в період викришування поверхні доріжки кочення.

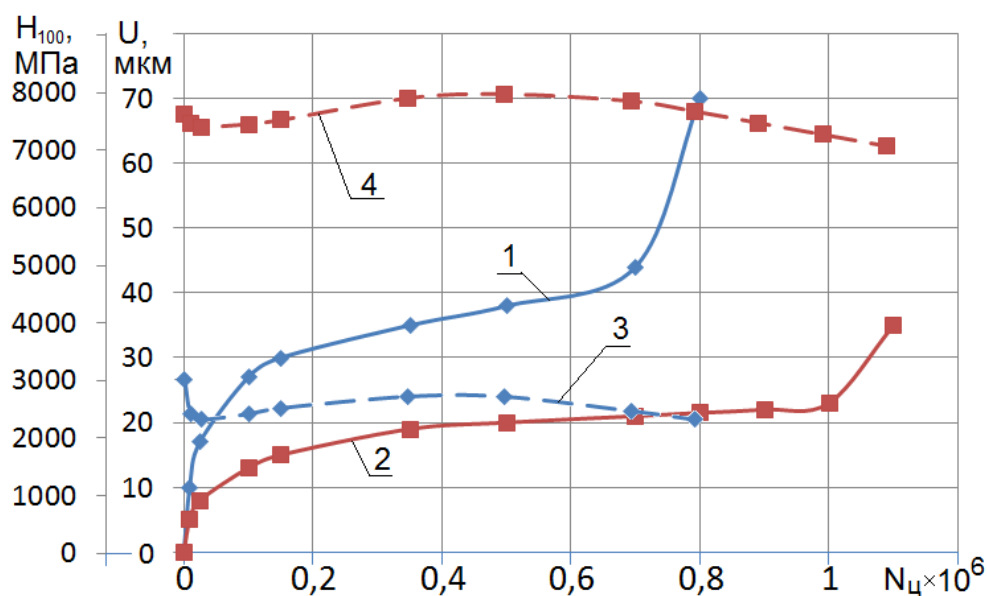


Рис. 4. Залежність глибини канавки (1, 2) та мікротвердості (3, 4) на доріжці кочення від кількості циклів навантаження сталі 40X в мастилі I-20: 1, 3 – сталь без термообробки; 2, 4 – сталь без термообробки + іонне азотування.

Процес довговічності при багатоциклічному навантаженні при коченні поділяється на три стадії: 1 – припрацювання; 2 – накопичення пошкоджень; 3 – руйнування.

Результати свідчать, що для сталей без термічної обробки їх довговічність після іонного азотування значно (в 1.44 – 1,6 раз) перевищує її значення в порівнянні з не азотованими зразками. З табл. 1 видно, що твердість гартованих зразків середньовуглецевої сталі 40Х більш як в 2 рази, а високовуглецевих легованих сталей ШХ15 і Х12М більш як в 3 рази перевищує їх твердість без термічної обробки. В зв'язку з цим їх довговічність більш як на порядок перевищує цей показник азотованих та не азотованих сталей без термообробки. Дослідження показали, що іонне азотування за оптимальними режимами після гартування сталей збільшує їх термін експлуатації до 35% в порівнянні з гартованими сталями.

Альтернативою технології іонного азотування після гартування є іонне нітрогартування і іонне оксинітрогартування. З табл. 1 видно, що зразки сталей ШХ15 і Х12М після зміцнення за різними режимами мають значно вищу довговічність в порівнянні з азотованими зразками після гартування. Так після нітрогартування сталей ШХ15 і Х12М їх довговічність складала відповідно $38,7 \cdot 10^6$ і $43,25 \cdot 10^6$ циклів навантажень, що в 1,5 рази більше в порівнянні з довговічністю гартованих зразків. Застосування технології оксинітрогартування за оптимальними режимами 1НО для сталі Х12М і 2НО для сталі ШХ15 дозволило підвищити довговічність зразків відповідно в 1,9 і 2,2 рази в порівнянні з гартованими сталями.

Таблиця 1 Довговічність зразків різних сталей з різними покриттями і без покриттів при випробуваннях на тертя кочення з точковим контактом (тк) і лінійним контактом (лк) в мастилі І-20, максимальний тиск на площадці контакту 2140 МПа

№ п/п	Марка сталі	Вид термообробки та технології нанесення покриття	Мікротвердість Н ₁₀₀ , МПа			Товщина покриття, мкм	Довговічність до появи пітингу, N·10 ⁶ циклів при контакті	
			Поверхні	Основи	Доріжки кочення після випробувань		лк	тк
1	40X	без термообробки	3200	2560	3320	0	0,45	0,65
2	40X	без термообробки + іонне азотування	7620	2560	7240	290	0,7	1,00
3	40X	гартування	5600	5500	5420	0	16,1	23,75
4	40X	гартування + іонне азотування	7800	4100	7240	290	18,4	26,80
5	40X	нітрогартування	7940	5500	7630	310	29,4	44,55
6	40X	оксинітрогартування	8320	5500	7830	320	33,7	48,1
7	ШХ15	гартування	7210	7210	7030	0	17,3	25,1
8	ШХ15	гартування + іонне азотування	9180	4970	7160	300	15,7	24,2
9	ШХ15	оксинітрогартування, режим 1НО	8700	7200	7630	330	27,3	40,8
10	ШХ15	оксинітрогартування, режим 2НО	7700	7200	7420	350	34,2	48,8
11	ШХ15	Нітрогартування, режим. 1Н	8300	7200	7410	320	27,1	38,7
12	X12M	гартування	8560	8520	8470	0	19,7	28,6
13	X12M	Нітрогартування, режим. 1Н	9270	9140	9530	340	28,5	43,25
14	X12M	оксинітрогартування, режим 1НО	9340	9140	9680	360	41,2	62,48

Висновки:

1. За рахунок правильно підбраного покриття значно (в 1,5 або в 2 разі відповідно) збільшується довговічність сталей з попереднім гартуванням.

2. Застосування іонного азотування підвищує довговічність сталей без термообробки при терті кочення в мастилi I-20 в 1.44 – 1,6 раз, яка підвищується зі збільшенням твердості основи.

3. Через різну здатність матеріалу чинити опір втомі, довговічність сталей при навантаженні тертя кочення при точковому контакті в середньому на 35% більша за значення при лінійному контакті

Список використаних джерел

1. Каплун П.В., Паршенко А.В. Дослідження спрацювання і довговічності підшипників кочення зі зміцнювальними покриттями // 5-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. Тези доповідей. – Львів, 2001. – С. 140.

2. Каплун П. В. Вплив покриттів на зносостійкість і довговічність підшипників кочення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.01 "матеріалознавство" / Каплун Павло Віталійович – Київ, 2004. – 22 с.