

**ГЛУШКОВА Діана Борисівна**

д-р техн. наук, професор,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
ORCIDID: 0000-0001-8612-6584

БАГРОВ Валерій Анатолійович

канд. техн. наук, доцент,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
ORCIDID: 0000-0003-0728-1290
Україна

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДУ

Провідну роль у прискоренні науково-технічного прогресу України відіграє машинобудування. Темпи його розвитку у значній мірі залежать від досягнень науки і техніки в галузі розробки високоефективних технологічних процесів підвищення надійності роботи різних типів деталей машин.

Важливою ланкою роботи у цій сфері є подальше удосконалення технології виготовлення об'ємних гідроприводів, які займають значне місце в машинах різного призначення, у тому разі будівельних.

Аналіз досвіду експлуатації цих машин показав, що основною причиною їх виходу з ладу є знос робочих поверхонь прецизійних вузлів тертя¹.

Вибір матеріалів пар тертя, який забезпечує підвищення їх ресурсу вище досягнутого рівня – важливе завдання. Вибір залежить від конструкції та призначення вузла, технології виробництва, умов експлуатації, від вимог до загальної міцності деталей, терміну їх служби та надійності з урахуванням вартості матеріалів і їх дефіцитності, витрат на виготовлення деталей з вибраного матеріалу та експлуатаційних витрат².

1 Аврунин А.Г. Обзор мирового и отечественного рынков гидрооборудования // Мир техники и технологий / А.Г. Аврунин. – 2009. – № 8(93). – С. 10–14.

2 Ситников А.А. Назначение параметров точности при разработке конструкций деталей с износостойким покрытием / А.А. Ситников // Изд. вузов : Машиностроение. – 2004. – № 10.

Вивчення закономірностей зміни тертя матеріалів трибосистеми в процесі її роботи та розробки методів підвищення довговічності роботи деталей об'ємного гідропривода є актуальним завданням.

Мета роботи – підвищення довговічності роботи деталей об'ємного

Розробка теоретичних основ сумісності матеріалів у трибосистемах, вивчення механізмів їх тертя та зношування у останній час набули особливого значення. Це пов'язано з тим, що підвищились вимоги до матеріалів пар тертя зі збільшенням навантажень, швидкостей та температур у вузлах тертя деталей об'ємного гідропривода³.

В основі досліджень антифрикційних властивостей лежать процеси, які мають місце у поверхневих шарах пар тертя під час роботи і вибір методів їх підвищення. Це визначило основні задачі наукового дослідження.

У роботі для дослідження вибрана сталь 45 і чавун СЧ20, які використовуються при виготовленні деталей об'ємного гідропривода, а також запропонована леґована сталь 38Х2МЮА.

Наведені дослідження зносу і коефіцієнтів тертя матеріалів деталей об'ємного гідроприводу. Випробовували:

- 1) сталь 45, яка в теперішній час використовується для виготовлення деталей об'ємного гідроприводу після покращення;
- 2) сталь 45 після карбонітрації приповерхневого шару, яка широко застосовується у практиці для підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах тертя і зносу;
- 3) сталь 38Х2МЮА після покращення.

Крім цього, досліджувалось склад плазмового покриття та оптимальних технологічних параметрів його нанесення на деталі об'ємного гідропривода. В якості покриття вибрано нітрид титана та покриття Ti–Cr–N⁴.

Підбирались тиск реакційного газу в камері «Булат-3Т»; температура розігріву поверхні деталі, на яку наноситься покриття, і час осадження покриття. Критерієм оцінювання параметрів нанесення покриттів була зносостійкість деталей. На деталь при іонному бомбардуванні подавався від'ємний потенціал 1000 В. Згідно з технічними даними «Булата - 3Т» температура підкладки може змінюватися від 300 до 800 °С.

Проведені випробування показали:

3 Нахайчук О.В. Выбор критериев разрушения для оценки деформируемости заготовок / О.В. Нахайчук // Вісник Східно-укр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2006. – № 6. – Ч.2. – С. 24–28.

4 Рыжков Ю.В. Повышение эксплуатационных характеристик деталей гидropередач / В.А. Карпенко, Д.Б. Глушкова, Ю.В. Рыжков // Мир техники и технологий. – 2009. – №8(93). – С. 16–17.

- сталь 45 після покращення має відносно найбільші значення зносу і коефіцієнтів тертя у межах робочих навантажень 0,2 – 0,6 кН;

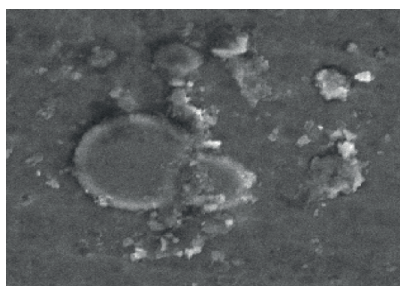
- карбонітрація зменшує знос сталі 45 у 1,2 – 1,5 рази, а коефіцієнти тертя зменшуються у 4 рази у межах навантажень 0,2 – 0,4 кН.

- сталь 38Х2МЮА порівняно зі сталлю 45 з карбонітрацією має значні переваги: знос зменшується у 2 рази, коефіцієнт тертя - у 2 – 4 рази в межах навантажень 0,2 – 0,6 кН.

- дослідження показали, що зношення сполучених деталей, зроблених з графітізованого чавуну, зменшується у 1,8 – 2 рази при роботі в парі зі сталлю 38Х2МЮА після покращення.

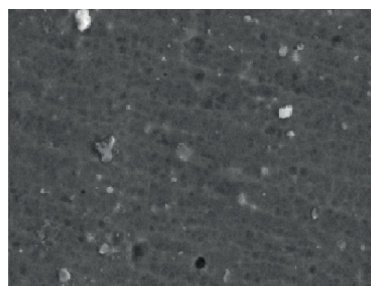
Наносили нітрид титана при тиску від $3 \cdot 10^{-3}$ Па до 1 Па. Іонне бомбардування при температурі підкладки 500 °С, виготовленої із сталі 38Х2МЮА, відповідає найкращій адгезії покриття ($K_a = 1$) і найменшому зносу.

Отримувані покриття відрізняються кількістю крапельної фази (рис. 1) і значенням мікротвердості.



×2500

а)



×2500

б)

Рис. 1. Мікроструктура поверхні покриттів нітридом титана, отриманих при різному парціальному тиску азоту: а – $3 \cdot 10^{-2}$ Па; б – 1 Па

В табл. 1 приведені значення мікротвердості при різних значеннях тиску азоту.

Таблица 1.

Вплив парціального тиску азоту на характеристики покриття нітридом титана

Тиск азоту, Па	$3 \cdot 10^{-3}$ Па	$3 \cdot 10^{-2}$ Па	1 Па
Мікротвердість, ГПа	23,0	25,0	20,0

На основі представлених результатів можна зробити висновок, що найбільша кількість крапельної фази спостерігається у покриттів, отриманих при тиску азоту $3 \cdot 10^{-2}$ Па.

При збільшенні тиску азоту до 1 Па покриття мають незначну кількість крапельної фази без слідів луцення і відшаровування. З підвищенням парціального тиску азоту зменшується швидкість випаровування титану, а також кількість крапельної фази (рис.2), збільшується реакційна здібність парової фази титану. Із збільшенням тиску мікротвердість покриття знижується. Це сприяє зниженню крихкості покриттів, що було показано попередніми дослідженнями вчених. Зниження крихкості покриття при достатньо високій твердості дозволяє ефективно захищати поверхні деталі від зносу⁵.

Проведені дослідження зміни зносу деталей з покриттям в залежності від тиску азоту (табл. 2).

Таблиця 2.

Вплив парціального тиску азоту на знос деталей з покриттям

Марка сталі	Знос, $\text{г} \cdot 10^{-4}$ при парціальному тиску			
	без покриття	$3 \cdot 10^{-3}$ Па	$3 \cdot 10^{-2}$ Па	1 Па
38Х2МЮА	3,0	2,8	2,5	2,0

Результати досліджень свідчать, що найбільшу адгезійну активність до підкладки та вплив на зменшення зносу сталі має покриття нітриду титану товщиною 6 мкм.

Вивчалася структура і фазовий склад поверхні деталей після іонного бомбардування та після покриття, нанесеного за вибраними параметрами. Твердість поверхневого шару після іонного бомбардування зросла з 400 – 450 МПа до 1050 – 1100 МПа.

Проведені після нанесення покриття мікрорентгеноспектральні дослідження показали, що в покритті містяться титан, азот і вуглець.

У матриці досліджуваних зразків титан і азот не виявлені. Процес нанесення покриття не вносить істотних змін у склад та структуру основного металу.

У покритті поступово зменшується від підкладки до зовнішньої поверхні покриття. Це пояснюється тим, що при бомбардуванні осаджується на поверхні, а в конденсованому потім покритті спостерігається мінімальна кількість крапельної фази з.

5 Рыжков Ю.В. Эффективный метод повышения износостойкости узлов объемного гидропривода /В.И. Мощенок, Г.А. Аврунин, Д.Б. Глушкова, В.П. Тарабанова, Ю.В. Рыжков // Материалы 4-й международной конференции «Стратегия качества в промышленности». – Варна. Болгария, 2008. – Т. 1. – С. 406–408.

При цьому досягається висока адгезія покриття до підкладки, що є однією з основних вимог до покриття для забезпечення високої зносостійкості деталей.

За допомогою рентгеноструктурного метода косих зйомок ($\psi_{1/2}$ –метод) показано, що у приповерхневому шарі в покритті мають місце залишкові стискувачі напруження близько 1800 МПа. Це може бути пов'язано різними значеннями коефіцієнтів теплового розширення покриття та його основи. Цей факт має велике значення для підвищення зносостійкості.

Проведено аналіз отриманих значень нанотвердості.

На рис. 2 представлені гістограми і вперше показано, що нанотвердість сталі 38Х2МЮА з плазмовим покриттям удвічі вища, ніж нанотвердість сталі 45 з карбонітридним покриттям.

Слід також відмітити вищий рівень модуля пружності плазмового покриття, нанесеного на сталь 38Х2МЮА, порівняно з карбонітридним шаром, нанесеним на сталь 45. Це свідчить про те, що в сталі 38Х2МЮА при більш високих напруженнях настає пластична деформація.

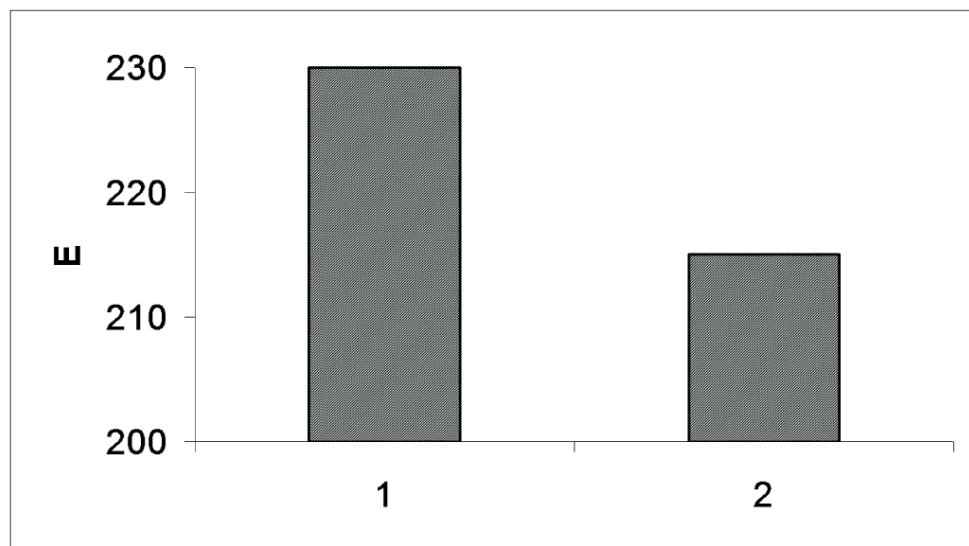


Рис. 2. Гістограми модуля пружності E :
1 – сталь 38Х2МЮА з плазмовим покриттям;
2 – сталь 45 з карбонітридним шаром

Оптимальні режими процесу нанесення покриття TiCrN на робочі поверхні деталей об'ємного гідропривода наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Оптимальні режими процесу нанесення покриття

Матеріал емісійного катода	Струм дуги, I_1 , А	Струм дуги, I_2 , А	Напруження U , В	Струм I , А	Тиск P , Па	Час ϕ , хв
	1-й етап: очищення, розігрів і активація іонами хрому					
Хром	80	-	90	2	$1 \cdot 10^{-4}$	7
2-й етап: наплення шару покриття в атмосфері азоту						
2 катода: 1-й – хром; 2-й – титан	80	70	150	3	$5 \cdot 10^{-3}$	25

За допомогою рентгенівських методів досліджень одержали фазовий склад покриття Ti-Cr-N, а також мікрорентгеноспектральний розподіл елементів Ti, Cr, N у ньому.

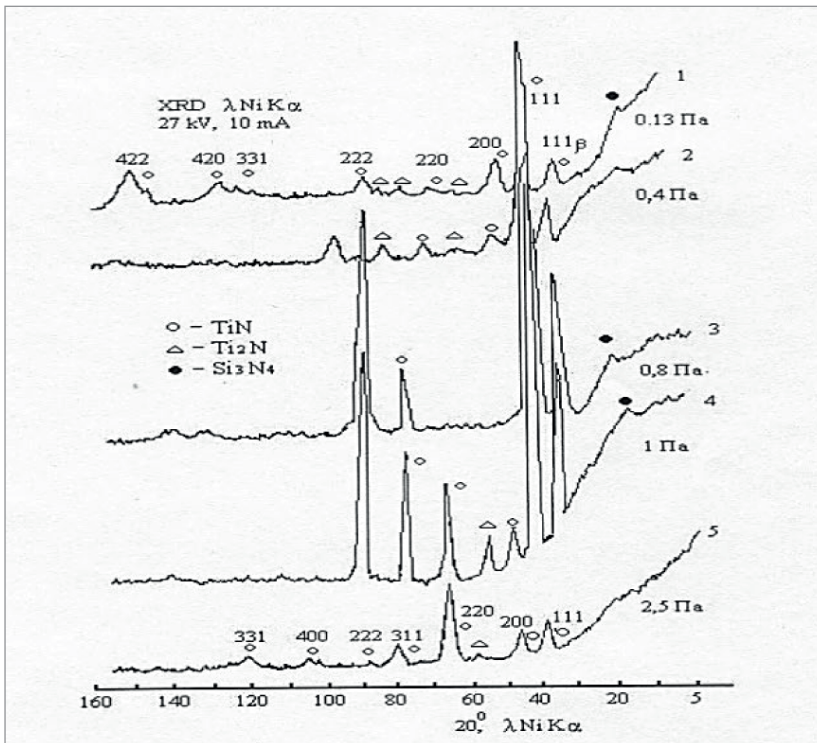


Рис. 3. Дифрактограми покриттів Ti-Cr-N, отриманих при різних значеннях тиску азоту (0,13 Па; 0,4 Па; 0,8 Па; 1 Па; 2,5 Па).

Покриття має три фази TiN , Ti_2N і Cr_3N_4 . Великі піки дифрактограм відповідають фазі TiN . Вона є головною в цьому покритті. Сполука хрому з азотом (фаза Cr_3N_4) має тільки один дифракційний максимум. Але присутність хрому і його сполук забезпечує надійно підвищення корозійної стійкості.

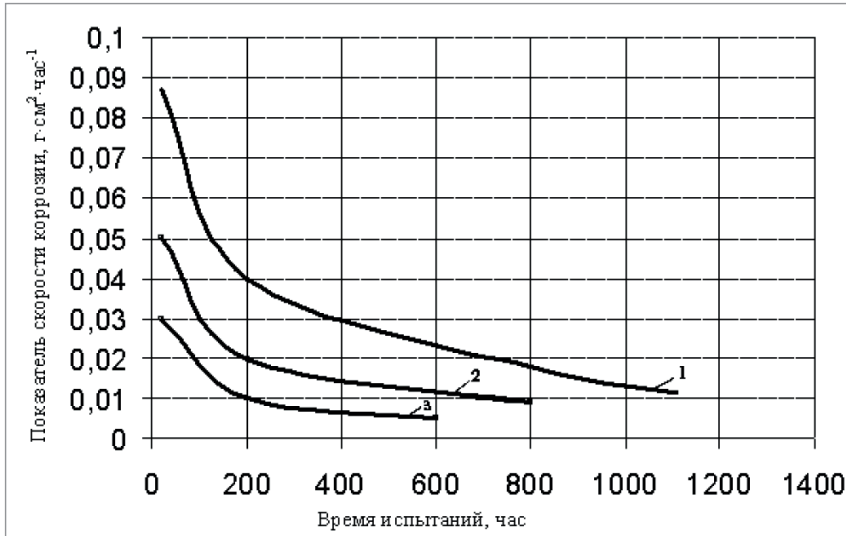


Рис. 4. Залежність показника швидкості корозії від часу сталі 38Х2МЮА без покриття та з покриттям TiN :
 1 – сталь 38Х2МЮА; 2 – сталь 38Х2МЮА з покриттям Ti-N ;
 3 – сталь 38Х2МЮА з покриттям Ti-Cr-N

Проведені випробування показали, що розроблене покриття підвищує корозійну стійкість деталей, виготовлених із сталі 38Х2МЮА, в 3 – 4 рази.

Крім того, покриття Ti-Cr-N сприяє одночасно зменшенню зносу.

Проведено дослідження параметрів нанесення покриттів і встановлений зв'язок між твердістю матеріалу підкладки, шорсткістю поверхні, на яку наноситься покриття, товщиною покриття та зносом.

З використанням методу математичного аналізу було проведене дослідження впливу перерахованих параметрів на знос сталі 38Х2МЮА. Дослідження проводилися на машині тертя в лабораторних умовах.

Для перевірки результатів експериментів були використані критерії Стюдента, Фішера. Внаслідок цього отримані рівняння регресії, побудовані графічні поверхні відгуку.

На підставі аналізу отриманих математичних моделей зроблено висновок, що найменше значення зносу прогнозується при значенні твердості, що дорівнює HRC45, товщині покриття 6 мкм і шорсткості 0,16 Ra.

В результаті проведеного дослідження встановлено.

1. На підставі вивчення впливу нанесеного іонно-плазмовим методом покриття нітриду титана на робочі поверхні деталей створено спеціальне покриття, яке складається з подвійних систем нітридів.

2. За допомогою теорії планування експерименту встановлена залежність між величинами твердості, товщиною покриття, що наноситься, і шорсткістю поверхні. Найменший знос спостерігається при твердості основи 45 HRC, шорсткості поверхні 0,16 Ra та товщині покриття Ti-Cr-N 6 мкм.

3. Науково обґрунтована і запропонована для деталей об'ємного гідроприводу сталь 38Х2МЮА, яка має істотні переваги порівняно з використовуваною зараз у промисловості сталлю 45, а саме: збільшення зносостійкості удвічі та суттєве зменшення коефіцієнта тертя.

4. Показано, що суттєве покращення триботехнічних властивостей виробів, які досліджувались, може бути досягнуте нанесенням іонно-плазмового покриття TiN на поверхню пар тертя, що в результаті зменшує знос у 3 рази.

5. Установлено, що нанотвердість сталі 38Х2МЮА з покриттям TiN у 2 рази вища, ніж нанотвердість сталі 45 з карбонітридним шаром, що обумовлює зменшення зносу.

6. Вищий рівень модуля пружності покриття TiN, нанесеного на сталь 38ХМЮА, порівняно з карбонітридним шаром, нанесеним на сталь 45, свідчить про те, що в сталі 38ХМЮА при більш високих напруженнях настає пластична деформація.

7. Дано обґрунтування підвищенню робочих характеристик пар тертя з покриттям Ti-Cr-N, нанесеним на сталь 38Х2МЮА, у зв'язку з формуванням на поверхні більш значних стискуючих напружень, підвищенням корозійної стійкості.

8. Експлуатаційні і стендові випробування показали переваги запропонованої технології, що дозволило рекомендувати її для широкого впровадження у виробництві.

DOI: 10.51587/9781-7364-13371-2022-007-171-178