

Н.М. СТЕЧИШИНА, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ, М.С. СТЕЧИШИН

Хмельницький національний університет, Україна

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАРБОАЗОТУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 45

Анотація: у роботі із застосуванням плану Хартлі, досліджено зносостійкість сталі 45 після карбоазотування в тліючому розряді. Показано, що зносостійкість залежить не лише від технологічних параметрів карбоазотування, але і від умов навантаження фрикційного контакту.

Ключові слова: карбоазотування, зносостійкість, технологічні параметри азотування, план Хартлі.

Вступ. Для забезпечення високої якості машин, механізмів та приладів, збільшення їх довговічності і надійності в експлуатації, зниження металоемності конструкцій необхідне застосування таких методів зміцнення, які забезпечують особливо високі властивості виробів.

Найбільш ефективними методами поверхневого зміцнення деталей та інструменту є дифузійні процеси хіміко-термічної обробки в рідких, газових і твердих вуглецевих та азотних середовищах. Для оцінки ефективності методу хіміко-термічної обробки особливо важливі такі характеристики як технологічність, оперативність, простота устаткування, температура та час процесу, економічність, надійність результатів, екологічна чистота процесу.

Хіміко-термічну обробку застосовують для деталей та інструменту, які підлягають інтенсивному зношуванню, корозії і знакозмінним напруженням. Для виробів, які працюють в умовах контактного тертя, важливе значення має точність розмірів після хіміко-термічної обробки і кращим є той метод зміцнення, після якого не потрібна механічна обробка. Висока міцність і точність розмірів деталей – важлива умова, яка забезпечує високу якість, надійність і довговічність устаткування, машин, механізмів і пристроїв.

Для підвищення якості виробництва машинобудування важливе значення мають дифузійні методи карбонітридного зміцнення сталевих виробів: процеси обробки в розплавах нетоксичних солей - карбонітрація, процес нітроцементації, а також процеси карбонітридного зміцнення з використанням тліючого розряду.

Мета роботи. Метою досліджень є отримання залежностей зносостійкості карбоазотованих шарів від технологічних параметрів процесу карбоазотування в тліючому розряді з метою отримання максимальної зносостійкості.

Методика дослідження. Дослідження проводились на установці торцевого тертя. Схема вузла тертя 3 показана на рис.1. Дослідний зразок 2 кріпиться нерухомо до оправки 1 за допомогою шпонки. Обертання від конусного хвостовика до оправки передається за допомогою шліцьового з'єднання.

Контртіло двома штифтами кріпиться до стакану 4, встановленого на упорному підшипнику 5. Стакан тросиком з'єднаний із стрижнем 6, чим забезпечується його кутова фіксація. На стрижні 6 наклеєні тензодатчики, які дозволяють виміряти момент тертя, за яким розраховується коефіцієнт тертя. В порожнину між зразком і контр тілом заливається мастило.

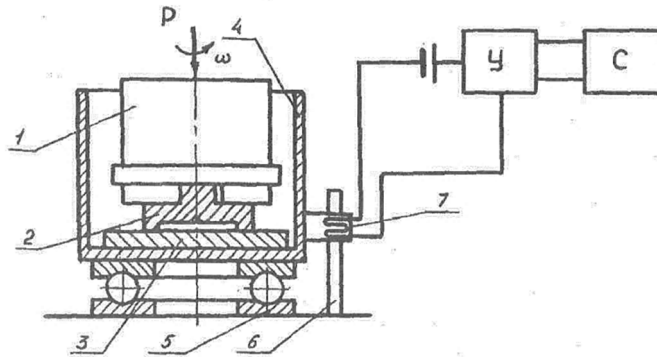


Рис. 1. Схема вузла тертя

Конструкція зразка і контргтіла до нього показана на рис.2.

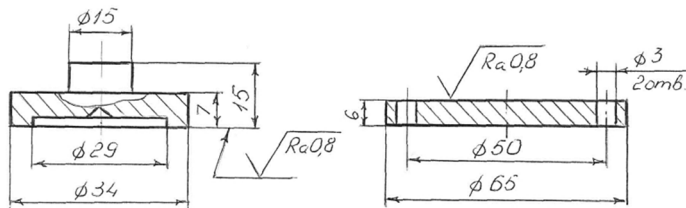


Рис.2. Ескіз зразка і контргтіла

Для дослідження впливу технологічних параметрів процесу карбоазотування на зносостійкість застосовувався план Хартлі другого порядку (табл. 1) [1]. Дослідження проводились на зразках із сталі 45, зміцнених методом карбоазотування в тліючому розряді. Параметри досліджень на зносостійкість: середовище – масло Індустріальне 20, швидкість ковзання $V = 1,24$ м/с, питоме навантаження $p = 4$ МПа.

Таблиця 1

Величина зносу зразків сталі 45 при терті ковзання, зміцнених карбоазотуванням в тліючому розряді за планом Хартлі

Номер режиму	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Величина зносу h , мкм	5	21	34	47	33	49	33	27	46	45	26
Номер режиму	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Величина зносу h , мкм	28	25	30	29	31	32	34	33,5	33,5	34	

Результати та їх обговорення. Результати досліджень зносостійкості зразків із сталі 45, зміцнених методом карбоазотування в тліючому розряді по різних режимах із застосуванням плану 2-го порядку Хартлі, наведені в таблиці 1. Коефіцієнти регресії наведені в таблиці 2.

Характер кривих зносу показує, що в всіх випадках існує період припрацювання (рис. 3), який характеризується більшою інтенсивністю зносу і період нормальної роботи із незначною інтенсивністю зносу. З порівняння величин зносу в період припрацювання і в період нормальної роботи видно, що перший значно

впливає на процес зношування пари тертя і, як наслідок, на довговічність сталей. На величину зношування в цей період значний вплив мають такі фактори: структура поверхневого шару, його хімічний склад, шорсткість поверхні та умови проведення експерименту (питоме навантаження, швидкість, середовище).

Таблиця 2

Коефіцієнти рівнянь регресії, які описують залежність величини зносу від технологічних параметрів карбоазотування в тліючому розряді

Коефіцієнт регресії	β_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_{11}	B_{22}	B_{33}	B_{44}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{23}	β_{24}	B_{34}
Значення коефіцієнта регресії	33,75	-5	-1,5	-0,5	0,5	4,5	-4,5	-1,5	0,5	4	2	-31	-18	-32,5	-5,5

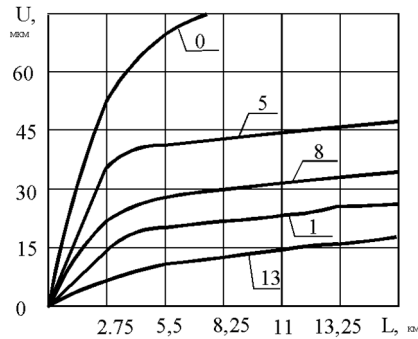


Рис. 3. Кінетика зношування зразків із сталі 45, зміцнених методом карбоазотування (цифри на кривих відповідають номерам режиму в табл. 1)

На рис. 4 показані залежності зносу зразків із сталі 45 від параметрів технологічного процесу карбоазотування в тліючому розряді. Із графіків видно, що режим зміцнення неоднозначно впливає на процес зносу як по величині, так і по характеру зношування. Такі залежності показують не тільки ступінь впливу того чи іншого технологічного параметру на трибологічні характеристики поверхні зміцненого металу, але і дозволяють оптимізувати технологічний процес карбоазотування по даній характеристиці з врахуванням реальних умов досліджень та марки матеріалу. Так для сталі 45 найвища зносостійкість в умовах проведених досліджень зафіксовано при карбоазотуванні в тліючому розряді по режиму: $T = 540^\circ \text{C}$, $p = 400 \text{ Па}$, $\tau = 130 \text{ хв}$, кількість пропану (C_3H_8) в насичуючому середовищі — 6 %.

Дослідження показали, що зносостійкість карбоазотованих зразків по деяких режимах значно вища порівняно із азотованими зразками. Великий вплив на зносостійкість має режим карбоазотування в тліючому розряді, особливо в період припрацювання. Так величина зносу зміцненої сталі 45 по режиму 6 в початковий період припрацювання в 4 рази більша порівняно з режимом 3. Із збільшенням шляху тертя величина зносу зменшувалась і досягала сталої величини в кінці періоду припрацювання. При цьому різниця в інтенсивності зношування зміцнених по різних режимах зразків зменшувалась і майже не відрізнялася в період нормального зношування. Аналогічний характер зношування карбоазотованих зразків отримано і для інших сталей.

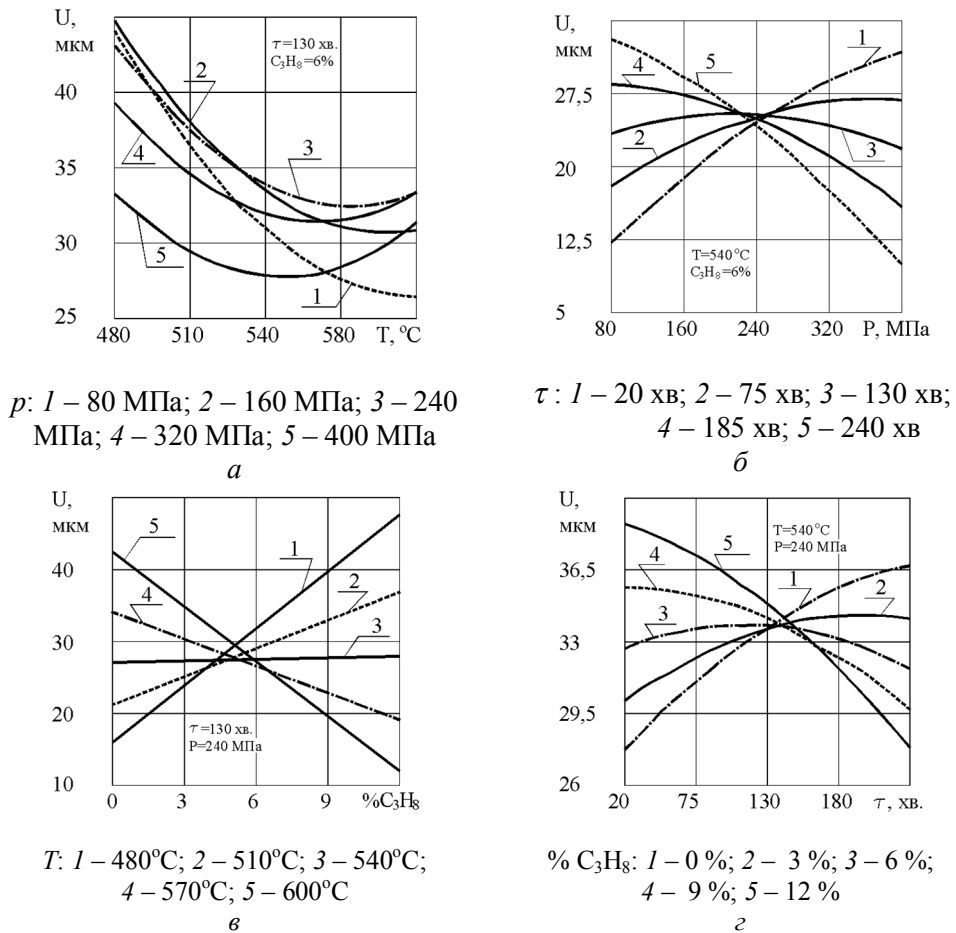


Рис. 4. Вплив параметрів технологічного процесу карбоазотування на зносостійкість сталі 45

Це пояснюється тим, що при зміцненні методом карбоазотування в тліючому розряді по різних технологічних режимах на поверхні зразків утворюються шари із різним фазовим складом, твердістю, пластичністю та іншими фізико-механічними властивостями. При оптимальному їх співвідношенню для даних умов отримуємо мінімальну інтенсивність зношування пари тертя як в період припрацювання, так і в період нормального зношування.

По мірі утворення вторинних структур (ВС), які екранують поверхню тертя, інтенсивність зношення зменшується і після завершення їх утворення стає мінімальною, яка є характерною для періоду нормального зношування [2].

Вторинні структури представляють собою нову фазу, яка спонтанно утворюється при терті в результаті взаємодії поверхневих шарів твердих тіл, мастильних матеріалів та газового середовища. Вторинним структурам характерні підвищені фрикційні властивості, які нормалізують тертя та знос. Тонкі плівки вторинних структур відрізняються від вихідних матеріалів складом, структурою, властивостями. Формування ВС – це термодинамічний акт пасивації активованих тертям поверхневих шарів твердих тіл.

Вторинні структури, які утворюються в процесі тертя, захищають вихідний матеріал від механічної і фізико-хімічної деструкції. Зовнішні механічні чинни-

ки, що діють на поверхні тертя, призводять до руйнування екрануючої фази, але в той же час ці чинники і спряжені процеси переносу речовини із середовища забезпечують її регенерацію. В діапазоні нормального тертя процеси утворення і руйнування плівок ВС знаходяться в динамічній рівновазі і автоматично регулюються.

Змінюючи режим процесу карбоазотування, можливо на поверхні тертя формувати оптимальний мікрорельєф, який відповідає стану поверхневих шарів в процесі формування вторинних структур I і II виду, сукупність яких в даних умовах експлуатації має значний вплив для найбільш швидкого утворення вторинних структур і мінімального зносу поверхонь тертя як в період припрацювання, так і в період нормального зношування.

На рис. 5 наведені результати комплексних досліджень впливу основних технологічних факторів на зносостійкість сталі 45 із застосуванням планування експериментів (план Хартлі, табл. 2.), які дозволяють визначити оптимальні технологічні режими карбоазотування в тліючому розряді для забезпечення максимальної зносостійкості сталі 45: температура карбоазотування – 580°C, тиск – 400 Па, тривалість насичення – 240 хв, вміст пропану – 12 %.

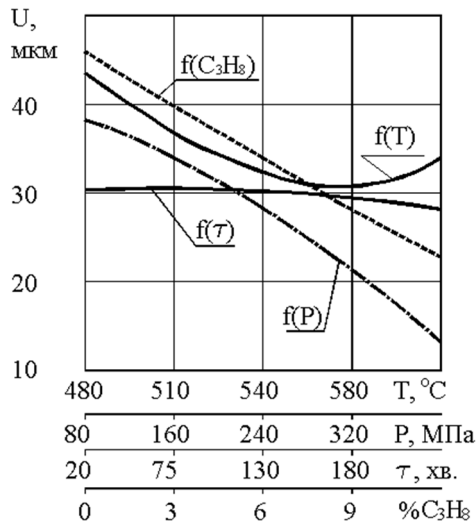


Рис. 5. Залежність зносу сталі 45 від технологічних параметрів карбоазотування в тліючому розряді

Аналіз отриманих залежностей показує, що підвищена твердість матеріалу не завжди позитивно впливає на його зносостійкість. Значення технологічних параметрів процесу зміцнення, які забезпечують максимальну мікротвердість поверхні та товщину зміцненого шару не завжди співпадає із значеннями технологічних параметрів процесу по критерію максимальної зносостійкості. Величина зносу поверхонь тертя залежить не тільки від технологічних параметрів процесу, але і від експлуатаційних умов (тиску на поверхні тертя, швидкості ковзання і середовища). Тому з метою підвищення зносостійкості пар тертя для різних матеріалів і режимів карбоазотування в тліючому розряді необхідно знаходити не тільки оптимальні значення технологічних параметрів процесу, але і оптимальні експлуатаційні умови тертя.

Висновки. Розроблена технологія карбозотування в плазмі тліючого розряду в безводневих середовищах, однією з переваг якої є керованість технологічними параметрами процесу з метою досягнення оптимальних фізико-механічних властивостей зміцнених матеріалів і, як наслідок, підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Експериментально доведено залежність твердості, товщини шару, структури, фазового складу карбозотованого шару від основних параметрів технологічного процесу і на основі цих залежностей знайдені оптимальні режими зміцнення для конструкційної сталі 45 за критерієм максимальної міцності.

Проведені дослідження зносостійкості зразків із сталі 45, зміцнених методом карбозотування в тліючому розряді із застосуванням математичних методів планування експериментів. Параметри технологічного процесу зміцнення (температура, тиск, склад насичуючого середовища, тривалість процесу) впливають на зносостійкість в широких межах і дозволяють оптимізувати процес за критерієм максимальної зносостійкості.

Низькотемпературне карбозотування в тліючому розряді є ефективним методом поверхневого зміцнення деталей і може використовуватися в різних галузях народного господарства, де виникає потреба в покращенні властивостей сталених виробів.

Список літератури

1. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
2. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность металлов при трении / Б.И. Костецкий. – Киев : Техника, 1976. – 292 с.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2019.

Стечишина Надія Мирославівна – здобувач кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна, nadij1804@gmail.com, 097-288-82-29.

Люховець Володимир Васильович – викладач кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна, vladimirlider76@gmail.com, 097-472-16-28.

Стечишин Мирослав Степанович – проф. кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна, miro011951@gmail.com, 098-589-18-14.

N. M. STECHYSHYNA, V. V. LUKHOVETC, M. S. STECHYSHYN.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS CARBONITRATION FOR RESISTANCE STEEL 45

In work with the application of the Hartley Plan, the wear resistance of 45 steel after carbonitration in glow discharge was investigated. It is shown that the wear resistance depends not only on the technological parameters of the carbonitration, but also on the conditions of friction contact loading.

Keywords: carbonitration, wear resistance, technological nitriding parameters, Hartley plan.

References

1. Krasovskyi H.Y., Fylaretov H.F. Planyrovanye eksperymenta / H.Y. Krasovskyi, H.F. Fylaretov. –Mynsk : Yzd-vo BHU, 1982. – 302 s.
2. Kostetskyi B.Y. Poverkhnostnaia prochnost metallov pry trenny / B.Y. Kostetskyi. – Kyev : Tekhnyka, 1976. – 292 s.