

**Каплун В.Г.,
Паршенко К.А.,
Паршенко А.В.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ КАРБОАЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Важливе значення у забезпеченні високого темпу зростання продуктивності праці і ефективності використання виробничого обладнання має створення і впровадження нових технологій виробництва та нових методів обробки деталей та інструменту.

Одним з найбільш ефективних методів 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 сталей: процеси обробки в розплавах нетоксичних солей - карбонітрація, процес нітроцементзації, а також процеси карбонітридного зміцнення з використанням тліючого розряду.

Карбоазотування в тліючому розряді – це процес одночасного насичення поверхні металу азотом і вуглецем при низьких температурах (від 500 °C до 600 °C). Результати деяких досліджень щодо цього процесу наведені в роботах [1, 2]. В цих роботах одночасне насичення металу вуглецем і азотом розглядалося не як самостійний метод поверхневого зміцнення, а досліджувався вплив вуглецю на структуру і властивості азотованих шарів при гартуванні в аміачній плазмі з добавками газів, що містять вуглець.

В роботі [1] встановлено, що при азотуванні в аміачній плазмі з добавками пропану, утворюється шар із розвинутою карбонітридною поверхневою зоною, яка міститься в зоні внутрішнього азотування карбонітридну сітку по межах аустенітних зерен. При чому, введення в аміачну плазму пропану зменшує швидкість утворення зони внутрішнього азотування.

Залежність товщини карбонітридної зони $[Fe_{2-3}(NC)]$ від концентрації цементуючого газу, наприклад, пропану, носить екстремальний характер. Максимальний розвиток карбонітридна зона отримує при вмісті пропану в суміші від 8 % до 12 %. При цьому її товщина в 1,5 рази більша глибини нітридної зони, яку отримують при азотуванні в аміачній плазмі. При вмісті пропану біля 40 % подавляється ріст азотованого шару, очевидно, внаслідок утворення на поверхні карбонітридної або карбографітної плівки [1].

В роботі [1], також досліджували зносостійкість сталі 38Х2НЮА, азотованої при 520 °C і 650 °C на протязі 1,3 год в аміаці і в сумішах аміаку з пропаном і аргонном. Крім того, були проведені комбіновані процеси по двохстадійній схемі: на першій стадії (1,5 год) на поверхні сталі утворювалась зона внутрішнього азотування при обробці в аміачно – аргонній (10 % аміаку + 90 % аргону) плазмі, а на другій стадії (1,5 год) утворювалась карбонітридна зона на базі ϵ – карбонітриду $[Fe_{2-3}(NC)]$. Авторами встановлено, що введення в аміачну плазму пропану, дозволяє додатково підвищувати зносостійкість азотованої поверхні (крива 3) за рахунок утворення карбонітридної ϵ – фази [1].

Додатковим резервом підвищення властивостей поверхневих шарів азотованих сталей являється застосування комбінованих процесів [1, 2]: I стадія – утворення зони внутрішнього азотування по режиму катодного розпилення в плазмі аргону (від 85 % до 95 %) і аміаку (від 5 % до 15 %); II стадія – наведення на поверхні дифузійного шару карбонітридної зони в плазмі аміаку (90 %) і пропану (10 %) при оптимальному тиску. Такі режими дозволяють інтенсифікувати насичення і забезпечують отримання максимальної зносостійкості [2].

Таким чином, аналіз літературних джерел показує, що питання дослідження впливу технологічних параметрів карбоазотування в тліючому розряді на зносостійкість матеріалів до кінця не вивчене і є актуальним.

Технологічні параметри процесу карбоазотування в тліючому розряді значно впливають на фізико-механічні характеристики, структуру, фазовий склад і зносостійкість карбонітридного шару, тому вивчення цього впливу є важливим завданням.

Дослідження проводилися на інструментальних сталях марок У8 та ХВГ. Завданням досліджень було визначення залежності характеристик карбоазотованого шару (глибини, твердості, структури, фазового і хімічного складу) від основних параметрів технологічного процесу (тиску, складу насичуючого середовища, температури і тривалості процесу). У якості робочих газів застосовувалися суміші азоту і аргону (75 % N_2 + 25 % Ar) і пропану C_3H_8 , температура насичення змінювалася від 480 °С до 600 °С, тиск газової суміші в процесі дифузійного насичення – від 80 Па до 400 Па, тривалість процесу – від 20 хв до 240 хв.

В процесі дослідження використовувалися методи металографії, рентген-структурного і хімічного аналізів, в результаті застосування яких визначалися наступні характеристики карбоазотованого шару: структура і товщина із застосуванням мікроскопів ММР–2Р, «Neophot–21»; мікротвердість із застосуванням мікротвердоміра ПМТ–3; фазового складу із застосуванням рентгенівського приладу ДРОН– 3М. Дослідження на зносостійкість проводилися на установці торцевого тертя.

З метою раціонального проведення дослідів і отримання достовірної інформації застосовувалися математичні методи планування експериментів (плани першого і другого порядку) і статистичні методи обробки результатів експериментів.

Дослідження впливу технологічних параметрів процесу азотування на експлуатаційні характеристики азотованих зразків показали, що всі залежності нелінійні. Тому при розв’язанні поставленої задачі прогнозування для математичного описання цих залежностей і раціонального проведення досліджень застосований метод планування експериментів – план другого порядку Хартлі [3, 4]. Плани Хартлі відрізняються від інших планів другого порядку великою економічністю. Наприклад, при чотирьох факторному експерименті по ортогональному центральнo-композиційному плані потрібно провести 25 дослідів, по уніформному рототабельному центральнo-композиційному плані – 31 дослід, по композиційному плані Хартлі – 17 дослідів. Однак, опрацювання результатів експериментів більш важка і потребує застосування програмного забезпечення.

Математичне описання досліджуваного явища здійснювалося регресивною моделлю у вигляді квадратичного полінома [3]:

$$\varphi(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

де $\varphi(x)$ – функція відклику (вихідна змінна);

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ – коефіцієнти рівняння регресії;

x_i, x_j – незалежні змінні величини (фактори).

Параметри карбоазотування в тліючому розряді по плану Хартлі для чотирьохфакторного експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри карбоазотування в тліючому розряді по плану Хартлі

Номер режиму	Параметри режиму карбоазотування			
	температура T , °С	тиск P , Па	тривалість τ , хв	вміст пропану C_3H_8 , %
1	2	3	4	5
1	570	320	185	9
2	510	320	185	9
3	570	160	185	3
4	510	160	185	3
5	570	320	75	3
6	510	320	75	3
7	570	160	75	9
8	510	160	75	9
9	480	240	130	6
10	600	240	130	6
11	540	80	130	6
12	540	400	130	6
13	540	240	20	6
14	540	240	240	6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
15	540	240	130	0
16	540	240	130	12
17	540	240	130	6
18	540	240	130	6
19	540	240	130	6
20	540	240	130	6

На рис. 1 - 4 наведені основні результати дослідження впливу технологічних параметрів процесу карбозотування на товщину зміцненого шару та мікротвердість досліджуваних зразків.

Із графіків видно, що для всіх сталей товщина карбозотованого шару збільшується із збільшенням температури. Із підвищенням температури процесу вище 600 °C при певному співвідношенні інших параметрів процесу можливе зменшення дифузійного шару внаслідок виникнення термоелектронної емісії на катоді. При цьому в загальному струмі розряду переважає електронний струм, доля іонного струму зменшується, що викликає зменшення кількості атомів іонів, які рухаються до катоду і зменшується градієнт концентрації по азоту і вуглецю в шарі.

Значний вплив на товщину азотованого шару має склад насичуючого середовища, а саме об'ємне співвідношення азоту, аргону та пропану. На рис. 1 - 2 наведені залежності товщини азотованого шару від процентного вмісту пропану (в об'ємних одиницях) в насичуючому середовищі для різних сталей при різних температурах. Встановлені залежності показують, що товщина азотованого шару змінюється в залежності від вмісту пропану в суміші однаково для всіх сталей: із збільшенням вмісту пропану товщина зміцненого шару зменшується. Це пояснюється тим, що при наявності вуглецю в насичуючому середовищі подавляється ріст зони внутрішнього азотування внаслідок утворення на поверхні металу карбонітридної плівки. При цьому, залежність товщини карбонітридної зони $[Fe_{2-3}(NC)]$ від концентрації цементуючого газу (пропану) носить екстремальний характер. Максимальний розвиток карбонітридна зона отримує при вмісту пропану від 6 % до 10 % в суміші. При цьому її товщина в 1,5 рази більша, ніж товщина нітридної зони, отриманої при іонному азотуванні в азотаргонному середовищі.

На товщину карбозотованого шару значний вплив має тиск насичуючого середовища в період дифузійного насичення. Із графіків (рис. 1 - 2) видно, що для сталей ХВГ і сталі У8 існують певні значення тиску в розрядній камері, при якому досягається максимальна товщина зміцненого шару.

Аналізуючи графіки залежності товщини зміцненого шару від тривалості процесу, можна зробити висновок, що вони мають параболічний характер. При цьому крутизна параболи збільшується із підвищенням температури процесу. Зміна тиску насичуючого середовища впливає на дану залежність, але зберігає її параболічний характер. Однак цей вплив не однозначний по абсолютній величині для різних сталей. Таким чином, проведенні дослідження показали, що параболічний характер залежності товщини азотованого шару від тривалості процесу зберігається для різних марок сталей і різних режимів зміцнення.

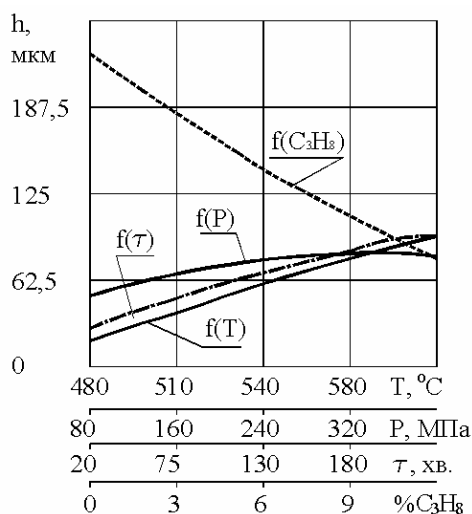


Рис. 1 – Залежність товщини зміцненого шару сталі ХВГ від технологічних параметрів карбозотування в тліючому розряді

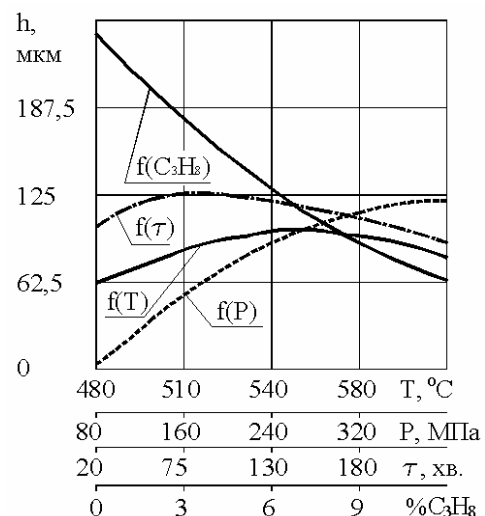


Рис. 2 – Залежність товщини зміцненого шару сталі У8 від технологічних параметрів карбозотування в тліючому розряді

Другою важливою фізико-механічною характеристикою карбоазотованого шару є його твердість (рис. 3 - 4). Встановлено, що для кожної марки сталі існує оптимальне значення температури (інтервал температур), при якій (якому) досягається максимальна твердість. Наприклад, для сталі У8 – це інтервал температур від 510 °С до 540 °С, для сталі ХВГ – інтервал температур від 540 °С до 580 °С.

Залежність зміни мікротвердості поверхні різних сталей від тривалості процесу показує, що дифузійний шар по мікротвердості в основному сформувався в початковий період процесу карбоазотування в тліючому розряді і в подальшому при збільшенні тривалості процесу майже не збільшувалася. При цьому із збільшенням кількості пропану в насичуючому середовищі мікротвердість із збільшенням тривалості процесу знижувалася (рис. 3 - 4).

Значний вплив на мікротвердість поверхні азотованого шару має тиск і склад насичуючого середовища. Їх вплив неоднозначний для різних марок сталей і залежить від співвідношення інших технологічних параметрів процесу, так для сталей ХВГ і У8 оптимальним є вміст пропану від 3 % до 6 %. Оптимальний тиск для сталі ХВГ складає 320 Па, тоді як для сталі У8 він знаходиться у межах від 240 Па до 320 Па.

Тобто, на мікротвердість азотованого шару впливають всі технологічні фактори. Оптимальними технологічними режимами карбоазотування в тліючому розряді для забезпечення максимальної мікротвердості досліджуваних сталей є: для сталі ХВГ – температура азотування від 560 °С до 580 °С, тиск 320 Па, тривалість насичення 180 хв, вміст пропану від 3 % до 5 %; для сталі У8 – температура азотування від 510 °С до 540 °С, тиск від 240 Па до 320 Па, тривалість насичення 240 хв, вміст пропану від 3 % до 6 %.

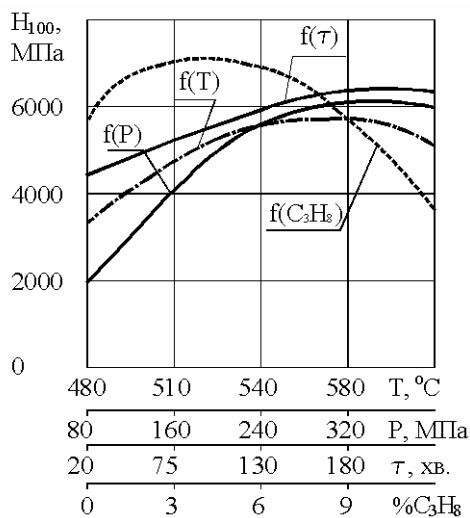


Рис. 3 – Залежність мікротвердості зміцненого шару сталі ХВГ від технологічних параметрів карбоазотування в тліючому розряді

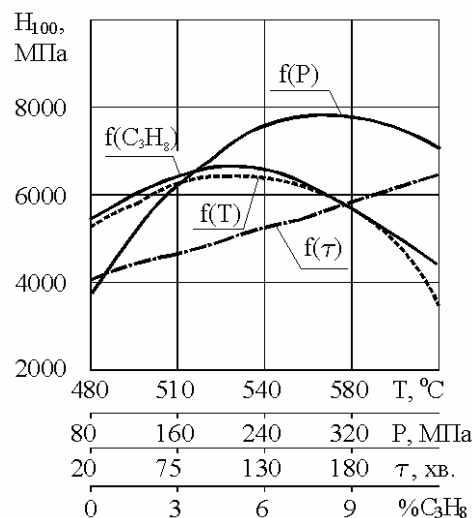


Рис. 4 – Залежність мікротвердості зміцненого шару сталі У8 від технологічних параметрів карбоазотування в тліючому розряді

Таким чином, дослідження кінетики процесів карбоазотування в плазмі тліючого розряду в азотаргонному середовищі з додаванням пропану показали, що змінюючи технологічні параметри процесу (склад середовища, тиск, температуру і тривалість насичення), можливо змінити в широких межах товщину, твердість на поверхні і по глибині, структуру, фазовий склад карбоазотованого шару і концентрацію вуглецю в ньому. Наявність пропану в насичуючому середовищі позитивно впливає на кінетику процесу і фізико-механічні характеристики карбоазотованого шару.

Результати досліджень зносостійкості зразків із сталей ХВГ та У8, зміцнених методом карбоазотування в тліючому розряді по різних режимах із застосуванням плану 2-го порядку Хартлі, наведені на рис. 5 - 8.

Характер кривих зносу показує, що у всіх експериментах існує період припрацювання (рис. 5 - 8), який характеризується більшою інтенсивністю зносу, і період нормальної роботи із незначною інтенсивністю зносу. Із порівняння величин зносу в період припрацювання і в період нормальної роботи видно, що перший значно впливає на процес зношування пари тертя, а як наслідок, і на довговічність деталей. На величину зношування в цей період значний вплив мають такі фактори як структура поверхневого шару, його хімічний склад, шорсткість поверхні та експлуатаційні параметри (питоме навантаження, швидкість, середовище). Змінюючи ці всі параметри, можливо добитися значного зменшення інтенсивності зносу в період припрацювання.

Дослідженнями встановлено, що зносостійкість карбозотованих зразків по деяких режимах значно вища порівняно із азотованими зразками. Великий вплив на зносостійкість має режим карбозотування в тліючому розряді, особливо в період припрацювання. Так величина зносу зміцненої сталі ХВГ 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 зменшувалася і майже не відрізнялася в період нормального зношування. Аналогічний характер зношування карбозотованих зразків отримано і для інших сталей.

Це пояснюється тим, що при зміцненні методом карбозотування 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 зношування отримуємо мінімальну інтенсивність зношування пари тертя як в період припрацювання, так і в період нормального зношування.

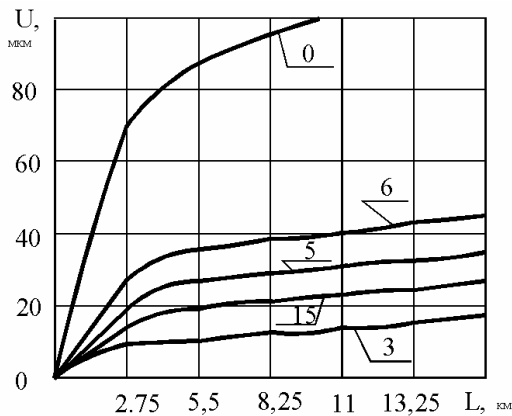


Рис. 5 – Кінетика зношування зразків із сталі ХВГ, зміцнених методом карбозотування

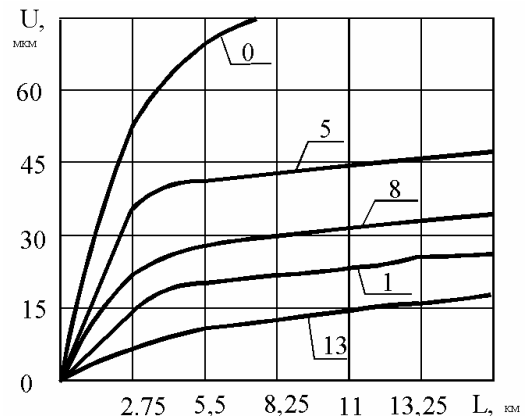


Рис. 6 – Кінетика зношування зразків із У8, зміцнених методом карбозотування

На рис. 7 - 8 наведені результати комплексних досліджень впливу основних технологічних факторів на зносостійкість сталей ХВГ та У8 із застосуванням планування експериментів (план Хартлі, табл. 1), які дозволяють визначити оптимальні технологічні режими карбозотування в тліючому розряді для забезпечення максимальної зносостійкості досліджуваних сталей. Такими режимами є:

- для сталі ХВГ: температура карбозотування від 540 °С до 580 °С, тиск – 400 Па, тривалість насичення – 20 хв, вміст пропану – 6 %;
- для сталі У8: температура карбозотування – 540 °С, тиск – 400 Па, тривалість насичення – 240 хв, вміст пропану від 3 % до 6 %.

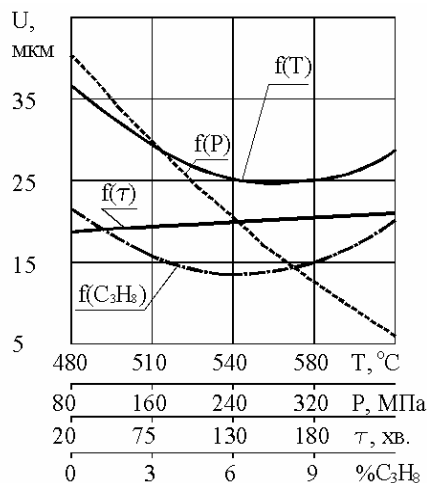


Рис. 7 – Залежність зносу сталі ХВГ від технологічних параметрів карбозотування в тліючому розряді

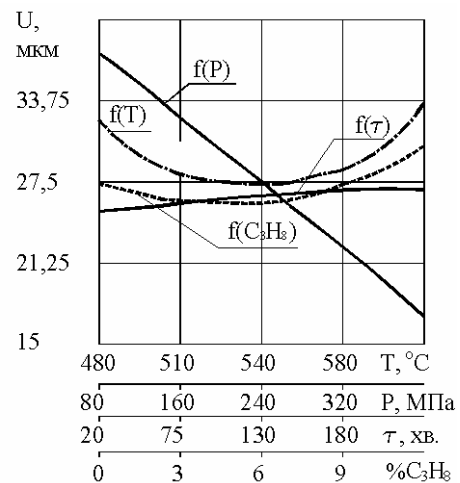


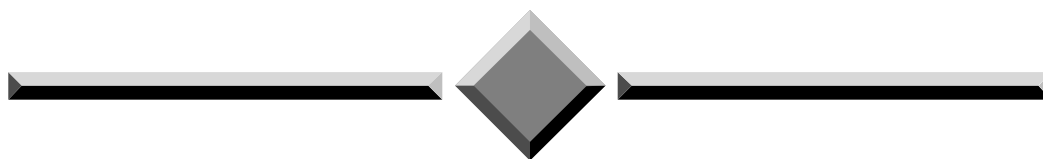
Рис. 8 – Залежність зносу сталі У8 від технологічних параметрів карбозотування в тліючому розряді

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 карбозотування в тліючому розряді необхідно знаходити не тільки оптимальні значення технологічних параметрів процесу, але і оптимальні експлуатаційні умови тертя.

Література

1. Лахтин Ю.М. Регулируемые процессы азотирования в тлеющем разряде / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, В.Н. Шапошников // В кн. Прогрессивные методы химико-термической обработки. – М. : Машиностроение, 1979. – 184 с.
2. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов/ Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. – 400 с.
3. Каплун В. Г. Оптимизация технологии ионного азотирования в безводородных средах по параметрам прочности. / В. Г. Каплун, Н. Ф. Семенюк, А. В. Паршенко. // "Управление триботехническими и прочностными свойствами механических систем". - Киев.: УМКВО, 1990. - С. 113-118.
4. Вплив метастабільної структури залишкового аустеніту на контактну витривалість і довговічність сталі при дії циклічного навантаження / В. Г. Каплун, П.В. Каплун, К.А. Паршенко // Машиностроение и техносфера 21-го века : зб. праць 13-ї міжнародної науково-технічної конференції. – Донецьк, 2006. – Т. 2. – С. 98 – 103.

Надійшла 27.07.2012



ЧИТАЙТЕ

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

I N T E R N E T !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>