УДК 621.891

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ Х12 В ВОДНОМУ РОЗЧИНІ МУКИ З ДОБАВКАМИ МІНЕРАЛУ САПОНІТУ

Гончар В. А
Хмельницький національний університет
Gonchar V.
Khmelnitsky National University

Анотація: *проведені експериментальні дослідження властивостей поверхневого шару сталі Х12 після іонного азотування в середовищі суміші азоту з аргоном при їх різних співвідношеннях за різними технологічними режимами. Досліджувались товщина, твердість, фазовий склад та зносостійкість азотованих шарів. Дослідження зносостійкості проводились на машині торцевого тертя при питомому навантаженні 0,5 МПа та швидкості ковзання 1,37 м/с в середовищі модельного абразивного розчину. На основі використання плану експериментів одержані аналітичні залежності досліджуваних властивостей від технологічних параметрів процесу іонного азотування. Побудовані графічні залежності товщини азотованого шару та твердості його поверхні від технологічних параметрів процесу іонного азотування. Досліджена кінетика процесу зношування азотованих шарів в модельному абразивному розчині. Проведені порівняння інтенсивності зношування сталі Х12 після гартування та іонного азотування. Проведена оптимізація досліджуваних властивостей азотованого шару за параметром максимальної твердості поверхні, товщини зміцненого шару та його зносостійкості. Знайдені оптимальні режими іонного азотування сталі Х12 для кожної з досліджуваних характеристик. Встановлено, що зносостійкість сталі Х12 після іонного азотування в 1,6 рази вища в порівнянні з її зносостійкістю після гартування..*

Ключові слова: *знос, азотування, екструдер, сталь.*

Постановка проблеми

При переробці зерна методом екструдування, робочі деталі екструдера (шнек, циліндр) зазнають значних технологічних навантажень: високий тиск і температура, корозійно-абразивне середовище, що зумовлює їх невеликий термін експлуатації. Підвищення зносостійкості шнека і циліндра екструдера є перспективним напрямком дослідження.

В даний час існує багато методів підвищення зносостійкості конструктивних елементів: термічні, хіміко-термічні, напилення, наплавлення зносостійкими матеріалами тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Азотування в тліючому розряді є ефективних методів зміцнення поверхні металів, який дає можливості змінювати властивості поверхневих шарів (твердість, товщину, фазовий склад, градієнт зміни властивостей по товщині) в широких межах [1,2]. Це дозволяє оптимізувати властивості зміцненого поверхневого шару для забезпечення максимальних експлуатаційних характеристик з врахуванням реальних умов експлуатації конструкційних елементів [3]. В техніці велика кількість деталей машин і інструментів працюють в абразивному і корозійно-абразивному середовищах, що приводить до руйнування їх поверхні абразивними частинками та корозійною дією агресивного середовища. Тому важливим є забезпечення оптимального співвідношення між твердістю, пластичністю і корозійною стійкістю поверхневих шарів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нами розроблена технологія і обладнання для хіміко-термічної обробки деталей машин і інструментів в тліючому розряді в безводневих середовищах (суміші азоту з аргоном) [4]. Особливістю даної технології є виключення водневого окрихчення металів в процесі дифузійного насичення і підвищення пластичних характеристик поверхневих шарів за рахунок різного співвідношення фаз [5].

Модифікація поверхні сталі Х12 проводилася в тліючому розряді в середовищі суміші азоту з аргоном. Властивості азотованого шару керувалися 4-ма технологічними параметрами: температурою дифузійного насичення, тиском в вакуумній камері, складом насичуючого середовища і часом азотування.

Теоретичні і експериментальні дослідження [6] показали, що всі вказані вище технологічні параметри процесу азотування мають вплив на властивості азотованого шару. Тому нами досліджувався вплив кожного із технологічних факторів при азотуванні в тліючому розряді на твердість, товщину, фазовий склад і градієнт зміни властивостей по товщині азотованого шару.

Змінюючи технологічні параметри процесу азотування, можна змінювати властивості азотованого шару в широких межах, одержуючи на поверхні нітридну зону різного фазового складу, різної товщини або азотовані шари без нітридної зони.

Для забезпечення максимальної зносостійкості пар тертя в абразивному середовищі необхідно щоб поверхневі шари мали високу твердість і максимальну товщину. Теоретичними і експериментальними дослідженнями процесу іонного азотування металів [3, 6, 7] показано, що для сталі Х12 висока твердість досягається при температурах 560-580 ^{O}C, а максимальна товщина азотованого шару отримується при протяжності процесу дифузійного насичення 6-8 год.

Тому з метою скорочення кількості експериментів при дослідженні властивостей азотованого шару та процесу зношування азотованих зразків було використано двох факторний рототабельний план другого порядку [8]. В процесі досліджень змінювалися такі фактори: склад насичуючого середовища в межах 29-71%, тиск у вакуумній камері в межах – 55-225 Па. Тривалість азотування та температура фіксувалися, і становили відповідно 240 хв. та 570 ^{O}C відповідно.

Для отримання моделі (параметра оптимізації) використовувався алгебраїчний поліном другого порядку [8]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2, \quad (1)$$

де b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12} - коефіцієнти регресії;

x_1, x_2 - змінні фактори.

Для запису умов експерименту і обробки експериментальних даних рівні факторів кодувались. Прийняті такі змінні фактори:

тиск в вакуумній камері – x_1;

об'ємний вміст аргону в суміші з азотом - x_2.

При кодуванні значень x_1 і x_2 верхній рівень позначають +1, нижній -1, а нульовий 0. Кодування фактора x_i визначається виразом:

$$x_i = \frac{Z_i - Z_{0i}}{\varepsilon_i} \quad (2)$$

де і - номер фактора;

Z_i – натуральне значення і-го фактора;

Z_{0i} — натуральне значення нульового рівня і-го фактора;

e_i – інтервал зміни і-го фактора.

Експериментальні дослідження проводились на рівнях та з інтервалами, які наведені в табл. 1. Матриця плану для композиційного рототабельного планування другого порядку і результати експериментальних досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Познач.	Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання е
		- 1,414	- 1	0	+ 1	+ 1,414	
Z_1	Тиск, Па	55	80	140	200	225	60
Z_2	Об'ємний вміст аргону, %	29	35	50	65	71	15

Таблиця 2

Робоча матриця та результати експериментальних досліджень

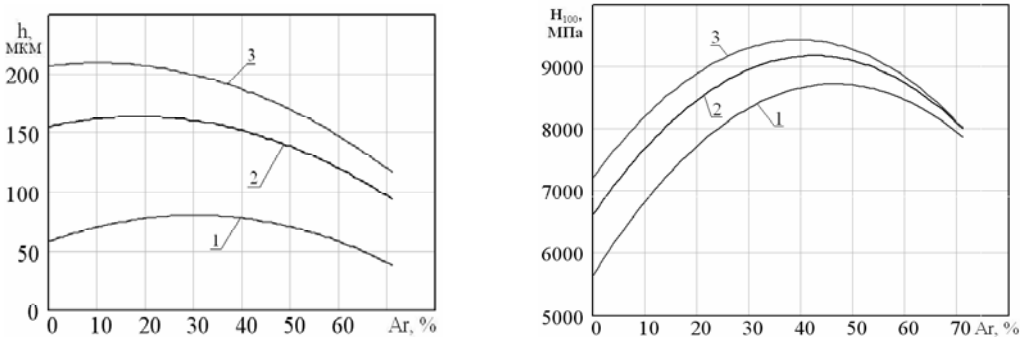
Номер режиму азотування	Робоча матриця		Мікротвердість H_{100}, МПа	Товщина азотованого шару, мкм
	P, Па	Ar,%		
1.	200	65	9700	97
2.	200	35	9500	110
3.	80	65	7800	102
4.	80	35	7000	85
5.	140	71	8600	77
6.	140	29	8450	94
7.	225	50	8350	105
8.	55	50	7250	65
9.	140	50	7800	90
10.	140	50	7780	88
11.	140	50	7900	91
12.	140	50	7850	88
13.	140	50	7910	87

На основі результатів експериментальних досліджень відповідно до двох факторного рототабельного плану отримані емпіричні математичні залежності товщини азотованого шару (3) і твердості поверхні (4) сталі Х12 від вмісту аргону в насичуючому середовищі та тиску, при постійних значеннях двох інших параметрів технологічного процесу азотування (ф= 240хв, і температурі 570 ^{0}С). На основі цих математичних залежностей одержані графіки (рис.2, 3).

$$h(\text{мкм}) = 130.4 + 49.6\, x_1 - 22.5\, x_2 - 7.0\, X_1 X_2 - 10.4\, (x_1)^2 - 5.6\, (x_2)^2 \quad (3)$$

$$H_{100}(\text{МПа}) = 9050 + 284.8\, x_1 - 301.2\, x_2 - 150\, x_1 x_2 - 56{,}5\, (x_1)^2 - 320.2\, (x_2)^2 \quad (4)$$

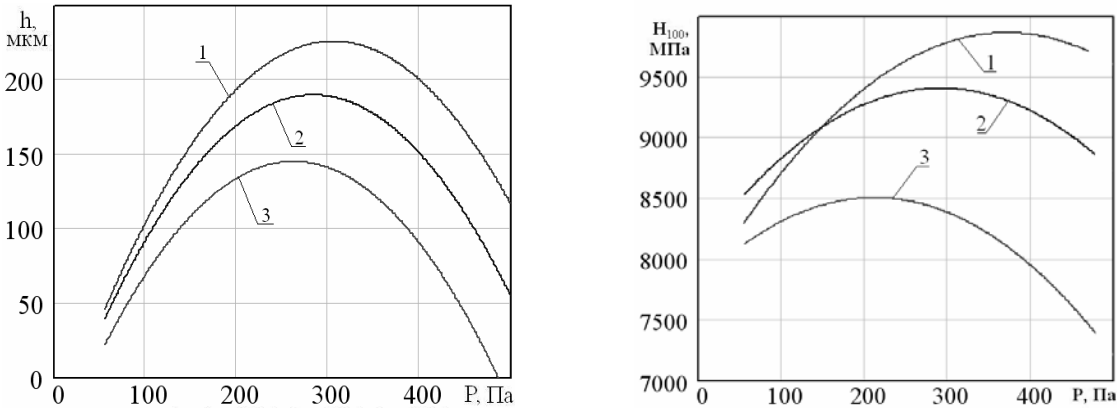
З рис. 1. видно, що товщина та твердість поверхні азотованого шару змінюються зі збільшенням вмісту аргону в насичуючому середовищі. Максимальні значення цих величин досягаються при оптимальних значеннях вмісту аргону в насичуючому середовищі. Зокрема, максимальна товщина азотованого шару утворюється в межах 10-20 %, а максимальна твердість – при 22-27% об'ємного вмісту аргону в насичуючому середовищі.



а) б)

Рис. 1. Залежність товщини азотованого шару (а) і твердості поверхні (б) сталі Х12 від вмісту аргону в насичуючому середовищі при різних тисках: 1 – 80 Па, 2 – 150 Па; 3 –200 Па

На рис.2. наведені залежності товщини і твердості поверхні азотованого шару від тиску в вакуумній камері при різних вмістах аргону. З рис. 2. видно, що товщина азотованого шару зростає зі збільшенням тиску у вакуумній камері. Це обумовлено збільшенням азотного потенціалу в насичуючому середовищі при збільшенні тиску. Твердість азотованого шару, навпаки, зменшується при збільшенні тиску. Це обумовлено тим, що зі збільшенням тиску збільшується кількість аргону і процес розпилення переважає над процесом адсорбції реактивного газу.



а) б)

Рис. 2. Залежність товщини азотованого шару (а), твердості поверхні (б) сталі Х12 від тиску в вакуумній камері в процесі дифузійного насичення при різних кількостях аргону в насичуючому середовищі: 1 – 35% Ar, 2 – 50% Ar, 3 – 65% Ar

Технологічні параметри процесу азотування мають великий вплив на фазовий склад поверхневого шару і розподіл твердості по його товщині.

При різних режимах азотування на поверхні утворюються різні фази: е, г' та б$_{(FeN)}$. Їх співвідношення впливає на твердість і корозійну стійкість поверхневого шару. Наявність твердої е-фази ($Me_{2-3}N$) сприяє підвищенню корозійної стійкості поверхні. Дослідження показують [5] показують, що при азотуванні в тліючому розряді в безводневих середовищах на поверхні можуть бути всі три фази в різному співвідношенні. Вміст е-фази збільшується зі збільшенням температури і підвищенням тиску в вакуумній камері.

На рис. 3 наведені графіки зміни твердості по товщині азотованого шару при різних режимах азотування. З рис. 3 і табл. 2 видно, що змінюючи режими азотування можна змінювати градієнт твердості по товщині в значних межах. Це має великий вплив на експлуатаційні характеристики конструкційних елементів.

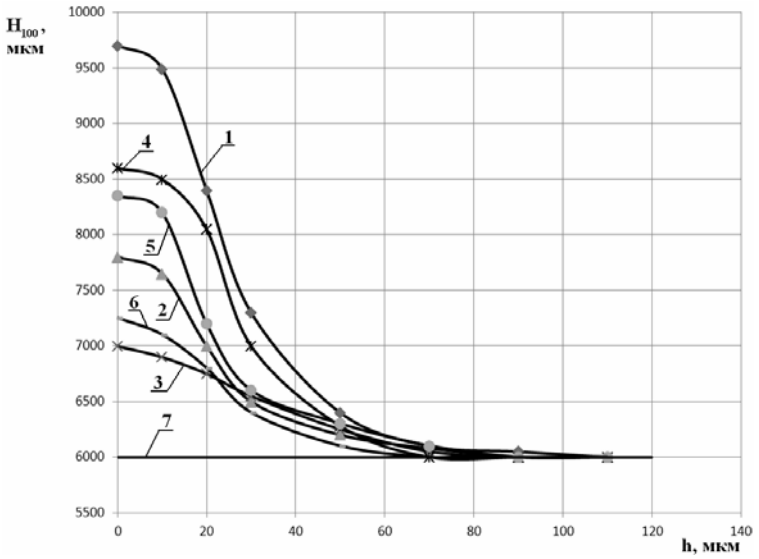


Рис. 3. Розподіл твердості по товщині азотованого шару сталі Х12 в залежності від режимів азотування (табл. 2): 1 – режим 1; 2 – режим 3; 3 – режим 4; 4 – режим 5; 5 – режим 7; 6 – режим 8;7 – гартування

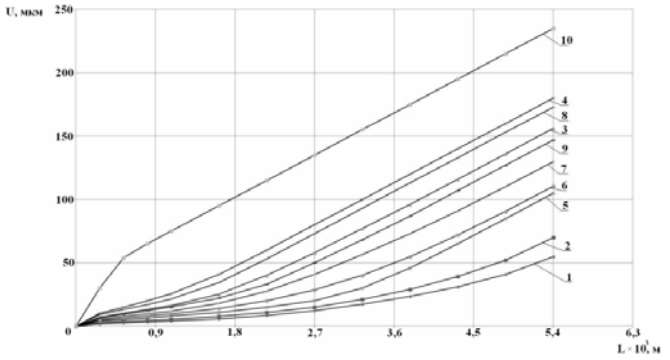
В табл. 4. та рис. 4. наведені результати експериментальних досліджень зносостійкості зразків з сталі Х12 після різних режимів азотування (табл. 2) в середовищі модельного розчину на машинах торцевого тертя при питомому навантаженні 0,5 МПа і швидкості ковзання 1,37 м/с. [9].

З табл. 4. та рис. 4а видно, що зносостійкість зразків після азотування за різними режимами різна і значно перевищує зносостійкість гартованого зразка. Найвищу зносостійкість мали зразки, що азотувались за режимом 1. Величина зносу після шляху тертя 5.4Ч10^3 м зразків, що азотувалися за режимом 1, в 4,3 рази менша в порівнянні з гартованими зразками. Як видно з рис. 4б, що по мірі зношування азотованого шару інтенсивність зношування азотованих зразків поступово наближається до інтенсивності зношування гартованої сталі. Це обумовлено зміною твердості по товщині азотованого шару.

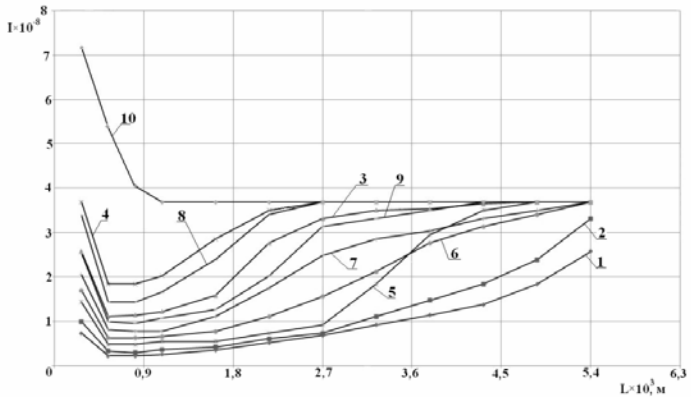
Таблиця 4

Кінетика зношування сталі Х12 після гартування та іонного азотування в тліючому розряді за різними режимами

№ режиму азотування	Знос, мкм											
	Час випробувань, хв											
	15	30	45	60	90	120	150	180	210	240	270	300
	Шлях тертя $LЧ10^3$, м											
	0,27	0,54	0,81	1,1	1,6	2,2	2,7	3,3	3,8	4,3	4,9	5,4
1	2	2,6	3,2	3,9	5,8	8,6	12,3	17,3	23,5	31	41	55
2	2,7	3,6	4,4	5,4	7,7	11	15	21	29	39	52	70
3	7	10	13,1	16,4	25	40	58	77	96,2	116	136	156
4	10	15	20	25,5	41	60	80	100	120	140	160	180
5	3,9	5,2	6,5	8	11	15	20	30	46	65	85	105
6	4,6	6,3	8	9,8	14	20	28,5	40	55	72	90,5	110,5
7	5,57	7,8	9,9	12	18	27,5	41	56,5	73	91	110	130
8	9,2	13,1	17	21,5	34,5	53	73	93	113	133	153	173
9	6,88	9,6	12,2	15,1	22	33	50	68	87	107	127	147
10	6,56	9	12	15	22,3	32	49	67	87,3	106	126	146
11	6,2	9,3	12,5	14	21,8	32,5	50	67,6	88	105	128	148
12	7	10	11,9	15,5	22	33,5	51	68,2	86,2	108	127,5	149
13	6,9	9,5	12,2	16	22,4	33,2	50,6	68	86,7	106,5	126,6	145
Гартований	30	54	65	75	95	115	135	155	175	195	215	235



а)



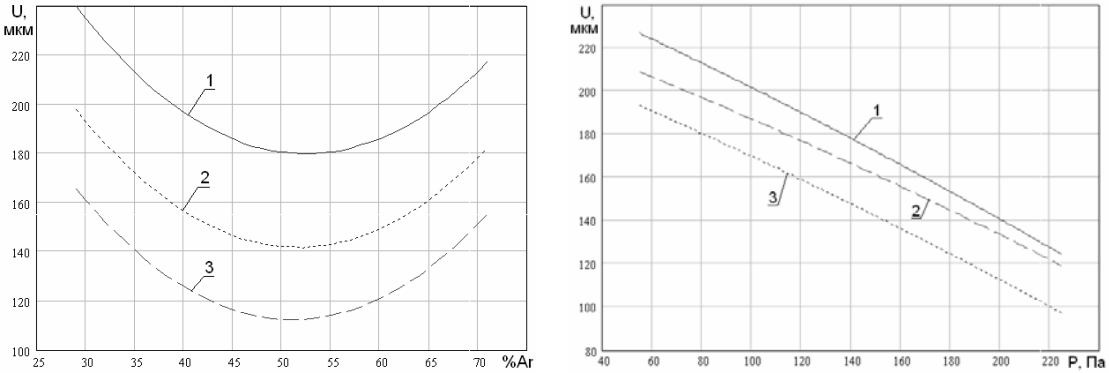
б)

Рис. 4. Залежність зносу (а) та інтенсивності зношування (б) сталі Х12 після гартування та азотування за різними режимами:
1-9 режими азотування; 10 – гартування

На основі експериментальних досліджень з застосуванням двохфакторного рототабельного плану одержані математична залежність (5) зносу від технологічних параметрів режиму азотування.

$$U_{(мкм)} = 147,7 - 34\ x_1 - 5,8\ x_2 - 2,25\ x_1 x_2 - 1,3\ (x_1)^2 + 24,5\ (x_2)^2 \qquad (5)$$

На основі рівняння (5) побудовані графіки (рис.5.) залежності зносу від технологічних параметрів режиму азотування. З графіків видно, що мінімальний знос досягається при тиску 220 Па та вмісту аргону в насичуючому середовищі 50-55%. Це пояснюється опртимальними властивостями азотованого шару для даних умов випробувань.



а) б)

Рис. 5. Залежність зносу сталі Х 12 від вмісту аргону (а) і тиску (б) в насичуючому середовищі (N_2+Ar): а) при тиску 1 – 80 Па; 2 – 150 Па; 3 – 200 Па; б) при 1 – 35% Ar; 2 – 50% Ar; 3 – 65% Ar

Висновки

Таким чином, проведені дослідження властивостей азотованого шару сталі Х12 при азотуванні в тліючому розряді в безводневих середовищах та його зношування в модельному розчині показали, що їх можна змінювати в широких межах з допомогою технологічних параметрів процесу азотування і оптимізувати за критеріями максимальних значень: зносостійкості, твердості поверхні та товщини азотованого шару.

Список літератури

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Арзамасов Б. Н., Братухин А. Г., Елисеев Ю. С., Панайоти Т. А. - М.: Изд-во МГТУ им Н. З. Баумана, 1999. - 400 с.

2. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган // М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.

3. Каплун В.Г. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивних злементов / В.Г. Каплун, П.В. Каплун// В кн. «Современные технологии в машиностроении». Харьков НТУ «ХПИ», 2007. - С. 388- 403.

4. Каплун В.Г. Енерго і ресурсозберігальна екологічно чиста технологія і обладнання для зміцнення деталей машин /В.Г. Каплун, І.М. Пастух // Машиностроение, 2002. - №2. - С. 49-51.

5. Каплун В.Г. Особенности формирования диффузионньїх слоев при ионном азотировании в безводородньїх средах /Физическая инженерия поверхности - Харьков, 2003. - Т.1. - №2. - С. 141-146.

6. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. - Харьков: НЕЦ ХФТИ. - 2006. - 364 с.

7. Паршенко К.В. Вплив залишкового аустеніту та його насичення азотом на зносостійкість і довговічність сталі Х12 в умовах тертя кочення: автореф. дис. канд. тех.наук / Хмельницький 2009.–С18.

8. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / Владислав Борисович Тихомиров - М.: Легкая индустрия, 1974. - 262 с.

9. Гончар В.А. Методика дослідження зносостійкості шнека екструдера для переробки фуражного зерна з добавками мінералу сапоніту//Проблеми трибології.-Хмельницький,2008.-№4 -С. 19-21.

Spisok literatury

1. Arzamasov B. N. Ionnaja himiko-termicheskaja obrabotka splavov / B. N. Arzamasov, A. G. Bratuhin, Ju.S.Eliseev, T. A. Panajoti - M.: Izd-vo MGTU im. N. Z. Baumana, 1999. - 400 s.

2. Lahtin Ju.M. Azotirovanie stali / Ju.M. Lahtin, Ja.D. Kogan // M.: Mashinostroenie, 1976. – 256 s.

3. Kaplun V.G. Progressivnye tehnologii uprochnenija konstruktivnih elementov / V.G. Kaplun, P.V. Kaplun// V kn. «Sovremenn'ïe tehnologii v mashinostroenii». Har'kov NTU «HPI», 2007. - S. 388- 403.

4. Kaplun V.G. Energo i resursozberigal'na ekologichno chista tehnologija i obladnannja dlja zmicnennja detalej mashin /V.G. Kaplun, I.M. Pastuh // Mashinostroenie, 2002. - №2. - S. 49-51.

5. Kaplun V.G. Osobennosti formirovanija diffuzionn'ïh sloev pri ionnom azotirovanii v bezvodorodn'ïh sredah /Fizicheskaja inzhenerija poverhnosti - Har'kov, 2003. - T.1. - №2. - S. 141-146.

6. Pastuh I.M. Teorija i praktika bezvodorodnogo azotirovanija v tlejuwem razrjade. - Har'kov: NEC HFTI. - 2006. - 364 s.

7. Parshenko K.V. Vpliv zalishkovogo austenitu ta jogo nasichennja azotom na znosostijkist' i dovgovichnist' stali H12 v umovah tertja kochennja: avtoref. dis. kand. teh.nauk / Hmel'nic'kij 2009.–S18.

8. Tihomirov V. B. Planirovanie i analiz zksperimenta / Vladislav Borisovich Tihomirov - M.: Legkaja industrija, 1974. - 262 s.

9. Gonchar V.A. Metodika doslidzhennja znosostijkosti shneka ekstrudera dlja pererobki furazhnogo zerna z dobavkami mineralu saponitu//Problems of Tribology.-Hmel'nic'kij,2008.-№4 -S. 19-21.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ Х12 В ВОДНОМ РАСТВОРЕ МУКИ С ДОБАВКАМИ МИНЕРАЛА САПОНИТА

***Аннотация**: проведенные экспериментальные исследования свойств поверхностного слоя стали Х12 после ионного азотирования в среде смеси азота с аргоном при их различных соотношениях по различным технологическим режимами. Исследовались толщина, твердость, фазовый состав и износостойкость азотированных слоев. Исследование износостойкости проводились на машине торцевого трения при удельной нагрузке 0,5 МПа и скорости скольжения 1,37 м / с в среде модельного абразивного раствора. На основе использования плана экспериментов получены аналитические зависимости изучаемых свойств от технологических параметров процесса ионного азотирования. Построенные графические зависимости толщины азотированного слоя и твердости его поверхности от технологических параметров процесса ионного азотирования. Исследована кинетика процесса изнашивания азотированных слоев в модельном абразивном растворе. Проведенные сравнения износ стали Х12 после закалки и ионного азотирования. Проведена оптимизация изучаемых свойств азотированного слоя по параметру максимальной твердости поверхности, толщины упрочненного слоя и его износостойкости. Найденные оптимальные режимы ионного азотирования стали Х12 для каждой из исследуемых характеристик. Установлено, что износостойкость стали Х12 после ионного азотирования в 1,6 раза выше по сравнению с ее износостойкостью после закалки ..*

***Ключевые слова:** износ, азотирования, экструдер, сталь.*

DURABILITY STEEL H12 IN AQUEOUS SOLUTION OF FLOUR WITH THE ADDITION MINERAL SAPONITE

***Summari: e**xperimental study of the properties of the surface layer of steel H12 after ion nitriding among the mixture of nitrogen and argon in their different ratios for different technological regimes. Investigated thickness, hardness, wear resistance and phase composition of the nitrided layers. Studies were conducted on the durability of the machine mechanical friction at specific load 0.5 MPa and slip speed 1.37 m / s in the environment model abrasive solution. On the basis of the plan of experiments investigated the analytical properties depending on the technological parameters of the process of ion nitriding. Constructed graphic dependence of the nitrided layer thickness and hardness of the surface of the technological parameters of the process of ion nitriding. The kinetics of the process of wear of the*

nitrided layers in the model abrasive solution. Conducted comparing the intensity of wear steel H12 after quenching and ion nitriding. An optimization study properties of the nitrided layer by setting the maximum hardness of the surface, the thickness of the hardened layer and its durability. Found optimum conditions of ion nitriding steel H12 for each of the studied characteristics. Established that the wear resistance of steel H12 after ion nitriding 1,6 times higher compared to its durability after quenching.

Keywords: *wear, nitriding, extruder, steel.*