

**Войтов В.А.,  
Цимбал Б.М.**

Харківський національний технічний  
університет с/г ім. П. Василенка,  
м. Харків, Україна  
E-mail: tsembalbogdan@ukr.net

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ,  
ШОРСТКОСТІ ТА ПРОЦЕСІВ  
ЗНОШУВАННЯ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ  
МОДЕЛЬНИХ ТРІБОСИСТЕМ ЕКСТРУДЕРА  
EB-350 ТА EB-350M**

УДК 621.891

В статті приведені результати дослідження мікротвердості, шорсткості та процесів зношування на робочих поверхнях тертя модельних трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M. Виявлено, що при використанні сировини з слаболужним середовищем рН 8, шорсткість робочих поверхонь тертя менше, ніж шорсткість поверхонь – з слабокислим рН5 та сильнолужним середовищем рН 11. Встановлено, що відбувається складний процес корозійно-абразивного зношування.

**Ключові слова:** трібосистема, шорсткість, мікротвердість, коефіцієнт тертя, середовище, корозія, язва, поверхня тертя.

### Актуальність проблеми

В Україні та у Європі виробництво твердого палива з рослинної сировини, яка є відновлювальним джерелом енергії, є перспективним напрямком. Але рослинна сировина, з якої виробляють паливні брикети у своєму вмісті має значний рівень абразивності та кислотності, який призводить до корозійно-абразивного зношування шнека та філь'єр екструдера, зменшення ресурсу шнека та філь'єр, терміну експлуатації екструдера, збільшенню витрат на виробництво твердого палива. Тому підвищення зносостійкості екструдерів для виробництва твердого палива з рослинної сировини є актуальним завданням. Дослідження мікротвердості, шорсткості та процесів зношування на робочих поверхнях тертя трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M є необхідним.

### Аналіз публікацій, присвячених даній проблемі

Сировина, яка використовується для виробництва паливних брикетів, така як деревина тирса, лушпиння соняшнику, відходи зернового виробництва, солома та ін. біомаса, а також мінеральні частинки (пісок, ґрунт та невелике каміння), які мають місце в сировині, [1] при контакт з робочими органами призводять до механічного руйнування поверхонь, які труться, в результаті ріжучого або дряпаючої дії твердих частинок, що призводить до абразивного зношування [2, 3]. Цей вид зношування характерний для всіх зон [4, 5]. Для екструдерів воно характерне в зоні стиснення [6], найбільш схильні до абразивного зношування останні два витки хвостовика екструдера [7].

Мікрорельєф філь'єри здатен абразивно зношувати поверхню витка шнека. Чим більше засмічена сировина мінеральними домішками, тим більше буде зношуватися поверхня робочих органів [8, 9]. При експлуатації шнека спостерігається зміцнення поверхневого шару, яке характерне для механохімічної форми абразивного зношування. На поверхні витка шнека виникають зони пластичної деформації та вторинні структури, які спричинені абразивними частками матеріалу [10]. Зола, яка утворилася при окислюванні продукту, складається з мінеральних речовини, які призводять до високого абразивного зношування [7].

При виготовленні паливних брикетів утворюються такі хімічні сполуки, як акролеїн, діоксид азоту, діоксид вуглецю, діоксид кремнію, лігнін внаслідок адсорбції, хемосорбції і дифузії атомів, змінюють хімічний склад поверхні робочих органів [11]. Під дією високої температури, звільненої вологи та слабкислого середовищу біомаси відбувається хімічна реакція з поверхнею металу, яка провокує корозійно-механічне зношування [12]. Внаслідок цього виникають нові вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05 - 0,1 мкм [10, 13]. Як правило це зношування характерне для зони формування та спікання, але найбільш протікає в зоні стиснення. Корозійно-механічне зношування відбувається тільки в парі тертя пресований матеріал – елемент конструкції [8].

Під час пресування під дією високої температури відбувається термодеструкція органічних речовин, які входять до складу біомаси, яка супроводжується утворенням агресивних по відношенню до металу хімічних речовини. При механічному диспергуванні біополімерів утворюються макрорадикали, які вступають в активну взаємодію з металами. Під час термодеструкції органічних речовин відбувається утворення поверхнево-активних речовин, дія яких на кристалічні тіла супроводжується адсорбційним зниженням твердості та межі втоми [14].

Оцінюванню зносостійкості сталей та поверхонь трібосистем при абразивному зношуванні присвячена робота [15].

Дослідження зміни мікротвердості характеристик тертя та зношування робочих поверхонь відображено авторами робіт [16, 17] та шорсткості поверхонь трібосистем екструдера [18].

Процеси, які відбуваються на поверхнях тертя трібосистем, при корозійно - абразивному зношуванні дослідженні авторами робіт [19 - 26].

### Мета дослідження

За допомогою мікроаналізу підтвердити характер протікання корозійних та абразивних процесів на поверхнях тертя при використанні різних середовищ, дослідити мікротвердість та шорсткість робочих поверхонь тертя трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M.

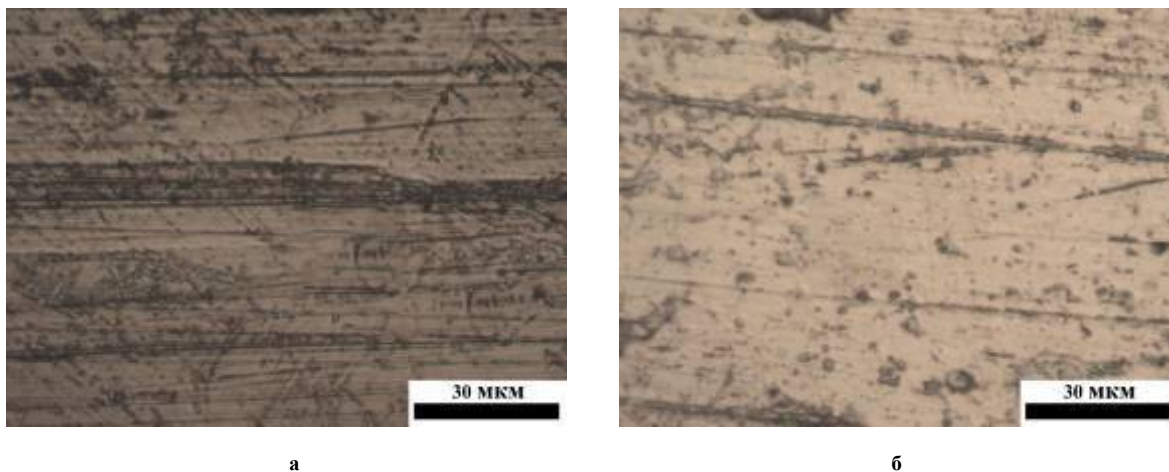
### Викладення основного матеріалу

Мікротвердість поверхневого шару на робочих поверхнях тертя модельних трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M вимірювали за допомогою стаціонарного мікротвердоміру по Мікро - Вікерсу UTT-NVmikro-1 УКРИНТЕХ.

Результати вимірювань мікротвердості поверхневого шару були отримані в цифровому форматі за допомогою спеціального програмного забезпечення та були отримані мікрофотографії робочих поверхонь модельних трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M при використанні сировини з слаболужним середовищем в порівнянні з сировиною з слабокислим та сильнолужним середовищем, які представлені на рис. 1 - 12 та табл. 1.

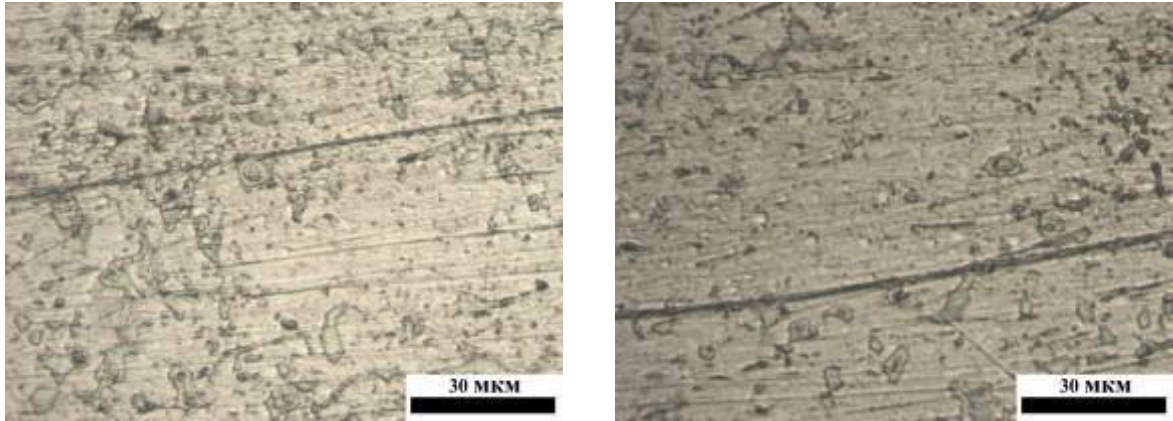
Мікротвердість поверхневого шару визначалась на ділянках робочої поверхні з 10-ти кратним повторюванням.

Випробування показали, що на поверхнях тертя при використанні слабокислого середовища, рН 5, без абразиву спостерігається крапкова корозія, яка характерна для пасивних металів та сплавів та кислого середовища, при цьому утворюються крапкові язви, що зображено на рис. 1.



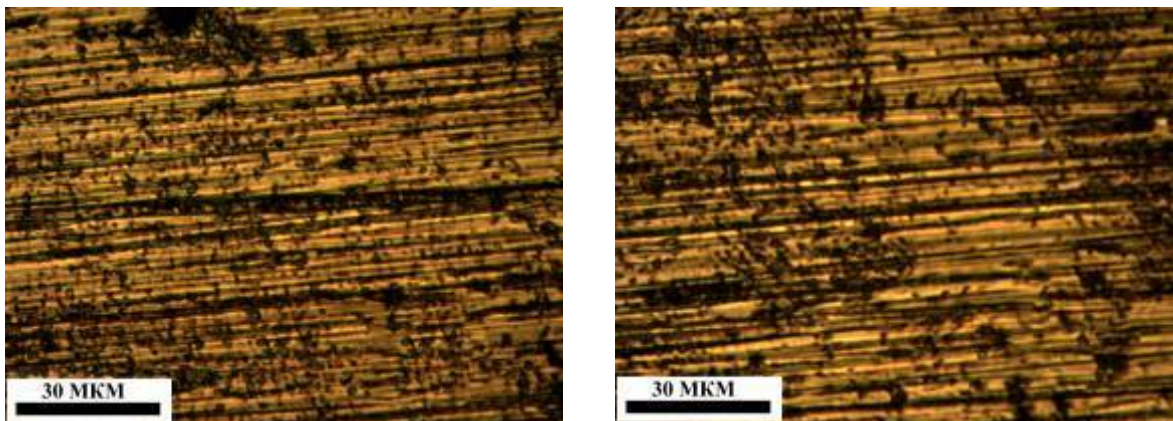
**Рис. 1 – Мікрофотографії поверхонь тертя сталей при використанні слабокислого середовища, рН 5, без абразиву:**  
а – сталь 40X;  
б – сталь 95X18

Зародження язви відбувається в місцях дефектів пасивної плівки (подряпини, розриви) або її слабкі місця, в зв'язку з неоднорідністю сплаву. Зростає крапкова корозія у зв'язку з активним розчиненням крихкої оксидної плівки. На поверхні сталі 40X рис. 1, а, спостерігається не тільки загальна, але й велика крапкова корозія. На відміну від сталі 40X у сталі 95X18 загальна кількість крапкових уражень значно менше, що пов'язано з меншою швидкістю корозійних процесів. Така тенденція характерна для чавуну ЧХ22Н2 та ЧХ32. Чавун ЧХ22Н2 має більше дефектів, язв від корозійних процесів, ніж чавун ЧХ32, рис. 2, а та рис. 2, б. При цьому мікротвердість поверхневого шару базової сталі 40X зменшується до 8445 МПа, сталі 95X18 – до 10349 МПа.



**Рис. 2 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні слабкислого середовища, рН 5, без абразиву:**  
**а – чавун ЧХ22Н2;**  
**б – чавун ЧХ32**

Наявність абразиву призводить до збільшення шорсткості та у зв'язку з наявністю дефектів підвищується гетерогенність поверхні, що призводить до збільшення схильності до крапкової корозії та загальної корозії в цілому, що зображено на рис. 3 та рис. 4. При цьому мікротвердість сталей та чавунів стає ще меншою, ніж без абразиву в 1,025 - 1,25 рази.



**Рис. 3 – Мікрофотографії поверхонь тертя сталей при використанні слабкислого середовища, рН 5 та 1 % абразиву:**  
**а – сталь 40Х;**  
**б – сталь 95Х18**

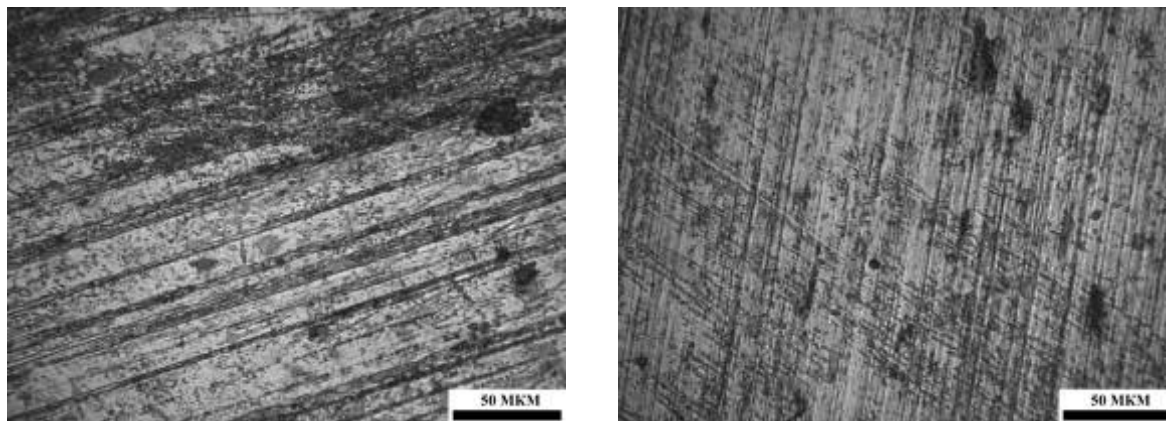
В слаболужному середовищі, при рН 8, поверхня елементів трібосистем меш уражена корозією ніж в слабкислому середовищу, що зображено на рис. 5 та рис. 6. На зразках, які випробовувались без абразиву спостерігається гомогенна поверхня з наявністю слідів припрацювання та утворення однорідної, не крихкої, захисної плівки. При цьому мікротвердість поверхневого шару базової сталі 40Х збільшується до 10280 МПа, підібраної сталі 95Х18 – до 11105 МПа.

Наявність абразиву призводить до збільшення шорсткості та у зв'язку з наявністю дефектів підвищується гетерогенність поверхні, що зображено на рис. 7 та рис. 8. При цьому мікротвердість сталей та чавунів стає ще меншою, ніж без абразиву в 1,03 - 1,3 рази.

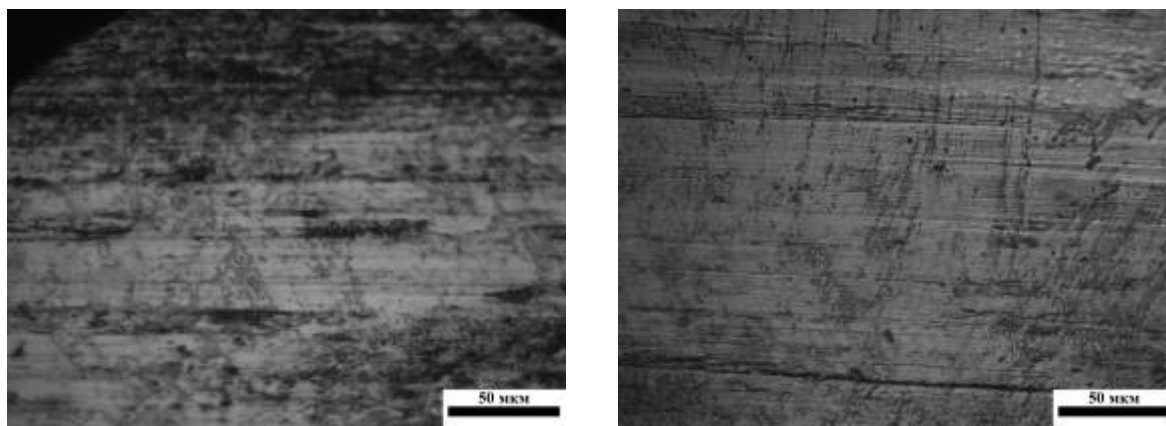
Найбільш уражені, гетерогенні поверхні крапковою корозією спостерігаються при рівні активної кислотності рН 11 рис. 9 - 12. Поверхня сталі 40Х та чавуну ЧХ22Н2 більш уражена корозією та дією абразивних часток, ніж поверхня сталі 95Х18.

При рН 11 та 0 % абразиву мікротвердість поверхневого шару базової сталі 40Х зменшується до 6710 МПа, сталі 95Х18 – до 9549 МПа.

Наявність абразиву призводить до збільшення шорсткості та у зв'язку з наявністю дефектів підвищується гетерогенність поверхні, що призводить до збільшення схильності до крапкової корозії та загальної корозії в цілому. Мікротвердість сталей з абразивом в 1,17 - 1,33 рази, менша ніж без абразиву.



а б  
Рис. 4 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні слабкокислої середовища, рН 5 та 10 % абразиву:  
а – чавун ЧХ22Н2;  
б – чавун ЧХ32



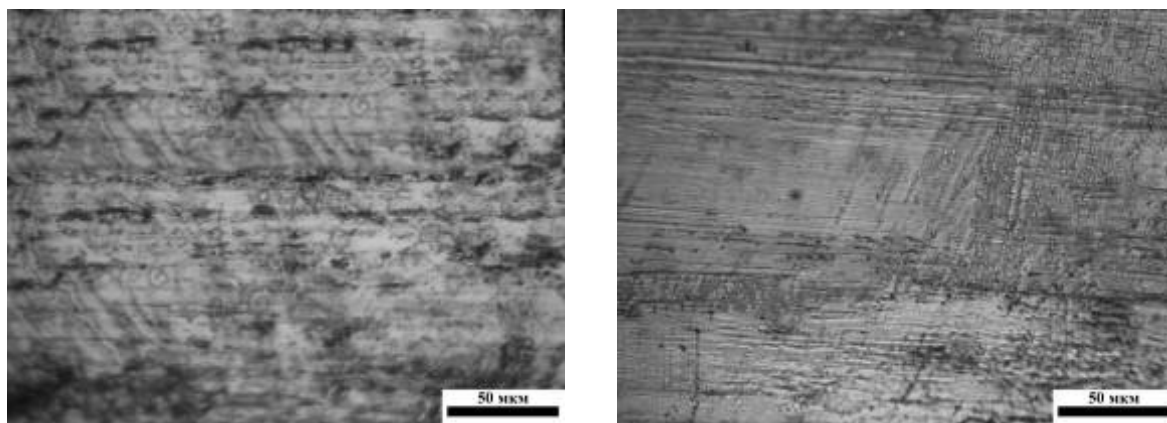
а б  
Рис. 5 – Мікрофотографії поверхонь тертя сталей при використанні слабколужного середовища, рН 8, без абразиву:  
а – сталь 40Х;  
б – сталь 95Х18

Таблиця 1

**Мікротвердість поверхневого шару на робочих поверхнях тертя модельних трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M**

Матеріал	Абразивність, %	Рівень активної кислотності, рН		
		5	8	11
мікротвердість, МПа				
Чавун ЧХ22Н2	0	7103	12543	6412
	10	6924	9676	5466
Сталь 40Х	0	8445	10280	6710
	10	6729	8056	5301
Чавун ЧХ32	0	12651	14805	8639
	10	10498	12000	6510
Сталь 95Х18	0	10349	11105	9549
	10	9673	10799	8066

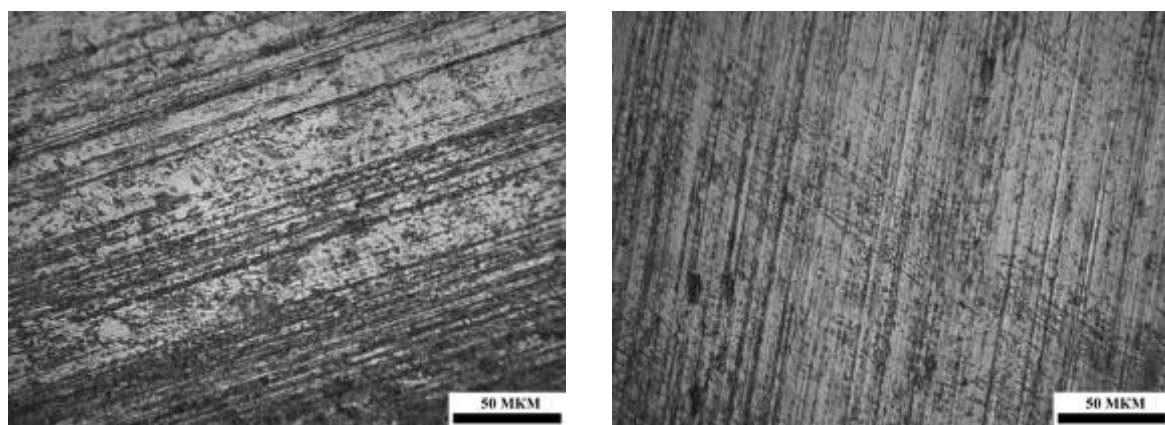




а

б

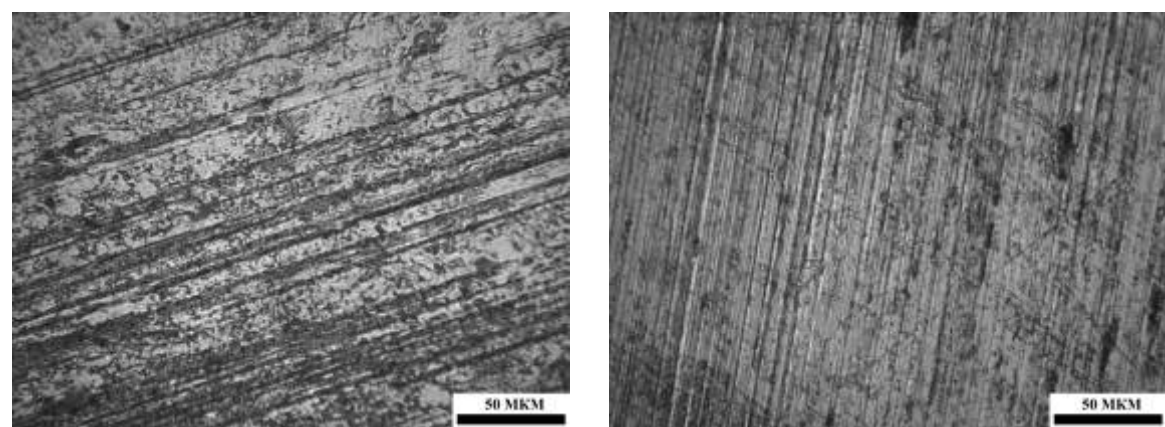
Рис. 6 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні слаболужного середовища, рН 8, без абразиву:  
а – чавун ЧХ22Н2;  
б – чавун ЧХ32



а

б

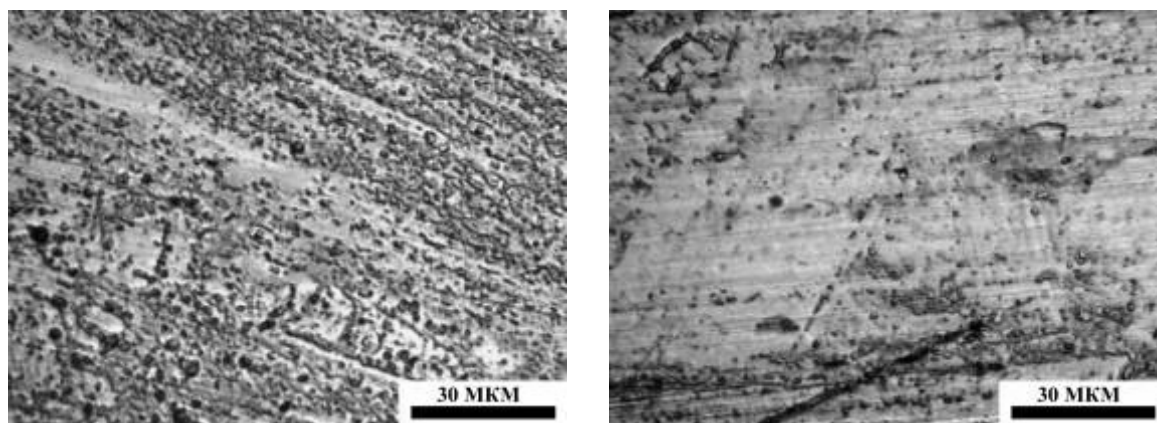
Рис. 7 – Мікрофотографії поверхонь тертя сталей при використанні слаболужного середовища, рН 8 та 10% абразиву:  
а – сталь 40Х;  
б – сталь 95Х18



а

б

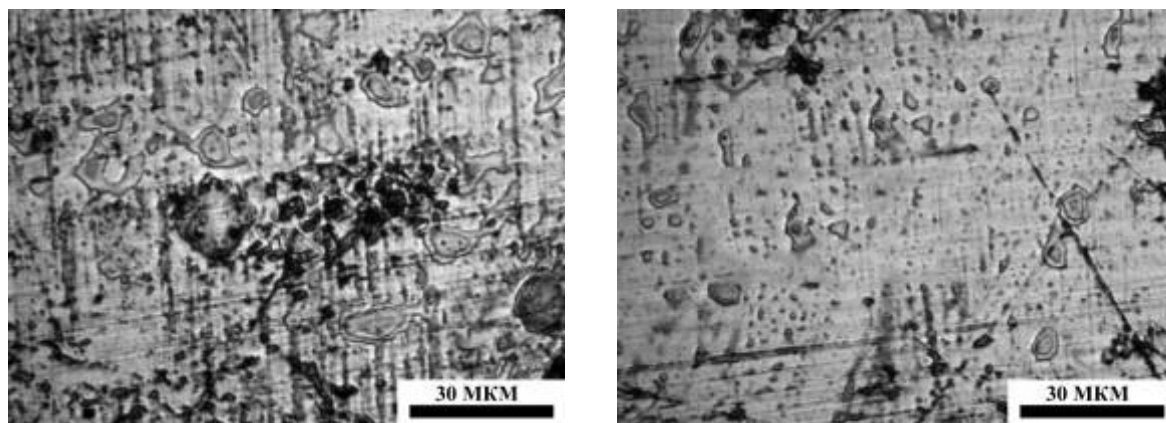
Рис. 8 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні слаболужного середовища, рН 8 та 10% абразиву:  
а – чавун ЧХ22Н2;  
б – чавун ЧХ32



а

б

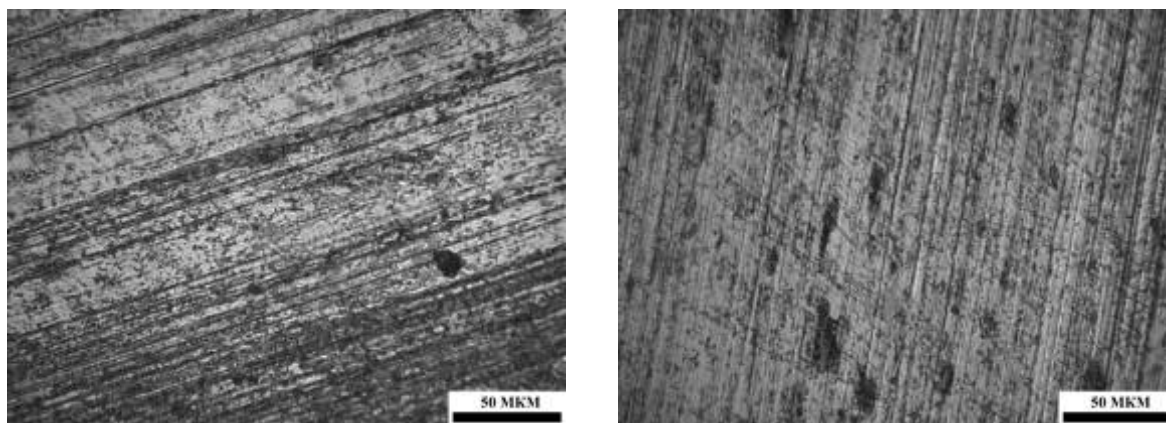
**Рис. 9 – Мікрофотографії поверхонь тертя сталей при використанні сильнолужного середовища, рН 11, без абразиву:**  
 а – сталь 40Х;  
 б – сталь 95Х18



а

б

**Рис. 10 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні сильнолужного середовища, рН 11, без абразиву:**  
 а – чавун ЧХ22Н2;  
 б – чавун ЧХ32



а

б

**Рис. 11 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні сильнолужного середовища, рН 11 та 10 % абразиву:**  
 а – сталь 40Х;  
 б – сталь 95Х18

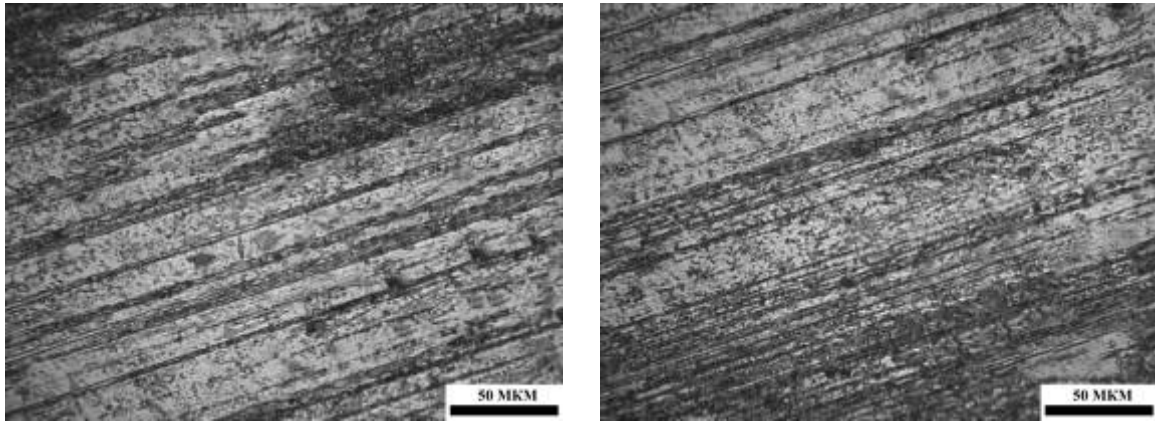


Рис. 12 – Мікрофотографії поверхонь тертя чавунів при використанні сильнолужного середовища, рН 8 та 10 % абразиву:  
а – чавун ЧХ22Н2;  
б – чавун ЧХ32

Таблиця 2

**Значення шорсткості робочих поверхонь при використанні слаболужного, слабокислого та сильнолужного середовища, з абразивом та без нього**

Матеріал	Шорсткість, Ra, мкм						
	Початкова	без абразиву			з абразивом 10 % в масі		
		pH 5	pH 8	pH 11	pH 5	pH 8	pH 11
Сталь 40X	0,200	0,634	0,528	0,747	0,767	0,610	0,931
Чавун ЧХ22Н2	0,200	0,783	0,668	0,856	0,822	0,773	1,025
Сталь 95X18	0,200	0,448	0,279	0,533	0,511	0,452	0,594
Чавун ЧХ32	0,200	0,563	0,382	0,695	0,627	0,476	0,747

Визначення шорсткості робочих поверхонь проводили за допомогою портативного вимірювача TR 200 (UIT).

Шорсткість робочих поверхонь тертя модельних трібосистем визначалась при використанні слаболужного робочого середовища в порівнянні з слабокислим та сильнолужним, з абразивом та без абразиву.

Під час корозії на робочих поверхнях утворюються рихла структура. Це призводить до зміни шорсткості робочої поверхні. Це пов'язано з тим, що поверхні тертя мають рихлу структуру та твердість вищу, ніж твердість самих металів, а продукти корозії, частинки плівок, які відокремлюються з поверхонь тертя приводять до абразивного зношування, а при наявності абразивності в сировині, абразивні частинки разом з корозійними частинками ріжуть та дряпають поверхню тертя. Це призводить до збільшення шорсткості робочої поверхні та зменшення фактичної плями контакту.

Отримані результати шорсткості робочих поверхонь зразків модельних трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M, дозволяють зробити висновки. При використанні слаболужного середовища, без абразиву спостерігається суттєве зменшення шорсткості поверхонь порівняно з шорсткістю робочих поверхонь при використанні слабокислого та сильнолужного робочого середовища, з абразивом. Шорсткість робочих поверхонь тертя при використанні сировини без абразиву має менше значення, ніж з абразивом 10 % в масі:

- на сталевому зразку 40X – на 13,44 - 19,76 %;
- на чавунному зразку ЧХ22Н2 – на 4,74 - 16,49 %;
- на сталевому зразку 95X18 – на 10,27 - 38,27 %;
- на чавунному зразку ЧХ32 – на 6,96 - 19,75 %.

При використанні сировини з слаболужним середовищем рН 8, шорсткість робочих поверхонь тертя менше, ніж шорсткість поверхонь – з слабокислим рН5 та сильнолужним середовищем рН 11:

- на сталевому зразку 40X – на 16,72 - 20,47 % та на 29,31 - 34,48 %;
- на чавунному зразку ЧХ22Н2 – на 5,96 - 14,68 % та на 21,96 - 24,58 %;
- на сталевому зразку 95X18 – на 11,54 - 37,72 % та на 23,90 - 47,65 %;
- на чавунному зразку ЧХ32 – на 24,08 - 32,14 % та на 36,28 - 45,03 % відповідно.

Найменше значення шорсткості робочої поверхні тертя має сталь 95X18 та чавун ЧХ32, ніж базова сталь 40X та чавун ЧХ22Н2.

Залежності зміни коефіцієнту тертя при використанні різних видів робочих середовищ модельних трібосистем, зображені на рисунках 13 - 16.

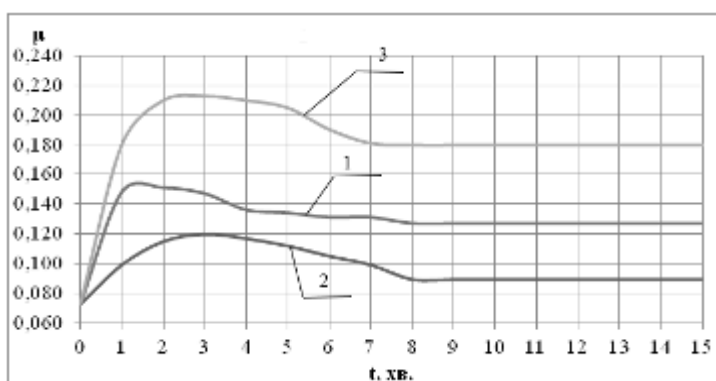


Рис. 13 – Залежність зміни коефіцієнту тертя для трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ32 при використанні різних робочих середовищ, без абразиву:  
1 – в слабокислому, при pH 5;  
2 – в слаболужному, при pH 8;  
3 – в сильнолужному, при pH 11

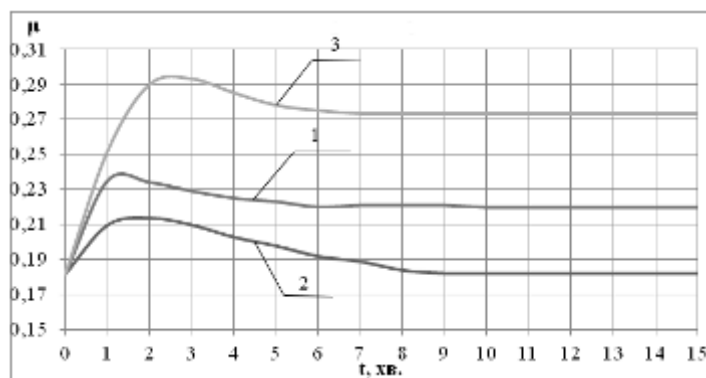


Рис. 14 – Залежність зміни коефіцієнту тертя для трібосистеми сталь 95X18 та чавун ЧХ32 при використанні різних робочих середовищ, з абразивом 10% в масі:  
1 – в слабокислому, при pH 5;  
2 – в слаболужному, при pH 8;  
3 – в сильнолужному, при pH 11

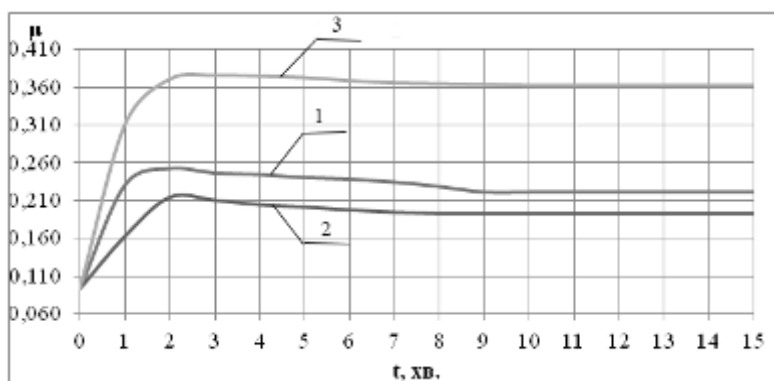


Рис. 15 – Залежність зміни коефіцієнту тертя для трібосистеми сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 при використанні різних робочих середовищ, без абразива:  
1 – в слабокислому, при pH 5;  
2 – в слаболужному, при pH 8;  
3 – в сильнолужному, при pH 11



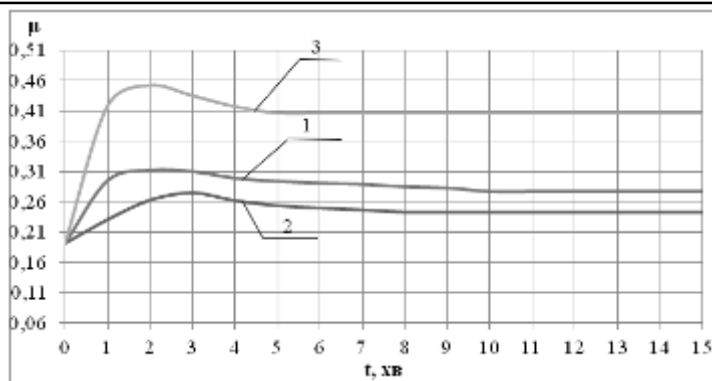


Рис. 16 – Залежність зміни коефіцієнту тертя для трібосистем сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 при використанні різних робочих середовищ, з абразивом 10% в масі:

- 1 – в слабкокислому, при рН 5;  
 2 – в слаболужному, при рН 8;  
 3 – в сильнолужному, при рН 11

Виходячи з залежностей, представлених на рисунках 13 – 16, можливо зробити висновок, що використання сировини з слаболужним середовищем, дало змогу суттєво зменшити початковий, піковий та сталий коефіцієнт тертя. В трібосистемі сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 та трібосистемі сталь 95X18 та чавун ЧХ32 коефіцієнт тертя при використанні сировини з рН 8 зменшився на 17,08-29,77% та на 12,20-12,85% відповідно порівняно з коефіцієнтом тертя при використанні сировини з рН 5. Зворотний процес відбувається при використанні сировини з рН 11. Коефіцієнт тертя збільшується для трібосистем сталь 95X18 та чавун ЧХ32 та трібосистем сталь 40X та чавун ЧХ22Н2 на 33,31-50,46% та на 40,12-46,58% відповідно.

Модельна трібосистема сталь 95X18 та чавун ЧХ32 має найменше значення коефіцієнта тертя в усіх робочих середовищах порівняно з базовою трібосистемою сталь 40X та чавун ЧХ22Н2.

### Висновки

1. Було встановлено, що при використанні сировини з слаболужним середовищем, близького до нейтрального робочих поверхнях спостерігається незначні сліди корозії, що пов'язано з утворенням на поверхні металу пасивних плівок, які сповільнюють дифузію кисню до поверхні металу та каталітично знижують швидкість корозії. При слабкокислому середовищі рН5 та сильнолужному середовищі рН 11, на поверхнях сталей та чавунів спостерігається утворення корозійних плівок та язв.

2. Виявлено, що шорсткість робочих поверхонь тертя при використанні сировини без абразиву має менше значення ніж з абразивом 10% в масі: на сталевому зразку 40X - на 13,44-19,76%, на чавунному зразку ЧХ22Н2 – на 4,74-16,49%, на сталевому зразку 95X18 – на 10,27-38,27% та на чавунному зразку ЧХ32 – на 6,96-19,75%.

3. Встановлено, що при використанні сировини з слаболужним середовищем рН 8, шорсткість робочих поверхонь тертя менше, ніж шорсткість поверхонь – з слабкокислим рН5 та сильнолужним середовищем рН 11.

4. Для виготовлення швидкозношувальних деталей шнекових екструдерів рекомендовано застосовувати сталь 95X18 та чавун ЧХ32, при слаболужному середовищі рН8.

### Література

1. Сырье для брикетирования топливных брикетов [Электронный ресурс]: (Сайт) / Топливные брикеты. Оборудование для производства топливных брикетов. – Электрон. дан. – 2016. – Режим доступа: <http://briquet.zp.ua/sirje/>. – Название с экрана.

2. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И Костецкий. – М.: Машгиз, 1959. – 478 с.

3. Измалков Л. И. К вопросу об оптимальной чистоте поверхности деталей шнекпрессов / Л. И. Измалков // Пищевая технология. – 1959. – № 3.

4. Гончар В.А. Підвищення зносостійкості і довговічності екструдерів для переробки фуражного зерна з домішками мінералів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.А. Гончар. – Хмельницький, 2014. – 20 с.

5. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. / [Алисин В.В., Алябьев А.Я., Архаров А.М. и др.] / Под ред. Крагельского И.В., Алисина В.В. – М.: Машиностроение, 1978. - Кн. 1. – 400 с.

6. Деркач В.В. Підвищення зносостійкості циліндра екструдера методом термодифузійної біметалізації : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.В. Деркач. – Київ. – 2000. – 20 с.
7. Гончар В.А. Дослідження зносостійкості азотованої сталі X12 в корозійно-абразивному середовищі / В.А. Гончар // Інформатика та механіка : тези доповідей VIII українсько-польської конференції молодих науковців. – Хмельницький, 2011. – С. 45-46.
8. Износ оборудования при переработке пластмасс / [Стамбурский Е.А. Бейль А. И., Карливан В. П., Беспалов Ю. А.]. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
9. Основи трібології: Підручник / [Антипенко А.М., Белас О.М., Войтов В.А. та ін.] / За ред. Войтов В.А. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.
10. Васильків В.В. Види зношення спіралей гвинтових робочих органів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик // Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 197 – 202.
11. Ястреба С.П. Підвищення ефективності роботи і довговічності олійних пресів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / С.П. Ястреба. – Київ, 2012. – 19 с.
12. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. - Mode d'accès: WWW.URL: [www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html](http://www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html). - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.
13. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. — К.: Техніка, 1970.— 120 с.
14. Моисеев А. В. Износостойкость дереворежущего инструмента / А. В. Моисеев. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 112 с.
15. Филипов М. А. Оценка износостойкости при абразивном изнашивании сталей со структурой метастабильного аустенита / М. А. Филипов, С. В. Буров, В. В. Легчило [и др.] // Инновации в материаловедении и металлургии : материалы I междунар. интерактив. науч.-практ. конф. [13-19 дек. 2011 г., г. Екатеринбург]. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. — Ч. 1. — С. 21-29.
16. Любченко А. П. Исследование изменений микротвердости и характеристик трения поршневых колец при их работе на двигателе / А. П. Любченко, А. К. Олейник, В. И. Мощенок, Е. В. Чуйкова, Е. А. Нестеренко // Вестн. ХНАДУ. - 2008. - Вып. 42. - С. 99-102.
17. Гуреев, Г. Д. Влияние лазерной и лазерно-ультразвуковой обработок на изменение износостойкости поверхностей трения сталей / Г. Д. Гуреев, Д. М. Гуреев // Вестник Самарского государственного технического университета, Сер.: Физико-математические науки. - 2007. - N 2. - С. 138-144
18. Гладченко А. Н. Переработка полимерных композиций в экструдерах (проблема износа рабочих органов) / А. Н. Гладченко, В. В. Шевеля, Е. В. Кияница, С. Д. Петренко, В. Г. Зверлин // Упаковка. - 2013. - № 1. - С. 32-34.
19. Maleque M. A. Biofuel contaminated lubricant and hardening effect on the friction and wear of AISI 1045 steel / M. A. Maleque, H. H. Masjuki, M. Ishak // J. Tribology Transactions. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 41. - Issue 1. – Pp. 155- 159.
20. Wei M. X. Characteristics of extrusive wear and transition of wear mechanisms in elevated-temperature wear of a carbon steel / M. X. Wei, S. Q. Wang, X. H. Cui, K. M. Chen // J. Tribology Transactions. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 53. - Issue 6. – Pp. 888 - 896.
21. Tian X. Effect of boronising on mechanical properties, wear and corrosion of N80 steel / X. Tian, Y. Lu, S. J. Sun, Z. G. Wang, W. Q. Hao, X. D. Zhu, Y. L. Yang // J. Materials Science and Technology. – London: Taylor & Francis, 2008. – Vol. 24. - Issue 3. – Pp. 314 - 319.
22. Ravi Kumar B. N. Effect of Abrasives on Three-Body Abrasive Wear Behaviour of Particulate-Filled Polyamide66/Polypropylene Nanocomposites / B. N. Ravi Kumar, B. Suresha, M. Venkataramareddy // J. Composite Interfaces. – London: Taylor & Francis, 2010. – Vol. 17. - Issue 2-3. – Pp. 113 - 126.
23. Zheng Z. Influence of load and sliding distance on the micro-scale abrasive wear behavior of TZNT alloy / Z. Zheng, Z. Wang, W. Huang // Journal of the Chinese Advanced Materials Society. – London: Taylor & Francis, 2016. – Vol. 4. - Issue 1. – Pp. 82 - 90.
24. Dearnley P. F. Corrosion and wear response of Cr–B coated 316L austenitic stainless steel / P. A. Dearnley, N. Dortmann, K. L. Dahm, H. Weiss // J. Surface Engineering. – London: Taylor & Francis, 2010. – Vol. 17. - Issue 2-3. – Pp. 113 - 126.
25. Sosa D. A. Corrosion mechanisms in ADI parts / A. D. Sosa, C. S. Rosales, R. E. Boeri, S. N. Simison // International Journal of Cast Metals Research. – London: Taylor & Francis, 2016. – Vol. 29. - Issue 1-2. – Pp. 106 - 111.
26. Iwabuchi A. The mechanism of corrosive wear of an austenitic stainless steel in an aqueous electrolyte solution / A. Iwabuchi, T. Tsukamoto, T. Shimizu, H. Yashiro // J. Tribology Transactions. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 41. - Issue 1. – Pp. 96 - 102.

Поступила в редакцію 14.09.2016

Vojtov V.A., Tsybmal B.M. **A study of microhardness, roughness and wear processes on the working surfaces of tribosystems friction of extruder EB-350 and EB-350M.**

The article presents the results of the study of microhardness, roughness and wear processes on the working surfaces of friction of model tribosystems of extruder EB-350 and EB-350 M. It was determined that using raw materials with a slightly alkaline environment of pH 8, the roughness of the working surface of friction is less than the surface roughness with a slightly acid pH 5 and strongly alkaline environment pH 11. It is determined that there is a complex process of corrosive and abrasive wear.

**Keywords:** tribosystem, roughness, microhardness, friction coefficient, environment, corrosion, pit, surface friction.

### References

1. Syr'e dlja briketirovanija toplivnyh briketov [Jelektronnyj resurs]: (Sajt) / Toplivnye brikey. Oborudovanie dlja proizvodstva toplivnyh briketov. – Jelektron. dan. – 2016. – Rezhim dos-tupa: <http://brikey.zp.ua/sirie/>. – Nazvanie s jekrana.
2. Kosteckij B.I. Soprotivlenie iznashivaniju detalej mashin / B. I Kosteckij. – M.: Mashgiz, 1959. – 478 s.
3. Izmalkov L. I. K voprosu ob optimal'noj chistote poverhnosti detalej shnekpressov / L. I. Izmalkov // Pishhevaja tehnologija. – 1959. – № 3.
4. Gonchar V.A. Pidvishhennja znosostijkosti i dovgovichnosti ekstruderiv dlja pererobki furazhnogo zerna z domishkami mineraliv : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. teh. nauk : spec. 05.02.04 – «Tertja ta znoshuvannja v mashinah» / V.A. Gonchar. – Hmel'nic'kij, 2014. – 20 s.
5. Trenie, iznashivanie i smazka: Spravochnik. V 2-h kn. / [Alisin V.V., Aljab'ev A.Ja., Arharov A.M. i dr.] / Pod red. Kragel'skogo I.V., Alisina V.V. – M.: Mashinostroenie, 1978. - Kn. 1. – 400 s.
6. Derkach V.V. Pidvishhennja znosostijkosti cilindra ekstrudera metodom termodifuzijnoi bimetalizacii : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. teh. nauk : spec. 05.02.04 – «Tertja ta znoshuvannja v mashinah» / V.V. Derkach. – Kiiv. – 2000. – 20 s.
7. Gonchar V.A. Doslidzhennja znosostijkosti azotovanoi stali H12 v korozijnno-abrazivnomu sere-dovishhi / V.A. Gonchar // Informatika ta mehanika : tezi dopovidej VIII ukraïns'ko-pol's'koï konferencii molodih naukovciv. – Hmel'nic'kij, 2011. – S. 45-46.
8. Iznos oborudovanija pri pererabotke plastmass / [Stamburskij E.A. Bejl' A. I., Karlivan V. P., Bepalov Ju. A.]. – M.: Himija, 1985. – 208 s.
9. Osnovi tribologii: Pidruchnik / [Antipenko A.M., Belas O.M., Vojtov V.A. ta in.] / Za red. Voj-tov V.A. – Harkiv: HNTUSG, 2008. – 342 s.
10. Vasil'kiv V.V. Vidi znoshennja spiralej gvintovih robochih organiv / V.V. Vasil'kiv, D.L. Ra-dik // Visnik HNTUSG. – Harkiv: HNTUSG, 2010. – Vip. 100. – S. 197 – 202.
11. Jastreba S.P. Pidvishhennja efektnosti roboti i dovgovichnosti olijnih presiv : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. teh. nauk : spec. 05.18.12 «Procesi ta obladnannja harchovih, mikrobiolo-gichnih ta farmacevtichnih virobniectv» / S.P. Jastreba. – Kiiv, 2012. – 19 s.
12. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. - Mode d'accès: WWW.URL: [www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html](http://www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html). - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.
13. Kosteckij B.I. Trenie, smazka i iznos v mashinah / B.I. Kosteckij. — K.: Tehnika, 1970.— 120 s.
14. Moiseev A. V. Iznosostojkost' derevozehushhego instrumenta / A. V. Moiseev. – M.: Lesnaja promyshlennost', 1981. – 112 s.
15. Filipov M. A. Ocenka iznosostojkosti pri abrazivnom iznashivanii stalej so strukturaj metastabil'nogo austenita / M. A. Filippov, S. V. Burov, V. V. Legchilo [i dr.] // Innovacii v materia-lovedenii i metallurgii : materialy I mezhdunar. interaktiv. nauch.-prakt. konf. [13-19 dek. 2011 g., g. Ekaterinburg]. — Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2012. — Ch. 1. — S. 21-29.
16. Ljubchenko A. P. Issledovanie izmenenij mikrotverdsti i harakteristik trenija porshne-vyh kolec pri ih rabote na dvigatele / A. P. Ljubchenko, A. K. Olejnik, V. I. Moshhenok, E. V. Chujkova, E. A. Nesterenko // Vestn. HNADU. - 2008. - Vyp. 42. - S. 99-102.
17. Gureev, G. D. Vlijanie lazernoj i lazerno-ul'trazvukovoj obrabotok na izmenenie iznoso-stojkosti poverhnostej trenija stalej / G. D. Gureev, D. M. Gureev // Vestnik Samarskogo gosudarstven-nogo tehničeskogo universiteta, Ser.: Fiziko-matematičeskie nauki. - 2007. - N 2. - S. 138-144
18. Gladchenko A. N. Pererabotka polimernyh kompozicij v jekstruderah (problema iznosa rabo-chih organov) / A. N. Gladchenko, V. V. Shevelja, E. V. Kijanica, S. D. Petrenko, V. G. Zverlin // Upakovka. - 2013. - № 1. - S. 32-34.

19. Maleque M. A. Biofuel contaminated lubricant and hardening effect on the friction and wear of AISI 1045 steel / M. A. Maleque, H. H. Masjuki, M. Ishak // *J. Tribology Transactions*. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 41. - Issue 1. – Pp. 155- 159.
20. Wei M. X. Characteristics of extrusive wear and transition of wear mechanisms in elevated-temperature wear of a carbon steel / M. X. Wei, S. Q. Wang, X. H. Cui, K. M. Chen // *J. Tribology Transactions*. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 53. - Issue 6. – Pp. 888 - 896.
21. Tian X. Effect of boronising on mechanical properties, wear and corrosion of N80 steel / X. Tian, Y. Lu, S. J. Sun, Z. G. Wang, W. Q. Hao, X. D. Zhu, Y. L. Yang // *J. Materials Science and Technology*. – London: Taylor & Francis, 2008. – Vol. 24. - Issue 3. – Pp. 314 - 319.
22. Ravi Kumar B. N. Effect of Abrasives on Three-Body Abrasive Wear Behaviour of Particulate-Filled Polyamide66/Polypropylene Nanocomposites / B. N. Ravi Kumar, B. Suresha, M. Venkataramareddy // *J. Composite Interfaces*. – London: Taylor & Francis, 2010. – Vol. 17. - Issue 2-3. – Pp. 113 - 126.
23. Zheng Z. Influence of load and sliding distance on the micro-scale abrasive wear behavior of TZNT alloy / Z. Zheng, Z. Wang, W. Huang // *Journal of the Chinese Advanced Materials Society*. – London: Taylor & Francis, 2016. – Vol. 4. - Issue 1. – Pp. 82 - 90.
24. Dearnley P. F. Corrosion and wear response of Cr–B coated 316L austenitic stainless steel / P. A. Dearnley, N. Dortmann, K. L. Dahm, H. Weiss // *J. Surface Engineering*. – London: Taylor & Francis, 2010. – Vol. 17. - Issue 2-3. – Pp. 113 - 126.
25. Sosa D. A. Corrosion mechanisms in ADI parts / A. D. Sosa, C. S. Rosales, R. E. Boeri, S. N. Simi-son // *International Journal of Cast Metals Research*. – London: Taylor & Francis, 2016. – Vol. 29. - Issue 1-2. – Pp. 106 - 111.
26. Iwabuchi A. The mechanism of corrosive wear of an austenitic stainless steel in an aqueous electro-lyte solution / A. Iwabuchi , T. Tsukamoto , T. Shimizu, H. Yashiro // *J. Tribology Transactions*. – London: Taylor & Francis, 1998. – Vol. 41. - Issue 1. – Pp. 96 - 102.