

В статье дано определение направлений и технических решений, а также постановка задачи усовершенствования специальных трансформаторов преобразовательного назначения.

The direction of improvement of converting transformers on the basis of spatial electromagnetic systems. O.O. Plakhtyr, A.V. Ryabokon

The definition of directions and technical solutions, as well as the formulation enhancements of converting transformers of special purpose are given in the article.

УДК 621.891

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІБОТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНЯХ
ТЕРТЯ ТРІБОСИСТЕМ ЕКСТРУДЕРА ЕВ-350 ТА ЕВ-350М**

В.А. Войтов, доктор технічних наук, професор

Б.М. Цимбал, аспірант

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

В статті приведені результати дослідження мікроаналізу хімічного складу корозійних плівок поверхонь тертя трібосистем екструдера ЕВ-350 та ЕВ-350М. Досліджено характер протікання корозійних процесів на поверхнях тертя, при використанні різних середовищ. Встановлено, що відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Ключові слова: трібосистема, хімічний мікроаналіз, корозійне зношування, корозійні плівки, окисли, середовище.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В Україні та у Європі

виробництво твердого палива з рослинної сировини, яка є відновлювальним джерелом енергії, є перспективним напрямком.

Для виробництва твердого палива використовуються рослинні відходи сільськогосподарського та лісового виробництва. До таких відходів можливо віднести: соломку, лушпиння соняшнику, рису, гречки, кострицю прядильних культур, не кормові відходи елеваторного виробництва, стебла кукурудзи та соняшнику, деревинні відходи. З цієї сировини отримують тверде паливо шляхом пресування пресом. В зв'язку з тим, що рослинна сировина 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, підвищення зносостійкості екструдерів для виробництва твердого палива з рослинної сировини є актуальним завданням. Тому дослідження тріботехнічних процесів на поверхнях тертя трібосистем екструдера EB-350 та EB-350м є актуальним.

Дослідження виконувались у рамках «Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2016 роки», затвердженою постановою Кабінету Міністрів України №243, від 1 березня 2010 р.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При виготовленні паливних брикетів утворюються такі хімічні сполуки, як акролеїн, діоксид азоту, діоксид вуглецю, діоксид кремнію та лігнін, внаслідок адсорбції, хемосорбції і дифузії атомів, змінюють хімічний склад поверхні робочих органів [1]. Під дією високої температури, звільненої вологи та слабокислого середовищу біомаси, відбувається хімічна реакція з поверхнею металу, яка провокує корозійно-механічне зношування [2]. Внаслідок цього виникають нові вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05-0,1 мкм [3, 4].

Хімічний опір корозії матеріалів описано авторами роботи [5-7]. Трібоккорозія при фрикційному контакті з деревиною досліджена автором роботи [8].

Мета досліджень – за допомогою мікроаналізу підтвердити характер протікання корозійних процесів на поверхнях тертя, при використанні різних середовищ, дослідити хімічний склад продуктів корозії та корозійних плівок, які утворюються на поверхнях модельних трібосистем.

Викладення основного матеріалу. Хімічний склад матеріалів, з яких були виготовлені моделі трібосистем, представлено в табл. 1 – 2.

Під час випробувань на поверхні матеріалів моделей трібосистем знаходиться шар окислів, який утворився при взаємодії металу з киснем повітря. Цей тонкий шар міцно зв'язаний з поверхнею трібоелементу та повторює його топографію. При цьому окисна плівка утворюється з оксидів металів, які входять до сплаву, а саме: закису заліза FeO, закису окису заліза Fe₃O₂, оксиду заліза Fe₂O₃, оксиду хрому Cr₂O₃ (при вмісті більш 12%), окис міді CuO [9], що підтверджується результатами хімічного мікроаналізу поверхонь тертя базового чавуна ЧХ22Н2 та представлено в таблиці 3 – 6. Так з таблиці 3 видно, що під час процесу зношування на поверхнях тертя збільшується атомний вміст кисню в 6,87 раз, кремнію 7,87 раз, а зменшується – заліза в 6,65 раз, нікелю в 21,4 рази, хрому в 2,32 рази, тобто відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Таблиця 1

Хімічний склад сталевих трібоелементів

Марка сталі	Масова доля, %								
	C	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Si
95X18	0,9	0,8	0	0,025	0,03	17	0,2	0,3	0,6
40X	0,36	0	0,3	0,035	0,035	0,8	0	0,3	0,17

Таблиця 2

Хімічний склад чавунних трібоелементів

Марка чавуна	Масова доля, %								
	C	Si	Mn	F	S	Cr	V	Ti	Ni
			не більш						
ЧХ22Н2	2,4	0,2	1,5	0,10	0,08	19,0	0,15	0,15	1,5
ЧХ32	1,6	1,5	1,0	0,10	0,08	30,0	0	0,1	0

Таблиця 3

Хімічний склад поверхні тертя чавуна ЧХ22Н2 при рН 5 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Na	Cl	K	Ca	Ti
Ваг., %	2,89	0,09	1,54	1,96	1,54	72,31	2,14	-	-	-	-	-
Ато м., %	9,17	0,09	2,77	1,91	2,77	65,62	1,85	-	-	-	-	-
Ваг., %	42,27	0,27	25,66	1,67	0,18	27,17	-	1,79	0,22	0,70	0,08	-
Ато м., %	63,04	0,23	21,79	0,77	0,18	11,61	-	1,86	0,15	0,43	0,05	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуна ЧХ32 при рН 5 та
абразивності 10%

Елемент									
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Na	Cl	Ti
Ваг., %	7,93	-	2,52	20,69	0,25	68,35	0,26	-	-
Атом., %	22,29	-	4,03	17,90	0,20	55,06	0,52	-	-
Ваг., %	39,15	0,43	17,75	9,83	0,14	32,26	0,33	0,11	-
Атом., %	63,04	0,42	16,28	4,87	0,06	14,88	0,37	0,08	-

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні чавуна ЧХ32, зменшується атомний вміст заліза в 3,7 рази, хрому в 1,43 рази та збільшується – кисню в 2,82 рази, кремнію в 4,4 рази згідно таблиці 4.

Виходячи з таблиці 5, на поверхні сталі 40Х відбуваються ідентичні процеси, зменшується атомний вміст хрому в 3,17 рази, заліза – 5,83 рази та збільшується – кисню в 4,87 рази, кремнію в 23,67 рази. На поверхні сталі 95Х18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 1,68 рази, заліза в 2,98 рази та збільшення – кисню в 3,95 рази, кремнію в 7,33 рази, відповідно до таблиці 6.

Окиси мають відмінні властивості від металевої основи. При нормальній температурі окислення вони мають високу твердість, опір стисненню, але є крихкими, та мають менший коефіцієнт лінійного розширення, ніж сам метал. Окисні плівки здатні пасивувати та захищати поверхні елементів трібосистем від корозійного руйнування [9].

При контакті елементів трібосистеми у слабкокислотному середовищі при рН 5, без абразиву та з абразивом, в результаті складного комплексу хімічних та механічних впливів, захисна плівка руйнується, що обумовлює процес зношування. Вода потрапляючи на поверхню трібоелементу активно адсорбується поверхневими шарами сплаву. В водному розчині

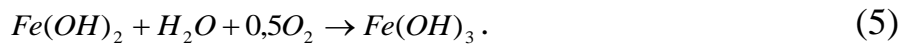
містяться іони H^+ та OH^- , як продукти часткового розпаду води, а також певна кількість кисню. Корозійний процес можливо виразити за допомогою анодної та катодної реакції, з водневою та кисневою деполяризацією відповідно:



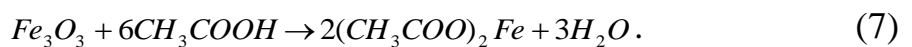
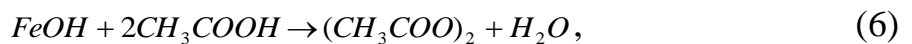
Остаточна реакція має вид:



Гідратований оксид заліза утворює на поверхні трибоелементу дифузійно-бар'єрний підшар, крізь який дифундує кисень. На зовнішній поверхні оксидної плівки, доступної розчинному кисню, гідроксид заліза (II) дифундує в гідроксид заліза (III):



Плівки іржі, які складаються з шарів гідратованих оксидів заліза, легко видаляються під час тертя трибоелементів. Цей процес посилюється корозійною дією оцтової кислоти, яка активно взаємодіє з оксидною плівкою на поверхні трибоелементу, розчиняючи її. Реакція оцтової кислоти з вюститом та магнетитом має наступний вигляд:



Крім того ці реакції швидше протікають в кислому середовищі, ніж в лужному та нейтральному. Ріст швидкості корозійних процесів металу по мірі зменшення рН обумовлено не тільки збільшенням швидкості виділення водню, але й легким доступом кисню до поверхні трибоелементів внаслідок розчинення поверхневого оксиду та відповідно підвищеною кисневою деполяризацією [10].

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40X при рН 5 та абразивності 10%

Елемент							
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Mg
Ваг., %	3,93	-	0,64	0,94	0,51	93,98	-
Атом., %	12,41	-	1,16	0,91	0,47	85,06	-
Ваг., %	49,93	8,30	15,94	0,46	0,09	10,62	14,67
Атом., %	65,02	6,41	11,82	0,19	0,03	3,96	12,57

При контакті елементів трібосистеми у слаболужному середовищі при рН 8, без абразиву та з абразивом, відбуваються практично такі самі процеси, як у слабокислому середовищі при рН 5, окрім реакції оцтової кислоти з оксидами заліза. Корозійний процес протікає за допомогою анодної та катодної реакції, з водневою та кисневою деполяризацією. На зовнішній поверхні оксидної плівки, доступної розчинному кисню, гідроксид залізі (II) дифундує в гідроксид заліза (III), який захищає поверхню трібоелементу від корозії. Хром та титан не кородує при контакті з не концентрованим розчином гідроксиду натрію, а мідь та нікель утворюють мікрояви корозії [10].

Хімічний мікроаналіз поверхонь тертя сталей та чавунів представлено в таблиці 7 – 10. Виходячи з таблиці 7, на поверхні тертя сталі 40X відбуваються ідентичні процеси, але з меншою інтенсивністю ніж при рН 5 та рН 11, зменшується атомний вміст хрому в 1,89 рази, заліза – 1,36 рази та збільшується – кисню 2,33 рази, кремнію в 1,38 рази. На поверхні тертя сталі 95X18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 2,04 рази, заліза в 1,88 рази та збільшення – кисню на 8,71%, кремнію в 9,76 рази, відповідно до таблиці 10.

Таблиця 6

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95X18 при рН 5 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	V	Ti	Ca
Ваг., %	26,5	0,4	14,2	14,0	0,2	43,4	0,1	0,7	0,0	-	-	0,1
	2	9	2	3	1	4	8	2	7			1
Атом., %	50,6	0,5	15,4	8,24	0,1	23,7	0,1	0,9	0,0	-	-	0,0
	2	6	6		2	6	4	5	6			8
Ваг., %	2,70	-	0,55	37,8	0,4	58,2	-	-	-	0,1	-	-
				7	9	6				2		
Атом., %	8,56	-	1,00	36,9	0,4	52,9	-	-	-	0,1	-	-
				4	6	2				2		

З таблиці 9 видно, що на поверхні тертя чавуна ЧХ22Н2 збільшується атомний вміст кисню в 3,04 раз, кремнію 7,75 раз, а зменшується – заліза в 45,25 раз, хрому в 28,36 рази, тобто повільно відбувається процес корозійно-абразивне зношування.

Таблиця 7

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40Х при рН 8 та абразивності 10%

Елемент										
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Ti	Ca
Ваг., %	3,69	-	0,40	0,83	0,5	93,8	-	0,86	-	-
					2	0				
Атом., %	11,6	-	0,72	0,80	0,4	84,5	-	1,89	-	-
	2				8	0				
Ваг., %	8,60	0,3	9,92	0,75	0,5	68,8	1,34	7,75	-	0,97
		3			2	7				
Атом., %	20,7	0,4	13,6	0,55	0,3	47,7	1,33	13,0	-	0,93
	9	7	6		7	0		4		

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні тертя чавуна ЧХ32. Зменшується атомний вміст хрому в 1,25 рази, заліза в 3,09 рази та збільшення – кисню на 34,29%, кремнію в 50,67 рази згідно таблиці 10.

Таблиця 8

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95Х18 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент								
Вид аналізу	О	Al	Ti	Si	Cr	Mn	Fe	Cl
Ваг., %	26,82	0,30	-	10,74	9,34	-	42,27	10,53
Атом., %	50,74	0,34	-	11,58	5,44	-	22,91	8,99
Ваг., %	3,20	-	-	1,10	15,40	0,39	79,62	-
Атом., %	10,14	-	-	1,98	15,01	0,36	72,26	-

Таблиця 9

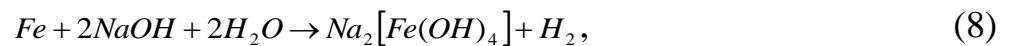
Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ22Н2 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	К	Ni	Cl	Na	Ca	Ti
Ваг., %	17,88	6,51	5,65	10,21	0,87	56,11	0,12	1,51	0,76	6,51	0,10	-
Ат., %	38,77	9,82	6,98	6,81	0,55	34,86	0,11	0,89	0,74	9,82	0,08	-
Ваг., %	54,34	-	43,83	0,36	-	1,24	-	-	-	0,23	-	-
Ат., %	67,98	-	31,24	0,14	-	0,44	-	-	-	0,20	-	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ32 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Ni	Cl	Na	Ca	Ti
Ваг., %	-	-	0,42	8,05	-	90,81	-	0,72	-	-	-	-
Ат., %	-	-	0,82	8,56	-	89,93	-	0,68	-	-	-	-
Ваг., %	25,87	0,78	20,38	10,07	0,29	29,39	0,18	-	0,31	3,08	0,23	-
Ат., %	43,25	0,77	19,41	5,18	0,14	14,08	0,12	-	0,24	3,58	0,16	-

При контакті елементів трібосистеми у сильнолужному середовищі при рН 11, без абразиву та з абразивом, відбуваються практично такі самі процеси, як у слаболужному середовищі при рН 8, окрім того що відбувається розчинення оксидних плівок гідроксиду заліза з утворенням солі тетрагідроксоферрата (III) натрія та тетрагідроксоферрата (II) натрія:



З титаном відбуваються аналогічні процеси з утворенням титанатів, солей титанової кислоти, амфотерного гідроксиду титану. Розчин гідроксиду натрію сприяє появі корозійного розтріскування у зв'язку з наявністю внутрішніх напружень [11].

Таблиця 11

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95X18 при рН 11 та абразивності 10%

Елемент									
Вид аналізу	O	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	Ti
Ваг., %	7,23	2,01	18,15	0,42	71,12	-	0,62	0,18	-
Атом., %	20,64	3,27	15,96	0,35	58,13	-	1,24	0,23	-
Ваг., %	35,57	0,12	1,96	-	58,70	-	-	3,65	-
Атом., %	65,03	0,12	1,11	-	30,74	-	-	3,01	-

Таблиця 12

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40X при рН 11 та абразивності 10%

Елемент											
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	Ni	Ti
Ваг., %	-	-	1,29	0,83	0,25	95,27	-	1,04	0,60	0,71	-
Атом., %	-	-	2,48	0,87	0,25	92,37	-	2,46	0,92	0,65	-
Ваг., %	36,1 4	0,21	0,50	0,32	0,36	57,90	0,16	3,58	0,76	-	-
Атом., %	64,2 3	0,22	0,51	0,17	0,18	29,52	0,11	4,43	0,61	-	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ22Н2 при рН 11 та
абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Ni	Cl	Na	C a	T i
Ваг., %	5,14	-	0,55	33,95	1,36	57,83	-	1,16	-	-	-	-
Ат., %	15,49	-	0,95	31,48	1,19	49,93	-	0,96	-	-	-	-
Ваг., %	12,5	0,10	2,98	5,56	0,69	73,98	0,15	0,26	0,96	3,17	-	-
Ат., %	30,54	0,15	4,26	4,30	0,51	53,28	0,15	0,18	1,09	5,54	-	-

Хімічний мікроаналізу поверхонь тертя сталей та чавунів представлено в таблиці 11 – 14. Виходячи з таблиці 11, на поверхні сталі 40Х відбуваються ідентичні процеси, зменшується атомний вміст хрому в 4,86 рази, заліза – 3,13 рази та збільшується – кисню 64,23 раз, кремнію в 4,86 рази. На поверхні сталі 95Х18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 14,38 рази, заліза в 1,89 рази та збільшення – кисню в 3,15 рази, кремнію в 27,25 рази, відповідно до таблиці 12.

З таблиці 13 видно, що на поверхні тертя чавуна ЧХ22Н2 збільшується атомний вміст кисню в 1,97 раз, кремнію 4,48 раз, а зменшується – заліза в 1,07 раз, нікелю в 5,33 рази, хрому в 7,32 рази, тобто відбувається складний процес абразивно-корозійного зношування.

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ32 при рН 11 та
абразивності 10%

Елемент											
Вид ан.	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Ni	Cl	Na	Ca
Ваг., %	7,03	-	2,89	22,45	0,46	66,47	-	0,33	-	0,36	-
Ат., %	20,04	-	4,69	19,68	0,39	54,25	-	0,25	-	0,70	-
Ваг., %	49,96	0,42	24,51	5,02	-	15,71	0,23	-	1,20	2,82	0,12
Ат., %	68,57	0,34	19,16	2,12	-	6,18	0,13	-	0,75	2,69	0,07

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні чавуну ЧХ32, зменшується атомний вміст заліза в 8,78 рази, хрому в 9,28 рази та збільшується – кисню в 3,42 рази, кремнію в 5,54 рази згідно таблиці 14.

Висновки. За допомогою мікроаналізу хімічного складу корозійних плівок поверхонь тертя трібосистем екструдера ЕВ-350 та ЕВ-350М, було встановлено, що відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Література

1. 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.
2. 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. - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.

3. 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.
4. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. — К.: Техніка, 1970.— 120 с.
5. Zelinka, S. L.The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts./ S.L.Zelinka, D.S.Stone [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.201005845>.
6. Килимник, А.Б. К392 Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии: учебное пособие / А.Б. Килимник, И.В. Гладышева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.
7. Porankiewicz, V. Factors influencing steel tool wear when milling wood / V. Porankiewicz, J. Sandak, and C. Tanaka - Wood Science & Technology, 2005 - № 39(3), p.225-234.
8. Прозоров Я.С. Особенности водородного изнашивания деревообрабатывающего оборудования [Электронный ресурс]. - Режим доступа:http://www.science-bsea.bgita.ru/2011/mashin_2011_14/prozorov_osoben.htm.
9. Сорокин Г. М. Коррозионно-механическое изнашивание сталей и сплавов / Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов, Л.С. Саакян. – М.: Нефть и газ, 2002 – 424 с.
10. Семёнова И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семёнова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
11. Рачев Х. Справочник по коррозии / Х. Рачев, С. Стефанова. – М.: Мир, 1982. – 520 с.

Исследование химического состава поверхностей трения трибосистем экструдера EB-350 и EB-350M. В.А. Войтов, Б.М. Цимбал

В статье приведены результаты исследования микроанализа химического состава коррозионных пленок поверхностей трения