

УДК 621.791.01.669

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА АГРОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Макаренко В.Д.¹, Полонець Ю.Ю.²

¹ доктор технічних наук, професор;

² студент Ніжинського агротехнічного інституту.

Постановка проблеми. Відомо [5-9], що основним технологічним процесом отримання кристалічного цукру на бурякоцукрових виробництвах являється випарювання очищеного і профільтованого соку, яке відбувається на випарювальних станціях, включаючих багатокорпусні випарні агрегати. Принцип дії багатокорпусної випарної станції заключається в послідовному з'єднанні декількох однокорпусних апаратів, причому чим вище температура і тиск пару, тим більше підвищується коефіцієнт корисної дії випарної станції і скорочуються витрати теплоти на 15-20%.

Відомо із літератури і практики [5-8], що підвищення температури пара до 480-500 °С і тиску до 100-120 *ата* приводить до зниження механічної міцності сталевих випарних апаратів, а також теплосилового устаткування (котлоагрегатів, турбін), що визиває необхідність збільшувати товщину стінок деталей, наприклад, вертикальних трубок і циліндрів. Встановлено [1-3], що при 350-400 °С появляється повзучість металу (кріп) і починається невинна деформація металу під впливом навантаження, яка приводить до повільного збільшення розмірів напружених частин обладнання в напрямку діючих зусиль, а при довготривалій роботі в цих умовах – і до руйнування деталей. Це явище становиться особливо небезпечним при температурі близько 500 °С і вище.

Повзучості піддаються всі працюючі під тиском частини обладнання, які знаходяться в зоні високих температур і тиску. Частіше всього повзучість виявляється в трубках парових агрегатів і перегрівачів, в екранних трубках котлів високого тиску, паропроводів перегрітого пару і деталях парових турбін, стикаючихся з паром високої температури і тиску.

Висока температура перегрітого пару значно збільшує небезпеку зовнішньої пароводяної корозії трубок випарних агрегатів згідно формули: $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$. При високих температурах про-

тікає безпосередньо реакція між водяним паром і залізом, яка приводить до утворення окисі заліза і вільного водню. Інтенсивність корозії сталі різко зростає при підвищенні температури пару до 500 °С і вище. Особливо інтенсивно протікає процес корозії в перші 500 годин роботи агрегатів. В подальшому, по мірі утворення захисної плівки, корозійний процес сповільнюється [6,10-12].

При високій температурі пару і забрудненні перегрівача відкладеннями солей (наприклад, FeSO_3), температура стінок перегрівача зі сторони, омиваємої газами, може досягнути 600-700 °С. Ця температура сильно сприяє процесу окислення зовнішніх стінок трубок із вуглецевих сталей вільним киснем і гідроксидом, утримуючихся у водяному парі. В результаті на поверхні трубок з'являється окалина, яка визиває руйнування стінок трубок парових агрегатів. Таким чином, трубки перегрівачів та парових установок при високому нагріві повинні бути окалиностійкими і жаростійкими.

Таким чином, підвищення температури і тиску пара в сучасних випарних апаратах і паросилових установках бурякоцукрових заводах різко підвищило вимоги, пред'являемі до якості металу, із якого виготовляють обладнання цукрового виробництва. Як показує аналіз літератури [5-7], наявність технологічних середовищ зі складним комплексом хімічно-активних розчинних і нерозчинних речовин, зумовлює розвиток в обладнанні бурякоцукрового виробництва електрохімічних корозійних процесів. Ці середовища значно впливають на надійність і працездатність вузлів та деталей обладнання шляхом корозійного і гідроабразивного спрацювання поверхонь робочих елементів технологічного устаткування. Питання, пов'язані з вивченням причин і чинників, визиваючих корозійне пошкодження окремих деталей випарних агрегатів, вимагають додаткових досліджень, так як дозволять вирішити проблему підвищення експлуатаційної надійності й безаварійної довготривалості в роботі теплосилового устаткування при подальшому підвищенні параметрів пара до 170-240 *ата* і температурі перегріву до 550-600 °С.

Аварії парових агрегатів бурякоцукрового виробництва, як правило, визивають важкі екологічні та економічні наслідки, зокрема знижують виробничі показники компаній і негативно впливають на собівартість товарної продукції. У зв'язку з цим, проблема комплексного підвищення експлуатаційного ресурсу технологічного устаткування з метою забезпечення надійності його елементів залишається надзвичайно

актуальною, а її рішення має важливе народногосподарське значення [6,8].

Мета досліджень. Вивчення причин зниження експлуатаційної надійності в результаті корозійних пошкоджень екологічно небезпечних випарних апаратів бурякоцукрового виробництва в умовах безпосереднього контакту з корозійно-активними середовищами.

Методика проведення досліджень. Комплекс досліджень пошкоджених металевих трубок випарних апаратів включав, поряд зі стандартними, спеціальні види досліджень: різні варіанти рентгеноспектрального аналізу з використанням растрового електронного мікроскопа JSM-35CF (фірма "Джеол", Японія) і SEM-515 з мікроаналізатором "Link" фірми "Philips".

Об'єктами досліджень служили зразки, виготовлені із трубок випарних апаратів, термін експлуатації яких складав від 0 до 16 років. Матеріал труб – низьковуглецева (марок 10 і 20) і низьколегована (марок 10Г2 і 10ГС) сталь. Довжина трубок випарних апаратів: 7-7.5 м; діаметр 33мм; товщина стінки– 1.5-2мм. Для вивчення структури та хімічного складу метала, в тому числі газів – кисню і водню, механічним шляхом отримували стружки з різних ділянок стінки труб.

Результати досліджень. За допомогою рентгеноструктурних досліджень отримано дані, які свідчать про розпад цементиту (Fe_3C) в металі трубок в процесі експлуатації парових апаратів (табл.1).

Таблиця 1

Тип трубки і марка сталі	Час експлуатації, роки	Fe_3C , %	Тип трубки і марка сталі	Час експлуатації, роки	Fe_3C , %
труби випарного апарату	0	100	труби перегрівача	0	100
Сталь 10	3	3-5	Сталь 20	3	5-7
	6	7-9		6	10-11
	9	9-11		9	13-16
	12	12-14		12	18-20
	16	16-19		16	22-24
Сталь 10Г2	0	100	Сталь 10ГС	0	100
	3			3	6-8

	6	5-7 9-11		6	10- 12
	9	16- 18		9	18- 21
	16	22- 26		16	25- 30

Хімічний склад і механічні властивості труб наведені в табл. 2.

Таб-
лиця 2

Марка сталі	Тип тру- би	Вміст легуючих елементів, %					σ_b , МПа	σ_{02} , МПа	[H], %
		C	Si	Mn	S	P			
10 10Г2	Випарний апарат	0,09	0,22	0,67	0,039	0,040	> 450	> 298	0,0037
		0,11	0,26	0,81	0,033	0,034	> 489	> 312	0,0039
20 10ГС	Нагрівач	0,12	0,21	0,75	0,036	0,037	> 487	> 391	0,0030
		0,10	0,24	0,87	0,038	0,039	> 500	> 420	0,0046

Як видно із приведених даних, в процесі експлуатації в металі труб теплосилового обладнання відбувається розпад цементиту, що добре погоджується з результатами роботи [1].

Спеціальними експериментами, виконаними разом із співробітниками ІЕЗ ім. Е.О.Патона НАНУ, встановлено, що із збільшенням терміну експлуатації теплотехнічного обладнання значно зменшується вміст цементиту (Fe_3C) в металі. При цьому найбільше зменшення долі цементиту в сталях труб паранагрівачів відбувається після 9-ти річного терміну експлуатації.

Металографічні дослідження показали, що значна зміна відбувається і в структурі цих сталей. Так, в процесі тривалого навантаження значно змінюється будова перліта: цементитні пластини втрачають орієнтування в межах перлітної колонії, дробляться, після чого отримують округлу форму. Перлітні ділянки отримують структуру, подібну зернистій. Ці процеси, як правило, визивають локальне окрихчення металу обладнання, яке сприяє утворенню мікропорожнин, коагуляція

яких призводить до утворення тріщин, визиваючих розгерметизацію апаратів і їх руйнування.

З використанням методів рентгеноструктурного аналізу визначені параметри кристалічної ґратки α -матриці, дана оцінка рівню пружних викривлень ґратки (мікронапружень викривлення - σ), а також розподілу вуглецю в фериті і цементиті (табл.3) в сталях труб парових апаратів.

Таблиця 3

Марка ста- лі	Час експлуатації, роки	α, нМ	σ, МПа	Вміст вуглецю, %	
				в фериті	в сталі
труби випарних апаратів					
10	0	0,28665	100	0,021	0,090
	5	0,28668	166	0,029	0,110
	9	0,28670	180	0,036	0,130
	16	0,28675	211	0,041	0,123
10Г2	0	0,28665	115	0,021	0,120
	5	0,28669	138	0,030	0,112
	9	0,28672	150	0,039	0,105
	16	0,28677	186	0,048	0,093
труби випарувачів					
20	0	0,28665	74	0,022	0,104
	5	0,28669	164	0,032	0,108
	9	0,28673	185	0,044	0,112
	16	0,28675	218	0,054	0,101
10ГС	0	0,28665	84	0,023	0,092
	5	0,28670	159	0,032	0,096
	9	0,28681	191	0,047	0,111
	16	0,28687	220	0,062	0,104

Як видно із отриманих даних, зростання часу експлуатації випарних апаратів приводить до збільшення значень параметра об'ємно-центрованої кубічної кристалічної ґратки α - твердого розчину і росту мікронапружень. При цьому частина вуглецю із розкрищеного цементиту видаляється на границю α - матриці. Друга частина, ймовірно, залишається на дислокаціях, витісняється в мікротріщини і йде на формування нових дрібнодисперсних карбідних частинок. Відносно кру-

пні карбідні частинки утворюються на межах зерен між перлітом і феритом.

З використанням експериментальних даних (див. табл. 3) по формулі [1]

$$\Delta C_{\alpha} = \Delta V_{\alpha} \frac{\alpha_{\alpha} - \alpha_{\alpha}^0}{39 \pm 4} 10^3 (\%),$$

(ΔV_{α} - об'ємна доля α -Fe; α_{α}^0 - параметр ґратки; $\alpha_{\alpha}^0 = 0,28668$ нм) було розраховано, що в процесі розпаду цементиту близько 10% першопочаткового вмісту атомів вуглецю в фериті переходить в α - твердий розчин. Близько 35-40% атомів вуглецю цементиту (табл. 4) при його розчині переходить в α - твердий розчин в процесі експлуатації випарних апаратів (9-16 років). Вважається, що зменшення цементитної фази приводить до зниження міцнісних характеристик металу [2-4].

Таблиця 4

Марка сталі	Час експлуатації, роки	Вміст, %		
		перліта в сталі	цементиту в перліті	цементиту в сталі
труби випарних апаратів				
10	0	31,4	16,3	4,6
	5	27,3	15,8	4,1
	9	23,8	14,3	3,5
	16	21,6	13,4	3,3
10Г2	0	31,7	15,2	4,7
	5	26,7	14,0	4,1
	9	20,9	12,8	3,8
	16	22,7	11,3	3,2
труби випарувачів				
20	0	32,3	16,1	5,0
	5	29,5	14,9	4,2
	9	27,6	12,7	3,0
	16	25,6	11,0	2,5
10ГС	0	23,0	15,9	4,3
	5	26,3	13,2	3,8
	9	22,3	11,7	3,1
	16	19,8	10,3	2,2

Зменшення кількості цементиту в сталях труб теплових випарувальних апаратів в процесі експлуатації, по даним рентгеноструктурного аналізу, складає близько 28-33% і за електронно-мікроскопічними даними - близько 21-26%.

В процесі деформації на поверхні метала труб апаратів чи на поверхні мікропорожнини утворюються активні центри, в яких відбуваються дісоціація молекул водню і проникнення атомарного водню в глибину метала. Продукти реакції (метан і атомарний водень, рекомбінований у молекули) першопочатково накопичуються в порах і мікропорожнинах в межах зерен метала досліджуваних труб. По межах зерен концентруються атоми домішок і "порожнини", в результаті чого граничні ділянки зерен збагачуються вуглецем. В таких випадках тиск водню в цих областях може досягати великих значень, в результаті чого виникають напруження, перевищуючі міцнісні характеристики металу труб випарних апаратів, що веде до зародження мікротріщин в металі, які, як правило, визивають розгерметизацію і руйнування технологічного обладнання.

Висновки

За допомогою рентгеноструктурних досліджень отримані дані, які свідчать про розпад цементиту в металі випарних апаратів бурякоцукрового виробництва в процесі довготривалої експлуатації в корозійно-агресивних середовищах. Методами рентгеноструктурного аналізу визначені параметри кристалічної ґратки α матриці, виконана оцінка рівня пружних викривлень ґратки (мікронапружень викривлень), а також розподілу вуглецю в фериті і цементиті, що дало можливість, поновому, пояснити причину і механізм зниження опору корозійному руйнуванню теплового технологічного обладнання, довготривало контактуючого з агресивним середовищем. Показана деградує дія водню на кристалічну структуру металу, яка створює умови для руйнування випарного обладнання.

Бібліографія

1. Трещиностойкость металла труб / А. Г. Гумеров, К. М. Ямалеев, Г. В. Журавлев и др. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр".- 2012. – 231 с.
2. Похмурский В. И. Коррозионная усталость металлов. Киев: Наукова думка.- 2011.- 325с.
3. Вплив напружень на електрохімічну корозію сталі у водних середовищах / О. М. Романів, Б. Я. Геніга, О. М. Гута, В. О. Василечко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – №6. – С. 83-95.

4. Дмитрах І. М., Панасюк В. В. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенко НАН України.- 2011. – 341с.
5. Литвак И.М. Технология и технологический контроль свеклосахарного производства. –М.: -Пищепромиздат. – 1992. – 448с.
6. Гуревич М.С., Федоров П.Д. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов. – Киев. -1992. – 379с.
7. Ставников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: - Пищевая промышленность. – 1984. - 327с.
8. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв. – Київ.- НУХТ. – 2010. – 547с.
9. Pressoure G.M., Blondeau R., Cadion L. HSLA steels with in proved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. Conf. Amer. Soc. Metals. - Philadelphia: Pa, 2012. – P. 827-843.
10. Martynova O.I., Vainman A.B. Einige Probleme der Sauerstoff-fahrweise in Anlagen mit Zwangdurchlaufkesseln // VGB Kraftwerkstechnik.- 2011.-№8.- S.659-663.
11. Trucbon M.R., Crolet J.I. Experimental limits of sourer service for tubular steels //SSC Symposium.- Saint-Cloud.- 21.- 2013p.
12. Stardisco J.B., Pitts R.E. Corrosion of Iron in H₂S-CO₂-H₂O System , Mechanism of Sulfide Film Formation an Kinetics of Corrosion // Corrosion .-2014.-№9.-P.245-253.