

УДК 666.293.522

## СКЛОКЕРАМІЧНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПАКЕТІВ ХОЛОДНОЇ НАБИВКИ В ОБЕРТОВИХ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ПОВІТРОПІДГРІВНИКАХ

*Розроблено склад та технологію формування двошарового склокерамічного покриття для захисту пакетів холодної набивки в обертових регенеративних повітропідігрівниках з використанням розчинної технології*

*Ключові слова: склокерамічне покриття, повітропідігрівник, корозія*

*Разработан состав и технология формирования двухслойного стеклокерамического покрытия для защиты пакетов холодной набивки в оборотных регенеративных воздухоподогревателях с использованием растворной технологии*

*Ключевые слова: стеклокерамическое покрытие, воздухоподогреватель, коррозия*

*Composition and technology of forming of twolayer glassceramic coverage is developed for defense of packages of the cold stuffing in circulating regenerative airheater with the use of solution technology*

*Keywords: glassceramic coverage, airheater, corrosion*

**Я.І. Вахула**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
Кафедра хімічної технології силікатів\*\*

Контактний тел.: (032) 258-21-67

E-mail: sylikat@polynet.lviv.ua

**М.Я. Кузнецова**

Кандидат технічних наук, асистент\*

Контактний тел.: (032) 258-25-15, 097-946-64-18

E-mail: kuznetsovam83@gmail.com

**Т.Ю. Кравець**

Кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача  
кафедри\*

Контактний тел.: (032) 258-25-15, 067-674-81-65

E-mail: kravetst@ukr.net

**Т.П. Коваленко**

Кандидат хімічних наук, асистент\*

\*Кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій\*\*

\*\*Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

Контактний тел.: (032) 258-25-15, 068-841-15-35

E-mail: serdjuklvov@gmail.com

### Вступ

Під час експлуатації сучасних котлоагрегатів однією з необхідних умов для економії палива є підігрівання повітря за рахунок тепла відхідних газів. Це дає змогу збільшити випарну здатність котлоагрегата і зменшити втрати тепла з відхідними газами. З цією метою в котельних установках широко використовують повітропідігрівники. Одними з найпоширеніших типів є обертові регенеративні повітропідігрівники (РПП), які, окрім високого ступеня підігріву повітря, характеризуються незначними габаритами, масою і металоємністю, легкістю очищення поверхонь нагріву, доступністю для ремонту усіх вузлів.

Теплообмінними поверхнями в обертових РПП служать гофровані металеві листи, які розміщені декількома шарами. Перший по ходу газу шар складається з пакетів гарячої набивки, останній – пакетів холодної набивки. Для забезпечення тривалої

експлуатації теплообмінних поверхонь в умовах агресивного сірчаноокислого середовища відхідних газів пакети холодної набивки, які знаходяться в зоні найбільшого корозійного зношення, виготовляють з легованих кислотостійких сталей або звичайних вуглецевих сталей, які покривають кислотостійкою емаллю. Зокрема, використовують [1] емаль марки А-20, товщиною від 0,16 до 0,35 мм. Така емальована набивка пакетів холодного шару за хімічною стійкістю перевищує набивку, виготовлену з кислотостійких легованих сталей марок 10хснд і 10хндп, приблизно в 1,5 - 3 рази і менш чутлива до температурного режиму та інтенсивності забруднення. Під час спалювання сірчастого мазуту корозійна стійкість емальованої набивки у 5 разів вища в порівнянні з набивкою із кислотостійких сталей. Ще однією перевагою емальованої набивки є зменшення шорсткості поверхні під час покриття листів емаллю, внаслідок чого аеродинамічний опір

емальованої набивки знижується на 10% в порівнянні з металевою набивкою, а також полегшується очищення поверхні від відкладень золи. В результаті цього термін експлуатації набивки зростає до 10 - 12 років [1].

Мета даної роботи – захист пакетів холодної набивки обертових регенеративних повітропідігрівників шляхом формування на їх поверхні корозійностійкого склокерамічного покриття при низьких енергетичних і матеріальних затратах.

### Результати досліджень

Одним з ефективних методів одержання емальованих покриттів є розчинова технологія, яка дає змогу наносити покриття на поверхню будь-яких геометричних форм, а також оперативно змінювати хімічний склад і технологічні параметри формування покриття за низьких енерго- і матеріалозатрат. Дана технологія полягає у приготуванні склотвірних розчинів, що містять сполуки, які в процесі термооброблення формують емальоване покриття.

Під час розроблення складу емальованого покриття було враховано декілька чинників, зокрема, оптимальне поєднання експлуатаційних властивостей, передовсім хімічної стійкості, з мінімальною температурою формування.

Для одержання емальованого покриття, яке б відповідало усім поставленим вимогам, доцільно використовувати багатокомпонентне силікатне скло, властивості якого можна змінювати в широких межах [2]. На основі проведених досліджень склоутворення в системах  $\text{Na}_2\text{O} - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$  і  $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$  [3] та впливу компонентного складу на властивості одержаних емалей [4] для формування корозійностійкого емальованого покриття обрано оптимальний склад скла, що містить (мас. %):  $\text{SiO}_2 - 56,3$ ;  $\text{TiO}_2 - 5,2$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 28,5$ ;  $\text{B}_2\text{O}_3 - 10,0$  і, який за складом близький до емалі марки А-20. Склане покриття обраного складу одержували на основі склотвірного розчину, прекурсором в якому служив гідролізований в кислому середовищі тетраетоксисилан, як допанти вводились розчини  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ , гідролізованого тетрабутоксититану. Приготований розчин наносили на розігріту до  $600^\circ\text{C}$  металеву пластину методом пульверизації з подальшою витримкою в градієнтній печі ( $T_{\text{max}} = 820^\circ\text{C}$ ) для встановлення температури фазових переходів. Температура утворення бездефектного емальованого покриття становить  $760^\circ\text{C}$  і є на  $100^\circ\text{C}$  нижчою, ніж для емалі марки А-20. Покриття, одержане на основі обраного складу, є суцільним, однорідним, без газових включень і залишків необтопленої сировини, однак характеризується невисокими значеннями адгезії до металевого підкладу ( $0,4$  МПа).

З метою підвищення адгезії виникла необхідність використання ґрунтового шару, який дасть можливість збільшити величину адгезії емальованого покриття до сталюого підкладу та покращити основні експлуатаційні показники.

Для одержання ґрунтового скляного покриття було обрано систему на основі фосфатного скла [5], характерною особливістю якого є підвищене значення температурного коефіцієнту лінійного

розширення, висока адгезія до металу і низька температура формування. У випадку, коли хімічною стійкістю можна знехтувати, ці покриття можна застосовувати як ґрунтовий шар. Основними властивостями під час вибору складу ґрунтового покриття були висока адгезія і температура формування, яка повинна бути вищою за температуру формування захисного покриття. При рівних температурах формування стає можливим перехід елементів ґрунтового шару покриття в склад захисного шару, що негативно впливатиме на властивості останнього. Дослідженнями встановлено, що цим вимогам відповідає ґрунтове покриття складу (мас. %):  $\text{Na}_2\text{O} - 36$ ,  $\text{SiO}_2 - 45$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 - 9$ ,  $\text{MoO}_3 - 10$ . Дане покриття одержано на основі склотвірного розчину, складовими компонентами якого були водні розчини наступних компонентів:  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , рідкого скла. Розчин наносили на нагрітий до  $300^\circ\text{C}$  металевий підклад з наступним отопленням в градієнтній печі. В результаті одержано ґрунтовий шар покриття, який міцно закріплюється на поверхні металу (величина адгезії  $3,4$  МПа). Температура утворення ґрунтового шару на  $20^\circ\text{C}$  вища за температуру формування захисного покриття і становить  $780^\circ\text{C}$ .

Двошарове скляне покриття, одержане шляхом послідовного нанесення ґрунтового та захисного шару, характеризується високими експлуатаційними показниками (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості двошарового склопокриття

№ з/п	Властивості	Одиниці вимірювання	Величина
1	Хімічна стійкість	мг/(см <sup>2</sup> -год)	0,12
2	Мікротвердість	МПа	3840
3	Термостійкість	°C	400
4	ТКЛР (x107)	град <sup>-1</sup>	156
5	Адгезія	МПа	0,4
6	Товщина покриття	мкм	55

Основною причиною руйнування набивки холодної частини обертових РПП під час використання високосірчистих палив є газова корозія, яка найінтенсивніше відбувається під час зупинки котла. Це викликано збільшенням конденсації парів  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на остигаючих поверхнях РПП і інтенсивним руйнуванням металу рідкою сірчаною кислотою. Враховуючи цей факт, для підвищення корозійної стійкості одержаного емальованого покриття у склотвірний розчин складу  $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$  було введено наповнювач (дрібнодисперсний порошок  $\text{ZrO}_2$ ) в кількості 30 мас.%. Гомогенізація дисперсії здійснювалась механічним методом. Одержану дисперсію протягом 10 хв. після приготування (більший час витримки призводить до осідання наповнювача в розчині) наносили на розігріту до  $600^\circ\text{C}$  металеву пластину за шаром ґрунтового покриття. В результаті одержано склокерамічне покриття, з температурою формування  $770^\circ\text{C}$ , яке характеризується вищими значеннями

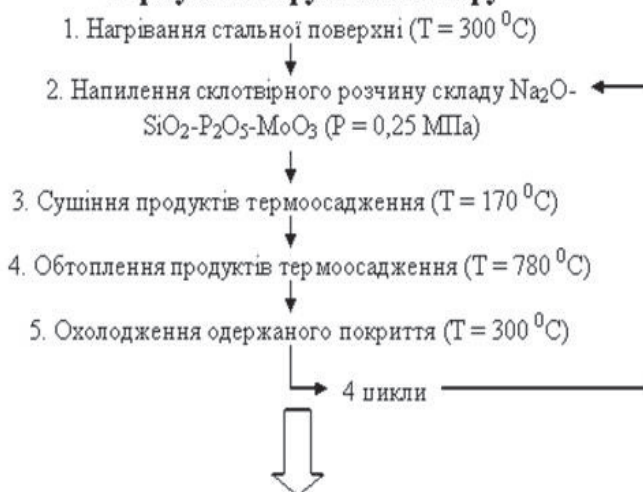
експлуатаційних показників, зокрема хімічною стійкістю (табл. 2).

**Таблиця 2**

**Фізико-хімічні властивості двошарового склокерамічного покриття (наповнювач -  $ZrO_2$  30 мас.%)**

№ з/п	Властивості	Одиниці вимірювання	Величина
1	Хімічна стійкість	мг/(см <sup>2</sup> ·год)	0,04
2	Мікротвердість	МПа	5050
3	Термостійкість	оС	450
4	Адгезія	МПа	2,4
5	Товщина покриття	мкм	80

**Формування ґрунтового шару**



**Формування захисного склокерамічного покриття**

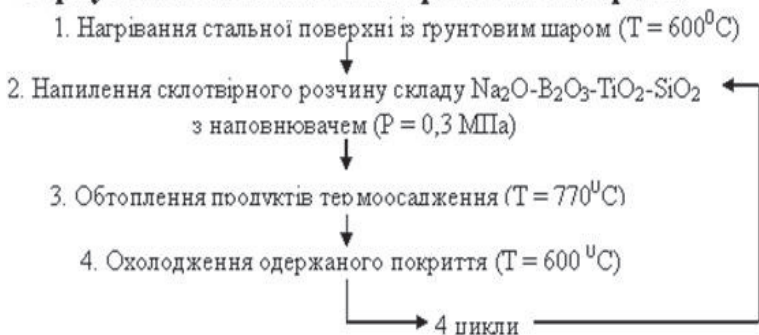


Рис. 1. Загальна схема одержання захисного двошарового склокерамічного покриття

В загальному, схему формування склокерамічного покриття з використанням розчинової технології на гофрованих поверхнях пакетів холодної набивки регенеративних обертових повітропідігрівників можна зобразити наступним чином (рис. 1).

**Висновок**

В результаті проведених досліджень розроблено двошарове корозійностійке склокерамічне покриття, яке може бути використане для захисту пакетів холодної набивки обертових регенеративних повітропідігрівників, що працюють в умовах інтенсивної газової корозії. Використання розчинової технології дає змогу одержати покриття, що характеризується високими експлуатаційними показниками при низьких енергетичних і матеріальних затратах під час формування.

**Література**

1. Білозерський енергомеханічний завод [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.bemz.by>
2. Родцевич С.П. Легкоплавкая химически стойкая эмаль для стальной посуды / С.П. Родцевич, С.Ю. Елисеєв, В.В. Тавгень // Стекло и керамика. - 2003. - № 1. - С. 25-27.
3. Вахула Я.І. Склоутворення в системах  $Na_2O - TiO_2 - SiO_2$  та  $Na_2O - B_2O_3 - TiO_2 - SiO_2$  на основі колоїдних розчинів / Я.І. Вахула, М.Я. Мацігін // Вісник НУ "Львівська політехніка". Хімія, техн. речовин та їх застосування - 2006. - № 553. - С. 245-248.
4. Вахула Я.І. Оцінка якості і температури формування склопокрить, одержаних із силікатних колоїдних розчинів / Я.І. Вахула, М.Я. Мацігін // Вісник НТУ "ХПІ". - 2006. - № 25. - С. 164-169.
5. Мацігін М.Я., Бесага Х.С. Одержання фосфатних склопокрить на основі розчинової технології // III Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Хімія та сучасні технології". - Дніпропетровськ - 2007. - С.160.