

УДК 666.942 + 691.328.5

Саницький М.А., доктор техн. наук, професор;

Марків Т.Є., канд. техн. наук, доцент;

Круць Т.М., інженер, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

ВОЛОКНИСТОЦЕМЕНТНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ, ОДЕРЖАНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ВТОРИННИХ ПАЛИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Волокнистоцементні вироби відносяться до групи негорючих будівельних матеріалів і володіють такими найважливішими властивостями, як висока міцність, термостійкість, морозостійкість, стійкість до біологічної дії, стійкість до дії активних хімічних речовин, хороша звукоізоляція, екологічність [1, 2]. Найбільша сфера використання серед волокнисто-цементних виробів належить листам – одним з найбільш доступних покрівельних матеріалів. Вони легко обробляються, не вимагають складної технології і механізмів при укладанні, винятково прості у монтаж. Покрівля на їх основі при правильному укладанні міцна і довговічна, а також добре захищає будинок від атмосферних опадів, оскільки вологостійка і водонепроникна, крім цього вогнестійка та здатна витримати значні вітрові навантаження. Висока якість такої покрівлі багато в чому визначає і термін експлуатації самого будинку.

До найпоширеніших волокнистоцементних виробів відноситься азбестоцемент – будівельний композиційний матеріал, що є затверділим цементним каменем, армованим волокнами азбесту. Волокна азбесту виконують роль своєрідної арматури азбестоцементних виробів, а портландцемент, затворений водою, є в'язучою речовиною. Завдяки цим якостям вироби з азбестоцементу мають термін служби понад 50 років, що значно перевищує термін служби аналогічних металевих конструкцій, пластмас, руберойду, дерева і інших матеріалів. Разом з тим, слід відзначити, що в плані багаторічної дискусії про роль азбесту та виробів на його основі [3, 4] виникає необхідність розглянути ще раз особливості його структури, складу та властивостей.

Азбест – це група мінералів, що мають волокнисту будову і при механічній дії здатні розпадатися на якнайтонші волокна. Існує два основні типи азбестів – серпентин (хризотил-азбест або білий азбест) і амфібол (амфібол-азбести). По хімічному складу азбести є водними силікатами магнію, заліза, частково кальцію і натрію. Хризотил-азбест ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – гідросилікат магнію, стійкий до лужних середовищ, розкладається в кислотах з утворенням аморфного кремнезему. До класу хризотил-азбестів відносяться наступні речовини: $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 6(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 17\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

В той же час, такий гідросилікат магнію як тальк $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 - 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ є основним компонентом дитячих присипок, у зв'язку з чим обидві назви часто вживаються як синоніми. Використовується в побуті для запобігання тертю дотичних поверхонь (у гумових рукавичках, у взутті), а також для запобігання

злипання при тривалому зберіганні пластмасових виробів. Як наповнювач застосовується в гумовій, паперовій, лакофарбній і інших галузях промисловості (у медичній і парфюмерно-косметичній). У харчовій промисловості зареєстрований як харчова добавка E553b. Тобто тальк – гідросилікат магнію, що на відміну від хризотил-азбесту містить 4 "молекули" SiO_2 є абсолютно безпечним мінералом.

Амфіболовий азбест – складний гідросилікат, подібний за фізико-механічними властивостями до хризотил-азбесту. Амфіболи бувають п'яти видів: блакитний азбест ($\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), а також амосит, тремоліт, антофіліт, актиноліт. Амфіболи мають прямі жорсткі голкоподібні волокна, із-за крихкості цих структур вони утворюють частинки, вдихання яких є канцерогенним чинником.

Результати досліджень [5, 6] показують, що амфіболова група азбесту представляє найбільшу небезпеку для здоров'я людини. Маючи природну кислотостійкість, амфіболовий азбест практично не виводиться з легенів і, як наслідок, викликає шкідливу дію на організм. У виробництві азбестоцементних листів застосовують хризотил-азбест. Світове видобування хризотил-азбесту складає 95%, а вся група кислотостійких азбестів – не більше 5%. Слід відзначити, що в США, Західній Європі раніше у значних кількостях використовували кислототривкий азбест групи амфіболів, який має вищу біологічну агресивність порівняно з хризотил-азбестом. Волокна амфіболових азбестів при проникненні в легені можуть знаходитися в них впродовж всього життя людини, тоді як волокна хризотилового азбесту здатні розчинятися в кислотному легеневому середовищі. Це вказує на необґрунтованість однакового підходу до оцінки впливу різних типів азбесту на здоров'я людини, а відповідно і волокнистоцементних виробів на їх основі. Характерно, що жоден із замінників хризотилу – штучне (ПВА – Полівініл алкоголь, ПП – поліпропілен, ПАН – поліакрилонітрил) скловолокно, керамічне волокно чи виготовлений на основі натуральних матеріалів (целюлоза, базальтове волокно) не в змозі його замінити по сукупності характеристик і по співвідношенню – ціна/якість. Крім цього за результатами експериментів на тваринах встановлено, що найвживаніші штучні замінники хризотилу негативно впливають на організм: керамічне волокно виводиться з легень у 4 рази довше, а целюлозне – більше ніж у 70 раз.

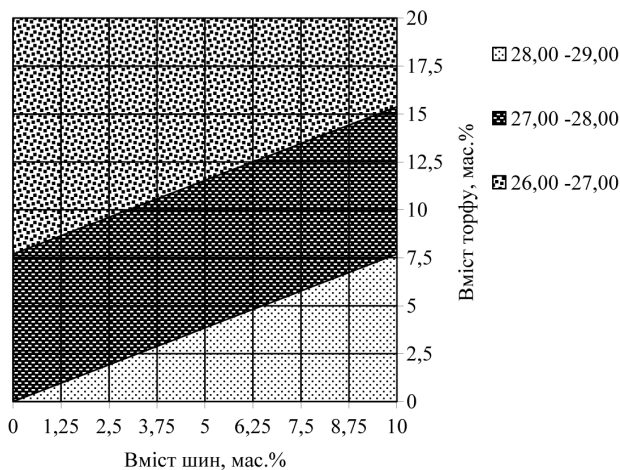


Рис. 1. Калорійність палив з різним вмістом торфу та шин

Згідно даних рентгеноструктурного аналізу волокна хризотил-азбесту представляють собою гексагональну, щільну упаковку елементарних трубчастих фібрил, які міцно зв'язані між собою лише в одному напрямі, бічний же зв'язок з сусідніми фібрилами у край слабкий. Цією властивістю пояснюється дуже висока міцність азбесту на розтягування уздовж волокон і добре розпушування – розщеплювання упоперек волокон. Зовнішній діаметр трубчастих фібрил близько 20 нм, а внутрішній – 2,5 нм; довжина фібрил може досягати декількох сантиметрів. Особливість кристалічної структури хризотил-азбесту пов'язана з його будовою на атомному рівні: октаедричні шари магнію гідроксиду поєднуються з кремнійкисневими шарами. Неспіврозмірність розмірів тетраедрів SiO_4 та октаедрів MgO_6 заставляє згортатись кристалічні шари в трубчасті фібрили. При цьому на поверхні фібрил розміщуються іони гідроксилу, що і визначає велику адсорбційну здатність. Практично азбест розпушується на волокна діаметром близько 0,02 мм, тобто такі тонкорозпушені волокна в свою чергу є пучком величезної кількості елементарних фібрил. Міцність на розрив волокна може досягати значень 3000 МПа, але реальна міцність після розпушки, що супроводжується ударами і деформаціями, знижується до 600–800 МПа [2].

Для виробництва азбестоцементних листів використовують спеціальний портландцемент з питомою поверхнею 230–310 $\text{м}^2/\text{кг}$. Кількість добавок в цементі встановлюють не більше 5% (за винятком гіпсу). Двоводний гіпс додають для регулювання термінів тужавіння в кількості не менше 1,5% і не більше 3,5%

від маси цементу в перерахунку на SO_3 . В суміші з портландцементом при змочуванні водою хризотил-азбест адсорбує на своїй поверхні продукти гідратації цементу, що зв'язують волокна азбесту, утворюючи міцний композиційний матеріал. Як наслідок, азбестоцемент – це тонкоармований цементний камінь.

Виробництво азбестоцементних листів пов'язане із значним обігом води. У воді, що відходить, міститься значна кількість азбесту і цементу, тому її повертають в технологічний цикл назад. Робота на оборотній технологічній воді дозволяє не тільки уникнути забруднення середовища, але і дає переваги, так як насиченість оборотної води іонами Ca^{2+} перешкоджає вимиванню гіпсу і запобігає передчасному тужавінню.

Найбільш високоенергоємним компонентом волокнистоцементних виробів є цемент. Проблема зниження енергоємності портландцементу в значній мірі вирішується за рахунок раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів при випалі портландцементного клінкеру, зокрема за рахунок як повної заміни природного газу на кам'яне вугілля, так і шляхом введення вторинних паливних матеріалів на основі горючих відходів. Обертова цементна піч є на сьогодні однією з найкращих установок для безпечного спалювання і утилізації горючих відходів, в якій можна знешкоджувати навіть найбільш стійкі до розпаду органічні сполуки. Так, спалюючи альтернативні види палива, цементна промисловість Європи щорічно заощаджує викопне паливо, еквівалентне 5 млн тонн кам'яного вугілля [7–9].

Разом з тим, використання в цементних печах таких альтернативних видів палива до природного газу, як кам'яне вугілля та вторинні матеріали, може вносити певний вклад у зростання кількості сірки та калію в портландцементному клінкері. Сірка, що залишається у золі, попадає в клінкер і знижує його якість. Однак необхідно відзначити, що інколи корисною є присутність в паливі невеликої кількості сірки для сульфатування лужних оксидів. Утворені сульфати лужних металів є найбільш стійкими фазами, які виходять з печі разом з клінкером, знижуючи тим самим кругообіг лугів в пічному агрегаті.

Дана концепція в повній мірі реалізується на ВАТ «Івано-Франківськцемент», де портландцементний клінкер одержується з використанням альтернативних до природного газу видів палива [10]. При цьому кількість таких вторинних паливних матеріалів як торф, відходи деревообробної та нафтопереробної промисловостей, відпрацьовані шини та ін. складає 15–20%. Вторинні види палива вводяться як через головний пальник «мокрої» обертової печі $\varnothing 3,6 \times 54$ м, так і через вторинний пальник, в декарбонізаторі сировинної муки $\varnothing 5,2 \times 32,0$ м «сухої» печі. З огляду на високі температури (близько 1450°C), потрібні для спікання портландцементного клінкеру, і необхідний надлишок кисню у головному пальнику забезпечуються ідеальні умови для спалювання альтернативних видів палива. У вторинному пальнику декарбонізатора

Таблиця 1

Хімічний склад золи

Паливо	Вміст оксидів, мас.%								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	ZnO	SO_3	TiO_2	K_2O
Вугілля	51,5	21,1	12,5	4,9	2,0	-	2,0	0,7	2,6
Торф	35,5	12,1	7,6	34,6	0,8	-	3,3	0,2	1,1
Вживані шини	12,7	3,59	4,8	8,62	-	42	26,0	0,54	0,76

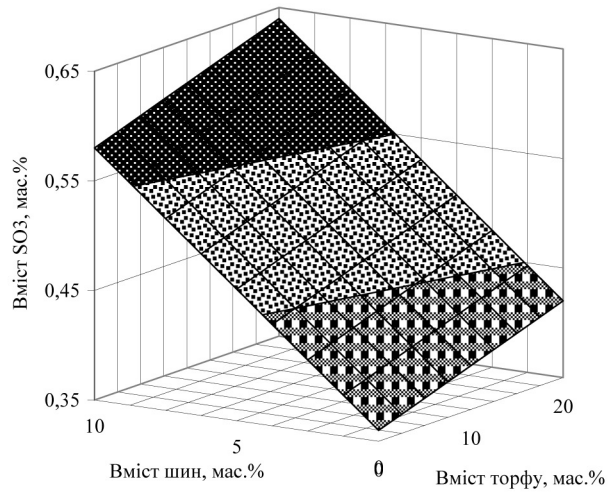
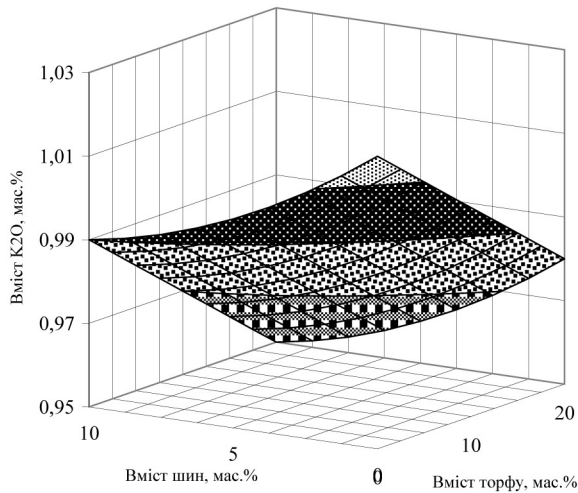


Рис. 2. Вміст K_2O та SO_3 в клінкері залежно від вмісту в паливі торфу та вживаних шин

можна застосовувати й відносно низькокалорійні або кускові види палива.

Калорійність вугілля та шин становить 24–26 МДж/кг, а торфу – 12–15 МДж/кг. Зольність вугілля та торфу коливається в межах 15–20 мас.%. Зола вугілля характеризується підвищеним вмістом SiO_2 (51,5 мас.%) та Al_2O_3 (21,1 мас.%), торфу – SiO_2 (35,5 мас.%) та CaO (34,6 мас.%). При спалюванні таких альтернативних палив зола присаджується на клінкер у зоні спікання або осідає на сировинну суміш в процесі руху вздовж печі до зони спікання. Вступаючи в хімічну взаємодію з оксидами сировинної суміші, зола може змінювати співвідношення, мікроструктуру та активність клінкерних фаз і властивості одержаних портландцементів. Зола від спалювання альтернативних до газу видів палива (вугілля) містить луги (R_2O) в кількості 0,75–2,6 мас.%, при цьому в клінкері вміст K_2O складає 0,75–1,0 мас.% і перевищує вміст Na_2O . Хімічний склад золи представлений в табл. 1. Результати досліджень показують, що зола вугілля містить підвищений вміст K_2O , а зола від спалювання автомобільних шин – SO_3 . В той же час альтернативні палива такі як торф та вживані шини характеризуються пониженим вмістом K_2O , але підвищеним вмістом SO_3 . Слід також відмітити підвищений вміст цинку у вживаних шинах, що може негативно впливати на процеси клінкероутворення [11].

Слід відзначити, що ряд альтернативних біопалив може містити підвищений вміст калію оксиду (навіть до 35 мас.%), що може призводити при відповідній їх кількості в загальному балансі палива, з однієї

сторони, до створення легкоплавких евтектик в зоні випалювання обертової печі та утворення „кілець”, з іншої сторони K_2O в клінкері при проходженні процесів гідратації може бути причиною формування мінералу сингеніту $CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot H_2O$, котрий може призводити до деструктивних явищ в цементному тісті на ранніх стадіях структуроутворення [12]. Тому склад палива для випалу портландцементного клінкеру необхідно оптимізувати.

Метод ортогонального центрального композиційного планування використано для оптимізації складу палива для випалу портландцементного клінкеру в заданому інтервалі зміни вмісту торфу X_1 (0–20 мас.%) і вживаних шин X_2 (0–10 мас.%). Графічна інтерпретація результатів досліджень дозволяє визначити оптимальний склад палива (85 мас.% вугілля; 10 мас.% торфу; 5 мас.% вживаних шин), який забезпечує оптимальну калорійність палива (рис. 1) і вміст K_2O та SO_3 в клінкері (рис. 2).

Зола, отримана при спалюванні альтернативних видів палива, взаємодіє з оксидами сировинної суміші, що призводить до зміни мікроструктури та активності клінкерних фаз, а також властивостей портландцементів на їх основі. При залученні компонентів золи до складу портландцементного клінкеру дещо понижується його коефіцієнт насичення і підвищується силікатний модуль. В той же час, другорядні домішки виступають як модифікатори властивостей рідкої фази, збільшуючи її кількість, швидкість реакції, впливаючи на кінетику розчинення CaO та C_2S , що призводить до модифікації структури клінкеру та поліпшення гідралічних властивостей цементу.

Таблиця 2

Хімічний склад портландцементного клінкеру

Спосіб виробництва цементу	Вміст оксидів, мас.%							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	NaO
Сухий	22,61	5,29	3,93	66,15	0,84	0,50	0,98	0,15
Мокрий	20,70	5,55	4,95	64,50	0,90	0,58	0,75	0,19

Хіміко-мінералогічний склад портландцементного клінкеру сухого і мокрого способів виробництва, випаленого з використанням оптимізованого складу палива, представлений в табл. 2. Звідси видно, що в клінкері вміст K_2O складає

0,75–0,98 мас.% і переважає вміст Na_2O . Проте клінкер сухого способу виробництва характеризується дещо вищим вмістом SiO_2 , CaO і K_2O , а також підвищеним вмістом C_3S . Як видно з результатів досліджень, вміст лугів і SO_3 в клінкері не перевищує нормативних значень.

Слід відзначити, що цементи загальнобудівельного призначення типу ПЦ І-500-Н та ПЦ ІІ/А-Ш-400-Н на основі портландцементного клінкера, одержаного з використанням альтернативного палива, характеризуються кращою здатністю до помелу. Міцність та терміни тужавіння даних цементів задовольняють вимоги ДСТУ Б В.2.7-46-96. Такі цементи володіють прискороною кінетикою набору ранньої міцності та можуть застосовуватися для виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій, надземних, підземних, підводних споруд, будівельних розчинів. Портландцемент з питомою поверхнею 250–290 m^2/kg характеризується пониженою кінетикою тепловиділення, що відповідає вимогам як технології азбестоцементного виробництва, так і виготовлення масивних споруд з бетону.

Вивчення кінетики процесів гідратації і тверднення, генезису мікроструктури каменю в азбестоцементних виробках відкриває шлях до наукового прогнозування його довговічності. Дослідження фазового складу продуктів гідратації в азбестоцементних виробках виконано за допомогою комплексу фізико-хімічних методів аналізу. Зокрема, хімічні склади матеріалів визначали рентгеноспектрометром ARL 9800 XP, для дослідження морфології поверхні цементного каменю та мікрозондового рентгеноспектрального аналізу використано растровий електронний мікроскоп РЕМ-106И з енергодисперсійним рентгенівським спектрометром ЕДАР.

Під час виробництва волокнистоцементних листів при змішуванні азбесту з портландцементом і водою волокна азбесту рівномірно розподіляються в масі

цементу, при цьому кожне волокно виявляється оточеним цементним тестом. Адсорбуючи кальцію гідроксид, що виділяється при твердненні цементу, і інші продукти гідратації цементу, азбест зменшує їх концентрацію в розчині. В результаті цього процеси тужавіння і тверднення цементу прискорюються, він міцно зв'язується з волокнами азбесту. Внаслідок подальшої кристалізації продуктів гідратації цементу міцність зв'язку волокон азбесту з цементним каменем в азбестоцементних виробках зростає. У процесі виробництва виробів волокна хризотилу „замонолічуються” в цементну матрицю і згідно [2] не можуть виділятися в зовнішнє середовище, навіть під впливом сонця, води, вітру.

Характерно, що вода з рекуператора та вода з відстійника, яка використовується в технологічному процесі при приготуванні азбестоцементної суміші, може характеризуватись підвищеним вмістом іонів K^+ , які накопичуються в результаті поступового вимивання калію з сировинної азбестоцементної суміші при формуванні листів шиферу на сітчастому циліндрі листоформувальної машини. В процесі формування мікроструктури каменю азбестоцементних виробів при підвищеному вмісті калію внаслідок реакції з двоводним гіпсом може утворюватись мінерал сингеніт $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Так, вміст калію в перерахунку на K_2O у воді зволожувача може бути вищий на 15–18% порівняно з його вмістом в технологічній воді з рекуператора та відстійника. Це спричинятиме прискорене тужавіння цементу внаслідок зниження концентрації сульфатних аніонів в цементному тісті в ранній період структуроутворення. При підвищеному вмісті K_2O в портландцементному клінкері в ранній період структуроутворення в цементному тісті відбувається зв'язування сульфатного аніону з утворенням мінералу сингеніту, що викликає зростання водопотреби в процесі утворення первинного шару азбестоцементу на сітці сітчастого циліндра і може

бути причиною деструктивних явищ в цементному камені волокнистоцементних виробів.

При твердненні азбестоцементних виробів в цементному камені внаслідок переходу подовжених призматичних кристалів еtringіту в більш щільні гексагональні кристали моногідросульфоалюмінату кальцію та тверді розчини на його основі (AF_m -фази) порушується первинний гідросульфоалюмінатний каркас, що супроводжується створенням внутрішніх напружень у виробках. Портландцементи з високим вмістом трьохкальцієвого алюмінату (C_3A) мають підвищену ранню міцність (1–3 доби), але з часом тверднення міцність такого цементного каменю нижча, ніж портландцементів з нормальним

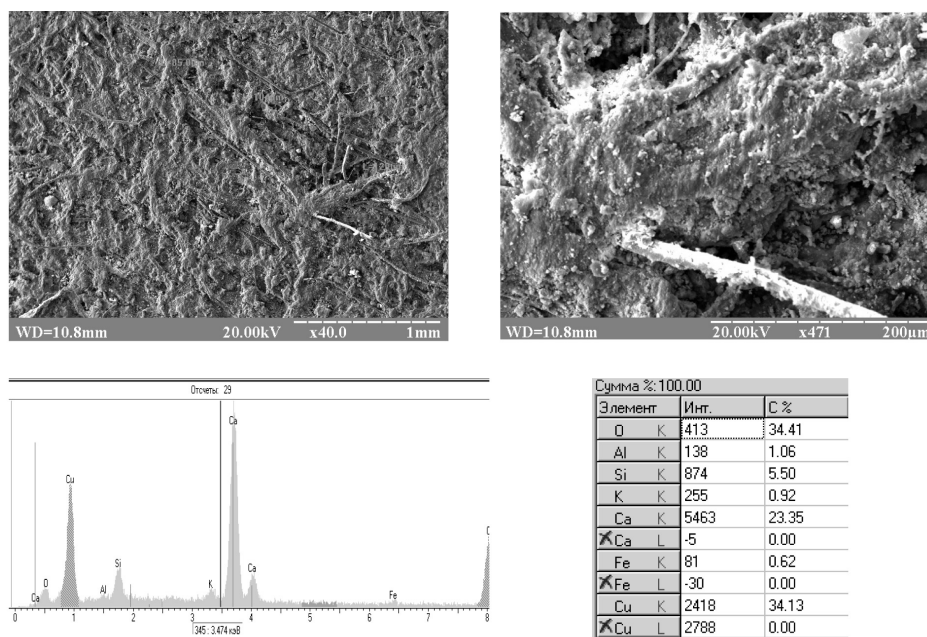
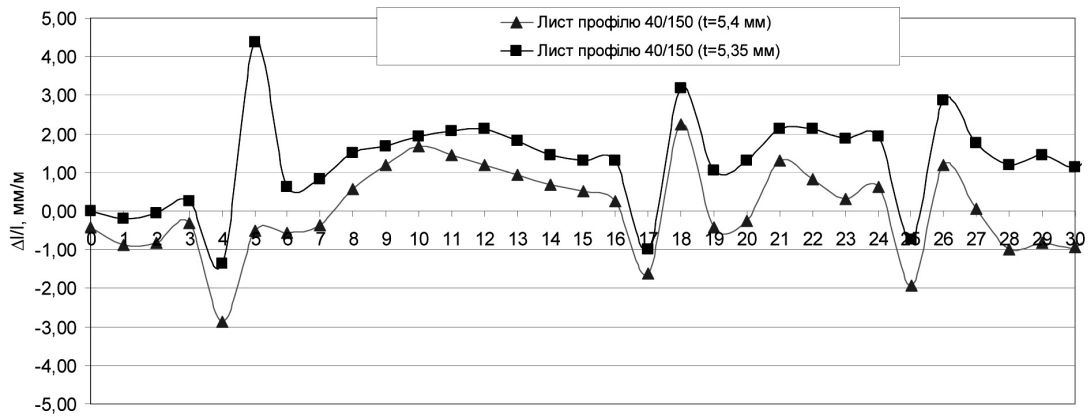
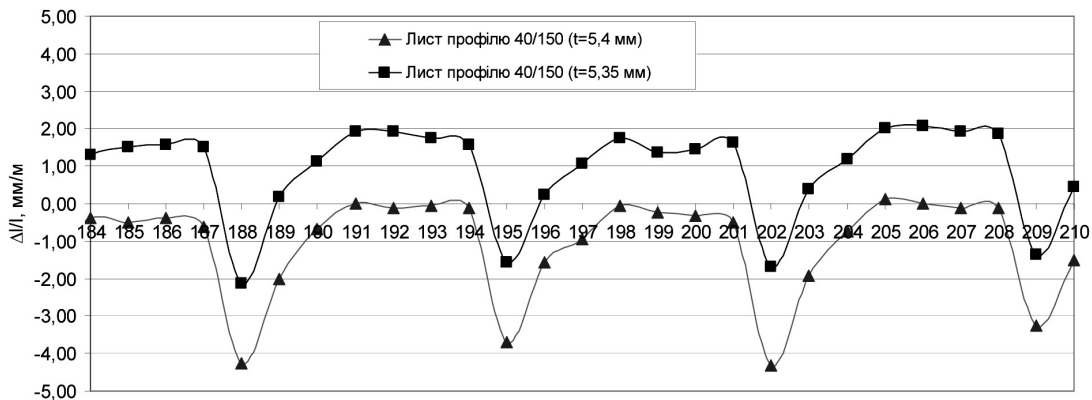


Рис. 3. Мікроструктура і спектральний рентгенівський аналіз азбестоцементу



Режими обробки

а



Режими обробки

б

Рис. 4. Деформації розширення та усадки азбестоцементних зразків шиферу протягом 3 циклів (а) і 47–50 циклів (б) поперемінного зволоження з поверхні і висушування при $T=80^{\circ}\text{C}$

вмістом C_3A . При недостатньому вмісті SO_3 в складі портландцементу в більшій мірі утворюються гексагональні гідроалюмінати кальцію типу C_4AH_{13} , які з часом переходять в кубічний C_3AH_6 . Така конверсія супроводжується збільшенням пористості системи на 20–30% внаслідок різної щільності гідратів. Тому при виробництві волокнистоцементних виробів необхідно, щоб вміст в портландцементі мінералу C_3A не перевищував 8 мас.%. Крім цього на якість азбестоцементних виробів негативно впливає надмірне підвищення тонини розмелення, що викликає зростання водопотреби та водоутримуючої здатності.

Дослідження фазового складу і мікроструктури цементів дозволяє оцінити вплив процесів раннього структуроутворення на формування стабільного кристалічного каркасу та міцності цементного каменю [12]. Вивчення кінетики процесів гідратації та тверднення, генезису мікроструктури цементного каменю у волокнистоцементних виробках відкриває шлях до наукового прогнозування їх довговічності. Азбестоцементна суміш – це не просто механічно змішана азбестова фібра з цементом, а система, в якій відбувається фізико-хімічні процеси, які впливають на властивості компонентів цієї системи. Такі процеси базуються на хімічній взаємодії кальцію гідроксиду з кремнійкисневими тетраедрами, які є на поверхні

волокон. Відповідно до результатів рентгенофазового та термічного аналізів азбестоцементних зразків вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 становить відповідно 8,2 і 14,5%. Внаслідок значної пористості азбестоцементу більша частина кальцію гідроксиду в процесі карбонізації трансформується в кальцит.

Подальше зміцнення контактів цементного каменю з азбестовими волокнами відбувається внаслідок кристалізації і перекристалізації в більш крупні кристали продуктів гідратації клінкерних мінералів, в основному гідросилікатів. Частина кристалів починає рости на поверхні азбестових волокон і вони зв'язують волокна азбесту з продуктами гідратації цементу, котрі кристалізуються, забезпечуючи найбільш міцний контакт азбестових волокон з цементним каменем (рис. 3).

Дослідженнями вологісних деформацій азбестоцементних зразків шиферу встановлено [2], що вони відбуваються внаслідок проникнення води в пори азбестоцементних виробів. При цьому вода тисне на стінки пор, створюючи внутрішні напруження, внаслідок яких лінійні розміри і загальний об'єм дещо зростають. Характерно, що під час інтенсивного зволоження поверхні (під час дощових опадів) вода проходить до протилежної сторони листа шиферу. При висушуванні вода випаровується і відбуваються усадочні деформації. Нерівномірний розподіл вологи

по товщині виробу, а також температурний градієнт призводять до короблення азбестоцементних листів шиферу. Листи коробляться найбільш інтенсивно при поперемінному зволоженні і висиханні однієї з його поверхонь. В таких умовах в основному і відбувається експлуатація покрівельного матеріалу. Як видно з рис. 4, після 50 циклів поперемінного зволоження і висихання деформації листів змінюються циклічно. Під час інтенсивного зволоження вода рухається до протилежної сторони листа шиферу і частково змочує поверхню. Внаслідок розклинюючої дії води вона розподіляється по всьому об'єму, лист шиферу поступово розпрямляється і може навіть набути попередньої форми. Проте при надлишковому вмісті калію може бути зростання залишкових деформацій азбестоцементних листів шиферу від 1,6–1,8 до 3,0–3,2 мм/м.

Звідси витікає, що присутні в золі палива луги мають бути враховані при розрахунку сировинної шихти. Внаслідок цього терміни тужавіння портландцементу скорочуються, так як калію сульфат реагує з $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ з утворенням сингеніту, що може призводити до зниження міцності і довговічності азбестоцементних виробів.

Сучасні промислові технології дозволяють випускати нові види шиферу, що володіють підвищеними характеристиками міцності. При цьому також враховується естетичний вигляд шиферу. Так, пофарбований у різні кольори шифер дозволяє створити неповторну гаму відтінків. Фарба, якою покривають готові листи шиферу, утворює захисний шар, що запобігає руйнуванню виробу, знижує його водопоглинання і підвищує морозостійкість. З іншої сторони, такий захисний шар зменшує кількість можливих виділень волокон азбесту в оточуюче середовище, а також сприяє зростанню терміну служби шиферу в 1,3–1,5 разів.

Враховуючи, що в багатьох європейських країнах наявність азбесту у складі волокнистоцементних виробів заборонена, представляє інтерес волокнистоцементний безазбестовий шифер, що виготовляється з використанням природних рослинних матеріалів. Також можуть використовуватися різні мінеральні волокна та синтетичні матеріали, як полівініл і поліакрилоніт. Такі природні, мінеральні і синтетичні матеріали замінюють азбест, виконуючи завдання по армуванню листів шиферу. Поверхня волокнистоцементного шиферу для надання їй водонепроникних і декоративних якостей додатково покривається спеціальною фарбою, завдяки чому вона має відмінний зовнішній вигляд. Окрім цього, волокнисто-цементний безазбестовий шифер легший, володіє еластичністю, без проблем переносить різкі температурні перепади, є відмінним шумоізолятором і абсолютно екологічним матеріалом. Також необхідно відзначити те, що такий шифер не горючий і не «стріляє» під впливом вогню, як азбестоцементний аналог. Завдяки сучасним технологіям і високоточному устаткуванню волок-

нистоцементний шифер має точні розміри і форми, а його висока міцність і в той же час відмінна еластичність значно полегшують транспортування і монтаж. Область застосування безазбестових волокнистоцементних листів досить широка і включає облаштування покрівлі для будь-яких житлових, суспільних і виробничих будівель і споруд.

Світовим лідером виробництва безазбестового волокнистоцементного шиферу є німецька фірма Eternit. В Україні такий шифер виготовляє лише одне підприємство – ВАТ «Івано-Франківськцемент». Продукція цього підприємства відрізняється високою якістю, завдяки використанню сучасних технологій і устаткування австрійської фірми Voith. Найновішим і найбільш сучасним продуктом, який реалізує завод, є безазбестові волокнистоцементні листи ТМ „ECO-DACH”, які поєднують у собі все найкраще від традиційного шиферу та новітні світові розробки у галузі покрівельних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельне матеріалознавство. За ред. П.В. Кривенка. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.
2. Соколов П.Н. Технология асбестоцементных изделий. – М.: Стройиздат, 1968. – 295 с.
3. Bensted J., Smith J.R. Asbestos legacy impacts on future prospects. Cement-Wapno-Beton. Vol. XVI/LXXVIII. – 2011. – № 3. – P. 161-166.
4. Половнев Б.А. К реабилитации асбеста / Строительные материалы. – 1993. – №3. – С. 11.
5. Определение сравнительной биологической активности продуктов деструкции асбестоцементных изделий и отдельных компонентов, входящих в состав асбестоцемента. – Россия: БелГУ. – 2003.
6. Семенов Ю. В России асбест любят // Строительство и реконструкция. – 2002. – № 11. – С. 21.
7. Cembureau. Sustainable cement production. Co-processing of alternative fuels and raw materials in the european cement industry. <http://www.cembureau.be> (January 2009)
8. Współpalanie paliw alternatywnych w przemyśle cementowym – zrównoważony rozwój. – Kraków: Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, 2003. – 31 s.
9. Shundell G.-M. Alternative fuels: useful waste using in cement industry / Cement International. – 2003. – V.1. – N 4. – P. 50–60.
10. Енергетичне використання горючих відходів у цементній промисловості // М.А. Саницький, Т.Є. Марків, Ю.Л. Новицький, Т.М. Круць / Будівельні матеріали та виробі. – 2008. – № 5. – С. 5–8.
11. Locher F.W. Cement-Principles of production and use, Dusseldorf, Verlag Bau+Technik GmbH, 2006. – 536 p.
12. Саницький М.А., Соболев Х.С., Марків Т.Є. Модифіковані композиційні цементі. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 130 с.