

Р.В. Лютий, М.В. Тишковець, Д.В. Люта

## **Дослідження процесів зміцнення стрижневих сумішей з ортофосфорною кислотою і алюмовмісними матеріалами різного класу**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, email: [rvl2005@ukr.net](mailto:rvl2005@ukr.net)*

Розглянуто наукові та практичні питання розробки стрижневих сумішей для ливарного виробництва, заснованих на зв'язувальних матеріалах фосфатного класу. Зв'язувальні матеріали, які представлені в цій статті, відрізняються від раніше відомих тим, що для їх отримання не використовуються дефіцитні компоненти і порошкові затверджувачі. Замість цього використовуються комбінації ортофосфорної кислоти з алюмовмісними матеріалами різної хімічної природи.

Встановлено утворення високоміцних фосфатних зв'язувальних компонентів при взаємодії ортофосфорної кислоти з алюмосилікатами (наприклад дистен-силіманіту і пірофіліту) і шламовими відходами виробництва алюмінію. Їх раціонально застосовувати для процесів теплового зміцнення ливарних стрижнів в інтервалі температур 200...300 °С.

Теоретично доведено і практично підтверджено утворення зв'язувальних компонентів при взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними солями алюмінію. У статті продемонстровані приклади синтезу фосфатів алюмінію з його нітрату і сульфату при нагріванні до 200...250 °С. Результати підтверджені термодинамічними розрахунками, а також рентгенофазовим аналізом.

Перспективи практичного впровадження розроблених зв'язувальних матеріалів обумовлені тим, що вони проявляють високу адгезію до вогнетривкого кварцового наповнювача і низьку фізико-хімічну активність до металевих розплавів чавуну і сталі. Це забезпечує високу механічну міцність ливарних стрижнів і їх задовільні протипригарні властивості.

Представлено склади розроблених стрижневих сумішей і приклади їх застосування для отримання якісних виливків з чавуну і сталі.

**Ключові слова:** алюмосилікати, нітрат алюмінію, ортофосфорна кислота, зв'язувальний компонент, стрижнева суміш, сульфат алюмінію, виливок.

*Стаття постуила до редакції 26.02.2020; прийнята до друку 15.03.2020.*

### **Вступ**

Серед зв'язувальних матеріалів особливе місце займають фосфати, які мають ряд цінних властивостей, завдяки яким вони відомі також як термостійкі, корозійностійкі і жаростійкі матеріали [1].

На сьогодні накопичено значний обсяг інформації щодо хімічних, теплофізичних та інших властивостей фосфорних сполук. Зокрема, для ливарного виробництва розроблені стрижневі суміші на основі ортофосфорної кислоти, алюмофосфатного

і алюмохромфосфатного в'язучих. Дані суміші як обов'язковий компонент включають зміцнювачі – чисті оксиди або комплексні оксидні сполуки, що є дефіцитною і дорогою сировиною. Тому такі зв'язувальні системи практично не застосовуються [1, 2, 3].

Науковим і технологічним питанням є нові схеми отримання зв'язувальних фосфатів алюмінію в стрижневих сумішах, що виключають застосування дефіцитних зміцнювачів і сприяють спрощенню процесів приготування сумішів.

При цьому слід враховувати, що одною з переваг

ортофосфорної кислоти є здатність утворювати зв'язувальні з'єднання з багатьма видами вогнетривких матеріалів: оксидами, силікатами, алюмосилікатами [4]. Однак цю перевагу практично не використовують. У найновіших наукових розробках у різних країнах світу реалізуються лише раніше відомі схеми синтезу фосфатних в'язучих, що включають гідроксид алюмінію, оксиди хрому, бору і деякі інші [5-11]. У ливарному виробництві, як і в інших областях техніки, ще не розглянуті наукові питання синтезу фосфатних в'язучих з матеріалів, в яких алюміній знаходиться в формі неорганічних солей або подібних з'єднань.

Об'єктом дослідження в статті є процеси утворення фосфорних солей алюмінію, що мають зв'язувальні властивості, при взаємодії ортофосфорної кислоти з різними алюмовмісними матеріалами.

Неорганічні сполуки алюмінію являють собою велику групу різних речовин, більшість з яких знайшли широке застосування в ливарному виробництві, в тому числі в складі формувальних і стрижневих сумішей.

Для систематизації результатів теоретичних і практичних досліджень всі алюмовмісні матеріали в нашій роботі розділені на три групи, відповідно до хіміко-мінералогічної природи. До першої групи віднесені вогнетривкі алюмосилікатні з'єднання. Для досліджень обрано глинисті мінерали, дистен-силіманіт і пірофіліт (шаруватий алюмосилікат).

Друга група об'єднує в собі промислові продукти, що містять алюміній. У роботі використані побічні продукти отримання первинного алюмінію (шлак), виплавки алюмінієвих сплавів (шлак) і дрібнодисперсний порошок алюмінію (пудра).

У третю групу входять неорганічні солі алюмінію. Найбільш доступними є сульфат і нітрат, обмежено застосовуються в якості в'язучих у протипригарних фарбах і в керамічних оболонкових формах для точного лиття.

## I. Постановка задач

Метою дослідження є розробка нових зв'язувальних матеріалів для стрижневих сумішей, що утворюються при взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними сполуками алюмінію.

Для досягнення викладеної мети були поставлені такі завдання:

1. Дослідити процеси взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними сполуками алюмінію.
2. Проаналізувати вплив хімічної природи матеріалів, температури і технологічних факторів на процеси формування алюмофосфатних сполук.
3. Дослідити режими зміцнення і властивості стрижневих сумішей з розробленими в'язучими.
4. Встановити оптимальний компонентний склад і способи приготування стрижневих сумішей.
5. Провести лабораторні випробування стержнів на виливках із залізвуглецевих сплавів.

## II. Методика дослідження

Для вирішення поставлених задач проведено теоретичні та експериментальні дослідження, які включали: рентгенофазовий аналіз (РФА), термодинамічні розрахунки, математичне планування експериментів, визначення фізико-механічних властивостей зразків з використанням традиційних методів випробування сумішей, лабораторні випробування на виливках із залізвуглецевих сплавів.

Структуру і фазовий склад сполук визначали на дифрактометрі RIGAKU моделі "Ultima IV".

Вогнетривким наповнювачем у всіх сумішах був річковий кварцовий пісок, який відповідає марці ЗК<sub>5</sub>О<sub>3</sub>025. Використана концентрована (85 %) ортофосфорна кислота.

Міцність сумішей на стиск контролювали на стандартних циліндричних зразках за допомогою універсальної установки моделі УС-700.

## III. Результати експериментів

На попередньому етапі проведено якісний аналіз спроможності обраних матеріалів утворювати зв'язувальні продукти з Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub>. До складу кожної суміші входить по 3 % Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub>, 2,5 % води і 5 % алюмовмісної речовини. Зразки сумішей витримували на повітрі протягом 24 год. і в печі протягом 1 год при температурі 250 °С.

При нормальних умовах тільки два алюмовмісних з'єднання проявили активність до ортофосфорної кислоти. Це шлак і пудра, які містять у своєму складі частинки металевого алюмінію. Причому пудра інтенсивно реагує з кислотою, з великим виділенням тепла, що ускладнює процес приготування суміші. А шлак, в свою чергу, забезпечує дуже низьку міцність при холодному твердінні – не більше 0,2 МПа.

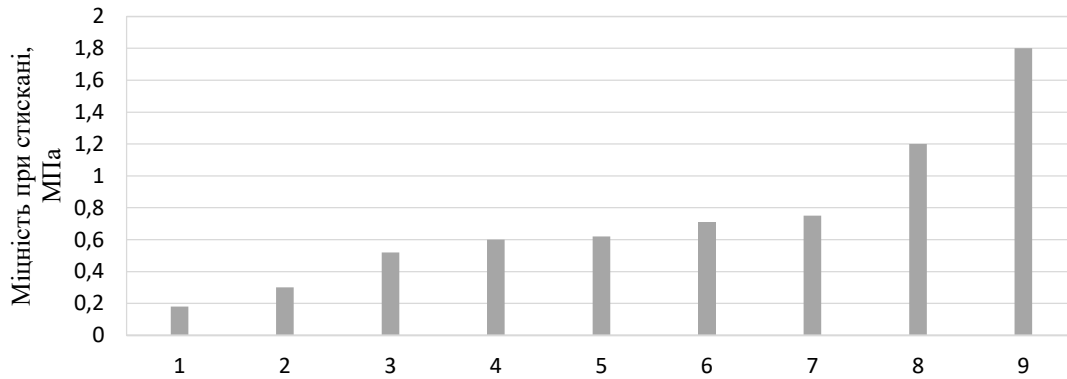
При нагріванні всі алюмовмісні речовини проявили активність до Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub>, але в різному ступені (рис. 1). Сульфат і нітрат алюмінію, у свою чергу, наділені власною зв'язувальною здатністю: суміш з 3 % Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> після теплового зміцнення має міцність на рівні 0,5 МПа, а суміш з 3 % Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> – 1,5 МПа. Однак результати, отримані при введенні даних солей спільно з Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub>, значно вище. Цей ефект можна пояснити хімічною взаємодією їх з кислотою, що призводить до утворення нових в'язучих.

**Алюмосилікати** представляють собою велику групу матеріалів, в кристалічних решітках яких у різних комбінаціях чергуються кремнеземні Si-O і глиноземисті Al-O шари. Такі матеріали можуть реагувати з ортофосфорною кислотою, в першу чергу завдяки наявності алюмінію [4].

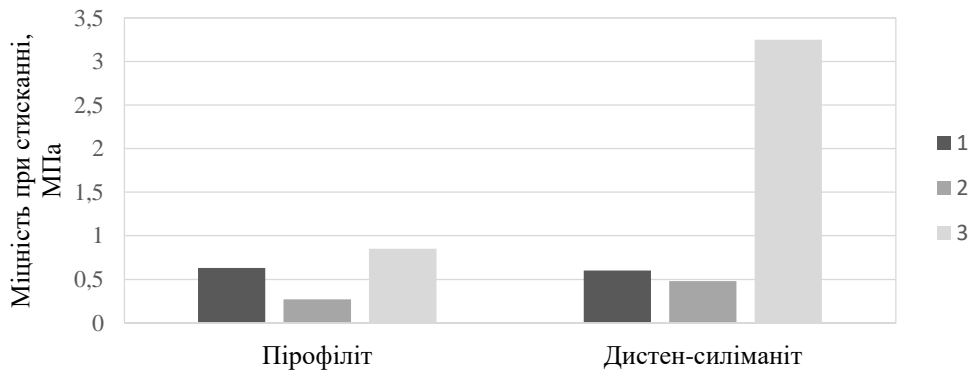
Для реалізації зміцнення необхідний нагрів. Із літературних даних відомо, що деякі алюмосилікати вступають у реакцію з кислотою ближче до 300 °С [1, 4]. При цьому краще проявили себе мінерали, які мають більш просту кристалічну будову. Глинисті мінерали, схильні до водопоглинання і мають

шарувату будову, здатні утворювати зв'язувальні

3 –  $H_3PO_4$  і пилоподібний алюмосилікат



**Рис. 1.** Міцність сумішей з ортофосфорною кислотою і різними алюмовмісними речовинами: 1 – глина бентонітова; 2 – глина каолінова; 3 – шлак Al; 4 – дистен-силіманіт; 5 – пірофіліт; 6 – пудра Al; 7 – шлам Al; 8 – нітрат Al; 9 – сульфат Al.



**Рис. 2.** Міцність суміші за різних способів введення алюмосилікатів: 1 – суміш із окремим введенням компонентів; 2 – суміш із зв'язувальною композицією; 3 – суміш із зв'язувальним розчином (суспензією).

властивості з ортофосфорною кислотою, проте міцність сумішей невисока.

З літературних даних відомо, що деякі алюмосилікати вступають у реакцію з кислотою ближче до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1, 4]. При цьому краще проявили себе мінерали, які мають більш просту кристалічну будову. Глинисті мінерали, схильні до водопоглинання і мають шарувату будову, здатні утворювати зв'язувальні властивості з ортофосфорною кислотою, проте міцність сумішей невисока.

Більш детальні дослідження взаємодії алюмосилікатів з  $H_3PO_4$  дали змогу отримати показники міцності, достатні для виготовлення ливарних стрижнів. Для цього було проведено роботу щодо визначення оптимального співвідношення компонентів, а також досліджено різні режими приготування суміші.

Реалізовано три загальновідомі способи приготування сумішей (рис. 2):

1 – до вогнетривкого наповнювача послідовно додавали 3%  $H_3PO_4$  і 3% пилоподібного алюмосилікату;

2 –  $H_3PO_4$  і пилоподібний алюмосилікат попередньо змішували між собою, витримували при  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отриману композицію у кількості 5% додавали до вогнетривкого наповнювача;

попередньо змішували між собою. Отриману суспензію у кількості 5% додавали до вогнетривкого наповнювача.

Зразки сумішей зміцнювали 1 год при  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Найкращий показник досягнутий в суміші, яка включає суспензію  $H_3PO_4$  і 10...30% пилоподібного дистен-силіманіта. Міцність 2,8...3,2 МПа, що достатньо для ливарних стрижнів [12].

**Промислові алюмовмісні продукти** – шлам, шлак і алюмінієва пудра – по-різному взаємодіють з  $H_3PO_4$ . Шлак складається в основному з оксиду алюмінію, який найменш активний відносно кислоти, тому отримати високоміцну зв'язувальну сполуку виявилось неможливим. Пудра є дрібнодисперсною (виключно пилоподібною) фракцією частинок металевго алюмінію. Вона інтенсивно, зі значним виділенням тепла, взаємодіє з кислотою навіть при нормальних умовах, що ускладнює процес сумішеприготування.

Шлам являє собою сукупність часток різних розмірів (від пилоподібних до 2,5 мм) наступного хімічного складу:  $SiO_2$  – 5,6...14,8%;  $MgO$  – 2,4%;  $Fe_2O_3$  – 6,7...11,1%;  $Al_2O_3$  – 48,5%; хлорид-іони – 0,15%;  $\Sigma(Na_2O+K_2O)$  – 1,75%;  $P_2O_5$  < 0,1%;  $P$  – 0,15%;  $S$  – 0,12%;  $C$  – 0,5%; втрати при прокалюванні – 8,32%, частинки металевго алюмінію – 25,2%. Незважаючи на наявність

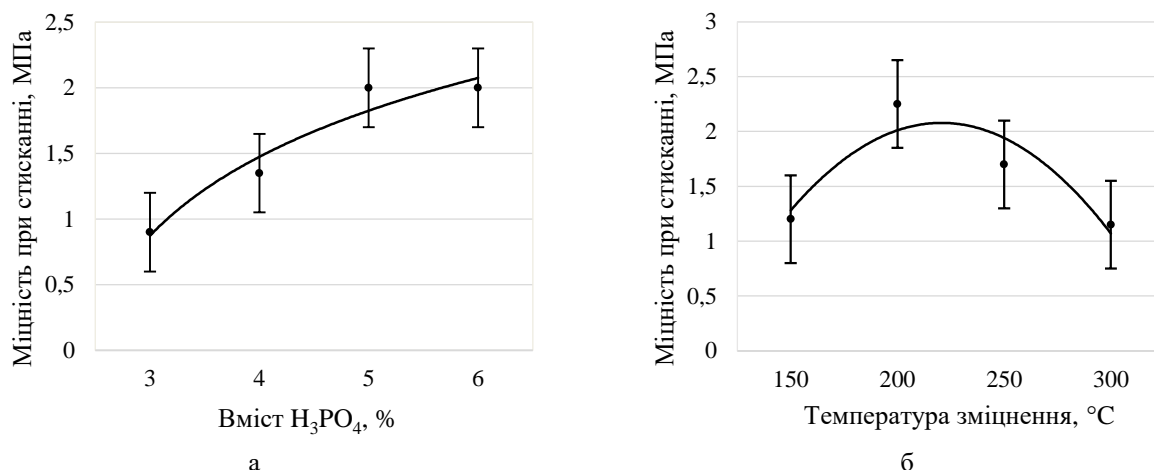


Рис. 3. Залежність міцності сумішей зі шламом алюмінію від вмісту  $H_3PO_4$  (а) і від температури зміцнення (б).

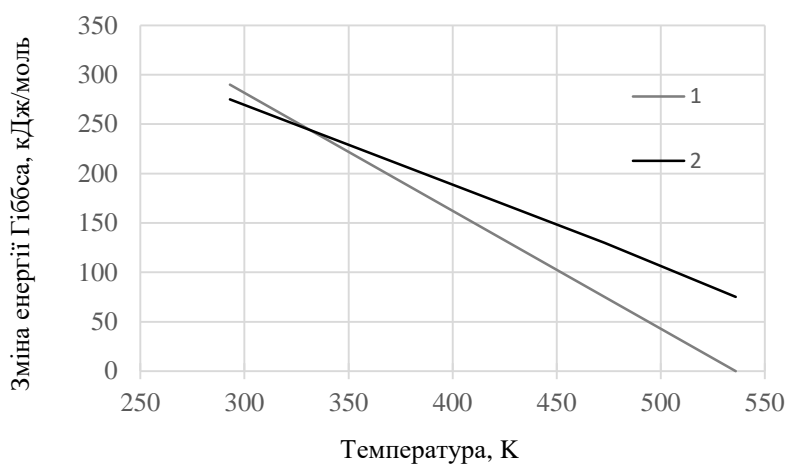


Рис. 4. Зміна енергії Гіббса для реакцій (1) і (2).

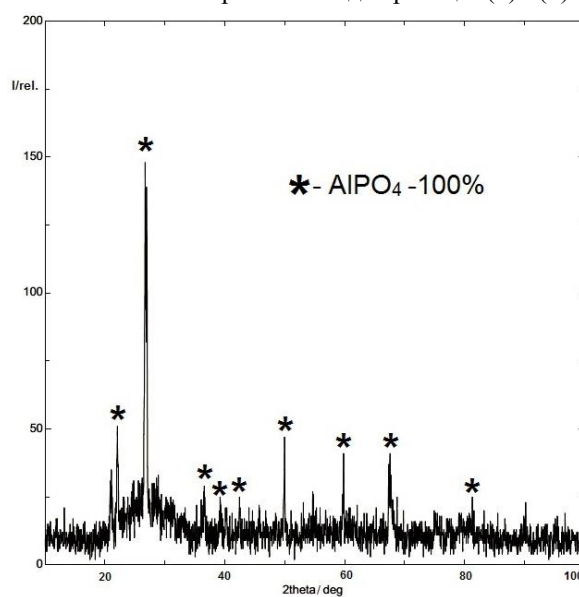
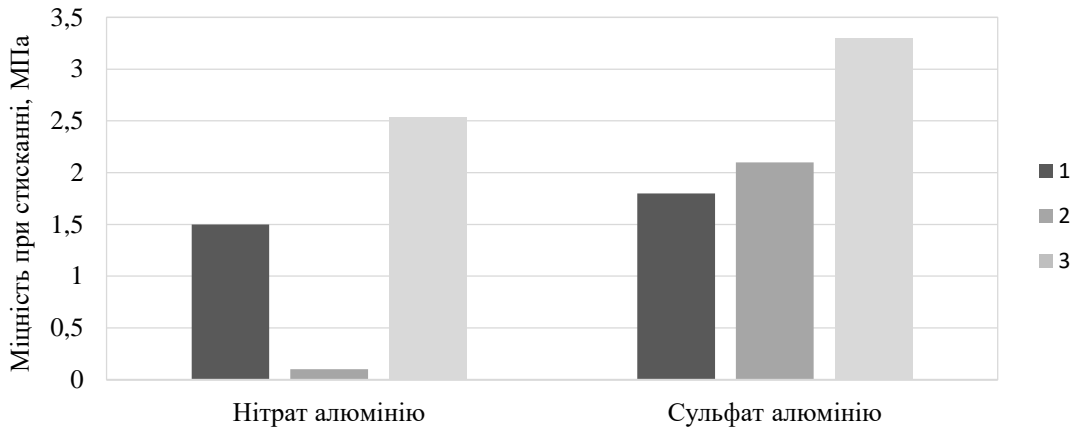


Рис. 5. Рентгенофазовий аналіз композиції нітрату алюмінію (5 мас. ч.) з ортофосфорною кислотою (3 мас. ч.).

металевих частинок, шлам практично не утворює з  $H_3PO_4$  холоднотвердної суміші, але здатний вступати з нею у взаємодію при нагріванні.

Вирішальне значення при зміцненні подібних фосфатних систем має вміст активних оксидів. Шлам містить достатню кількість таких сполук. Зміцнення



**Рис. 6.** Міцність сумішей при різних способах введення компонентів: 1 – суміш із окремим введенням компонентів; 2 – суміш із зв’язувальною композицією; 3 – суміш із зв’язувальним розчином.

композиції пояснюється утворенням фосфатів таких металів, як Mg, Fe, можливо також Na. Таким чином, при взаємодії алюмінієвого шламу з кислотою утворюється складне в’язуче, яке представляє собою суміш фосфатів активних елементів.

Зміцнення суміші забезпечує співвідношення шламу до кислоти 1:1 по масі. При цьому досить 5...6 % цих компонентів (рис. 3,а). Оптимальною температурою зміцнення є 220 °С (рис. 3,б), при цьому досягається міцність при стисканні 2,0...2,4 МПа.

**Неорганічні солі алюмінію** раніше не були використані для синтезу алюмофосфатного в’язучого.

Проаналізовано термодинамічні умови хімічних реакцій нітрату і сульфату алюмінію з ортофосфорною кислотою. Розрахунки зміни вільної енергії (рис. 4) проведено для реакцій (1) і (2) при температурах 20 °С (293 К) і 200 °С (473 К).



Обидві солі при нормальних умовах не можуть взаємодіяти з кислотою. Однак нагрів композицій сприяє зниженню зміни вільної енергії, і при температурі близько 250 °С реакція нітрату алюмінію з  $\text{H}_3\text{PO}_4$  стає можливою.

РФА даної композиції (рис. 5), зміцненої при 250 °С, показує, що єдиним з’єднанням у пробі є тризаміщений фосфат алюмінію (берлініт), що є продуктом хімічної реакції. Таким чином, у

дослідженій системі успішно синтезовано фосфатне в’язуче з неорганічної солі алюмінію.

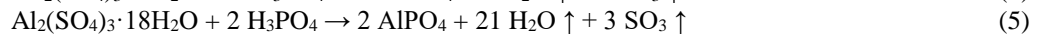
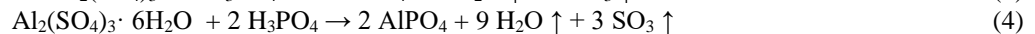
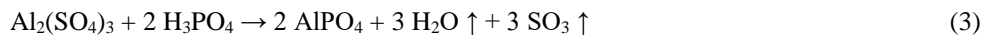
З обома неорганічними солями алюмінію реалізовано три способи приготування сумішей, як і у досліді з алюмосилікатами (рис. 2).

Нітрат алюмінію у складі розчину надає суміші міцність в 2 рази вищу, ніж при окремому введенні компонентів (рис. 6). Відсутність міцності із термообробленою композицією на основі  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  пов’язана із тим, що в ній нітрат Al повністю прореагував з  $\text{H}_3\text{PO}_4$  з утворенням ортофосфату Al за реакцією (1). Це нерозчинна сполука, і в суміші в присутності води вона не утворює адгезійних зв’язків з наповнювачем.

У розчині ж  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  залишається в первинному вигляді, і лише при нагріванні реагує з кислотою (безпосередньо в зразках суміші). Оскільки розчин попередньо покриває зерна наповнювача і утворює адгезійний зв’язок, то при подальшому утворенні ортофосфату Al відбувається вже друга стадія зміцнення суміші – наведення когезійних зв’язків.

Сульфат Al і в стані зв’язувальної композиції, і в стані зв’язувального розчину сприяє підвищенню міцності (рис. 6). З термодинамічної точки зору його взаємодія з  $\text{H}_3\text{PO}_4$  неможлива. Як видно із рис. 4, підвищення температури лише незначно впливає на зміну енергії реакції. Факт зміцнення даної системи не пояснюється також даними РФА та інших аналізів.

Сульфат алюмінію часто містить декілька молей кристалогідратної води. Відповідно, хімічні та термодинамічні умови його взаємодії з  $\text{H}_3\text{PO}_4$  можуть бути різними:



У нашому дослідженні використаний 18-водний сульфат алюмінію. Термодинамічний розрахунок (рис. 7) підтверджує можливість його реакції з кислотою. Очевидно, цей факт є причиною зміцнення суміші.

Оскільки попереднє змішування сульфату з

кислотою забезпечує більш високу міцність сумішей (рис. 6), то саме такий спосіб було обрано для створення стрижневої суміші з цією зв’язувальною системою.

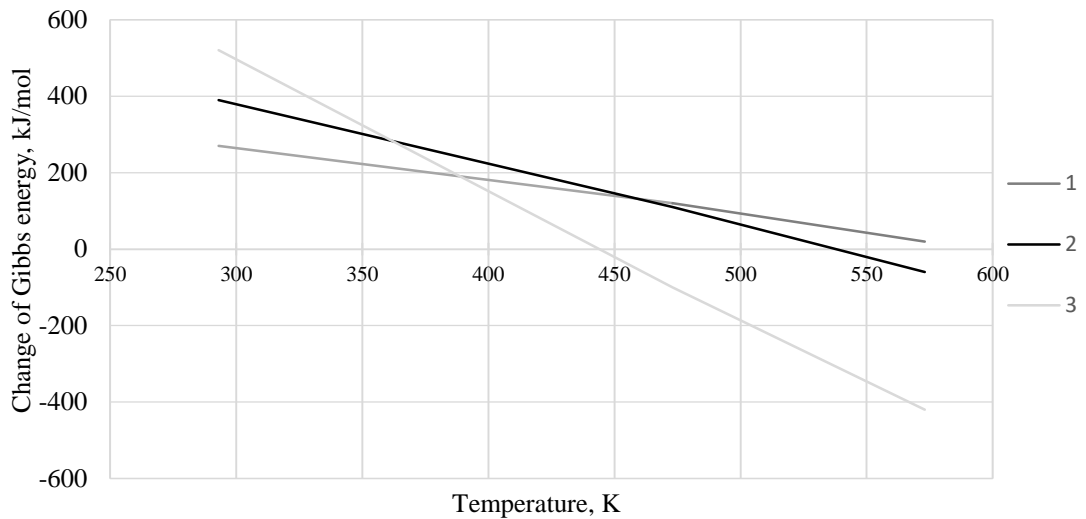


Рис. 7. Зміна енергії Гіббса для реакцій взаємодії сульфату алюмінію з ортофосфорною кислотою: 1 – безводний сульфат; 2 – 8-водний сульфат; 3 – 16-водний сульфат

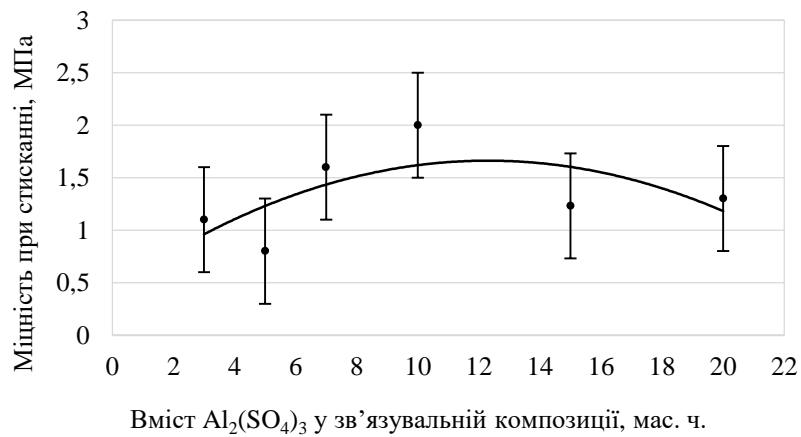


Рис. 8. Залежність міцності від складу зв'язувальної композиції з сульфатом алюмінію.

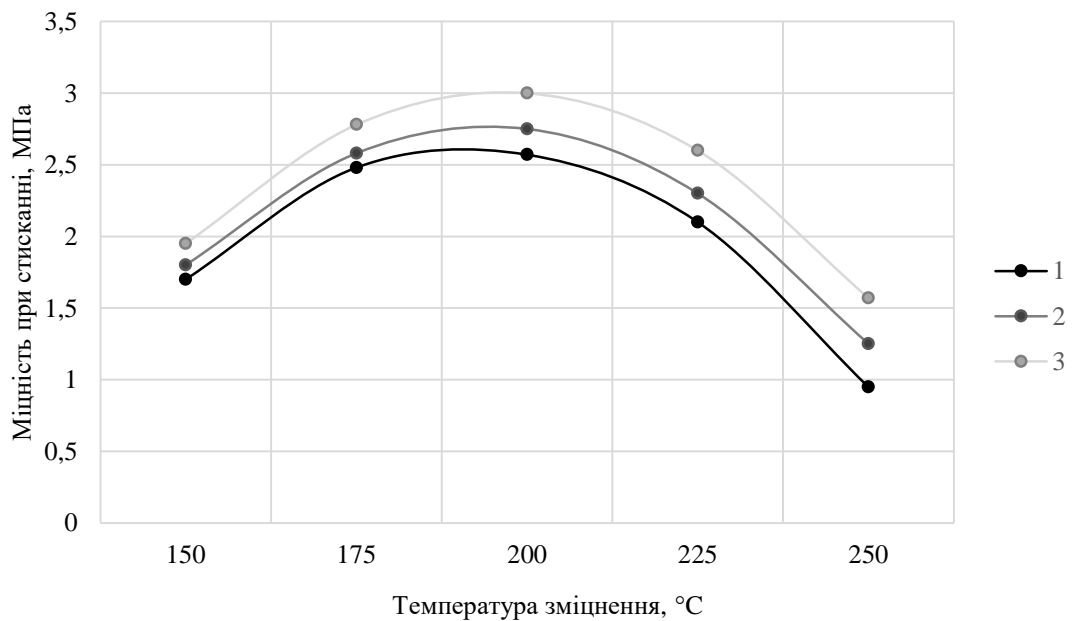
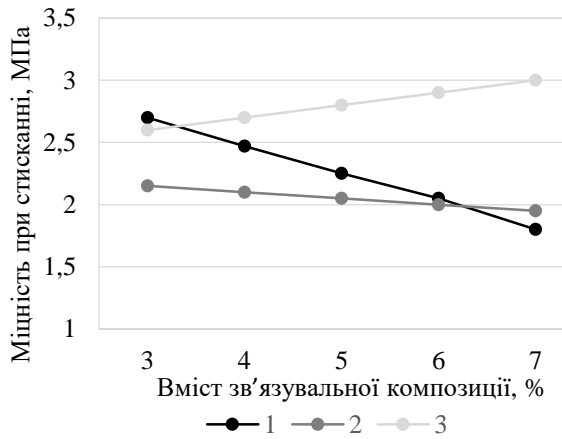


Рис. 9. Залежність міцності сумішей від температури витримки зразків та кількості зв'язувальної композиції на основі сульфату алюмінію: 1 – 3 % зв'язувальної композиції; 2 – 5 % зв'язувальної композиції; 3 – 7 % зв'язувальної композиції.



**Рис. 10.** Залежність міцності сумішей від кількості води та зв'язувальної композиції: 1 – 3% води в суміші; 2 – 5% води в суміші; 3 – 7% води в суміші

Таким чином, готова суміш для отримання форми або стрижня може не вміщувати як компонент ортофосфору кислоту. Саме цей принцип реалізований у сумішах, які містять сульфат алюмінію.

Для приготування зв'язувальних композицій вихідними матеріалами були ортофосфорна кислота 85 % концентрації та 18-водний сульфат алюмінію. Ці компоненти у різних масових співвідношеннях (від 3 мас. ч. до 20 мас. ч. на одну масову частину  $H_3PO_4$ ) змішували у лабораторному посуді. Після попереднього перемішування їх поміщали в нагрівальну піч, де витримували при температурі 200 °С протягом 1 год. Згодом наважки діставали з печі, охолоджували на повітрі і в разі наявності у них грудок або спечених конгломератів часток подрібнювали їх у лабораторній ступці. Отримані композиції просіювали через сито з розміром комірки 0,2 мм, після чого використовували для приготування сумішей.

До складу сумішей входили: кварцовий пісок, зв'язувальна композиція (5 %), вода (5 %). Зміцнення зразків здійснювали протягом 1 год в печі при 200 °С. Результати визначення міцності наведено на рис. 8.

Міцність сумішей зростає до 2,0 МПа при вмісті сульфату алюмінію 10 мас. ч. (рис. 8), що є оптимальним складом суміші.

Суміші із даною зв'язувальною композицією мають високі значення міцності, які досягають 3,0 МПа (рис. 9), що є достатнім для виготовлення ливарних стрижнів. Оптимальна температура зміцнення стрижнів із даною зв'язувальною композицією – 200 °С.

Ортофосфорна кислота в суміш не вводиться як компонент, тому вся рідка фаза в ній представлена водою, і їй відводиться вирішальна роль у розосередженні зв'язувальної композиції по поверхнях зерен піску та створення адгезійних зв'язків. Встановлено, що кількість води менше 5 % є недостатньою для реалізації цього процесу. Це виражається у тому, що збільшення кількості



а)



б)

**Рис. 11.** Виливок із жаростійкої сталі, виготовлений в оболонковій формі (а) та блок виливків, отриманий з використанням стрижнів із розробленої суміші (б).

зв'язувальної композиції в суміші не призводить до зростання її міцності (рис. 10, криві 1, 2). При 7 % води в суміші спостерігається традиційне зростання міцності при збільшенні відсотка зв'язувальної композиції (рис. 10, крива 3).

Розмір порожнини оболонкової форми складає: діаметр – 80 мм, висота – 15 мм. Форми заливали вуглецевою і легованою сталлю. Склад сумішей наведений в табл. 1.

Висока термічна стійкість фосфатів алюмінію відома давно. Їх низька активність до залізовуглецевих розплавів обумовлюють область використання сумішей. Найбільш доцільно їх застосовувати при отриманні сталевих та чавунних виливків.

Конкретною областю використання досліджених сумішей можуть бути стрижні, які виготовляють при нагріванні, а також оболонкові форми, які отримують за гарячим оснащенням. Із розроблених сумішей виготовляли як окремі стрижні, так і цілі оболонкові форми.

Із суміші № 1 (табл. 1) виготовлено оболонкову ливарну форму за гарячим оснащенням. Розмір порожнини форми складає: діаметр – 80 мм, висота – 15 мм. Форму залили жаростійкою сталлю 30X25Ю2ТЛ при температурі 1560 °С. Ця сталь містить високий відсоток хрому, внаслідок чого може утворюватися пригар у разі фізико-хімічної взаємодії сталі з матеріалом форми. Пригару та інших поверхневих дефектів не виявлено.

Із суміші № 2 (табл. 1) виготовляли стрижні для

Таблиця 1

Склад і властивості сумішей з ортофосфорною кислотою і неорганічними солями алюмінію

№ суміші	Вміст компонентів, мас. %					Температура зміцнення, °С	Міцність при стисканні, МПа
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	зв'язувальна композиція з Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	вода	пісок кварцовий		
1	3...4	–	3...4	1...2	решта	180	1,2...1,5
2	–	5...7	–	5...7	решта	200	2,5...3,0

отримання циліндричних виливків із товщиною стінки 4 мм. Ливарна форма з вертикальним роз'ємом була виготовлена в двох парних опоках і призначена для отримання восьми виливків: 5 виливків з внутрішнім діаметром 22 мм і три виливки із внутрішнім діаметром 16 мм (рис. 11). Форма виготовлена із сирієї піщано-глинястої суміші, заливання проводили чавуном СЧ20 при 1450 °С.

Стрижні мають достатньо високу міцність для проведення операцій вилучення їх із оснащення та встановлення в форму. Стрижні не мають каркасів, перед заливанням на них протипригарне покриття не було нанесено. Отримані виливки не мають дефектів, викликаних взаємодією із компонентами ливарної форми. Вибиваються стрижні без особливих зусиль, внутрішня поверхня виливків позбавлена пригару і поверхневих недоліків.

## Висновки

1. Теоретично і експериментально підтверджена можливість синтезу в'язучих безпосередньо в складі стрижневих сумішей при взаємодії концентрованої ортофосфорної кислоти з рядом алюмовмісних матеріалів. При цьому показано, що умови взаємодії визначаються типом хімічного зв'язку алюмінію в даних матеріалах.

2. Термодинамічним розрахунком обґрунтовано і експериментально доведено, що в результаті взаємодії ортофосфорної кислоти з нітратом

алюмінію при нагріванні до 200...250 °С утворюється в'язуче, яке має форму ортофосфата алюмінію і дозволяє досягти міцності суміші при стисканні в межах 2,3...2,8 МПа.

3. Експериментально встановлено, що при взаємодії ортофосфорної кислоти із сульфатом алюмінію при 200 °С утворюється продукт реакції, який наділений зв'язувальною здатністю і може бути застосований як зв'язувальний компонент у стрижневих сумішах. Оптимальним складом зв'язувальної композиції слід вважати 10 мас. ч. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> на 1 мас. ч. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, що забезпечує найвищий рівень властивостей суміші.

4. Розроблені зв'язувальні матеріали мають високу вогнетривкість та низьку фізико-хімічну активність до залізовуглецевих розплавів, що дозволяє використовувати їх в стрижневих сумішах для виробництва виливків з вуглецевої, легованої сталі та чавуну при різних температурах заливки, що підтверджено експериментально. Виливки, отримані з використанням стрижнів з розроблених сумішей, не мають пригару і інших поверхневих дефектів, а шорсткість литих поверхонь знаходиться в межах 12,5...50 мкм.

**Лютій Р.В.** – к.т.н., доцент кафедри ливарне виробництво чорних і кольорових металів;  
**Тишковець М.В.** – аспірантка кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів;  
**Люта Д.В.** – к.т.н.

- [1] Л.Г. Судакас, Фосфатные вяжущие системы (РИА «Квинтет», Санкт-Петербург, 2008).
- [2] С.П. Дорошенко, В.П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек, Формовочные материалы и смеси (Вища школа, Київ, 1990).
- [3] А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др., Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник (Машиностроение, Москва, 2006).
- [4] В.А. Копейкин, В.С. Клементьева, Б.Л. Красный, Огнеупорные растворы на фосфатных связующих (Металлургия, Москва, 1986).
- [5] Zhang Youshou, Liu Dong, Xia Lu, Ren Yanzhen, Cai Peng, Zhou Lei, Patent China № 108907069 (30 November 2018).
- [6] Yang Yang, Patent China № 106734858 (31 May 2017).
- [7] S. Alferyev, V. Polyakov, Patent USA № 2014175323 (26 June 2014).
- [8] Kim Jai Ha, Hur Yang Wook, Son Sung Han, Joo Kyoung, Patent Korea № 20090058977 (10 June 2009).
- [9] Xia Lu, Ren Yanzhen, Zhang Qian, Zhang Youshou, Liu Dong, Zhou Lei, Patent China № 108405794 (17 August 2018).
- [10] Jung Yeon Gil, Kim Eun Hee, Woo Ta Kwan, Lee Je Hyun, Patent Korea № 20180017400 (21 February 2018).
- [11] Jing Jinlong, Chen Xuegeng, Patent China № 104815943 (5 August 2015).



[12] Р.В. Лютий, Д.В. Кеуш, Е.А. Анісімова, Патент України № 99789, Спосіб зміцнення ливарних стрижнів (25 липня 2015).

R.V. Liutyi, M.V. Tyshkovets, D.V. Liuta

## **Foundry Core Mixtures with Orthophosphoric Acid and Different Aluminum-Containing Compounds**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine,  
email: [rvl2005@ukr.net](mailto:rvl2005@ukr.net), [maria15021996@gmail.com](mailto:maria15021996@gmail.com)*

The scientific and practical issues of the development of core mixtures for foundry, based on phosphate binding materials, are considered. The binder presented in this article differ from those previously known by the fact that scarce prepared metal phosphate binding components and powder solidifiers are not used to produce them. As a result, all developed binders are different forms of aluminum phosphates. It is shown that to obtain them it is possible to use combinations of orthophosphoric acid with aluminum-containing materials of different chemical nature.

The formation of high-strength phosphate binders in the interaction of phosphoric acid with aluminosilicates (for example, distan-silimanite and pyrophyllite) and sludge wastes of aluminum production has been established. They are rationally used for processes of thermal strengthening of cores in the temperature range of 200...300 °C.

The formation of binders in the interaction of orthophosphoric acid with inorganic aluminum salts are theoretically proved and practically confirmed. The article demonstrates examples of the synthesis of aluminum phosphates from its nitrate and sulfate when heated to 200...250 °C. The results are confirmed by thermodynamic calculations, as well as by X-ray phase analysis.

Prospects for the practical implementation of the developed binding materials are due to the fact that they exhibit high adhesion to refractory quartz filler and low physical and chemical activity to the melts of iron and steel. It provides high mechanical strength of cores and their satisfactory antiburning properties.

The compositions of the developed core mixtures and examples of their application for obtaining high-quality castings from iron and steel are presented.

**Key words:** aluminosilicate, aluminum nitrate, orthophosphoric acid, binder, core mixture, aluminum sulphate, casting.