

(третім тілом), поміж робочих поверхонь пари тертя. Режим тертя перейде від сухого до граничного, без додавання у зону тертя традиційного олійного мастила.

### Список літератури

1. Марковский Е. А., Олексенко И. В., Гаврилюк В. П., Качко Н. А. Грибов Н. Н. Процессы диффузии и массопереноса при внешнем трении сплавов Сч+Cu+S // Процессы литья. 2006, № 3. С. 70-74.
2. Новицкий В. Г. , Гаврилюк В. П., Лахненко В. Л. и др. Влияние углерода и меди на структуру литых сплавов системы Fe-Cr-Cu-C и их трибологические характеристики в условиях трения скольжения // Трение и износ. 2015, т. 36, №1, С. 70-80.
3. Локтіонов - Ремізовський В. А., Шипицин С. Я., Новицький В. Г. та інші. Ефективність впливу легування міддю на зношування заевтектоїдних сталей. Металознавство та обробка металів, - 2022, 4, - С. 30-39.
4. Гуляев А. П. Металловедение. 5-е. изд. М. Металлургия. 1977, 647 с.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н. П., Машиностроение, 1996-2000 г.

УДК 621.742

**Р. В. Лютий, М. В. Тишковець, Д. В. Люта**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

### **ФОСФОСУЛЬФАТНИЙ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ**

Ливарне виробництво є основою сучасного машинобудування та багатьох інших промислових галузей. Підвищення якості і конкурентноздатності литих деталей неможливо без технічного прогресу в розробленні формувальних матеріалів та підвищенні властивостей формувальних і стрижневих сумішей. З наукової та практичної точки зору актуальним є розроблення нових і удосконалення відомих зв'язувальних компонентів (ЗК) [1, 2]. В останні роки знову підвищився інтерес до фосфатних матеріалів, вивчення яких почалося ще в середині ХХ ст.

Основою переважної більшості фосфатних ЗК є алюміній [3, 4]. Однак процеси приготування цих ЗК тривалі та багатоопераційні, що підвищує їх вартість і знижує стабільність. У ливарному виробництві, де обсяги використання матеріалів дуже значні,

це є важливим економічним фактором. Отже, є потреба у спрощенні процесу синтезу фосфатних ЗК для ливарного виробництва.

Принципово новим напрямом є дослідження взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними солями металів, у першу чергу алюмінію, з метою розроблення нових схем синтезу фосфатних ЗК. Метою дослідження є створення зв'язувального компонента з використанням ортофосфорної кислоти і сульфату алюмінію, вивчення фізико-хімічних закономірностей його утворення, будови та властивостей.

В роботі проводили рентгенофазовий аналіз на установці «Rigaku Ultima IV», диференційний термічний аналіз – на синхронному термічному аналізаторі «STA 449 C Jupiter».

За результатами експериментів вперше розроблено опис механізму утворення фосфатів алюмінію із зв'язувальними властивостями під час взаємодії його сірчанокислового кристалогідрату  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  з ортофосфорною кислотою в інтервалі температур 100...200 °С.

Передумовою для створення нового неорганічного ЗК стало вивчення фізико-хімічних процесів у системі ортофосфорної кислоти і сульфату алюмінію. Поширеними формами цієї неорганічної солі є звичайна (безводна), а також кристалогідрати з різною кількістю молів  $\text{H}_2\text{O}$ . Було проаналізовано ізобарно-ізотермічний потенціал (енергію Гіббса) для хімічних реакцій ортофосфорної кислоти з різними формами сульфату алюмінію. Зміну енергії Гіббса розраховано для нормальних умов (293 К), а також за умов проведення реакцій при нагріванні до 200 °С (або 473 К) та 300 °С (або 573 К). В розрахунках встановлено, що безводний сульфат алюмінію не може вступати в реакцію з ортофосфорною кислотою у розглянутому інтервалі температур, тоді як 18-водний сульфат здатен вступити у взаємодію при нагріванні в інтервалі 150...200 °С.

Для встановлення складу продуктів взаємодії у цій суміші проведено рентгенофазовий аналіз. Об'єктом аналізу є проба сульфату алюмінію  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  і ортофосфорної кислоти з 85%-ю концентрацією. Після змішування компонентів зразок було витримано в печі при 200 °С протягом 1 год. Дифрактограму наведено на рис. 1.

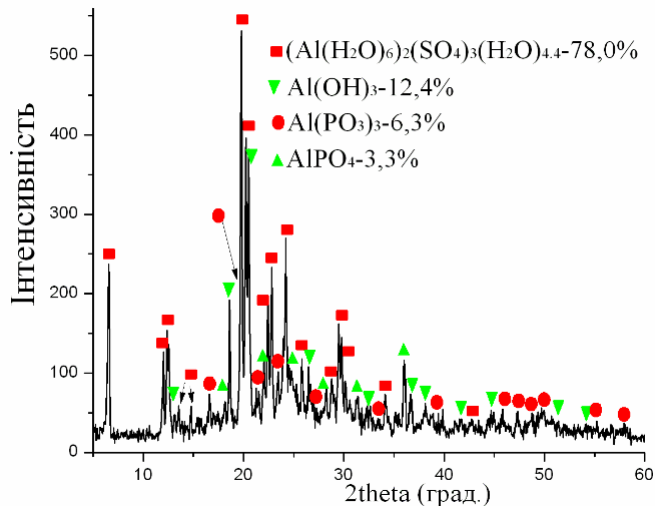


Рис. 1 – Дифрактограма проби 18-водного сульфату алюмінію (10 мас. ч.) з ортофосфорною кислотою (1 мас. ч.) після витримки при 200 °С

У пробі виявлено ряд нових фаз, у тому числі таких, які мають зв'язувальні властивості: сульфат алюмінію із зменшеною кількістю молів зв'язаної води  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16,4\text{H}_2\text{O}$ , два види фосфатів алюмінію та гідроксид алюмінію, який розглядається як продукт часткового розпаду 18-водного сульфату. Отже, роль ЗК тут очевидно виконують як фосфати алюмінію, так і його залишковий сульфат, який у складі проби переважає (78%). Тому утворений ЗК слід віднести до нового, раніше невідомого у ливарному виробництві класу – фосфосульфатний зв'язувальний компонент.

Механізм утворення фосфосульфатного ЗК в результаті взаємодії кристалогідратного сульфату алюмінію  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  з ортофосфорною кислотою полягає в наступному. При нагріванні до температури 100...200 °С утворюється проміжна фаза – гідроксид алюмінію  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , який, на відміну від його сульфату, здатен взаємодіяти із кислотою та утворювати фосфати алюмінію.

З метою отримання інформації щодо перетворень у цьому ЗК під час нагрівання провели диференційний термогравіметричний аналіз (ДТГА) цієї ж проби. Результати представлено на рис. 2.

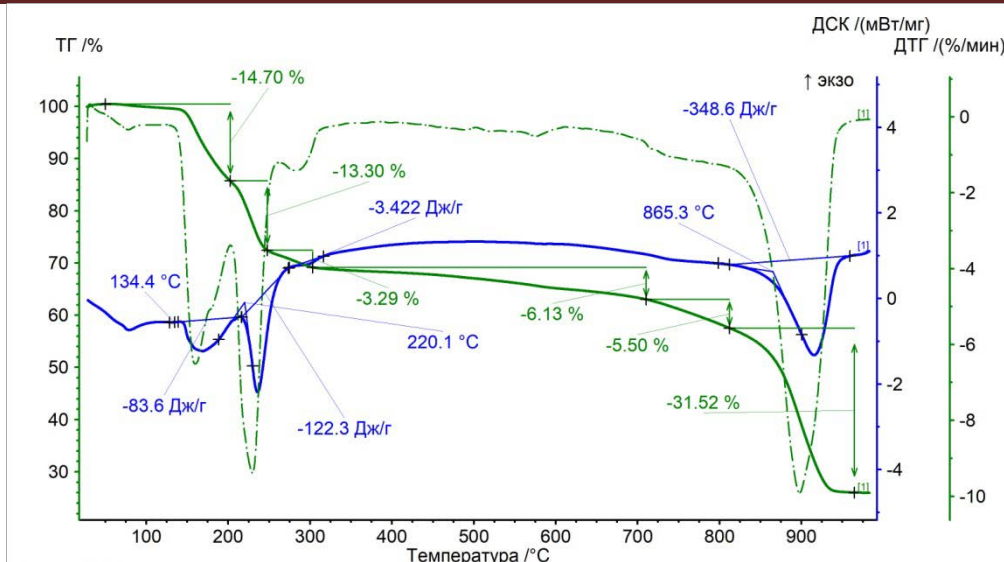


Рис. 2 – ДТГА проби 18-водного сульфату алюмінію (10 мас. ч.) з ортофосфорною кислотою (1 мас. ч.) після витримки при 200 °С

Ливарні стрижні працюють в умовах всебічного нагрівання, тому більшість із визначених ендотермічних перетворень можуть відбутися у складі стрижневої суміші. Основної уваги заслуговує значний ендотермічний ефект при температурі 865 °С, який пов'язано із термічною деструкцією сульфату алюмінію. Прогріванню до такої температури піддаються тільки поверхневі шари стрижнів. В такому разі при забезпеченні достатньої газопроникності суміші утворені гази можуть бути легко виведені у знакові частини і далі у форму. Термічний розпад сульфату алюмінію знижує залишкову міцність суміші та значною мірою покращує вибиваемість стрижнів із внутрішніх порожнин виливків, що неодноразово підтверджено експериментально.

### Список літератури

1. Ponomarenko O., Berlizeva T., Grimzin I., Yevtushenko N., Lysenko T. Strength properties control of mixtures based on soluble glass with ethereos solidifiers // Advances in design, simulation and manufacturing III. DSMIE, 511-521. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_50).
2. Пономаренко О. И., Євтушенко Н. С., Колесник Е. В. Исследование прочностных свойств смоляных ХТС на хромитовых песках // Литейное производство. – 2015. – №3. – С. 5–7.

3. Осипенко И. А., Репях С. И. Применение тонкодисперсного кремнийсодержащего материала сухой газоочистки ферросплавного производства в формовочных смесях // Весник КГИУ. – 2020. – №4(31). – С. 36–41.

4. Осипенко І. О., Солоненко Л.І., Білий О.П. Системне використання пилу техногенного походження у складі фосфатних холодно-твердіючих сумішей // Системні технології. – 2018. – №5 (118). – С. 97–104.

УДК 621.74:669.136.9

**В. Л. Мазур, К. А. Сіренко**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: [prof.vlm@ukr.net](mailto:prof.vlm@ukr.net), [thermoexp.metal@gmail.com](mailto:thermoexp.metal@gmail.com)

### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТАНДАРТІВ НА ГАЛЬМОВІ КОЛОДКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ЧАВУНУ ТА КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**

Одним із напрямів спеціалізації Фізико-технологічного інституту металів і сплавів Національної академії наук України (ФТІМС НАН України) є розробка і впровадження у виробництво ефективної технології виплавлення високоякісного чавуну для виготовлення ливарних виробів, зокрема гальмових колодок залізничного транспорту. Напрацювання Інституту в цьому напрямі викладені в монографії доктора технічних наук І.Г. Неїжка, академіка НАН України В.Л. Найдека, члена-кореспондента НАН України В.П. Гаврилюка [1].

Рівень вимог до якості продукції, і не тільки ливарної, а взагалі будь-яких товарів, регламентований у стандартах, визначає її конкурентоздатність на внутрішньому і зовнішньому ринках. Проблемні питання у сфері стандартизації ливарної продукції розглянемо через порівняння нормативних вимог до гальмових колодок залізничного транспорту з чавуну (продукції ливарних підприємств) і з так званого «композиційного» матеріалу (гумосуміші на базі каучуку і наповнювачів у вигляді бариту, доломіту, азбесту, сажі, шліфпилу, технічного вуглецю, сірки молотої, інших інгредієнтів) [1, с. 77].

Гальмові колодки є одним із найважливіших, часто змінюваних елементів гальмівних систем рухомого складу залізничного транспорту. Їх виробництво щорічно сягає сотень тисяч штук. В усіх розвинутих країнах ведуться пошуки нових, ефективних матеріалів для виготовлення гальмових залізничних колодок, в тому числі композиційних