УДК 621.742
Лютий Р. В.[1], Тишковець М. В.[2], Люта Д. В.[3]
[1] канд. техн. наук, доцент КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ
[2] аспірантка КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ
[3] канд. техн. наук

ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ФОРМУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Для забезпечення темпів розвитку технологій формоутворення, які відповідають загальному рівню ливарних процесів, актуальними завданнями є розроблення нових екологічних і економічно ефективних матеріалів із заданим комплексом функціональних властивостей.

Для виготовлення ливарних форм і стрижнів традиційно використовують суміші на основі синтетичних смол. Вони мають ряд відомих недоліків, особливо під час виготовлення сталевих і чавунних виливків. До них відносяться обмежена термічна стійкість (не більше 750 °С), необхідність використання більш дорогих високоякісних наповнювачів [1, 2, 3].

У ряді випадків спостерігається утворення гарячих тріщин через низьку податливість стрижнів [4], ускладнена вибиваємість та складний процес регенерації сумішей. Екологічним недолікам приділяється дедалі більше уваги в останні роки. Викиди шкідливих газів на етапах виготовлення форм та заливання [5, 6] поступово обмежують на законодавчому рівні використання піщано-смоляних сумішей.

Вказані фактори призвели до того, що у провідних країнах світу активізувалися пошуки неорганічних екологічно безпечних зв'язувальних компонентів. Найбільшу увагу вчені приділяють дослідженням силікатних (на основі рідкого скла) та фосфатних систем [7, 8]. Фосфати є більш перспективними з точки зору забезпечення необхідних властивостей стрижневих сумішей, максимально екологічними, доступними. Крім цього, вже відомі приклади їх успішного використання у ливарному виробництві. Однак матеріали, які було застосовано у цих технологіях, були нестабільні за хімічним та мінералогічним складом і не могли забезпечити стабільної якості стрижнів і литих деталей.

Основною метою наших досліджень є створення технології синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів та розроблення на їх основі екологічних стрижневих сумішей з підвищеними технологічними властивостями для виготовлення виливків із залізовуглецевих сплавів.

У результаті виконання науково-дослідної роботи теоретично і практично установлено можливість синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів як продуктів взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними солями алюмінію та натрію. Утворення фосфатів у досліджуваних системах підтверджено

термодинамічними розрахунками, рентгенофазовим та хімічним аналізами. Показано, що синтезовані матеріали характеризуються високою зв'язувальною здатністю, необхідною для успішного застосування у складі стрижневих сумішей.

Уперше досліджено фізико-хімічні процеси, які відбуваються у системі ортофосфорної кислоти із 18-водним сульфатом алюмінію і призводять до утворення нового для ливарного виробництва фосфосульфатного зв'язувального компонента. Незважаючи на термодинамічну та хімічну неможливість прямої взаємодії між вказаними речовинами, установлено поетапну схему перетворень, яка полягає у частковому розпаді кристалогідратного сульфату алюмінію, утворенням внаслідок цього гідроксиду алюмінію, його взаємодії з ортофосфорною кислотою та утворення фосфату алюмінію. Фазовим аналізом визначено, що фосфат алюмінію, синтезований із його сульфату, має аналогічну будову до тих сполук, які містяться у широковідомих алюмофосфатних зв'язувальних компонентах. Термогравіметричним аналізом фосфосульфантного зв'язувального компонента доведено, що під час нагрівання у його складі відбуваються поступові перетворення кислих фосфатів алюмінію на звичайні (до 400 °С), пряма хімічна взаємодія сульфату алюмінію з H_3PO_4 (після 450 °С) та термічна деструкція залишкового сульфату алюмінію (800…900 °С). Останнє перетворення призводить до суттєвого зниження міцності суміші з цим матеріалом і забезпечує легку вибиваємість ливарних стрижнів.

Також установлено закономірності утворення фосфатів натрію під час взаємодії його неорганічних солей із ортофосфорною кислотою. Підтверджено, що солі слабких кислот (наприклад, Na_2CO_3) вступають у взаємодію при нормальній температурі. Термодинамічним розрахунком показано, що солі сильних кислот (наприклад, NaCl) при нагріванні в інтервалі 200…300 °С також здатні хімічно взаємодіяти з ортофосфорною кислотою та утворювати фосфати натрію, що згодом підтверджено практичними даними рентгенофазового аналізу.

Широко досліджено систему триполіфосфату натрію з ортофосфорною кислотою та в результаті вперше синтезовано зв'язувальний компонент із підвищеною питомою міцністю, який представляє собою двозаміщений пірофосфат натрію $Na_2H_2P_2O_7$. Його зв'язувальна здатність є найвищою із фосфатів натрію і зумовлена оптимальним співвідношенням іонних радіусів Na^+ та $P_2O_7^{4-}$, а також наявністю додаткових водневих зв'язків у молекулі $Na_2H_2P_2O_7$.

Виявлено, що всі варіанти синтезу фосфатів натрію із його неорганічних солей призводять до утворення кислих форм, які при незначному підвищені температури (250…300 °С) перетворюються на звичайний термостійкий ортофосфат натрію та метафосфат натрію $NaPO_3$ з низькою температурою

плавлення. Термогравіметричним аналізом установлено, що він плавиться в інтервалі 500…600 ℃, що призводить до значного підвищення залишкової міцності ливарних стрижнів після їх нагрівання та охолодження. Вилучення таких стрижнів із виливків, як установлено, може бути здійснено витримкою виливка у воді, оскільки усі фосфати натрію є водорозчинними.

Для практичного застосування розроблено 2 варіанти синтезу фосфосульфатного та натрійфосфатного зв'язувальних компонентів. Перший варіант передбачає утворення сухих компонентів під час витримки сульфату алюмінію або триполіфосфату натрію з ортофосфорною кислотою при температурі 200 ℃, з масовими співвідношеннями 10:1 та 5:1 відповідно. За другим варіантом зв'язувальний компонент утворюється безпосередньо під час теплового сушіння стрижня (150…200 ℃) із розчинів сульфату алюмінію (10…20%) або триполіфосфату натрію (20…30%) в ортофосфорній кислоті.

Досліджено основні властивості стрижневих сумішей на основі створених зв'язувальних компонентів, визначено оптимальні рецептури та рекомендації щодо їх застосування. Ливарні стрижні з розробленими зв'язувальними компонентами не потребують використання високоякісних наповнювачів, основою сумішей можуть бути кварцові піски, у т. ч. менш кондиційні та більш дешеві річкові. Проведено лабораторні випробування ливарних стрижнів і отримано пробну партію виливків із залізовуглецевих сплавів.

У результаті лабораторних досліджень установлено технологічні межі використання розроблених стрижневих сумішей. Стрижні із сухими зв'язувальними компонентами внаслідок вмісту залишкових сульфату алюмінію або триполіфосфату натрію проявляють хімічну активність до залізовуглецевих розплавів і тому потребують нанесення протипригарних покриттів. Стрижні із розчинами вказаних солей у кислоті через максимальне їх перетворення на фосфати є стійкими до утворення пригару і забезпечують шорсткість литих поверхонь не більше 50 мкм при товщині стінок виливків до 40 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. – Київ: Вища школа, 1980. – 416 с.

2. Лютий Р. В. Формувальні матеріали / Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2020. – 257 с.

3. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия / [А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский та ін.]. – Москва: Машиностроение, 2006. – 507 с.

4. Репях С. И., Меняйло Е. В., Пройдак Ю. С., Хрычиков В. Е. К вопросу об образовании горячих трещин в литых изделиях и сварных швах

// Металлургическая и горнорудная промышленность, 2014. – №3. – С.37–41.

5. System analysis of modern areas of increasing environmental and sanitary hygienic safety of using cold hardening mixtures in foundry / [L. Solonenko, I. Prokopovitch, S. Repyakh та ін.]. // Праці Одеського політехнічного університету. – 2019. – №1(57). – С. 90–98.

6. Ткаченко С. С. Экология – как критерий эффективности литейного производства будущего / С. С. Ткаченко, А. Н. Болдин // Литье Украины. – 2013. – №7 (155). – С. 19–23

7. Опыт изготовления отливок на основе жидкого стекла с использованием АЦЭГ / О. И. Пономаренко, А. М. Каратеев, Н. С. Евтушенко, Т. В. Берлизева // Металл и литье Украины. – 2010. – № 11. – С. 20…23.

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