

Усенко Р.В., Баркар Р.Р., Шемет В.Ю., Таранов А.А., Білий А.П., Якименко Д.Ю.

Використання золи-виносу у складі формувальних залізофосфатних холоднотвердіючих сумішей

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Usenko R.V., Barkar R.R., Shemet V.Yu., Taranov A.A., Bilyi A.P., Yakymenko D.Yu.

The use of fly ash as a part of the forming iron phosphate cold-hardening mixes

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Анотація. Мета. Застосування в складі формувальних та стрижневих сумішей золи-виносу як часткового заміника кварцового піску. **Методика.** Методики визначення основних технологічних параметрів форм і стрижнів, відповідають застосуванню на профільному виробництві. **Результати.** Розроблено склади багатокomпонентних залізофосфатних формувальних ХТС на основі дисперсних техногенних матеріалів, у якості заміни традиційно використовуваних матеріалів. **Наукова новизна.** Визначили можливості використання, в свіжих та регенерованих холоднотвердіючих залізофосфатних сумішах, золи-виносу у якості наповнювача та/або стабілізатора гранулометричного складу. **Практична значущість.** Застосування техногенних матеріалів у якості заміни традиційно використовуваних, дозволить знизити витрати на виробництво литва та покращити екологічну ситуацію в регіоні розташування ливарного цеху.

Ключові слова: форма, стрижень, залізофосфат, зола-винос.

Abstract. Purpose. Use of fly ash in the composition of molding and core mixtures as a partial substitute for quartz sand. **Methodology.** Methods for determining the main technological parameters of molds and cores correspond to those used in specialized production. **Findings.** Compositions of multicomponent iron phosphate molding CTS based on dispersed technogenic materials have been developed as a replacement for traditionally used materials. **Originality.** The possibilities of using fly ash in fresh and regenerated cold-hardening iron phosphate mixtures as a filler and/or a stabilizer of the granulometric composition have been identified. **Practical value.** The use of technogenic materials as a replacement for traditionally used ones will reduce the costs of casting production and improve the environmental situation in the region where the foundry is located.

Keywords: form, core, iron phosphate, fly ash.

Вступ. На даний час, в умовах обмеженого доступу до природних ресурсів, актуальною проблемою ливарного виробництва є заміна традиційних формувальних матеріалів на більш доступні і дешеві матеріали техногенного походження. В ливарних цехах найбільш доступними і найчастіше використовуваними є техногенні матеріали, які додають в формувальні та стрижневі суміші. Таке використання матеріалів техногенного походження призводить до покращення екологічної ситуації у регіоні та зменшенню об'єму та площі яку займає сховище відповідних матеріалів [1].

До складу сучасних формувальних та стрижневих сумішей можуть входити техногенні матеріали різного походження: прокатна залізна окалина, зола-виносу теплових електростанцій (ТЕС), деревна тирса або вугілля та інші матеріали різної дисперсності та походження [1, 2]. Їх застосування дозволяє отримати значні економічні та технологічні переваги за рахунок зниження собівартості іскорочення тривалості технологічного циклу виготовлення форм та стрижнів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Аналіз літературних джерел [2–9] показав, що оптимальне використання властивостей золи-виносу дозволяє впливати на основні технологічні характеристики формувальної суміші – термостійкість, міцність, газопроникність. Крім, того наведені матеріали дозволяють впливати на гранулометричний склад, адгезію суміші до моделі, міцність зв'язку між частинками складу тощо.

Відомо, що техногенні продукти у ряді випадків не тільки не поступаються за своїми характеристиками традиційним формувальним матеріалам, а й перевершують їх за низкою показників. При цьому важливу роль у якості таких сумішей відіграє її сполучний матеріал [3–7].

Технології, що традиційно застосовують для усунення вище викладених факторів – промивання, плакування, механічна, хімічна та інші методи активації сумішей, мають недоліки, такі як: збільшення тривалості технологічного циклу, додаткова витрата матеріалів, громіздкість обладнання, і т.д. [2–9]. В даній роботі зроблено припущення, що



введення золи-виносу дозволить збалансувати їх взаємний вплив та отримати оптимальні технологічні показники сумішей інформація про що на сьогодні відсутня. Тому робота, що направлена на розробку рекомендацій щодо використання матеріалів техногенного походження, зокрема золи-виносу, в технологіях ливарних цехів є актуальною.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи – застосування в складі формувальних та стрижневих сумішей золи-виносу як часткового заміника кварцового піску.

Завдання досліджень – визначити можливості використання в свіжих та регенованих холоднотвердіючих залізофосфатних сумішах (залізофосфатні ХТС) золи-виносу у якості дисперсного наповнювача або стабілізатора їх гранулометричного складу.

Матеріали та методи дослідження.

Випробування проводили на стандартних зразках відповідно до ГОСТ 23409.7-78 (табл. 2). Живучість досліджуваних формувальних складів становила 20–35 хвилин, що з застосуванням розчину ортофосфорної кислоти низької щільності

$\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$, а також введенням інгібітору твердіння – уротропіну та ПАР – сульфанол [10, 11].

Вимір температури проводили: термометрами занурення, хромель-алюмелевою або вольфрам-ренієвою термопарами в комплекті з потенціометром КСП-4. Розміри вимірювали з точністю 0,01 мм. Масу вимірювали з точністю до 0,01 або 0,1, газопроникність – на приборі мод. 042, по загально прийнятій методиці, рентгеноструктурні дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-3. Щільність вимірювали методом гідростатичного зважування у дистильованій воді, хімічний склад визначали спектрооптичним методом на спектрометрі «SpectromaxX» з відповідним програмним забезпеченням. Обробку експериментальних даних і оцінювання їх на наявність грубих помилок здійснювали методом кореляційно-регресійного аналізу та правила «трьох сигм», використовуючи електронно-обчислювальну техніку та пакети стандартних комп'ютерних програм.

Результати дослідження. Вибір залізо фосфатних ХТС базується на хімічному складі золи-виносу Придніпровської ТЕС, наведеному у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад золи-виносу, мас. % [5]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	FeO	R ₂ O	TiO ₂	ВПП при 1000°C
48,1	23,4	7,2	2,3	1,1	0,7	0,8	2,7	0,5	13,2

Результати хімічних досліджень [8, 9] свідчать, що зола-винос за своїм хімічним складом (див. табл. 1) задовольняє вимогам, що пред'являють до компонентів формувальних сумішей, і може бути додатковим компонентом сполучного матеріалу. При кімнатній температурі додаткове зміцнення такої суміші забезпечуватимуть γ - Fe₂O₃ та MgO, а

при її нагріванні – Al₂O₃ [6–9], які входять до складу золи-виносу.

Частинки золи виносу мають різноманітну форму – від кулястої до форми конгломерату, про що свідчить типовий вигляд частинок золи-виносу представлений рис. 1.

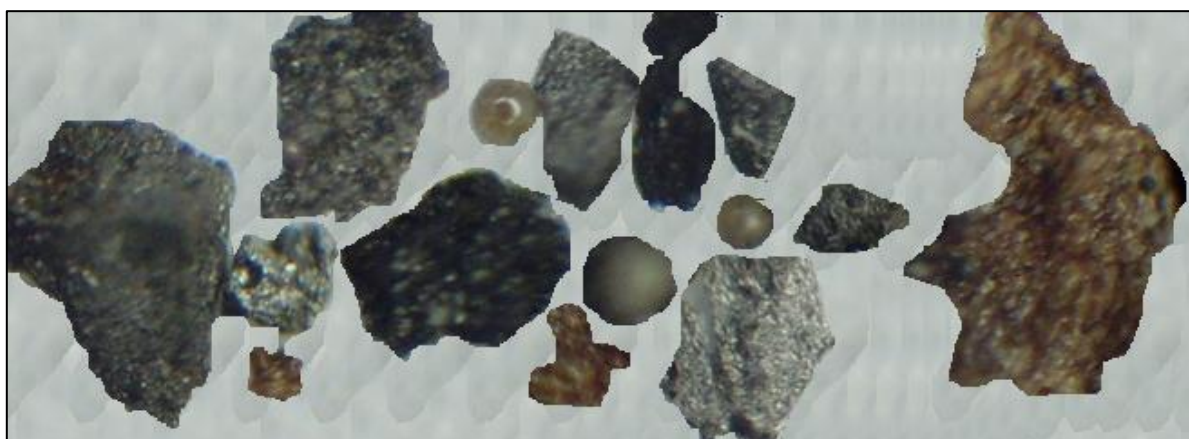


Рисунок 1 – Вигляд частинок золи, ×200

Різнорозмірність форми частинок золи-виносу не погіршує чистоти поверхні виливків у зв'язку з тим, що розмір частинок золи-виносу у 10 та більше разів менший за розміри піщинок кварцового піску. При цьому, використовуючи зола-винос слід

враховувати високий вміст оксидів металів у цьому матеріалі, який вимагає коригування вмісту компонентів у формувальній суміші.

Виходячи з цього в роботі дослідили властивості різнорозмірних складів формувальних сумішей у

складі яких масова доля золи-виносу досягала 10%.

Відповідно до прийнятої методики, перед використанням золу-винос просували на повітрі при 22...27 °C впродовж доби після чого просіювали на ситі з величиною комірки 0,315 мм для видалення великих часток та органічних включень.

Вміст залізної окалини та золи-виносу

обумовлено гранулометричним складом суміші, реакційною здатністю компонентів та їх питомою поверхнею.

Міцність затверділих зразків на стиск визначали при 20 °C і при 250 °C.

Результати визначення міцності затверділих зразків на стиск представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Склад та міцність зразків сумішей на стиск

№ складу	Масовий вміст компонентів компонентів, %				Міцність зразків на стиск після сушіння, МПа		Газопроникність при 20 °C, од
	Пісок	Окалина	Зола-винос	H ₃ PO ₄ *	при 20 °C	при 250 °C	
1.1	93,9	6	-	4,5	0,35	0,18	246
1.2	92,9	7	-	4,5	0,28	0,28	274
1.3	91,9	8	-	4,5	0,20	-	313
2.1	83,9	6	10	4,5	0,21	-	183
2.2	82,9	7	10	4,5	0,28	0,43	163
2.3	81,9	8	10	4,5	0,44	0,60	141
2.4	84,9	5	10	4,5	0,29	0,20	124
3.1	83,9	6	10	6,5	0,52	0,24	222
3.2	82,9	7	10	6,5	0,405	3,55	197
3.3	85,9	5	8	6,5	-	-	-

* – У водний розчин H₃PO₄ додавали 0,01% уротропін тасульфанолю.

Зразки № 1.3 та 2.1 було виключено з подальших вимірювань через низьку міцність, а зразок № 3.3 через неможливість отримання зразка придатного для проведення вимірювань. Зразки № 1.1, 1.2 та 1.3 без використання золи-виносу, але з використанням у якості сполучного компонента окалини заліза були використані для проведення порівняльного аналізу.

Обговорення результатів. Результатами досліджень дозволили визначити вплив золи-виносу на технологічні характеристики та у подальшому скорегувати раціональний вміст компонентів у досліджуваній суміші.

Встановлено, що збільшення вмісту золи-виносу у формувальній суміші призводить до збільшення міцності у 1,1 ... 2,8 рази, та кратному зниженню газопроникності. Тобто, газопроникність зразків зменшується на 4 ... 7 одиниць на кожен відсоток золи, але має прийнятні значення для використання при виробництві виливків простої конфігурації та оболонкових стрижнів.

Пропоновані склади сумішей мають прийнятні технологічні показники і можуть бути рекомендовані для випробування в промислових умовах. Однією з важливих переваг цих складів є те, що вони повністю складаються з екологічно безпечних та біорозкладних матеріалів.

Висновки.

1. Розроблено склади багатокомпонентних залізофосфатних формувальних ХТС на основі дисперсних техногенних матеріалів.

2. Застосування техногенних матеріалів, що входять до складу ХТС, у якості заміни традиційно використовуваних матеріалів, дозволить значно знизити витрати на виробництво литва.

3. Застосування золи-виносу дозволяє залучити до процесу і розпочати його дезактивацію, матеріал техногенного походження, який у своєму звичайному вигляді має негативний вплив на екологічну ситуацію в регіоні розташування ливарного цеху.

Перелік посилань

1. Не відходи, а ресурси: що робити з мільярдами тонн металургійних шлаків України: веб-сайт. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ne-vidhodi-a-resursi-shho-robiti-z-milyardami-tonn-metallurgijnih-shlakiv-ukraini/> (дата звернення: 04.12.2024).
2. В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, О.С. Наумов, Г.В. Фоменко, Р.В. Усенко. Промышленные отходы как альтернатива компонентам термостойких составов формовочных смесей // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - №2. – С. 36-38.
3. Осипенко И.А., Белый А.П. Применение кремнеземистой тонкодисперсной пыли в составах холоднотвердеющих формовочных смесей. Экономический путь к высококачественному литью : тез. докл., Киев, 7-9 июня 2005 г. Киев, 2005. С. 126–127.
4. Осипенко И.А., Репях С.И. Применение тонко дисперсного кремнийсодержащего материала сухой газоочистки феросплавного производства в формовочных смесях. Вестник КГИУ. 2020. № 4 (31). С. 36–41.
5. Gupalo O., Vorobiova L., Osypenko I. Ring furnace regenerative heating system efficiency. Energy transformation sin industry: 14th International Scientific Conference, September 23 – 25. Lubovna, 2015. С. 31–39.

6. Osypenko I. Properties of phosphatic cold hardening mixtures (CHM) with use of ferrosilicon finely dispersed dust, obtained in dry gas cleaning of ferroalloy furnaces. Energy transformation sin industry : 10th International Scientific Conference, june 13 – 15. Tatranska Strba, 2007. С. 268–271.
7. Osypenko, S. Shurapey. Properties of phosphatic cold hardening mixtures (CHM) with use of ferrosilicon finely dispersed dust. MATERIALS AND METALLURGY : 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CROATIAN METALLURGICAL SOCIETY ŠIBENIK, JUNE 22 – 26. ŠIBENIK, 2014. С. 52.
8. Лютий Р.В., Гурія І.М., Кеуш Д.В., Надточій О.С. Розроблення технології виготовлення форм і стрижнів із сумішей з ортофосфорною кислотою і солями натрію. Вестник ДГМА. 2013. №4 (29). С. 140–147.
9. Лютий Р.В., Гурія І.М., Кеуш Д.В., Анісімова О.А. Визначення оптимального складу стрижневих сумішей з новими зв'язувальними компонентами, які утворюються при взаємодії ортофосфornoї кислоти з неорганічними солями алюмінію. Вестник ДГМА. 2013. № 2 (12Е). С. 17–24.
10. Уротропін: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%96%D0%BD> (дата звернення: 04.12.2024).
11. Сульфанол: основні властивості, методи використання та правила зберігання: веб-сайт. URL: <https://soda.kiev.ua/ua/sulfanol-osnovni-vlastyvoli-metody-vykorystannya-ta-pravyla-zberigannya.html> (дата звернення: 04.12.2024).

References

1. Ne vidkhody, a resursy: shcho robyty z mil'yardamy tonn metalurhiynykh shlakiv Ukrainy: veb-sayt. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ne-vidhodi-a-resursi-shcho-robiti-z-milyardami-tonn-metalurgijnih-shlakiv-ukraini/>
2. Khrychikov, V. Ye., Seliverstov, V. YU., Mazorchuk, V. F., Naumov, O. S., Fomenko, G. V., & Usenko, R. V. (2006). Promyshlennyye otkhody kak al'ternativa komponentam termostoykikh sostavov formovochnykh smesey. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, (2), 36-38.
3. Osipenko, I. A., & Belyy, A. P. (2005, 7-9 iyunya). Primeneniye kremnezemistoy tonkodispersnoy pyli v sostavakh kholodnotverdeyushchikh formovochnykh smesey. *Ekonomicheskyy put k vysokokachestvennomu lityu: tez. dokl.*, Kiyev, 126-127.
4. Osipenko, I. A., & Repyakh, S. I. (2020). Primeneniye tonkodispersnogo kremniysoderzhashchego materiala sukhoy gazoочistki ferosplavnogo proizvodstva v formovochnykh smesyakh. *Vestnik KGIU*, 4(31), 36-41.
5. Gupalo, O., Vorobiova, L., & Osypenko, I. (2015, September 23 – 25). Ring furnace regenerative heating system efficiency. Energy transformation sin industry: 14th International Scientific Conference, Lubovna, p. 31-39.
6. Osypenko, I. (2007, june 13 – 15). Properties of phosphatic coldhardening mixtures (CHM) with use of ferrosilicon finely dispersed dust, obtained in dry gas cleaning of ferroalloy furnaces. Energy transformation sin industry : 10th International Scientific Conference, Tatranska Strba, p. 268-271.
7. Osypenko, S. (2014, june 22 – 26). Shurapey. Properties of phosphatic cold hardening mixtures (CHM) with use of ferrosilicon finely dispersed dust. materials and metallurgy: 11th international symposium of croatian metallurgical society šibenik, Šibenik, p. 52.
8. Lyutyy, R. V., Huriya, I. M., Keush, D. V., & Nadtochiy, O. S. (2013). Rozroblennya tekhnolohiyi vyhotovlennya form i stryzhniv iz sumishey z ortofosfornoyu kyslotoyu i solyamy natriyu. *Vestnyk DHMA*, 4(29), 140-147.
9. Lyutyy, R. V., Huriya, I. M., Keush, D. V., & Anisimova, O. A. (2013). Vyznachennya optymal'noho skladu stryzhnevyykh sumishey z novyimi zv'yazuval'nymi komponentamy, yaki utvoryuyut'sya pry vzayemodiyi ortofosfornoyi kysloty z neorhanichnymi solyamy alyuminiyu. *Vestnyk DHMA*, 2(12E), 17-24.
10. Urotropin: Web-site: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%96%D0%BD>.
11. Sulfanol: osnovni vlastyvoli, metody vykorystannya ta pravy lazberihannya: Web-site: <https://soda.kiev.ua/ua/sulfanol-osnovni-vlastyvoli-metody-vykorystannya-ta-pravyla-zberigannya.html>.

Надіслано до редакції / Received: 08.07.2025

Прийнято до друку / Accepted: 08.12.2025