

Лютий Р. В.
Федоров М. М.
Дьяченко Ю. Г.
Кочешков А. С.
Демчук Г. В.
Люта Д. В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ З ФОСФАТАМИ АЛЮМІНІЮ, ЦИРКОНІЮ ТА КРЕМНІЮ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ШТАМПОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

У світовій практиці штампіві вставки на 70% виготовляють способами лиття, при цьому спостерігається тенденція до зниження використання поковок та сортового прокату. З точки зору ливарного виробництва, процес виготовлення цих деталей представляє ряд складнощів. Для їх виготовлення використовують середньо- та високолеговані, часто комплексно леговані сталі. Вони зумовлюють високі вимоги до термічної та фізико-хімічної стійкості ливарних форм. Тому створення нових матеріалів, у першу чергу високоефективних зв'язувальних компонентів для ливарних форм, є актуальним завданням. Як властивості металу формуються на базі його кристалічної структури, так і властивості формувальної (стрижневої) суміші формуються на мікрорівні, в результаті взаємодії зернової основи та плівок зв'язувального компонента між собою. Таким чином, забезпечення належного рівня властивостей сумішей для ливарних стрижнів є шляхом до забезпечення якості форми в цілому і якості отримуваних литих заготовок. Статтю присвячено дослідженню властивостей стрижневих сумішей, які містять зв'язувальні компоненти, синтезовані за оригінальними технологіями з ортофосфорної кислоти та ряду добавок. Серед них пілоподібні вогнетривкі наповнювачі (кварц, циркон, пірофіліт, дистен-силіманіт), а також концентрат алюмінієвих шламів та сульфат алюмінію. Суміші тверднуть при нагріванні в інтервалі від 200 до 300 °С. В роботі було визначено міцність зразків даних сумішей при стисканні і при розриванні, встановлено співвідношення між цими характеристиками. Також визначено важливі властивості запропонованих сумішей з точки зору усунення газових та поверхневих дефектів литих заготовок – газопроникність і газотвірність. Властивості досліджуваних стрижневих сумішей визначали за стандартними методиками та на стандартних зразках, прийнятих для ливарного виробництва. Газотвірну здатність визначено непрямим методом нагрівання проб сумішей до 1000 °С та фіксацією об'єму виділених із проби газоподібних речовин. Встановлено, що за комплексом властивостей представлені суміші можуть бути рекомендовані для виготовлення ливарних стрижнів під час отримання виливків із залізвуглецевих сплавів, у т.ч. литих заготовок штампового інструменту з легованих сталей.

Ключові слова: штамповий інструмент, лита заготовка, стрижнева суміш, зв'язувальний компонент, фосфати алюмінію, газопроникність, міцність при стисканні.

Ефективність процесів пластичної деформації заготовок, незалежно від технологічного процесу і використовуваного устаткування, залежить від матеріалу та технології виготовлення інструменту, призначеного для пластичного деформування металів тиском. Основним способом підвищення стійкості штампів до недавнього часу вважали використання високолегованих штампових сталей, тобто більш дорогих залізвуглецевих сплавів. Сучасний світовий досвід показує, що найбільш раціональним шляхом вирішення проблеми підвищення стійкості штампів, зниження трудомісткості їх виготовлення і собівартості, а також скорочення питомої витрати штапкової сталі та утилізації її відходів є виготовлення штапкового оснащення методами лиття [1]. У світовій практиці останніми роками зростає інтерес до розроблення технологій виготовлення литих штампових вставок високої якості.

Отже, технології обробки металів тиском, як і більшість галузей машинобудування та металургії, все більше використовують литі заготовки та інструмент. Важливою тенденцією також є максимальна точність литих заготовок, яка наближає їх до готових деталей. На сьогодні у світовій практиці близько 70 % штампових вставок являють собою литі вироби. Для їх виготовлення переважно використовують спеціальні та особливі способи лиття і майже ніколи – лиття в разові піщані форми. Це пов'язано із тим, що для умов лиття високолегованих спеціальних сталей, які часто наближаються за механічними та спеціальними властивостями до твердих сплавів, більшість наявних матеріалів для ливарних форм не забезпечують належної

якості готової продукції [2]. Тому створення нових матеріалів, у першу чергу високоефективних зв'язувальних компонентів для ливарних форм і стрижнів, є актуальним завданням.

Як властивості металу формуються на базі його кристалічної структури, так і властивості формувальної і стрижневої сумішей формуються на мікрорівні, в результаті взаємодії зернової основи та плівок зв'язувального компонента (ЗК) між собою. Таким чином, забезпечення належного рівня властивостей сумішей є шляхом до забезпечення якості ливарних форм і стрижнів і, як наслідок, якості отримуваних литих заготовок.

Важливим питанням у ливарному виробництві є розроблення нових високоефективних формувальних і стрижневих сумішей. За попередні роки проведено ряд дослідницьких робіт із удосконалення технології лиття у сирі піщано-бентонітові форми [3-5], розроблення процесу синтезу і використання у складі стрижневих сумішей нового органічного ЗК [6-8]. Також науковці працюють над впровадженням нових процесів зміцнення сумішей з рідким склом [9]; відновився інтерес до металофосфатних стрижневих сумішей [10-12].

Дослідженнями кафедри ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського вперше в технології виготовлення ливарних стрижнів отримано новий клас ЗК, які являють собою пірофосфати металів і принципово відрізняються від раніше відомих ортофосфатів, що мають місце в холоднотвердних сумішах. Досліджено температурні і часові умови отримання пірофосфатів кремнію SiP_2O_7 та цирконію ZrP_2O_7 в системах $\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{SiO}_2$ та $\text{H}_3\text{PO}_4 - \text{ZrSiO}_4$ [13, 14]. Також отримано нові ЗК під час взаємодії ортофосфорної кислоти з алюмовмісними матеріалами різної хімічної природи [15].

Вагомою перевагою вказаних технологічних розробок, порівняно з холоднотвердними сумішами на металофосфатах, є відсутність дорогих та нестабільних за хімічним складом затверджувачів. Запропоновано ряд стрижневих сумішей з ортофосфорною кислотою і комбінованими наповнювачами, які тверднуть при нагріванні, мають міцність при стисканні не менше 2,0 МПа, обсіпаємість не більше 0,5 %, термічну стійкість як мінімум 1000 °С. Приготування і використання 1 тони розроблених сумішей замість піщано-смоляних, залежно від складу, дає змогу зекономити не менше 1000 грн. Для отримання якісного литва особливо важливими є такі властивості сумішей як газопроникність, газотвірність, а також міцність при розриванні (стисканні). Така інформація про наведені фосфатні суміші наразі відсутня.

Метою роботи є проведення для запропонованих стрижневих сумішей дослідження щодо визначення ряду базових властивостей: газопроникності, газотвірної здатності, вибиває мості, міцності при розриванні та стисканні тощо, а також встановлення можливої кореляції між зазначеними показниками та розроблення рекомендацій щодо застосування у ливарному виробництві нових стрижневих сумішей.

Експерименти проведено із сумішами, склад яких наведено в табл. 1. Вміст і співвідношення компонентів визначено за результатами попередніх досліджень [13-16].

Випробування кожної суміші проводили на 6 зразках. Враховуючи відхилення результатів окремих експериментів, виконано математичне оброблення рядів даних з довірчою ймовірністю 95 %. В результаті встановлено, що показник міцності при стисканні суміші № 1 (див. табл. 1) знаходиться в межах 2,0...2,4 МПа, суміші № 2 – 2,8...3,2 МПа, суміші № 3 – 0,65...0,80 МПа. Суміш № 4 має міцність 2,8...3,2 МПа, суміш № 5 – 2,5...3,0 МПа, а суміш № 6 з цирконовим наповнювачем – 3,0...3,5 МПа. Отримані дані свідчать про можливість виготовлення ливарних стрижнів із стабільно високою міцністю.

Таблиця 1

Склад дослідних сумішей

Індекс суміші	Добавка до наповнювача	Наповнювач	H ₃ PO ₄	Температура зміцнення, °С
1	Al-шлам ¹⁾ – 5%	Пісок кварцовий 3K ₅ O ₃ O ₂₅ – 92%	3%	220
2	Зв'язувальний компонент ²⁾ на основі Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O та H ₃ PO ₄ – 7%	Пісок кварцовий 3K ₅ O ₃ O ₂₅ – 86%	вода 7%	200
3	Пірофіліт пилоподібний Al ₂ O ₃ ·4SiO ₂ ·H ₂ O – 5%	Пісок кварцовий 3K ₅ O ₃ O ₂₅ – 92%	3%	300
4	Суспензія (30% пилоподібний дистен-силіманіт Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ , 70% H ₃ PO ₄) – 5%	Пісок кварцовий 3K ₅ O ₃ O ₂₅ – 95%	–	300
5	SiO ₂ пилоподібний – 7%	Пісок кварцовий 3K ₅ O ₃ O ₂₅ – 89%	4%	300
6	ZrSiO ₄ пилоподібний – 6%	Пісок цирконовий – 90,5%	3,5%	340

Примітки: 1. Використаний алюмінієвий шлам являє собою сукупність частинок різних розмірів (від пилоподібних до 2,5 мм) наступного хімічного складу:

SiO₂ – 5,6...14,8%; MgO – 2,4%; Fe₂O₃ – 6,7...11,1%; Al₂O₃ – 48,5%; Σ(Na₂O+K₂O) – 1,75%; P – 0,15%; S – 0,12%; C – 0,5%; втрати при прожарюванні – 8,32%, металевий алюміній – 25,2%.

2. До складу зв'язувального компонента входить 10 мас. ч Al₂(SO₄)₃·18H₂O і 1 мас. ч H₃PO₄. Вказану суміш попередньо піддано витримці протягом 1 год при 200 °С.

Міцність при стисканні визначали на стандартних циліндричних зразках після теплового зміцнення при температурах, вказаних в табл. 1. Для цього використано установку УС-700. Результати наведено на рис. 1.

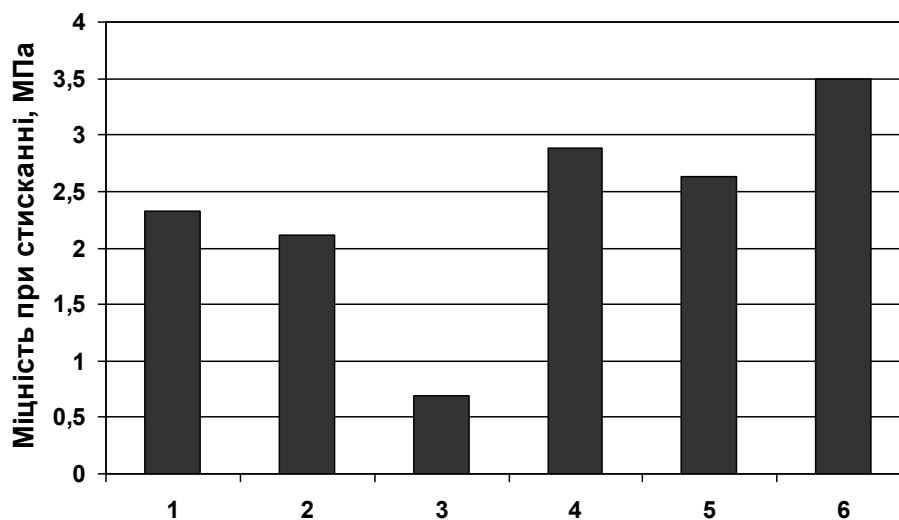


Рис. 1. Міцність стрижневих сумішей при стисканні (індекси сумішей відповідають табл. 1)

Міцність при розриві визначали на стандартних зразках-вісімках, зміцнених при тих же самих температурах, що і циліндричні зразки для визначення міцності при стисканні. Для визначення зусилля розриванню використано прилад моделі 081. Результати наведено на рис. 2.

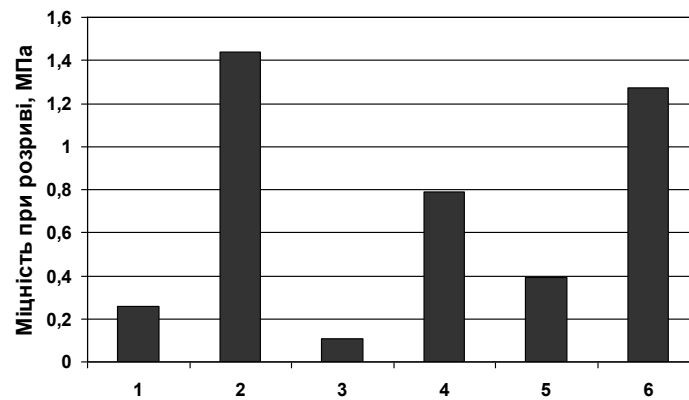


Рис. 2. Міцність стрижневих сумішей при розриві (індекси сумішей відповідають табл. 1)

Співвідношення між значеннями міцності при розриві та стисканні наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Співвідношення між міцністю при стисканні і при розриві

Індекс суміші	Міцність, МПа		
	при стисканні	при розриві	коефіцієнт співвідношення
1	2,32	0,26	8,9
2	3,01	1,44	1,6
3	0,69	0,11	6,3
4	2,89	0,79	3,7
5	2,63	0,39	6,7
6	3,5	1,27	2,9

Міцність при розриві є меншою за міцність при стисканні для усіх сумішей, але певного постійного співвідношення між цими значеннями не встановлено. В літературі наводяться співвідношення від 2,5...10,0 [17]. В результаті проведеного експерименту отримано також абсолютно різні значення: 1,6...8,9. Це свідчить про те, що співвідношення показників міцності залежить від складу сумішей і жодного універсального перерахунку зробити не можна.

Міцність при розриві є важливою характеристикою при виготовленні особливо складних стрижнів, які несуть значні механічні навантаження. Таким чином, для виготовлення стрижнів першого класу складності можна рекомендувати суміші № 2, 4 і 6 як такі, що мають найвищий рівень міцності.

Обсипаємість визначали на стандартних циліндричних зразках на установці моделі 051. Результати наведено на рис. 3.

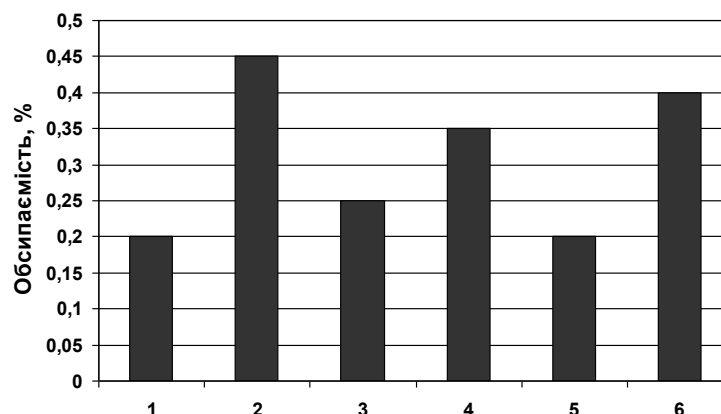


Рис. 3. Обсипаємість стрижневих сумішей (індекси сумішей відповідають табл. 1)

Для стрижневих сумішей обсапаємість має не перевищувати 1 %, що в усіх випадках виконується із значним запасом.

Газопроникність є найважливішою характеристикою суміші після міцності, адже стрижень, особливо внутрішній, має забезпечити евакуацію газів і уникнення газових дефектів у виливках. Газопроникність визначали на стандартних циліндричних зразках у гільзах висотою 120 мм на установці моделі 042 при діаметрі ніпелю 1,5 мм. Результати наведено на рис. 4.

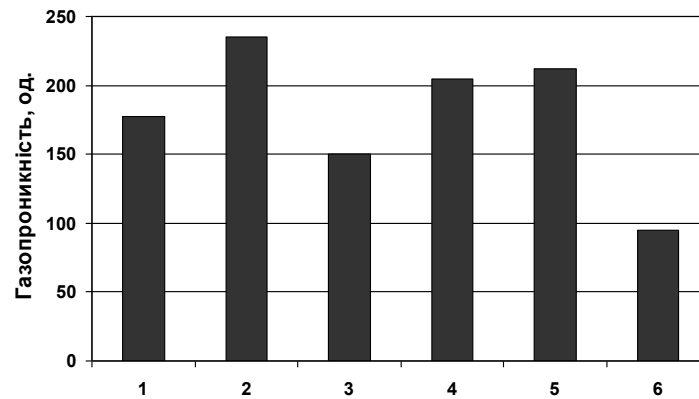


Рис. 4. Газопроникність стрижневих сумішей (індекси сумішей відповідають табл. 1)

Усі суміші мають достатньо високу газопроникність (більше 150 одиниць), окрім тієї, яка містить цирконовий наповнювач. Це пояснюється тим, що утворені в сумішах зв'язувальні компоненти покривають зерна наповнювача досить тонким шаром, не закупорюючи пори між ними. Низька газопроникність цирконових зразків пов'язана із дрібними розмірами зерен цирконового піску (середній діаметр часток 0,09 мм). Відносно невисока газопроникність сумішей з пилоподібним пірофілітом зумовлена особливостями взаємодії цього матеріалу з ортофосфорною кислотою, внаслідок якої в порах залишається певна кількість пилоподібних часток.

Іншою властивістю, яка впливає на чистоту виливків по газовим дефектам, є газотвірність. Чим вона менша, тим менша ймовірність утворення подібних дефектів у виливку і тим менші значення газопроникності допускаються для таких стрижнів. Взагалі газотвірність якісних сумішей не має перевищувати 10 см³/г. Цю характеристику визначали непрямым методом при нагріванні наважок масою 1 г до 1000 °С. Результати наведено на рис. 5.

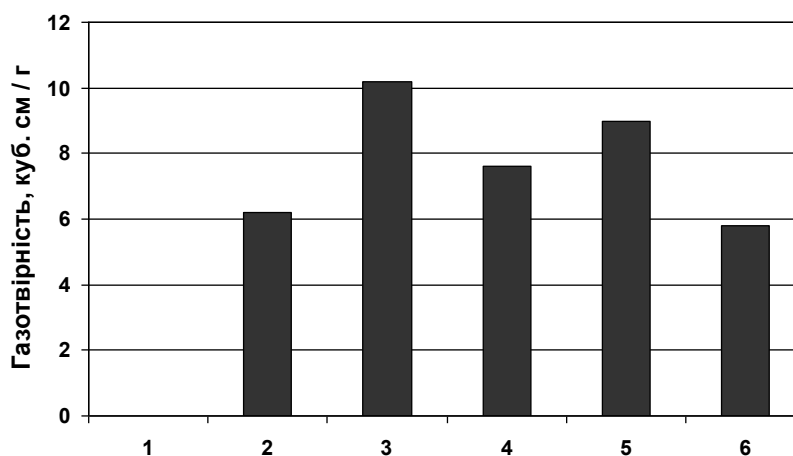


Рис. 5. Газотвірність стрижневих сумішей (індекси сумішей відповідають табл. 1, газотвірність суміші № 1 не визначали)

Мінімальні значення отримано на сумішах із зв'язувальними системами ортофосфорної кислоти з сульфатом алюмінію та ортофосфорної кислоти з пилоподібним цирконом. Але

і решта сумішей не мають незадовільних показників. Це в свою чергу свідчить про низьке газовиділення стрижнів при заливанні. Тому ЗК, які входять до їх складу, є перспективними та мають забезпечити отримання якісного литва.

Процес виготовлення виливків, особливо із легованих сталей, часто пов'язаний із складністю вилучення стрижнів із внутрішніх порожнин. Непрямим числовим показником трудомісткості вилучення стрижнів із виливків вважають роботу вибивання. Визначали роботу вибивання стандартних циліндричних зразків із експериментальної проби, яку заливали вуглецевою сталлю 25Л, за кількістю ударів лабораторного копра по зразку. Сумарну роботу вибивання кожної суміші наведено на рис. 6.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що суміші значною мірою відрізняються за трудомісткістю вибивання (рис. 6). Найменше зусилля (зразки вибиваються одним ударом копра) має суміш із ЗК, синтезованим з ортофосфорної кислоти і сульфату алюмінію. Це пов'язано із особливістю фізико-хімічних перетворень у складі ЗК під час нагрівання, яка полягає в розпаді сульфатної складової, що і призводить до зниження залишкової міцності [16].

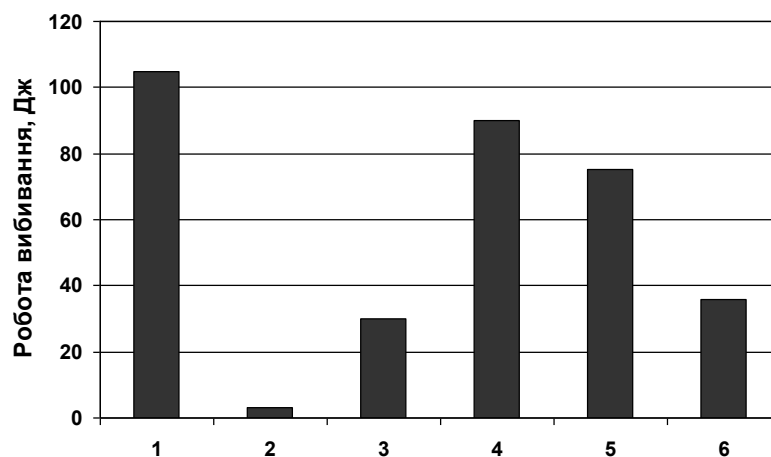


Рис. 6. Робота вибивання стрижневих сумішей із внутрішніх порожнин виливків

Відносно легко вибивається суміш №3, але через низькі показники міцності (рис. 1, 2) її не можна рекомендувати до використання. Решта сумішей забезпечують задовільну вибиваемість, зважаючи на те, що вони містять неорганічні ЗК, які під час нагрівання мають мінімальні фізико-хімічні зміни. Суміш №1 містить алюмінієвий шлам, який є продуктом комплексного хімічного складу, отже до підвищення залишкової міцності призводить взаємодія між його складовими.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дають змогу зробити наступні висновки:

1. За рівнем фізико-механічних властивостей (міцність при стисканні, при розриві та обсіпаємість) суміші з ортофосфорною кислотою і активними добавками (алюмінієвий шлам, пилоподібні кварц, циркон та дистен-силіманіт, сульфат алюмінію), які тверднуть при нагріванні, можуть бути рекомендовані для виготовлення ливарних стрижнів, в тому числі складних.

2. Встановлено, що співвідношення між міцністю зразків стрижневих сумішей після теплового твердіння при розриві і при стисканні знаходиться в широких межах (відрізняється від 1,6 до 8,9 разів) і є залежним в першу чергу від складу стрижневої суміші, тобто певного універсального співвідношення, навіть для схожих за типом твердіння сумішей, не існує.

3. Внаслідок обов'язкового нагрівання для здійснення процесу твердіння, досліджені суміші з неорганічними фосфатними зв'язувальними компонентами мають низьке газовиділення при нагріванні до 1000 °С (менше 10 см³/г), а їх газопроникність більше 150 одиниць. За таких умов суміші є придатними для отримання якісного литва, в т. ч. із легованих штампових сталей.

4. Результати визначення роботи вибивання дають змогу рекомендувати стрижневі суміші, в яких фосфатні зв'язувальні компоненти утворюються в результаті взаємодії ортофосфорної кислоти з пілоподібними вогнетривами (кварцом, цирконом, дистен-силіманітом), а також із сульфатом алюмінію, для виготовлення литих деталей із залізобуглецевих, в т.ч. високолегованих, сплавів для штампів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартель Г.П., Федоров Н.Н., Тупчиенко В.И. Перспективная технология изготовления износостойкого литого штампового инструмента. *Материали II міжнародної науково-практичної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»*. Краматорськ. ДДМА. 2004. С. 113.
2. Федоров Г.Е., Платонов Е.А., Ямшинский М.М., Лютий Р.В. Стальное литье: монография. Киев: ПАО «Випол». 2013. 896 с.
3. Федоров Н.Н. Методические аспекты определения свойств бентонитовых формовочных глин. *Литье и металлургия*. 2014. 4(77). С. 19–23.
4. Федоров Н.Н. Аддитивный способ изменения свойств бентонитовой формовочной глины. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2010. 3(20). С. 249–253.
5. Лютий Р.В., Федоров М.М., Фесенко М.А., Люта Д.В. Регулирование властивостей піщано-глинястих формувальних сумішей добавками фосфатів натрію. *Наукові вісті НУ «Запорізька політехніка»*. 2023. 2. С. 38–45.
6. Пономаренко О.И., Каратеев А.М., Евтушенко Н.С., Бережная А.В. Использование смолы ОФОС в литейном производстве. *Процессы литья*. 2010. 6(84). С. 27–32.
7. Каратеев А.М., Пономаренко О.И., Евтушенко Н.С., Восковец В.Г., Литвинов Д.А. Получение качественных отливок на основе смоляных связующих. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2010. 3(20). С. 150–153.
8. Евтушенко Н.С., Шинский О.И., Пономаренко О.И. Исследование свойств регенерируемых смесей на основе ОФОС. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2013. 4(34). С. 48–51.
9. Берлизева Т.В., Пономаренко О.И., Качанова Н.А. Моделирование свойств ХТС на основе хромитового песка и циклокарбонатов. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2015. 1(39). С. 48–51.
10. Усенко Р.В., Хрычиков В.Е., Селиверстов В.Ю., Мазорчук В.Ф. Использование вторичных материалов в новых составах железосфатных холоднотвердеющих смесей. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2006. 6/1(24). С. 40–42.
11. Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Бикова А.С. Дослідження технологічних властивостей залізофосфатних формувальних сумішей, що містять високодисперсні золівідходи ТЕС. *Молодий вчений*. 2016. 8(35). С. 156–161.
12. Liutyi R.V., Solonenko L.I., Osypenko I.O., Fedorov M.M., Moroz V.I. Physicochemical structure features of refractory compositions with inorganic binders. *Physics and chemistry of solid state*. 2022. 23. 3, pp. 612–619. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.23.3.612-619>
13. Liutyi R., Liuta D., Petryk I. Structural Construction of Binders Based on Orthophosphoric Acid and Refractory Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6667769>
14. Кеуш Д.В. Закономерности образования связующих из ортофосфорной кислоты и огнеупорных наполнителей. *Процессы литья*. 2015. 4(112). С. 40..46.
15. Liutyi R., Tyshkovets M., Liuta D. Foundry core mixtures with orthophosphoric acid and different aluminum-containing compounds. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. 21. 1, pp. 176-184. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.21.1.176-184>
16. Liutyi R.V., Tyshkovets M.V., Yamshinskij M.M., Selivorstov V. Yu., Ivanov V.G., Synthesis of phosphosulphate substance and properties of its structured mixture with quartz sand. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. 4, pp. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-4/059>
17. Дорошенко С. П. Формувальні суміші / С. П. Дорошенко. Київ : ІЗМН. 1997. 140 с.

REFERENCES

1. Bartel G.P., Fedorov N.N., Tupchienko V.I. A promising technology for the manufacture of wear-resistant cast die tools. *Materials of the II International Scientific and Practical Conference “Important machine-building. Problems and prospects for development”*. Kramatorsk: DSEA. 2004, pp. 113. (in Russian).
2. Fedorov G.E., Platonov E.A., M.M. Yamshinsky, R.V. Lyuty. Steel casting: monograph. Kiyv: VIPOL. 2013. 896 p. (in Russian).
3. Fedorov N.N. Methodological aspects of determining the properties of bentonite molding clays. *Casting and Metallurgy*. 2014. 4 (77), pp. 19–23. (in Russian).

4. Fedorov N.N. Additive method of changing the properties of bentonite molding clay. *Herald of the Donbass State Engineering Academ.* 2010. 3(20), pp. 249 – 253. (in Russian).
5. Liutyi R.V., Fedorov M.M., Fesenko M.A., Liuta D.V. Regulation of the power of food-clay molding sums with sodium phosphate additives. *Naukovi visti NU "Zaporizka Polytechnic".* 2023. 2, pp. 38–45. (in Ukrainian).
6. Ponomarenko O.I., Karateev A.M., Evtushenko N.S., Berezhnaya A.V. The use of OPOS resin in foundry production. *Casting Processes.* 2010. 6 (84), pp 27 –32. (in Russian).
7. Karateev A.M., Ponomarenko O.I., Evtushenko N.S., Voskovets V.G., Litvinov D.A. Obtaining high-quality castings based on resin binders // *Herald of the Donbass State Engineering Academy.* 2010. 3(20). P. 150–153. (in Russian).
8. Evtushenko N.S., Shinskii O.I., Ponomarenko O.I. Study of the properties of regenerated mixtures based on OFOS // *Compressor and Power Engineering.* 2013. 4 (34). P. 48-51. (in Russian).
9. Berlizeva T.V., Ponomarenko O.I., Kachanova N.A. Modeling the properties of CTS based on chromite sand and cyclocarbonates // *Compressor and Power Engineering.* 2015. 1 (39). P. 48 ... 51. (in Russian).
10. Usenko R.V., Khrychikov V.E., Seliverstov V.Yu., Mazorchuk V.F. The use of secondary materials in new compositions of iron-phosphate cold-hardening mixtures // *Eastern European Journal of Advanced Technologies.* 2006. 6/1 (24). P. 40-42. (in Russian).
11. Selivyorstov V.Yu., Dotsenko Yu.V., Bikova A.S. Investigation of the technological properties of the phosphate molding sums to avenge the high-dispersion ash of TES // *Molodiy Vcheniy.* 2016. 8 (35). P. 156-161. (in Ukrainian).
12. Liutyi R.V., Solonenko L.I., Osypenko I.O., Fedorov M.M., Moroz B.I. Physicochemical structure features of refractory compositions with inorganic binders // *Physics and Chemistry of Solid State.* 2022. 23. 3, pp. 612-619. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.23.3.612-619>
13. Liutyi R., Liuta D., Petryk I. Structural Construction of Binders Based on Orthophosphoric Acid and Refractory Materials // *Advances in Materials Science and Engineering.* 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6667769>
14. Keush D.V. Patterns of the formation of binders from phosphoric acid and refractory fillers // *Casting Processes.* 2015. 4 (112). P. 40-46. (in Russian).
15. Liutyi R., Tyshkovets M., Liuta D. Foundry core mixtures with orthophosphoric acid and different aluminum-containing compounds // *Physics and Chemistry of Solid State.* 2020. – V. 21. 1, pp. 176-184. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.21.1.176-184>
16. Liutyi R.V., Tyshkovets M.V., Yamshinskij M.M., Selivyorstov V. Yu., Ivanov V.G., Synthesis of phosphosulphate substance and properties of its structured mixture with quartz sand // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2022. 4. P. 59-65. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-4/059>
17. Doroshenko S. P. Molding mixtures / S. P. Doroshenko. Kiev : IZMN. 1997. 140 p. (in Ukrainian).

Liutyi R., Fedorov M., Dyachenko Yu., Kocheshkov A., Demchuk H., Liuta D. Technological properties of core mixtures with phosphates of aluminum, zirconium and silicon for the production of cast blanks of a stamping tool.

In world practice, 70% of die inserts are made by casting methods, while there is a tendency to decrease the use of forgings and graded rolled products. From the point of view of foundry production, the process of obtaining these parts presents a number of difficulties. For their manufacture, medium- and high-alloyed, often complex alloyed steels are used. They predetermine high requirements for thermal and physical-chemical resistance of casting molds. Therefore, the creation of new materials, primarily highly effective binding components for casting molds, is an urgent task. Both the properties of the metal are formed on the basis of its crystal structure, and the properties of the molding (core) mixture are formed at the micro level, as a result of the interaction of the grain base and the films of the binding component with each other. Thus, ensuring the proper level of properties of mixtures for casting cores is a way to ensure the quality of the mold as a whole and the quality of the resulting cast blanks. The article is devoted to the study of properties of core mixtures containing binding components synthesized by original technologies from orthophosphoric acid and a number of additives. Among them are dusty refractory fillers (quartz, zircon, pyrophyllite, disten-sillimanite), as well as aluminum sludge concentrate and aluminum sulfate. The mixtures solidify when heated in the range from 200 to 300 °C. In the work, the strength in compression and at break of the samples of these mixtures was determined, and the relationship between these characteristics was established. The important properties of the proposed mixtures from the point of view of elimination of gas and surface defects of cast blanks are also determined - gas permeability and gas formation. The properties of the studied core mixtures were determined by standard methods and on standard samples accepted for foundry production. The gas-forming ability was determined by an indirect method, by heating samples of mixtures to 1000°C with subsequent fixation of the volume of gaseous substances released from the sample. It has been established that, based on the set of properties, the presented mixtures can be recommended for the production of casting cores in the production of castings from iron-carbon alloys, incl. cast blanks of a stamping tool from alloy steels.

Keywords: die tool, cast blank, core mixture, binder component, gas permeability, compressive strength, tensile strength.

Лютій Ростислав Володимирович – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Liutyi Rostislav – PhD, docent of the NTUU "Igor Sikorsky KPI"
E-mail: rvl2005@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6655-6499>

Федоров Микола Миколайович – канд. техн. наук, доц. ДДМА
Fedorov Mikola – PhD, docent of the DSEA
E-mail: nikolay.fedorov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2149-5861>

Дьяченко Юрій Григорович – канд. техн. наук, доц. ДДМА
Dyachenko Yury – PhD, docent of the DSEA
E-mail: dyachenko.yurij.1978@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0711-8354>

Кочешков Анатолій Сергійович – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Kocheshkov Anatoly – PhD, docent of the NTUU "Igor Sikorsky KPI"
E-mail: asko@iff.kpi.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6923-1403>

Демчук Гліб Вікторович – канд. техн. наук, доц. ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»
Demchuk Hlib – PhD, docent of the «Technical University «Metinvest Polytechnic», LLC
E-mail: Hlib.Demchuk@mipolytech.education
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3939-5516>

Люта Дар'я Вікторівна – канд. техн. наук, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Liuta Dar'ya – PhD, NTUU "Igor Sikorsky KPI"
E-mail: dawusikya@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5247-4713>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»), м. Київ
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (NTUU "Igor Sikorsky KPI"), Kyiv

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ
Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка» (МІП), м. Запоріжжя
LLC Technical University "Metinvest Polytechnic" (MIP), Zaporizhzhia

Стаття надійшла до редакції 12.07.23 р.