

## ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### TECHNOLOGIES OF OBTAINING AND PROCESSING OF CONSTRUCTION MATERIALS

УДК 621.742

- Лютий Р. В. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, *e-mail*: [rvt2005@ukr.net](mailto:rvt2005@ukr.net), ORCID: 0000-0001-6655-6499
- Федоров М. М. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології і обладнання ливарного виробництва Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, Україна, *e-mail*: [nikolay.fyodorov@gmail.com](mailto:nikolay.fyodorov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-2149-5861
- Фесенко М. А. канд. техн. наук, доцент, провідний науковий співробітник 1-го науково-дослідного відділу науково-дослідної лабораторії криміналістичної та спеціальної техніки державного НДІ МВС України, Київ, Україна, *e-mail*: [fesmak@ukr.net](mailto:fesmak@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8218-4154
- Люта Д. В. канд. техн. наук, кафедра ливарного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, *e-mail*: [dawusikya@gmail.com](mailto:dawusikya@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5247-4713

### РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІЩАНО-ГЛИНЯСТИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДОБАВКАМИ ФОСФАТІВ НАТРІЮ

**Мета роботи.** Вивчення впливу добавок фосфатів натрію на властивості оборотної піщано-глинястої суміші в сирому і сухому стані для підвищення якості виливків із залізвуглецевих і алюмінієвих сплавів.

**Методи дослідження.** Використано оборотну формувальну суміш на основі кварцового піску та каолінової глини. Досліджено вплив трьох добавок (триполіфосфат натрію, гексаметафосфат натрію та пірофосфат натрію) в кількості від 0,5 до 2,0 %. Визначено властивості: вміст глинястої складової, міцність, газопроникність, обсипаємість, текучість, формувальність, ущільнювальність суміші – за стандартними методами.

**Отримані результати.** Досліджено ефективні добавки для забезпечення можливостей багаторазового використання оборотних формувальних піщано-глинястих сумішей. Особливу увагу приділено регулюванню властивостей суміші в сухому стані, оскільки це питання на сьогодні значно менше досліджено. З цією метою вперше використано фосфати натрію, які виробляються хімічною промисловістю в достатній кількості. Як матеріали, які впливають на властивості суміші в цілому, їх раніше не розглядали.

**Наукова новизна.** Вперше встановлено позитивний вплив добавок фосфатів натрію на фізико-механічні властивості оборотних піщано-глинястих сумішей (міцність та обсипаємість). Цей вплив проявляється в тому, що вказані добавки сприяють незначному покращенню властивостей у сирому стані і дуже значному покращенню цих властивостей в сухому стані. На важливі технологічні властивості (текучість, ущільнювальність, формувальність) вплив практично відсутній.

**Практична цінність.** За результатами проведених експериментів рекомендовано використовувати добавки триполіфосфату або гексаметафосфату натрію в кількості від 0,5 до 1,0 % для значного покращення властивостей піщано-глинястих ливарних форм у сухому стані. Використання цих добавок усуває появу поверхневих дефектів у литих деталях із алюмінієвих та залізвуглецевих сплавів.

**Ключові слова:** виливок, властивості, ливарна форма, міцність, оборотна суміш, формувальна суміш, фосфати натрію.

#### Вступ

Лиття у піщано-глинясті форми є найпоширенішим процесом виготовлення литих деталей у світі. Перевагами процесу є високі обсяги вироб-

ництва, низькі виробничі витрати, легкість в управлінні [1]. Оскільки зниження цін залишається важливою глобальною тенденцією, процес виготовлення сирих піщаних форм і далі залишатиметься основним в ливарному виробництві [2, 3].

В Україні для потреб ливарного виробництва споживається близько 15 % всього використовуваного бентоніту, тоді як в Європі цей показник становить понад 50 % [4]. Отже, слід очікувати подальшого розширення промислових обсягів процесу лиття у піщано-глинясті форми.

Для формовки по-сирому використовують піщано-бентонітові суміші з вологовмістом 2,8...3,2 %. В технологічних процесах формовки по-сухому застосовують піщано-каолінові суміші, форми з яких сушать при температурах 200...350 °С [5].

Проведені у різні роки статистичні дослідження показали, що 45...55 % втрат від браку виливків обумовлено коливаннями складу і, відповідно, властивостей формувальних сумішей [6].

### Аналіз досліджень та публікацій

Підвищення якості виливків досягають шляхом введення в формувальну суміш спеціальних добавок. У піщано-бентонітових сумішах для формовки по-сирому використовують чотири види добавок: проти-пригарні, протиужиминні, для покращення технологічних властивостей, стабілізатори вологості [7].

Стійкість до утворення ужимин підвищують за рахунок добавок 0,75 % целолігніну (речовини, яка утворюється при переробленні дубової сировини) [4], 1,5 % агрімусу (побічного продукту проведення пентозного гідролізу кукурудзяних качанів) [5, 8], 1,0 % екструзійного крохмаловмісного реагенту або 0,1 % крохмаліту [4, 5, 9]. Ці добавки також позитивно впливають на технологічні властивості, а деякі з них – на міцність і газопроникність суміші.

Для поліпшення ущільнювальності, текучості і формувальності єдиних піщано-бентонітових сумішей до їх складу вводять добавки ПАР (ДС-РАС, контакт Петрова), органічні зв'язувальні компоненти (КО, УСК), знижувачі в'язкості (нітролігнін [10], окзіл [5], ПФЛХ – поліфенольний лісохімічний знижувач в'язкості), УЩР (вуглежний реагент), ігетан у кількості 0,1...0,5 % [11]. Додавання зокрема ПАР дає змогу не тільки покращити умови змішування компонентів суміші, але й забезпечує можливість значно скоротити тривалість сумішоприготування (в 1,5 рази) до досягнення оптимальних показників технологічних властивостей.

Для зниження обсіпаємості, підвищення текучості і досягнення рівномірної щільності суміші в готовій формі до неї додають мінеральну олію в кількості 0,1...1,0 % [12] або азбест [5]. Текучість також підвищується після додавання 2,0 % технічного лігно-сульфонату [8] або патоки [13].

Для зниження в'язкості піщано-бентонітових суспензій, які використовують в процесі приготування сумішей, використовують добавки гексаметафосфату натрію або триполіфосфату натрію в кількості 0,5...1,5 % [13]. Добавки призводять до зниження витрати бентоніту та підвищення технологічних властивостей суміші.

В одиничному і дрібносерійному виробництві часто використовують формовку у піщано-глинястих формах по-сухому. Після сушіння суміш не містить вологи, має підвищену загальну та поверхневу міцність, менше схильна до фізико-хімічної взаємодії з металевими розплавами, а тому забезпечує кращу якість литих поверхонь [1, 11]. Однак після багаторазового використання властивості суміші значною мірою знижуються через накопичення значної кількості небажаних домішок (пилу, вуглецевих та органічних речовин, неактивної глини тощо). В результаті знижується міцність та газопроникність, підвищується обсіпаємість. Також знижуються технологічні властивості, важливі для якісного відтворення сумішню конфігурації модельного оснащення, що в комплексі призводить до появи у виливках відповідних дефектів [6, 15].

Для вирішення цієї проблеми, як визначено із літературних джерел, використовують добавки у відносно невеликій (не більше 2 %) кількості. Основне призначення добавок – збільшення міцності і зниження обсіпаємості в сухому стані, без погіршення основних показників у сирому стані.

В цьому плані актуально дослідити добавки фосфатів натрію, які виробляються хімічною промисловістю в достатній кількості. Деякі з них (зокрема, триполіфосфат і гексаметафосфат) знайшли обмежене застосування, виключно як технологічні добавки у бентонітових суспензіях. Як матеріали, які впливають на властивості суміші в цілому, їх не розглядали. Крім них, у наших попередніх роботах створено новий зв'язувальний компонент на основі ортофосфорної кислоти і триполіфосфату натрію, призначений для виготовлення стрижнів при нагріванні до 150 °С [16, 17]. Цей матеріал також може потенційно розглядатися як технологічна добавка в формувальній суміші.

### Мета роботи

**Метою роботи** є вивчення впливу добавок фосфатів натрію на властивості оборотної піщано-глинястої суміші в сирому і сухому стані для підвищення якості виливків із залізобетонних і алюмінієвих сплавів.

#### Задачі:

1. Проаналізувати властивості оборотної формувальної суміші в сирому і сухому стані та визначити показники, які найбільш негативно впливають на якість литва.

2. Дослідити вплив трьох добавок (триполіфосфату натрію; гексаметафосфату натрію; зв'язувального компонента на основі ортофосфорної кислоти і триполіфосфату натрію) у кількості до 2,0 % на властивості суміші в сирому та в сухому стані.

3. Виготовити ливарні форми для заливання чауном та алюмінієвим сплавом і встановити вплив добавок на якість поверхонь одержаних виливків.

4. Розробити рекомендації щодо застосування добавок фосфатів натрію для регулювання властивостей оборотної піщано-глинястої суміші.

### Матеріал і методика досліджень

В експериментах використано оборотну формувальну суміш на основі кварцового піску  $3K_5O_3 \cdot 0,25$  та каолінової глини  $KM_3T_3$ .

Як добавки досліджено наступні фосфати натрію:

- триполіфосфат натрію (ТПФН) ГОСТ 13493-86;
- гексаметафосфат натрію (ГМФН) ГОСТ20291-80;
- пірофосфат натрію (ПФН). Для приготування

цього матеріалу використано ортофосфорну кислоту (1 мас. ч.) та триполіфосфат натрію (5 мас. ч.). Після їх змішування отриману композицію витримували при температурі 150 °С протягом 1 год. Після охолодження подрібнювали та просіювали через сито з розміром вічка 0,2 мм.

Для приготування сумішей використано лабораторний змішувач з вертикально розташованими котками моделі 018М. Тривалість перемішування 5 хв. Під час приготування відбирали проби для контролю вологості прискореним методом.

Дві добавки (ТПФН і ПФН) являють собою білі дрібнодисперсні порошки. Ці речовини в розрахованих кількостях завантажували безпосередньо у змішувач, жодних інших компонентів не додавали. ГМФН являє собою відносно крупні шматки (глиби) розмірами від одного до декількох сантиметрів. Подрібнення матеріалу ускладнено внаслідок його високої твердості. Тому ГМФН використано у вигляді водного розчину (кількість води приблизно дорівнює кількості ГМФН).

Всі властивості формувальної суміші визначено за стандартними методиками: вміст глинястої складової згідно ГОСТ 29234.1-91 на приладі моделі 021, міцність при стисканні за стандартними циліндричними зразками на приладі моделі 051, міцність при розриванні за стандартними зразками-вісітками на приладі моделі 081, газопроникність – на приладі моделі 042 з діаметром ніпеля 1,5 мм, обсипаємість – на приладі моделі 056, текучість – за пробєю Г. М. Орлова (ГОСТ23409.17-78), ущільнювальність – згідно ГОСТ 23409.13-78, формувальність – згідно ГОСТ 23409.15-78.

Властивості формувальної суміші після багаторазового використання, взятої за основу експерименту, представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості оборотної формувальної суміші

Властивості	Числові значення
<b>У сирому стані</b>	
Вологість, %	5,2
Міцність при стисканні, кПа	90
Газопроникність, од	46
Обсипаємість, %	0,3
Текучість, %	30
Формувальність, %	52
Ущільнювальність, %	46
Глиняста складова, %	18,9
<b>У сухому стані</b>	
Міцність при розриванні, кПа	33
Обсипаємість, %	1,2

Внаслідок накопичення пилоподібної фракції та інших забруднень суміш не забезпечує належної якості литва, оскільки її властивості (особливо в сухому стані) знаходяться на низькому рівні.

### Результати та їх обговорення

Початкова суміш має низьке значення газопроникності (див. табл. 1), тому в першу чергу необхідно було переконатися, що додавання фосфатів натрію не спричинить подальшого зниження цього показника, при якому використання суміші буде ускладненим або взагалі неможливим.

Як видно з отриманих результатів (рис. 1) фосфати натрію не мають вираженого впливу на газопроникність. Після додавання кожного із них у кількості 1,5 % і більше ця характеристика повністю стабілізується.

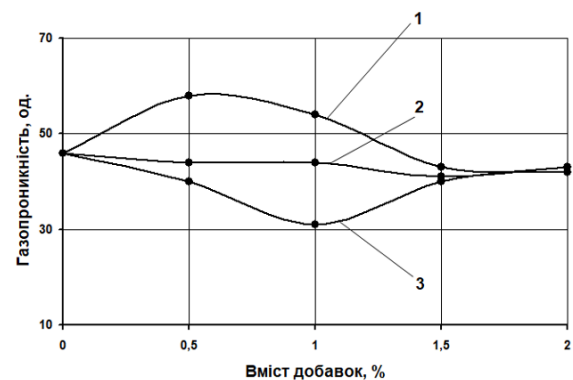


Рисунок 1. Вплив добавок на газопроникність формувальної суміші:

1 – добавка ТПФН; 2 – добавка ПФН; 3 – добавка ГМФН

З графіків на рис. 2 бачимо, що додавання 0,5 % кожного із фосфатів натрію підвищує міцність. Максимум міцності для ТПФН відповідає вмісту цієї добавки 1,0 %. Додавання ГМФН більше ніж 0,5 % навпаки погіршує міцність, що зумовлено способом використання цієї добавки (у вигляді водного розчину) та відповідним підвищенням вологості суміші.

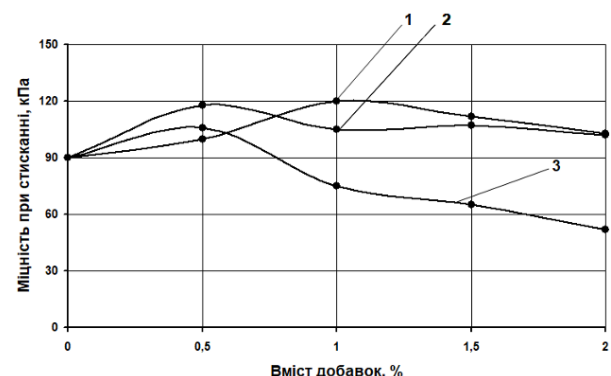
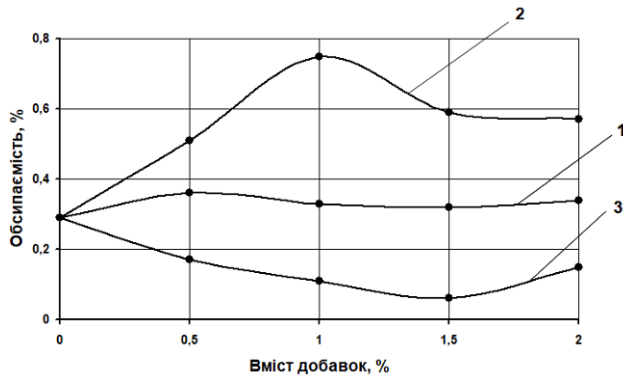


Рисунок 2. Вплив добавок на міцність формувальної суміші:

1 – добавка ТПФН; 2 – добавка ПФН; 3 – добавка ГМФН

ПФН підвищує значення обсипаємість суміші з 0,3 % до майже 1,0 %, як видно із рис. 3 (крива 2), що

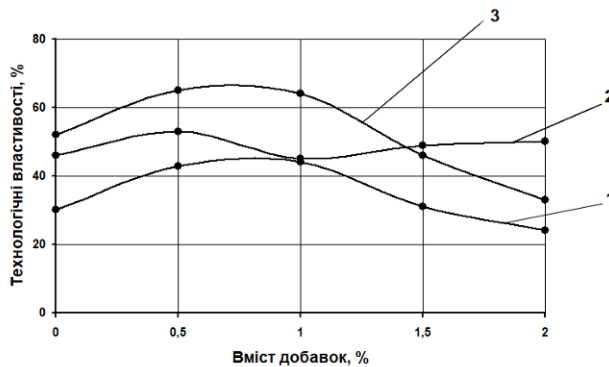
може ускладнювати роботу при виготовленні форм та негативно відобразитись на якості литва. При додаванні ГМФН надлишкова волога сприяє зниженню в'язкості глинястих плівок, що покращує зв'язування часток піску (крива 3), але після 1,5 % надмірна волога призводить до послаблення цих зв'язків і обсіпаємість незначною мірою збільшується. ТПФН практично не впливає на обсіпаємість (крива 1).



**Рисунок 3.** Вплив добавок на обсіпаємість формувальної суміші:

1 – добавка ТПФН; 2 – добавка ПФН; 3 – добавка ГМФН

На рис. 4 показано вплив добавки ГМФН на технологічні властивості суміші. Із графіків видно, що цей вплив є мінімальним. У кількості 0,5...1,0 % добавка незначною мірою підвищує текучість і формувальність, оскільки послаблює сили внутрішнього тертя між частками піску. Вміст ГМФН понад 1,0 % є небажаним, хоча вираженого негативного впливу він не несе.



**Рисунок 4.** Вплив добавки ГМФН на технологічні властивості формувальної суміші:

1 – текучість; 2 – ущільнювальність; 3 – формуальність

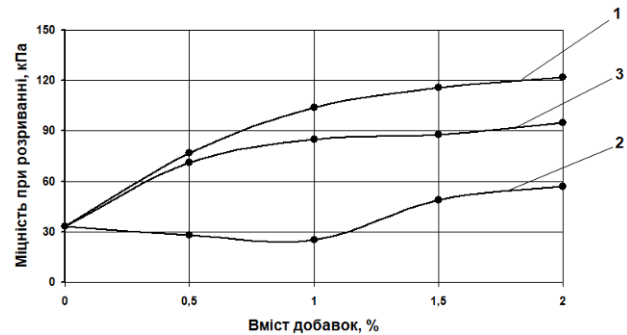
Дослідження впливу добавок ТПФН і ПФН на технологічні властивості суміші показали, що цей вплив практично відсутній, тому графічних залежностей не представлено.

Отже, за результатами проведених експериментів було визначено, що кожна із трьох досліджених добавок позитивно впливає на міцність при стисканні у сирому стані. ТПФН та ГМФН є поверхнево-активними речовинами, які знижують в'язкість глинястих плівок та покращують їх адгезію. ПФН, у свою

чергу, є водорозчинним зв'язувальним компонентом, чим зумовлено його позитивний вплив на міцність. На решту властивостей добавки мають слабо виражений позитивний вплив або практично не впливають.

Для дослідження зразків суміші в сухому стані на міцність при розриванні та обсіпаємість було проведено сушку протягом 1 год при температурі 150...160 °С.

У сухому стані, як видно з рис. 5, ТПФН та ГМФН мають суттєвий позитивний вплив, тобто міцність зростає в 2...3 рази.

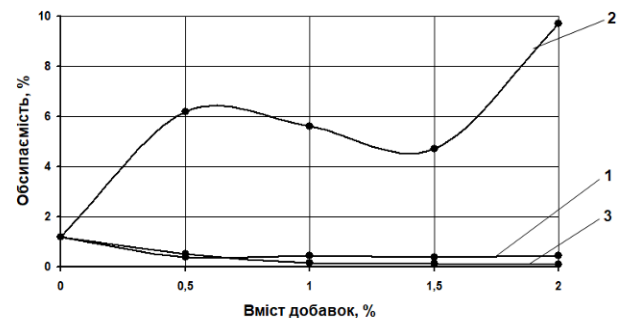


**Рисунок 5.** Вплив добавок на міцність формувальної суміші в сухому стані:

1 – добавка ТПФН; 2 – добавка ПФН; 3 – добавка ГМФН

Ці добавки покращують адгезію глини до наповнювача, а після видалення води вони сприяють зміцненню зв'язувальних плівок. ПФН має менш виражений позитивний ефект, який проявляється тільки після додавання більше 1,5 % цієї добавки. Це пояснюється тим, що ПФН є самостійним зв'язувальним компонентом і прояв його зв'язувального потенціалу стає можливим лише при більш високому вмісті, а наявність глини, в свою чергу, перешкоджає прояву міцності ПФН. Тому як добавка для підвищення міцності ПФН не є ефективним.

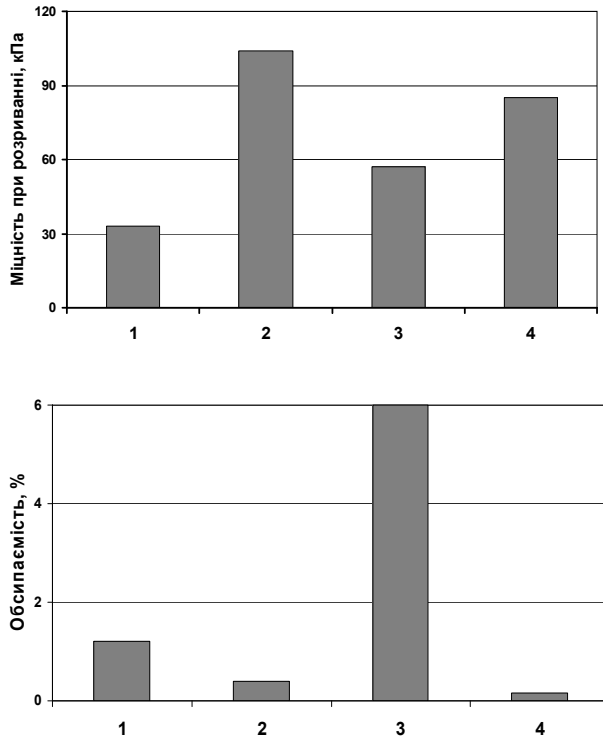
Обсіпаємість суміші після додавання ПФН стрімко погіршується, що робить використання цієї добавки неприпустимим. Після додавання ТПФН та ГМФН, навпаки, спостерігається зменшення обсіпаємість майже у 2 рази при вмісті цих добавок 0,5 % (рис. 6).



**Рисунок 6.** Вплив добавок на обсіпаємість формувальної суміші в сухому стані:

1 – добавка ТПФН; 2 – добавка ПФН; 3 – добавка ГМФН

За порівняльними діаграмами, наведеними на рис. 7, стає очевидним, що в сухому стані суміш з добавкою ПФН має найгірші показники. Дві інші добавки, навпаки, сприяють значному покращенню властивостей.



**Рисунок 7.** Порівняльний аналіз впливу добавок на міцність і обсипаемість формувальної суміші в сухому стані:

1 – без добавок, 2 – з добавкою 1,0% ТПФН, 3 – з добавкою 2,0% ПФН, 4 – з добавкою 1,0% ГМФН

Добавки ТПФН та ГМФН мають суттєвий позитивний вплив при додаванні в оборотну формувальну суміш. Відмічене в експериментах підвищення міцності в поєднанні з низькою обсипаемістю може забезпечити значне підвищення якості литва в сухі форми.

Було приготовлено по 50 кг сумішей із цими добавками. Як основу використано вибіту із опок оборотну суміш, до якої додавали глинясту суспензію та фосфати натрію. Паралельно приготували суміш без добавок. Тривалість перемішування 5 хв.

Форми для заливання алюмінієвим сплавом АК12 виготовляли за металевими роз'ємними моделями у парних опоках. Заливання форм здійснювали в сирому стані відразу після їх виготовлення і складання. Виливки показано на рис. 8.

Візуальний контроль показав різницю в якості литих поверхонь деталей, виготовлених у формах з добавкою 1,0 % ТПФН (виправлено) і без неї (виправлено).

Форми для заливання чавуном різного хімічного складу виготовляли за дерев'яними моделями у парних опоках (рис. 9). Півформи піддавали сушінню при температурі близько 150 °С. Заливання здійснювали в

сухі форми із застосуванням методів внутрішньоформового модифікування.



**Рисунок 8.** Виливки із алюмінієвого сплаву АК12



**Рисунок 9.** Форма для заливання чавуном

Через особливості процесу заливання, який передбачає пошарове заповнення форми із паузами між етапами заливання, значне теплове випромінювання розплаву спричиняє відшарування суміші з верхньої півформи та утворення у виливках ужимин, зовнішніх та внутрішніх піщаних раковин або порушення конфігурації (рис. 10).



**Рисунок 10.** Виливок «Вертикальна плита» із чавуном, виготовлений у формі без добавок

Натомість форма з добавкою фосфатів натрію забезпечує виготовлення цих виливків без дефектів (рис. 11).



**Рисунок 11.** Виливок «Вертикальна плита» із чавуном, виготовлений у формі з добавкою 1,0 % ТПФН

Внаслідок значного підвищення міцності та зниження обсіпаємі в сухому стані, добавки фосфатів натрію забезпечують значне зміцнення поверхні форми під дією тепла розплаву, після чого відшарування або руйнування стає неможливим. Крім цього, добавки захищають поверхню виливка (його товщина 50 мм) від пригару. Для порівняння на рис. 12 наведено виливок, верхню півформу для якого виготовлено із суміші з рідким склом.



Рисунок 12. Виливок, виготовлений із застосуванням верхньої півформи з рідким склом

На рис. 13 наведено виливок, верхню півформу для якого виготовлено із суміші з добавкою ГМФН. Отже, добавки фосфатів натрію дійсно забезпечують зниження схильності формувальної суміші до утворення пригару навіть після тривалого контакту розплаву з формою.



Рисунок 13. Виливок, виготовлений у формі з добавкою 0,5 % ГМФН

Досліджені добавки слід рекомендувати для використання у формувальних сумішах для удосконалення процесів лиття у форми по-сухому.

### Висновки

1. Вперше запропоновано для одночасного покращення властивостей оборотних піщано-глинястих формувальних сумішей у сирому та в сухому станах додавання незначних кількостей фосфатів натрію (від 0,5 до 2,0 %).

2. Установлено, що додавання триполіфосфату натрію в кількості до 1,0 % незначною мірою підвищує характеристики міцності в сирому стані, в той час як ці показники в сухому стані значно покращуються. Додавання гексаметафосфату натрію в кількості 0,5...1,0 % аналогічно підвищує властивості в сухому стані. Вплив досліджених фосфатів на газопроникність та технологічні властивості (текучість, ущільнювальність, формувальність) є мінімальним.

3. Забезпечено значне покращення якості виливків у сухих формах із застосуванням сумішей з добавками 0,5...1,0 % триполіфосфату або гексаметафосфату натрію. Внаслідок усунення процесу відшарування поверхні форми під дією тепла розплаву, на поверхні виливків відсутні пригар і піщані раковини, також

немає ужимин і внутрішніх піщаних раковин, які утворюються у формах без добавок. Позитивні результати досягнуто на виливках із сірого та модифікованого чавуну, алюмінієвого сплаву.

### Список літератури

1. Лютий Р. В. Формувальні матеріали / Лютий Р. В., Гурія І. М. – К. : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. – 257 с.
2. Гнатуш В. А. Перспективи розвитку ринку лиття в контексті «Індустрія 4.0» / В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко // Литье України. – 2017. – № 6. – С. 18–21.
3. Гнатуш В. А. Тенденции мирового и украинского рынков отливок и развития технологии лиття в зеркале 2016 г. / В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко // Метал і лиття України. – 2018. – № 1–2. – С. 29–32.
4. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия / Болдин А. Н., Давыдов Н. И., Жуковский С. С. и др. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.
5. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. – К. : Вища школа, 1990. – 416 с.
6. Кваша Ф. С. Влияние колебаний состава и свойств формовочных смесей на вероятность образования дефектов отливок / Кваша Ф. С. // Библиотечка литейщика, 2013. – № 8. – С. 9–14.
7. Федоров Н. Н. Аддитивный способ изменения свойств бентонитовой формовочной глины / Федоров Н. Н. // Вісник Донбаської державної машинобудівної Академії. – 2010. – № 3(20). – С. 249–253.
8. Могилев В. К. Формовочные смеси с улучшенной текучестью / Могилев В. К., Дорошенко Л. Л., Косяк А. Т. // Новые перспективные материалы и технологии в металлургии. – К., 1994. – С. 20–21.
9. Федоров М. М. Дослідження впливу вологостабілізуючих добавок на властивості піщано-бентонітових сумішей / Федоров М. М. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії, 2016. – № 1 (37). – С. 84–89.
10. Круглицкий Н. Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсных глинистых минералов / Федоров М. М. – К. : Наукова думка, 1968. – 320 с.
11. Дорошенко С. П. Формувальні суміші / Дорошенко С. П. – К. : ІЗМН, 1997. – 140 с.
12. Пономаренко О. И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства / Пономаренко О. И. // Библиотечка литейщика, 2013. – № 1. – С. 6–11.
13. Сварика А. А. Формовочные материалы и смеси. Справочник / Сварика А. А. – К. : Техника, 1983. – 144 с.
14. Сыч Е. И. Регулирование свойств концентрированных глинистых суспензий / Сыч Е. И. // Новые технологические процессы литейного производства. – М., 1967. – С. 205–210.
15. Лютий Р. В. Роль ливарної форми у забезпеченні якості виливків / Лютий Р. В., Павлюх С. В., Бондар А. К. // XV Міжнародна конференція

«Спеціальна металургія : вчора, сьогодні, завтра». – К., 2017. – С. 681–686.

16. Physical and chemical fundamentals of sodium phosphate use in foundry production / Liutyi R., Tyshkovets M., Liuta D., Sheiko O. // Physics and chemistry of solid state. – 2020. – Vol. 21, N 4. – P. 756–763. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.756-763>

17. Investigating sodium phosphate binders for foundry production / Liutyi R., Petryk I., Tyshkovets M. and etc. // Advances in Industrial and Manufacturing Engineering, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100082>.

Одержано 13.02.2023

## REGULATION OF THE PROPERTIES OF SAND-CLAY MOLDING MIXTURES BY SODIUM PHOSPHATE ADDITIONS

- Liutyi R. Ph. D., Associate Professor of the Department of Foundry Production, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, *e-mail*: [rvt2005@ukr.net](mailto:rvt2005@ukr.net), ORCID: 0000-0001-6655-6499
- Fyodorov M. Ph. D., Associate Professor of the Department of technology and equipment of foundry production, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine, *e-mail*: [author@mail.com](mailto:author@mail.com), ORCID: 0000-0002-2149-5861
- Fesenko M. Ph. D., Associate Professor, leading researcher of the 1<sup>st</sup> research department of research laboratory of the forensic and special equipment of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine State research institute, Kyiv, Ukraine, *e-mail*: [fesmak@ukr.net](mailto:fesmak@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8218-4154
- Liuta D. Ph. D., Department of Foundry Production, National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, *e-mail*: [dawusikya@gmail.com](mailto:dawusikya@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5247-4713

**Purpose.** Study of the effect of sodium phosphate additives on the properties of a reversible sand-clay mixture in the green and dry state to improve the quality of castings from iron-carbon and aluminum alloys.

**Research methods.** A reversible molding mixture based on quartz sand and kaolin clay was used. The effect of three additives (sodium tripolyphosphate, sodium hexametaphosphate, sodium pyrophosphate) in amounts from 0.5 to 2.0% was studied. Properties of mixture were determined using standard methods: clay component content, strength, gas permeability, crumbleness, flowability, formability, packing.

**Results.** Effective additives have been studied to ensure the possibility of multiple use of reversible molding sand-clay mixtures. Special attention is paid to the regulation of the properties of the mixture in the dry state, since this issue has been much less researched today. For this purpose, sodium phosphates, which are produced by the chemical industry in sufficient quantities, were used for the first time. As materials that affect the properties of the mixture as a whole, they have not been considered before.

**Scientific novelty.** For the first time, the positive effect of sodium phosphate additives on the physical and mechanical properties such as strength and crumbleness of reversible sand-clay mixtures was established. This effect is manifested in the fact that additives contribute to a slight improvement of properties of the green mixture and a very significant improvement of these properties of the dry mixture. There is practically no effect on important technological properties (flowability, formability, packing).

**Practical value.** Based on the results of the experiments, it is recommended to use sodium tripolyphosphate or hexametaphosphate additives in the amount of 0.5 to 1.0 % to significantly improve the properties of dry sand-clay foundry molds. The use of these additives eliminates the appearance of surface defects in cast parts from aluminum and iron-carbon alloys.

**Key words:** cast part, moldind mixture, reversible mixture, properties, sodium phosphates, foundry mold, strength.

### References

1. R. V. Liutyi and I. M. Gurija (2020). Formuval'ni materialy [Molding Materials], Kyiv, Ukraine: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 257, [in Ukrainian].

2. V. A. Gnatush and V. S. Doroshenko (2017). “Perspektyvy razvytyja rynku lyt'ja v kontekste “Yndustry 4.0” [Prospects for the development of the casting market in the context of “Industry 4.0”], Lytjo Ukrainy

[Casting of Ukraine], 6, 18–21, [in Russian].

3. V. A. Gnatush and V. S. Doroshenko (2018), “Tendencii mirovogo i ukrainskogo ryнков otlivok i razvityja tehnologii lit'ja v zerkale 2016 g” [Trends in the global and Ukrainian markets for castings and the development of mirror casting technology in 2016], *Metal i lytija Ukrai'ny* [Metal and Casting of Ukraine], 1–2, 29–32, 2018, [in Russian].

4. A. N. Boldin, N. I. Davydov, S. S. Zhukovskij et al. (2006). Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytija [Moldind, Core Mixtures and Coatings]. Moscow, Russia: Mashinostroenie Publ., 507, [in Russian].
5. S. P. Doroshenko, V. P. Avdokushin, K. Rusin and I. Macashek (1990). Formovochnye materialy i smesi [Molding Materials and Mixtures], Kyiv, Ukraine : Vyshha shkola Publ., 416, [in Russian].
6. F. S. Kvasha (2013). “Vlijanie kolebanij sostava i svojstv formovochnyh smesej na verojatnost' obrazovaniya defektov otlivok” [Influence of fluctuations in the composition and properties of molding sands on the probability of forming defects in castings], *Bibliotekha litejshhika [Caster's Library]*, 8, 9–14. 2013, [in Russian].
7. N. N. Fyodorov (2010). “Additivnyj sposob izmenenija svojstv bentonitovoj formovochnoj gliny” [Additive way to change the properties of bentonite molding clay], *Visnyk Donbas'koi' derzhavnoi' mashynobudivnoi' Akademii' [Herald of Donbass Stare Engineering Academy]*, 3(20), 249–253, [in Russian].
8. V. K. Mogilev, L. L. Doroshenko and A. T. Kosjak (1994). “Formovochnye smesi s uluchshennoj tekuchest'ju” [Molding sands with improved flowability], in Proc. Conf. “Novye perspektivnye materialy i tehnologii v metallurgii” [New promising materials and technologies in metallurgy], Kyiv, Ukraine, 20–21, [in Russian].
9. N. N. Fyodorov (2016). “Doslidzhennja vplyvu vologostabilizujuchykh dobavok na vlastyvosti pishhanobentonitovykh sumishej [Study of the influence of moisture-stabilizing additives on the properties of sand-bentonite mixtures], *Visnyk Donbas'koi' derzhavnoi' mashynobudivnoi' akademii' [Herald of Donbass Stare Engineering Academy]*, 1(37), 84–89, [in Ukrainian].
10. N. N. Kruglickij (1968). Fiziko-himicheskie osnovy regulirovanija svojstv dispersnyh glinistykh mineralov [Physical and chemical bases for regulating the properties of dispersed clay minerals], Kyiv, Ukraine: Naukova dumka Publ., 320, [in Russian].
11. S. P. Doroshenko (1997). Formoval'ni sumishi [Molding mixtures]. Kyiv, Ukraine: IZMN Publ., 140, [in Ukrainian].
12. O. I. Ponomarenko (2013). “Optimizacija tehnologicheskikh reshenij dlja cehov litejnogo proizvodstva” [Optimization of technological solutions for foundry shops], *Bibliotekha litejshhika [Caster's Library]*, 1, 6–11, [in Russian].
13. A. A. Svarika (1983). Formovochnye materialy i smesi. Spravochnik. [Molding materials and mixtures. Directory], Kyiv, Ukraine : Tehnika Publ., 144, [in Russian].
14. E. I. Sych (1967). “Regulirovanie svojstv koncentrirovannykh glinistykh suspenzij” [Regulation of the properties of concentrated clay suspensions], in Proc. Conf. “Novye tehnologicheskie processy litejnogo proizvodstva” [New technological processes of foundry production], Moscow, Russia, 205–210, [in Russian].
15. R. V. Liutyi, S. V. Pavljukh and A. K. Bondar (2017). “Rol'lyvarnoi' formy u zabezpechenni jakosti vylyvkiv” [The role of the foundry mold in ensuring the quality of castings], in Proc. XVth Int. Conf. “Special'na metallurgija: vchera, s'ogodni, zavtra” [Special Metallurgy: yesterday, today and tomorrow], Kyiv, Ukraine, 681–686, [in Ukrainian].
16. R. Liutyi, M. Tyshkovets, D. Liuta and O. Sheiko (2020). “Physical and chemical fundamentals of sodium phosphate use in foundry production”, [Physics and chemistry of solid state], 21 (4), 756–763, DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.756-763>. N4.
17. R. Liutyi, I. Petryk, M. Tyshkovets, O. Myslyvchenko, D. Liuta and M. Fyodorov. “Investigating sodium phosphate binders for foundry production”, [Advances in Industrial and Manufacturing Engineering], 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100082>.