

УТИЛІЗАЦІЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ ЛИВАРНИХ ВИРОБНИЦТВ – ВІДПРАЦЬОВАНИХ ЛИВАРНИХ ФОРМ

С. Б. Большанина

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40024, Україна. E-mail: svet.bolshanina@gmail.com

М. В. Басов

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

вул. Клепарівська, 35, Львів, 79000, Україна. E-mail: basov2205@i.ua

М. С. Мальований

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: mmal@lp.edu.ua

Розроблена технологія виробництва ливарних форм із застосуванням екологічно чистих формових сумішей з покращеною здатністю до вибивання та високою здатністю до регенерації. Як активна добавка застосовувались відходи виробництв вогнетривів – шамотно-каоліновий пил. Досліджена термодинаміка утворення алюмосилікатів натрію у формульній суміші на основі рідкого скла та шамотно-каолінового пилу. На основі аналізу даних досліджень встановлено, що в інтервалі температур 1073–1473 К можливе утворення нефеліну. Запропонована гіпотеза щодо механізму структурних перетворень у досліджуваній суміші та впливу цих перетворень на характеристики міцності, що підтверджено даними термодинамічних розрахунків. Установлений оптимальний склад формової суміші на основі рідкого скла та шамотно-каолінового пилу. На основі аналізу даних досліджень залишкової міцності та фізико-хімічних характеристик суміші, що спікається, запропонований механізм твердіння суміші.

Ключові слова: формова суміш, шамотно-каоліновий пил, рідке скло, залишкова міцність.

УТИЛІЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ – ОТРАБОТАННЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

С. Б. Большанина

Сумский государственный университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40024, Украина. E-mail: svet.bolshanina@gmail.com

М. В. Басов

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

ул. Клепаровская, 35, г. Львов, 79000, Украина. E-mail: basov2205@i.ua

М. С. Мальований

Национальный университет «Львовская политехника»

ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. E-mail: mmal@lp.edu.ua

Разработана технология производства литейных форм с использованием экологически чистых формовочных смесей с улучшенной способностью к выбиванию и высокой способностью к регенерации. Как активная добавка использовались отходы производства огнеупоров – шамотно-каолиновая пыль. Исследована термодинамика образования алюмосиликатов натрия в формовочной смеси на основе жидкого стекла и шамотно-каолиновой пыли. На основании анализа данных исследований установлено, что в интервале температур 1073–1473 К возможно образование нефелина. Предложена гипотеза относительно механизма структурных преобразований в исследуемой смеси и влияние этих преобразований на характеристики прочности, что подтверждается данными термодинамических расчетов. Установлен оптимальный состав формовочной смеси на основании жидкого стекла и шамотно-каолиновой пыли. По данным исследований остаточной прочности и физико-химических характеристик спекаемой смеси предложен механизм твердения смеси.

Ключевые слова: формовочная смесь, шамотно-каолиновая пыль, жидкое стекло, остаточная прочность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У ряду небезпечних для навколишнього середовища видів антропогенної діяльності чільне місце займають ливарно-механічні виробництва, які часто є потужними забруднювачами довкілля в регіоні їх розміщення. Зокрема це відноситься до твердих відходів виготовлення ливарних форм, які на сьогоднішній день є великомасштабним відходом виробництва, що має обмежене використання. Тому важливого значення набуває розроблення і впровадження таких технологій виробництва ливарних форм і використання таких матеріалів для цих форм, що забезпечило б у подальшому їх повторне використання чи регенерацію.

Перспективними є формульні суміші на основі рідкого скла, однак широкому їх розповсюдженню

перешкоджає погана здатність до вивільнення відливок із відпрацьованих форм. В'яжучою основою таких сумішей є рідке скло – водний розчин силікату натрію (натрієве скло) або силікату калію (калієве скло).

Рідке скло – неорганічний полімер, властивості якого визначаються складністю та розгалуженістю полімерних кремнійкисневих аніонів, рухливістю і гідратацією катіонів [1–5]. Це пов'язано з тим, що силікати натрію є солями дуже слабкої кремнієвої кислоти, остання повинна витіснятися з цих солей всіма розчинними в воді органічними та неорганічними кислотами. В процесі реакції утворюється гель кремнієвої кислоти, який має в'язучі властивості.

Роботи [6, 7] свідчать, що для поліпшення здатності до вибивання до складу суміші доцільно вводити комбіновані добавки з речовин, які зміщують максимум роботи вибивання в зону високих температур, і речовин органічного походження, які не впливають на міцність, але збільшують загальну податливість суміші. Як добавки, що покращують здатність до вибивання сумішей на основі рідкого скла, пропонується велика група речовин, які містять алюмосилікати. Проблема застосування таких речовин та оптимальному складу сумішей на їх основі присвячене дане дослідження.

Мета роботи – розробка технології утилізації твердих відходів ливарних виробництв – відпрацьованих ливарних форм.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У відомих композиціях на основі рідкого скла як структуроутворюючі компоненти застосовують термоактивований каолін або незначну частину доменного гранульованого шлаку, а в композиціях на основі алюмінату натрію – тонкомелений шамот. Однак термоактивований каолін потребує випалу при 600–750 °С і характеризується високою водопотребою, що збільшує витрати рідкого скла, Na₂O і, як наслідок, вартість композиції. Отримані алюмосилікатні зразки на основі алюмінату натрію та тонкомеленого шамоту, а також кремнеземисті зразки на основі рідкого скла з низькою витратою доменного шлаку (1–2 % CaO – активного плавню) мають незначну міцність після твердіння за нормальних умов і при пропарюванні, що обмежує їх використання. Уникнути вказаних недоліків можна за умови використання як структуроутворюючих компонентів шамотно-каолінового пилу (ШКП) – пилу, який вловлюється електрофільтрами із вентиляційних газів оборотних печей випалу кускового шамоту [8]. Саме цей компонент – шамотно-каоліновий пил (ШКП) і запропонований нами для використання в складі формувальної суміші як один із структуроутворюючих компонентів.

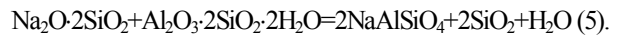
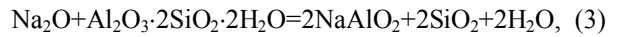
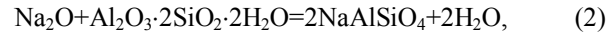
Теоретичне та експериментальне обґрунтування механізму та кінетики процесів структуроутворення, які відбуваються за умови високотемпературного нагріву та охолодження піску та в'язучого на основі хімічно активних каолініту і рідкого скла, має важливе практичне значення в технології ливарного виробництва, де недостатньо вивченою залишається проблема зниження міцності відпрацьованих екологічно чистих формових сумішей на основі рідкого скла та кварцового піску [9–11]. Нами вивчалися ефекти, які виникають в формовій суміші під дією ШКП, який містить каолінит і α-кварц із домішками муліту, гідролюди та монтморилоніту. Економічні переваги введення в склад композиції ШКП у порівнянні з добавками такого ж типу (лужний цемент, каоліни сухого збагачення і т.п. [10, 11] полягають в тому, що ШКП – багатотоннажний малоцінний відхід ряду українських виробництв.

Для встановлення термодинамічної ймовірності перебігу хімічних процесів в досліджуваній системі використовували схему проведення розрахунку $\Delta G = f(\Delta T)$ реакцій методом інтегрування рівняння

$$\Delta G = \Delta H_p + \left(\frac{d\Delta G}{dT} \right) p, \quad (1)$$

де G – ізобарно-ізотермічний потенціал, кДж/моль; H – ентальпія, кДж/моль; T – температура, К; P – тиск, МПа;

Аналізувались реакції, які можуть відбуватися в системі [12]:



На рис. 1 приведені розраховані нами зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу для реакцій, які протікають з утворенням нефеліну NaAlSiO₄. Із цих залежностей випливає, що утворення в системі алюмосилікатів натрію можливе як через проміжний продукт - алюмінат натрію (реакції 3, 4), так і в результаті прямого синтезу із Na₂O та каолініту (реакція 2). Але ці реакції допускають вміст Na₂O як самостійної речовини без зв'язку із SiO₂. В іншому випадку утворення нефеліну стає термодинамічно вигідним лише для температури вище 1000 К (реакція 4).

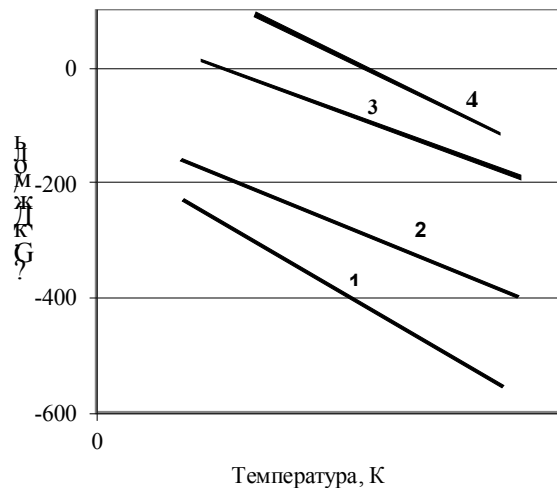


Рисунок 1 – Ізобарно-ізотермічний потенціал ΔG для реакцій (2)–(5), які перебігають у системі залежно від температури

Поверхні вихідних речовин (каолінит і рідке скло) реакційно здатні із-за присутності в них активних центрів. ОН-групи каолініту мають здатність рухатись із-за вмісту на його поверхні ненасиченого Al³⁺ у шестерній координації [Al(O,OH)₆]. Між частинками каолініту та гелем кремнієвої кислоти, який виділяється в процесі затвердіння суміші, утворюється активний проміжний комплекс $[-O-FI-O-]$, що зберігається в молекулах алюмінієвих та алюмосилікатів натрію. Іони Na⁺ зв'язують AlO₂⁻ з утворенням алюмінієвих натрію, а наявність в системі кремнегелю забезпечує можливість синтезу алюмосилікатів натрію типу нефеліну.

Утворення в системі алюмосилікатів натрію (температура плавлення нефеліну – 1796 К), зсуває утворення рідкої фази в системі в область більш високих температур (більше 1500 К), і, як наслідок спікання суміші не відбувається, зразок легко руйнується.

Таким чином, дія ШКП призводить до утворення тугоплавких сполук в досліджуваній структурі, які сприяють зниженню залишкової міцності формової суміші не тільки для температур синтезу алюмосилікатів натрію (більше 1073 К), але і в інтервалі температур (773–1073 К). Ця дія обумовлена дегідратацією каолініту і кремнегелю в інтервалі температур 723–823 К, що призводить до руйнування скловидних плівок контактних манжет. Залишкова міцність суміші рівна нулю в широкому інтервалі температур (773–1473 К).

Експериментальну кінетику процесів спікання формувальних сумішей вивчали в інтервалі температур 293–1723 К на протязі 10, 15, 20, 30 і 40 хв. Приготування формових сумішей включало перемішування в'язучого з кварцовим піском марки К020, пресування зразків-циліндрів діаметром 50 і висотою 50 мм згідно з ГОСТ 23409. Склад в'язучого брали з постійним мольним співвідношенням оксидів Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 і H_2O .

Залишкова міцність зразків формувальних сумішей на основі рідкого скла без вмісту ШКП в залежності від температури та попереднього прогріву зображується кривими з двома максимумами та двома мінімумами [10, 11]. Введення в склад формувальної суміші ШКП зміщує другий максимум в сторону більш високих температур (рис. 2), що свідчить про значні зміни механізму структуроутворення, ймовірно, на всіх його стадіях, яких ми виділили чотири.

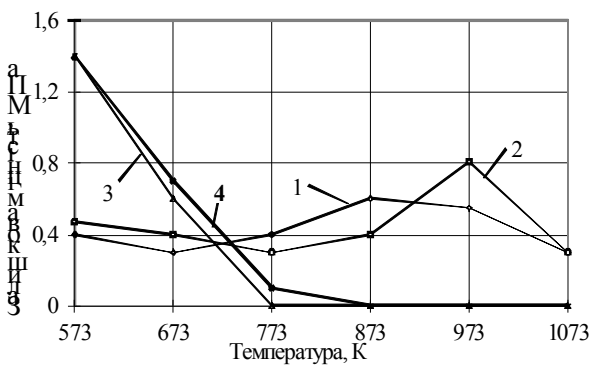


Рисунок 2 – Залишкова міцність швидко охолоджених зразків, прокалених протягом 10 хв.: 1, 3 – час сушіння 40 хв; 2, 4 – сушіння до постійної маси; 1, 2 – суміш на основі рідкого скла; 3, 4 – суміш на основі композиції рідкого скла та ШКП

Стадія 1 – “холодне” формування (293–473 К). Кінетика твердіння формувальної суміші задовольняє вимогам технології ливарного виробництва. Важливим є те [10], що в присутності каолініту з його незначною здатністю до набухання, розмочу-

вання, малою пластичністю та деякою в'язучою здатністю в системі утворюються формуючі гелі ренгеноаморфних висококремнеземистих алюмонатрієвих гідросилікатів $(\text{Al}_2\text{O}_3:m\text{SiO}_2:k\text{Na}_2\text{O})\text{H}_2\text{O}$. Дослідженнями [12] встановлено, що між зернами піску та плівкою в'язучого утворюється щільна границя, хоч і спостерігаються одиночні пори розміром 10–50 мкм. У цілому початкова міцність сумішей, в склад яких входить ШКП, вище міцності “звичайних” формувальних сумішей (рис. 2).

Стадія 2 – фізико-хімічне зниження міцності суміші (473–973 К). Зниження міцності суміші обумовлюється фазовими переходами кварцу (розклинююча дія на зерна піску) та дегідратацією новоутворень (руйнування вибухового характеру); скловидна плівка контактних манжет частково знижує міцність. Як впливає із даних рентгенофазового аналізу [12], β - α -кварц і α -кварц β -кристобаліт – переходи грають певну роль в зниженні міцності зразків. За температури 746 К сумарний об'ємний ефект розширення суміші досягає +15,4%. Дослідні дані (рис. 1) підтверджують також помітний вплив вільної води; міцність вологих стандартних зразків нижче міцності зразків, висушених до постійної маси. Висока специфічна властивість ШКП знижувати міцність зразків на цій стадії обумовлюється мабуть дегідратацією каолініту, яка отримує інтенсивний розвиток за 723–823 К, що призводить до практично повного руйнування зразків, які прокалюються.

Стадія 3 – “нефеліноутворення” (873–1527 К). Розплавлення силікатів натрію викликає звичайно “заліковування” пор та новоутворень (тріщин, каверн, глобул), які формуються на попередніх стадіях [10, 11]; появляється другий максимум міцності і до 1500–1600 К формується міцний моноліт з піску та силікатного скла. За присутності ШКП “заліковування” мікротріщин довго не проходить внаслідок витрати розплаву на синтез нефеліну [12]. Пластинчаті субмікрочастинки, накладені один на другий, які знайдені в прокалених зразках [12], можуть бути зв'язані своїм походженням або з нефеліном, або з алюмінатом натрію.

Утворення цих термодинамічно стійких сполук (для реакції (1) $\Delta Z = -440$ кДж/моль) і є додатковою причиною вторинної втрати міцності (кристалізаційний тиск). Прямий синтез нефеліну кінетично неможливий із-за складностей глибокої перебудови решіток реагентів [13]. Перетворення проходить через стадію активного проміжного комплексу (АПК) мостикового типу, де здійснюється досить ефективна протонна провідність.

Таким чином, проходить виділення структурного елементу $[O-Al-O]$, який зберігається в молекулах алюмінатів, нефеліну та AlO_2 . Остання є фрагментом молекули $\text{Al}_2\text{O}_2:Al^+[O-Al-O]$.

Стадія 4 – фазові перетворення продуктів реакції за умов нагріву та охолодження суміші (1200–1700 К і 1700–500 К). За високих температур інтенсивність процесів структуроутворення визначається швидкістю зміни нефеліну та муліту, оскільки каолініт у певних кількостях витрачався на утворення

саме цих продуктів. Указані фазові переходи достатньо повно вивчені в [13], і супроводжуються частими змінами об'єму твердої фази, розвитком внутрішніх напружень та руйнуванням в'язучого композиції. Менш вивчена кінетика кристалізації та перекристалізації продуктів із розплавів (одна із причин зниження міцності лужно-алюмосилікатного каменю). Ця проблема важлива, оскільки встановлено [11], що ефективними є добавки, які знижують міцність, що містять, як і нефелін, безкінечні трьохмірні каркасні решітки. Щодо своєї надмолекулярної структури, то ці речовини подібні до неорганічних полімерів.

З метою встановлення оптимального складу формувальних сумішей на основі рідкого скла та ШКП проведено дослідження технологічних властивостей цих сумішей з метою досягнення низької залишкової міцності і, як наслідок, зменшення трудових затрат на вибивку відпрацьованих форм і стержнів. У процесі цих досліджень вивчено вплив процентного вмісту ШКП і ступеня його дегідратації на технологічні характеристики суміші.

Аналізуючи дані досліджень можна зазначити, що комплексні нормативні показники можуть бути забезпечені у випадку використання ШКП у формувальній композиції кількістю 5 % (ступінь дегідратації 30–60 %) і кількістю 6,5 %. Проте у випадку використання формувальної композиції, в якій вміст ШКП становить 6,5 %, близькою до критичної є газопроникність, що викликає небезпеку зменшення її до значення нижче критичної за умови недотримання рецептури. Тому приймаємо за оптимальний вміст ШКП в формувальній суміші 5 % зі ступенем дегідратації 30–60 %.

Параметром, який складно піддається регулюванню (що характерно для всіх типів промислових відходів) є ступінь дегідратації. Оскільки ШКП є сумішшю пилу різного складу та різної морфології структурних перетворень, які проходять в процесі випалу шамоту, на нашу думку регулювати необхідну ступінь дегідратації ШКП, який направляється на виготовлення ливарних форм, можна шляхом контролю ступеня дегідратації сформованої партії і дозування (у разі необхідності) у цю партію ШКП необхідної кількості шамотного пилу (ступінь дегідратації якого близький 100 %) з метою досягнення необхідних показників дегідратації ШКП – 30–60 %.

ВИСНОВКИ.

1. Розроблена технологія екологічно чистих формових сумішей з покращеною здатністю до вибивання та високою здатністю до регенерації із застосуванням як добавок відходів виробництва вогнетривів.

2. У результаті вивчення термодинаміки утворення алюмосилікатів натрію в формувальній суміші, на основі рідкого скла та ШКП встановлено, що в інтервалі температур 1073–1473 К можливе утворення нефеліну.

3. Запропонована гіпотеза механізму структурних перетворень в досліджуваній суміші та впливу цих перетворень на характеристики міцності, що підтверджено даними термодинамічних розрахунків.

4. Встановлений оптимальний склад формової суміші на основі рідкого скла та ШКП: пісок – 89 %; рідке скло – 5 %; ШКП – 5 % (ступінь дегідратації 30–60 %); гідроксид натрію – 1 %.

5. У результаті досліджень залишкової міцності та фізико-хімічних характеристик суміші, яка спікається, запропонований механізм твердіння суміші, згідно із яким в інтервалі температур 833–873 К проходить дегідратація ШКП, а в інтервалі 1073–1473 К – утворення тугоплавкого алюмосилікату натрію – нефеліну, що призводить до зменшення міцності суміші в широкому інтервалі температур (833–1473 К).

ЛІТЕРАТУРА

1. Состояние и перспективы применения жидкотекольных смесей / С.П. Дорошенко, А.П. Макаревич // Литейное производство. – 1990. – Т. 2. – С. 14–15.
2. Физико-химические основы формирования свойств с жидким стеклом / И.В. Рыжков, В.С. Толстой. – Харьков: Вища школа, 1975. – 140 с.
3. Матвеев М.А. Растворимость стеклообразованных силикатов натрия. – М.: Промстройиздат, 1958. – 96 с.
4. Айпер Р. Химия кремния. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 416 с.
5. Куколев П.В. Химия кремния и физическая химия силикатов. – М.: Высшая школа, 1966. – 436 с.
6. Изменение свойств глин и бентонитов при их нагребе/ В.Т. Карташов, Я.И.Медведев, Ю.М. Погосбеян // Литейное производство. – 1986. – Т.7. – С.10–11.
7. Силовое взаимодействие отливки со стержнем и его влияние на выбиваемость стержнем/ Л.С. Константинов, А.Е. Фонканц, Г.И. Шевчук, Н.Г. Моисеенков // Литейное производство. – 1978. – Т. 1. – С. 23–27.
8. Оптимизация состава огнеупорных вязучих на основе шамота и силиката натрия / А.Н. Ефремов, Т.П. Киценко, С.С. Поливцев, М.В. Деркач // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2005. – Вип. 1 (49). – С. 31–34.
9. Патент України № 18877 А, В 22 С1/02 Суміш для виготовлення ливарних форм та стержнів // Звягінцев Г.Л., Будьонний О.П., Большанина С.Б., Ілюха М.Г. – Бюл. № 6 від 25.12.1997.
10. Жидкие самотвердеющие смеси / П.А. Борсук, А.М. Лясс. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
11. Екологічно чисті, високорегенеровані формові і стрижньові суміші на основі лужного алюмосилікатного зв'язника для ливарного виробництва / П.В. Кривенко, О.А. Бродко, Г.В. Вознюк // Хімічна промисловість України. – 1996. – № 5. – С. 22–25.
12. Кінетика процесів структуроутворення лужно-алюмосилікатного каменю/ Г.Л. Звягінцев, С.Б. Большанина, М.С. Мальований, А.П. Будьонний // Хімічна промисловість України. – 1997. – № 3. – С. 23–26.
13. Фізико-хімічні системи тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів/ А.С. Бережної, Я.М. Питак. – К.: НМК ВО, 1992. – 172 с.

DISPOSAL OF FOUNDRIES SOLID WASTE (WORKED-OUT CASTING MOLDS)

S. Bolshanina

Sumy State University

vul. Rymysrogo-Korsakova 2, Sumy, 40024, Ukraine. E-mail: svet.bolshanina@gmail.com

M. Malovanyy

National University "Lviv Polytechnic"

vul. Stepan Bandera 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: mmal@polynet.lviv.ua

M. Basov

Lviv State University of Life Safety

vul. Kleparivska 35, Lviv, 79000, Ukraine. E-mail: basov2205@i.ua

The technology of molds production using environmentally friendly molding sands with improved ability for product removal and high capacity for regeneration was developed. The active additive applied was derived from the waste of refractories production – chamotte-kaolin dust. The thermodynamics of sodium aluminosilicate formation in molding composition from liquid glass and chamotte-kaolin dust was investigated. Based on the analysis of the results, it is shown that in the temperature range of 1073-1473 K there is a possibility of nepheline formation. There is proposed a hypothesis of the mechanism of structural transformations in the studied compositions and the impact of these transformations on the strength characteristics. The hypothesis was confirmed by thermodynamic calculations. The optimum composition of molding sand, based on sodium silicate and chamotte-kaolin dust, was established. Relying on the analysis of residual strength, physical and chemical characteristics of the mixture baked, the mechanism of mixture curing was proposed.

Key words: molding sand, chamotte-kaolin dust, liquid glass, residual strength.

REFERENCES

1. Doroshenko, S.P. and Makarevich, A.P. (1990), "Status and prospects of mixture based on water glass", *Litejnoje proizvodstvo*, 1990, vol. 2, pp. 14–15.
2. Ryzskov, I.V. and Tolstoj, V.S. (1975), *Fiziko-chimicheskije osnovy formirovanija svojstv s zhidkim steklom* [Physical-chemical bases of formation properties with liquid glass], Vyshcha shkola, Kharkov, Ukraine.
3. Matveev, M.A. (1958), *Rastvorimost stekloobrazovanykh silikatov natrija* [Solubility of glass-razovannyh sodium silicates], Promsrojizdat, Moscow, Russia.
4. Ajper, R. (1982), *Shimija kremnija*, [Silicon Chemistry], vol. 1, Mir, Moscow, Russia.
5. Kukolev, P.V. (1966), *Chimija kremnija i fizicheskaja chimija silikatov* [Silicon chemistry and physical chemistry of silicates], Vysshaja shkola, Moscow, Russia.
6. Kartashyov, V.T., Medvedjev, Ya.I., and Pogobekjan, Yu.M. (1986), "Changing the properties of clay and bentonite during heated" *Litejnoje proizvodstvo*, vol. 7, pp. 10–11.
7. Konstsntinov, L.S., Fonkanc, A.E., Shevchuk, G.I., and Moiseenkov, N.G. (1978), "Strong interaction with the rod casting and its impact on ability to extract a rods", *Litejnoje proizvodstvo*, vol. 1, pp. 23–27.
8. Efremov, A.N., Kicenko, T.P., Polivcev, S.S., and Derkach, M.V. (2005), "Optimization of refractory fireclay vyazhuchih based and sodium silicate", *Visnyk Donbaskoji derzavnoji akademiji budivnyctva i architektury*, iss. 1(49), pp. 31–34.
9. Zvjagincev, G.L., Budjonnyy, O.P., Bolshanina, S.B., and Illjucha, M.G. (1997), "Mixture for foundry molds and cores", Patent of Ukraine no. 18877, publ. 25 Dec., 1997, Bul. no. 6.
10. Borsuk, P.A. and Ljass, A.M. (1979), *Zidkije samotverdejuchshije smesi* [Liquid self-hardening mixtures], Machinostrojenije, Moscow, Russia.
11. Kryvenko, P.V., Brodsko, O.A., and Voznjuk, G.V. (1996), "Eco-friendly, vysokorehenerovani stryzhnovi forms and mixtures based on alkali aluminosilicate binders for foundry", *Chimichna promyslovist Ukrainy*, no. 5, pp. 22–25.
12. Zvjagincev, G.L., Bolshanina, S.B., Malovanyy, M.S., and Budjonnyy, O.P. (1997), "Kinetics of structure formation alkali aluminosilicate stone", *Chimichna promyslovist Ukrainy*, no. 3, pp. 23–26.
13. Bereznoj, A.S. and Pytak, Ya.M. (1992), *Fizyko-chimichni systemy tugoplavkykh nemetalichnykh i sykikatnykh materialoiv* [Physico-chemical systems of refractory nonmetallic and silicate materials], NMK VO, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 20.07.2014.