



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-35-40>
УДК 621.74

Поступила 06.02.2023
Received 06.02.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ ХТС С ПЕСКОМ НОВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ. СООБЩЕНИЕ 1

С. С. ТКАЧЕНКО, А. В. СОКОЛОВ, М. А. ДРУЖЕВСКИЙ, О. В. МИХАЙЛОВ, Филиал РАН «Творческая мастерская «Литейный двор», г. С.-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1. E-mail: spblenal@mail.ru

Статья посвящена работе по подбору оптимальных параметров холоднотвердеющей смеси на основе кварцевого песка с жидкостекольным связующим, отверждаемым жидкими сложными эфирами для производства отливок тяжелого машиностроения, станкостроения и запорной арматуры. Проведен анализ качества формовочных песков трех марок различного происхождения. Исследованы прочностные характеристики смесей разных составов. На основе полученных данных сделаны выводы об оптимальных характеристиках песка и величине добавки связующего. Рекомендованы составы легко выбиваемых экологически чистых жидкостекольных смесей, отверждаемых сложными эфирами, для изготовления форм и стержней в станкостроении, арматуростроении.

Ключевые слова. *Формовочные пески, исследования, жидкостекольные смеси (ЖСС, ПСС, CO₂-процесс), жидкое стекло, жидкие отвердители, самотвердеющие смеси, отверждение углекислотой, станкостроение, запорная арматура.*

Для цитирования. *Ткаченко, С. С. Исследование составов жидкостекольных ХТС с песком Новинского месторождения. Сообщение 1 / С. С. Ткаченко, А. В. Соколов, М. А. Дружевский, О. В. Михайлов // Литье и металлургия. 2023. № 1. С. 35–40. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-35-40>.*

RESEARCH OF THE LIQUID–GLASS HTS COMPOSITIONS WITH SAND OF THE NOVINSKY DEPOSIT. MESSAGE 1

S. S. TKACHENKO, A. V. SOKOLOV, M. A. DRUZHEVSKY, O. V. MIKHAILOV, Branch of the Russian Academy of Arts “Creative workshop “Foundry yard”, St. Petersburg, Russia, 1, Rasstanny proezd. E-mail: spblenal@mail.ru

The article is devoted to the selection of optimal parameters of a chemically hardening mixture based on quartz sand with a liquid-glass binder cured with liquid esters for the production of castings of heavy machinery, machine tools and shut-off valves. The analysis of the quality of molding sands of three brands, of different origin, was carried out. The strength characteristics of mixtures of various compositions are studied. Based on the data obtained, conclusions are drawn about the optimal characteristics of sand and the amount of binder additive. The compositions of easily knocked-out environmentally friendly liquid-glass mixtures cured with esters for the manufacture of molds and rods in machine-tool armature construction are recommended.

Keywords. *Molding sands, research, liquid-glass mixtures (liquid self-hardening mixture, malleable self-hardening mixture, CO₂-process), liquid glass, liquid hardeners, self-hardening mixtures, carbon dioxide curing, machine tool construction, shut-off valves.*

For citation. *Tkachenko S. S., Sokolov A. V., Druzhevsky M. A., Mikhailov O. V. Research of the liquid-glass HTS compositions with sand of the Novinsky deposit. Message 1. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 1, pp. 35–40. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-35-40>.*

Для обеспечения высоких экономических показателей и требований к качеству ответственных отливок (станкостроение и арматуростроение) необходимы экологически чистые формовочные и стержневые смеси, которые обеспечат достижения оптимальных прочностных и термомеханических свойств.

В конце 50-х годов прошлого столетия в мировую технологию формообразования бурно вошел CO₂-процесс. Это позволило повысить производительность труда и точность отливок ручной формовки. Но крупные отливки производились в формы из ПГС. В начале 60-х годов в ЦНИИТМАШе (А. М. Лясс, И. В. Валисовский, С. С. Жуковский) была изобретена жидкая самотвердеющая смесь (ЖСС) на основе жидкого стекла с отвердителем – феррохромовый шлак. Это явилось научно-технической революцией в процессах формообразования. Производительность на крупной ручной формовке выросла в 5–6 раз, улучшилась точность и уменьшились припуски на базовых деталях. Но всегда в каждом хорошем деле обнаруживаются недостатки. В CO₂-процессе – это отверждение углекислотой, а в ЖСС – это

неравномерное отверждение сыпучим феррохромовым шлаком. С целью устранения недостатков и механизации процессов изготовления форм и стержней учеными СССР были изобретены жидкие отвердители.

Эту технологию начали применять в СССР в 80-е годы прошлого века. Она имеет свои преимущества и недостатки [1, 2]. Основной целью применения такого технологического процесса является снижение содержания жидкого стекла, газотворности, улучшение выбиваемости стержней и повышение экологической безопасности [1]. Достижение поставленных целей позволяет изготавливать более сложные по конструкции отливки, так как обеспечивает уменьшение газовой пористости и упрощение процесса очистки внутренних поверхностей, что наиболее важно для отливок запорной арматуры, особенно небольших диаметров.

Жидкие отвердители выпускаются в России двумя предприятиями: Уралхимпласт-ХА (отвердители «С»), Интема, Химсорбент (АЦЭГ). В данной работе использовали отвердители УХП-ХА «С» разных марок, что соответствует требованиям конкретного литейного цеха. В смесь вводили 10% отвердителя от содержания жидкого стекла. Это количество может незначительно изменяться.

Следует отметить, что за рубежом такой процесс имеет очень ограниченное применение, а на Западе практически не применяется [2, 3], несмотря на то что процессы формообразования на неорганических связующих (жидкое стекло, борфосфатные [4], цементные) самые экологически чистые и безопасные для жизнедеятельности [1]. Впоследствии эти процессы незаслуженно были вытеснены опасными для жизнедеятельности смесями на синтетических смолах. Предлагается целый ряд жидких отвердителей Уралхимпласт-ХА (ТУ 2332-1144-55778270-2012) с живучестью от 3–4 до 30–40 мин (см. таблицу). Применение марки отвердителя определяется требованиями конкретного литейного цеха [5]. Настоящие технические условия распространяются на отвердители, представляющие собой смесь сложных эфиров, ацетатов и карбонатов. Пример условий записи при заказе: отвердитель марки С10 ТУ 2332-1144-55778270-2012. В смесь вводили во всех случаях 10% отвердителя от количества жидкого стекла. Первым в песок вводили отвердитель, время перемешивания – 3–5 мин.

Отвердители марок «С» (ТУ 2332-1144-55778270-2012)

Наименование показателя	Марка			
	С10, С11	С20, С21	С30, С31	С60, С61
Реакционная способность	Быстрый	Средний	Стандартный	Медленный
Время живучести, мин	3–4	8–10	12–15	30–40
Время схватывания, мин	10	20	30	60

С целью реабилитации прогрессивных отечественных процессов формообразования с использованием жидкого стекла в лаборатории Российской Академии Художеств «Творческая мастерская «Литейный двор» были проведены исследования и успешно опробованы откорректированные составы формовочных и стержневых смесей на ряде заводов региона.

Определяли прочности смесей с отвердителями «С» разных марок с использованием песка Новинского месторождения (Ленинградская обл.). Песок марки ЗК₃О₄016:

- содержание глинистой – не более 1%;
- содержание кварца – не менее 97%;
- коэффициент однородности – от 50 до 60%;
- средний размер зерна – 0,16мм.

Из представленных данных следует, что песок имеет достаточно низкое качество (высокое содержание глинистой, низкое содержание кремнезема, высокая неоднородность), но является одним из самых дешевых. Структура песка показана на рис. 1.

Рекомендуемый модуль жидкого стекла – 2,40–2,50. Для изготовления стальных отливок [6] в производственных условиях был выбран модуль жидкого стекла 2,51, на котором ранее проводили лабораторные исследования технологических свойств ХТС для Невского машиностроительного завода НЗЛ. Результаты определения прочности смесей с различным содержанием жидкого стекла и отвердителем С20 (10%) представлены на рис. 2, а. Были исследованы составы с 4,0% жидкого стекла (кривая 1), 3,5% (кривая 2); 3,0% (кривая 3) и 2,5% жидкого стекла (кривая 4). Прочности определяли через 1, 2 и 24 ч. Живучесть – 15–20 мин. Из представленных результатов следует, что во всех случаях прочности через 24 ч соответствовали требованиям, предъявляемым к прочности смесей в цехе.

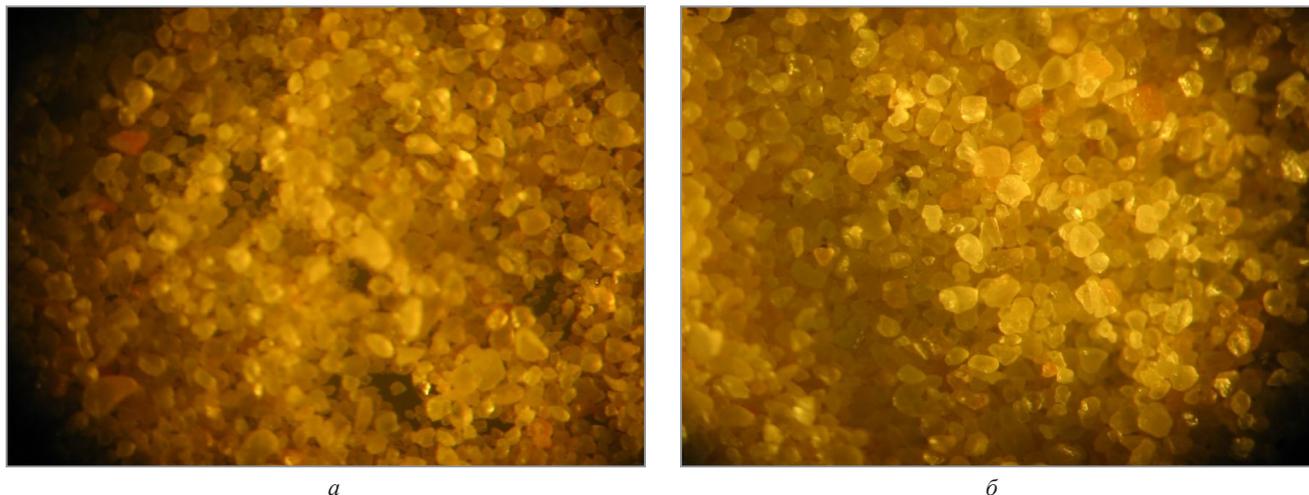


Рис. 1. Структура песка ZK_3O_4016 (Новинское месторождение, Ленинградская обл.): *a* – не отмытый; *б* – отмытый. $\times 28$

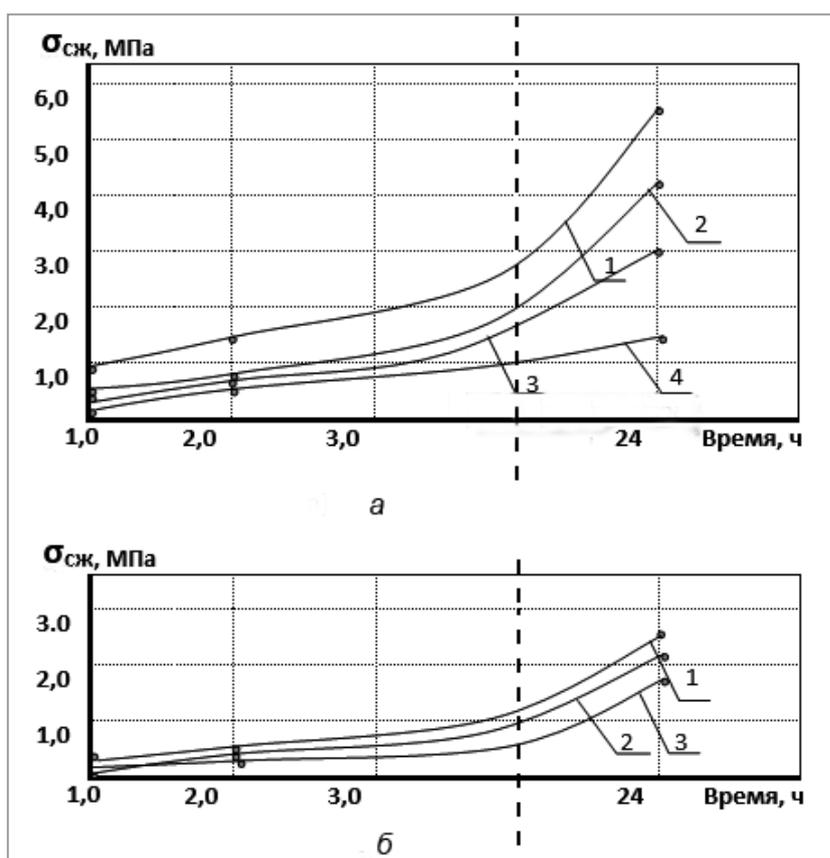


Рис. 2. Прочность жидкостекольных ХТС ($M=2,51$; плотность – $1,47-1,48\text{ г/см}^3$) с отвердителем С 20 (10% от количества жидкого стекла), песок – Новинка ZK_3O_4016 :
a – 1–4% жидкого стекла; 2 – 3,5; 3 – 3,0; 4 – 2,5%; живучесть смеси – 15–20 мин;
б – 1–3% жидкого стекла; 1,0% смола Альфабонд 07; 2 – 3% жидкого стекла; 1% смола Резоформ НБ65Ф; 3 – 2,5% жидкого стекла, 0,3% смола Резоформ НБ95Ф

Так, даже при 2,5% связующего (кривая 4) прочность составляла 1,4 МПа, т.е. для форм и стержней, заливаемых на следующий день, можно в принципе использовать состав с 2,5% жидкого стекла. При 3,0% жидкого стекла (кривая 3) прочность через 1 ч составила уже 0,4 МПа, через 2 ч – 0,7, а через 24 ч – 3,0 МПа. Таким образом, формы через 3 ч уже набирают необходимую прочность, т.е. их можно заливать жидким металлом. Суточные прочности имеют высокие величины. С увеличением содержания жидкого стекла до 3,5 и 4,0% прочности существенно возрастают и составляют через 24 ч 4,2 МПа (кривая 2) и 5,5 МПа соответственно. Начальные прочности также увеличились и требуемая прочность набирается через 1–2 ч. При 4,0% связующего прочность через 1 ч составила 1,0 МПа, т.е. требуемая,

а при 3,5% эта прочность достигается через 2,0–2,5 ч. Осыпаемость при этом не превышала 0,2%. Таким образом, возможно использовать составы с 2,5–3,0% жидкого стекла в смеси, но заливать их можно только через 3 ч и более, когда набирается заданная прочность.

Из [3, 7] и практического опыта известно, что при добавке в жидкое стекло фенолформальдегидной смолы прочность ХТС для CO_2 -процесса может увеличиваться в 1,5–3,0 раза. Рекомендуемый состав: 3% жидкого стекла и 1% смолы [8]. В связи с этим добавляли смолу в жидкое стекло для процесса с жидкими отвердителями. Исследовали прочностные показатели ХТС с 3% жидкого стекла и 1% различных фенольных смол (рис. 2, б). Из полученных результатов следует, что эффекта от введения смол нет. Во всех случаях прочности ХТС с добавкой смол ниже такой же смеси без них. Добавка 1% фурановой смолы Резоформ НБ95Ф дала самые низкие результаты, прочность через 1 сут не превышала 1,8 МПа (без смолы – 3,0 МПа). Прочности ХТС с карбамидофурановой смолой Резоформ НБ65Ф несколько выше, но также не превышают 2,2 МПа. Самые высокие прочности по сравнению с предыдущими смолами были получены с добавкой щелочной смолы Альфабонд 07, они составили через 1 сут 2,5 МПа, но они также имеют низкие значения по сравнению с составом без смолы (3,0 МПа). Если сравнивать прочности этих смесей (3,0% жидкого стекла + 1,0% смолы) с аналогичными с 4,0% жидкого стекла, то эта разница еще более существенна.

Таким образом, добавка фенольных смол в жидкое стекло снижает прочности смесей.

На основании полученных результатов были выбраны оптимальные составы смесей с минимальным содержанием жидкого стекла, для которых определяли прочности с разными марками отвердителей «С». Исследовали составы с 3,0% жидкого стекла и отвердителей С10, С20, С30, С60 (рис. 3, а, б). Результаты определения прочностей через 30 мин, 1, 2 и 24 ч для С10 и С20 показаны на рис. 3, а. Живучесть смесей составила 5 и 7 мин соответственно. Прочность для С10 через 30 мин составила 0,5 МПа, через 1 ч – 1,1 МПа, 2 ч – 1,4 и 24 ч – 3,8 МПа. Аналогичные прочности были и для С20. Однако начальной прочности через 30 мин не было, так как смесь имела более длительную живучесть (более 7 мин). Но уже через 1 ч прочности практически выравниваются (1,0 МПа), через 2 и 3 ч незначительно ниже – 1,2 и 1,8 МПа соответственно. Однако через 24 ч выше (4,2 МПа). Причем прочности через 2 и 3 сут не изменялись. Требуемые прочности ХТС достигались уже через 1 ч, максимальные прочности через 1 сут составили 3,8–4,2 МПа.

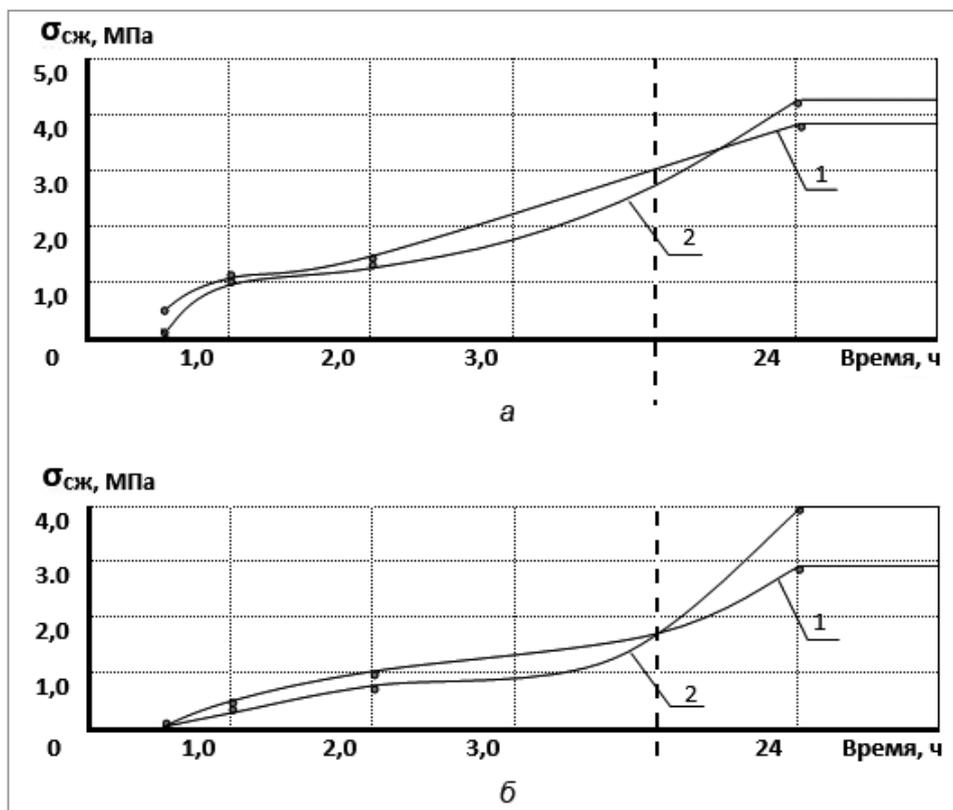


Рис. 3. Прочность ХТС с 3,0% жидкого стекла ($M=2,51$; плотность – 1,47–1,48 г/см³), отвердитель – 10% от количества жидкого стекла; песок Новинка ЗК₃О₄016:
 а – 1 – отвердитель С10, живучесть – 5 мин; 2 – отвердитель С20, живучесть – 7 мин;
 б – 1 – отвердитель С30, живучесть – 12 мин; 2 – отвердитель С60, живучесть – 17 мин

На рис. 3, б представлены результаты определения прочности смесей через 30 мин с отвердителями С30 и С60. Начальных прочностей через 30 мин не было как для смесей с С30, так и с С60. Это объясняется длинной живучестью смесей, которая составила 12 и 17 мин соответственно. Живучесть определяли в условиях лаборатории, где температура воздуха была не ниже 21–23 °С при влажности 60–65%. Через 1 ч прочность ХТС с С30 (кривая 1) составила 0,5 МПа, что в 2 раза меньше по сравнению со смесями с С10 и С20 (рис. 3, а). Через 2 ч прочность возросла до 1,0 МПа, через 24 ч – до 2,9 МПа, что несколько ниже, чем с С10 и С20, но, тем не менее, получены высокие прочности. Начальные прочности с С60 незначительно ниже (1 ч – 0,3 МПа; 2 ч – 0,7 МПа), а через 24 ч выше (4,0 МПа), чем с С30 (2,9 МПа). Для всех марок отвердителей получены высокие конечные прочности: 2,9 МПа (для С30) и 3,9–4,2 МПа для остальных отвердителей.

Далее снижали содержание жидкого стекла до 2,5%. Прочности ХТС с С10 и С20 показаны на рис. 4, а. Живучести смесей составили 4 и 5 мин соответственно, т.е. несколько уменьшились по сравнению с ХТС, содержащими 3,0% жидкого стекла. Это объясняется снижением количества связующего и более быстрым высыханием смеси (CO_2 в воздухе). Кривые 1 и 2 сопоставимы. Начальной прочности через 30 мин не было для обоих отвердителей. Прочности через 1 ч составили 0,2–0,3 МПа для С10 и С20, через 2 ч – 0,7–0,8 МПа соответственно. Прочность через 24 ч составила для С10 (кривая 1) – 2,7 МПа, а для С20 (кривая 2) – 1,8 МПа. Таким образом, полученные конечные прочности соответствуют заданным требованиям по прочности.

Результаты определения прочности для отвердителей С30 и С60 представлены на рис. 4, б (кривые 1 и 2). Живучесть составила 10 и 13 мин соответственно, т.е. также меньше, чем при 3,0% связующего. Так же как и ранее, прочности через 30 мин не было для обоих отвердителей. Через 1 ч прочности не превышали 0,1–0,3 МПа для С30 и С60, через 2 ч – 0,4–0,5 МПа, через 24 ч – 1,2–1,7 МПа, т.е. начальные и конечные прочности несколько ниже, чем для С10 и С20. Суточные прочности соответствуют заданным требованиям.

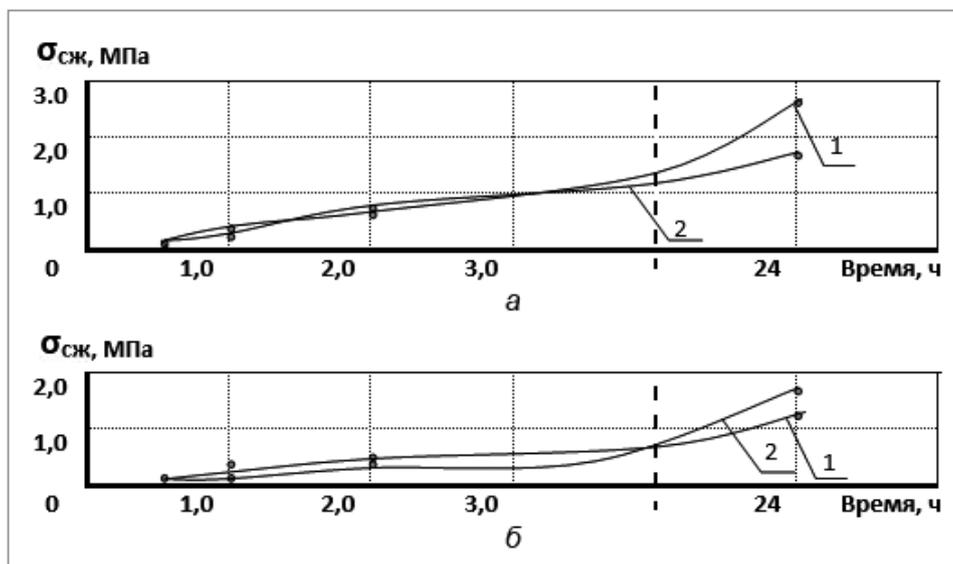


Рис. 4. Прочность ХТС с 2,5% жидкого стекла ($M=2,51$; плотность – 1,47–1,48г/см³), отвердитель – 10% от количества жидкого стекла; песок Новинка $3\text{K}_3\text{O}_4\text{O}16$: а – 1 – отвердитель С10, живучесть – 4 мин; 2 – отвердитель С20, живучесть – 5 мин; б – 1 – отвердитель С30, живучесть – 10 мин; 2 – отвердитель С60, живучесть – 13 мин

На основании полученных результатов для производства форм и стержней отливок в арматуростроении можно рекомендовать составы смесей с 3,0% и даже с 2,5% жидкого стекла. Это позволит улучшить выбиваемость и податливость форм и стержней, особенно в отливках запорной арматуры небольших диаметров прохода. Кроме того, формы и стержни из смесей с жидкими отвердителями не разрушаются через 1–3 сут в отличие от CO_2 -процесса на жидком стекле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткаченко С. С., Кривицкий В. С. Потенциал литейного производства Санкт-Петербурга и Ленинградской обл. // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство сегодня и завтра». Санкт-Петербург, 2016.
2. Жуковский, С. С. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси. Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. 469 с.

3. Жуковский, С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: спра. М.: Машиностроение, 2010. 255 с.
4. Илларионов И. Е., Пестряева Г. Ш., Садетдинов Ш. В., Стрельников И. А. Влияние метаборатов лития, натрия и калия на свойства фосфатных холоднотвердеющих смесей // Литейное производство. 2019. № 12.
5. Семенов А.А., Бедрин Н.И., Кузнецов В.Г. и др. Освоение холоднотвердеющих смесей на ОАО «Оскольский завод металлургического машиностроения» // Литейное производство. 2004. № 5.
6. Куркевич Б.В., Милеева Т.С. Современные связующие композиции для холоднотвердеющих форм и стержней // Литейное производство. 2005.
7. Жуковский С.С., Кафтаников А.С. Применение холоднотвердеющих смесей, применяемых на предприятиях России // Литейщик России. 2004. № 10.

REFERENCES

1. Tkachenko S.S., Krivickij V.S. Potencial litejnogo proizvodstva Sankt – Peterburga i Leningradskoj oblasti [The potential of the foundry production of St. Petersburg and the Leningrad region]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Litejnoe proizvodstvo segodnja i zavtra", Sankt- Peterburg 2016 g.* = *Collection of proceedings of the international scientific and technical conference "Foundry today and tomorrow", St. Petersburg 2016*.
2. Zhukovskij S.S. *Tehnologija litejnogo proizvodstva: formovochnye i sterzhnevye smesi* [Foundry technology: molding and core sands]. Brjansk: Izdatel'stvo BGTU Publ., 2002, 469 p.
3. Zhukovskij S.S. *Holodnotverdejušhie svjazujušhie i smesi dlja litejnyh sterzhnej i form* [Cold hardening binders and mixtures for foundry cores and molds]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010, 255 p.
4. Illarionov I. E., Pestrjaeva G. Sh., Sadetdinov Sh. V., Strel'nikov I. A. Vlijanie metaboratov litija, natrija i kalija na svojstva fosfatnyh holodnotverdejušhijh smesej [Influence of lithium, sodium and potassium metaborates on the properties of phosphate cold-hardening mixtures]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2019, no. 12.
5. Semjonov A. A., Bedrin N. I., Kuznecov V. G., Odinkova S. E., Denisova L. N. Osvoenie holodnotverdejušhijh smesej na ОАО «Oskol'skij zavod metallurgičeskogo mashinostroenija» [Development of cold-hardening mixtures at JSC "Oskol plant of metallurgical engineering"]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2004, no. 5.
6. Kurakevich B. V., Mileeva T. S. Sovremennye svjazujušhie kompozicii dlja holodnotverdejušhijh form i sterzhnej [Modern binder compositions for cold hardening molds and cores]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2005.
7. Zhukovskij S. S., Kaftannikov A. S. Primenenie holodnotverdejušhijh smesej, primenjaemyh na predpriyatijah Rossii [The use of cold-hardening mixtures used at Russian enterprises]. *Litejšhik Rossii = Russian Foundrymen*, 2004, no. 10.