



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-35-39>
УДК 621.743.49

Поступила 18.08.2025
Received 18.08.2025

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

В. В. ВОЙТЕНКО, С. А. МЕДВЕДЧУК, В. Е. БРЕШЕВ, Г. О. ВОЙТЕНКО,
Луганский государственный университет им. В. Даля, г. Луганск, Луганская Народная Республика,
Россия, кв. Молодежный, 20А. E-mail: valery.voytenko@outlook.com

Рассматриваются резервы усовершенствования оболочечной стержневой технологии на неорганическом связующем веществе – жидким натриевом стекле за счет объединения достоинств стержневого V-процесса и жидкостекольного стержневого процесса, использующего в качестве основного компонента стержневой смеси первичную целлюлозу либо формовочную бумажную массу (пульперкартон в жидкой фазе). Предлагается технология изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней из пульперкартона с использованием жидкого натриевого стекла в качестве связующего вещества, включающая в себя подготовительные операции измельчения и набухания первичной целлюлозы, добавление воды и жидкого натриевого стекла, формирование оболочки, сушку, заполнение оболочки сухим формовочным кварцевым песком либо оборотной стержневой смесью, запечатывание и окончательную сушку оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в сушильном шкафу. Представлены результаты экспериментальных исследований физико-технических свойств оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней и обсуждаются перспективы промышленного применения предложенной стержневой технологии.

Ключевые слова. Целлюлоза, стержневая смесь, стержневой процесс, оболочка, прочность, литейный стержень, жидкое натриевое стекло, формовочный кварцевый песок, выбиваемость, пульперкартон.

Для цитирования. Войтенко, В. В. Экспериментальные исследования возможностей технологии изготовления оболочечных литейных стержней на основе целлюлозы / В. В. Войтенко, С. А. Медведчук, В. Е. Брешев, Г. О. Войтенко // Литье и металлургия. 2025. № 4. С. 35–39. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-35-39>.

EXPERIMENTAL RESEARCH INTO FEASIBILITY OF CELLULOSE-BASED SHELL CORE-MAKING TECHNOLOGY

V. V. VOYTENKO, S. A. MEDVEDCHUK, V. E. BRESHEV, G. O. VOYTENKO,
Vladimir Dal Lugansk State University, Lugansk, Lugansk People's Republic, Russia,
20A, Molodozhnyy Block. E-mail: valery.voytenko@outlook.com

This paper explores opportunities for improving shell core-making technology using an inorganic binder – liquid sodium silicate – by integrating the advantages of the V-Process and a sodium silicate-based core-making process, which employs primary cellulose or aqueous suspension of pulped cardboard fibers as the principal component of a core molding mixture. A core-making technology for cellulose-based, sodium silicate-bonded shell cores, in which pulped cardboard serves as the cellulose source, has been presented. This technology includes preparatory operations such as milling and swelling of primary cellulose, addition of both water and liquid sodium silicate, shell formation, drying, filling the shell with dry quartz molding sand or a recycled core mixture, sealing, and final drying of a cellulose-based, sodium silicate-bonded shell core in a drying oven. The results of experimental research into the physical and technical properties of cellulose-based, sodium silicate-bonded shell cores have been demonstrated, and the prospects for industrial application of the proposed core-making technology have been discussed.

Keywords. Cellulose, core molding mixture, core-making process, shell, strength, foundry core, liquid sodium silicate, quartz molding sand, knockout performance, pulped cardboard.

For citation. Voytenko V. V., Medvedchuk S.A., Breshev V.E., Voytenko G. O. Experimental research into feasibility of cellulose-based shell core-making technology. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 4, pp. 35–39. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-35-39>.

Введение

В современном литейном производстве используются различные стержневые процессы, обладающие как достоинствами, так и недостатками. Выбор стержневого процесса определяется рядом факторов, включая масштаб производства, тип применяемого литейного сплава, габариты и сложность

металлических отливок, а также требования к качеству готовых изделий [1–3]. Предпочтение тому или иному стержневому процессу нередко затруднено, поскольку выбор зависит от множества технологических и производственных факторов, включая требования к качеству получаемых отливок. Даже широко распространенный в мировой практике cold-box-amine-процесс не всегда гарантирует получение отливок высокого качества [4]. Усовершенствование данного стержневого процесса продолжается, в частности в направлении улучшения выбиваемости песчано-смоляных литейных стержней из алюминиевых отливок. Однако резервы его дальнейшего усовершенствования на текущем этапе ограничены. С другой стороны, существуют стержневые процессы, получившие существенно меньшее распространение в мировой практике, однако имеющие значительные резервы для дальнейшего усовершенствования. Комбинирование стержневых процессов, таких, как песчано-жидкостекольный стержневой процесс и V-процесс, открывает особые перспективы [5, 6].

Применение жидкого натриевого стекла в качестве связующего вещества на этапе приготовления стержневой смеси позволяет получать песчано-жидкостекольные литейные стержни с высокой прочностью, термической стойкостью и экологичностью производства. Основной недостаток песчано-жидкостекольной стержневой технологии – низкая выбиваемость литейных стержней из отливок, выполненных из цветных металлов и их сплавов [7, 8]. Выбиваемость песчано-жидкостекольных литейных стержней из чугунных и стальных отливок является достаточно высокой, однако может быть дополнительно улучшена путем добавления в стержневую смесь алюминиевой пудры в количестве 0,5–1,5 мас. % либо измельченной морской ракушки в количестве 5–20 мас. % [9, 10].

При литье сплавов цветных металлов внутренний объем песчано-жидкостекольного литейного стержня испытывает меньшее термическое воздействие, чем при литье чугуна, поэтому он сохраняет исходную прочность, что ухудшает его выбиваемость. Решение этой проблемы может заключаться в создании оболочечных песчано-жидкостекольных литейных стержней, использующих в качестве основного компонента стержневой смеси измельченный кварцевый песок с размерами частиц менее 100 мкм для повышения ее пластичности и адгезии к внутренним поверхностям стержневых ящиков. Повышение манипуляторной и окончательной прочности литейных стержней данного типа может быть достигнуто за счет увеличения массовой доли жидкого натриевого стекла в стержневой смеси. Однако эксперименты, проведенные авторами, показали, что такие литейные стержни, как правило, испытывают заметное коробление при толщине оболочки менее 3 мм. Поэтому для предотвращения коробления литейного стержня решено заполнять его внутренний объем сухим кварцевым песком либо обратной стержневой смесью без добавления связующего вещества с последующим запечатыванием той же стержневой смесью, из которой изготовлена его оболочка. В данном случае применение оболочечных литейных стержней, выполненных сухим кварцевым песком либо обратной смесью, включает преимущества песчано-жидкостекольной стержневой технологии и V-процесса: высокая прочность и термостойкость оболочки сочетаются с отличной выбиваемостью из отливок благодаря использованию сухого заполнителя. Однако, несмотря на успешные эксперименты, проведенные авторами и подтвердившие перспективность применения оболочечных песчано-жидкостекольных литейных стержней, было принято решение заменить кварцевый песок в стержневой смеси на первичную целлюлозу либо пульперкартон. Объясняется это большей простотой изготовления оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня по сравнению с песчано-жидкостекольным аналогом, а также возможностью применения вакуумной обработки для формирования и предварительной сушки его оболочки. Поэтому исследования в данном направлении представляют собой актуальную научную задачу.

Цель работы – разработка технологии получения оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней.

Методика проведения исследований

Оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни с заполнением внутреннего объема сухим формовочным кварцевым песком (либо сухой обратной стержневой смесью) изготавливали согласно предложенной стержневой технологии, являющейся модификацией широко применяемой технологии изготовления упаковки из пульперкартона [11]. Отличительной особенностью предложенной технологии является использование в качестве связующего вещества жидкого натриевого стекла. Технология изготовления литейного стержня данного типа, внутренний объем которого заполнен формовочным кварцевым песком либо обратной стержневой смесью, заключается в следующем. Первичная целлюлоза либо бумажная масса взвешивается, после чего измельчается, набухает и приобретает консистенцию

густого целлюлозного теста в пульпере. При варке первичной целлюлозы ее массовая доля в целлюлозном тесте составляет 10–13 %. После фильтрации целлюлозного теста в него добавляется жидкое натриевое стекло в требуемом соотношении к массе исходной сухой первичной целлюлозы либо бумажной массы. После приготовления однородной смеси пульперкартона с жидким натриевым стеклом полученная целлюлозно-жидкостекольная стержневая смесь наносится на внутренние поверхности стержневых ящиков, которые в зависимости от сложности и размеров изготавливаемых оболочечных литейных стержней могут медленно вращаться либо переворачиваться. Далее следует технологическая операция предварительной вакуумной сушки до состояния, когда стержневая смесь теряет текучесть. После этого объем стержневых ящиков заполняется воздушно-углекислотной смесью при температуре 80–90 °C на время, необходимое для достижения литейным стержнем требуемой манипуляторной прочности, зависящей от толщины оболочки и класса сложности его формы. После извлечения из стержневого ящика литейный стержень через оставшееся в нем отверстие заполняется сухим кварцевым песком либо обратной стержневой смесью, полученной в результате переработки выбитых из отливок литейных стержней. Далее отверстие в литейном стержне запечатывается стержневой смесью, идентичной по составу смеси, использованной для изготовления его оболочки. После этого литейный стержень сушится в сушильном шкафу в потоке воздуха. Готовый литейный стержень подвергается испытаниям на прочность, выбиваемость и устойчивость к термическим воздействиям. Для термических испытаний используется муфельная печь. Испытания на коробление оболочки литейного стержня проводятся путем создания неравномерного нагрева его поверхности с помощью газовой горелки с температурой пламени в диапазоне 1500–1600 °C.

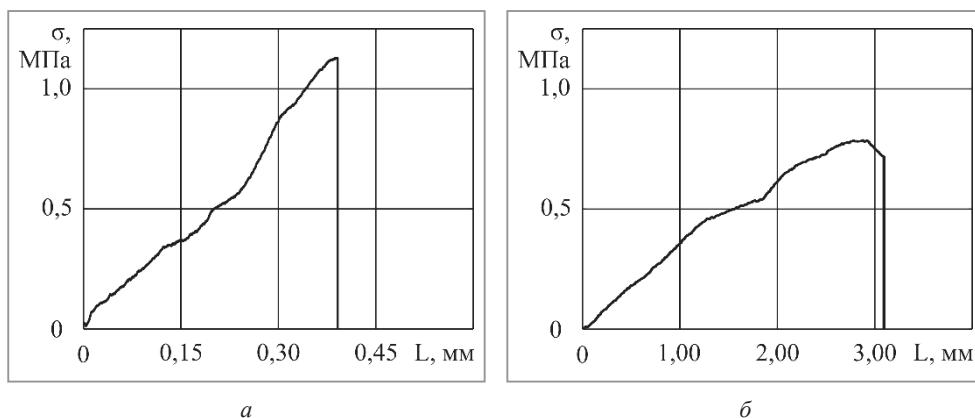
Результаты исследований

Изготовление оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней по вышеописанной технологии и исследование их физико-технических свойств показали перспективность предложенной стержневой технологии и позволили выявить следующие ее достоинства. Данная технология характеризуется сравнительно высокой производительностью и обеспечивает высокое качество поверхности литейных стержней. Затраты энергии на изготовление оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней сопоставимы с затратами на производство объемных песчано-жидкостекольных литейных стержней. Следует отметить, что стержневая смесь, состоящая из пульперкартона, воды и жидкого натриевого стекла, требует больших затрат на сушку, чем песчано-жидкостекольная стержневая смесь аналогичной массы из-за большего содержания воды в целлюлозном тесте. Однако при изготовлении оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней обезвоживание достаточно тонкой оболочки может быть осуществлено быстро в два этапа: вакуумной сушкой и последующей тепловой сушкой. Сушка оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней толщиной стенки более 3 мм требует гораздо больших затрат времени и энергии, поскольку газопроницаемость целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси на порядок хуже, чем у песчано-жидкостекольной стержневой. Результаты испытаний оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней на прочность показали, что они не уступают по прочности песчано-жидкостекольным. Так, предел прочности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней при растяжении составляет 0,6–0,7 МПа, чего вполне достаточно, и даже этот предел прочности может быть увеличен в случае необходимости путем увеличения массовой доли жидкого натриевого стекла в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси.

На рисунке показаны диаграммы разрушения при растяжении экспериментальных образцов литейных стержней песчано-жидкостекольного и целлюлозно-жидкостекольного типов. На диаграммах используются следующие обозначения: σ – механическое напряжение в образце литейного стержня, МПа; L – линейное перемещение привода машины для испытаний материалов на прочность (не соответствует реальному удлинению образца, потому что происходит хрупкое разрушение его опорных поверхностей), мм.

Следует отметить, что в отличие от песчано-жидкостекольных литейных стержней, разрушающихся при растяжении и изгибе практически мгновенно, оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни демонстрируют способность к незначительному растяжению и изгибу, что препятствует их излому при нагрузках, близких к предельным. Такое свойство оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней можно отнести к их достоинствам.

Термические испытания оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней показали, что тепловая деградация наружной поверхности оболочки литейного стержня происходит на глубину, зависящую от температуры и времени теплового воздействия. Так, глубина выгорания целлюлозы при



Диаграммы разрушения при растяжении экспериментальных образцов литейных стержней песчано-жидкостекольного (*а*) и целлюлозно-жидкостекольного (*б*) типов

температуре 1500 °С и длительности термического воздействия 60 с составляет около 0,8–1,2 мм. При этом внешний слой оболочки сохраняет достаточную прочность благодаря связующему веществу – жидкому натриевому стеклу. Таким образом, зная температуру металлического расплава при заполнении литейной формы и время, необходимое для его остывания, можно оценить необходимую толщину оболочки целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, чтобы за время теплового воздействия термическое разложение целлюлозы охватило всю толщину оболочки. При этом условии оболочечный целлюлозно-жидкостекольный литейный стержень будет легко выбиваться из отливки, а заполняющий для увеличения жесткости объема формовочный кварцевый песок (либо обратная стержневая смесь) будет просто высыпаться. Выбитые оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни могут быть переработаны в обратную стержневую смесь путем просеивания через сито. Наличие заполнителя внутренней полости оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня повышает жесткость его формы при неравномерном тепловом воздействии. Это препятствует короблению его оболочки. Как показывают эксперименты, коробление таких стержней меньше, чем у песчано-жидкостекольных аналогов, что также является достоинством предложенной стержневой технологии.

Выводы

Комбинирование песчано-жидкостекольного стержневого процесса и V-процесса позволило создать новую технологию получения оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, внутренний объем которых заполнен чистым формовочным кварцевым песком либо обратной стержневой смесью. Оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни имеют достаточную манипуляторную и окончательную прочность, достаточную термостойкость и хорошую выбиваемость из металлических отливок, что делает их перспективными для использования при литье чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. Высокий уровень технологичности и экологичности, а также снижение себестоимости, обусловленное возможностью многократного использования материалов и автоматизации производственных процессов, определяют перспективность предложенной технологии изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. Перспективность предложенной стержневой технологии, обусловленная возможностью ее дальнейшего усовершенствования, позволяет спрогнозировать ее скорое внедрение в производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iron and Steel Castings and Core Production Results from Finer Grades of Chromite Sand in Shell Applications / R. Steele, K. Kerns, P. LaFay [et al.] // International Journal of Metalcasting. – 2025. – Vol. 19. – P. 635–642.
2. Sundaram, D. Thermal Analysis and Gas Generation Measurement of Foundry Sand Mixtures / D. Sundaram, J. T. Svidró, A. Diószegi // International Journal of Metalcasting. – 2025. – Vol. 19, iss. 3. – C. 1732–1740.
3. Influence of Metal Casting Temperature and Cations on Phase Transformation of Silica Sand to Cristobalite / N. P. Hoolikanti-math, S. Dodamani, K. G. Gupta [et al.] // International Journal of Metalcasting. – 2023. – Vol. 17. – C. 2038–2049.
4. Khan, M. S. Numerical and Experimental Analysis of Amine Flow in Foundry Sand Cores / M. S. Khan, M. Szucki // Proceedings of the 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'24). – 2024. – Article HTFF 253.
5. The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact / V.A. Kukartsev, V. V. Kukartsev, V. S. Tynchenko [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15, iss. 3. – Article 1220.
6. Delimanová, P. The Study of the Influence of Core Mixtures with Varying Ratios of Foundry Sand / P. Delimanová, I. Vasková, O. Kožej // International Journal of Metalcasting. – 2025.

7. Effect of Roundness and Surface Roughness of Foundry Sand on the Temperature Change of Sand Cores for Aluminum Casting / T. Ha, J. Kim, Y. Lee [et al.] // Metals. – 2025. – Vol. 15, iss. 1. – Article 88.
8. Исследование составов жидкостекольных ХТС с песком Новинского месторождения. Сообщение 1 / С. С. Ткаченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2023. – № 1. – С. 35–40.
9. Гутько, Ю. И. Исследование теплоемкости песчано-жидкостекольных литейных стержней с содержанием морской ракушки / Ю. И. Гутько, В. В. Войтенко // Структурная модернизация науки как основа устойчивого развития общества: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. – Стерлитамак: АМИ, 2023. – С. 61–65.
10. Гутько, Ю. И. Экспериментальные исследования влияния мелкодисперсных металлических порошков на физико-технические характеристики песчано-жидкостекольных литейных стержней / Ю. И. Гутько, В. В. Войтенко // Литье и металлургия. – 2024. – № 1. – С. 20–25.
11. Semple, K. E. Moulded Pulp Fibers for Disposable Food Packaging: A State-of-the-Art Review / K. E. Semple, Ch. Zhou, O.J. Rojas [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2022. – Vol. 33. – Article 100908.

REFERENCES

1. Steele R., Kerns K., LaFay P. [et al.] Iron and Steel Castings and Core Production Results from Finer Grades of Chromite Sand in Shell Applications. *International Journal of Metalcasting*, 2025, vol. 19, pp. 635–642.
2. Sundaram D., Svidró J. T., Diószegi A. Thermal Analysis and Gas Generation Measurement of Foundry Sand Mixtures. *International Journal of Metalcasting*, 2025, vol. 19, no. 3, pp. 1732–1740.
3. Hoolikantimath N.P., Dodamani S., Guptha K.G. [et al.] Influence of Metal Casting Temperature and Cations on Phase Transformation of Silica Sand to Cristobalite. *International Journal of Metalcasting*, 2023, vol. 17, pp. 2038–2049.
4. Khan M.S., Szucki M. Numerical and Experimental Analysis of Amine Flow in Foundry Sand Cores. *Proceedings of the 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'24)*, 2024, article HTFF 253.
5. Kukartsev V.A., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S. [et al.] The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact. *Materials*, 2022, vol. 15, no. 3, article 1220.
6. Delimanová P., Vasková I., Kožej O. The Study of the Influence of Core Mixtures with Varying Ratios of Foundry Sand. *International Journal of Metalcasting*, 2025.
7. Ha T., Kim J., Lee Y. [et al.] Effect of Roundness and Surface Roughness of Foundry Sand on the Temperature Change of Sand Cores for Aluminum Casting. *Metals*, 2025, vol. 15, no. 1, article 88.
8. Tkachenko S. S., Sokolov A. V., Druzhevsky M. A. [et al.] Issledovanie sostavov zhidkostekol'nyh HTS s peskom Novinskogo mestorozhdenija. Soobshhenie 1 [Research of the liquidglass HTS compositions with sand of the Novinsky deposit. Message 1]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 1, pp. 35–40.
9. Gutko Yu. I., Voytenko V. V. Issledovanie teplojomosti peschano-zhidkostekol'nyh litejnyh sterzhnej s soderzhaniem morskoy rakushki [Research into Heat Capacity of Sand-Based Sodium Silicate-Bonded Cores Containing Sea Shells]. *Strukturnaja modernizacija nauki kak osnova ustoichivogo razvitiya obshhestva: sb. st. po itogam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Structural Modernization of Science as Foundation for Sustainable Societal Development: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*. Sterlitamak, AMI Publ., 2023, pp. 61–65.
10. Gutko Yu. I., Voytenko V. V. Eksperimental'nye issledovaniya vlijaniya melkodispersnyh metallicheskikh poroshkov na fiziko-tehnicheskie harakteristiki peschano-zhidkostekol'nyh litejnyh sterzhnej [Experimental impact study of ultrafine metal powders on technical characteristics and physical properties of foundry sodium silicate sand cores]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 20–25.
11. Semple K. E., Zhou Ch., Rojas O. J. [et al.] Moulded Pulp Fibers for Disposable Food Packaging: A State-of-the-Art Review. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, vol. 33, article 100908.