

Прообразы природоподобных технологий литейного производства

В обзоре описаны два вероятных прототипа так называемых природоподобных технологий литейного производства. Для литья по ледяным моделям используют минеральные компоненты при изготовлении оболочковых песчаных форм, а модель удаляют из формы путем таяния и естественной фильтрации ее расплава сквозь пористую песчаную смесь литейной формы, которая отверждается на глубину фильтрации путем гидратации замешанных в смеси гипса и цемента. Также описаны возможности конструирования тонкостенных отливок подобных структурам природы.

Ключевые слова: литейное производство, природоподобные технологии, литье по ледяным моделям, литье по газифицируемым моделям, фильтрация, оболочковая форма, фильтрационная формовка.

Научно-технологическое развитие сегодня во многом связано с созданием принципиально новых, так называемых природоподобных технологий (ПТ), которые будут повторять процессы живой природы, и дадут нам экономичный, как в самой природе, уровень потребления ресурсов, помогут создать новую техносферу – не потребительскую, хищнически относящуюся к природе, выкачивающую из нее все, любой ценой, как за последние две сотни лет, а более гармоничную, экономичную, на принципах соединения органического и неорганического мира, живого и неживого [1, 2]. Мы построили комфортную для человека цивилизацию, техносферу, паразитируя на базе и ресурсах биосферы Земли, которая существовала миллионы лет до появления в ней человека абсолютно самодостаточно и гармонично. Индустриальная же цивилизация всего лишь за 200 лет своего существования поставила мир на порог ресурсного коллапса. Один лишь пример свидетельствует, что за антропогенную историю было израсходовано примерно 200 млрд тонн кислорода. Такое же количество кислорода было израсходовано за последние 50 лет индустриальной эры [1].

Причиной сложившейся кризисной ситуации является антагонизм природы и созданной человеком техносферы, которая нарушила естественный ресурсооборот – своеобразный обмен веществ природы, создав технологии, враждебные ей. Эти технологии, будучи вырванными из естественного природного контекста, по сути, являются плохими копиями отдельных элементов природных процессов и базируются на узкоспециализированной модели науки и на отраслевых технологиях. В целом, такое развитие было неизбежно и закономерно, но в итоге масштабы влияния человека на окружающий мир перешли критическую границу. Все чаще звучит мысль о том, что сегодняшний глобальный кризис не может быть разрешен по прежним фундаментальным лекалам нашей цивилизации, в существующей парадигме ее развития. Нужен качественный скачок, переход на иные принципы, прежде всего производства и потребления энергии, а также бережного отношения к

окружающей среде, которые изменят облик всей техносферы.

Современные технологии требуют огромного количества энергии, которую существующая альтернативная энергетика не способна выработать. Выйти из этого технологического тупика поможет наука, которая уже сегодня дает возможность создавать принципиально новые технологии ресурсосбережения и потребления энергии по образцу живой природы – природоподобные технологии. Смысл создания природоподобной техносферы состоит в восстановлении естественного самосогласованного ресурсооборота, нарушенного сегодняшними технологиями.

В стремлении наследовать такой ресурсооборот, находить пути его инициирования [3], во ФТИМС НАН Украины создана технология литья по ледяным моделям. В этой технологии агрегатные переходы воды (из жидкого в твердое, опять в жидкое и затем в газообразное) при замораживании литейной модели из воды, плавлении модели при освобождении полости литейной формы, а затем испарении влаги при сушке песчаной формы, в какой-то мере подобны круговороту воды в природе. В ряде последних работ это отражено в их названиях [4–6]. Отдельные моменты отработки процесса литья звездочки конвейера по ледяным моделям иллюстрирует рис. 1.

Материальная сторона технологии литья по ледяным моделям заключается в использовании неорганических материалов: воды в различных состояниях, минерального дисперсного наполнителя – кварцевого песка и минеральных связующих – гипса и цемента, порошка термически обработанных природных пород, из которых их получают. Цемент состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных и добавок. Полученные из цементных минералов и воды (путем фильтрации расплава модели в окружающую ее насыпную виброуплотненную сухую смесь) твердые соединения кристаллогидратов водостойки, то есть нерастворимы в воде. Отверждение сыпучей смеси, возникшее в результате фильтрации (естественной или принудительной путем создания давления или разрежения в формовочной

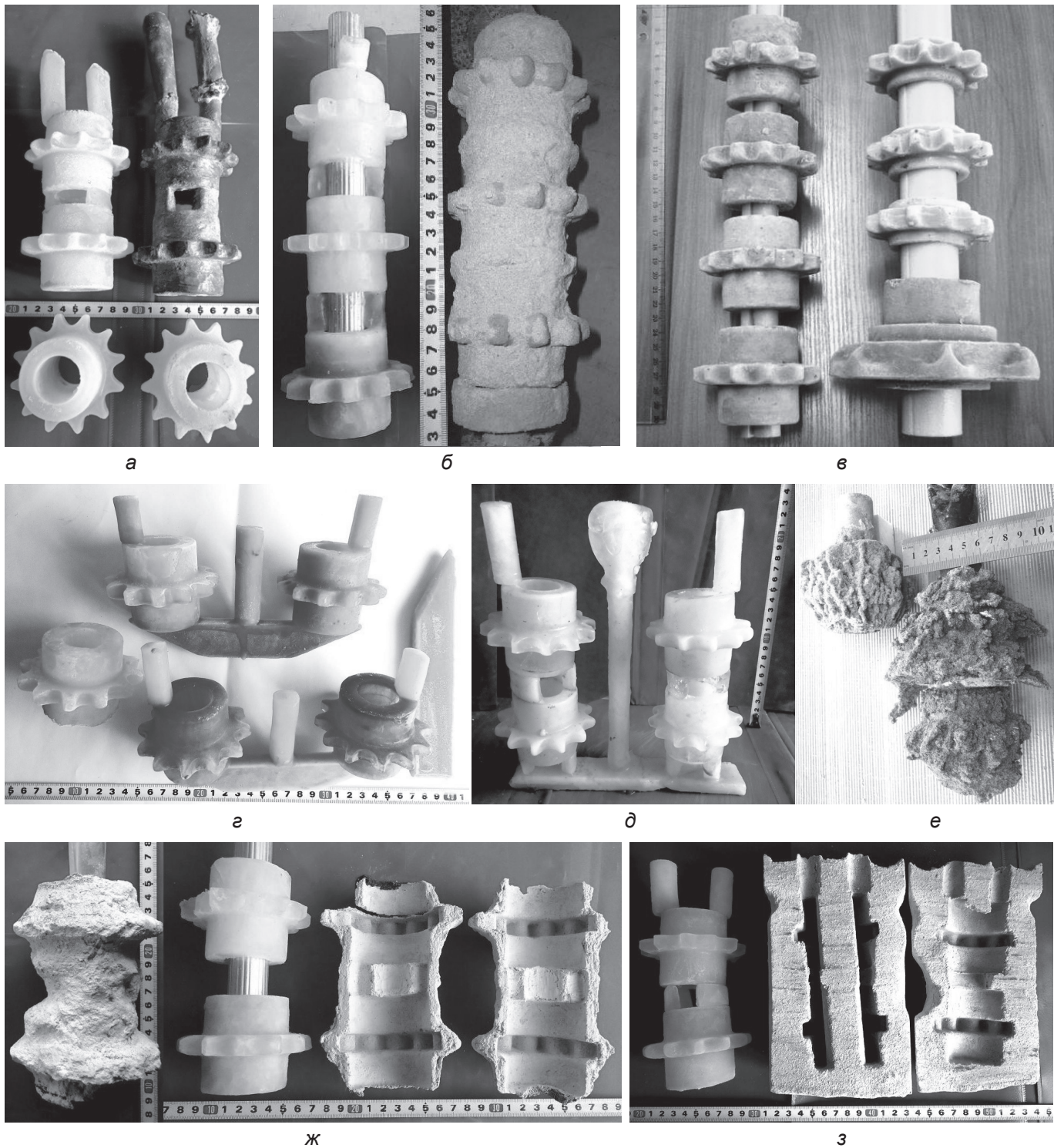


Рис. 1. Иллюстрации из процесса литья звездочки конвейера: а – отдельные ледяные модели, блок (кластер) из двух моделей и двух отливок; б – блок из трех моделей и многослойная песчаная оболочка; в – блоки из четырех разных моделей; г, д – блоки из двух и четырех моделей; е – песчаные оболочки по одной и двум моделям; ж – оболочка по двум моделям, блок моделей и распиленная оболочка; з – блок моделей и распиленная толстостенная песчаная оболочка

смеси) и химической реакции цемента с водой, относится к процессам так называемой фильтрационной формовки. Цемент и гипс облегчают выбиваемость смесей из отливок, так как при нагреве от отливки они дегидратируются (аналогично процессу их получения), и смеси разупрочняются. Такие песчано-кристаллогидратные смеси способны вновь отверждаться в контакте с водой, что позволяет использовать их как обратные отверждаемые смачиванием распла-

вом ледяных моделей смеси с освежением кварцевым песком до 10 % [7].

ПТ – часть логичного процесса развития науки, начавшегося от древних греков и натурфилософов древнего мира, которые пытались найти единые закономерности окружающего мира, природы. Затем человек создал физику, химию, биологию, прочие науки, число которых росло, чтобы легче изучать эти узкие направления. По пути этого углубленного

анализа, разделения окружающего мира на все более мелкие детали, мы дошли, как говорят в микроэлектронике, до предела миниатюризации [1].

Многие вещи, явления, процессы мы изучили досконально, но в то же время зашли в тупик, перестав рассматривать природу как единое целое, самодостаточный организм, существовавший за миллиарды лет до возникновения человека. Мы создавали три сотни лет новый, удобный окружающий мир, укрощая природу. Но к концу XX века вмешательство человека в природу стало критическим. Построенная нами цивилизация оказалась враждебной, антагонистической нашей биосфере, громадная по затратам ресурсов и количеству отходов, не совместимых с окружающей средой. Мы оказались на пороге ресурсного коллапса, энергетического кризиса, три столетия хищнически истощая недра земли, добывая уголь, нефть, газ. Для развития цивилизации нужен новый технологический уклад, эффективный в потреблении энергии, как природа, дружественный ей, основанный на ее принципах. Узкоспециализированная наука, технологии, с которыми мы жили раньше и построили современную цивилизацию, завели нас в глобальный тупик. Значит, от узкой специализации надо перейти к принципиально иному подходу. И развитие науки само этот переход, можно сказать, выкристаллизовало.

В конце XIX века, когда процесс разделения на все новые науки был в самом разгаре, начали возникать науки-связки, науки-мостики: геохимия, физикохимия, биофизика и прочие. От анализа мы перешли к синтезу наук. Развивается новое направление конвергенции: мы пытаемся соединить новейшие технологии с конструкциями, принципами живой природы, примеры чего предложены, в частности, для литейного производства в работах [8–11], что отражено в их названиях.

Особенно быстро это стало применяться в авиационных и космических аппаратах. Так, в 2015 году компания Airbus Defense and Space в Великобритании объявила о выпуске первого в своем классе алюминиевой 3D-печатной отливки для своего спутника Eurostar E3000 (рис. 2) [12]. Видоизмененный кронштейн весит на 35 % меньше, чем тот, который он заменил, с увеличением жесткости на 40 %.

Главные отличия предложенных человеком инженерных конструкций от созданных эволюционными процессами живой и неживой природы состоят в высокой ресурсоэффективности последних. Сегодня «эволюцию» в направлении металлосбережения и оптимизации конструкции способен выполнить компьютер. Среди таких примеров показано перепроектирование инжиниринговым центром CompMechLab (Россия) цифровыми технологиями топологической оптимизации кулаков подвески автомобиля (рис. 3, а) в целях снижения массы автомобильных отливок, а также кронштейна рефлектора (рис. 3, б) [13]. Легковесные «трансформированные» конструкции показаны на рис. 3 в каждой паре слева. Аналогичные конструкции предложено также изготавливать методом литья по газифицируемым моделям [9–11].

Технология изготовления ячеистых отливок все

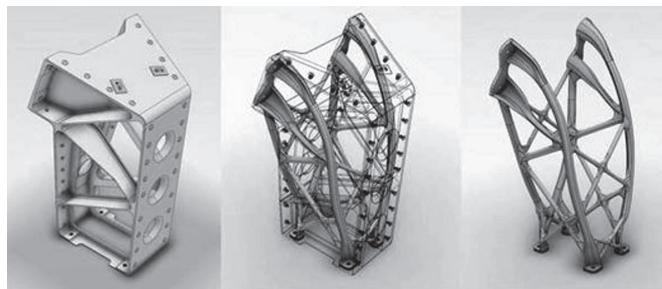


Рис. 2. Трансформация кронштейна компанией Airbus Defense and Space

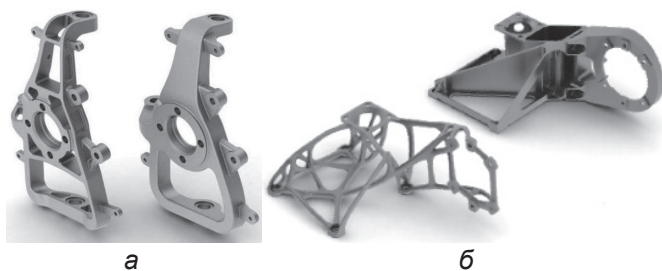


Рис. 3. Две традиционные металлоотливки и их легковесные варианты (а, б – в каждой паре слева)

чаще освещается журналами литейной тематики, а метод аддитивного производства, кроме послойного наращивания металла, также применяется для изготовления песчаной литейной формы. На рис. 4 показаны на различных этапах примеры отработки получения ячеистых алюминиевых отливок габаритных размеров 63,5×63,5×139,7 мм и массой 0,5 кг с разной степенью заполнения металлом такой литейной формы [14]. Слева – отливка решетки, так называемой гироидной конструкции, справа – «недолив» такой же отливки.

Подобные гироидные структуры присутствуют в клетках растений и животных, в отдельных блок-сополимерах при конденсации олигомеров. Узоры на разбухших от воды ладонях ученые объясняют гироидной организацией «скелета» этих складок из волокон кератина, которые в коже уложены так, как будто они находятся в полостях гироида. Гироидная

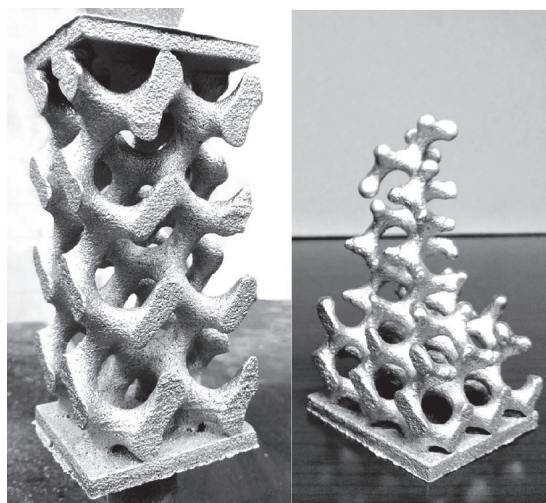
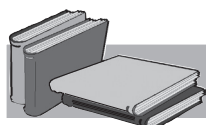


Рис. 4. Отливки ячеистой конструкции с разной степенью заполнения металлом песчаной формы аддитивного производства

поверхность относится к классу известных в математике периодических минимальных поверхностей, полученных повторением некоторой элементарной ячейки, что ранее использовано для конструирования отливок в работах [11, 15].

Изготовление таких пустотелых песчаных литейных форм без применения твердых моделей, а лишь по математическим моделям компьютерных программ, подтверждает значительные возможности аддитивного производства [14, 16]. С ним могут конкурировать лишь технологии литья по разовым моделям, в частности, наиболее экономичные по затратам: сегодняшняя технология литья по газифицируемым моделям и перспективная – по ледяным моделям [17].

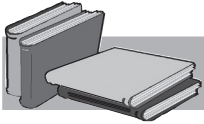
Приведенные в обзоре примеры технологий и конструкций из области литейного производства могут служить прообразами составляющих постепенно формирующейся базы для природоподобной техносферы. Речь идет не просто о моделировании, а о стремлении научиться воспроизводить ПТ, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой [1]. С их помощью прогнозируется создание под заказ новых материалов и систем как для машиностроения, средств транспорта, связи, других отраслей, так и для охраны окружающей среды и новой энергетики, которые станут органической частью природы, включенной в ее естественный ресурсооборот.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. – 2016. – № 3–4 (118–119). – Т. 22. – С. 103–108.
2. Дорошенко В. С. О природоподобных технологиях для точного литья // Литейщик России. – 2018. – № 2. – С. 22–28.
3. Шинский О. И., Дорошенко В. С. Процессы песчаной формовки с использованием градиентов давления, температуры и концентрации реагентов в формовочной смеси // Процессы литья. – 2017. – № 5. – С. 56–65.
4. Дорошенко В. С. Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений // Процессы литья. – 2017. – № 1. – С. 39–46.
5. Дорошенко В. С. Разработка технологии литья по ледяным моделям с использованием явлений, наблюдаемых в природе // Литейщик России. – 2017. – № 1. – С. 13–18.
6. Дорошенко В. С. Градиентный механизм упрочнения песчаных форм в природоподобных технологиях литейного производства // Экологический вестник России. – 2018. – № 4. – С. 48–53.
7. Дорошенко С. П., Авдокушин В. П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. – К.: Выща шк.; Прага: СНТЛ, 1990. – 415 с.
8. Дорошенко В. С. Примеры гармонизации с природой технических и декоративных отливок // Литейное производство. – 2016. – № 9. – С. 30–37.
9. Дорошенко В. С. Воспроизведение структур природы как метод получения ресурсосберегающих металлоконструкций // Вестник ДДМА. – 2014. – № 1. – С. 43–49.
10. Дорошенко В. С. Черпать ресурсосберегающий потенциал, воспроизводя структуры природы // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 7. – С. 31–37.
11. Дорошенко В. С. Проектирование легковесных литых каркасно-ячеистых металлоконструкций с помощью моделирования структур природы. – LAP Lambert Academic Publishing. Saarbruücken, 2015. – 54 с.
12. 3D printing in space – Be AMAZEd // Advancing aerospace materials. – 2016. – № 11. – URL: <http://www.airbus.com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide.html> (дата обращения: 25.04.2018).
13. СМЛ-отчет: в Санкт-Петербурге прошла Петербургская техническая ярмарка 28 Марта 2018 г. URL: <http://fea.ru/news/6713> (дата обращения: 25.04.2018).
14. Walker, J., Harris, E., Lynnh, C. et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40962-018-0211-x#citeas> (дата обращения: 25.04.2018).
15. Дорошенко В. С. Математическое проектирование каркасно-ячеистых отливок // Литейное производство. – 2013. – № 2. – С. 9–12.
16. Дорошенко В. С. 3D-технологии для формовки и литья // Литье и металлургия. – 2015. – № 3. – С. 30–39.
17. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х. Сравнительный расчет экономических затрат на изготовление песчаных форм по газифицируемым и ледяным моделям в литейном производстве // Экологический вестник России. – 2011. – № 10. – С. 42–47.

Поступила 30.04.2018



REFERENCES

1. Koval'chuk, M.V., Naraikin, O.S. (2016). Nature-like technologies – new opportunities and new threats [*Prirodopodobnye tekhnologii – novye vozmozhnosti i novye ugrozy*]. *Indeks bezopasnosti*, no. 3–4 (118–119), Vol. 22, pp. 103–108 [in Russian].
2. Doroshenko, V.S. (2018). On the nature-friendly technologies for precision casting [*O prirodopodobnykh tekhnologiyakh dliia tochnogo lit'ia*]. *Liteishchik Rossii*, no. 2, pp. 22–28 [in Russian].
3. Shinskii, O.I., Doroshenko, V.S. (2017). Processes of sand molding using pressure gradients, temperature and concentration of reagents in a molding mixture [*Protsessy peschanoi formovki s ispol'zovaniem gradientov davleniia, temperatury i kontsentratsii reagentov v formovochnoi smesi*]. *Protsessy lit'ia*, no. 5, pp. 56–65 [in Russian].
4. Doroshenko, V.S. (2017). Structure of research on the development of casting technology for ice models using a number of features and natural phenomena [*Struktura issledovaniy po razrabotke tekhnologii lit'ia po ledianym modeliam s ispol'zovaniem riada osobennostei i prirodnykh yavlenii*]. *Protsessy lit'ia*, no. 1, pp. 39–46 [in Russian].
5. Doroshenko, V.S. (2017). Development of casting technology for ice models using phenomena observed in nature [*Razrabotka tekhnologii lit'ia po ledianym modeliam s ispol'zovaniem yavlenii, nabliudaemykh v prirode*]. *Liteishchik Rossii*, no. 1, pp. 13–18 [in Russian].
6. Doroshenko, V.S. (2018). Gradient mechanism of hardening of sand forms in nature-like technologies of foundry production [*Gradientnyi mekhanizm uprochneniia peschanykh form v prirodopodobnykh tekhnologiyakh liteinogo proizvodstva*]. *Ekologicheskii vestnik Rossii*, no. 4, pp. 48–53 [in Russian].
7. Doroshenko, S.P., Avdokushin, V.P., Rusin, K., Matsashek, I. (1990). Molding materials and mixtures [*Formovochnye materialy i smesi*]. Kyiv: Vyshcha shk., Praga: SNTL, 415 p. [in Russian].
8. Doroshenko, V.S. (2016). Examples of harmonization with the nature of technical and decorative castings [*Primery garmonizatsii s prirodoy tekhnicheskikh i dekorativnykh otlivok*]. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 30–37 [in Russian].
9. Doroshenko, V.S. (2014). Reproduction of nature's structures as a method of obtaining resource-saving metal structures [*Vosproizvedenie struktur prirody kak metod polucheniia resursoberegaiushchikh metallokonstruktsii*]. *Vestnik DDMA*, no. 1, pp. 43–49 [in Russian].
10. Doroshenko, V.S. (2014). To draw resource-saving potential by reproducing the structures of nature [*Cherpat' resursoberegaiushchii potentsial, vosproizvodia struktury prirody*]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, no. 7, pp. 31–37 [in Russian].
11. Doroshenko, V.S. (2015). Designing light-weight cast frame-cellular metal structures by modeling natural structures [*Proektirovanie legkovesnykh litykh karkasno-yacheistykh metallokonstruktsii s pomoshch'iu modelirovaniia struktur prirody*]. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbruücken, 54 p. [in Russian].
12. 3D printing in space – Be AMAZEd. Advancing aerospace materials, 2016, no. 11. URL: <http://www.airbus.com/newsroom/news/en/2016/10/composites-silicon-carbide.html> (Last accessed: 25.04.2018) [in English].
13. CML-report: St. Petersburg technical fair was held in St. Petersburg on March 28, 2018 [*CML-otchet: v Sankt-Peterburge proshla Peterburgskaia tekhnicheskaiia yarmarka 28 Marta 2018 g.*]. URL: <http://fea.ru/news/6713> (Last accessed: 25.04.2018) [in Russian].
14. Walker, J., Harris, E., Lynhh, C. et al. (2018). 3D Printed Smart Molds for Sand Casting 15.02.2018. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40962-018-0211-x#citeas> (Last accessed: 25.04.2018) [in English].
15. Doroshenko, V.S. (2013). Mathematical design of frame-cell castings [*Matematicheskoe proektirovanie karkasno-yacheistykh otlivok*]. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 2, pp. 9–12 [in Russian].
16. Doroshenko, V.S. (2015). 3D-technologies for molding and casting [*3D-tehnologii dliia formovki i lit'ia*]. *Lit'e i metallurgiiia*, no. 3, pp. 30–39 [in Russian].
17. Doroshenko, V.S., Berdyev, K.Kh. (2011). Comparative calculation of economic costs for the production of sand molds for gasified and ice models in foundry production [*Sravnitel'nyi raschet ekonomicheskikh zatrat na izgotovlenie peschanykh form po gazifitsiruemyim i ledianym modeliam v liteinom proizvodstve*]. *Ekologicheskii vestnik Rossii*, no. 10, pp. 42–47 [in Russian].

Received 30.04.2018

Анотація

В. С. Дорошенко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail:
doro55v@gmail.com

*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
Київ, Україна*

Прообрази природоподібних технологій ливарного виробництва

В огляді описано два ймовірних прототипа так званих природоподібних технологій ливарного виробництва. Для лиття за крижаними моделями використовують мінеральні компоненти при виготовленні оболонкових піщаних форм, а модель видаляють з форми шляхом танення і природної фільтрації її розплаву крізь пористу піщану суміш ливарної форми, яка твердіє на глибину фільтрації шляхом гідратації замішаних в суміші гіпсу та цементу. Також описано можливості конструювання тонкостінних виливків подібних до структур природи.

Ключові слова

Ливарне виробництво, природоподібні технології, лиття за крижаними моделями, лиття за моделями, що газифікуються, фільтрація, оболонкові форми, фільтраційне формування.

Summary

V. S. Doroshenko, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,
e-mail: doro55v@gmail.com

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Prototypes of nature-like technologies of foundry

The review describes two possible prototypes of the so-called nature-like technologies of foundry production. For casting on ice patterns, mineral components are used in the manufacture of shell sand molds, and the pattern is removed from the mold by melting and naturally filtering its melt through a porous sand mixture of the mold that cures to the depth of filtration by hydration of the gypsum and cement mixed into the mixture. Also, the possibilities of constructing thin-walled castings similar to natural structures are described.

Keywords

Foundry production, nature-like technologies, casting on ice patterns, casting on gasified patterns, Lost Foam casting, filtration, shell molds, filtration molding.