

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ ЛИТЬЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. С. ТИМОФЕЕВА, Ю. С. АНДРЕЕВ, Е. И. ЯБЛОЧНИКОВ, С. Д. ТРЕТЬЯКОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: tretiaikov@corp.ifmo.ru*

Представлена методика технологической подготовки производства малых серий полимерных изделий литьем под давлением. Показана необходимость применения систем имитационного моделирования процесса литья и структурированного хранения данных по проекту в виде, пригодном для поиска с целью повторного использования. Представлены экспериментальные результаты литья под давлением с использованием сменных формообразующих деталей из композитного полимерного материала, изготовленных с использованием аддитивных технологий.

Ключевые слова: *технологическая подготовка производства, имитационное моделирование, литье под давлением, формообразующие детали, аддитивные технологии, композитные материалы*

Такие свойства производственных систем, как гибкость, скорость выполнения заказов, индивидуализация, в настоящее время неразрывно связаны с аддитивными технологиями. Совместное применение компьютерных и аддитивных технологий способствует обеспечению этих свойств. Производственным компаниям необходимо иметь возможность в кратчайшие сроки перестраивать процесс производства на новый тип выпускаемой продукции без увеличения себестоимости изготовления изделий, а это возможно только при высокой гибкости производственной системы — одной из ключевых особенностей концепции „Индустрия 4.0“ [1—3].

Литье под давлением применяется, как правило, при производстве крупных серий полимерных изделий вследствие высокой стоимости и длительности изготовления литьевых форм, поэтому актуальной задачей является поиск способов сокращения сроков изготовления формообразующей оснастки с сохранением требуемого качества. На качество полимерного изделия влияет множество факторов, таких как технологичность его конструкции, качество подготовки исходного полимерного сырья, точность размеров и качество поверхностей формообразующих полостей (зависят от технологии изготовления), режимы процесса литья. Целесообразно повторно использовать проверенные конструкторско-технологические и организационные решения, для этого следует обеспечить возможность их хранения в информационной системе в структурированном виде, удобном для поиска и быстрой адаптации к текущей производственной ситуации.

Сложность процесса формообразования в замкнутой полости литьевой формы требует применения систем инженерного анализа и имитационного моделирования, позволяющих изучить поведение расплава полимера на всех стадиях процесса (заполнение, уплотнение,

охлаждение), а также спрогнозировать появление дефектов, связанных с особенностями геометрии формирующей полости и значениями заданных параметров процесса [4, 5].

Для эффективной организации технологической подготовки производства (ТПП) обязательно использование систем компьютерного моделирования и проектирования изделий, технологий и управления данными [6, 7]. От решений, принимаемых на текущем этапе, зависит длительность и сложность реализации последующих. Основные этапы ТПП, а также используемое в настоящем исследовании программное обеспечение и технологическое оборудование представлены в таблице.

№	Этапы ТПП	Программное обеспечение/оборудование
1	Проектирование деталей из полимеров	Cimatron
2	Анализ технологичности	MSC Software, Cimatron, Moldex3D R16
3	Проектирование отливки	Cimatron
4	Имитационное моделирование процесса литья под давлением	Moldex3D R16
5	Проектирование формообразующих деталей	Cimatron
6	Производство формообразующих деталей	Cimatron, HAAS Super Mini Mill, 3D printer, Climate chamber «ClimaticPro TX-300»
7	Контроль формообразующих деталей	PC-DMIS, CMM Dea Global Performance 05.07.05, Profilometer Hommel Tester T-8000
8	Производство деталей из полимеров	ТПА ELEKTRA Evolution 30
9	Контроль полимерных деталей	PC-DMIS, КИМ Dea Global Performance 05.07.05, Profilometer Hommel Tester T-8000
10	Хранение данных и информации	ENOVIA SmarTeam

Важнейшим этапом ТПП является анализ технологичности будущего полимерного изделия, который целесообразно проводить при помощи систем САД и САЕ. По результатам его анализа могут быть введены дополнительные конструктивные элементы (например, ребра жесткости), изменена толщина изделия или принято решение о замене полимерного материала.

На этапе проектирования литьевой формы определяются число гнезд, геометрия литниковой системы, создаются необходимые литьевые уклоны, и выбираются места расположения толкателей. Компьютерное моделирование процесса литья под давлением изделий из полимерных материалов позволяет не только значительно сократить время отладки конструкции, но и спрогнозировать возможные дефекты изделий на ранних этапах ТПП. При имитационном моделировании, основанном на 3D-модели отливки, учитываются особенности перерабатываемого полимерного материала, материал формообразующих деталей литьевой формы, расположение каналов охлаждения и заданных режимов литья. Определенные в процессе расчетов оптимальные параметры процесса могут быть использованы для настройки литьевого оборудования.

Технология литья под давлением, вследствие стабильности этапов процесса (подготовка расплава полимерного материала, впрыск, выдержка под давлением, охлаждение и выталкивание), позволяет сформировать группы конструктивно различающихся изделий, изготовление которых возможно с использованием конкретной модели литьевого оборудования. Для данных групп изделий, с учетом параметров литьевой машины (расстояние между колоннами, объем впрыска и пр.), целесообразно спроектировать и изготовить переналаживаемые литьевые формы. Это позволит в дальнейшем проектировать только комплект сменных формообразующих деталей, что значительно сократит время проектирования литьевой формы.

Новые термостойкие полимерные, а также композиционные материалы могут использоваться при изготовлении формообразующих вставок (деталей ФОД) для переналаживаемых литьевых форм [8—11]. Такие детали могут изготавливаться с использованием как традиционных (фрезерование), так и различных аддитивных технологий (SLS, SLA, Polyjet). В настоящий момент разрабатывается алгоритм выбора полимерного материала формообразующих вставок для литья под давлением определенного количества изделий, поэтому актуальной задачей является разработка структуры базы знаний, содержащей правила выбора технологии изготовления и материала элементов и ее наполнение на основе натуральных экспериментов. Такая база знаний создается авторами на базе системы ENOVIA SmarTeam [12].

Так как микрогеометрия поверхности полимерного изделия, изготовленного методом литья под давлением, представляет собой „отпечаток“ поверхностей формующих полостей, а отклонения от геометрической формы полости также „наследуются“ полимерным изделием, необходим полномасштабный контроль качества изготовления формообразующих деталей литьевых форм. Этап контроля полимерных изделий должен быть предусмотрен еще на стадии планирования производственного процесса, программы измерений для контроля изделий различной конфигурации с использованием КИМ могут быть разработаны заблаговременно.

Для малых серий полимерных изделий перспективным является изготовление формообразующих деталей из полимерных материалов, так как высокая стойкость литьевой формы не требуется. Для исследования возможности применения и стойкости формообразующих деталей, изготовленных из неметаллических материалов, а также определения оптимальных режимов процесса литья под давлением разработана схема проведения эксперимента (рис. 1).

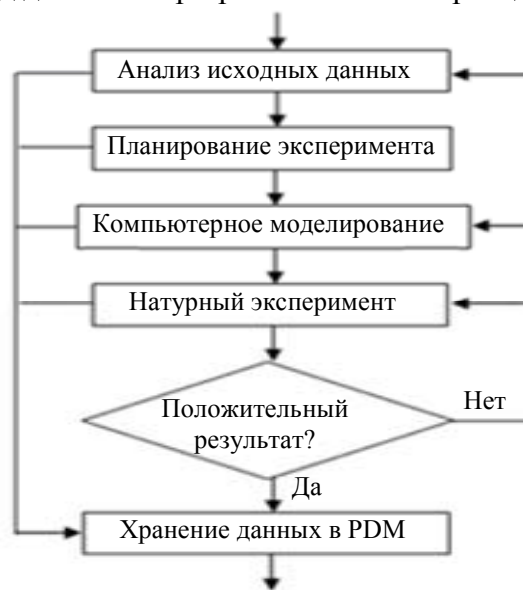


Рис. 1

Использование аддитивных технологий для производства сменных формообразующих деталей переналаживаемых литьевых форм позволяет в течение нескольких часов изготовить необходимую оснастку без использования режущего инструмента. Использование данной технологии может быть ограничено точностью 3D-печати [13].

В настоящей работе использована литьевая машина ELEKTRA Evolution 30 (Ferromatik Milacron). На рис. 2 представлена цифровая модель литьевого участка, с использованием которой создается прототип ИКФС (Индустриальной киберфизической системы) [14].

Для проведения экспериментального процесса литья под давлением использовалась специально спроектированная и изготовленная переналаживаемая литьевая форма, оснащенная горячеканальной системой, которая позволяет использовать для переналадки комплект быстросменных формообразующих деталей (матрицы и пуансона), суммарные габаритные

размеры которых составляют 92×82×22 мм для установки на подвижной плите литьевой машины. 3D-модель переналаживаемой литьевой формы представлена на рис. 3.

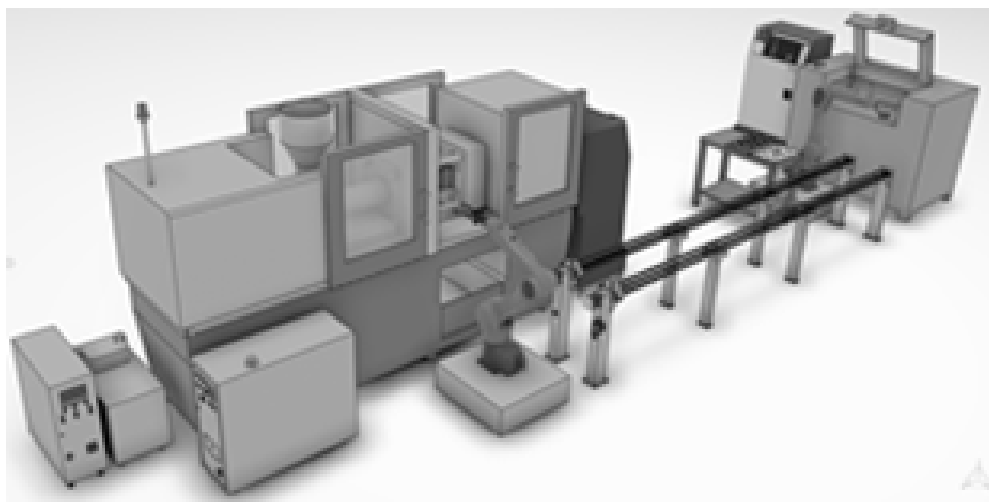


Рис. 2

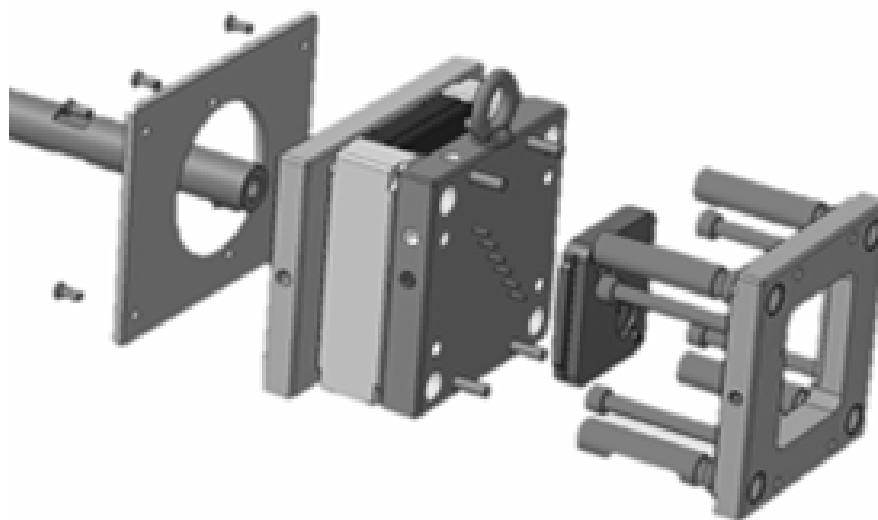


Рис. 3

В качестве объекта производства для оценки применимости материала неметаллических формообразующих деталей и его стойкости при изготовлении малых серий изделий методом литья под давлением было выбрано полимерное изделие типа „Диск“. Простота геометрии этого полимерного изделия позволяет отработать методику установления стойкости материала формообразующих деталей. При контроле геометрии отлитого изделия необходимо определить только отклонение от параллельности поверхностей „Диска“, его толщину и диаметр.

Методика определения стойкости формообразующих деталей из неметаллического материала может быть описана следующей схемой: проектирование модели изделия и выбор полимерного материала — анализ технологичности изделия — проектирование модели отливки — выбор материала формообразующих деталей — имитационное моделирование и установление оптимальных режимов процесса — проектирование и изготовление моделей формообразующих деталей — литье под давлением — контроль полимерных изделий — определение количества изделий, соответствующих требованиям конструкторской документации.

Во избежание деформации заготовки спроектирована отливка для одновременного изготовления за один впрыск двух полимерных изделий с симметричным размещением выталкивателей с двух сторон от каждого изделия.

В качестве полимерного материала изделия выбран полистирол марки Styrolux 656C (BASF). С учетом усадки материала и в целях реализации схемы выталкивания с использованием системы Simatrop спроектирована отливка.

Для подтверждения „правильности“ выбора геометрии литниковой системы (размер сечения впускных литников) при заданной толщине изделий и мест выхода воздуха из формирующей полости моделировалась проливаемость (заполнение) спроектированной модели отливки. В настоящей работе для имитационного моделирования процесса литья под давлением использовалась CAE-система Moldex3D R16 (Core Tech System, Тайвань). Исследование показало максимальное наполнение формирующей полости, отсутствие воздушных ловушек и линий сая, которые могли сформироваться на этапе заполнения. На основе полученной геометрии формирующей полости проектировался комплект формообразующих деталей для последующего его изготовления с использованием аддитивных технологий.

Формообразующие детали изготовлены из композиционного полимерного материала Digital ABS Plus (Stratasys, США), который формируется из материалов RGD515 и RGD535. Наличие готовых математических моделей позволяет производить предварительный расчет поведения формообразующих деталей и оценить их применимость для реализации конкретного процесса. Наличие в системе Moldex3D R16 математической модели материала Digital ABS Plus позволило произвести расчеты процесса. На адекватность расчетных моделей также влияет точность описания процессов, происходящих в литьевой машине и форме, которые можно получить, применяя технологии промышленных киберфизических систем, датчики, установленные в литьевой форме, системы мониторинга и анализа данных, получаемых из литьевой машины [15, 16].

В CAE-системе Moldex3D R16 проведена серия расчетов, направленных на повышение стойкости неметаллических формообразующих деталей. Основная цель таких расчетов — сократить нагрузку на детали и подобрать такие параметры процесса, при которых нагрузка также будет минимальной. Спроектированные на основе 3D-модели отливки 3D-модели формообразующих деталей матрица и пуансон (крышки) использовались для изготовления деталей на установке Stratasys по технологии PolyJet.

Изготовленные полимерные формообразующие детали из материала Digital ABS Plus были установлены в переналаживаемую литьевую форму (рис. 4) и произведена настройка литьевой машины в соответствии с параметрами, полученными в результате проведения виртуального эксперимента (расчета процесса литья под давлением в Moldex3D R16).

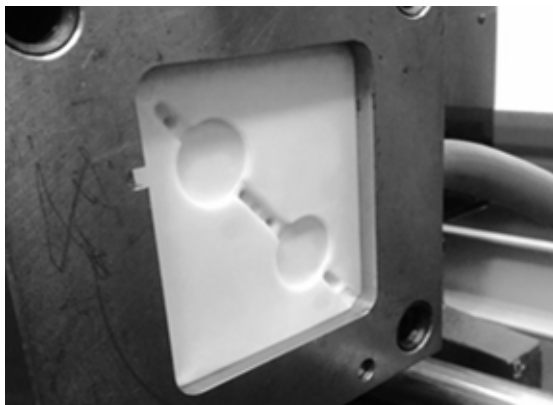


Рис. 4

Низкая теплопроводность неметаллических материалов обуславливает нецелесообразность изготовления каналов охлаждения внутри формообразующих деталей. Охлаждение

необходимо осуществлять путем достаточно длительной выдержки литьевой формы в открытом состоянии струей сжатого воздуха. Контроль температуры поверхностей, контактирующих с расплавом, производился непосредственно после открытия формы инфракрасным пирометром. Установлено, что температура поверхностей колебалась в пределах 97—103 °С. Охлаждение сжатым воздухом производилось после каждого впрыска в течение 1 мин до температуры ≈40 °С. Процедура дополнительного охлаждения увеличивает время цикла, но при изготовлении малой серии изделий этот фактор не является определяющим.

При литье полимерных материалов в полимерные формообразующие детали рекомендуется использовать разделительную смазку каждые несколько циклов для обработки формующей полости. Материал Digital ABS Plus показал низкую адгезию с расплавом полистирола Styrolux 656С, вследствие чего разделительная смазка не наносилась.

В ходе исследования было произведено 50 циклов смыкания литьевой формы и получено 50 образцов отливок для размерного анализа. Такая партия может рассматриваться как опытная для проведения испытаний или создания изделий индивидуального назначения, что является одной из тенденций современного производства при организации гибких производственных систем.

После выдержки готовых изделий были измерены параметры отливок для установления соответствия их значений указанным в конструкторской документации, а также определения сходимости с результатами имитационного моделирования. Контроль отклонения от параллельности поверхностей производился на КИМ Dea Global Perfomance 05.07.05.

В результате контроля полимерных изделий (каждого из двух изделий каждой пятой отливки), изготовленных методом литья под давлением, установлено, что геометрия отливок оставалась стабильной на протяжении всех впрысков. Толщина всех дисков имела максимальное отклонение 0,02 мм, а максимальное отклонение диаметра составило 0,03 мм. Усадка материала в центре диска составляет около 3 % и незначительно превышает усадку по периметру изделия, что соответствует рассчитанным с использованием Moldex3D R16 значениям.

Геометрия формообразующих деталей после 50 циклов не изменилась, исследования числа смыканий продолжались до момента разрушения материала. На всех этапах подготовки и проведения экспериментов генерировался большой объем данных, включающий 3D-модели изделий, отливок, формообразующих деталей, расчетные модели для анализа литьевых процессов, управляющие программы, комплекты режимов литья для термопластавтомата, результаты контроля формообразующих деталей и отливок на контрольно-измерительной машине и пр. Поэтому важной задачей являлось сохранение данных с возможностью их последующего использования. С этой целью разработанная структура базы данных в системе ENOVIA SmarTeam [12] для поддержки процессов конструкторско-технологической подготовки литьевого производства дополнена новыми классами данных, что позволяет осуществлять их последовательное накопление по итогам экспериментов.

Таким образом, введение в процессы подготовки литьевого производства аддитивных технологий повышает гибкость производственных систем. Проведение экспериментов с использованием предложенной методики для различных комбинаций материалов позволит постепенно формировать информационную базу о применимости конкретных материалов формообразующих деталей при реализации процесса литья малых серий изделий из полимерных материалов. При этом необходимо повышать адекватность математических моделей процессов, используя технологии промышленных киберфизических систем при проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dazhong Wu, Rosen D. W., Lihui Wang, Schaefer D.* Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation // *Computer-Aided Design*. 2015. Vol. 59. P. 1—14.
2. *Azaiez S., Boc M., Cudennec L.* et al. Towards Flexibility in Future Industrial Manufacturing: A Global Framework for Self-Organization of Production Cells // *The 2nd Intern. Workshop on Recent Advances on Machine-to-Machine Communication. Proc. Computer Sci.* 2016. Vol. 83. P. 1268—1273.
3. *Lopes Nunes M., Pereira A. C., Alves A. C.* Smart products development approaches for Industry 4.0 // *Manufacturing Engineering Society Intern. Conf.* 2017. *Proc. Manufacturing*. 2017. Vol. 13. P. 1215—1222.
4. *Rusdi M. S., Abdullah M. Z.* et al. Numerical Investigation on the Effect of Pressure and Temperature on the Melt Filling During Injection Molding Process // *Arab. J. Sci. Eng.* 2016. Vol. 41. P. 1907—1919.
5. *Барвинский И. А.* Экспертиза инженерных расчетов литья термопластов под давлением // *Pro Plastic. Полимерные технологии*. 2018. № 2 (апрель). С. 22—29.
6. *Matin I., Hadzistevic M., Hodolic J.* et al. A CAD/CAE-integrated injection mold design system for plastic products // *Intern. J. of Advanced Manufacturing Technology*. 2012. November. P. 595—607.
7. *Kutin A., Dolgov V., Sedykh M., Ivashin S.* Integration of different computer-aided systems in product designing and process planning on digital manufacturing // *11th CIRP Conf. on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. Proc. CIRP*. 2018. Vol. 67. P. 476—481.
8. *Bogaerts L., Moens D., Faes M.* et al. On the effect of shear rates on the mechanical reliability of additive manufacturing plastic moulds // *International Conference on Polymers and Moulds Innovations-PMI2018 [Электронный ресурс]: <https://www.researchgate.net/publication/327844109_On_the_effect_of_shear_rates_on_the_mechanical_reliability_of_additive_manufacturing_plastic_moulds>*.
9. *Vogeler F., Verspreet J. & Geyskens K.* Breakout analysis of plastic material jetted moulds for injection moulding // *Intern. Conf. on Polymers and Moulds Innovations-PMI2018 [Электронный ресурс]: <https://www.researchgate.net/publication/327843901_Breakout_analysis_of_plastic_material_jetted_moulds_for_injection_moulding>*.
10. *Poehler F. M., Bauer S., Feucht T.* 3D Printing Form-building Parts in Moulds for Small-scale Production // *Gedruckte Spritzgiessformen für kleine Stueckzahlen // Kunststoffe*. 2018. Bd 108, N 11. S. 4—9.
11. *Boyarintsev A. V., Duvidzon V. G., Podsoblyaev D. S.* Rapid Manufacturing of Pilot Series of Details from Thermoplastic Polymer Materials // *Полимерные материалы*. 2013. № 6. P. 4—9.
12. *Iablochnikov E. I., Pirogov A. V., Vasilkov S. D., Andreev I. S.* et al. Developing and modeling production processes for manufacturing polymeric optical items in a distributed integrated medium // *J. of Optical Technology. IET*. 2017. Vol. 84, N 1. P. 62—67.
13. *Kacmarcik J., Spahic D., Varda K.* et al. An investigation of geometrical accuracy of desktop 3D printers using CMM // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 393. P. 012085. DOI:10.1088/1757-899X/393/1/012085.
14. *Demkovich N., Yablochnikov E., Abaev G.* Multiscale modeling and simulation for industrial cyber-physical systems // *IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*. 2018. P. 291—296.
15. *Mold Filling Simulation and Smart Manufacturing under Industry 4.0 (1): CAE Technology Development and Process Evolution [Электронный ресурс]: <<https://www.moldex3d.com/en/blog/top-story/mold-filling-simulation-and-smart-manufacturing-under-industry-1-cae-technology-development-and-process-evolution/>>*.
16. *Mold Filling Simulation and Smart Manufacturing under Industry 4.0 (2): Smart Injection Machines & Their Adjustment Principles [Электронный ресурс]: <<https://www.moldex3d.com/en/blog/top-story/mold-filling-simulation-and-smart-manufacturing-under-industry-4-0-2-smart-injection-machines-their-adjustment-principles/>>*.

Сведения об авторах**Ольга Сергеевна Тимофеева**

— аспирант; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; E-mail: otimofeeva@corp.ifmo.ru

Юрий Сергеевич Андреев

— канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; зам. декана факультета; E-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru

- Евгений Иванович Яблочников** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: yablochnikov@corp.ifmo.ru
- Сергей Дмитриевич Третьяков** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: tretiaikov@corp.ifmo.ru

Поступила в редакцию
07.10.14 г.

Ссылка для цитирования: Тимофеева О. С., Андреев Ю. С., Яблочников Е. И., Третьяков С. Д. Применение аддитивных технологий и систем имитационного моделирования в подготовке литейного производства // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 6. С. 567—575.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES AND SIMULATION SYSTEMS IN THE PREPARATION OF MOLDING PRODUCTION

O. S. Timofeeva, Yu. S. Andreev, E. I. Yablochnikov, S. D. Tretyakov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: tretiaikov@corp.ifmo.ru

A method of technological preparation of production of small series of polymer products by injection molding is presented. The necessity of using systems of simulation modeling of the casting process and structured storage of data on the project in a form suitable for search for reuse is shown. Experimental results of injection molding with the use of replaceable forming parts made of composite polymer material using additive technologies are demonstrated.

Keywords: technological preparation of production, simulation modeling, injection molding, forming parts, additive production, composite materials

REFERENCES

1. Dazhong Wu, Rosen D.W., Lihui Wang, Schaefer D. *Computer-Aided Design*, 2015, vol. 59, pp. 1–14.
2. Azaiez S., Boc M., Cudennec L. et al. *The 2nd International Workshop on Recent Advances on Machine-to-Machine Communication/ Procedia Computer Science*, 2016, vol. 83, pp. 1268–1273.
3. Lopes Nunes M., Pereira A.C., Alves A.C. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 13, pp. 1215–1222.
4. Rusdi M.S., Abdullah M.Z. et al. *Arab. J. Sci. Eng.*, 2016, vol. 41, pp. 1907–1919.
5. http://www.barvinsky.ru/articles/art_072_Expertise_of_CAE_simulation.htm. (in Russ.)
6. Matin I., Hadzistevic M., Hodolic J. et al. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, November, pp. 595–607.
7. Kutin A., Dolgov V., Sedykh M., Ivashin S. *11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering/ Procedia CIRP*, 2018, vol. 67, pp. 476–481.
8. Bogaerts L., Moens D., Faes M. et al. *International Conference on Polymers and Moulds Innovations, PMI2018*, https://www.researchgate.net/publication/327844109_On_the_effect_of_shear_rates_on_the_mechanical_reliability_of_additive_manufacturing_plastic_moulds.
9. Vogeler F., Verspreet J., & Geyskens K. *International Conference on Polymers and Moulds Innovations, PMI2018*, https://www.researchgate.net/publication/327843901_Breakout_analysis_of_plastic_material_jetted_moulds_for_injection_moulding.
10. Poehler F.M., Bauer S., Feucht T. *Kunststoffe*, 2018, no. 11(108), pp. 4–9.
11. Boyarintsev A.V., Duvidzon V.G., Podsoblyayev D.S. *Polimernyye materialy*, 2013, no. 6, pp. 4–9, <http://promo.polymerbranch.com>.
12. Yablochnikov E.I., Pirogov A.V., Vasilkov S.D., Andreev I.S. et al. *Journal of Optical Technology, IET*, 2017, no. 1(84), pp. 62–67.
13. Kacmarcik J., Spahic D., Varda K. et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 393, pp. 012085. DOI:10.1088/1757-899X/393/1/012085.
14. Demkovich N., Yablochnikov E., Abaev G. *IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, 2018, pp. 291–296.
15. *Mold Filling Simulation and Smart Manufacturing under Industry 4.0 (1): CAE Technology Development and Process Evolution*, <https://www.moldex3d.com/en/blog/top-story/mold-filling-simulation-and-smart-manufacturing-under-industry-1-cae-technology-development-and-process-evolution/>.
16. *Mold Filling Simulation and Smart Manufacturing under Industry 4.0 (2): Smart Injection Machines & Their Adjustment Principles*, <https://www.moldex3d.com/en/blog/top-story/mold-filling-simulation-and-smart-manufacturing-under-industry-4-0-2-smart-injection-machines-their-adjustment-principles/>.

Data on authors

- Olga S. Timofeeva** — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: otimofeeva@corp.ifmo.ru
- Yury S. Andreev** — PhD; Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; Deputy Dean of the Faculty; E-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru
- Eugeny I. Yablochnikov** — PhD; Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: yablochnikov@corp.ifmo.ru
- Sergey D. Tretyakov** — PhD; Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: tretiaikov@corp.ifmo.ru

For citation: Timofeeva O. S., Andreev Yu. S., Yablochnikov E. I., Tretyakov S. D. Application of additive technologies and simulation systems in the preparation of molding production. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 6. P. 567—575 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-6-567-575