

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118

**Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д.,
Лямина С.А., Голубева Н.Д.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**E-mail: nslubim@bk.ru*

ИСПЫТАНИЕ КОНФОРМНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ПРЕСС-ФОРМЫ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос изготовления конформных каналов охлаждения для обеспечения эффективного охлаждения композитных металл-металлополимерных пресс-форм. Приводится краткое описание как конструкции композитной пресс-формы, так и технологии её получения. Конформные каналы охлаждения в композитной пресс-форме выполнены в металлополимерной части, что уменьшает расстояние от поверхности канала охлаждения до охлаждаемой формообразующей поверхности. Экспериментальные исследования приводятся на примере композитной пресс-формы для детали «хомут». Фиксация температурных данных нагрева и охлаждения металлополимерной формообразующей производится с использованием тепловизора. Оценка результатов исследования показала эффективность изготовления конформных каналов охлаждения непосредственно в металлополимерной части пресс-формы. Анализ результатов эксперимента позволил произвести численную оценку эффективности охлаждения и сравнить её с охлаждением композитной пресс-формы, в которой каналы охлаждения выполнены в металлической обойме. Приведена оценка эффективности использования композитной пресс-формы с каналами охлаждения, выполненными в металлополимерной части в контексте экономии основного технологического времени производства партии деталей. В заключении описаны сложности, возникшие в процессе изготовления конформных каналов охлаждения в металлополимерной части и задачи, требующие дальнейших изысканий в технологии изготовления композитных пресс-форм.

Ключевые слова: пресс-форма, композит, охлаждение, канал, металлополимер, матрица, пуансон, эксперимент, теплопроводность.

Введение. В производстве пластиковых изделий всё большее значение играет роль перенадеваемая оснастка. К такой оснастке относятся композитные металл-металлополимерные пресс-формы [1–4]. Основной частью композитной пресс-формы являются формообразующие плиты. Композитная формообразующая плита состоит из металлической обоймы, в которой вместо формообразующей поверхности выполнен колодец для заливки металлополимера. В этот колодец специальным образом помещаются мастер модель и другие закладные элементы необходимые для оформления, например, системы охлаждения. После заливки и отверждения металлополимера, а также удаления закладных элементов, получается композитная металл-металлополимерная формообразующая деталь пресс-формы [5, 6].

На надёжность и производительность пресс-форм большое влияние оказывает термостатирование пресс-формы [7, 8]. В классическом варианте [9, 10] каналы охлаждения выполняются механической обработкой. То есть сверлением сквозных отверстий в плите, после чего выходные некоторые отверстия заглушаются, другие соединяются гибкими трубопроводами, а третьи служат для подключения к термостату.

В случае, когда формообразующая поверхность выполняется из металлополимера, который

не смотря на 80 % заполнение алюминием, имеет полимерную диэлектрическую матрицу, а следовательно, и низкую теплопроводность. Таким образом, композитные пресс-формы требуют новых подходов к обеспечению эффективности своего охлаждения.

Ранее проведенные исследования показали, что оптимальным решением для организации отвода тепла из полости пресс-формы является обеспечение расстояния от формообразующей поверхности до поверхности канала охлаждения 5 мм. Такое расстояние позволяет обеспечить эффективный отвод тепла при сохранении прочности конструкции. Поперечное сечение канала охлаждения при этом не должно иметь точек концентраторов напряжения, то есть должно иметь профиль круга.

Изготовление металлополимерной формообразующей детали пресс-формы предполагает быструю смену номенклатуры выпускаемых изделий в одной металлической обойме. Это ограничение требует производства комплекта металлических обойм для каждого конкретного изделия с целью обеспечения минимального слоя металлополимера из условия эффективного охлаждения. Инструментальное производство не способно охватить весь перечень выпускаемых изделий и может иметь комплект металлических обойм охватывающих лишь приблизительный

профиль изделий. При этом условие толщины слоя металлополимера в 5 мм, отделяющего формообразующую поверхность от поверхности канала охлаждения, выдержать не удастся. Другими словами, изготовление каналов охлаждения в металлической обойме не решает поставленной цели.

Был разработан способ повышения эффективности системы охлаждения композитных пресс-форм, за счёт изготовления конформных каналов охлаждения [11, 12]. Сущность способа заключается в изготовлении криволинейных каналов охлаждения, заданного сечения и формы. Для этого предлагается изготовить закладные детали в форме каналов охлаждения из выплавляемых материалов аддитивным методом, например, из парафина. Перед заливкой металлополи-

мера в полость металлической обоймы, при получении формообразующей поверхности, помещается выплавляемая закладная деталь оформляющая канал охлаждения. Закладная деталь крепится в полости благодаря штуцерам, которые удерживают закладную деталь в требуемом положении. Затем устанавливается мастер-модель. После отверждения металлополимера, конструкция нагревается до температуры плавления выплавляемого материала, материал закладной канала охлаждения вытекает из металлополимерной части формообразующей детали. Таким образом в металлополимерной части получается криволинейный канал охлаждения заданного профиля с требуемым расположением по отношению к формообразующей поверхности. Разработанная конструкция поясняется рисунком 1.

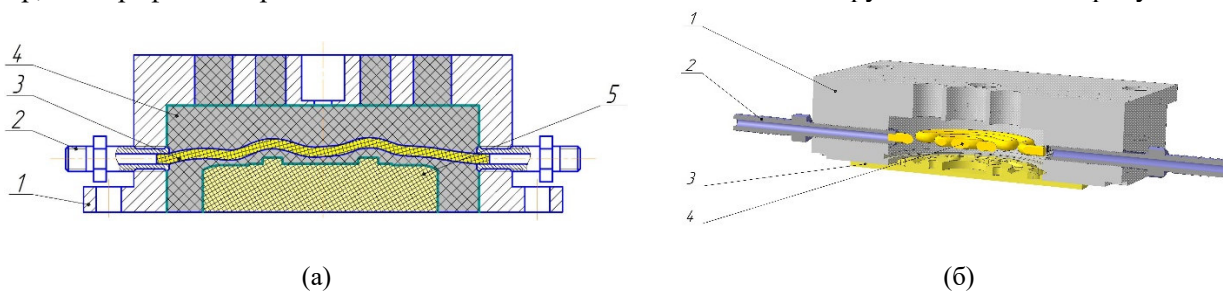


Рис. 1. Схема композитной пресс-формы, продольный разрез (а):

1 – металлическая обойма, 2 – штуцер; 3 – выплавляемая закладная деталь, 4 – металлополимерная формообразующая;

схема установки криволинейной закладной детали в полости металлической обоймы (б):

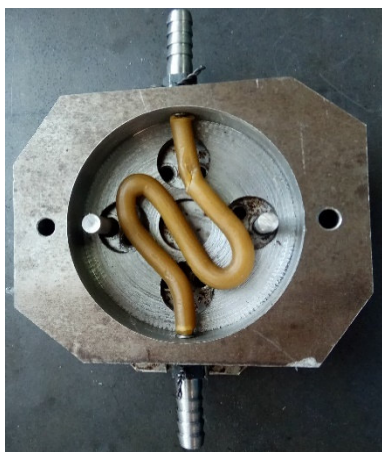
1 – металлическая обойма, 2 – штуцер, 3 – мастер-модель; 4 – выплавляемая закладная деталь

При конструировании пресс-форм для литья термопластов одной из основных задач решаемых конструктором является обеспечение эффективного извлечения готового изделия из полости формы. После того как изделие сформовано оно, как правило, остается в подвижной части формы – пуансоне, со стороны которого чаще всего располагаются элементы выталкивающей системы пресс-формы. Системы выталкивания бывают механическими, пневматическими или комбинированными. Разработанная технология рассчитана на изготовление формообразующих деталей пресс-форм для литья изделий из пластиков, для которых актуальна механическая система выталкивания. Основными элементами механической системы выталкивания изделия являются специальные выталкиватели или сталкивающие плиты. Как правило, усилие, развиваемое выталкивающими механизмами термопластавтомата передающееся на выталкиватели пресс-формы для освобождения изделия, достаточно велико, поэтому основным критерием при конструировании металлической пресс-формы является условие распределения сил таким образом,

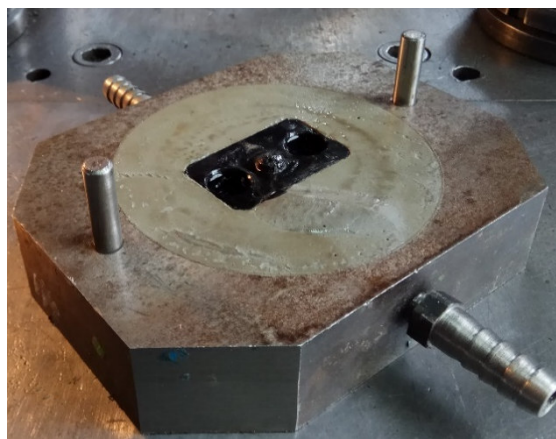
чтобы изделие не потеряло своих форм и размеров (отсутствие следов выталкивателей на изделии, отсутствие перекоса во время съема приводящего к деформации изделия). Предложенная система термостатирования с конформными каналами охлаждения не препятствует изготовлению выталкивающей системы в композитной формообразующей детали пресс-формы. Необходимо только учесть расположение каналов охлаждения в цифровой модели перед выполнением отверстий под толкатели.

В статье приводятся данные о проведенном эксперименте по изготовлению конформного канала охлаждения и его испытания на практике, согласно предложенной технологии изготовления композитной формообразующей плиты пресс-формы.

Материалы и методы. Чтобы оценить эффективность охлаждения формообразующей поверхности с использованием профильных каналов охлаждения была изготовлена композитная пресс-форма для изделия «хомут» (рис. 2).



(a)



(б)

Рис. 2. Закладная выплавляемая деталь в колодце металлической обоймы (а); композитная формообразующая деталь пресс-формы, для изделия хомут (б)

В качестве металлической обоймы использовалась металлическая плита, в которой был выполнен фрезерованием колодец. В колодце была помещена закладная деталь из воска, имеющая профиль сечения в виде круга диаметром 8 мм. Закладная деталь была поджата с двух сторон штуцерами, перемещающимися параллельно плоскости разъёма благодаря резьбовому соединению с металлической обоймой. Далее мастер-модель детали «хомут» была установлена в полость колодца, вся конструкция в сборе была помещена в вакуум камеру, где через отверстия выпоры в металлической обойме был залит металлополимер. Металлополимер заливался в полость, образованную мастер-моделью и поверхностью колодца. Отверждение металлополимера осуществлялось при давлении 500 Па, то есть в разряжённом состоянии. Отверждение металлополимера в вакууме позволило обеспечить требуемую плотность металлополимерной части. После отверждения металлополимера композитная формообразующая часть пресс-формы была нагрета до 120 °С в течении 12 часов, что позволило достичь полного отверждения металлополимера, а также извлечь закладную деталь из металлополимерной части пресс-формы.

Пуансон композитной пресс-формы с металлополимерной формообразующей был помещен в изолированный фольгированный короб. Штуцеры металл-металлополимерной пресс-формы были подключены к системе охлаждения термопластавтомата системы MATSUI модели MCD-60RCL [13, 14].

Нагрев формообразующей поверхности производился с использованием промышленного фена имеющего электронную индикацию температуры струи воздуха. Нагрев поверхности путем передачи энергии через нагретый воздух безусловно не может быть достоверным, так как су-

ществующие потери энергии вследствие её рассеивания будут искажать результаты эксперимента. Чтобы минимизировать ошибку, для регистрации нагрева и охлаждения поверхности металлополимерной формообразующей использовался тепловизор. На рисунке 3 показан экспериментальный стенд по испытанию системы охлаждения металлополимерной формообразующей с профильными каналами охлаждения.

Регистрация температуры нагрева металлополимерной формообразующей поверхности производилась с течением времени до температуры 130 °С, именно такая температура у полипропиленового расплава впрыскиваемого в пресс-форму. На рисунке 4 показана диаграмма температурных полей металлополимерной формообразующей поверхности. Выдержка при температуре 130 °С составила 20 мин, для обеспечения равномерного прогрева всей металлополимерной части и снижения ошибки эксперимента.



Рис. 3. Стенд для испытания конформной системы охлаждения композитной формообразующей детали пресс-формы: 1 – изолированный короб; 2 – металлическая обойма; 3 – металлополимерная формообразующая; 4 – гибкие трубопроводы системы охлаждения; 5 – тиски; 6 – фен промышленный

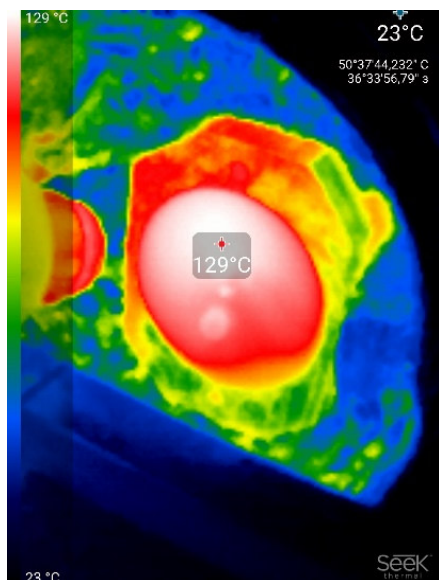


Рис. 4. Диаграмма нагрева композитной формообразующей детали

После выдержки в течении 20 минут при температуре 130 °С был включен термостат инжекционной машины Matsui модель MCD-60RCL. После включения термостата было зафиксировано снижение температуры металлополимерной поверхности формообразующей во времени. Диаграммы температурных полей в различные промежутки времени после включения термостата показаны на рисунке 5.

Установившееся значение температуры поверхности на отметке 55 °С было зафиксировано на 47 секунде (рис. 5(д)). При этой температуре можно произвести извлечение изделия из ПФ.

Снятие показаний осуществлялось путем по-секундной расшифровки видеозаписи файла тепловизора. Полученные данные были обработаны, и на основании них была построена графическая зависимость температуры композитной формообразующей от времени охлаждения термостатом. Полученная зависимость представлена на рисунке 6.

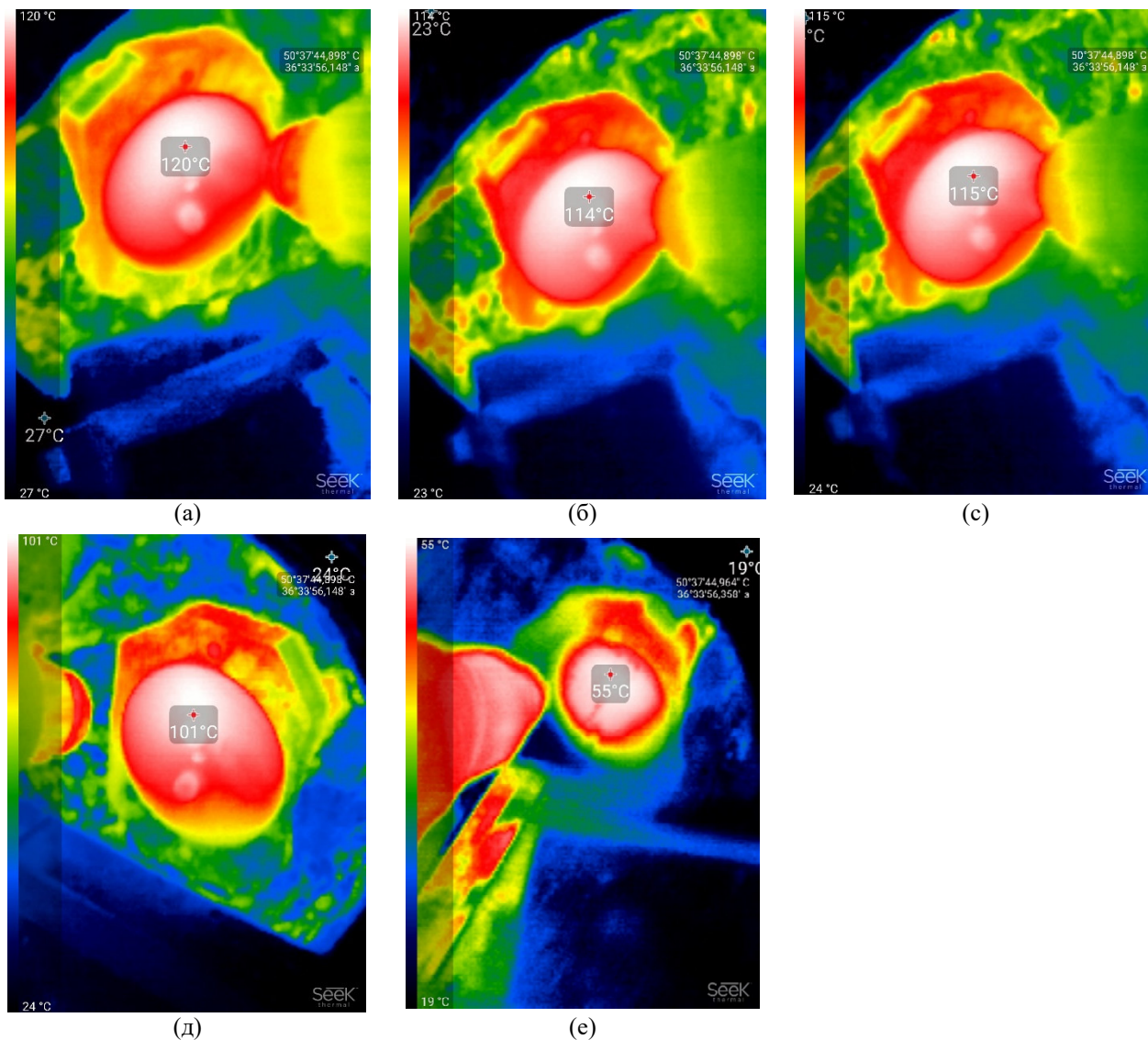


Рис. 5. Изменение температуры поверхности металлополимерной формообразующей с профильным каналом охлаждения: 5 секунда (а); 7 секунда (б); 8 секунда (с); 13 секунда (д); 47 секунда (е)

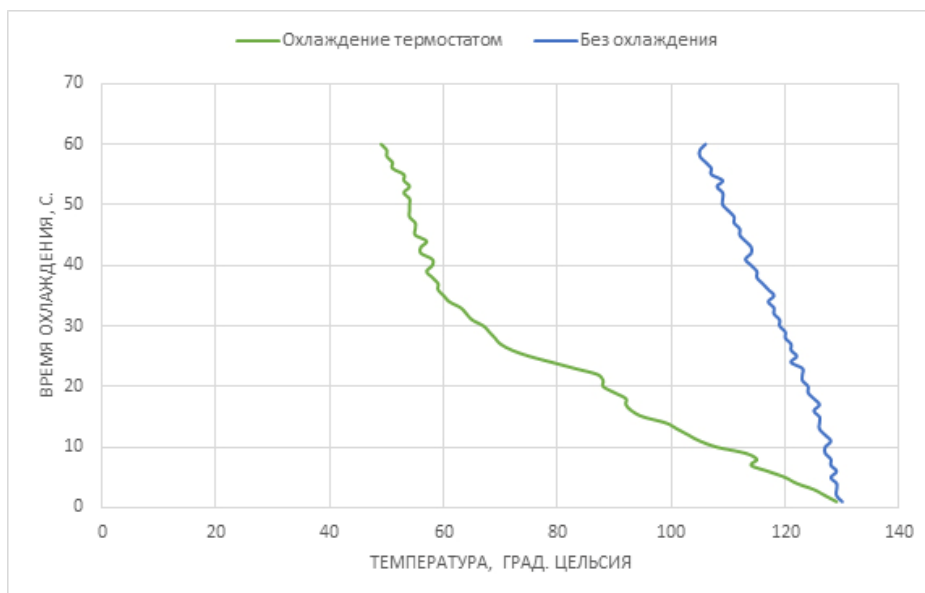


Рис. 6. График температур формообразующих поверхностей с течением времени

Из графика на рисунке 6 видно, что охлаждение формообразующей поверхности пресс-формы, у которой каналы охлаждения выполнены конформно в металлополимерной части происходит более эффективно, нежели если охлаждение осуществляется за счёт каналов охлаждения расположенных в металлической части.

Температура изделия, при которой оно может быть изъято из пресс-формы обычно составляет 50 °С [15]. Согласно экспериментальным данным, эта температура достигается криволинейным каналом охлаждения через минуту после начала охлаждения. В случае, если канал охлаждения находится в металлической части пресс-формы, за ту же минуту времени охлаждения, можно наблюдать охлаждение формообразующей поверхности только на 25 °С. При этом характер графика охлаждения показывает практически линейную зависимость, показывающую скорость охлаждения 0,42 °С/сек.

Таким образом, охлаждение формообразующей поверхности композитной пресс-формы, в которой каналы охлаждения выполнены в металлической обойме, до температуры изъятия детали из формы займет 3 мин 10 с, что на 2 мин 10 с дольше, чем если бы охлаждение было организовано за счёт каналов, расположенных в металлополимерной части композитной пресс-формы.

Выводы. Проведенный и описанный в статье эксперимент показал, что изготовление конформных каналов охлаждения с криволинейным профилем, расположенным в металлополимерной части, является более эффективным способом охлаждения композитной пресс-формы. Для формообразующей детали пресс-формы предназначенной для изготовления изделия «хомут», эксперимент показал, что снижение основного

технологического времени на литьё одной единицы детали составит 130 секунд. Композитные пресс-формы рассчитаны на изготовление партий изделий до 1000 штук. Таким образом, при обеспечении эффективного охлаждения получится сократить время производства партии в 1000 штук на более чем 36 часов. Стандартная рабочая смена составляет 8 рабочих часов, то есть экономия составит 4,5 рабочие смены. При этом экономия основного технологического времени производства будет достигнута только за счёт организации более эффективного охлаждения пресс-формы.

Другим фактором является повышение надёжности композитной пресс-формы. Обеспечение эффективного охлаждения позволит снизить термонапряженность работы пресс-формы, а именно её металлополимерной части. Это позволит предотвратить развитие внутренних дефектов металлополимерной части пресс-формы, возникающих из-за наличия микроскопических несплошностей и трещин. Эти дефекты под действием больших перепадов температур будут развиваться в меньшей степени при снижении диапазона изменения температур при работе композитной пресс-формы.

Существуют и вопросы, касающиеся дальнейшего развития технологии изготовления композитных пресс-форм. Размещение выплавляемой закладной в полости обоймы будущей композитной формообразующей детали пресс-формы, перед её заливкой металлополимером, доставило некоторые сложности при её позиционировании. Сам материал выплавляемой модели (воск), из-за своей низкой жёсткости под действием температуры окружающей среды незначительно менял свою форму. Поджатие и закреп-

ление закладной детали из воска было затруднено. Вопрос разработки модели выплавляемой закладной детали такой конструкции, которая бы позволила обеспечить её жесткую установку и позиционирование в колодце обоймы пресс-формы, требует дальнейших исследований и экспериментов. Изменение геометрии как самой закладной детали, так и её расположения, может привести к некорректному функционированию всей системы охлаждения, например, её негерметичности.

Источник финансирования. Данное исследование финансировалось за счет гранта Президента Российской Федерации, грант № МК-4006.2021.4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds // UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
2. Wang Y., Yu K.M., Wang C.C.L. Spiral and Conformal Cooling in Plastic Injection Molding // CAD Computer Aided Design. 2016. Vol. 63. Pp. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2014.11.012>.
3. Пат. 2046714, Российская Федерация, В29С 33/00. Способ изготовления формообразующих элементов пресс-форм / А.В. Семенюк; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма "Сокол" (UA). № 5046862/05; заявл. 09.01.1992; опубл. 27.10.1995. 4 с.
4. Newman S.T., Zhu Z., Dhokia V., Shokrani A. Process Planning for Additive and Subtractive Manufacturing Technologies // CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2015. Vol. 64. Pp. 467–470. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>
5. Пат. 2631785, Российская Федерация, В22С 9/06. Способ изготовления металлополимерных формообразующих поверхностей матриц и пуансонов пресс-форм / Н.С. Любимый, М.С. Чепчуров; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (RU). № 2016110341; заявл. 21.03.2016; опубл. 26.09.2017. Бюл. №27. 6 с.
6. Пат. 188720, Российская Федерация, В29С 33/04. Металл-металлополимерная пресс-форма / Н.С. Любимый; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (RU). № 2018144087; заявл. 12.12.2018; опубл. 22.04.2019. Бюл. №28. 6 с.
7. Менгес Г. Как делать литьевые формы. СПб.: Профессия. 2007. 614 с.
8. Майникова Н.Ф., Жуков Н.П., Рогов И.В. Моделирование теплопереноса в полимерном материале при фазовом переходе // Вестник ТГТУ. 2008. № 3. С. 490–494.
9. Пантелеев А.П., Шевцов Ю.М., Горячев И.А. Справочник по реконструированию оснастки для переработки пластмасс. М.: Машиностроение. 1986. 399 с.
10. Osvald T. A. Plastic injection molding. St. Petersburg: Profession, 2006. 712 p.
11. Romanovich A.A., Ebrahim A., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Pp. 012060–012068.
12. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M. D., Tikhonov A.A., Antsiferov S.I., Chetverikov B. S., Ryazantsev V.G., Brazhnik J., Ridvanov I. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures // Polymers. 2022. Vol. 14. Pp. 340–352. <https://doi.org/10.3390/polym14020352>
13. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds // UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
14. Металлополимеры LEO [Электронный ресурс]. URL: <http://www.leopolimer.ru/index.htm> (дата обращения: 16.03.2022)
15. Thompson M.K., Moroni G., Vaneker T., Fadel G., Campbell R., Gibson I., Bernard A., Schulz J., Graf P., Ahuja B., Martina F. Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints // CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. Pp. 737–760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>.

Информация об авторах

Любимый Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nslubim@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Польшин Андрей Александрович, аспирант кафедры механического оборудования. E-mail: info@polshin.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: lozovaya@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тихонов Александр Андреевич, магистрант. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Герасимов Михаил Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лямина Светлана Андреевна, студент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: beardestroyer7@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Голубева Ника Денисовна, студент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: beardestroyer7@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.03.2022 г.

© Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д., 2022

***Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.U., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., Golubeva N.D.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: nslubim@bk.ru*

TESTING A CONFORMAL COOLING SYSTEM OF A COMPOSITE MOLD

Abstract. *The article deals with the issue of manufacturing conformal cooling channels to ensure efficient cooling of composite metal-metalpolymer molds. A brief description of both the design of the composite mold and the technology for its production is given. Conformal cooling channels in the composite mold are made in the metal-polymer part, which reduces the distance from the surface of the cooling channel to the cooled forming surface. Experimental studies are given on the example of a composite mold for the "collar" part. Fixing the temperature data of heating and cooling of the metal-polymer molding is carried out using a thermal imager. Evaluation of the results of the study show the efficiency of manufacturing conformal cooling channels directly in the metal-polymer part of the mold. An analysis of the experimental results allows numerically evaluating the cooling efficiency and comparing it with the cooling of a composite mold, in which the cooling channels are made in a metal cage. An assessment of the efficiency of using a composite mold with cooling channels made in the metal-polymer part in the context of saving the main technological time for the production of a batch of parts is given. In conclusion, the difficulties that arose in the process of manufacturing conformal cooling channels in the metal-polymer part and the tasks that require further research in the technology of manufacturing composite molds are described.*

Keywords: *mold, composite, cooling, channel, metal polymer, matrix, punch, experiment, thermal conductivity.*

REFERENCES

1. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751-1761.
2. Wang Y., Yu K.M., Wang C.C.L. Spiral and Conformal Cooling in Plastic Injection Molding. CAD Computer Aided Design. 2016. Vol. 63. Pp. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2014.11.012>.

3. Semenuk A.V. Method for manufacturing mold forming elements. Patent RF, no. 2046714, 1995.
4. Newman S.T., Zhu Z., Dhokia V., Shokrani A. Process Planning for Additive and Subtractive Manufacturing Technologies. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2015. Vol. 64. Pp. 467–470 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>
5. Lubimyi N.S. Chepchurov M.S. Method for manufacturing metal-polymer forming surfaces of matrices and punches of molds. Patent RF, no. 2631785, 2017.

6. Lubimyi N.S. Metal-metal-polymer mold. Patent RF no. 188720, 2019.
7. Menges G. How to make injection molds [Kak delat' lit'evye formy]. SPb.: Profession. 2007. 614 p. (rus)
8. Mainnikova N.F., Zhukov N.P., Rogov I.V. Modeling heat transfer in a polymer material during a phase transition [Modelirovanie teploperenosa v polimernom materiale pri fazovom perekhode]. Bulletin of TSTU. 2008. No 3. Pp. 490–494. (rus)
9. Pantelev A.P., Shevcov U.M., Goryachev I.A. Plastic Recycling Tooling Revamping Guide [Rukovodstvo po modernizacii instrumentov dlya pererabotki plastmass]. Moscow: mechanical engineering. 1986. 399 p. (rus)
10. Osvald T. A. Plastic injection molding. St. Petersburg: Profession. 2006. 712 p.
11. Romanovich A.A., Ebrahim A., Romanovich M. A. Improving the efficiency of the material grinding process. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. 012060 p.
12. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M.D., Tikhonov A.A., Antsiferov S.I., Chetverikov B.S., Ryazantsev V.G., Brazhnik J., Ridvanov I. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures. Polymers. 2022. Vol. 14. Iss. 352. Pp. 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym14020352>
13. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. UK: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. Pp. 1751–1761.
14. Metal polymers LEO [Metallopolimery LEO]. URL: <http://www.leopolimer.ru/index.htm> (date of treatment: 16.03.2022)
15. Thompson M.K., Moroni G., Vaneker T., Fadel G., Campbell R., Gibson I., Bernard A., Schulz J., Graf P., Ahuja B., Martina F. Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints. CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. Pp. 737–760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>

Information about the authors

Lubimyi, Nikolai S. PhD, Associate Professor. E-mail: nslubim@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Polshin, Andrey A. Postgraduate student. E-mail: info@polshin.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Lozovaya, Svetlana Yu. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: lozovaya@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Tikhonov, Aleksandr A. Master student. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Gerasimov, Mihail D. PhD, Associate Professor. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Lyamina, Svetlana A. Student. E-mail: beardestroyer7@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Golubeva, Nika D. Student. E-mail: golubevanika1@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Received 21.03.2022

Для цитирования:

Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д. Испытание конформной системы охлаждения композитной пресс-формы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118

For citation:

Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.U., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., Golubeva N.D. Testing a conformal cooling system of a composite mold. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-111-118