

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-101-109

*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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНФОРМНЫХ КАНАЛОВ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПРЕСС-ФОРМ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности работы композитной металл-металлополимерной пресс-формы. Использование композитной пресс-формы, включающей формообразующую плиту, состоящую из металла и металлополимера, сопряжено с низкой эффективностью охлаждения такой пресс-формы. По этой причине очень важно разработать технологические решения, обеспечивающие эффективную работу системы охлаждения. В статье приводятся математические закономерности необходимые для вычисления теплового потока при литье термопластов в форму. Далее на основе расчётных данных произведено исследование с применением метода конечных элементов теплопроводности металлополимерной части. Описанная в статье конструкция композитной формообразующей плиты пресс-формы предполагает изготовление профильного канала охлаждения, максимально приближенного к формообразующей части пресс-формы и расположенного в металлополимерной части. На основе проведенного анализа о температурной напряженности металлополимерной части пресс-формы сделаны выводы и рекомендации по конструированию криволинейной выплавляемой закладной пресс-формы, что позволит конструкторам рассчитывать оптимальные геометрические параметры системы охлаждения. Проектирование и изготовление конформных каналов охлаждения в металлополимерной части позволит обеспечить более эффективное охлаждение формообразующей части пресс-формы за счёт приближения поверхности каналов охлаждения к поверхности формообразующей пресс-формы, в конечном счёте, повысить стойкость и производительность композитной пресс-формы.

Ключевые слова: пресс-форма, композит, охлаждение, канал, металлополимер, матрица, пуансон, конечно-элементный анализ, теплопроводность.

Введение. Литьё термопластичных полимеров в металлические пресс-формы является наиболее распространённой технологией получения пластиковых изделий. Металлические пресс-формы обладают высокой стойкостью, до 1 миллиона циклов, высоким качеством формообразующей поверхности. Эти характеристики делают металлические пресс-формы наиболее конкурентными по сравнению с другими технологиями получения пластиковых изделий, такими как аддитивное производство, литьё в силиконовые пресс-формы, литьё в композитные металл-металлополимерные пресс-формы.

В докладах об аддитивном производстве [1, 2] указывается, что аддитивное производство (additive manufacturing AM) занимает объём рынка более 4 миллиардов долларов с прогнозом на устойчивый рост. В области исследований AM при производстве металлических пресс-форм особое внимание уделяется технологиям селективной лазерной плавке (selective laser melting SLM). Так, Newman и другие представили новую концепцию планирования производственных процессов для аддитивного и субтрактивного производства [3]. Исследование показывает, что

на сегодняшний день использование AM при изготовлении готовых деталей функционального назначения ещё невозможно без постобработки, в том числе с применением субтрактивных технологий. Thompson и другие также указали на возможные тенденции использования AM с учётом применения современных полимерных материалов при изготовлении композитных конструкций деталей [1, 4, 5]. Одним из потенциальных направлений использования AM является создание пресс-форм для литья пластмасс под давлением [6, 7]. Преимущества, которые при этом позволяет достичь технология AM, это изготовление конформных каналов охлаждения с использованием технологии SLM. Это приводит к увеличению производительности пресс-формы, так как при этом повышается эффективность охлаждения, а, следовательно, и цикл времени формования [8, 9].

При изготовлении композитных формообразующих деталей пресс-форм, состоящих из металлической обоймы и металлополимерной формообразующей части, AM используются для изготовления мастер-модели, по которой делается негативный отпечаток в металлополимерной части пресс-формы [10, 11]. Схема композитной

пресс формы и входящие в неё части показаны на рис. 1.

Композитная пресс-форма, показанная на рисунке 1, состоит из матрицы 1 и пуансона 2, представляющих собой металлические плиты 3 и 4 с внутренними полостями 5, выпорами 6, отверстиями 7, например, резьбовыми, выполненными

на боковых стенках. В отверстиях 7 размещены соединительные элементы 8, например, штуцеры, связанные с системой охлаждения посредством трубопроводов. В металлической плите 3 матрицы 1 выполнено отверстие 9 под литниковую втулку 10.

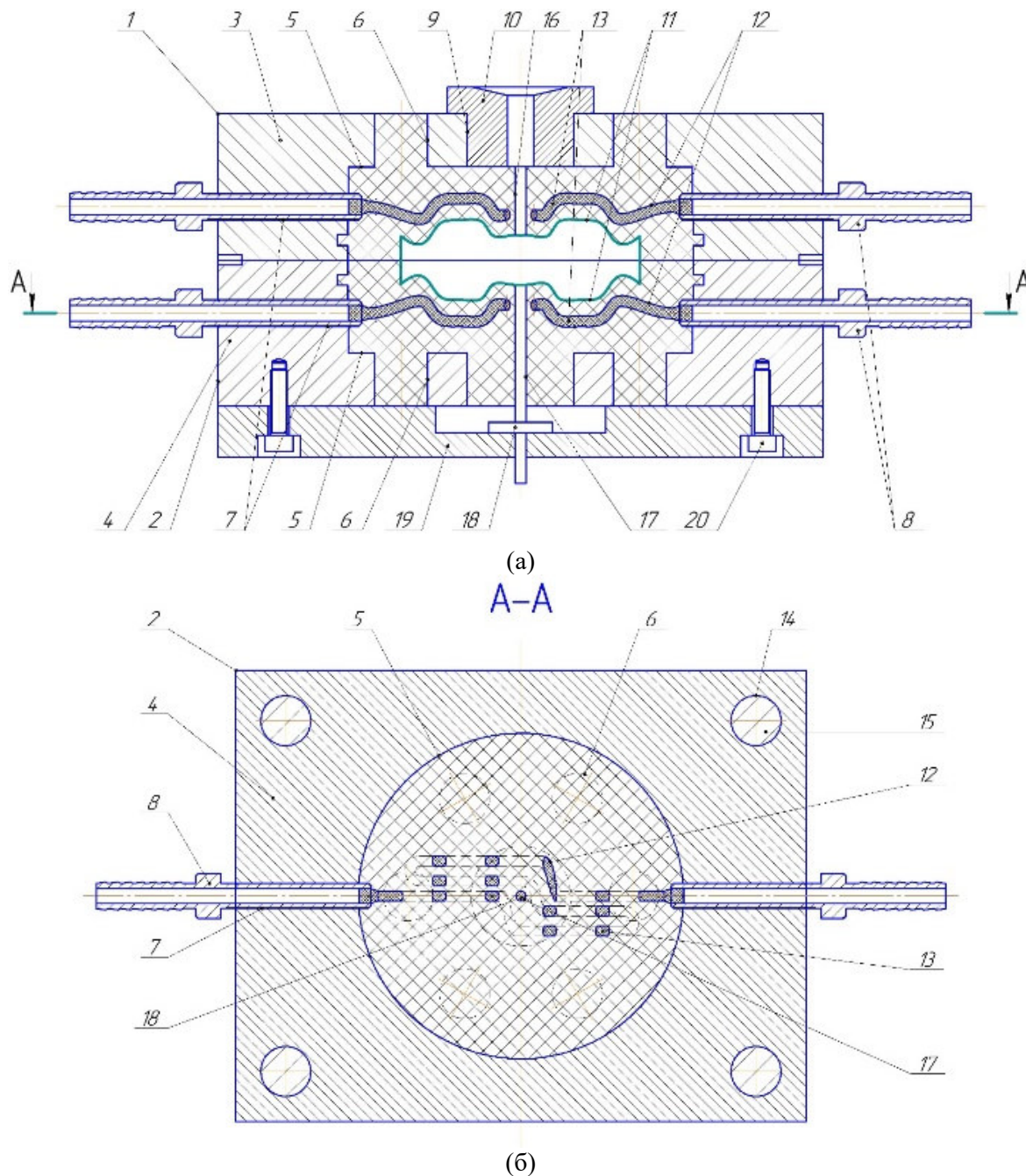


Рис. 1. Схема композитной пресс-формы, продольный разрез (а), схема композитной пресс-формы, разрез А-А (б)

Внутренние полости 5 матрицы 1 и пуансона 2 заполнены металлополимером с образованием формообразующих поверхностей 11 путем отпечатка модели изделия (на рисунке не показана) в жидком металлополимере. При этом в металлополимере матрицы 1 и пуансона 2 выполнены каналы охлаждения 12, которые расположены эквидистантно формообразующим поверхностям

11. Форма поперечного сечения каналов охлаждения 12 может иметь любой профиль, например, окружность. Форма сечения канала охлаждения 12 и его профиль обеспечиваются путем размещения в металлополимере закладных деталей 13, имеющих необходимую форму сечения и профиль, а затем их выплавления. Закладная деталь 13 предварительно получается путем печати

на 3D принтере из материала имеющего температуру плавления от 45 до 60 °С, например, воск или парафин.

В металлических плитах 3 и 4 предусмотрены отверстия 14 под направляющие колонки 15. В металлополимерной части матрицы 1 выполнен литьевой канал 16. В металлополимерной части пуансона 2 выполнено отверстие 17, в которое установлен выталкиватель 18, хвостовик

которого, в свою очередь, установлен с возможностью перемещения в плиту выталкивателя 19. Плита выталкивателя 19 соединена при помощи крепежных элементов 20 с пуансоном 2.

Для более наглядного понимания конструкции, на рисунке 2 показана 3D модель композитной полуформы (матрица или пуансон).

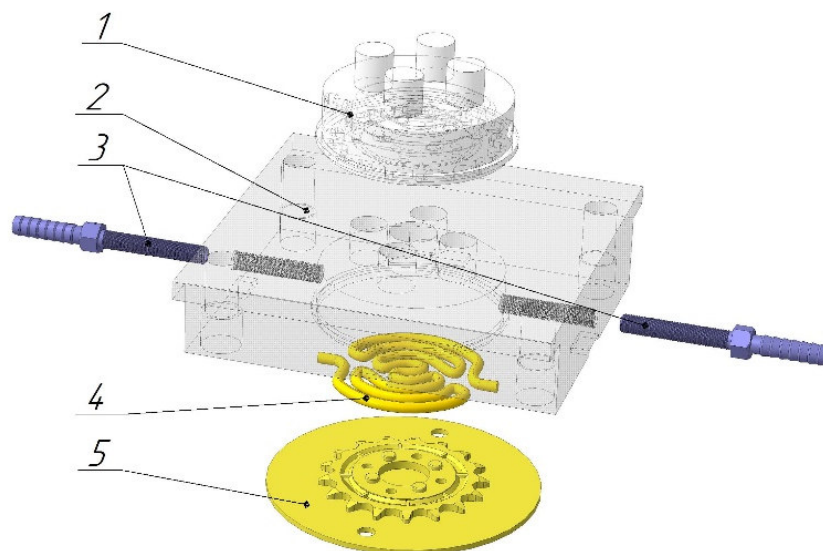


Рис. 2. Разнесённая 3D модель композитной формообразующей плиты пресс-формы.
1 – металлополимерная часть; 2 – металлическая обойма; 3 – штуцеры; 4 – выплавляемая закладная; 5 – мастер-модель

Закономерно, что чем ближе стенки каналов охлаждения к формообразующей поверхности, тем лучше обеспечивается отвод тепла от формообразующей поверхности и, тем меньше требуется времени на технологический цикл формования детали. Кроме того повышение эффективности охлаждения формообразующей детали увеличивает и стойкость металлополимерной части формообразующей.

Материалы и методы. Для расчётов параметров системы каналов охлаждения пресс-формы используется методика, предложенная А.П. Пантелеевым [12, 13]. Далее приведены выражения для расчёта системы термостатирования.

Цикл формования состоит из этапов смыкания пресс-формы, впрыска, выдержки под давлением, охлаждения, размыкания пресс-формы, выталкивания изделия из пресс-формы, технологической обработки формообразующей поверхности. Для дальнейших расчётов необходимо рассчитать время цикла формования, для этого используется следующая зависимость:

$$\tau_c = \tau_{cool} + \tau_{cp} + \tau_e, \quad (1)$$

где τ_{cool} – время охлаждения изделия; τ_{cp} – время смыкания и размыкания формы; τ_e – время выдержки под давлением.

Время охлаждения:

$$\tau_{cool} = \frac{0,405}{a} \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \left(\ln 1,27 - \ln \frac{t_m - t_f}{t_p - t_f}\right), \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, m^2/c ; δ – толщина изделия, m ; t_f – средняя за цикл температура формообразующих поверхностей, °С; t_p – начальная температура изделий, равная температуре впрыскиваемого в форму расплава, °С; t_m – температура в середине стенки изделия, при которой раскрывается форма (принимают на 8-25 °С выше температуры t_f).

Количество теплоты Q_0 , поступившей с расплавом и отдаваемой отливкой, Дж:

$$Q_0 = m_0 c_0 (t_p - \bar{t}_m), \quad (3)$$

где m_0 – масса отливки, kg , $m_0 = m_p n + m_g$; m_p – масса изделия, kg ; n – количество гнезд; m_g – масса литников, kg ; c_0 – удельная теплоемкость материала отливки, $Dж/(kg \cdot ^\circ C)$.

\bar{t}_m – средняя (по объёму отливки) температура изделия в момент раскрытия формы, °С:

$$\bar{t}_m = t_f + 2(t_p - t_f)/\pi. \quad (4)$$

Количество теплоты, отводимой хладагентом Q_x , можно принять равным Q_0 . Количество

теплоты, потраченное на нагрев окружающей среды и полученной из окружающей среды, в расчётах пренебрежительно мало и им можно пренебречь.

Расход хладагента, кг:

$$g_x = \frac{Q_x}{c_x \Delta t_x}, \quad (5)$$

где c_x – удельная теплоемкость хладагента, Дж/(кг°C) (табличное значение); Δt_x – разность температур на входе и на выходе в канал (принимают не более 2-4 °C для исключения неравномерности охлаждения).

Затраты хладагента или его расход, рассчитывают исходя из площади охлаждаемой поверхности, то есть формообразующей поверхности пресс-формы.

Поперечная площадь сечения канала охлаждения находится как:

$$f_m^{p(m)} = \frac{g_x^{p(m)}}{\rho_x \tau_c \omega}, \quad (6)$$

где ρ_x – плотность хладагента, кг/м³; τ_c – время цикла (1), с; ω – скорость течения хладагента, м/с (принимают $\omega = 0,5 \dots 1,0$ м/с).

Диаметр канала или длина стороны сечения (если канал прямоугольный), м:

$$d_c^{p(m)} = 1,13 \sqrt{f_m^{p(m)}}. \quad (7)$$

Длина каналов охлаждения рассчитывается из условия, что эффективная площадь поверхности каналов должна быть не менее охлаждаемой площади оформляющих поверхностей пуансона и матрицы:

$$F_c^{p(m)} \geq F_{p(m)},$$

где $F_c^{p(m)}$ – площадь поверхности охлаждающих каналов пуансона (матрицы), м².

Суммарная длина каналов круглого сечения, м:

$$l_c^{p(m)} \geq \frac{F_{p(m)}}{\pi d_c^{p(m)}}. \quad (8)$$

Для проведения математических расчётов было использовано программное обеспечение SMath Studio. Для конечно-элементного моделирования с целью расчёта параметров теплопереноса был использован программный продукт Elcut 6.1. В качестве экспериментальной модели изделия использовалась деталь шестерня.

Основная часть. По приведенным формулам 1-8, а также с использованием табличных данных [12], были получены расчётные значения параметров охлаждения композитной пресс-формы, представленные в таблице 1.

На рисунке 3 показана диаграмма температурных полей моделирования нагрева металлополимерной части выполненной из металлополимера LEO [14, 15]. Размер сечения от формообразующей поверхности до стенки канала охлаждения в принятой модели равняется 8 мм.

Используя различные геометрические модели с различными толщинами сечения металлополимера, между формообразующей поверхностью, нагреваемой расплавом и стенкой канала охлаждения, охлаждаемой хладагентом, были получены результаты, представленные в таблице 2 и на рис. 4.

Таблица 1

Расчётные параметры системы охлаждения композитной пресс-формы

Название параметра, размерность	Обозначение	Значение
Время охлаждения, с	τ_{cool}	450
Время формования 1 шт., с	τ_c	475
Температура изделия, °C	\bar{t}_m	124
Масса отливки, кг	m_0	$3.8706 \cdot 10^{-8}$
Количество теплоты поступившей в форму, Дж	Q_0	$8.6101 \cdot 10^{-9}$
Тепловой поток в единицу времени, Дж/м ²	q	$5.591 \cdot 10^{-7}$
Тепловой поток за цикл, Вт·с/м ²	qc	0.0003
Тепловой поток за 106 циклов, Вт·с/м ²	qs	265.8634
Количество теплоты, отводимой хладагентом, Дж	Q_x	$8.6101 \cdot 10^{-9}$
Расход хладагента, кг	g_x	$2.0598 \cdot 10^{-6}$
Площадь поперечного сечения каналов пуансона и матрицы, м ²	$f_c^p = f_c^m$	$4.3318 \cdot 10^{-6}$
Диаметр канала пуансона и матрицы, м	$d_c^p = d_c^m$	0.0024
Суммарная длина каналов круглого сечения пуансона и матрицы, м	$l_c^p = l_c^m$	1.0422

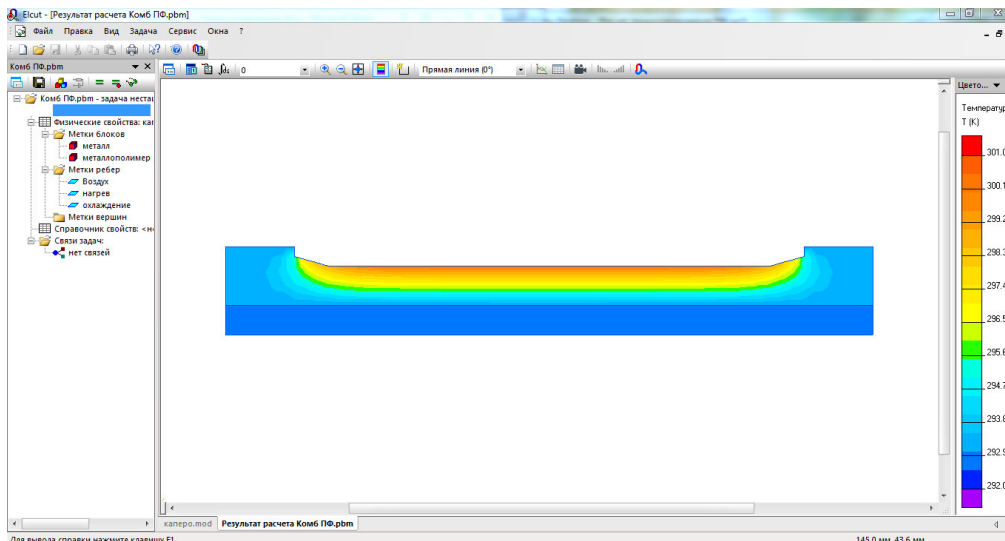


Рис. 3. Диаграмма температурных полей композитной формообразующей детали пресс-формы.

Таблица 2

Расчётные значения температуры нагрева металлополимерной части пресс-формы

Толщина металлополимера, мм	Температура формообразующей, К
2	296
4	297
6	299
8	301

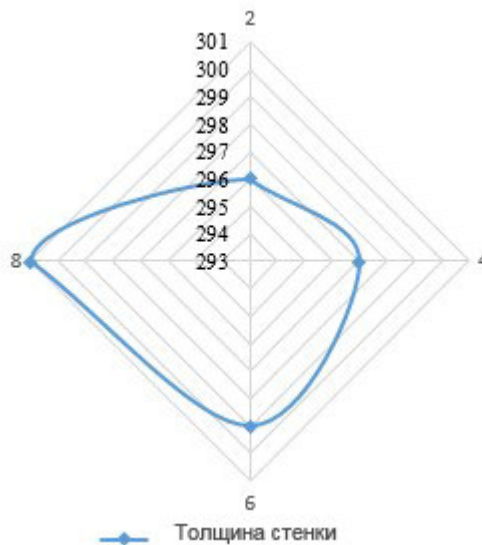


Рис. 4. Зависимость, температуры поверхности металлополимерной формообразующей от толщины стенки до поверхности канала охлаждения

По рисунку 4 объективно видно, что снижение толщины сечения стенки металлополимерной части пресс-формы, отделяющей формообразующую поверхность от стенки каналов охлаждения, существенно снижает температуру формообразующей. Полученная зависимость имеет практически линейный характер. Это свидетельствует, что для обеспечения эффективного охлаждения композитной пресс-формы следует выполнять каналы охлаждения не в металлической части пресс-формы, как это принято при проектировании стандартных пресс-форм, а в металло-

полимерной части. Ещё более эффективным, будет изготовление каналов охлаждения эквидистантной формы, то есть повторяющих контур самой детали.

Выводы. Ряд экспериментов, задачей которых было изготовление профильных каналов охлаждения в металлополимерной части композитной пресс-формы, показал, что эта задача ещё не решена технически. Для того чтобы изготавливать как сами закладные из выплавляемых материалов, так и обеспечить требуемое позиционирование в металлической обойме, требуются

дополнительные изыскания в области машиностроения. Требуется разработка соответствующей технологии получения профильных каналов охлаждения.

Тем не менее, результаты исследования, приведенные в этой работе показали, что диаметр требуемого сечения круглого профиля канала охлаждения для изделия шестерня, должен быть равен 2.4 мм, при этом длина канала охлаждения должна быть 1.04 м.

Варьируя диаметр канала охлаждения, за счёт изменения диаметра сечения закладной детали, можно добиться того, что длина канала охлаждения будет сокращена. Необходимо стремиться к тому, чтобы отношение диаметра канала охлаждения к его длине были оптимальными. Критерии оптимальности в этом случае это эффективность охлаждения, то есть максимальный теплообмен. Но в этой системе оптимизации будут и ограничения по диаметру канала охлаждения, и его длине. Это связано с тем, что слишком тонкая закладная деталь из воска будет очень хрупкой. Отсутствие жесткости такой детали приведет к сложностям монтажа этой детали перед заливкой в обойму металлополимера. Длина каналов охлаждения ограничена также, так как зависит от площади формообразующей поверхности и её невозможно устанавливать по своему усмотрению.

В целом, сосредоточенные в этой статье расчётные приёмы и выражения, позволяют произвести предварительный расчёт требуемых параметров каналов охлаждения, сечение и длину. Далее, уже на основе формы и геометрии самой детали или формообразующей её поверхности композитной пресс-формы, можно спроектировать модель закладной детали из выплавляемого материала. Используя аддитивное производство, не составит труда изготовить такую закладную деталь и использовать её для получения профильного канала охлаждения.

При этом будет обеспечена максимальная стойкость и производительность композитной металл-металлополимерной пресс-формы.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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, Considera-

tions, and Constraints // CIRP Annals-Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. Pp. 737–760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>.

2. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 69-71.

3. 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>.

4. 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>

5. Chetverikov B. S., Annenko D. M., Lubimyi N. S., Tikhonov A. A. Substantiation of the Type of Machining of a Flat Metal-Metal-Polymer Surface Considering the Provision of the Required Roughness of the Part // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, Cham, 2021. Vol. 160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75182-1_5

6. Першин Н.С., Чепчуров М.С. Использование металлополимеров в пресс-формах для литья пластмасс // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 4. С. 86–90.

7. Першин Н.С., Чепчуров М.С. Изготовление формообразующих деталей персс-форм из композиционных материалов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. №6. С. 76–81

8. Jahan S. A., Hazim E. M. Optimal Conformal Cooling Channels in 3D Printed Dies for Plastic Injection Molding // Procedia Manufacturing. 2016. Vol. 5. Pp. 888–900 <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.076>

9. 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>.

10. Lubimyi N. S., Annenko D. M., Chepchurov M. S., Kostoev Z. M. The research of the temperature effect on a metal polymer during flat grinding of a combined metal polymer part // Australian Journal of Mechanical Engineering, 2020. Vol. 80. Pp. 1–13. doi:10.1080/14484846.2020.1786654

11. Lubimyi N. S., RF Patent No. 188720. Metal-metal-polymer mold. publ. 04/22/2019. Bull. No. 12.

12. Panteleev A. P., Shevcov U. M., Goryachev I. A. Plastic Recycling Tooling Revamping Guide // Moscow: mechanical engineering, 1986. 399 p.

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. 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.

Информация об авторах

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

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nslubim@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, Костюкова, д. 46.

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

Поступила 16.03.2022 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.Yu., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., ¹Golubeva N.D.**

Belgorod state technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: nslubim@bk.ru

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF CONFORMAL COOLING CHANNELS OF COMPOSITE MOLDS

Abstract. *The article deals with the issue of evaluating the performance of a composite metal-metal-polymer mold. The use of a composite mold, including a forming plate consisting of a metal, and a metal polymer introduced with a low cooling efficiency of such a mold. For this reason, it is important to develop technological solutions that ensure the efficient operation of the cooling system. The article provides mathematical calculations of the required amount of heat flow when molding thermoplastics into a mold. Further, based on the calculated data, a study is made using finite elements of the thermal conductivity of the metal-polymer part. The design of the composite forming plate of the mold described in the article involves the manufacture of a cooling channel profile as close as possible to the forming part of the mold and located in the metal-polymer part. Based on the analysis of the temperature viscosity of the metal-polymer part of the mold, conclusions and recommendations are given for the design of a curved investment mold. It allows designers to calculate the optimal geometric parameters of the cooling system. The design and manufacture of conformal cooling stages in the metal-polymer part is likely to be preferable for cooling the forming part of the mold by bringing the*

cooling reversal surface closer to the surface of the forming mold, resulting in increased durability and productivity of the composite mold.

Keywords: mold, composite, cooling, channel, metal polymer, matrix, punch, finite element analysis, thermal conductivity.

REFERENCES

1. 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>.
2. Romanovich A.A. Energy saving in the production of building products [Energoberezhenie pri proizvodstve stroitel'nyh izdelij]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2011. No.3. Pp. 69-71. (rus)
3. 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>.
4. 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>
5. Chetverikov B.S., Annenko D.M., Lubimyi N.S., Tikhonov A.A. Substantiation of the Type of Machining of a Flat Metal-Metal-Polymer Surface Considering the Provision of the Required Roughness of the Part. *Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, Cham. 2021. Vol. 160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75182-1_5
6. Pershin N.S., Chepchurov M.S. The use of metal polymers in plastic injection molds [Ispol'zovanie metallopolimerov v press-formah dlya lit'ya plastmass]. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy*. 2015. No. 4. P. 86-90. (rus)
7. Pershin N.S., Chepchurov M.S. Production of shaping parts of molds from composite materials [Izgotovlenie formoobrazuyushchih detalej press-form iz kompozicionnyh materialov]. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy*. 2015. No. 6. Pp. 76–81. (rus)
8. Jahan S.A., Hazim E. M. Optimal Conformal Cooling Channels in 3D Printed Dies for Plastic Injection Molding. *Procedia Manufacturing*. 2016. Vol. 5. Pp. 888–900. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.076>
9. 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>.
10. Lubimyi N.S., Annenko D.M., Chepchurov M. S., Kostoev Z.M. The research of the temperature effect on a metal polymer during flat grinding of a combined metal polymer part. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 2020. Vol. 80. Pp. 1–13. doi:10.1080/14484846.2020.1786654
11. Lubimyi N.S., Metal-metal-polymer mold. Patent RF, no. 188720, 2019.
12. 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)
13. Liang J., Narahara H., Koresawa H., Suzuki H. Verification and evaluation of automatically designed cooling channels for block-laminated molds. *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. 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.

Information about the authors

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

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

Lozovaya, Svetlana Yu. DSc, Associate Professor. E-mail: nslubim@bk.ru. Belgorod State Technological University named V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Tikhonov, Aleksandr A. Master's student. E-mail: cherep2240@rambler.ru. Belgorod state technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Gerasimov, Mihail D. PhD, Associate Professor of the chair of Hoisting-and-Transport and Road Machines. E-mail: mail_mihail@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova, 46.

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

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

Received 16.03.2022

Для цитирования:

Любимый Н.С., Польшин А.А., Лозовая С.Ю., Тихонов А.А., Герасимов М.Д., Лямина С.А., Голубева Н.Д. Исследование эффективности работы конформных каналов охлаждения композитных пресс-форм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 101–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-101-109

For citation:

Lubimyi N.S., Polshin A.A., Lozovaya S.Yu., Tikhonov A.A., Gerasimov M.D., Lyamina S.A., Golubeva N.D. Investigation of the efficiency of conformal cooling channels of composite molds. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 7. Pp. 101–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-101-109