

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

***Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ»

*E-mail: sptuzh@mail.ru

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО ЛИТЬЯ В ВАКУУМЕ

Аннотация. На данный момент существует большое количество методов переработки полимерных материалов, как термопластов, так и реактопластов. Однако большинство из них целесообразно применять только при крупносерийном или массовом производстве полимерных изделий, в то время как в современных условиях существует тенденция к производству небольших партий изделий сложной конфигурации. Одним из универсальных методов переработки полимерных материалов в условиях мелкосерийного производства является формование изделий литьем без давления в вакууме. Этот процесс объединяет в одном технологическом цикле синтез полимера и его переработку. Он подходит как для переработки большинства реактопластов, так и для некоторых термопластичных полимеров. Помимо переработки полимеров данный метод позволяет изготавливать полимерные наполненные и сверхнаполненные композиционные материалы. Данная работа посвящена обзору метода свободного литья в вакууме в эластичные формы. Рассмотрены материалы, используемые для переработки данным способом. Рассмотрены материалы, требуемые для изготовления эластичных форм. Описаны основные этапы технологического процесса изготовления полимерных изделий данным методом. Приведены области возможного применения данной технологии.

Ключевые слова: переработка полимеров, литье в вакууме, эластичные формы, мелкосерийное производство

Введение. В настоящее время существует большое количество эффективных технологий переработки полимеров: литье полимеров под давлением, вакуумная объемная формовка, ротационное формование, каландрование и др. Однако большинство этих технологий целесообразно применять для изготовления продукции в условиях крупносерийного или массового производства. В то же время в последнее время наблюдается тенденция к усложнению промышленной продукции, росту номенклатуры изготавливаемых изделий и уменьшению времени жизненного цикла готовой продукции [1]. В условиях рыночной экономики производству, чтобы удовлетворять спрос рынка, необходимо быть гибким, мобильным и готовым к колебаниям спроса на рынке [2–3]. Поэтому в условиях рыночной экономики наиболее эффективным будет мелкосерийное и единичное производство. Такой тип производства характерен, в частности, для предприятий, занимающихся научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельностью. Уже сейчас доля мелкосерийного производства составляет от всего объема производства около 80 % [2–4].

Несмотря на то, что предпринимаются попытки адаптировать оборудование крупносерийного производства под сложившиеся условия, как, например, в работе [5], одним из универсальных методов переработки полимеров, эффективным в условиях мелкосерийного и единичного производства, является формование изделий ли-

тьем без давления. Метод применим для изготовления изделий из отверждающихся смол (эпоксидные смолы, ненасыщенные полиэферы, полиуретаны), желеобразных паст из пластифицированного ПВХ и других полимеров, полимеризующихся мономеров (стиролы, акрилаты), мономеров, способных к поликонденсации (например, капролактамы) и других, а также из наполненных и высоконаполненных композиций на основе данных материалов.

Материалы. Формующие инструменты (литейные формы) для получения изделий из полимеров по данной технологии изготавливают из различных материалов. К материалам для изготовления форм предъявляют следующие требования: износостойкость, обеспечение стабильности размеров формующего инструмента, обеспечение хорошего качества формующей поверхности, теплостойкость, хорошая теплопроводность, низкая себестоимость. С учетом перечисленных факторов для изготовления формующих инструментов применяются следующие материалы: металлы, полимерные материалы (эпоксидные смолы, полиуретаны, силиконовые каучуки и др.), гипс, древесина.

Одной из разновидностей свободного литья является вакуумное литье в эластичные формы, представляющее собой процесс получения опытных образцов и небольших партий пластмассовых и восковых деталей любой сложности и габаритов без изготовления стандартной оснастки за очень короткое время [7].

В настоящее время существует широкий спектр силиконовых и полиуретановых двухкомпонентных холоднотвердеющих полимеров, позволяющих изготовить высококачественные формы с любых моделей, требующих при этом минимальных трудозатрат. Низкая вязкость этих

материалов позволяет точно передавать мельчайшие детали модели, а низкая усадка – повторить её геометрию [8]. В таблице 1 приведены характеристики наиболее известных и хорошо зарекомендовавших себя на мировом рынке марок материалов для изготовления эластичных форм POR-A-MOLD и SIL-MOLD.

Таблица 1

Характеристики материалов для изготовления форм

Материалы	Полиуретаны		Силиконы		
	PRO-A-MOLD		SIL-MOLD		
Характеристики	S 2030	S 555	SI – 12	SI – 25	CLEAR
Твердость по Шору, А	30	50	12	25	43
Плотность отвержденной массы, г/см ³	1,05	1,21	1,11	1,11	–
Относительное удлинение, %	900	250	500	450	–
Предел прочности, кг/см ²	45	30	–	–	–
Вязкость, отвердитель/форполимер, сП:	750/1850	3600/8100	80/50000	80/70000	–
Соотношение компонентов, отвердитель/форполимер					
- по весу	–	–	1:10	1:10	1:10
- по объему	1:1	1:1	-	-	-
Время жизни смеси, мин	20 – 30	20 – 30	До 60	До 60	До 90
Время отверждения при 22 °С, час	24	24	24	24	24

Анализ литературы показал, что из двух представленных в таблице 1 типов эластичных полимеров при изготовлении литейных форм отдают предпочтение именно силиконовым компаундам [9–11]. Малая склонность к адгезии и высокая эластичность силикона позволяют достаточно просто решить проблему наличия у детали поднутрений [9]. Использование силиконовых форм нередко оказывается единственным приемлемым способом изготовления изделий при единичном и мелкосерийном производстве, обеспечивающим при этом высокое качество изделий [12].

Основная часть. Проектирование литейной формы. При проектировании эластичных форм для литья реактопластов необходимо учитывать их большую объемную усадку (до 20 %) при полимеризации. Это особенно важно при литье изделий с внутренними полостями. Чтобы обеспечить свободную усадку отверждающегося материала в форме, внутренние сердечники (стержни), формирующие конфигурацию внутренних полостей отливок, должны под действием сил, возникающих во время усадки материала отливки, уменьшаться в размерах вследствие деформации или разрушения [6]. Большое влияние

на качество отливок оказывает конструкция литниково-питающей системы, выбор которой зависит от целого ряда факторов: свойств заливаемого материала, массы и конфигурации отливки, условий заливки, вида формы.

На рисунке 1 представлены наиболее часто применяемые типы литниковых систем для литья в силиконовые формы.

Для снижения количества брака и получения изделий с заданными свойствами литейная форма должна быть правильно спроектирована. Поэтому чтобы повысить качество получаемых изделий необходимо смоделировать процесс заливки полимера в форму и его полимеризации. Для этого в работе [13] была разработана соответствующая математическая модель, довольно точно описывающая реальный процесс.

Если форма является закрытой, то необходимо предусмотреть размещение выпоров в верхних точках отливки для контроля объема залитого полимера и улучшения заполняемости формы. Кроме того, если форма является закрытой, то на данном этапе разработки литейной формы необходимо решить, будет ли форма разъемной или разрезной (рис. 2).

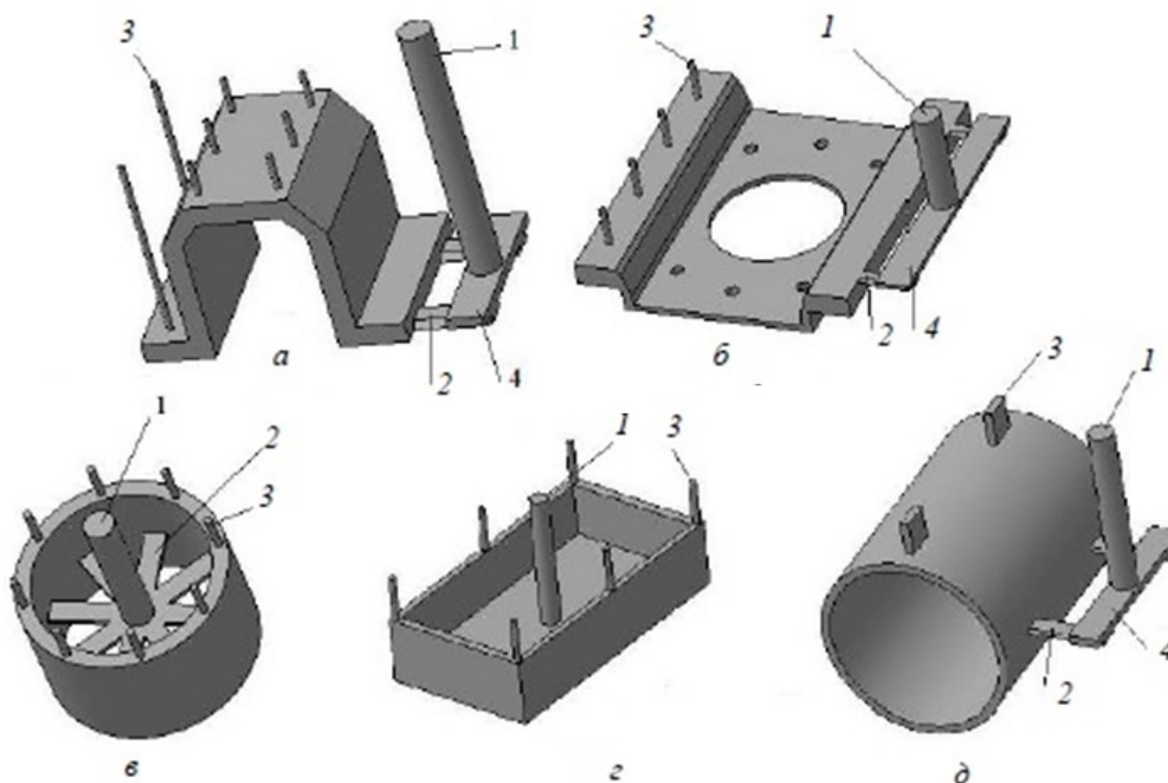


Рис. 1. Литниковые системы для литья полимеров в силиконовые формы: а – нижний подвод полимера; б – верхний подвод полимера; в, г – подвод полимера в центральную часть; д – боковой подвод полимера; 1 – стояк; 2 – питатель; 3 – выпор; 4 – коллектор

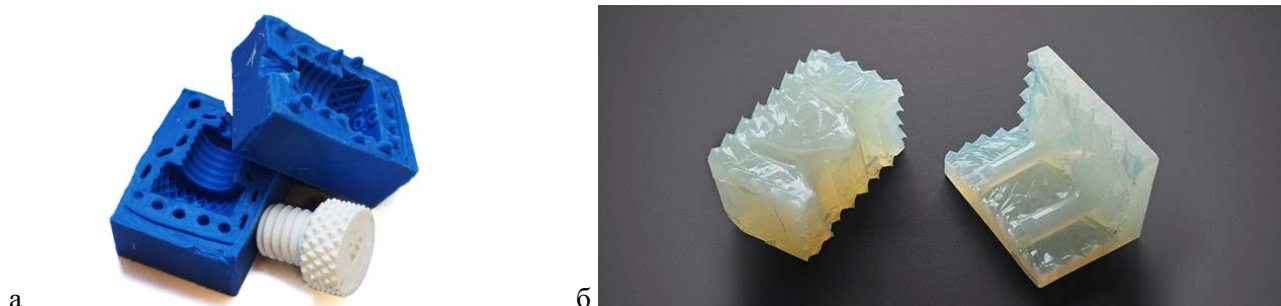


Рис. 2. Виды закрытых формы: а – разъемная форма; б – разрезная форма

При изготовлении разъемных форм каждая часть формы изготавливается по отдельности. Для формирования поверхностей разъема используют ранее изготовленные части формы со специальными элементами на контактирующей с жидким силиконовым полимером в виде углублений или бобышек, называемыми замками. Это позволит после изготовления всех частей точно собрать литейную форму и получить качественную отливку.

При изготовлении разрезных форм вся форма изготавливается как единое целое, и только после отверждения силиконового полимера специальным образом разрезается на требуемое количество частей в зависимости от слож-

ности отливки для извлечения модели. Как показано на рисунке 2б, форму разрезают по кривой волнообразной линии для того, чтобы, как и в случае с разъемными формами, обеспечить точную сборку формы перед заливкой пластика.

Изготовление мастер-модели и литейной формы. По окончании проектирования литейной формы помимо чертежа детали мы имеем чертежи модели отливки и литниковой системы или, с учётом развития технологий автоматизированного проектирования, их цифровые модели. На данном этапе из этих исходных данных необходимо получить собственно физические модели отливки и литниковой системы для последующего изготовления литейной формы. После из-

готовления модели необходимо все её поверхности довести до соответствия требуемым технологическим размерам и параметрам шероховатости.

Далее необходимо спроектировать и изготовить специальную технологическую ёмкость для размещения и закрепления в ней мастер-модели с моделями литниковой системы, предназначенную для изготовления формы или её части (рис. 3) [10].

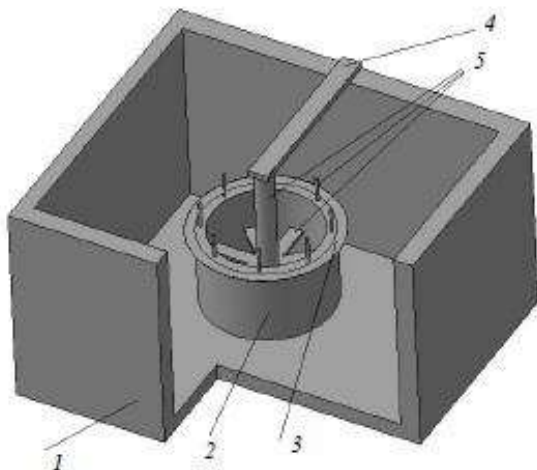


Рис. 3 Модель технологической емкости:

- 1 – опалубка; 2 – мастер-модель; 3 – плоскость, оформляющая разъем формы; 4 – фиксатор мастер-модели и модели литниковой системы в форме; 5 – модели элементов литниковой системы

Поскольку на практике для изготовления литейных форм используются двухкомпонентные холоднотвердеющие силиконовые компаунды, то перед заливкой технологической емкости нужно смешать и тщательно перемешать оба компонента. При этом в течение процесса в смесь попадает большое количество воздуха, поэтому по окончании смешивания состав необходимо поместить в вакуумную камеру для дегазации. В зависимости от вязкости силиконового полимера и создаваемого в камере вакуума время дегазации смеси может составлять от 7 до 15 минут.

После дегазации силикон заливают в подготовленную технологическую емкость, которую затем помещают в вакуумную камеру для повторной дегазации с целью удаления оставшихся включений воздуха, оставшихся на поверхности модели при заполнении. Процесс длится от 5 до 40 минут в зависимости от сложности конфигурации модели и интенсивности процесса выделения воздуха из силиконового полимера. После повторной дегазации в вакуумной камере емкость с силиконом оставляют на воздухе до окончательной полимеризации компаунда в течение 24 часов при комнатной температуре. Окончательно затвердевшую форму извлекают из ёмко-

сти и, если она разъемная – разбирают, если разрезная – разрезают по намеченной плоскости (плоскостям) разъема, чтобы извлечь мастер-модель и модели элементов литниковой системы. На этом же этапе, как правило, делают выпоры специальным инструментом, поскольку они имеют маленькие размеры в поперечном сечении, и их получение литьем затруднено.

Подготовка формы и заливка пластика. Чтобы предотвратить схватывание между материалом формы и заливаемым компаундом во время полимеризации последнего, поверхность рабочей полости и литниковой системы формы обрабатывают специальным разделительным составом, после чего форму собирают. При этом при сборке необходимо обеспечить герметичность литейной формы, чтобы предотвратить протекание низковязких мономеров при заливке.

После сборки формы необходимо подготовить к заливке литейной полимер. Для облегчения заполнения форм, удаления пузырьков воздуха, попавших в реакционную массу, и для ускорения процессов уплотнения наполненных композиций применяют вакуумирование (0,04–0,07 атм), которое желательно проводить на стадии смешения исходных компонентов двухкомпонентного состава. Заливку материала в форму также предпочтительно осуществлять в вакууме, что позволит снизить вероятность возникновения дефектов и увеличить выход годной продукции [9]. В промышленности процесс вакуумного литья полимеров в силиконовые формы осуществляется в специальных вакуумных литейных машинах (рис. 4).

Процесс заливки литейного пластика в форму осуществляется следующим образом. Форма 8 с воронкой 7 и ёмкости 2 и 3 с компонентами заливаемого материала устанавливаются в вакуумную камеру 1. Затем в камере с помощью вакуумного насоса 9 создается вакуум для предварительной дегазации компонентов. Затем дозирующее устройство 4 переливает необходимое количество одного из компонентов из ёмкости 2 в ёмкость 3. Далее оба компонента смешиваются в ёмкости 3 с помощью перемешивающего устройства 6, и затем при помощи заливочного устройства 5 осуществляется заливка реакционной смеси через воронку 7 в силиконовую форму 8. Все операции внутри камеры управляются с пульта 10.

После заливки пластика форму извлекают из вакуумной литейной машины и помещают в печь или сушильный шкаф для окончательного отверждения полимера в форме. Длительность данного этапа составляет порядка 2–3 часов. Основным параметром, оказывающим существенное

влияние на качество получаемых изделий, является скорость снижения температуры, которая обычно составляет 0,1–0,5 °С в минуту. Превышение скорости охлаждения снижает прочностные показатели получаемых изделий за счет возникновения больших градиентов температур и высоких температурных напряжений. По окончании данного этапа форму извлекают из печи или

сушильного шкафа, разбирают и извлекают из неё готовую отливку, которую затем подвергают окончательной механической обработке. Форму очищают от остатков заливочного материала, повторно наносят специальный разделительный состав и собирают для повторения процесса заливки.

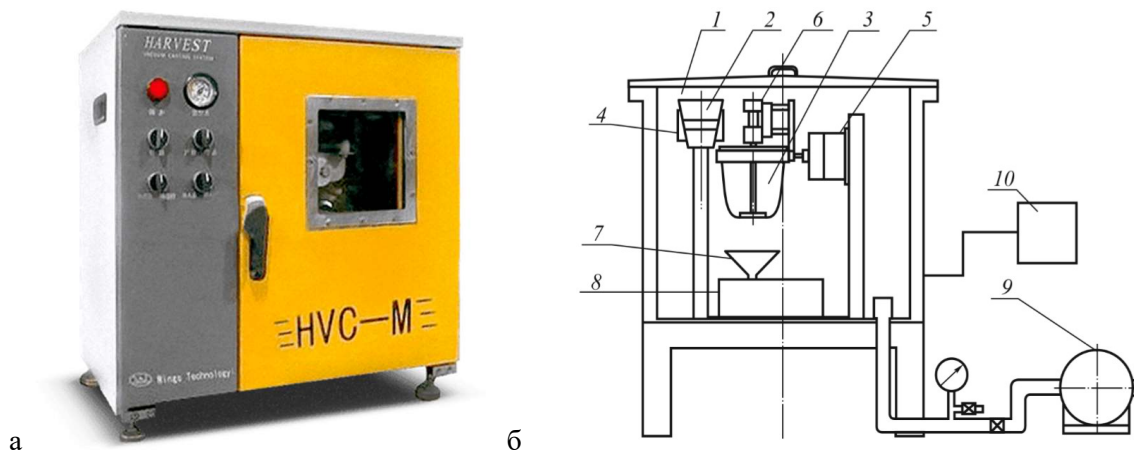


Рис. 4. Вакуумная литьевая машина:

- а – фотография вакуумной литьевой машины HVC-M; б – принципиальная схема вакуумной литьевой машины
 1 – вакуумная камера; 2, 3 – емкости для компонентов литьевого пластика;
 4 – дозирующее устройство; 5 – заливочное устройство; 6 – перемешивающее устройство; 7 – воронка;
 8 – форма; 9 – вакуумный насос; 10 – пульт управления

Применение. Наиболее часто этот метод применяется для изготовления функциональных макетов, а также пробных партий новой продукции. Технология литья в силиконовые формы позволяет проверить собираемость и работоспособность конструкций, отработать дизайн изделия, провести маркетинговые исследования, оценить конструкцию и потребительские свойства изделий перед изготовлением серийной оснастки, уложившись при этом в короткие сроки изготовления и сохраняя все сложные поверхности, мельчайшие детали и любые текстуры изделий.

В работе [14] данная технология была успешно применена для изготовления небольших партий автомобильных фар с целью уменьшения затрат на их производство по сравнению с методом литья под давлением. Авторы работы [15] показали, что данной технологией можно изготавливать детали микрометрового диапазона; в качестве образцов были изготовлены шестерни, диаметр которых составил 1 мм, а ширина зубчатого венца - 38 мкм. Кроме того, этой же технологией воспользовались авторы работы [16] для изготовления пластиковых биочипов для высокопараллельной трансфекции клеток, максимальный размер которых не превышал 200 мкм. В этой же работе показано, что применение этого

метода оправдано для мелкосерийного производства таких чипов по сравнению с литьем под давлением.

Применение технологии свободного литья в эластичные формы в вакууме, согласно [17], также оправдано при изготовлении деталей с микроканалами, размерами от 8 до 100 мкм. Это позволяет более эффективно изготавливать детали для струйных принтеров, портативных устройств, систем химического анализа, биологического зондирования, доставки лекарств, оптического переключения и молекулярного разделения.

В данной работе перечислены не все применения данной технологии, однако этого достаточно, чтобы показать, что она находит достаточно широкое применение во многих отраслях промышленности.

Выводы. В условиях мелкосерийного производства, на долю которого приходится 75 - 80% всех изготавливаемых деталей, технология литья в вакууме в эластичные формы является одним из наиболее эффективных методов получения как готовых изделий, так и функциональных прототипов. Технология в сжатые сроки позволяет получить небольшую партию изделий, что критически важно, как при нового производства, так и при переналадке старого, что характерно для

мелкосерийного производства. Широкая номенклатура используемых полимеров позволяет получить детали с требуемыми для конкретных условий свойствами.

Несмотря на то, что данный метод наиболее распространен для изготовления прототипов и пробных партий изделий, ряд работ подтвердили целесообразность применения этого метода для производства готовых изделий. Причем стоит особенно отметить тенденцию к изготовлению изделий микрометрового масштаба, где данная технология вытесняет такие методы изготовления деталей, как литье под давлением, литография и другие.

В заключение можно сказать, что эта технология не только активно изучается и развивается как отечественными, так и зарубежными учеными, но и находит всё новые и новые применения в разных отраслях науки и производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медунецкий В.М., Солк С.В., Лебедев О.А. Опыт единичного и мелкосерийного производства оптико-механических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, №7. С. 600–604. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-600-604.
2. Типнер Л.М., Исхакова Н.Р. Проблемы организации в условиях единичного и мелкосерийного производства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №5. Т.3. С. 97–102. Систем. требования: DOI: 10.24411/2411-0450-2019-10733.
3. Матвеева Е.А. Организация мелкосерийного производства предприятий машиностроения в условиях компьютеризации // Вестник ВУиТ. 2012. №4 (20). С. 51–61
4. Миронов Н.С. Модернизация мелкосерийного и единичного производства // Решетневские чтения. 2017. №21-1. С. 520–521. Систем. требования:
5. Андреев Ю.С., Тимофеева О.С., Яблочников Е.И. Проектирование и изготовление формообразующей оснастки в условиях мелкосерийного производства // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, №7. С. 592–599. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-592-599
6. Ревяко М.М., Прокопчук Н.Р. Теоретические основы переработки полимеров: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2009. 305 с.
7. Бобцова С.В. Использование RP-технологий в приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №20. С. 270–273.
8. Яманова Р.Р. Современные материалы и технологии для получения форм и отливок при изготовлении сувенирной продукции // Вестник технологического университета. 2015. №2. С. 292–295.
9. Шумков А.А., Самусев И.В. Получение изделий литьем холоднотвердеющих двухкомпонентных полиуретанов в силиконовые формы в вакууме // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2013. №2. С. 39–43.
10. Шумков А.А. Особенности технологии тиражирования пластиковых изделий методом литья двухкомпонентных холоднотвердеющих полиуретанов в силиконовые формы в вакууме // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2014. №2. С. 94–100.
11. Chung S., Im Y., Kim H., Jeong H., Dornfeld D.A. Evaluation of micro-replication technology using silicone rubber molds and its applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. Vol. 43. Issue 13. Pp. 1337–1345. doi: 10.1016/S0890-6955(03)00164-0.
12. Ширяева Л.С., Куценко А.А., Пономарева К.В. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-мастер-моделей (форм) и аддитивных технологий // Сборник материалов IX Всероссий. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 18-21 апр. 2017 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». Кемерово, 2017. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0306005-.pdf>
13. Zhang H., Qingxi H. Study of the filling mechanism and parameter optimization method for vacuum casting. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 83. Issue 5. Pp. 711–720. doi: 10.1007/s00170-015-7597-x.
14. Okeke C.P., Brown S.J., Greenrod M.T., Lane R.C., Thite A. N., Durodola J.F. Dynamic response and fatigue life of Vacuum cast Polyurethane polymer material. Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 17. Pp. 596–601. doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.080.
15. Thian S., Tang Y., Tan W., Fuh J.Y.H., Wong Y., Loh H., Lu L. The manufacture of micro-mould and microparts by vacuum casting. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008. Vol. 38. Pp. 944–948. doi: 10.1007/s00170-007-1151-4.
16. Denoual M., Mace Y., Le Pioufle B., Mognol P., Castel D., Gidrol X. Vacuum Casting to Manufacture a Plastic Biochip for Highly Parallel Cell Transfection. Measurement Science and Technology. 2006. Vol. 17. №12. Pp. 3134–3141. doi: 10.1088/0957-0233/17/12/S03.

17. Thian S.C.H., Fuh J.Y.H., Wong Y.S. Fabrication of microfluidic channel utilizing silicone rub-

ber with vacuum casting. *Microsystem Technologies*. 2008. Vol. 14. Pp. 1125–1135. doi: 10.1007/s00542-008-0640-1.

Информация об авторах

Тужилин Сергей Петрович, инженер лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: sptuzh@mail.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Лопатина Юлия Александровна, научный сотрудник лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: lopatina.julia@yandex.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Свиридов Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: svirdef4@yandex.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Поступила 25.04.2020

© Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С., 2020

***Tuzhilin S.P., Lopatina J.A., Sviridov A.S.**

Federal State Budget Scientific Institution "FNAC VIM"

E-mail: sptuzh@mail.ru

PROCESSING POLYMER MATERIALS BY FREE CASTING UNDER VACUUM

Abstract. *To date there are a large number of methods for processing polymer materials, both thermoplastics and thermosets. However, most of them are appropriate only for large-scale or mass production of polymer products, while in modern conditions there is a tendency to produce small batches of products of complex configuration. One of the universal methods of processing polymer materials in small-scale production is the molding of products by injection molding without pressure in a vacuum. This process integrates in a single technological cycle of the synthesis of the polymer and its processing. It is suitable for processing most thermosets, as well as for some thermoplastic polymers. In addition to the processing of polymers, this method allows the manufacture of polymer-filled and super-filled composite materials. This work is devoted to a review of the method of free casting in vacuum into elastic forms. The materials used for processing by this method are considered. The materials required for the manufacture of elastic forms are presented. The main stages of the technological process of manufacturing polymer products by this method are described.*

Keywords: *polymer processing, vacuum casting, elastic forms, small-scale production*

REFERENCES

1. Medunetsky V.M., Solk S.V., Lebedev O.A. Experience in single and small batch production of optical-mechanical systems [Opyt edinichnogo i melkoserijnogo proizvodstva optiko-mekhanicheskikh sistem]. *Journal of Instrument Engineering*. 2016. Vol. 59. No. 7. Pp. 600–604. doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-600-604. (rus).

2. Tipner L.M., Iskhakova N.R. Problems of organization in conditions of unit and small batch production [Problemy organizacii v usloviyah edinichnogo i melkoserijnogo proizvodstva]. *Economy and Business*. 2019. No. 5-3. Pp. 97–102. doi: 10.24411/2411-0450-2019-10733. (rus)

3. Matveeva E.A. The organization of small-scale manufacture the mechanical engineering enterprises in conditions computerizations [Organizaciya melkoserijnogo proizvodstva predpriyatij mashinostroeniya v usloviyah komp'yuterizacii]. *Vestnik of Volzhskiy University after V. N. Tatischev*. 2012. No. 4 (20). Pp. 51–61. (rus)

4. Mironov N.S. Modernizing small-series and single production [Modernizaciya melkoserijnogo i edinichnogo proizvodstva]. *Reshetnev readings*. 2017. No. 21-1. Pp. 520–521. (rus)

5. Andreev Yu.S., Timofeeva O.S., Yablochnikov E.I. Design and manufacturing of injection molding tooling in small-scale production [Proektirovanie i izgotovlenie formobrazuyushchej osnastki v usloviyah melkoserijnogo proizvodstva]. *Journal of Instrument Engineering*. 2016. Vol. 59.

No. 7. Pp. 592–599. doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-592-599 (rus)

6. Revyako M.M., Prokopchuk N.R. Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov: ucheb. posobie. Minsk: BGTU, 2009. 305 p.

7. Bobcova S.V. The application of RP-technology in instrument engineering [Ispol'zovanie RP-tehnologij v priborostroenii]. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2005. No. 20. Pp. 270–273. (rus)

8. Yamanova R.R. Modern materials and technologies for producing molds and castings in the souvenir production [Sovremennye materialy i tehnologii dlya polucheniya form i otlivok pri izgotovlenii suvenirnoj produkcii]. Bulletin of technology university. 2015. No. 2. Pp. 292–295. (rus)

9. Shumkov A.A., Samusev I.V. Getting a two-component cold-cast products in polyurethane silicone mold in a vacuum [Poluchenie izdelij lit'em holodnotverdeyushchih dvuhkomponentnyh poliuretanov v silikonovye formy v vakuume]. Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, material science. 2013. No. 2. (rus).

10. Shumkov A.A. Replication technology features of plastic products by injection of two-component cold-polyurethanes silicone mold in a vacuum [Osobennosti tehnologii tirazhirovaniya plastikovykh izdelij metodom lit'ya dvuhkomponentnykh holodnotverdeyushchih poliuretanov v silikonovye formy v vakuume]. Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, material science. 2013. No. 2. Pp. 94–100. (rus).

11. Chung S., Im Y., Kim H., Jeong H., Dornfeld D. A. Evaluation of micro-replication technology using silicone rubber molds and its applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. Vol. 43. Issue 13. Pp. 1337–1345. doi: 10.1016/S0890-6955(03)00164-0.

Information about the authors

Tuzhilin, Sergey P. Engineer. E-mail: sptuzh@mail.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Lopatina, Julia A., Research fellow. E-mail: lopatina.julia@yandex.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Sviridov, Alexey S., Junior research fellow. E-mail: svirdef4@yandex.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Received 25.04.2020

Для цитирования:

Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С. Переработка полимерных материалов методом свободного литья в вакууме // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 93–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

For citation:

Tuzhilin S.P., Lopatina J.A., Sviridov A.S. Processing polymer materials by free casting under vacuum. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 93–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

12. Shiryayeva L.S., Kucenko A.A., Ponomareva K.V. Metal and plastic casting using synthesis master models (forms) and additive technologies [Lit'e metallov i plastmass s ispol'zovaniem sintez-master-modelej (form) i additivnykh tekhnologij]. Sbornik materialov IX Vseros. nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya», 18-21 apr. 2017 g., Kemerovo. FGBOU VO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T. F. Gorbacheva. (rus)

13. Zhang H., Qingxi H. Study of the filling mechanism and parameter optimization method for vacuum casting. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 83. Issue 5. Pp. 711–720. doi: 10.1007/s00170-015-7597-x.

14. Okeke C.P., Brown S.J., Greenrod M.T., Lane R.C., Thite A. N., Durodola J.F. Dynamic response and fatigue life of Vacuum cast Polyurethane polymer material. Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 17. Pp. 596–601. doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.080.

15. Thian S., Tang Y., Tan W., Fuh J.Y.H., Wong Y., Loh H., Lu L. The manufacture of micro-mould and microparts by vacuum casting. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008. Vol. 38. Pp. 944–948. doi: 10.1007/s00170-007-1151-4.

16. Denoual M., Mace Y., Le Pioufle B., Mognol P., Castel D., Gidrol X. Vacuum Casting to Manufacture a Plastic Biochip for Highly Parallel Cell Transfection. Measurement Science and Technology. 2006. Vol. 17. №12. Pp. 3134–3141. doi: 10.1088/0957-0233/17/12/S03.

17. Thian S.C.H., Fuh J.Y.H., Wong Y.S. Fabrication of microfluidic channel utilizing silicone rubber with vacuum casting. Microsystem Technologies. 2008. Vol. 14. Pp. 1125–1135. doi: 10.1007/s00542-008-0640-1.