

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Д. Е. Кобзев, П. В. Комбарова, Г. С. Баронин,  
С. Н. Хабаров, А. Н. Блохин, Н. В. Воронин

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор С. И. Лазарев*

**Ключевые слова и фразы:** полимерные изделия; прессовое оборудование; пресс-форма; сверхвысокомолекулярный полиэтилен; технологический процесс твердофазной объемной штамповки изделий; эксплуатационные свойства.

**Аннотация:** Разработана структурная технологическая схема процесса твердофазной объемной штамповки, представленная на примере сверхвысокомолекулярного полиэтилена, позволяющая получать изделия из полимерных материалов, с возможностью улучшения эксплуатационных свойств готовых изделий. Данный процесс получения изделий, основанный на принципе обработки давлением в твердой фазе, предложен вместо традиционных методов горячего прессования и механической обработки резанием и является легко реализуемым на существующем оборудовании предприятий по переработке полимерных материалов. Проведена оценка длительности и энергоемкости технологического цикла получения изделий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена предложенным методом и удельных энергозатрат данного технологического процесса.

В настоящее время наблюдается тенденция к замене деталей из различных металлов на детали из современных и давно известных полимерных материалов (полисульфон, фторопласт, полиамид и т.д.). Это стало

---

Кобзев Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НОЦ ТамбГТУ – ИСМАН «Твердофазные технологии», e-mail: kobzeff.dmitry@yandex.ru; Комбарова Полина Владимировна – младший научный сотрудник НОЦ ТамбГТУ – ИСМАН «Твердофазные технологии»; Баронин Геннадий Сергеевич – доктор технических наук, профессор, директор НОЦ ТамбГТУ – ИСМАН «Твердофазные технологии»; Хабаров Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; Блохин Александр Николаевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; Воронин Николай Владимирович – студент кафедры «Материалы и технология», ТамбГТУ, г. Тамбов.

возможным благодаря постоянному совершенствованию свойств компози- тов на основе полимеров, в том числе с наноразмерными добавками, а также синтезу новых полимеров с комплексом специальных свойств. Наиболее важными преимуществами изделий из полимерных материалов перед металлическими являются: меньшая плотность и, соответственно, масса изделий; неподверженность коррозии; высокие тепло- и электроизо- ляционные, антифрикционные и прочностные свойства [1 – 3].

Одним из наиболее ярких представителей класса конструкционных полимеров является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) из-за целого комплекса его уникальных свойств [1, 2], которые делают возможным его широкое применение для изготовления деталей механиз- мов, подверженных высокой степени истирания, например зубчатых ко- лес, втулок, направляющих, а также электротехнических изделий: изоля- торов, опор, деталей прерывателей тока и многих других изделий [4].

На рынке изделий из полимерных материалов, полученных литьем под давлением и экструзией, присутствует множество коммерческих предложений от различных компаний [5]. Подобные изделия можно полу- чать механической обработкой заготовок, используя традиционное метал- лорежущее оборудование [5]. Данный технологический процесс характе- ризуется наличием большого количества отходов, высокими трудо- и энергозатратами, и, следовательно, высокой стоимостью готовых изде- лий. В связи с этим актуальной является задача разработки альтернатив- ной технологии получения изделий методом обработки давлением в твер- дом агрегатном состоянии [6].

На рисунке представлена структурная схема технологического про- цесса твердофазной объемной штамповки изделий на примере СВМПЭ, которая является легко реализуемой на существующем оборудовании предприятий по переработке полимерных материалов.



**Структурная схема технологического процесса твердофазной объемной штамповки изделий из полимерных материалов**

Объемная штамповка осуществляется на прессовом оборудовании в специально изготовленных пресс-формах, которые проектируются и изготавливаются для каждого конкретного изделия по аналогии с горячим прессованием, с расчетом на нагрузку большей величины. Предварительно обработанная в размер и нагретая заготовка помещается в пресс-форму, где под действием давления оформляется в изделие.

Оформление изделия осуществляется за счет пластического течения материала в твердом агрегатном состоянии. Необходимое давление формования, температуры заготовки и пресс-формы, а также время выдержки под давлением определяются экспериментально. Требуемая температура заготовки может находиться в диапазоне от температуры окружающей среды до температуры плавления.

Принятые технологические параметры процесса штамповки должны обеспечивать формирование наилучших эксплуатационных свойств и быть экономически обоснованными. Извлечение готового изделия из пресс-формы осуществляется с использованием специальных приспособлений. Затем оно транспортируется к месту складирования. Так как стадии подготовки и нагрева заготовок осуществляются на отдельном оборудовании, то их можно совместить по времени проведения со стадиями объемной штамповки и извлечения изделий, осуществляемых на прессовом оборудовании.

В таблице 1 представлены данные по оценке длительности и энергоёмкости отдельных стадий технологического процесса на примере получения конкретного изделия массой 0,25 кг в одногнездной пресс-форме. Длительность технологического цикла составит 150 с, учитывая, что заготовки подготавливаются параллельно. Очевидно, что производительность технологического процесса будет определяться общей длительностью стадий объемной штамповки и извлечения изделий, так как она намного превышает длительность стадий подготовки и нагрева заготовок и составит в данном случае 6 кг/ч (24 шт./ч).

Достоинствами разработанной технологии является возможность получения изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками, высокой размерной точностью и качеством поверхности получаемых изделий.

Таблица 1

**Оценка длительности и энергоёмкости технологического цикла  
получения изделий из СВМПЭ**

Стадия	Время, с	Мощность, кВт
Подготовка заготовок	60	3
Нагрев заготовок в термощкафу*	–	2
Объемная штамповка	120	12
Извлечение	30	12

\* Партия заготовок загружается в термощкафу, термостатируется в течение одного часа, откуда заготовки периодически извлекаются и поступают на штамповку. Время термостатирования не прибавляется к общему времени технологического процесса, так как подготовка и нагрев партии заготовок происходят во время нагрева пресс-формы (в так называемый пусковой режим ее работы).

Таблица 2

**Показатели удельных энергозатрат технологического процесса**

Стадия	Удельные (часовые) энергозатраты технологического процесса, кВт·ч/кг
Получение заготовок	0,2
Нагрев заготовок	0,04
Объемная штамповка и извлечение	2
Общие удельные энергозатраты	2,24

Следует отметить перспективу использования существующего прессового оборудования, значительное снижение количества отходов и существенное повышение технико-экономических показателей процесса производства изделий.

Используя имеющиеся данные, оценим удельные энергозатраты технологического процесса. В таблице 2 представлены показатели удельных энергозатрат на проведение отдельных стадий технологического процесса и общие удельные энергозатраты на весь процесс.

Использование данной технологии нерентабельно для штучного и мелкосерийного производства, так как затраты на проектирование и изготовление пресс-формы значительны. При массовом же производстве срок окупаемости экономических затрат существенно сокращается.

На стадии объемной штамповки применимы методы интенсификации технологического процесса, например наложение ультразвукового воздействия [7 – 9], предварительная подготовка заготовок [10], позволяющие также снизить необходимое давление формования и дополнительно улучшить эксплуатационные характеристики изделий [11].

Существенно снижает давление формования, повышает качество поверхности и эксплуатационные характеристики готовых изделий использование полимерных композиционных материалов для обработки давлением в твердой фазе, в частности нанокompозитов с углеродными нанотрубками (УНТ) серии «Таунит» производства ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов.

Процесс получения и использования материалов, имеющих в составе наночастицы, является одним из наиболее перспективных направлений развития современной науки [12]. В этой связи особый интерес представляет разработка принципов получения полимерных нанокompозитов, в которых наночастицы взаимодействуют с полимерной матрицей не на макро-, а на наноуровне [13]. Вследствие такого взаимодействия образуется нанокompозит, имеющий упорядоченную внутреннюю структуру. Небольшие, но чрезвычайно прочные УНТ, расположенные между макромолекулами полимера, увеличивают прочность материала, при этом заметно повышаются электро- и теплопроводность, износостойкость, а также термостойкость нанокompозитов [12].

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части Госзадания № 2014/219, код проекта 2079.*

### Список литературы

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / И. Н. Андреева [и др.]. – Л. : Химия, 1982. – 80 с.
2. Производство изделий из полимерных материалов / В. К. Крыжановский [и др.]. – СПб. : Профессия, 2004. – 464 с.
3. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: новая реальность отечественной промышленности полиолефинов / Э. А. Майер [и др.] // Пласт. массы. – 2003. – № 8. – С. 3–4.
4. ПОЛИНИТ [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://polinit.ru> (дата обращения: 18.09.2014 г.).
5. Информационное агентство «Elec.ru» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.elec.ru/doska/Izoljatory-tverdye-iz-plastmass-kaprolon-ftoroplas-1238336552> (дата обращения: 21.09.2014 г.).
6. Переработка полимеров в твердой фазе (физико-химические основы) : монография / Г. С. Баронин [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2002. – 320 с.
7. Обработка полиэтилена высокой плотности давлением в твердой фазе с ультразвуковым воздействием / Д. Е. Кобзев [и др.] // Материаловедение. – 2013. – Т. 5 (194). – С. 30 – 34.
8. Технологическая линия твердофазной объемной штамповки ПТФЭ с ультразвуковым воздействием / Д. Е. Кобзев [и др.]. // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2012. – Спец. вып. (43). – С. 24 – 28.
9. Техничко-экономическое обоснование применения ультразвукового воздействия при получении изделий из фторопласта-4 твердофазной объемной штамповкой / Д. Е. Кобзев [и др.] // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2013. – Т. 18, вып. 4. – С. 1721 – 1722.
10. Твердофазная технология пластифицированных углеродонаполненных нанокомпозитов на основе полиамида / П. В. Комбарова [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 4(42). – С. 350 – 355.
11. Эксплуатационные свойства нанокомпозитов на основе сополимера акрилонитрила, бутадиена и стирола, полученных твердофазной экструзией / П. В. Комбарова [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 1(37). – С. 325 – 329.
12. Влияние нанодисперсных частиц на прочностные свойства полимерных матриц / А. Н. Блохин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 737 – 741.
13. Углеродные наноматериалы серии «Таунит»: производство и применение / А. Г. Ткачев [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Химия и хим. технология. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 55 – 59.

### References

1. Andreeva I.N., Veselovskaya E.V., Nalivaiko E.I., Pechenkin A.D., Bukhgalter V.I., Polyakov A.V. *Sverkhvysokomolekulyarnyi polietilen vysokoi plotnosti* (Ultra-high-molecular-weight polyethylene high density), Leningrad: Khimiya, 1982, 80 p.
2. Kryzhanovskii V.K., Kerber M.L., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. *Proizvodstvo izdelii iz polimernykh materialov* (Manufacture of polymeric materials), St. Petersburg: Professiya, 2004, 464 p.
3. Maier E.A. Dudchenko V.K., Poddubnyak A.N., Arkatov O.L. *Plasticheskie massy*, 2003, no 8, pp. 3-4.
4. <http://polinit.ru> (accessed 18 September 2014).

5. <http://www.elec.ru/doska/Izoljatory-tverdye-iz-plastmass-kaprolon-ftoroplas-1238336552> (accessed 21 September 2014)
6. Baronin G.S., Kerber M.L., Minkin E.V., Rad'ko Yu.M. *Pererabotka polimerov v tverdoi faze (fiziko-khimicheskie osnovy)* (Processing of polymers in the solid phase (physico-chemical basis)), Moscow: Mashinostroenie-1, 2002, 320 p.
7. Kobzev D.E., Baronin G.S., Chervyakov V.M., Kombarova P.V. *Materialovedenie*, Moskva, 2013, vol. 5(194), pp. 30-34.
8. Kobzev D.E., Baronin G.S., Chervyakov V.M., Khabarov S.N. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2012, special issue (43), pp. 24-28.
9. Kobzev D.E., Baronin G.S., Khabarov S.N., Khrushchev S.P. *Vestnik Tambovskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye nauki*, 2013, vol. 18, issue 4, pp. 1721-1722.
10. Kombarova P.V., Baronin G.S., Tarov V.P., Poluektov V.L. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2012, no. 4(42), pp. 350-355.
11. Kombarova P.V., Baronin G.S., Kobzev D.E. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2012, no. 1(37), pp. 325-329.
12. Blokhin A.N., Tarov V.P., Tolstykh M.S. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 737-741.
13. Tkachev A.G., Melezhik A.V., D'yachkova T.P., Blokhin A.N., Burakova E.A., Pas'ko T.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2013, vol. 56, no. 4, pp. 55-59.

---

### **The Development of Structural Process Flow Scheme for Obtaining Polymer Products under Pressure in Solid Phase**

**D. E. Kobzev, P. V. Kombarova, G. S. Baronin,  
S. N. Khabarov, A. N. Blokhin, N. V. Voronin**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** the mold; operational properties; polymer products; pressing equipment; technological process of solid-phase forging; ultra-high molecular polyethylene.

**Abstract:** The structural process flow scheme of forging in solid phase was developed. It is described by ultra-high molecular polyethylene example, which allows creating polymer products with the ability to improve their performance properties. This process is based on the principle of solid-phase products formed under pressure. It is suggested instead of traditional methods of hot pressing and mechanical cutting, and is easily implemented on existing equipment of polymer production companies. The paper presents an assessment of duration and power consumption for technological cycle of ultra-high molecular polyethylene products with proposed method and the specific energy consumption of the process.

---

© Д. Е. Кобзев, П. В. Комбарова, Г. С. Баронин,  
С. Н. Хабаров, А. Н. Блохин, Н. В. Воронин, 2014

*Статья поступила в редакцию 03.09.2014 г.*