

Полная исследовательская публикация Тематический раздел: Исследование свойств материалов.
Утверждённая научная специальность ВАК: 1.4.2. Аналитическая химия; 1.4.4. Физическая химия;
1.4.7. Высокомолекулярные соединения
Дополнительная научная специальность ВАК: 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов
Идентификатор ссылки на объект – ROI: jbc-01/26-87-7-58
Цифровой идентификатор объекта – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58
УДК 678.5. Поступила в редакцию 2 июля 2026 г.

Влияние отжига на деформационно-прочностные и теплофизические свойства полипропилена и композитов на его основе

© Базунова*⁺ Марина Викторовна, Яхина Гульнур Салаватовна

Кафедра высокомолекулярных соединений и общей химической технологии. Институт химии
и защиты в чрезвычайных ситуациях. Уфимский университет науки и технологий.
ул. Заки Валиди, 32. г. Уфа, 450076. Республика Башкортостан. Россия.
Тел.: +7 (347) 229-97-24. E-mail: mbazunova@mail.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: полипропилен, алюмосиликатные микросферы, стекловолокно,
теплостойкость, деформационно-прочностные свойства.

Аннотация

Работа посвящена определению влияния температурного отжига на деформационно-прочностные и теплофизические свойства композитов на основе полипропилена с различной степенью наполнения алюмосиликатными микросферами и измельченным стекловолокном. Известные марки термо- и тепло- стойких полимеров и сополимеров малодоступны, и материалы на их основе имеют высокую себестоимость. Среди относительно доступных термостойких термопластов, которые могут рассматриваться в качестве основы при создании полимерных композиционных материалов для трубопроводов тепловых сетей, стоит выделить полипропилен. Ряд недостатков полипропилена, а именно жесткость, относительно большую скорость распространения трещин, меньшие, чем у сшитого полиэтилена, рабочие давления, высокое линейное тепловое расширение, можно устранить наполнением полипропилена добавками, регулирующими теплофизические свойства, либо проведением температурного отжига (закалки). Как установлено методом ИК-спектроскопии, в случае индивидуального полипропилена температурная закалка практически не влияет на его степень кристалличности, а в присутствии наполнителей (алюмосиликатных микросфер и измельченного стекловолокна) степень кристалличности незначительно увеличивается. Также присутствие данных наполнителей в полипропиленовой матрице приводит к уменьшению относительного удлинения, но к увеличению прочности и модуля упругости приводит к уменьшению относительного удлинения, но к увеличению прочности и модуля упругости в результате температурного отжига, а также к улучшению теплофизических свойств (увеличению температуры размягчения с 145 до 153 °С). В целом, проведение температурного отжига для композиционных материалов на основе полипропилена, наполненного алюмосиликатными микросферами и измельченным стекловолокном, вполне оправдано при создании тепло- стойких материалов.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Базунова М.В., Яхина Г.С. Влияние отжига на деформационно-прочностные и теплофизические свойства полипропилена и композитов на его основе. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №7. С.58-67.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Базунова М.В., Яхина Г.С. Влияние отжига на деформационно-прочностные и теплофизические свойства полипропилена и композитов на его основе. *Бутлеровские сообщения* В. 2026. Т.14. №3. Id.1.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58/ROI-jbc-B/26-14-3-1 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Marina V. Bazunova, Gulnur S. Yakhina. The influence of annealing on the deformation-strength and thermophysical properties of polypropylene and composites based on it. *In vitro* study of the prebiotic potential of supercritical fluid extract from rosehip fruits. *Butlerov Communications* B. 2026. Vol.14. No.3. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58/ROI-jbc-B/26-14-3-1

Литература

- [1] Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. *Санкт-Петербург: Профессия*. 2006. 624с. [Yu.A. Mikhailin Heat-resistant polymers and polymer materials. *Saint Petersburg: Profession*. 2006. 624p. (Russian)].
- [2] Кучменова Л.Х. Термические свойства полимер – полимерных композитов на основе полипропилена. Нальчик: *ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»*. 2014. 125с. [L.Kh. Kuchmenova. Thermal properties of polymer-polymer composites based on polypropylene. *Nalchik: Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov*. 2014. 125p. (Russian)].
- [3] M.V. Bazunova, V.V. Chernova, E.M. Zakharova, V.V. Kaleeva, E.I. Kulish. On the selection of thermoplastics for the creation of heat-resistant polymeric material compositions. *Butlerov Communications A*. 2025. Vol.11. No.3. Id.7. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-83-8-39/ROI-jbc-A/25-11-3-7.
- [4] M.V. Bazunova, R.B. Salikhov, V.P. Zakharov. Accelerated climatic aging of polymer composite materials based on polypropylene and aluminum oxide. *Letters on Materials*. 2021. Vol.11, No.4(44). P.397-402. DOI: 10.22226/2410-3535-2021-4-397-402
- [5] Шибряева Л.С., Шаталова О.В., Кривандин А.В. и др. Структурные эффекты в процессе окисления изотактического полипропилена. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. 2003. Т.45. №3. С.424. EDN ONPTIF. [L.S. Shibryaeva, O.V. Shatalova, A.V. Krivandin, et al. Structural effects in the oxidation process of isotactic polypropylene. *High Molecular Compounds. Series A*. 2003. Vol.45. No.3. P.424. (Russian)].
- [6] Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Новополецева О.М. и др. Исследование эластомерных огнетеплозащитных материалов, содержащих функционально-активные структуры. *Клеи. Герметики. Технологии*. 2021. №4. С.28-33. DOI 10.31044/1813-7008-2021-0-4-28-33. EDN URBXZI. [V.F. Kablov, N.A. Keibal, O.M. Novopoltseva, et al. Study of elastomeric fire- and heat-protective materials containing functionally active structures. *Adhesives. Sealants. Technologies*. 2021. No.4. P.28-33. DOI: 10.31044/1813-7008-2021-0-4-28-33 (Russian)].
- [7] Старшова Я.В., Панфилов Д.А. Применение микросфер для регулирования свойств полимерных композиционных материалов. *Пластические массы*. 2023. №5-6. С.37-40. DOI 10.35164/0554-2901-2023-5-6-37-40. EDN EHFMWS. [Ya.V. Starshova, D.A. Panfilov. Application of microspheres to regulate the properties of polymer composite materials. *Plastic Masses*. 2023. No.5-6. P.37-40. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-5-6-37-40 (Russian)].
- [8] Базунова М.В., Яхина Г.С., Набутова К.В. Влияние силикатсодержащих наполнителей на перерабатываемость и свойства полимерных композиций на основе поливинилиденфторида. *Вестник Технологического университета*. 2025. Т.28. №12. С.49-53. DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_12_49. EDN MHFKMV. [M.V. Bazunova, K.V. Nabutova, G.S. Yakhina. Effect of silicate-containing fillers on the processability and properties of polymer compositions based on polyvinylidene fluoride. *Bulletin of the Technological University*. 2025. Vol.28. No.12. P.49-53. DOI: 10.55421/3034-4689_2025_28_12_49 (Russian)].
- [9] Баранов А.Б., Симонов-Емельянов И.Д., Андреева Т.И. Параметры разных типов структур и физико-механические характеристики полимерных композитов на основе полисульфона со стекловолокном. *Пластические массы*. 2020. №3-4. С.4-7. DOI 10.35164/0554-2901-2020-3-4-4-7. EDN ACNNEH. [A.B. Baranov, I.D. Simonov-Emelyanov, T.I. Andreeva. Parameters of different types of structures and physico-mechanical characteristics of polymer composites based on polysulfone with glass fiber. *Plastic Masses*. 2020. No.3-4. P.4-7. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-4-7 (Russian)].
- [10] Яценко А.И., Вильбицкая Н.А. Применение стекловолокна для упрочнения керамического пористого композита. *Строительство и архитектура*. 2022. Т.10. №2. С.26-30. DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-26-30. EDN JPJCMY. [A.I. Yatsenko, N.A. Vilbitskaya. Application of glass fiber for strengthening a ceramic porous composite. *Construction and Architecture*. 2022. Vol.10. No.2. P.26-30. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-10-2-26-30 (Russian)].
- [11] Ельяшевич Г.К., Курындин И.С., Лаврентьев В.К., Попова Е.Н. Изменение структуры и механических свойств жесткоэластических и пористых пленок полипропилена при отжиге и ориентации. *Физика твердого тела*. 2018. Т.60. №10. С.1975-1981. DOI: 10.21883/FTT.2018.10.46526.097. [G.K. Elyashevich, I.S. Kurindin, V.K. Lavrentiev, E.N. Popova. Changes in the structure and mechanical properties of rigid-elastic and porous polypropylene films during annealing and orientation. *Physics of the Solid State*. 2018. Vol.60. No.10. P.1975-1981. DOI: 10.21883/FTT.2018.10.46526.097 (Russian)].
- [12] Карпов Е.А., Лаврентьев В.К., Розова Е.Ю., Ельяшевич Г.К. Изменение структуры и механических свойств жесткоэластических образцов полиэтилена при отжиге. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. 1995. Т.37. №12. С.2035. [E.A. Karpov, V.K. Lavrentiev, E.Yu. Rozova, G.K. Elyashevich.

- Changes in the structure and mechanical properties of rigid-elastic polyethylene samples during annealing. *High Molecular Compounds. Series A*. **1995**. Vol.37. No.12. P.2035. (Russian)]
- [13] I.K. Park, H.D. Noether. Crystalline "hard" elastic materials. *Colloid Polym. Sci.* **1975**. Vol.253. No.10. P.824-839.
- [14] G.K. Elyashevich, I.S. Kuryndin, E.Y. Rozova, N.N. Saprykina. Polymer piezoelements based on porous polyvinylidene fluoride films and contact electrode polyaniline layers. *Physics of the Solid State*. **2020**. Vol.62. No.3. P.566-573. DOI 10.1134/S1063783420030099. EDN BMKEKP.
- [15] S. Hild, W. Gutmannsbauer, R. Luthi, J. Fuhrmann, H.-J. J. Guntherodt. A nanoscopic view of structure and deformation of hard elastic polypropylene with scanning force microscopy. *Polym. Sci., Polym. Phys.* **1996**. Vol.34. No.12. P.1953-1959.
- [16] J. Dechant, R. Danz, W. Kimmer, R. Schmolke. Ultrarotspektroskopische untersuchungen an polymeren (Infrared spectroscopy of polymers). *Berlin: Akademie*. **1972**. 472p.
- [17] Базунова М.В., Захарова Е.М., Садритдинов А.Р. и др. Физико-механические и теплофизические свойства вторичного полипропилена, наполненного рисовой шелухой. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.65. №3. С.93-100. DOI 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-3-93. EDN JETGYP. [M.V. Bazunova, E.M. Zakharova, A.R. Sadritdinov, et al. Physico-mechanical and thermophysical properties of recycled polypropylene filled with rice husk. *Butlerov Communications*. **2021**. Vol.65. No.3. P.93-100. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-3-93 (Russian)].
- [18] Псянчин А.А., Захарова Е.М., Базунова М.В., Захаров В.П. Разработка трудногорючих полимерных композитов на основе полипропилена с содержанием полифосфат аммония и пиперазина. *Бутлеровские сообщения*. **2024**. Т.79. №9. С.77-82. DOI 10.37952/ROI-jbc-01/24-79-9-77. EDN GAOETY. [A.A. Psyanchin, E.M. Zakharova, M.V. Bazunova, V.P. Zakharov. Development of flame-retardant polymer composites based on polypropylene containing ammonium polyphosphate and piperazine. *Butlerov Communications*. **2024**. Vol.79. No.9. P.77-82. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-79-9-77 (Russian)].
- [19] Псянчин А.А., Захарова Е.М., Базунова М.В., Захаров В.П. Полимерные композиты на основе вторичного полипропилена, наполненного алюмосиликатными микросферами и полиэтиленом, модифицированный малеиновым ангидридом. *Бутлеровские сообщения*. **2023**. Т.75. №9. С.33-39. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-75-9-33. EDN EGPGEJ. [A.A. Psyanchin, E.M. Zakharova, M.V. Bazunova, V.P. Zakharov. Polymer composites based on recycled polypropylene filled with aluminosilicate microspheres and polyethylene, modified with maleic anhydride. *Butlerov Communications*. **2023**. Vol.75. No.9. P.33-39. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-75-9-33 (Russian)].
- [20] Набутова К.В., Базунова М.В., Яхина Г.С. Разработка оптимального состава композитов на основе полипропилена и алюмосиликатных микросфер. *Тезисы докладов V Международной научной конференции «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах».* Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. **2024**. С.63-64. EDN SSUTHD.
- [21] Базунова М.В., Мустакимов Р.А., Садритдинов А.Р., Кулиш Е.И., Захаров В.П. Изучение изменения физико-механических свойств композитов на основе вторичного полимерного сырья в присутствии неорганических наполнителей под действием факторов внешней среды. *Вестник Башкирского университета*. **2019**. Т.24. №1. С.49-54. [M.V. Bazunova, R.A. Mustakimov, A.R. Sadritdinov, E.I. Kulish, V.P. Zakharov. Study of changes in the physico-mechanical properties of composites based on secondary polymer raw materials in the presence of inorganic fillers under the influence of environmental factors. *Bulletin of Bashkir University*. **2019**. Vol.24. No.1. P.49-54. (Russian)].
- [22] M.V. Bazunova, G.S. Yakhina. The influence of annealing on the deformation-strength and thermophysical properties of polypropylene and composites based on it. *In vitro study of the prebiotic potential of supercritical fluid extract from rosehip fruits*. *Butlerov Communications B*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58/ROI-jbc-B/26-14-3-1
- [23] Базунова М.В., Яхина Г.С. Влияние отжига на деформационно-прочностные и теплофизические свойства полипропилена и композитов на его основе. *Бутлеровские сообщения B*. **2026**. Т.14. №3. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58/ROI-jbc-B/26-14-3-1 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-B/26-14-3-1

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-58/ROI-jbc-B/26-14-3-1

The influence of annealing on the deformation-strength and thermophysical properties of polypropylene and composites based on it

Marina V. Bazunova,*⁺ Gulnur S. Yakhina

*Department of Macromolecular Compounds and General Chemical Technology. Chemical Faculty.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ufa University of Science
and Technology. Zaki Validi St., 32. Ufa, 450076. Republic of Bashkortostan. Russia.
Phone: +7 (347) 229-97-24. E-mail: mbazunova@mail.ru*

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: polypropylene, aluminosilicate microspheres, fiberglass, heat resistance, deformation-strength properties.

Abstract

The work is devoted to determining the effect of thermal annealing on the deformation, strength and thermophysical properties of polypropylene-based composites with varying degrees of filling with aluminosilicate microspheres and crushed glass fiber. Well-known brands of thermo- and heat-resistant polymers and copolymers are poorly available, and materials based on them have high cost. Polypropylene is worth highlighting among the relatively affordable heat-resistant thermoplastics that can be considered as the basis for creating polymer composite materials for pipelines of heating networks. A number of disadvantages of polypropylene, namely rigidity, relatively high crack propagation velocity, lower operating pressures than crosslinked polyethylene, high linear thermal expansion, can be eliminated by filling polypropylene with additives that regulate thermophysical properties, or by conducting thermal annealing (quenching). As established by IR spectroscopy, in the case of individual polypropylene, temperature hardening practically does not affect its degree of crystallinity, and in the presence of fillers (aluminosilicate microspheres and crushed glass fiber), the degree of crystallinity increases slightly. Also, the presence of these fillers in the polypropylene matrix leads to a decrease in elongation, but to an increase in strength and modulus of elasticity leads to a decrease in elongation, but to an increase in strength and modulus of elasticity as a result of thermal annealing, as well as to an improvement in thermophysical properties (an increase in softening temperature from 145 to 153 °C). In general, thermal annealing for composite materials based on polypropylene filled with aluminosilicate microspheres and crushed glass fiber is fully justified when creating heat-resistant materials.