

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 620.22:678.7:004.942(048)
DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-7-17

Обзорная статья
Review article

М. А. Ваниев, А. А. Ананьева, Н. В. Сидоренко, Д. А. Нилидин

ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИКЕТОНОВ В ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

✉ Анастасия Александровна Ананьева, anastasiya.ananeva.02@mail.ru

Аннотация. Обзор посвящен ключевым преимуществам алифатических поликетоноров, включая их высокую механическую прочность, термостойкость, химическую устойчивость и экологичность, что предопределяет перспективность их применения, в том числе в технологии 3D-печати.

Проанализирована информация, касающаяся взаимосвязи структуры поликетоноров со свойствами, а также напыленных материалов на их основе. Обсуждены примеры практического применения поликетоноров в промышленности (легкие конструкции, износостойкие детали) и медицине (биосовместимые имплантаты). Приведена информация, полезная для специалистов в области аддитивного производства о технологических подходах к оптимизации условий печати в части стабильности экструзии, прецизионности и воспроизводимости изделий.

Ключевые слова: алифатический поликетон, 3D-печать, аддитивные технологии, термопласт

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0007) на основании Соглашения номер 075-03-2024-126 от 17.01.2024 с изменениями.

Для цитирования: Ваниев М. А., Ананьева А. А., Сидоренко Н. В., Нилидин Д. А. Получение, свойства и перспективы применения алифатических поликетоноров в технологии 3D-печати. Известия ВолгГТУ. 2025; 12(307): 7–17. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-7-17.

Информация об авторах:

Марат Абдурахманович Ваниев – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ХТПЭ ВолгГТУ.
e-mail: vaniev@vstu.ru

Анастасия Александровна Ананьева – студент-магистрант кафедры ХТПЭ ВолгГТУ.
e-mail: anastasiya.ananeva.02@mail.ru

Нина Владимировна Сидоренко – канд. техн. наук, доцент кафедры ХТПЭ ВолгГТУ.
e-mail: nvsidorenko@vstu.ru

Дмитрий Андреевич Нилидин – канд. техн. наук, ассистент кафедры ХТПЭ ВолгГТУ.
e-mail: dmitriy.nilidin@gmail.com

Вклад авторов:

М. А. Ваниев – определение цели работы, редакция текста статьи.

А. А. Ананьева – подбор литературы, написание текста статьи.

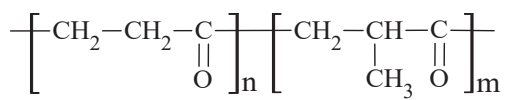
Н. В. Сидоренко – подбор литературы, редакция текста статьи.

Д. А. Нилидин – подбор литературы, написание текста статьи.

Общая характеристика поликетона

Чередующиеся сополимеры монооксида углерода (СО) с олефинами, диенами и стиролом, активно изучаемые с 1980-х годов [1], сочетают низкую стоимость сырья, управляемую структуру и свойства [2]. Поликетоны (РОК) – частично кристаллические термопласты с температурой плавления 197–235 °С, обладают высокой химической стойкостью и барьерными свойствами [3]. Их синтез методом каталитиче-

ской сополимеризации СО с алкенами позволяет создавать материалы, конкурирующие с полиамидами и полиацетатами [4]. Первые патенты на катализаторы и составы поликетоноров зарегистрированы в начале 1970-х [5], но ранние образцы имели ограничения из-за остаточного катализатора. В основном поликетоны представляют собой этиленовые звенья, частично замененные пропиленовыми, которые распределены случайным образом вдоль цепи, что представлено ниже:



Помимо пропилена в терполимере (тройном сополимере) поликетона возможно использование и других мономеров, таких как бутен-1 [6], стирол [7].

Ключевая особенность – чередование карбонильных групп ($>\text{C}=\text{O}$) в цепи, обеспечивающее высокую термическую устойчивость и прочность [8; 9]. Поликетоны представляют собой класс полимеров, который рассматривается как потенциальное решение проблемы пластикового загрязнения. В отличие от инертных полиолефинов (полиэтилен, полипропилен), они содержат в основной цепи карбонильные группы ($\text{C}=\text{O}$), что детерминирует возможность их деструкции под действием солнечного света [10].

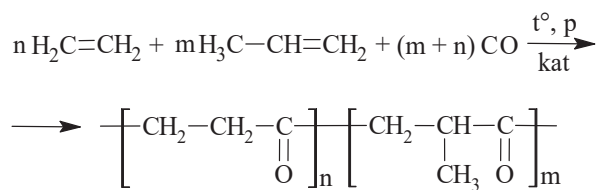
Поликетон – экологичный термопласт, разработанный в 1940-х, но ставший коммерчески доступным лишь в 1996 г. благодаря компании Shell, внедрившей каталитические системы на основе палладия для сополимеризации этилена и монооксида углерода (CO) с получением термопластичного поликетона CARILON [11; 12]. Однако их высокая кристалличность ограничивала переработку, что решено введением пропилена в цепь [13; 14]. Но ранние версии материала страдали от нестабильности из-за реакционноспособных карбонильных групп, что провоцировало сшивание полимерных цепей и ограничивало его применение [15]. После прекращения производства Shell в 2000 г. [16] в 2003 г. южнокорейская фирма Hyosung приобрела патентный портфель Shell и к 2015 г. модернизировала технологию, запустив производство стабильного поликетона под торговой маркой POKETONE, пригодного для экструзии и литья под давлением [17]. POKETONE представляет собой терполимер этилена, CO и пропилена с улучшенной влагостойкостью, износостойкостью и соответствующий требованиям FDA (Food and Drug Administration, американский стандарт сертификации пищевых продуктов и лекарственных препаратов, который устанавливает требования к безопасности и качеству этих товаров) [18; 19].

Официальным дистрибьютером POKETONE в РФ и СНГ является компания Rusplast [20].

Трубы из РОК обладают превосходными физическими свойствами, такими как предел текучести, прочность и жесткость, которые превосходят аналогичные показатели полиэти-

леновых труб, что обеспечивает более высокую устойчивость РОК к деформации под нагрузкой [21].

Ключевые инновации Hyosung включают использование смешанных растворителей (муравьиная или уксусная кислота с водой) и катализаторов на основе палладия с бидентатными лигандами, что позволило оптимизировать процесс полимеризации [22–31] по представленной ниже схеме



Для увеличения молекулярной массы полимера компания применила триоксид молибдена, который нейтрализует обратную зависимость между температурой реакции и вязкостью продукта, упрощая производство высокомолекулярных марок. РОК сочетает низкую себестоимость сырья с выдающейся термостойкостью, химической устойчивостью и превосходит традиционные полиамиды по барьерным свойствам, включая топливонепроницаемость [32].

Промышленный комплекс Hyosung в Йонгене (производительность 50 тыс. тонн/год) стал результатом десятилетней оптимизации патентованных методов синтеза и очистки [33]. Параллельно российские исследователи разработали альтернативный метод получения поликетона через оксигенирование изопреновых сополимеров закисью азота (N_2O), что обеспечивает контроль молекулярной массы и содержания карбонильных групп [34]. Для удаления остаточных катализаторов предложена методика с введением избытка фосфиновых лигандов на финальной стадии синтеза [35].

В последнее время поликетон стал рассматриваться как материал, который хорошо подходит для изготовления мембран, устойчивых к органическим растворителям, или мембран для разделения нефти и воды. Особый интерес представляет сочетание микро-/нановолокон и поликетона. Впервые были успешно изготовлены различные типы поликетонных мембран из микро- и нановолокон с помощью электроформования и последующей обработки [36].

Перспективным направлением является создание поликетонных нановолокнистых мембран, функционализированных аминами, с относительно большой площадью поверхно-

сти и открытой пористой структурой как недорогостоящих адсорбентов с быстрой кинетикой адсорбции и высокой селективностью для удаления микрозагрязнителей низкой концентрации с очистных сооружений сточных вод [37].

Согласно информации [38], алифатический поликетон был выбран в качестве идеальной полимерной основы для создания функциональных покрытий с гермицидной активностью.

Поликетон используется как основа для композитов, армированных стекловолокном [39; 40], углеродными нанотрубками [41], графитом [42; 43] или гибридными наполнителями, что повышает механическую прочность, термостойкость и снижает водопоглощение [39; 44; 45]. Теплопроводящие составы с графитом и углеродными нанотрубками [42; 43], электропроводящие смеси с техническим углеродом [41], а также огнестойкие композиции с фосфинатными антипиренами (класс UL94 V0) [46; 47] расширяют области применения материала.

Повышение ударопрочности РОК достигается его смешением с АБС-пластиком, сополимером акрилонитрила со стиролом и акрилатом, или с полиэтилентерефталатом [48; 49]. Лучшая УФ-стабильность достигается за счет введения смолы на основе стирола и малеинового ангидрида в сочетании со стабилизаторами [49].

Модификация РОК параарамидными волокнами, бензофеноном и наполнителями обеспечивает баланс влагостойкости, цветостойкости и других свойств, что важно для изделий электроники, теплообменников и тонкостенных изделий [40; 50; 52–55].

Помимо сказанного выше, следует отметить, что РОК представляет собой инженерный термопласт на основе углерода, обладающий уникальным сочетанием гибкости цепей и высокой кристалличности. Эти особенности обеспечивают ему превосходную химическую стойкость, ударопрочность (до 22 кДж/м² для электропроводящих марок), исключительную износостойкость и барьерные свойства [56; 57]. Температура плавления материала составляет 222 °С, что связано с сильными межмолекулярными взаимодействиями карбонильных групп [58]. Механические свойства варьируются в зависимости от состава: предел прочности при растяжении достигает 170 МПа, а модуль упругости 11,8 МПа. В зависимости от марки РОК деформационная теплостойкость изменяется в пределах 75–215 °С. В свою очередь, показате

тель текучести расплава находится в диапазоне от 3 до 46 г/10 мин [5].

Отдельно необходимо отметить специализированные марки РОК. Огнестойкие, соответствующие классу UL94 V0, характеризующиеся плотностью 1,25–1,48 г/см³ и пределом прочности при изгибе до 192 МПа, а также электропроводящие модификации [49].

Важным обстоятельством является то, что РОК и композиционные материалы на его основе характеризуются низким водопоглощением и соответствуют экологическим стандартам FDA, а также требованиям немецкого стандарта KTW к изделиям, используемым в системах питьевого водоснабжения [55]. Это определяет безопасность применения данного термопласта для пищевой и медицинской отраслей. Благодаря сочетанию износостойкости, топливостойкости и барьерных свойств, РОК превосходит традиционные термопластичные полимеры, такие как POM (полиоксиметилен, полиформальдегид), PA66 (полиамид) и PBT (полибутилентерефталат), находя применение в автомобилестроении, электронике и упаковочной промышленности [56].

В последнее время поликетоны, в частности алифатические, находят все большее применение для изготовления филаментов, используемых в технологии аддитивного производства.

Применение поликетона в технологии 3D-печати

Аддитивное производство (3D-печать) – процесс послойного создания объектов по цифровой модели, минимизирующий отходы и энергопотребление в отличие от субтрактивных методов [57–59]. Его ключевые особенности включают высокую точность, отсутствие необходимости в специализированных инструментах, возможность управления свойствами материала в процессе печати, гибкость ориентации деталей и использование универсальных форматов данных, таких как STL и AMF [60]. К основным технологиям аддитивного производства полимерных изделий относятся FDM (наплавление пластиковой нити, филамента), DLP (отверждение фотополимеров с помощью DPL-проектора), CJP (цветная печать порошковыми материалами), MJM (многоструйное нанесение с УФ-отверждением), SLA (лазерная стереолитография), SLS (лазерное спекание порошков), LOM (ламинирование слоев с последующей резкой) и др. [61].

Филамент для 3D-печати – это полимерная нить с точным диаметром (1,75–3 мм, допусти-

мое отклонение $\pm 0,03$ мм), гладкой поверхностью без дефектов, равномерной намоткой и однородным цветом. Изготавливается из термопластов (ABS, PLA, поликарбонат, полиамид) и композитов (стекло-, углеродонаполненные), соответствующих нормативным стандартам с сертификатами качества [62]. Вместе с тем термопластичные полимеры в технологии 3D-печати могут быть использованы и в виде порошка, гранул. Так или иначе, но алифатический поликетон, способный плавиться без существенной потери механических характеристик, перспективен для создания филаментов и использования в технологии 3D-печати методом FDM [4; 63].

В дополнение к вышесказанному важно отметить, что поликетон характеризуется высокой химической стойкостью и механической прочностью, что делает его перспективным для аддитивного производства изделий, эксплуатирующихся в условиях высоких нагрузок и контакта с агрессивными средами.

Модификация поликетона углеродными волокнами или нанопорошками улучшает его термостойкость и упруго-прочностные свойства, расширяя применение в авиации, медицине и автомобилестроении [64; 65].

Экологичность поликетона, включая возможность вторичной переработки и снижения отходов, соответствует требованиям, актуальным для современных аддитивных технологий [66–69].

Учитывая тот факт, что алифатический поликетон, пригодный для переработки, был разработан сравнительно недавно (2015 г.) первые работы в наукометрических базах, посвященные 3D-печати материалами на основе алифатического поликетона (PK5000) были опубликованы в 2023 г. Процесс печати данным материалом требует специальных условий из-за термочувствительности материала [12]. Экспериментальная установка для печати поликетонном представлена на рис. 1.

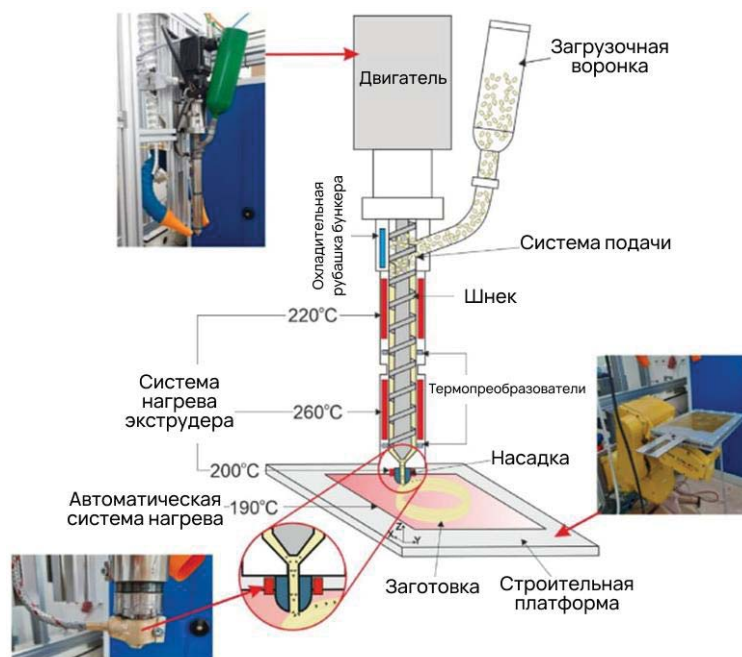


Рис. 1. Установка для печати поликетонном

Установка состоит из бункера с системой подачи гранул, шнека, расположенного в цилиндре с двумя температурными зонами (нагрев до 220 °С и 260 °С) и охлаждающей рубашкой в зоне подачи материала. Диаметр сопла с дополнительным нагревом до 200 °С для предотвращения затвердевания сравнительно большой и составляет 4 мм. Скорость вращения шнека варьировалась до 175 об/мин, что обеспечивало стабильную печать модели. Печатный стол нагревался до 190 °С и снабжен

полиимидным покрытием для увеличения адгезии. В работе была произведена подробная оценка влияния параметров печати на физико-механические характеристики и прецизионность печати. Было выявлено, что самой высокой прочностью сцепления между слоями (62 % от прочности исходного материала) характеризовались образцы, напечатанные со скоростью 20 мм/с при высоте слоя 2,4–6,0 мм и температуре между слоями печати $189 \pm 3,3$ °С (рис. 2).

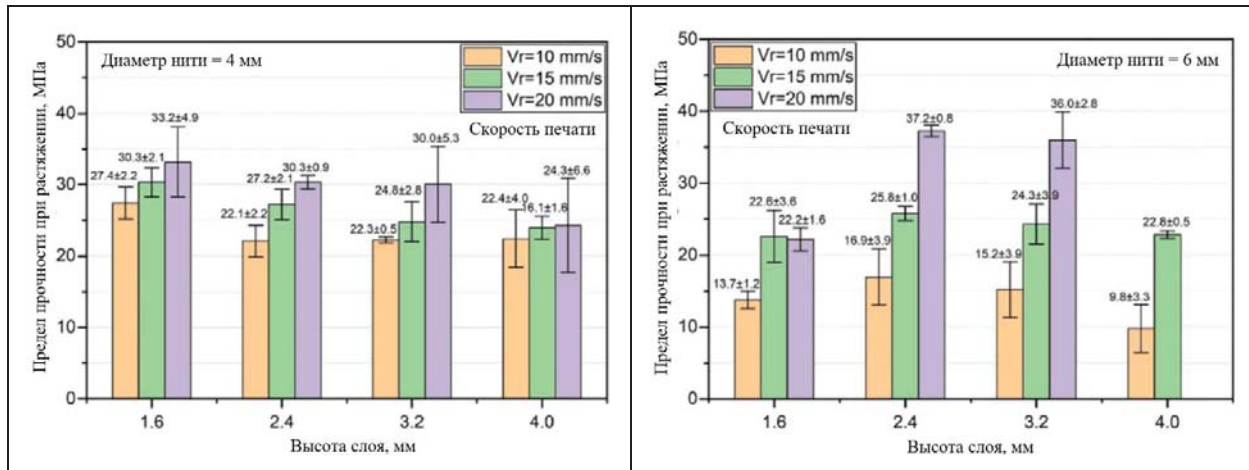


Рис. 2. Влияние параметров печати на упруго-прочностные свойства [12]

Низкое значение этого параметра приводит к уменьшению прочности между слоями и высокой усадке, приводящей к изменению гео-

метрических размеров и ухудшению упруго-прочностных свойств (рис. 3).

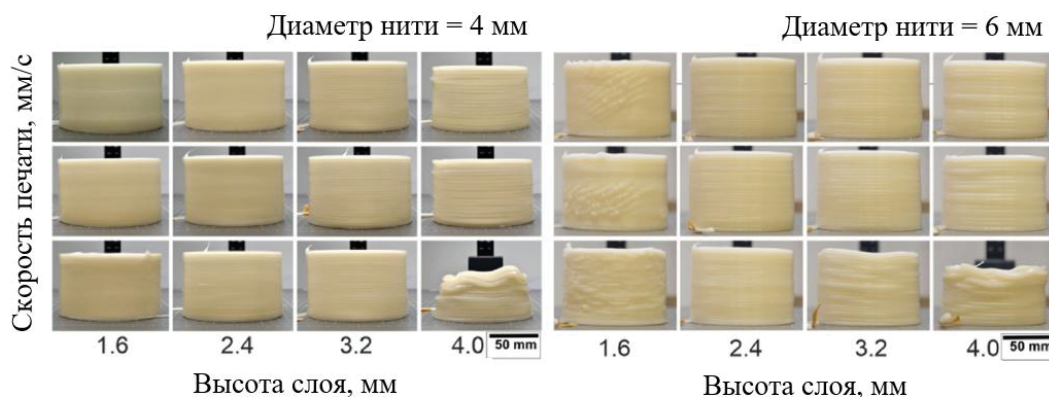


Рис. 3. Изменение геометрических размеров из-за усадки [12]

Образцы, изготовленные с диаметром нити 4 мм, обеспечивают более стабильную геометрию, чем образцы с диаметром нити 6 мм. Однако они теряют геометрическую стабильность при увеличении относительной скорости между подачей расплава из экструдера и движением платформы, а также с увеличением объема нити. Это приводит к усадке заготовки (образца с высотой нити 4,0 мм) из-за низкого температурного градиента, вызванного накоплением высокой температуры в нити большего объема.

Большинство работ по оценке влияния параметров печати на упруго-прочностные свойства изделий из поликетонов представлены в виде статей и на тематических ресурсах, посвященных 3D-печати [69; 70].

Также рекомендуемые параметры печати поликетонном представлены на сайте производителя филамента ПК «НИТ» [71]. Кроме того,

информация о свойствах поликетона представлена в техническом документе [72] на сайте изготовителя расходных материалов для селективного лазерного спекания. В данном источнике поликетон сравнивается по свойствам с полиамидами.

В работе [73] выявлены оптимальные параметры 3D-печати из чистого поликетона и наполненного стекловолокном, а также произведен анализ полученных свойств напечатанных образцов.

Проведенный анализ литературы показал, что информации по применению поликетона в аддитивном производстве в литературе недостаточно. Необходимы дополнительные исследования в данном направлении. Тем не менее, можно сделать вывод, что поликетон является перспективным материалом для применения в 3D-печати. Растущий интерес к РОК

в виде гранул и филамента из него определяются сравнительно высокими эксплуатационными характеристиками: ударная вязкость, химическая стойкость, прочностные свойства и др. В этой связи, можно предположить, что дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию режимов печати из поликетона для производства функциональных изделий и сложных инженерных конструкций аддитивным методом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, Г. П. Поликетоны – чередующиеся сополимеры монооксида углерода / Г. П. Белов, Е. В. Новикова // *Успехи химии*. – Черноголовка, 2004. – Т. 73, № 3. – С. 292–319.
2. Азаров, Д. С. Алифатические поликетоны – новый тип функциональных полимеров / Д. С. Азаров // *Вестник науки*. – 2020. – Т. 2, № 8. – С. 77–80.
3. Азаров, Д. С. Полимерные поликетонные композиции / Д. С. Азаров // *Вестник науки*. – 2020. – Т. 2, № 8. – С. 92–94.
4. Comprehensive Inorganic Chemistry II : From Elements to Applications : encyclopedia : in 10 vol. Vol. 6. Homogeneous Catalytic Applications / ed. by J. Reedijk, K. Poeppelmeier. – 2nd ed. – Leiden: Elsevier, 2013. – 803 p.
5. Melton, G. H. Engineering Thermoplastics: Applied Plastics Engineering Handbook / G. H. Melton, E. N. Peters, R. K. Arisman. – New York: Elsevier, 2011. – 17 p.
6. Dependence of the Thermodynamic Characteristics of a Carbon Monoxide–Ethylene–Butene-1 Copolymer on the Concentration of Butane Fragments in the Macromolecules / P. D. Afonin, N. N. Smirnova, A. V. Markina [et al.] // *Russian Journal of Physical Chemistry*. – 2018. – Vol. 92, № 9. – P. 1369–1378.
7. Mechanical and thermal properties of ternary alternating copolymers of carbon monoxide with olefins / K. A. Alferov, O. M. Chukanova, M. L. Bubnova [et al.] // *Polymer Science Series A*. – 2013. – Vol. 55, № 12. – P. 706–711.
8. Хасбулатова, З. С. Алифатические поликетоны (обзор) / З. С. Хасбулатова, А. К. Микитаев // *Известия ЧГПИ*. – 2009. – № 1. – С. 272–278.
9. Impacts of polyketone-grafted carbon nanotube on the thermal, mechanical, and electromagnetic shielding performance of polyketone composites / F. Tang, S.-J. Kim, T.-G. Eom [et al.] // *European Polymer Journal*. – 2023. – Vol. 201. – P. 415–420.
10. Camdzic, L. An old polymer class revisited: Versatile, degradable, non-alternating polyketones / L. Camdzic, C. A. Haynes, E. E. Stache // *Chem*. – 2024. – Vol. 10, № 5. – P. 1357–1370.
11. Encyclopedia of Materials : Science and Technology / ed. by K. H. J. Buschow, M. C. Flemings, E. J. Kramer [et al.]. – Amsterdam: Pergamon, 2001. – 10388 p.
12. Zlatanovic, D. L. The study of screw extrusion-based additive manufacturing of eco-friendly aliphatic polyketone / D. L. Zlatanovic, J. Hildebrand, J. P. Bergmann // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – № 25. – P. 4125–4138.
13. Influence of hygrothermal conditioning on the chemical structure and thermal mechanical properties of aliphatic polyketone / H. Lin, A. Pearson, Y. Kazemi [et al.] // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – Vol. 179. – P. 209–213.
14. Comparative Studies on Crystallinity, Thermal and Mechanical Properties of Polyketone Grown on Plasma Treated CVD Graphene / S. Cho, J. S. Lee, H. Jang [et al.] // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, № 6. – P. 1–15.
15. Aliphatic polyketones via cross-metathesis polymerization: Synthesis and post-polymerization modification / F.-R. Zeng, J. Xu, Q. Xiong [et al.] // *Polymer*. – 2019. – Vol. 185. – P. 45–49.
16. Wakker, A. Value in use of carilon polymers / A. Wakker; ed. by J. A. Verhave. – Louvain-la-Neuve: Shell Research, 1994. – 24 p.
17. Pat. 20080061152 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / S.-K. Yoon, J.-H. Kim; appl. Hyosung Corporation. – 2013.
18. Polyketone Is Back // Polysource: offic. web. – 2023. – Режим доступа: URL: <https://polysource.net/polyketone-is-back/> (date of access: 12.12.2024 г.).
19. Hyosung polyketone: poketone // HYOSUNG : offic. web. – 2014. – Режим доступа: URL: <https://www.poketone.com/en/polyketone/carilon.do> (date of access: 12.12.2024 г.).
20. Встреча представителей компании Руспласт и Hyosung // Руспласт : офиц. сайт. – 2023. – Режим доступа: URL: <https://www.rusplast.by/company/news/19850/> (дата обращения: 20.12.2024 г.).
21. A study on the optimization of residual stress distribution in the polyethylene and polyketone double layer pipes / A. G. Ramu, S. Kim, H. Jeon [et al.] // *Journal of King Saud University – Science*. – 2021. – Vol. 33, № 6. – P. 101547.
22. Pat. 4835250 A United States, IPC C08G 67/02. Catalytic preparation of polyketone from carbon monoxide and olefin / E. Drent; appl. Shell Oil Company. – 1989.
23. Pat. 101307932 B1 South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / S.-K. Yoon, J.-H. Kim; appl. Hyosung Corporation. – 2013.
24. Pat. 100652073 B1 South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / H.-S. Cho, J.-H. Kim, I.-H. Kwon, T. Ruiji, A. Babasori; appl. Hyosung Corporation. – 2006.
25. Pat. 20080161531 A1 United States, IPC C08F 4/26 (2006.01). Process for producing polyketone / J.-Y. Jang, J.-I. Choi, H.-S. Cho, J.-Y. Shim, S.-K. Yoon, H.-S. Kim, T. Luigi, A. Vavasori; appl. Hyosung Corporation. – 2010.
26. Pat. 100595562 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01) C08G 61/00 (2006.01) C08G 2/26 (2006.01). Process for producing polyketone / H.-S. Cho, J.-H. Kim, I.-H. Kwon; appl. Hyosung Corporation. – 2006.
27. Pat. 20090069381 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / J.-S. Lim, H.-S. Kim; appl. Hyosung Corporation. – 2009.
28. Pat. 101675275 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01), C08G 2/06 (2006.01), C08G 2/26 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01). Process for producing Polyketone / B.-Y. Lee, L. Choi, H.-S. Kim; appl. Hyosung Corporation. – 2016.
29. Pat. 102302970 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01). High molecular weight polyketone and manufacturing method of the same / K. H. Lee, Y. S. Jae; appl. Hyosung Corporation. – 2021.
30. Hyosung polyketone : poketone // HYOSUNG : offic. web. – 2014. – Режим доступа: URL: https://www.poketone.com/en/pressrelease/news_view.do (date of access: 20.12.2024 г.).
31. Пат. 2350626 Российская федерация, МПК C08F 8/06, C08C 19/04, C08G 67/02. Способ получения ненасыщенных поликетонов : № 2007131909/04 : заявл.

22.06.2007 : опублик. 27.06.2007 / Г. И. Панов, К. А. Дубков, С. В. Семиколонов, Д. П. Иванов ; заявитель и патентообладатель Ин-т катализа им. Г. К. Борескова СО РАН. – Режим доступа: URL: <https://patents.google.com/patent/RU2350626C1/ru?oq=2350626> (дата обращения: 19.12.2024 г.).

32. Pat. 20110017505 A South Korea, IPC C08G 2/28 (2006.01), C08G 2/16 (2006.01), C08G 2/06 (2006.01), C08G 2/00 (2006.01). Method for removing catalyst contained in polyketone / H.-S. Kim, B.-G. Kang; appl. Hyosung Corporation. – 2011.

33. Facile fabrication and characterization of aliphatic polyketone (PK) micro/nano fiber membranes via electrospinning and a post treatment process / J. Hou, C. Park, W. Jang, H. Byun // RSC Advances. – 2020. – Vol. 11, № 2. – P. 678–683.

34. Lin, W. Amine-functionalized polyketone membrane : a low-cost adsorbent for highly selective adsorption of diclofenac sodium / W. Lin, P. Francesco // European Polymer Journal. – 2025. – Vol. 235. – P. 114086.

35. Functionalized aliphatic polyketones with germicide activity / E. Araya-Hermosilla, P. Parlanti, M. Gemmi [et al.] // RSC Advances. – 2022. – Vol. 12, № 54. – P. 35358–35366.

36. Pat. 20140090463 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08K 9/04 (2006.01), C08J 5/08 (2006.01). Polyketone resin composition and method for preparing the same / S.-K. Yoon, M.-H. Kwon, G.-Y. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2014.

37. Pat. 101664216 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), B29C 45/00 (2006.01), B60R 1/06 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08J 5/04 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01). Polyketone molding compound and polyketone outside mirror frame with low moisture absorption and its manufacturing method / G.-Y. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

38. Pat. 20140099997 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Polyketone resin composition with improved electric conductivity / S.-K. Yoon, J.-H. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2013.

39. Pat. 101539680 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), C08K 3/32 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01). Heat Resistant Composition using Polyketone Resin and Molded Articles thereof / E.-T. Kim, J.-H. Kim, D.-W. Kim ; appl. DESCO Corporation. – 2015.

40. Pat. 20140090369 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), C08K 7/24 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01). Composition of polyketone with high heat conductivity / S.-W. Kim, C.-S. Lee, Y.-M. Shin, S.-K. Yoon ; appl. Hyundai Motor, Hyosung Corporation. – 2014.

41. Pat. 20170050186 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08K 5/521 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08L 77/10 (2006.01). Polyketone resin composition and method for preparing the same / S.-W. Kim, J.-H. Kim, D.-W. Kim, D.-W. Kim ; appl. Hyundai Motor. – 2017.

42. Pat. 101675828 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08G 69/26 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08L 77/06 (2006.01). Polyketone composition with excellent mechanical properties / S.-J. Baek, S.-K. Yoon, G.-A. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

43. Pat. 10882975 B2 United States, IPC C08K 7/14 (2006.01), C08G 67/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08K 5/524 (2006.01), C08K 5/5313 (2006.01), C08K 5/5317 (2006.01), C08K 5/5393 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01), C08K 5/13 (2006.01). Flameproof, aliphatic polyketone materials, moulded articles produced therefrom and also method

for the production thereof / G. Stoeppelmann ; appl. EMS Patent AG. – 2021.

44. Pat. 102021793 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), B29B 7/88 (2006.01), C08K 5/5313 (2006.01). Composition of polyketone resin having flame retardant, and preparation method thereof / Y.-I. Oh; appl. Hyosung Corporation. – 2019.

45. Pat. 20170083006 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), H01B 1/24 (2006.01). Blend Comprising Polyketone and ABS and Method for Preparing the Same / S.-K. Yoon, Y.-M. Shin ; appl. Hyosung Corporation. – 2014.

46. Pat. 102060096 B1 South Korea, IPC C08L 67/02 (2006.01), C08G 63/91 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01). Polymer blend composition / D.-W. Kim ; appl. D.-W. Kim. – 2019.

47. Pat. 102042496 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 5/00 (2006.01), C08K 5/12 (2006.01), C08K 5/3475 (2006.01), C08K 5/3492 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08L 25/12 (2006.01). Polyketone blend having improved mechanical property and light resistance against UV / G. Neural, S.-K. Yoon ; appl. Hyosung Corporation. – 2019.

48. Pat. 2016010406 A2 WIPO (PCT), IPC C08L 73/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), F16B 35/00 (2006.01), H01R 3/00 (2006.01), G08J 5/00 (2006.01). Polyketone resin composition having outstanding water resistance / P. Final, K.-T. Jo, S.-K. Yoon, S.-H. Kim, J.-K. Lee, G.-Y. Kim, S.-J. Baek ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

49. Hyosung Chemical // HYOSUNG CHEMICAL : offic. web. – 2023. – Режим доступа: URL: <https://www.hyosungchemical.com/en/business/pok?type1=food> (date of access: 19.12.2024 г.).

50. Facile fabrication and characterization of aliphatic polyketone (PK) micro/nano fiber membranes via electrospinning and a post treatment process / J. Hou, C. Park, W. Jangb, H. Byun // RSC Advances. – 2021. – № 11. – P. 678–683.

51. Effect of shear condition on the thermal stabilization of ethylene-propylene-carbon monoxide terpolymer / W.-S. Bae, S. Lee, B. C. Kim // Polymer Degradation and Stability. – 2014. – № 105. – P. 160–165.

52. Радайкина, Е. А. Исследование физико-механических свойств модифицированного поликетона / Е. А. Радайкина, А. М. Кузьмин // ВТУ. – 2020. – Т. 23, № 8. – С. 59–62.

53. Hyosung polyketone : poketone // HYOSUNG : offic. web. – 2014. – Режим доступа: URL: <https://www.poketone.com/en/polyketone/properties.do> (date of access: 22.12.2024 г.).

54. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые : дата введения 1.12.2017 / разработан ФГУП «ВИАМ». – Москва : Стандартиформ, 2018. – Режим доступа: URL : https://allgosts.ru/01/020/gost_r_57558-2017.pdf (дата обращения: 20.12.2024 г.).

55. Jafferson, J. M. A review on polymeric materials in additive manufacturing / J. M. Jafferson, D. Chatterjee // Materialstoday Proceedings. – 2021. – Vol. 46, № 2. – P. 1349–1365.

56. Sardon, H. Sustainable Additive Manufacturing of Plastics / H. Sardon, T. Long, H. L. Ferrand // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. – 2021. – Vol. 10, № 6. – P. 1983–1985.

57. Gebhardt, A. 3D Printing. Understanding Additive Manufacturing / A. Gebhardt, J. Kessler, L. Thurn. – 2nd ed. – Munich : Hanser, 2019. – 204 p.

58. Zhang, J. Additive Manufacturing. Materials, Processes, Quantifications and Applications / J. Zhang, Y.-G. Jung. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. – 352 p.

59. ГОСТ Р 59100-2020. Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые : дата введения 1.07.2021 / разработан АО «Институт пластмасс». – М. : Стандартинформ, 2020. – Режим доступа: URL: https://allgosts.ru/83/080/gost_r_59100-2020.pdf (дата обращения: 23.12.2024 г.).

60. Рэдвуд, Б. 3D-печать. Практическое руководство : руководство / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт ; перевод с английского М. А. Райтмана. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 220 с.

61. Progress in polyketone materials: blends and composites / Y. Yang, S.-Y. Li, R.-Y. Bao [et al.] // *Polymer International*. – 2018. – Vol. 67, № 11. – P. 1478–1487.

62. Holt, G. A. Melting and crystallization behavior of aliphatic polyketones / G. A. Holt, J. E. Spruiell // *Applied Polymer*. – 2001. – Vol. 83, № 10. – P. 2124–2142.

63. Гейко, М. А. Основы аддитивных технологий и производств : учеб. пособие / М. А. Гейко, И. О. Лешин, А. В. Нищенко [и др.]. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 228 с.

64. Towards Sustainable Additive Manufacturing: Exploring Ecofriendly Materials for Green 3D Printing / V. Kumar, U. Reddy, A. Nagpal [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 505. – P. 1–12.

65. Patti, A. Challenges to Improve Extrusion-Based Additive Manufacturing Process of Thermoplastics toward Sustainable Development / A. Patti // *Macromolecular Rapid Communications*. – 2024. – Vol. 45, № 17. – P. 139–142.

66. Dimethylketene-based aliphatic polyketones : Copolymers and star-shaped polymers potentially useful in food packaging / H. Wang, N. Desilles, N. Follain [et al.] // *European Polymer Journal*. – 2016. – № 85. – P. 411–420.

67. Extrusion-based additive manufacturing technologies: State of the art and future perspectives / S. C. Altuparmak, V. A. Yardley, Z. Shi, J. Lin // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2022. – Vol. 83. – P. 607–636.

68. Big Area Additive Manufacturing of High Performance Bonded NdFeB Magnets / L. Li, A. Tirado, I. C. Nlebedim // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6. – P. 36–42.

69. Поликетон жевать можно // 3dtoday. – 2025. – Режим доступа: URL: <https://3dtoday.ru/blogs/eta4ever/poliketon-zevat-mozno> (дата обращения: 10.10.2025 г.).

70. Активная камера и поликетон: что общего // Индустрия3Д. – 2025. – Режим доступа: URL : <https://industry3d.ru/vliyanie-aktivnoy-kamery-3d-printera-na-fiziko-mekhanicheskie-pokazateli-pechataemyh-zagotovok-iz-poliketona/> (дата обращения: 10.10.2025 г.).

71. Пластик ING НИТ для 3D принтера // Plastik-NIT. : офиц. сайт. – 2025. – Режим доступа: URL : https://plastik-nit.ru/catalog/nit_ing/6468/ (дата обращения: 21.09.2025 г.).

72. White Paper: A Polymer Powerhouse: Unveiling the Stellar Advantages of Polyketone for Additive Manufacturing of ESD-Safe Components // *Mechnano*. : offic.web.. – 2025. – Режим доступа: URL: <https://mechnano.com/white-paper-a-polymer-powerhouse-unveiling-the-stellar-advantages-of-polyketone-for-additive-manufacturing-of-esd-safe-components/> (date of access: 29.09.2025 г.).

73. Jimenez, P. J. F. Optimization of screw extrusion-based additive manufacturing process for direct extrusion of polyketone: дис. – Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2024.

REFERENCES

1. Belov, G. P. Polyketones – Alternating Copolymers of Carbon Monoxide / G. P. Belov, E. V. Novikova // *Russian Chemical Reviews*. – Chernogolovka, 2004. – Vol. 73, No. 3. – P. 292–319.

2. Azarov, D. S. Aliphatic Polyketones – A New Class of Functional Polymers / D. S. Azarov // *Science Bulletin*. – 2020. – Vol. 2, No. 8. – P. 77–80.

3. Azarov, D. S. Polyketone Polymer Compositions / D. S. Azarov // *Science Bulletin*. – 2020. – Vol. 2, No. 8. – P. 92–94.

4. Comprehensive Inorganic Chemistry II: From Elements to Applications: Encyclopedia: In 10 Vol. Vol. 6. Homogeneous Catalytic Applications / Ed. by J. Reedijk, K. PoePelmeier. – 2nd ed. – Leiden: Elsevier, 2013. – 803 p.

5. Melton, G. H. Engineering Thermoplastics : Applied Plastics Engineering Handbook / G. H. Melton, E. N. Peters, R. K. Arisman. – New York : Elsevier, 2011. – 17 p.

6. Dependence of the Thermodynamic Characteristics of a Carbon Monoxide–Ethylene–Butene-1 Copolymer on the Concentration of Butane Fragments in the Macromolecules / P. D. Afonin, N. N. Smirnova, A. V. Markina [et al.] // *Russian Journal of Physical Chemistry*. – 2018. – Vol. 92, № 9. – P. 1369–1378.

7. Mechanical and thermal properties of ternary alternating copolymers of carbon monoxide with olefins / K. A. Alferov, O. M. Chukanova, M. L. Bubnova [et al.] // *Polymer Science Series A*. – 2013. – Vol. 55, № 12. – P. 706–711.

8. Khasbulatova, Z. S. Aliphatic Polyketones (Review) / Z. S. Khasbulatova, A. K. Mikitaev // *Proceedings of ChSPU*. – 2009. – No. 1. – P. 272–278.

9. Tang, F. Impacts of Polyketone-Grafted Carbon Nanotube on the Thermal, Mechanical, and Electromagnetic Shielding Performance of Polyketone Composites / F. Tang, S.-J. Kim, T.-G. Eom [et al.] // *European Polymer Journal*. – 2023. – Vol. 201. – P. 415–420.

10. Camdzic, L. An old polymer class revisited : Versatile, degradable, non-alternating polyketones / L. Camdzic, C. A. Haynes, E. E. Stache // *Chem*. – 2024. – Vol. 10, № 5. – P. 1357–1370.

11. Encyclopedia of Materials: Science and Technology / Ed. by K. H. J. Buschow, M. C. Flemings, E. J. Kramer [et al.]. – Amsterdam: Pergamon, 2001. – 10388 p.

12. Zlatanovic, D. L. The study of screw extrusion-based additive manufacturing of eco-friendly aliphatic polyketone / D. L. Zlatanovic, J. Hildebrand, J. P. Bergmann // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – № 25. – P. 4125–4138.

13. Lin, H. Influence of Hygrothermal Conditioning on the Chemical Structure and Thermal Mechanical Properties of Aliphatic Polyketone / H. Lin, A. Pearson, Y. Kazemi [et al.] // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – Vol. 179. – P. 209–213.

14. Cho, S. Comparative Studies on Crystallinity, Thermal and Mechanical Properties of Polyketone Grown on Plasma-Treated CVD Graphene / S. Cho, J. S. Lee, H. Jang [et al.] // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, No. 6. – P. 1–15.

15. Aliphatic polyketones via cross-metathesis polymerization: Synthesis and post-polymerization modification / F.-R. Zeng, J. Xu, Q. Xiong [et al.] // *Polymer*. – 2019. – Vol. 185. – P. 45–49.

16. Wakker, A. Value in Use of Carilon Polymers / A. Wakker; Ed. by J. A. Verhave. – Louvain-la-Neuve: Shell Research, 1994. – 24 p.

17. Pat. 20080061152 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing

polyketone / S.-K. Yoon, J.-H. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2013.

18. Polyketone Is Back // Polysource. – 2023. – URL: <https://polysource.net/polyketone-is-back/>.

19. Hyosung Polyketone: Poketone // HYOSUNG. – 2014. – Режим доступа: URL: <https://www.poketone.com/en/polyketone/carilon.do>.

20. Meeting of Representatives of Rusplast and Hyosung // Rusplast. – 2023. – Режим доступа: URL: <https://www.rusplast.by/company/news/19850/>.

21. A study on the optimization of residual stress distribution in the polyethylene and polyketone double layer pipes / A. G. Ramu, S. Kim, H. Jeon [et al.] // Journal of King Saud University – Science. – 2021. – Vol. 33, № 6. – P. 101547.

22. Pat. 4835250 A United States, IPC C08G 67/02. Catalytic preparation of polyketone from carbon monoxide and olefin / E. Drent ; appl. Shell Oil Company. – 1989.

23. Pat. 101307932 B1 South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / S.-K. Yoon, J.-H. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2013.

24. Pat. 100652073 B1 South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / H.-S. Cho, J.-H. Kim, I.-H. Kwon, T. Ruiji, A. Babasori ; appl. Hyosung Corporation. – 2006.

25. Pat. 20080161531 A1 United States, IPC C08F 4/26 (2006.01). Process for producing polyketone / J.-Y. Jang, J.-I. Choi, H.-S. Cho, J.-Y. Shim, S.-K. Yoon, H.-S. Kim, T. Luigi, A. Vavasori ; appl. Hyosung Corporation. – 2010.

26. Pat. 100595562 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01) C08G 61/00 (2006.01) C08G 2/26 (2006.01). Process for producing polyketone / H.-S. Cho, J.-H. Kim, I.-H. Kwon ; appl. Hyosung Corporation. – 2006.

27. Pat. 20090069381 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Process for producing polyketone / J.-S. Lim, H.-S. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2009.

28. Pat. 101675275 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01), C08G 2/06 (2006.01), C08G 2/26 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01). Process for producing Polyketone / B.-Y. Lee, L. Choi, H.-S. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

29. Pat. 102302970 B1 South Korea, IPC C08G 67/02 (2006.01). High molecular weight polyketone and manufacturing method of the same / K. H. Lee, Y. S. Jae ; appl. Hyosung Corporation. – 2021.

30. Hyosung polyketone : poketone // HYOSUNG : offic. web. – 2014. – Режим доступа: URL : https://www.poketone.com/en/pressrelease/news_view.do (date of access: 20.12.2024 г.).

31. Pat. 2350626 Russian Federation, IPC C08F 8/06, C08C 19/04, C08G 67/02. Method for Producing Unsaturated Polyketones: No. 2007131909/04: Filed 22.06.2007: Published 27.06.2007 / G. I. Panov, K. A. Dubkov, S. V. Semikolenov, D. P. Ivanov; appl. G. K. Boreskov Institute of Catalysis SB RAS. – Режим доступа: URL: <https://patents.google.com/patent/RU2350626C1/ru?oq=2350626>.

32. Pat. 20110017505 A South Korea, IPC C08G 2/28 (2006.01), C08G 2/16 (2006.01), C08G 2/06 (2006.01), C08G 2/00 (2006.01). Method for removing catalyst contained in polyketone / H.-S. Kim, B.-G. Kang ; appl. Hyosung Corporation. – 2011.

33. Facile fabrication and characterization of aliphatic polyketone (PK) micro/nano fiber membranes via electrospinning and a post treatment process / J. Hou, C. Park, W. Jang, H. Byun // RSC Advances. – 2020. – Vol. 11, № 2. – P. 678–683.

34. Lin, W. Amine-functionalized polyketone membrane : a low-cost adsorbent for highly selective adsorption of

diclofenac sodium / W. Lin, P. Francesco // European Polymer Journal. – 2025. – Vol. 235. – P. 114086.

35. Functionalized aliphatic polyketones with germicide activity / E. Araya-Hermosilla, P. Parlanti, M. Gemmi [et al.] // RSC Advances. – 2022. – Vol. 12, № 54. – P. 35358–35366.

36. Pat. 20140090463 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08K 9/04 (2006.01), C08J 5/08 (2006.01). Polyketone resin composition and method for preparing the same / S.-K. Yoon, M.-H. Kwon, G.-Y. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2014.

37. Pat. 101664216 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), B29C 45/00 (2006.01), B60R 1/06 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08J 5/04 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01). Polyketone molding compound and polyketone outside mirror frame with low moisture absorption and its manufacturing method / G.-Y. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

38. Pat. 20140099997 A South Korea, IPC C08G 6/02 (2006.01), C08G 8/02 (2006.01). Polyketone resin composition with improved electric conductivity / S.-K. Yoon, J.-H. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2013.

39. Pat. 101539680 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), C08K 3/32 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01). Heat Resistant Composition using Polyketone Resin and Molded Articles thereof / E.-T. Kim, J.-H. Kim, D.-W. Kim ; appl. DESCO Corporation. – 2015.

40. Pat. 20140090369 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), C08K 7/24 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01). Composition of polyketone with high heat conductivity / S.-W. Kim, C.-S. Lee, Y.-M. Shin, S.-K. Yoon ; appl. Hyundai Motor, Hyosung Corporation. – 2014.

41. Pat. 20170050186 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08K 5/521 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08L 77/10 (2006.01). Polyketone resin composition and method for preparing the same / S.-W. Kim, J.-H. Kim, D.-W. Kim, D.-W. Kim ; appl. Hyundai Motor. – 2017.

42. Pat. 101675828 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08G 69/26 (2006.01), C08J 5/00 (2006.01), C08L 77/06 (2006.01). Polyketone composition with excellent mechanical properties / S.-J. Baek, S.-K. Yoon, G.-A. Kim ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.

43. Pat. 10882975 B2 United States, IPC C08K 7/14 (2006.01), C08G 67/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08K 5/524 (2006.01), C08K 5/5313 (2006.01), C08K 5/5317 (2006.01), C08K 5/5393 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01), C08K 5/13 (2006.01). Flameproof, aliphatic polyketone materials, moulded articles produced therefrom and also method for the production thereof / G. Stoeppelmann ; appl. EMS Patent AG. – 2021.

44. Pat. 102021793 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), B29B 7/88 (2006.01), C08K 5/5313 (2006.01). Composition of polyketone resin having flame retardant, and preparation method thereof / Y.-I. Oh ; appl. Hyosung Corporation. – 2019.

45. Pat. 20170083006 A South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 3/04 (2006.01), H01B 1/24 (2006.01). Blend Comprising Polyketone and ABS and Method for Preparing the Same / S.-K. Yoon, Y.-M. Shin ; appl. Hyosung Corporation. – 2014.

46. Pat. 102060096 B1 South Korea, IPC C08L 67/02 (2006.01), C08G 63/91 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), C08L 73/00 (2006.01). Polymer blend composition / D.-W. Kim ; appl. D.-W. Kim. – 2019.

47. Pat. 102042496 B1 South Korea, IPC C08L 73/00 (2006.01), C08K 5/00 (2006.01), C08K 5/12 (2006.01), C08K

- 5/3475 (2006.01), C08K 5/3492 (2006.01), C08K 7/14 (2006.01), C08L 25/12 (2006.01). Polyketone blend having improved mechanical property and light resistance against UV / G. Neural, S.-K. Yoon ; appl. Hyosung Corporation. – 2019.
48. Pat. 2016010406 A2 WIPO (PCT), IPC C08L 73/00 (2006.01), C08G 67/02 (2006.01), F16B 35/00 (2006.01), H01R 3/00 (2006.01), G08J 5/00 (2006.01). Polyketone resin composition having outstanding water resistance / P. Final, K.-T. Jo, S.-K. Yoon, S.-H. Kim, J.-K. Lee, G.-Y. Kim, S.-J. Baek ; appl. Hyosung Corporation. – 2016.
49. Hyosung Chemical // HYOSUNG CHEMICAL : offic. web. – 2023. – Режим доступа: URL : <https://www.hyosungchemical.com/en/business/pok?type1=food> (date of access: 19.12.2024 г.).
50. Facile fabrication and characterization of aliphatic polyketone (PK) micro/nano fiber membranes via electrospinning and a post treatment process / J. Hou, C. Park, W. Jangb, H. Byun // RSC Advances. – 2021. – № 11. – P. 678–683.
51. Effect of shear condition on the thermal stabilization of ethylene–propylene–carbon monoxide terpolymer / W.-S. Bae, S. Lee, B. C. Kim // Polymer Degradation and Stability. – 2014. – № 105. – P. 160–165.
52. Radaykina, E. A. Study of Physico-Mechanical Properties of Modified Polyketone / E. A. Radaykina, A. M. Kuzmin // VTU. – 2020. – Vol. 23, No. 8. – P. 59–62.
53. Hyosung Polyketone: Poketone // HYOSUNG. – 2014. – Режим доступа: URL: <https://www.poketone.com/en/polyketone/properties.do> (Accessed: 22.12.2024 г.).
54. GOST R 57558-2017. Additive Technological Processes. Basic Principles. Part 1. Terms and Definitions: National Standard of the Russian Federation: Official Publication: Introduced for the First Time: Date of Introduction 1.12.2017 / Developed by FSUE "VIAM". – Moscow: Standartinform, 2018. – Режим доступа: URL: https://allgosts.ru/01/020/gost_r_57558-2017.pdf.
55. Jafferson, J. M. A Review on Polymeric Materials in Additive Manufacturing / J. M. Jafferson, D. Chatterjee // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 46, No. 2. – P. 1349–1365.
56. Sardon, H. Sustainable Additive Manufacturing of Plastics / H. Sardon, T. Long, H. L. Ferrand // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2021. – Vol. 10, No. 6. – P. 1983–1985.
57. Gebhardt, A. 3D Printing. Understanding Additive Manufacturing / A. Gebhardt, J. Kessler, L. Thurn. – 2nd ed. – Munich: Hanser, 2019. – 204 p.
58. Zhang, J. Additive Manufacturing. Materials, Processes, Quantifications and Applications / J. Zhang, Y.-G. Jung. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. – 352 p.
59. GOST R 59100-2020. Plastics. Filaments for Additive Technologies: National Standard of the Russian Federation: Official Publication: Introduced for the First Time: Date of Introduction 1.07.2021 / Developed by JSC "Institute of Plastics". – Moscow: Standartinform, 2020. – Режим доступа: URL: https://allgosts.ru/83/080/gost_r_59100-2020.pdf.
60. Redwood, B. 3D Printing: A Practical Guide / B. Redwood, F. Schöffner, B. Garrett; Trans. by M. A. Raitman. – Moscow: DMK Press, 2020. – 220 p.
61. Yang, Y. Progress in Polyketone Materials: Blends and Composites / Y. Yang, S.-Y. Li, R.-Y. Bao [et al.] // Polymer International. – 2018. – Vol. 67, No. 11. – P. 1478–1487.
62. Holt, G. A. Melting and Crystallization Behavior of Aliphatic Polyketones / G. A. Holt, J. E. Spruiell // Applied Polymer. – 2001. – Vol. 83, No. 10. – P. 2124–2142.
63. Geiko, M. A. Fundamentals of Additive Technologies and Manufacturing: Textbook / M. A. Geiko, I. O. Leushin, A. V. Nischenkov [et al.]. – Vologda: Infra-Engineering, 2024. – 228 p.
64. Kumar, V. Towards Sustainable Additive Manufacturing: Exploring Ecofriendly Materials for Green 3D Printing / V. Kumar, U. Reddy, A. Nagpal [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 505. – P. 1–12.
65. Patti, A. Challenges to Improve Extrusion-Based Additive Manufacturing Process of Thermoplastics Toward Sustainable Development / A. Patti // Macromolecular Rapid Communications. – 2024. – Vol. 45, No. 17. – P. 139–142.
66. Wang, H. Dimethylketene-Based Aliphatic Polyketones: Copolymers and Star-Shaped Polymers Potentially Useful in Food Packaging / H. Wang, N. Desilles, N. Follain [et al.] // European Polymer Journal. – 2016. – No. 85. – P. 411–420.
67. Altıparmak, S. C. Extrusion-Based Additive Manufacturing Technologies: State of the Art and Future Perspectives / S. C. Altıparmak, V. A. Yardley, Z. Shi, J. Lin // Journal of Manufacturing Processes. – 2022. – Vol. 83. – P. 607–636.
68. Li, L. Big Area Additive Manufacturing of High Performance Bonded NdFeB Magnets / L. Li, A. Tirado, I. C. Nlebedim // Scientific Reports. – 2016. – Vol. 6. – P. 36–42.
69. Polyketone can be chewed // 3dtoday. – 2025. – Режим доступа: URL: <https://3dtoday.ru/blogs/eta4ever/polyketon-zevat-mozno> (date of access: 10.10.2025 г.).
70. Active camera and polyketone: what is common // Industria3D. – 2025. – Режим доступа: URL: <https://industria3d.ru/vliyanie-aktivnoy-kamery-3d-printera-na-fiziko-mekhanicheskoe-pokazately-pechataemyh-zagotovok-iz-poliketona/>.
71. Plastic ING NIT for 3D printer // Plastik-NIT. : offic.web. – 2025. – Режим доступа: URL: https://plastik-nit.ru/catalog/nit_ing/6468/ (data of access: 21.09.2025 г.).
72. White Paper: A Polymer Powerhouse: Unveiling the Stellar Advantages of Polyketone for Additive Manufacturing of ESD-Safe Components // Mechnano. : offic.web. – 2025. – Режим доступа: URL: <https://mechnano.com/white-paper-a-polymer-power-house-unveiling-the-stellar-advantages-of-polyketone-for-additive-manufacturing-of-esd-safe-components/> (data of access: 29.09.2025 г.).
73. Jimenez, P. J. F. Optimization of screw extrusion-based additive manufacturing process for direct extrusion of polyketone : dis. – Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2024.

M. A. Vaniev, A. A. Ananeva, N. V. Sidorenko, D. A. Nilidin

PREPARATION, PROPERTIES AND PROSPECTS OF APPLICATION OF ALIPHATIC POLYKETONES IN 3D PRINTING

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

✉ Anastasia A. Ananeva, anastasiya.ananeva.02@mail.ru

Abstract. The review is devoted to the key advantages of aliphatic polyketones, including their high mechanical strength, heat resistance, chemical resistance and environmental friendliness, which determines the prospects of their application, including in 3D printing technology.

The information concerning the relationship of the polyketone structure with properties, as well as filled materials based on them, is analyzed. Examples of practical applications of polyketones in industry (lightweight structures,

wear-resistant parts) and medicine (biocompatible implants) are discussed. The information is useful for specialists in the field of additive manufacturing on technological approaches to optimizing printing conditions in terms of extrusion stability, precision and reproducibility of products.

Keywords: aliphatic polyketone, 3D printing, additive manufacturing technologies, thermoplastic

Funding: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FZUS-2023-0007) based on Agreement No. 075-03-2024-126 dated 17.01.2024, as amended.

For citation: Vaniev M. A., Ananeva A. A., Sidorenko N. V., Nilidin D. A. Preparation, properties and prospects of application of aliphatic polyketones in 3d printing. *Izvestiya VSTU*. 2025; 12(307): 7–17. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-7-17.

Information about the authors:

Marat A. Vaniev – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of CTEP of VSTU.

e-mail: vaniev@vstu.ru

Anastasiya A. Ananeva – Master's student of the Department of CTEP of VSTU.

e-mail: anastasiya.ananeva.02@mail.ru

Nina V. Sidorenko – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of CTEP of VSTU.

e-mail: nvsidorenko@vstu.ru

Dmitry A. Nilidin – Cand. Sci. (Eng.), Assistant of the Department of CTEP of VSTU.

e-mail: dmitriy.nilidin@gmail.com

Contribution of the authors:

Marat A. Vaniev – defining the purpose of the work, editing the text of the article.

Anastasiya A. Ananeva – selection of literature, writing the text of the article.

Nina V. Sidorenko – selection of literature, editing the text of the article.

Dmitry A. Nilidin – selection of literature, writing the text of the article.

Статья поступила в редакцию – 17.10.2025, доработана – 07.11.2025, подписана в печать – 03.12.2025

The article was submitted – 17.10.2025, revised – 07.11.2025, accepted for publication – 03.12.2025