

Подтверждением сделанного предположения может служить отрицательный результат попытки осуществления предварительного синтеза соответствующего имина нагреванием циклогексен-2-она 1 с *n*-толуидином в присутствии пара-толуолсульфокислоты (и без нее) в ДМСО или изопропиловом спирте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pyrene derivative, organic light-emitting medium, and organic electroluminescent element containing pyrene derivative or organic light-emitting medium. Pat. US 10014476 / Y. Mizuki, H. Ito, T. Ikeda, H. Saito, M. Kawamura, Masahiro. – Publ. date 07.04.2022.

2. An electroluminescent compound and an electroluminescent device comprising the same. Pat. KR 20150129486 / Kim J. S., Ryu Y. K., Ko S. W., Lee S. J., Kim J. H., Park J. J. – Publ. date 20.11.2015.

3. Organic compound, electronic element and electronic device. Pat. CN 113896720 / Jia Z., Li Y., Wang R. – Publ. date 07.01.2022.

4. Nishiumi T., Higuchi M., Yamamoto K.  $\pi$ -Conjugated Polymers Exhibiting a Novel Doping Based on Redox of Side Chains / *Macromolecules*. – 2003. – Vol. 36. – № 17. – P. 6325–6332.

5. Hylland K. T., Øien-Ødegaard S., Tilset M. The Suzuki–Miyaura Cross-Coupling as the Key Step in the Synthesis of 2-Aminobiphenyls and 2,2'-Diaminobiphenyls: Application in the Synthesis of Schiff Base Complexes of Zn / *Eur. J. Org. Chem.* – 2020. – № 27. – P. 4208–4226.

6. Barros M. T., Dey S. S., Maycock C. D., Rodrigues P. Metal-free direct amination/aromatization of 2-cyclohexenones to iodo-*N*-arylanilines and *N*-arylanilines promoted by iodine / *Chem. Comm.* – 2012. – Vol. 48. – № 88. – P. 10901–10903.

УДК 678.746.45:004.925.84

Е. И. Кордикова, доц., канд. техн. наук;  
Г. Н. Дьякова, ст. преп.; Д. В. Кадач, студ.;  
А. С. Вяль, студ.; Е. В. Дайняк, студ. (БГТУ, г. Минск)

#### ПАРАМЕТРЫ ПЕЧАТИ ПОЛИКАРБОНАТОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

На эксплуатационные характеристики изделий, полученных методом *FDM*-печати, оказывают влияние не только свойства исходного материала, но также температура сопла [1] и стола, толщина слоя, скорость печати [2]. Таким образом, при проектировании 3D-печатных полимерных изделий с заданными характеристиками следует рассматривать систему «материал – параметры печати».

В качестве материала для исследования использовался филамент «*Ultimaker PC White*». Применение поликарбоната в 3D-печати наиболее рационально в случаях, при которых необходимо получить изделие, не уступающее по свойствам и характеристикам изделию, произведенному традиционными методами.

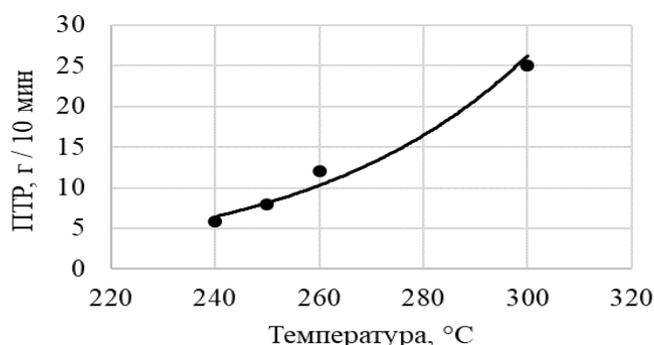
Примечательно, что материал, используемый в процессе FDM, должен обладать особыми реологическими свойствами, которые позволяют ему экструдироваться через сопло, не закупоривая его, а затем осаждаться на слой и сохранять свою форму.

Для изучения зависимости вязкости поликарбоната от температуры определяли показатель текучести расплава в диапазоне 240–300°C и нагрузке 1,2 кг, соответствующей указанной производителем в технической документации на материал. Исследования проводили на приборе ИИРТ в соответствии с ГОСТ 11645-2021 (ISO 1133).

При увеличении температуры с 240 до 300°C значение показателя текучести расплава увеличилось в 5 раз (рисунок 1), что может привести к дефектам печати за счет переэкструзии, которая сопровождается «наплывами» и «потеками» материала.

В качестве основного испытания для выявления влияния параметров печати на физико-механические характеристики материала выбрано испытание на растяжение.

Образцы для испытаний получали методом послойного наплавления (FDM-технология) на 3D-принтере «*Ultimaker 3*» с рабочей областью 215×215×200 мм. Предварительно материал сушился в течение 8 часов при температуре 80°C в сушилке для хранения филамента «*eBOX*» фирмы «*eSUN*». Рабочий стол для повышения адгезии покрывался специальным клеем для 3D-печати «*Basic*» фирмы «*Ateco*».



**Рисунок 1 – Зависимость показателя текучести расплава от температуры**

Растяжение напечатанных образцов проводилось на универсальной испытательной машине *MTS Criterion Model 43* в соответствии с ГОСТ 11262-2017, тип образцов 1В. Для определения модуля

упругости использовался одноосный экстензометр *MTS*.

Образцы при печати размещали на середине рабочей поверхности, не приближаясь к ее границам. С целью уменьшения анизотропии свойств печать образцов осуществляли под углом  $\pm 45^\circ$ .

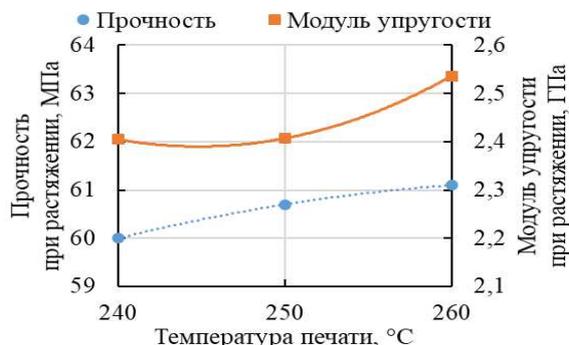
Основные параметры печати поликарбоната приведены в таблице. За исключением исследуемого параметра остальные должны оставаться постоянными для каждой партии образцов.

**Таблица – Основные параметры печати**

Параметры печати	Значение
Температура платформы, °С	100
<b>Температура печати, °С</b>	<b>240, 250, 260</b>
<b>Толщина слоя, мм</b>	<b>0,1, 0,2, 0,3</b>
<b>Скорость печати, мм/с</b>	<b>40, 50, 60</b>
Процент заполнения, %	100
Вид заполнения	Линия
Обдув	Отсутствует

В результате анализа результатов влияния температуры (рисунок 2) при печати со скоростью 40 мм/с и толщине слоя 0,2 мм изменение модуля упругости при повышении температуры с 240 до 260°С составляет 4,2%, при этом погрешность внутри эксперимента находится на уровне 1–3,5%.

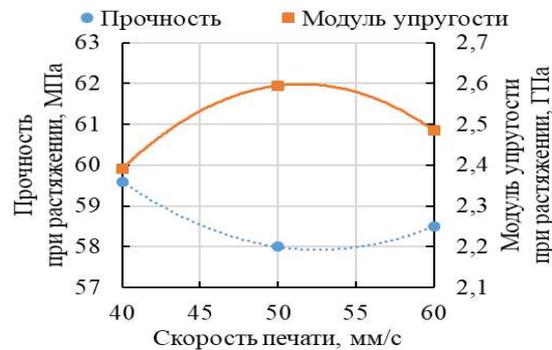
Увеличение модуля упругости происходит за счет повышения адгезионной связи между слоями, которая в свою очередь зависит от температуры контакта. Изменение предела прочности при повышении температуры печати в том же диапазоне составляет 1,9%, а погрешность испытаний – 1–3%. Изменение значения напряжения лежит в области погрешности измерения. Таким образом, зависимость прочности при растяжении от температуры печати в исследуемом диапазоне явно не выявлена.



**Рисунок 2 – Изменение упруго-прочностных характеристик от температуры печати**

Изменение модуля упругости в зависимости от скорости печати (рисунок 3) при температуре экструзии 240°С и толщине слоя 0,2 мм в

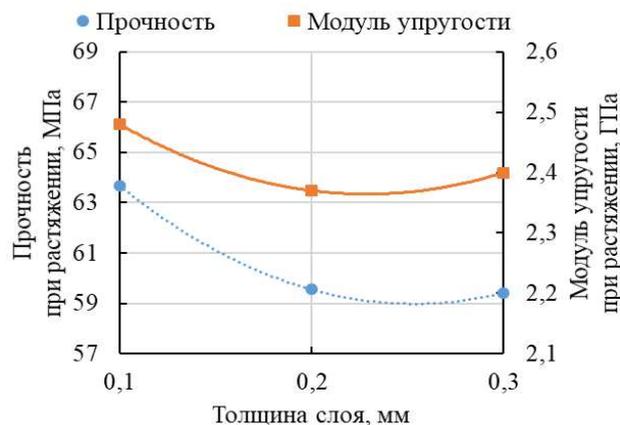
диапазоне, указанном в таблице, показывает экстремум на скорости 50 мм/с, а увеличение составляет 8,3%, при том, что коэффициент вариации внутри эксперимента не превышает 3,5%.



**Рисунок 3 – Изменение упруго-прочностных характеристик от скорости печати**

Также наблюдается снижение прочности с увеличением скорости печати на 2,7%, а погрешность эксперимента составляет 1,2–2,3%. В общем случае напряжение при растяжении с ростом скорости печати имеет тенденцию к уменьшению.

Для образцов, напечатанных при толщине слоя 0,3; 0,2; 0,1 мм, температуре 240°C и скорости 40 мм/с, самым высоким по значению модулем упругости обладают образцы, напечатанные при толщине слоя 0,1 мм. Увеличение составляет  $\approx 5\%$  (рисунок 4), а напряжение при разрыве имеет тенденцию к уменьшению с ростом толщины слоя при печати на  $\approx 7\%$ .



**Рисунок 4 – Изменение упруго-прочностных характеристик от толщины слоя**

При изготовлении изделия в зависимости от поставленной задачи выбирается толщина слоя печати. В случае необходимости повышения детализации/качества поверхности требуется печатать при минимально рекомендованной толщине слоя.

На основании полученных результатов исследований, с целью

повышения качества напечатанного изделия и снижения энергозатрат рекомендуется использовать температуру 240°C.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Influence of Fused Deposition Modelling Nozzle Temperature on the Rheology and Mechanical Properties of 3D Printed  $\beta$ -Tricalcium Phosphate (TCP) / Polylactic Acid (PLA) Composite [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (дата доступа: 01.10.2022).

2. Yishu yan. Effects of printing conditions on properties of polycarbonate samples made by fused filament fabrication process. – Режим доступа: <https://jscholarship.library.jhu.edu/items/356b8264-bffa-410e-9a3c-f3c65de3a089> (дата доступа: 01.10.2022).

УДК 547.828

Н. М. Кузьменок, доц., канд. хим. наук;  
В. С. Безбородов, проф., д-р хим. наук;  
С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой ОХ, канд. хим. наук;  
А. И. Савельев, зав. лабораторией ОХ;  
А. С. Орел, ассист.; Д. И. Макуценья, студ. (БГТУ, г. Минск)

#### РЕАКЦИИ 3-АРИЛ-6-АЦИЛЗАМЕЩЕННЫХ ЦИКЛОГЕКС-2-ЕНОНОВ С N-НУКЛЕОФИЛАМИ

Конденсированные  $\beta$ -дикарбонильные циклогексеноны, существующие в виде равновесной смеси таутомеров, ценны для химического синтеза в качестве ключевых реакционных фрагментов молекулярной структуры, содержащих, с одной стороны, карбонильный, а с другой стороны, гидроксильный фрагменты, и поэтому выступающих как C-электрофилы в реакциях с такими нуклеофилами, как амины. Таутомерия и связанная с этим явлением двойственная реакционная способность (амбидентность) ацилзамещенных циклогексенонов вызывает интерес с точки зрения изучения возможности региоселективного протекания реакции с аммиаком, алифатическими (моноэтанолламином, этилендиамином), жирноароматическими (бензиламином), ароматическими (анилином) аминами и бифункциональными нуклеофилами [1].

Реакция 6-ацилзамещенных циклогекс-2-енонов с аммиаком изучена достаточно подробно [1]. Было установлено, что, несмотря на всестороннее варьирование условий проведения реакции традиционным способом в спирте и применения различных кислот в качестве катализаторов, авторам не удалось зафиксировать продукты реакции.