
ХИМИЯ

УДК 691.175:541.67:539.21

Исследование электрических свойств SBS-пластика после 3d-печати

¹Вивтоненко А.С., ¹Таксимбаева Д.А., ¹Петров П.А.*, ^{2,3}Шмакова Н.С., ^{2,3}Чмутин И.А.

¹Московский политехнический университет

²Технологический центр коллективного пользования АО «Технопарк Слава»

³МИРЭА – Российский технологический университет

*petrov_p@mail.ru

В статье исследуются электрические свойства стирол-бутадиен-стирольного пластика (SBS, СБС-пластика), образцы из которого получают по экструзионной аддитивной технологии FFF/FDM. Рассматривается несколько режимов 3D-печати, основанных на различном сочетании основных и варьируемых параметров настройки 3D-принтера. Для всех напечатанных образцов СБС-пластика определено значение диэлектрической проницаемости и выполнен сравнительный анализ. Результаты этого анализа позволили выделить режимы 3D-печати, обеспечивающие значение диэлектрической проницаемости наиболее близкие к значениям, получаемым для образцов СБС-пластика, изготовленного традиционными методами. В завершение статьи приводятся рекомендации о применении значения диэлектрической проницаемости для качественной оценки сплошности СБС-пластика, обработанного по экструзионной аддитивной технологии.

Ключевые слова: термопластичный пластик, СБС-пластик, аддитивная технология FFF, 3D-печать, электрические свойства, диэлектрическая проницаемость, сплошность.

RESEARCH INTO THE ELECTRICAL PROPERTIES OF THE SBS PLASTIC AFTER 3D-PRINTING

¹Vivtonenko A.S., ¹Taksimbayeva D.A., ¹Petrov P.A., ^{2,3}Shmakova N.S., ^{2,3}Chmutin I.A.

¹Moscow Polytechnic University

²Technology center for collective use “Technopark Slava”

³MIREA – Russian Technological University

This article investigates the electrical properties of styrene-butadiene-styrene (SBS) plastic, samples from which are obtained using the FFF/FDM extrusion additive technology. Several 3D-printing modes are considered, based on a different combination of basic and variable 3D-printer settings. For all printed samples of SBS plastic, the value of the dielectric constant was determined, and a comparative analysis was performed. The results of this analysis made it possible to identify 3D-printing modes that provide the value of the dielectric constant closest to the values obtained for samples of SBS plastic made by traditional methods. At the end

of the article, recommendations are given on the use of the value of the dielectric constant for a qualitative assessment of the continuity of SBS plastic processed using extrusion additive technology.

Keywords: thermoplastic polymeric material, SBS, FFF additive technology, 3D-printing, electrical properties, dielectric constant, specimen continuity.

Введение

На протяжении последних двух десятилетий аддитивные технологии получают всё большую популярность и распространение. В начале XXI века 3D-печать только зарождалась, а сейчас, спустя двадцать лет, она используется как на крупных промышленных предприятиях, так и в домашних условиях. С развитием аддитивных технологий появляется спрос на создание изделий с различными эксплуатационными свойствами. Например, такими как прозрачность, повышенная прочность или же повышенная пластичность и многое другое. Эта тенденция в аддитивном производстве привела к созданию огромного многообразия новых материалов либо адаптации известных материалов для их последующей обработки по аддитивной технологии.

Экструзия материала (material extrusion – FFF, FDM, и др.) является популярной технологией в аддитивном производстве для изготовления изделий из термопластичных материалов, многообразие которых показано на рис. 1. Одна из возможных классификаций пластиков (аморфных и полукристаллических) для 3D-печати включает три уровня, каждый из которых определяется диапазоном температур, при которых производится обработка. Формализованная модель технологического процесса их экструзионной печати представлена на рис. 2 [2].

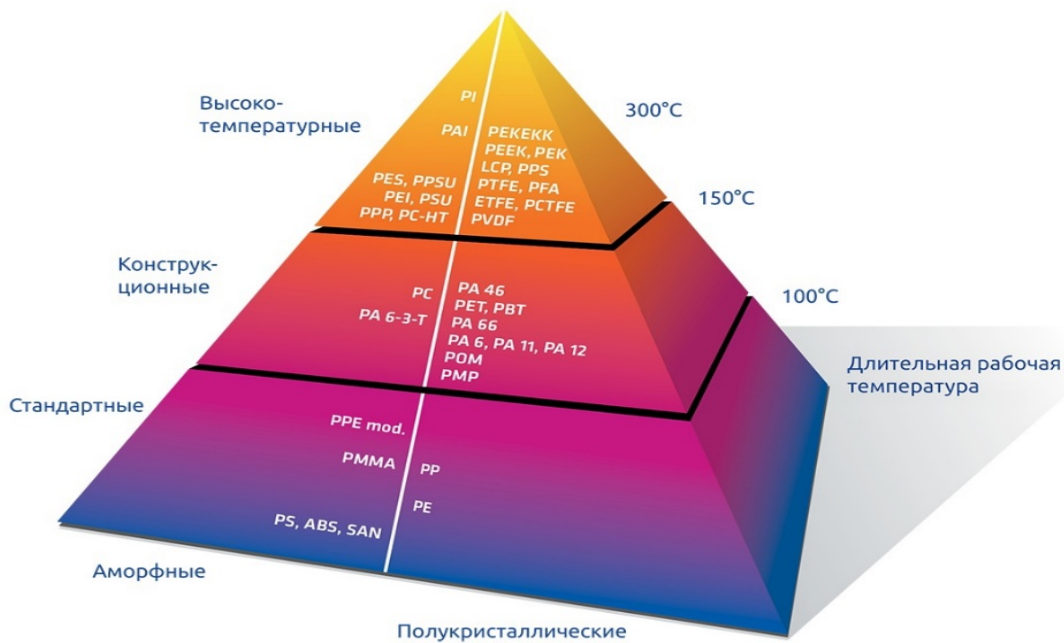


Рис. 1. Пирамида популярности пластиков для 3D-печати [1]

Для изготовления качественного продукта, произведенного 3D-печатью, необходим не только верный подбор материала и знание его свойств с учетом эксплуатационных требований, но также и грамотная настройка самого 3D-принтера. Режим 3D-печати зависит от значения температуры сопла и рабочей платформы, скорости печати, толщины слоя, наличия или отсутствия поддержек, параметров стиля формирования внутренней структуры изделия. Например, чем больше скорость 3D-печати, тем меньше время изготовления и больше вероятность формирования дефектов печати: недостаточная когезия двух соседних слоев, наличие микропустот (пор) между соседними слоями, коробление элементов изделия.

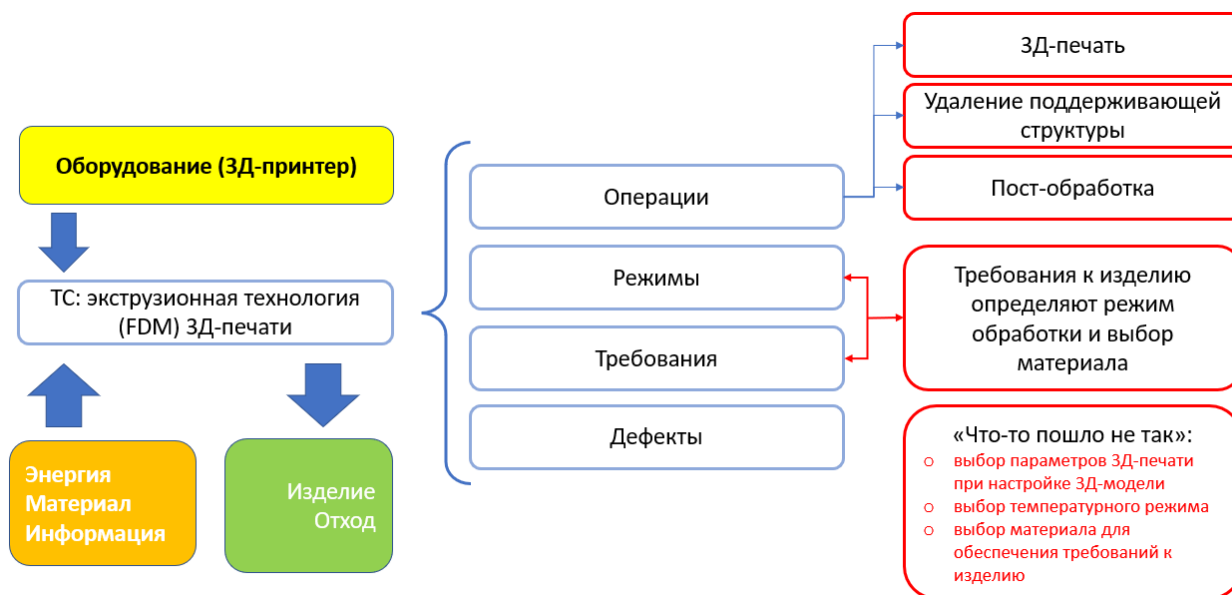


Рис. 2. Модель технологии экструзионной 3D-печати [2]

Наличие микропустот (пор) приводит к снижению прочности изделия и в то же время изменению электрических свойств полимерного материала – повышению диэлектрической проницаемости. На рис. 3 показано сечение образца, полученного экструзионной аддитивной технологией [3], имеющего поры. Форма пор определяется параметрами стиля заполнения и температурой экструдированного материала. Температура материала влияет на его вязкость и, как следствие, при ее повышении может способствовать уменьшению их размера.

При отсутствии пор в полимерном изделии, полученном 3D-печатью, его диэлектрическая проницаемость должна соответствовать значению, характерному для этого же материала, обработанного по традиционной технологии (литье, прессование). В связи с этим предполагаем, что диэлектрическая проницаемость может быть выбрана в качестве показателя для качественной оценки сплошности изделия, полученного по экструзионной аддитивной технологии.

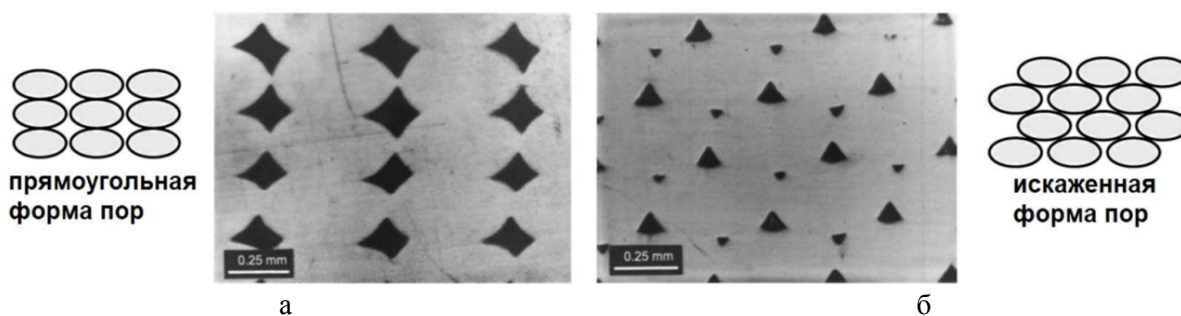


Рис. 3. Характерная форма пор при 100 % заполнении сечения в процессе экструзионной технологии 3D-печати [3]: (а) прямоугольный стиль заполнения (б) искаженный (skewed) стиль заполнения

В данной статье рассматривается стирол-бутадиен-стирольный термоэластомер (SBS, СБС), являющийся известным материалом для полимерного машиностроения и новым материалом для аддитивного производства, в котором он применяется для получения изделий по экструзионной аддитивной технологии (FFF/FDM). Основные качества СБС-пластика – прозрачность, гибкость и лёгкость, влагостойкость. Благодаря этим качествам данный материал крайне полезен для 3D-печати. СБС-пластик в отличие от АБС-пластика обладает более гибкой структурой, в отличие от ПЛА-пластика – менее ломкий и эластичный; проявляет хорошую адгезию к рабочему столу 3D-принтера. При экструзионной 3D-печати данный СБС-пластик не выделяет токсичных веществ, усадка составляет около 1 %. Требования к его производству представлены в ИТС 32-2017 [4] и ГОСТах, на которые он ссылается.

На рынке расходных материалов для аддитивного производства СБС-пластик появился примерно в 2019–2020 гг., в связи с чем нет систематизированной базы данных либо справочных данных о результатах исследований комплекса свойств СБС-пластика для 3D-печати. Это делает изучение свойств данного материала актуальным.

Целью данной статьи является экспериментальная проверка данной гипотезы о возможности оценки сплошности изделия, полученного по экструзионной аддитивной технологии, по величине диэлектрической проницаемости материала, в качестве которого выбран стирол-бутадиен-стирольного пластика (СБС-пластика). Варьируемыми параметрами являются параметры стиля заполнения и толщина слоя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- экспериментально определить значение диэлектрической проницаемости для образцов СБС-пластика, полученных по различным режимам экструзионной аддитивной обработки;
- систематизировать информацию из различных источников о диэлектрической проницаемости СБС-пластика, обработанного по технологии литья (прессования);
- выполнить анализ полученных результатов и сформулировать рекомендации о режиме 3D-печати, обеспечивающего получение максимально сплошного образца.

Методика проведения исследования и характеристика материала образцов

Проверка выдвинутой гипотезы основа на проведении экспериментальных исследований и последующем сопоставлении электрических свойств исследуемого пластика, напечатанного на 3D-принтере, с электрическими свойствами СБС-пластика, обработанного по технологии литья. Исходя из этого сравнения будут сделаны выводы о сплошности, или наоборот, пористости образцов исследуемого СБС-пластика, изготовленных с применением аддитивных технологий. Результаты сравнения позволяют также определить параметры настройки 3D-печати по экструзионной технологии, оказывающие влияние на диэлектрическую проницаемость.

Электрические свойства образцов СБС-пластика (спектры диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в широком диапазоне частот) измерялись методом широкодиапазонной диэлектрической спектроскопии с использованием прецизионного измерителя LRC марки Good Will Instek RCL-781005G. Диапазон измерения электрических свойств 20 Гц – 5 МГц. Принципиальная схема установки образца показана на рис. 4.

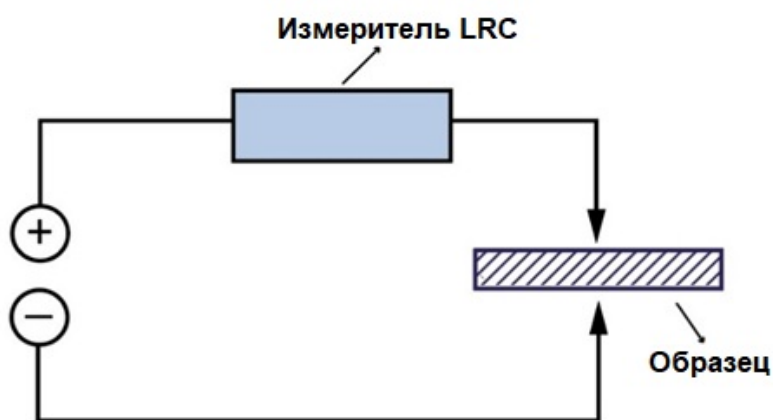


Рис. 4. Схема установки образца при подготовке испытания

Определение диэлектрической проницаемости выполнено по основе измерения емкости плоского конденсатора, между пластинами которого помещается образец исследуемого материала. До начала испытания выбирается режим. Режим определяется выбранным диапазоном частот. В наших экспериментах для каждого образца выполнено по два измерения электрического сопротивления и ёмкости конденсатора. Измеренные значения позволяют определить значение диэлектрической проницаемости.

Образцы СБС-пластика изготавливаются с применением экструзионной технологии 3D-печати на 3D-принтере «Anycubic i3 Mega S», имеющего открытую конструкцию. Внешний вид образца показан

на рис. 5. Образец имеет размеры: диаметр 20,0 мм и толщина 1,1 мм. Общее количество образцов для испытаний – 36, по 3 образца для каждого исследуемого режима 3D-печати. Под «режим 3D-печати» понимается набор параметров настройки 3D-принтера: температура сопла и рабочего стола, скорость перемещения печатающей головки, параметр flow; тип и параметры заполнения, толщина слоя, ширина линии слоя.

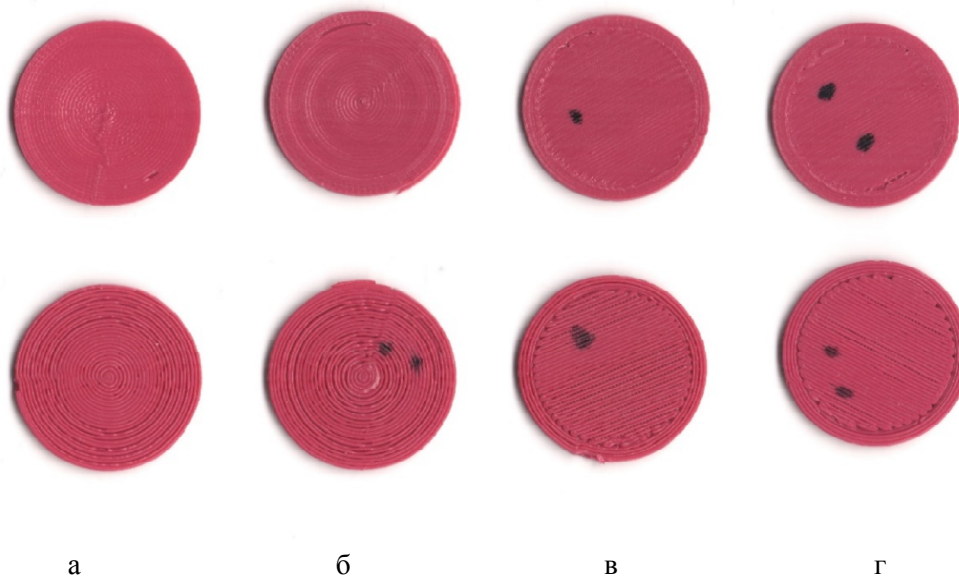


Рис. 5. Внешний вид образцов для испытания: (а) заполнение – толщина стенки (б) заполнение – concentric (в) заполнение – Lines (г) заполнение – Zigzag

3D-печать образцов проводилась без поддержек, постобработка образцов включала в себя отделение образцов от подложки и удаление технологических неровностей на верхнем и нижнем торцах, что позволяет уменьшить возможную погрешность измерений в опытах с применением измерителя LRC.

Основные параметры настройки 3D-принтера:

- 1) температура сопла и рабочего стола – 240° и 80 °С;
- 2) скорость перемещения печатающей головки – 30 мм/с;
- 3) параметр flow – 100 %.

Сопло установлено в печатающую головку (рис. 6). Температура в области сопла измерялась термопарой тип К и составила $\approx 50^\circ \text{C}$.

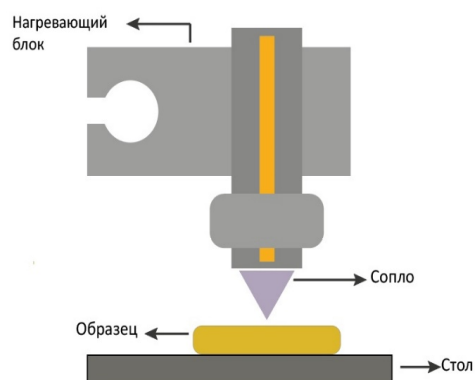


Рис. 6. Схема печатающей головки по технологии FFF/FDM

Варьируемые параметры настройки 3D-принтера (рис. 7):

- 1) тип и стиль заполнения (стенка выкладывается стилем concentric для всех образцов):
– за счет толщины стенки (обеспечивается 100 %-ное заполнение без параметра Infill) (рис. 5а и рис. 7, «1.х»);

- Concentric (100 %) (рис. 5б и рис. 7, «2.х»);
- Lines (100 %) (рис. 5в и рис. 7, «3.х»);
- Zigzag (100 %) (рис. 5г и рис. 7, «4.х»);

2) толщина слоя (при диаметре сопла 0,4 мм) для каждого стиля заполнения – 0,1 мм, 0,2 мм, 0,3 мм;

3) ширина линии слоя (при диаметре сопла 0,4 мм) – 0,4 мм, постоянная величина для сопла выбранного диаметра.

С учетом варьируемых параметров для каждого образца введено обозначение «1.х»–«4.х» (рис. 7). Первая цифра соответствует типу заполнения (в той же очередности, в которой они перечислены на рис. 5), а вторая – толщине слоя. Так, например, образец с номером 2.3 – напечатан типом заполнения Concentric при толщине слоя 0,3 мм.

При заполнении стилем толщина стенки (shell) устанавливается равной 1,2 мм и Top/Bottom = 1,2 мм (см. рис. 7, «2.х», «3.х», «4.х»). При заполнении стенкой – процент заполнения принимается равным 25, толщина стенки Top/Bottom = 12,0 мм (см. рис. 7, «1.х»).

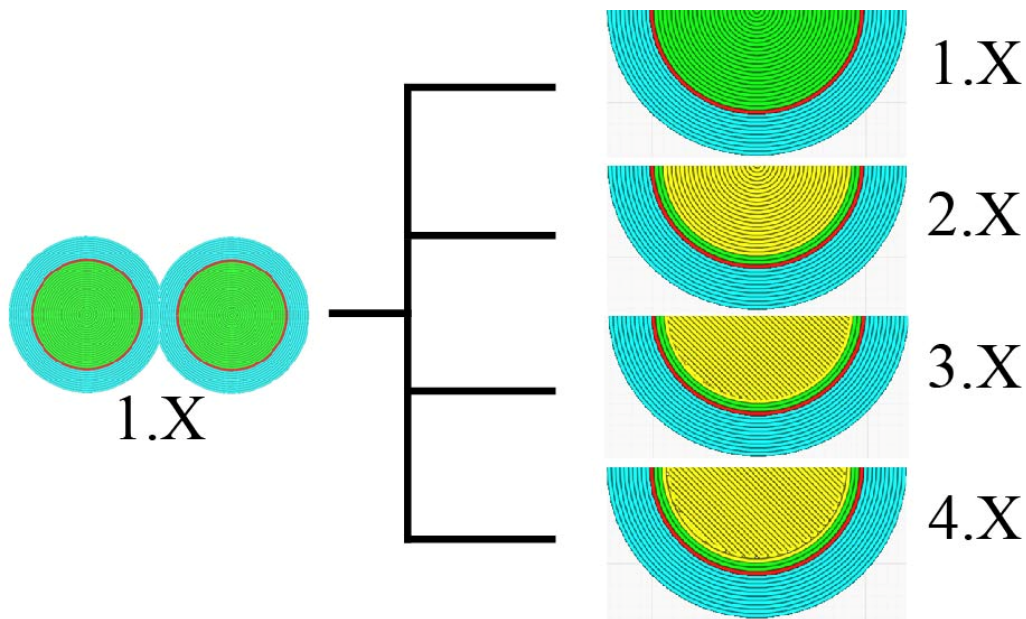


Рис. 7. Образец для испытания в разрезе

Обработка результатов экспериментального исследования

Результаты экспериментов, проведенных с образцами по вышеописанной методике, обработаны. При обработке результатов определена диэлектрическая проницаемость (ϵ) для каждого образца по формуле

$$\epsilon = \frac{4Ct_0}{\pi \times \epsilon_0 \times D_0^2} \quad (1)$$

где C – ёмкость конденсатор с образцом, t_0 – толщина исходного образца, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, D_0 – диаметр исходного образца.

Формула (1) позволила определить значение диэлектрической проницаемости для всех образцов, изготовленных по экструзионной аддитивной технологии (см. рис. 5 и 7). Далее проанализируем полученные результаты и их сопоставимость со значением диэлектрической проницаемости SBS-пластика, обрабатываемого по традиционным технологиям полимерного машиностроения.

Результаты систематизации информации о диэлектрической проницаемости SBS-пластика обработанного по традиционной технологии

За эталонные данные для сравнения взяты сведения о диэлектрической проницаемости SBS-пластика из открытых источников [5–10]. Традиционные способы обработки (литье, прессование) позволяют получить сплошную структуру без пустот. В табл. 1 представлены значения диэлектрической проницаемости, найденные в результате информационного поиска в научно-исследовательских статьях и справочниках.

Диэлектрическая проницаемость стирол-бутадиен-стирольного пластика [5–10]

Наименование группы	Диэлектрическая проницаемость, ϵ
SBR-Al [5]	2,2–3,7 Примечание: увеличение процентной концентрации алюминиевого порошка в СБР-пластике приводит к увеличению значения диэлектрической проницаемости 2,2–2,4 в диапазоне частот от 1 кГц до 1 МГц для СБР-пластика без добавки алюминиевого порошка
SBS-пластик [6]	2,8; значение частоты не указано
MGSBS (98,5 %) [6]	11,4; значение частоты не указано
SBR-NBR + Ni(OH) ₂ [7]	7,6–12,5 в диапазоне частот от 63,0 Гц до 0,1 МГц
SBR-NBR + CoO [7]	8,8–17,0 в диапазоне частот от 63,0 Гц до 0,1 МГц
SBR+Chlorine1 [8]	3,5–1,2 в диапазоне частот от 100,0 Гц до 1,0 МГц при температуре 30 °С
SBR+Chlorine2 [8]	4,5–1,2 в диапазоне частот от 100,0 Гц до 1,0 МГц при температуре 30 °С
SBR+Chlorine3 [8]	6,2–1,6 в диапазоне частот от 100,0 Гц до 1,0 МГц при температуре 30 °С
SBS [9]	4,4 при 1,0 кГц
MGSBS [9]	11,8 при 1,0 кГц
MGSBS:PVDF:MWCNT [9]	24,3 при 1,0 кГц

Обсуждение результатов исследования диэлектрической проницаемости

Исходя из результатов обработки экспериментов построены графики, иллюстрирующие изменение диэлектрической проницаемости (рис. 8–11) в зависимости от частоты образца. Значение диэлектрической проницаемости (ϵ) изменяется в диапазоне от 1,9 до 3,1 при изменении частоты от 30 Гц до 5 МГц. Причем для образцов группы 2, изготовленных с толщиной слоя 0,1 и 0,2 мм, значения ϵ получены одинаковые (см. рис. 9).

Для СБС- или СБР-пластика без добавок, изготовленного по традиционной технологии производства, значение диэлектрической проницаемости составляет 2,8 [6] и 2,2–2,4 [5], соответственно. Значение ϵ для СБС-пластика, приведенное в работе [6], принято за эталонное для проведения сравнения. В качестве допущения пренебрегаем возможной зависимостью величины диэлектрической проницаемости от температуры стеклования, т. к. в работе [6] отсутствуют данные о температуре стеклования СБС-пластика.

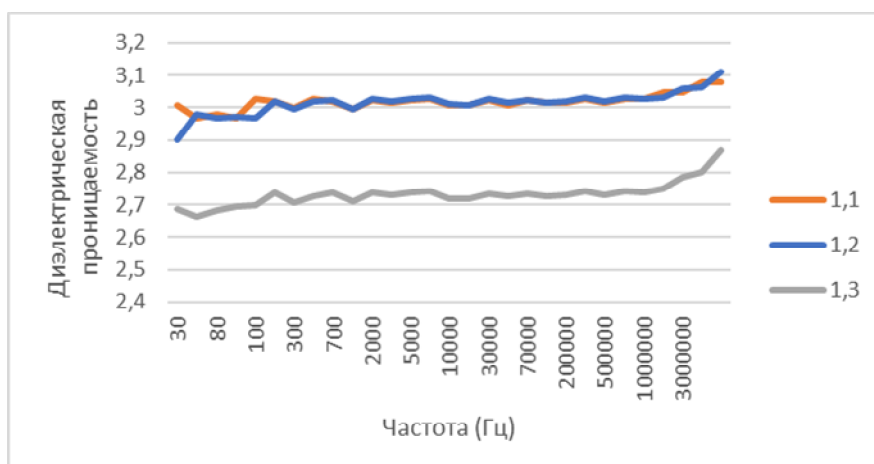


Рис. 8. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты для 1-го режима печати

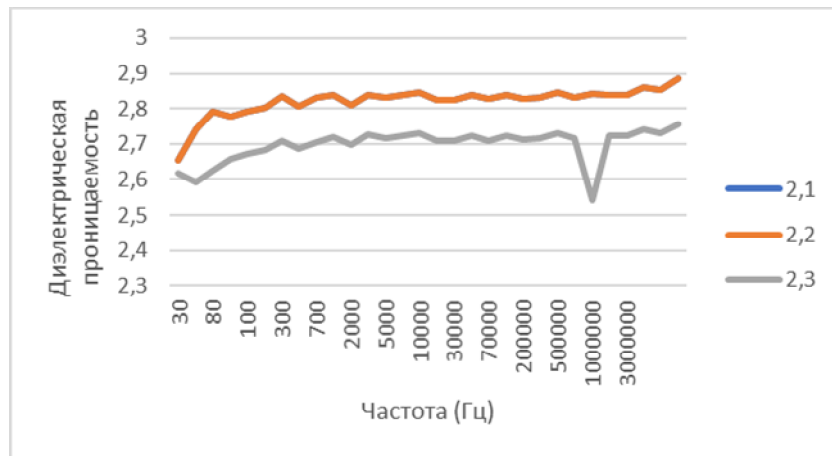


Рис. 9. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты для 2-го режима печати

СБС-пластик, подвергнутый обработке 3D-печатью и исследуемый в нашей работе, имеет среднюю температуру стеклования 101,96 °С. Данное значение было определено на основании результатов, полученных методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с применением прибора компании «Mettler Toledo». Режим проведения опыта по методу ДСК: нагрев в диапазоне 0–300 °С со скоростью 20К/мин в среде N₂. Для исследуемого СБС-пластика также принимаем, что в исходном состоянии (до 3D-печати) материал является сухим, т. к. ключевой особенностью материала является его высокая влагостойкость, позволяющая использовать его в условиях повышенной влажности.

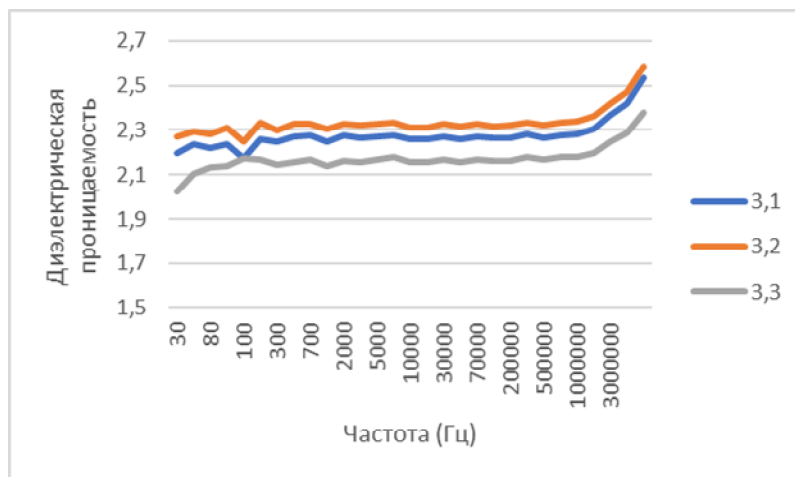


Рис. 10. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты для 3-го режима печати

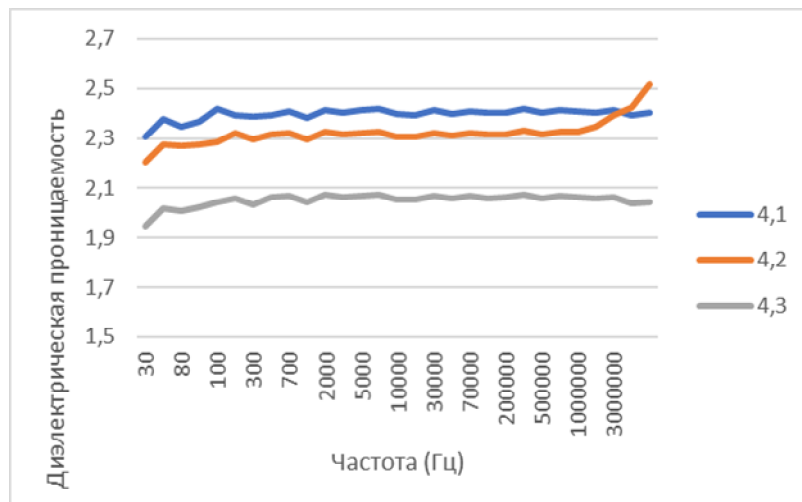


Рис. 11. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты для 4 режима печати

Для образцов группы 3 и 4 (см. рис. 7) диэлектрическая проницаемость (ϵ) имеет наименьшие значения (рис. 10 и 11) среди всех полученных значений ϵ (см. рис. 8–11). Значение ϵ для образцов группы 3 изменяется в диапазоне от 2,02 до 2,6, для группы 4 – от 1,94 до 2,52.

Для образцов группы 1 и 2 (см. рис. 7) диэлектрическая проницаемость имеет несколько большие значения: для образцов группы 1 – от 2,68 до 3,11 (см. рис. 8); для группы 2 – от 2,62 до 2,88 (см. рис. 9).

Сравнивая полученные значения ϵ с эталонным (2,8), можно отметить, что для некоторых из образцов значение ϵ выходит за диапазон эталонных значений. Так, например:

1) образцы группы 1, изготовленные с толщиной слоя 0,1 и 0,2 мм, имеют значение ϵ более 2,8, с толщиной слоя 0,3 мм – менее 2,8 во всем диапазоне частот (см. рис. 8);

2) образцы группы 2, изготовленные с толщиной слоя 0,1 и 0,2 мм, имеют одинаковые значения диэлектрической проницаемости во всем диапазоне частот (см. рис. 9);

3) образцы группы 2, изготовленные с толщиной слоя 0,1 и 0,2 мм при частоте от 200 Гц имеют значение ϵ более 2,8, с толщиной слоя 0,3 мм – менее 2,8 во всем диапазоне частот (см. рис. 9);

4) образцы группы 3 во всем диапазоне частот и при любой толщине слоя имеют значение ϵ от 2,02 до 2,33, и только при частоте 1 МГц и более наблюдается повышение диэлектрической проницаемости до 2,38–2,59 (см. рис. 10);

5) образцы группы 4 во всем диапазоне частот имеют значение ϵ от 2,20 до 2,52 для толщины слоя 0,2 мм и от 2,30 до 2,40 для толщины слоя 0,1 мм, при толщине слоя 0,3 мм наблюдается снижение диэлектрической проницаемости до 1,94–2,04 (см. рис. 11).

Если ориентироваться на эталонное значение диэлектрической проницаемости (2,8), можно принять, что наиболее сплошными образцами являются образцы группы 1 и группы 2 вне зависимости от толщины слоя, выбранной для 3D-печати (см. рис. 8 и 9) – отклонение диэлектрической проницаемости от эталонного значения составляет от –3,57 % до +7,14 %, т. е. в пределах 10,0 %. Кроме того, для всех исследованных образцов СБС-пластика прослеживается закономерность зависимости диэлектрической проницаемости от толщины слоя – увеличение толщины слоя приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости (см. рис. 8–11).

Для 1 и 2 режимов 3D-печати (см. рис. 8 и 9) прослеживается сильная разница между значением ϵ для толщины слоя 0,1 и 0,3 мм. На графиках явно видно, что при толщине 0,3 мм диэлектрическая проницаемость значительно меньше, чем при 0,1 мм или 0,2 мм.

Для 3 и 4 режимов 3D-печати (см. рис. 10 и 11) наблюдаются подобные закономерности, что и для образцов группы 1 и 2. На графиках, показанных на рис. 10 и 11 также прослеживается уменьшение диэлектрической проницаемости при толщине слоя 0,3 мм, но становится более ярко выраженной разница в значении ϵ для толщины 0,1 и 0,2 мм.

Сделать однозначный вывод о причине наблюдаемого расхождения результатов в зависимости от толщины слоя только на основании замера диэлектрической проницаемости достаточно сложно. Одна из возможных гипотез: с увеличением толщины слоя, увеличивается количество микропустот (пор), которые заполняются воздухом при формировании слоя и как следствие, диэлектрическая проницаемость материала уменьшается, стремясь к значению 1, характерному для воздуха в нормальных условиях. Для понимания причин наблюдаемого эффекта необходимо исследовать структуру образцов СБС-пластика методом оптической микроскопии в отраженном свете. Однако данное исследование выходит за рамки задач, поставленных в данной работе.

Таким образом, возможно предположить, что образцы группы 1 и 2 являются сплошными и не отличающимися от эталонного материала, образцы групп 3 и 4 имеют микропустоты (поры) заполненные воздухом, что приводит к снижению значения диэлектрической проницаемости. Пример пор показан на рис. 3.

Выводы

1. Значения диэлектрической проницаемости, полученные для исследуемого СБС-пластика, позволяют качественно оценить сплошность образцов, напечатанных по разным режимам 3D-печати. Полученные результаты показывают взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью и выбранным

режимом 3D-печати, в частности, некоторыми его параметрами: типом и стилем заполнения, толщине слоя.

2. Исходя из сравнения измеренной диэлектрической проницаемости с её эталонным значением образцы СБС-пластика, изготовленные с помощью 3D-печати по технологии FFF/FDM, не уступают аналогам, полученным традиционными методами [6]. Однако целесообразно изготовить из материала, исходного для 3D-печати, образцы, аналогичные тем, что были получены 3D-печатью, и определить их диэлектрическую проницаемость.

3. По результатам проведенных экспериментов наиболее сплошным образцом является образец 1.х и 2.х: стиль заполнения за счет толщины стенки (см. рис. 5а и 7, «1.х») и Concentric (см. рис. 5б и 7, «2.х»), соответственно, при любой толщине слоя.

4. По результатам проведенных экспериментов также можно отметить, что образцы 3.3 и 4.3, при толщине слоя 0,3 мм являются несплошными.

5. При толщине слоя 0,3 мм прослеживается уменьшение диэлектрической проницаемости для образцов СБС-пластика, полученных с применением стиля заполнения Lines и Zigzag (см. рис. 5в и 5г), что является косвенным показателем уменьшения сплошности за счет приближения значения ϵ к значению, характерному для воздуха в нормальных условиях. Процент микропустот (пор) может быть оценен количественно с применением оптической микроскопии в отражённом свете.

6. Для количественной оценки сплошности образцов исследуемого СБС-пластика необходимо провести дополнительные эксперименты методом оптической микроскопии в отражённом свете с целью определения процента сплошности образцов.

Библиография

1. Критерии выбора материала для литья пластмассовых изделий [электронное издание] – URL: <https://chenhsong.ru/2023/01/критерии-выбора-материала-для-литья-п/> (дата обращения: 11.04.2023).
2. Петров П.А., Бронин М.А., Сапрыкин Б.Ю., Долгов М.А. 3D-печать низкотемпературным пластиком // Аддитивные технологии. 2022. № 1. С. 26–29.
3. Blok L.G., Longana M.L., Yu H., Woods B.K.S. An investigation into 3D-printing of fiber reinforced thermoplastic composites // Additive Manufacturing. 2018. V. 22. P. 176–186.
4. ИТС 32-2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. Москва, Бюро НДТ, 2017.
5. Renukappa N.M., Siddaramaiah B., Sudhakar Samuel R.D. Styrene butadiene rubber/aluminum powder composites-mechanical, morphological and electrical behaviors // J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 2007. V. 18, N 6. P. 635–645.
6. Ellingford C., Zhang R., Wemyss A.M., Bowen C., McNally T., Figiel L., Wan C. Intrinsic Tuning of Poly(styrene-butadiene-styrene)-Based Self-Healing Dielectric Elastomer Actuators with Enhanced Electromechanical Properties // ACS Applied Materials & Interfaces. 2018. V. 10, N 44. P. 38438–38448.
7. Abu-Abdeen M., Nasr G.M., Osman H.M., Aboud A.I. The Electrical Properties of SBR-NBR inter-linked composites loaded with metal salts // Egyptian Journal of Solids. 2002. V. 25, N 2. P. 275–294.
8. Anilkumar T., Ramesan M.T. Fire Resistance and Temperature dependent Electrical properties of Chemically modified Styrene Butadiene Rubber // Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences. 2016. Special Issue 1, N 1. P. 91–96.
9. Ellingford C., Wan C., Figiel L., McNally T. Mechanical and dielectric properties of MWCNT filled chemically modified SBS/PVDF blends // Composites Communications, 2018. V. 8. P. 58–64.