

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Хаширова Азамата Аскеровича на тему «Влияние технологических режимов FDM-печати на свойства изделий из полифениленсульфона и его композита с дискретным углеродным волокном», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
02.00.06 - высокомолекулярные соединения

Актуальность темы диссертационной работы

Моделирование методом послойного наплавления (FDM) – технология аддитивного производства, широко используется при создании трехмерных моделей, при создании прототипов и в промышленном производстве. Несмотря на неоспоримые преимущества аддитивных технологий по сравнению с традиционными технологическими методами, существуют принципиальные ограничения, которые сдерживают применение технологий 3D-печати. Эти ограничения, в первую очередь, связаны с выбором материалов для печати. В этой связи класс полимерных материалов является одним из основных для технологий этого типа. Кроме того, в настоящее время отсутствует достаточно четко отработанные технологические режимы и рекомендации для производства изделий со стабильными свойствами, структурой и формой. Эти задачи требуется решать с учётом конкретно выбранных материалов, тщательно изучать технологические характеристики режимов печати, находить взаимосвязь этих характеристик со структурой и свойствами полученных материалов и изделий из них.

Всё сказанное выше подтверждает несомненную актуальность выбранного автором диссертации направления исследований, связанное с решением задачи повышения физико-механических свойств изделий, полученных с применением FDM-печати путем варьирования режимов печати. Перспективны и востребованы промышленностью и выбранные объекты исследования - полифениленсульфон и угленаполненный композит на его основе, обладающие высокими эксплуатационными свойствами по сравнению с рядом других конструкционных полимеров. Высокая потребность в изделиях из полифениленсульфона определяется высокими температурными, электрическими, механическими свойствами, высокой трещиностойкостью,

химической стойкость и рядом других высоких эксплуатационных характеристик. Очень важным свойством полифениленсульфона для 3D печати является его термопластичность и малая и равномерная усадка при формовании изделий. Однако, несмотря на обширную область применения суперконструкционных полимеров, для решения задач создания материалов и изделий с требуемым комплексом эксплуатационных свойств наиболее перспективным направлением материаловедческой науки является создание гетерогенных композиционных материалов. Модификация суперконструкционных полимеров наполнителями различной природы позволит и в случае применения технологии 3D печати придавать изделиям требуемый комплекс свойств. Этот подход автор работы также учитывает при постановке цели и задач проводимых исследований.

На основании вышеизложенного, можно утверждать, что направленность работы входит в научно-технологические российские и мировые приоритеты, а диссертационное исследование Хаширова А.А., посвященное комплексному исследованию влияния технологических параметров печати на основные свойства изделий из полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе, представляется важным и актуальным.

Краткое рассмотрение содержания диссертации

Диссертация представлена на 124 страницах, иллюстрированных 64 рисунками, содержит 15 таблиц, состоит из введения, обзора литературы, обсуждения результатов, выводов и списка литературы (127 наименований). Остановимся на краткой характеристике содержания отдельных глав.

Во введении обоснованы актуальность выбранного направления исследования, сформулированы цели и задачи исследования, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту научные положения, степень достоверности полученных результатов, сведения об апробации результатов работы.

Глава 1 (Обзор литературы) состоит из четырех разделов и заключения.

В главе выполнен обзор и анализ литературы в области технологии 3D-печати, особенностей применения полимеров и полимерных композиционных материалов в аддитивных технологиях. Особое внимание уделено технологии

печати методом FDM, суперконструкционным полимерам, применяемым в 3D-печати, влиянию режимов печати на свойства 3D-изделий. Анализируя научно – техническую информацию, автор констатирует, что при использовании 3D технологии правильный выбор режимов печати является одним из важнейших факторов, определяющих свойства материалов и изделий из них. Очень важным представляется и утверждение автора о том, что в настоящее время остро стоит вопрос о внедрении новых ГОСТов для аддитивных технологий и изделий, изготовленных с их применением, в которых необходимо указать конкретный режим печати и конкретную оптимальную для данной технологии геометрию образцов.

Материал, изложенный в литературном обзоре, дает достаточно полное представление о проводимых в настоящее время научных исследованиях, технологических решениях и проблемах, связанных с вопросами аддитивных технологий, в частности технологиями 3D печати. Выполненный анализ научно-технической литературы позволил правильно и обоснованно сформулировать научные и прикладные задачи, выбрать материалы и явился базой для последующего обоснования и развития научной стороны диссертационной работы.

Несмотря на положительную оценку проведённого автором анализа научной литературы возник ряд незначительных замечаний, которые будут сформулированы ниже.

Глава 2 (Экспериментальная часть) содержит описание методик получения образцов из полифениленсульфона и композита с дискретными углеродными волокнами на его основе, полученных методом 3D печати, методов изучения их свойств и структуры. Несомненной заслугой автора работы является самостоятельное получение объектов исследования, что позволяет менять технологические режимы при печати исследуемых образцов. Следует отметить достаточно большое число объектов исследования, представленных в работе, технология получения которых чётко описана в тексте диссертации. Автором не только проведена и изучена печать полифениленсульфона и композита на его основе, но и получен филамент для

3D-печати с заданным диаметром, что тоже является достаточно непростой задачей в случае волокнонаполненного материала.

Совокупность экспериментальных приемов для решения поставленных перед диссертантом задач обеспечивает необходимую для квалификационной работы надежность и достоверность представленных в ней результатов.

Глава 3 (Обсуждение результатов) включает значительный объем экспериментального материала и достаточно глубокий анализ полученных результатов. Поставленные диссертантом задачи последовательно раскрываются в четырех частях обсуждения результатов.

В разделе 3.1 представлены результаты по исследованию влияния углов укладки (ориентации) нитей при печати на физико-механические свойства напечатанных образцов из полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе.

Автором подробно изучено влияние ориентации нити при печати на физико-механические свойства 3D-изделий. При этом, отмечу, что предложенное автором деление режимов на три группы относительно изотропные, продольные и поперечные автор действительно позволяют облегчить восприятие обширного экспериментального материала, представленного в работе. Выявлено, что наиболее оптимальным режимом является продольная ориентация, которая демонстрирует наиболее высокие физико-механические свойства по сравнению с другими группами (изотропной и поперечной). При обсуждении результатов обращает на себя внимание тщательное рассмотрение каждого наблюдаемого эффекта. Так, обнаружив слияние растров при печати композиционного материала, автор подключает совокупность различных физико-химических методов исследования, чтобы объяснить наблюдаемое явление, что позволяет ему выявить ряд факторов, влияющих на формирование свойств напечатанных изделий из угленаполненного полифениленсульфона. В том числе, определяющее влияние межрастрового сцепления, на которое большое влияние оказывает наличие наполнителя.

К практическим важным результатам данного раздела работы следует отнести определение оптимальных углов укладки нитей, выявление

перспективности печати со смещением для повышения физико-механических свойств изделий, выявление особенностей печати волокнонаполненных композитов, удачное использование хроматографического метода для количественного анализа выделяющихся газов при изготовлении филамента и растра.

Логическим развитием исследований Хаширова А.А. явилось исследование влияния степени межрастрового сцепления на физико-механические свойства напечатанных образцов из полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе.

Диссертантом, в разделе 3.2, подробно рассмотрена роль межрастровых зазоров в формировании свойств напечатанных образцов с использованием 5 режимов со смещением и без. Обращает на себя внимание, что снижение значения межрастрового зазора приводит к линейному повышению ударной вязкости более чем на 100%, модуль изгиба возрастает на 155 %, модуль растяжения на 36 %, прочность при изгибе и растяжении на 92 и 138 % соответственно. В случае композита при этом режиме ударная вязкость повышается всего на 12 %, модуль изгиба и растяжения на 45 и 20 %, предел прочности при изгибе и растяжении на 39 и 33 % соответственно, что подтверждает предположение автора, сделанное в предыдущем разделе о значительном влиянии межрастрового сцепления на свойства напечатанных образцов.

Важно, что выявлен оптимальный режим, при котором образцы из ненаполненного полифениленсульфона характеризуются ударопрочностью и упруго-прочностными свойствами, превосходящими даже литьевые образцы.

В разделах 3.3-3.4 последовательно рассмотрено влияние высоты слоя и ширины нити, а также особенностей внутреннего заполнения изделий на физико-механические свойства напечатанных образцов из полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе.

Интересным и, безусловно, полезным является заключение автора, что наиболее эффективным режимом печати является большая высота слоя и минимальная ширина растра, которые обеспечивают более высокие механические свойства, а сетчатое заполнение позволяет значительно

облегчить изделие, сократить количество затрачиваемого материала и время печати.

Можно отметить квалифицированное использование методов механических испытаний, электронной микроскопии, газовой хроматографии, капиллярной вискозиметрии для объяснения обнаруженных эффектов при проведении экспериментальных исследований.

Научная новизна работы

Научные результаты работы сформулированы в диссертации и автореферате достаточно подробно. Кратко их можно обобщить следующим образом:

- установлены закономерности изменения физико-механических свойств высокотемпературного термопласта полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе в зависимости от некоторых важнейших технологических параметров FDM-печати (направления печати, сдвигового режима, межрастрового зазора, размеров растров), что позволяет решить задачи получения 3D- изделий с заданными свойствами;
- показана принципиальная возможность достижения свойств литевых изделий для напечатанных образцов в режиме FDM-печати и установлены режимы, позволяющие напечатанным образцам не уступать по свойствам литевым;
- в режимах FDM-печати с сетчатым заполнением установлена взаимосвязь размеров сетки с основными физико-механическими свойствами образцов из полифениленсульфона и угленаполненного композита на его основе, что является существенным результатом, так как такие режимы печати позволяют значительно экономить материал при сохранении требуемых свойств;
- выявлены отличительные особенности печати угленаполненного композита на основе полифениленсульфона и дополнительные параметры, определяющие формирование свойств 3D-изделий из композитных материалов с дискретными углеволокнами.

Практическая значимость работы

Ряд полученных сведений являются, несомненно, новыми и важными для рассматриваемой области технологии полимеров и композитов, т.к. позволяет

создавать изделия с использованием требуемых материалов и обладающие необходимыми эксплуатационными свойствами.

Практическая значимость результатов работы, определяется, прежде всего, тем, что исследуется и устанавливается взаимосвязь технологических режимов получения с одними из основных эксплуатационных свойств конструкционных полимерных материалов – механическими свойствами (прочностью и жёсткостью, ударной вязкостью), что является крайне необходимыми для выбора оптимальных режимов 3D печати и определения области применения изделий. Результаты работы являются крайне важными для совершенствования технологий формования изделий из полимерных материалов, получаемых методом FDM и могут найти применение в производстве сложных изделий конструкционного назначения в различных высокотехнологичных отраслях экономики: авиакосмической, оборонной, автомобильной, электротехнической, и ряде других. Эти результаты также могут служить основой при разработке теоретических основ прогнозирования свойств изделий, полученных методом FDM. Полученные результаты могут служить методологической основой для формирования новых ГОСТов на изделия, изготовленные на 3D-принтерах

Практическая значимость подтверждается и актом внедрения результатов работы (приложение к диссертационной работе).

Достоверность полученных результатов

Полученные в работе данные обосновываются и подтверждаются:

применением правильно выбранных, как методологических подходов, так и методов исследования; статистической обработкой представленных результатов; соответствием полученных результатов, существующим представлениям в области исследований структуры и свойств полимерных и полимерных композиционных материалов.

Все вышесказанное, несомненно, можно отнести к достоинствам работы.

Основные вопросы и замечания по работе следующие:

При общей положительной оценке диссертации имеются отдельные замечания:

- представляется, что Глава 1 была бы более информативна, если автор уделил больше внимания вопросам, связанным с особенностями структуры исследуемого полимерного материала, адгезионного взаимодействия матрица-наполнитель для выбранных материалов;

- в таблицах 3, 4 в которой приведены свойства ПК и ПА для FDM печати от компании «Stratasys», по-видимому, допущены опечатки при указании модулей упругости ПК и ПА при изгибе: 2 МПа, вместо 2 ГПа; 1,9 МПа (вместо 1,9 ГПа);

- для более глубокого понимания процессов разрушения, в работе следовало бы привести диаграммы растяжения исходных нитей, изготовленных образцов, как ненаполненных, так и композиционных;

- в работе обсуждаются в основном композиты с содержанием 10 % наполнителей; интересно было бы изучить зависимость свойств напечатанных образцов от количества введенного в полифениленсульфон углеволокна;

- что, по мнению автора, является основным фактором, влияющим на механические свойства напечатанных образцов в режиме FDM-печати, наличие пустот при печати или прочность взаимодействия на границе раздела растров?

- за счет чего модуль упругости и прочность некоторых напечатанных образцов превосходит свойства литьевого образца?

- за счет чего режим $+45/-45^\circ$ обеспечивает наиболее высокие свойства для композита, тогда как для ненаполненного ПФСн образцы, напечатанные при данном режиме, показывают наиболее низкие свойства среди условно изотропных образцов?

- за счет чего режим смещения для продольной ориентации при нулевом зазоре дает высокую ударную вязкость?

- широкий спектр исследований, к сожалению, не позволил автору в ряде случаев более детально рассмотреть влияние ориентации наполнителя в полимерной матрице при печати на свойства изделий.

Сделанные замечания не снижают научной ценности работы, не ставят под сомнение ее результаты и выводы.

Общая оценка выполненных диссертантом исследований и работы в целом

Оценивая работу в целом, следует сказать, что высказанные замечания не имеют принципиального значения и не перечеркивают высокой положительной оценки диссертации Хаширова А.А.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в научной печати и доложены на научно-технических конференциях. Статьи, тезисы докладов по материалам диссертации перечислены в автореферате.

Диссертация тщательно оформлена и имеет правильный стиль изложения.

Автореферат по содержанию отвечает тексту диссертации.

Общее заключение о диссертационной работе следующее:

Диссертация соответствует паспорту специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения по п. 8: Усовершенствование существующих и разработка новых методов изучения строения, физико-химических свойств полимеров в конденсированном состоянии и других свойств, связанных с условиями их эксплуатации; и п. 10: Решение технологических и экологических задач, связанных с первичной и вторичной переработкой полимерных материалов.

По актуальности темы исследования, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационная работа «Влияние технологических режимов FDM-печати на свойства изделий из полифениленсульфона и его композита с дискретным углеродным волокном» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», т.к. является научно- квалификационной работой в области технологии и переработки полимеров и композитов, в которой на основании установленной взаимосвязи технологических режимов и эксплуатационных свойств материалов из конструкционных полимеров и композитов на их основе, изложены новые технологические решения, направленные на совершенствования технологий формования изделий из полимерных материалов, получаемых методом FDM, что крайне востребовано при производстве сложных изделий конструкционного назначения в различных высокотехнологичных отраслях экономики, а ее автор, Хаширов Азамат

Аскерович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
инженерного материаловедения
и метрологии ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский
государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
доктор технических наук, профессор



Е.С. Цобкалло

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна»
191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18
E-mail: tsobkallo@mail.ru
Тел.: +7 (812) 315-75-25

