

ОТЗЫВ

официального оппонента Мелентьева Сергея Владимировича на диссертационную работу Бусловича Дмитрия Геннадьевича на тему «Разработка экструдированных износостойких СВМПЭ композитов для переработки методом шнековой экструзии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 - Материаловедение (ранее 05.16.09)

Актуальность темы диссертации

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) благодаря своим уникальным свойствам широко применяется в областях техники, где обычные марки полимеров не выдерживают жестких условий эксплуатации. СВМПЭ, в ряде случаев, способен заменить металлы, а в некоторых областях используется как единственный пригодный материал. Несмотря на привлекательные эксплуатационные характеристики, получение изделий из СВМПЭ сопряжено с рядом технических проблем. Прежде всего, по причине сверхвысокой вязкости, СВМПЭ практически не способен перерабатываться методами литья под давлением и экструзии. Изготовление же объемных изделий из СВМПЭ другими методами экономически затратно и/или требует использования сложного и дорогостоящего технологического оборудования. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение композитов на его основе, содержащих пластифицирующие добавки (модификаторы). Это позволит значительно улучшить технологические свойства при сохранении физико-механических на уровне исходного полимера, а также изготавливать изделия традиционными для полимеров методами: литье под давлением, экструзия и др. В то же время введение подобных добавок неизбежно сопровождается снижением физико-механических характеристик.

В связи с вышесказанным диссертационная работа Бусловича Д.Г. посвящена **актуальной** проблеме, а именно созданию экструдированных износостойких полимерных композитов на основе СВМПЭ, не уступающих по свойствам ненаполненному полимеру, включая повышение прочностных свойств введением армирующих волокон.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Бусловича Д.Г. состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка публикаций по теме диссертации, а также списка литературы из 150 источников. Текст диссертации изложен на 171 странице, включая 75 рисунков и 39 таблиц.

Во введении отражена актуальность диссертационной работы, степень разработанности темы исследования, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология исследований. Изложены положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробации результатов. Описаны личный вклад автора, соответствие диссертации паспорту специальности и структура диссертационной работы.

Первая глава содержит литературный обзор по теме диссертации, и завершается постановкой цели и задач исследования.

Вторая глава является методической. В ней описаны материалы и методики исследований, включая способы получения заготовок методом горячего прессования и экструзионного компаундирования в экструдерах. Описаны методы определения эксплуатационных характеристик. Подробно приведено описание методов оценки ключевых физико-механических и трибологических свойств исследованных материалов.

В третьей главе представлены результаты анализа экструдируемости композитов на основе СВМПЭ при введении пластифицирующих (полимерных) добавок. Проведены исследования структуры, механических и трибологических свойств полимерных композитов на основе СВМПЭ, которые в данном разделе были получены только методом горячего прессования порошковых смесей.

Показано, что наиболее эффективными пластифицирующими наполнителями для матрицы СВМПЭ в плане сохранения механических и трибологических свойств, а также обеспечения приемлемой технологичности следует считать полимерные добавки «10 вес. % ПЭВП-прив-ВТМС + 10 вес. % ПП21030», а также ПП21030 (в количестве 20 вес. %). Установлено, что наличие совместимого с СВМПЭ привитого полиэтилена обеспечивает высокие механические и трибологические характеристики, а частицы полипропилена способствуют повышению ПТР до - 0,15 гр./10 мин. Однако данного значения ПТР недостаточно для дальнейшего изготовления изделий методом шнековой экструзии. По этой причине в дальнейшем необходимо увеличивать содержание как ПП, так и ПЭВП-прив-ВТМС.

Четвертая глава посвящена разработке методики изготовления композитов одношнековой экструзией (из фидстоков, сформированных двухшнековым компаундированием), а также состава экструдируемого износостойкого композита на основе смеси СВМПЭ+ПП, обладающего совокупностью рациональных физико-механических свойств, не уступающих таковым для ненаполненного СВМПЭ. Также проведена оценка влияния условий испытаний на трибологические характеристики разработанного композита на основе СВМПЭ (сухого трения либо граничной смазки).

Полученные зависимости механических и триботехнических свойств от управляющих параметров построены в виде изолиний, на которых выделяется область с заданными ограничениями. Полученные графики всех характеристик накладываются друг на друга, и пересечение выделенных на них областей представляет область, отвечающей достижению всех заданных требований одновременно.

На основании полученных результатов установлено, что более высокими механическими свойствами, а также величиной ПТР, обладает композит на основе мелкодисперсного СВМПЭ GUR 2122: «СВМПЭ + 20 вес. % ПП21030». Достигнутое повышение деформационных характеристик данного композита связано с более равномерным распределением мелко диспергированных частиц ПП в СВМПЭ матрице и формированием более однородной структуры при экструзионном перемешивании компонентов. Показано, что интенсивность

изнашивания (в условиях сухого трения) композита «СВМПЭ GUR 2122 + 20 вес. % ПП21030», полученного экструзионным компаундированием фидстока с последующей одношнековой экструзией, на 15 % ниже, чем для ненаполненного СВМПЭ. Наличие в составе композита 20 вес. % ПП в виде мелкодисперсных включений приводит к заметному снижению температуры контртела, а поверхность образца трения становится более гладкой.

В пятой главе описаны результаты исследований СВМПЭ-композитов, полученные при введении разного количества ПП и ПЭВП-прив-ВТМС (в диапазоне 10-20 вес. %) с целью разработки оптимального состава экструдированного композита на основе СВМПЭ, обладающего одновременно повышенными механическими и трибологическими характеристиками. С использованием метода линейной интерполяции с применением полинома Лагранжа, на основании совокупности технологических (ПТР), механических и трибологических характеристик определен рациональный состав многокомпонентного экструдированного полимер-полимерного композита, а именно «СВМПЭ + 17 вес. % ПЭВП-прив-ВТМС + 12 вес. % ПП».

В шестой главе изложены результаты исследований по разработке рационального состава высокопрочного экструдированного износостойкого композита на основе матрицы «СВМПЭ + 17 % ПЭВП-прив-ВТМС + 12 % ПП» с добавлением полых стеклосфер и стекловолокон. Установлено, что независимо от аспектного отношения (полые стеклосферы, молотые стекловолокна - МСВ и рубленые стекловолокна - РСВ) рациональным содержанием стеклонаполнителя является 5 вес. %. Данное содержание обеспечивает повышение прочностных характеристик, высокую износостойкость композиций и достаточную для шнековой экструзии текучесть расплава. Метод одношнековой экструзии фидстоков, сформированных двухшнековым компаундированием многокомпонентных полимерных смесей с различным размером исходных компонентов, позволяет сформировать композит с однородной мелкодисперсной структурой и равномерным распределением наполнителей и, как следствие, обеспечить более высокие механические свойства.

Показано, что равномерное распределение и преимущественная ориентация стекловолокон, а также их адгезия к полимерной матрице в многокомпонентном композите «СВМПЭ + 17 вес. % ПЭВП-прив-ВТМС + 12 вес. % ПП + 5 вес. % РСВ», изготовленном одношнековой экструзией гранулята, обеспечивают прочностные (модуль упругости до 1500 МПа, предел текучести до 30 МПа) и трибологические свойства (интенсивность изнашивания до 1×10^{-6} мм³/Н×м), значительно превосходящие таковые для ненаполненного СВМПЭ.

В заключении приводятся выводы, сформулированные на основании анализа результатов проведенных исследований. **Выводы полно и адекватно отражают полученные в диссертационном исследовании результаты.**

В приложениях представлены патент на изобретение и акты о внедрении результатов кандидатской диссертации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной печати, в том числе в восьми статьях в журналах из перечня ВАК и одном патенте на изобретение.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения, выносимые автором на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и аргументированы, их достоверность не вызывает сомнений. Это обеспечено использованием общепринятого методологического подхода к решению научно-технических задач в рассматриваемой области, применением современных методов и средств исследований, взаимной согласованностью результатов диссертационного исследования, полученных различными методами, а также согласием результатов, представленных в диссертации, с существующими положениями в области материаловедения полимерных композитов. Материал в диссертации излагается логично и последовательно с необходимой степенью аргументации, что также обеспечивает обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- впервые предложен подход к дисперсному упрочнению СВМПЭ мелкодисперсными включениями ПП, реализуемый посредством жидкофазного диспергирования частиц размером несколько сотен микрометров в расплаве порошка СВМПЭ в двухшнековом экструдере, что позволило повысить модуль упругости на 50%, предел текучести на 20%, сопротивление изнашиванию на 60% при сухом трении и на 10% в условиях граничной смазки относительно чистого СВМПЭ. Это достигается за счёт формирования однородной структуры, а также диспергирования частиц полипропилена до размеров 10-15 мкм;

- впервые разработана методика определения рационального состава и режима изготовления экструдированных композитов СВМПЭ-ПП, использующая метод линейной интерполяции ограниченного количества экспериментальных данных с применением полинома Лагранжа, основанная на построении поверхностей эффективных (технологических, механических и трибологических) характеристик от значений управляющих параметров: а) содержания пластифицирующего компонента (полипропилена ПП21030) и б) количества переработок смеси в экструдере;

- в рамках представлений о материалах с иерархически организованной структурой впервые разработан экструдированный износостойкий композит на основе СВМПЭ, армированный стекловолокнами и упрочненный мелкодисперсными включениями полипропилена, обладающий высокими механическими и трибологическими характеристиками при различных нагрузочно-скоростных условиях трибонагружения.

Теоретическая значимость работы

Полученные результаты расширяют представления материаловедения полимеров в области закономерностей формирования структуры СВМПЭ-композитов при компаундировании компонентов с различными температурами кристаллизации.

Практическая значимость полученных результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

- по результатам выполнения исследований получен патент на изобретение №2674019 (дата выдачи 04.12.2018 г.) на состав разработанного экструдированного антифрикционного композита на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена;
- получен акт внедрения от ООО «НИОСТ» (г. Томск);
- по результатам проведенных исследований состав на основе мелкодисперсного порошка GUR2122 «СВМПЭ + ПЭВП-прив-ВТМС + ПП + МСВ», в котором повышение физико-механических характеристик достигнуто за счёт преимущественной ориентации стекловолокон и компатибилизации компонентов вследствие наличия в ПЭВП привитых силановых групп, рекомендуется для изготовления направляющих для роликовых и пластинчатых цепей, для конвейеров, а также для производства труб методами шнековой экструзии.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные в диссертации результаты и выводы могут быть использованы при разработке новых полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ в научных центрах (ИФПМ СО РАН, ВИАМ, АО «Композит», ИПНГ СО РАН, ИФТПС СО РАН и др.), в учебном процессе учреждений высшего образования при подготовке бакалавров и магистров, в том числе по направлению «Материаловедение и технологии материалов» в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана, Томском политехническом университете, Новосибирском государственном техническом университете, Северо-Восточном федеральном университете, Омском государственном техническом университете и других ученых заведениях высшего образования.

Замечания по диссертационной работе:

1. В диссертационной работе не приведены данные об использованной пресс-форме и принципе выбора режима прессования. Условия горячего прессования, двухшнековой экструзии, а также одношнековой экструзии могут приводить к окислению получаемых образцов, что может сильно сказаться на структуре, и соответственно, механических и трибологических характеристиках. Следовало бы обратить внимание на этот возможный фактор влияния на результаты испытаний.

2. В работе представлены оптические фотографии поверхностей дорожек трения при различных режимах испытаний. Стоило бы дополнительно оценить параметры поверхности образцов, например, оценить уровень шероховатости до и после трибологических испытаний.

3. В процессе двухшнекового компаундирования с последующей одношнековой экструзии формируется достаточно однородная структура композитов на основе СВМПЭ с характерным размером включений до 10 мкм. Возникает вопрос, возможно ли дополнительно уменьшить их размер за счёт повторной переработки компонентов в двух- или одношнековом экструдерах?

4. В некоторых случаях не обоснован выбор содержания наполнителей в исследуемых композитах, например, стекловолокон (страницы 117, 120 и 122).

5. В работе при использовании метода, основанного на построении поверхностей эффективных (технологических, механических и трибологических) характеристик от значений управляющих параметров получены области, из которых были определены оптимальные составы получаемых композитов на основе СВМПЭ. Однако данные области (в частности на рисунке 4.13. и рисунке 6.11) не являются всесторонними ограничениями. Возможно, стоило бы увеличить диапазон исследуемых управляющих параметров.

6. В работе при проведении триботехнических испытаний использованы лишь определенные диапазоны нагрузочно-скоростных параметров. Однако в трибосопряжениях изделий машиностроения, где в частности планируется применять разработанные композиты, условия могут значительно отличаться. Следовало бы указать такие количественные значения, и обсудить, насколько в этих условиях будут воспроизводимы и справедливы выявленные в работе закономерности.

Перечисленные замечания не снижают научной значимости и практической ценности полученных результатов и общей положительной оценки диссертации.

Общая характеристика работы

В работе четко сформулирована цель и задачи, а само исследование выполнено на высоком научном уровне. Прослеживается логическая взаимосвязь между главами, анализ литературных данных позволил автору, основываясь на ключевых концепциях материаловедения, правильно выбрать методику и пути исследования. Изложение диссертации выполнено хорошим научным языком, оформление соответствует установленным требованиям. С учетом полученных экспериментальных данных были разработаны экструдруемые волоконно-наполненные композиты на основе СВМПЭ, обладающие повышенными механическими, трибологическими и технологическими свойствами.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа соответствует пунктам № 1, 4 научной специальности 2.6.17 – Материаловедение (в соответствии с предыдущей редакцией номенклатуры паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)):

Пункт 1 - «Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий»;

Пункт 4 - «Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой».

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Бусловича Д.Г. «Разработка экструзируемых износостойких СВМПЭ композитов для переработки методом шнековой экструзии» является завершенной научно-квалификационной работой. По своему научному уровню, актуальности, новизне результатов и их достоверности, научной и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п. 9. «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Работа содержит новые знания и научно обоснованные технические решения, внедрение которых внесет существенный вклад в развитие экономики страны в сфере материалов машиностроительного и другого назначения. Автор диссертации, Буслович Дмитрий Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 - Материаловедение (ранее 05.16.09).

Официальный оппонент,

Ученая степень: кандидат технических наук,
шифр научной специальности 2.6.17 - Материаловедение (в соответствии с предыдущей редакцией номенклатуры паспорта специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении));

Должность: доцент кафедры прикладной механики и материаловедения (ПМиМ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО ТГАСУ)

04.06.2022 г.

 Мелентьев Сергей Владимирович

Почтовый адрес: 634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2

Телефоны: служебный 8(3822) 65-04-78; сотовый +7-906-949-50-30


E-mail: sergey.melentev.88@mail.ru

На обработку персональных данных согласен.

Подпись С.В. М
Ученый секрет
ФГБОУ ВО ТГ

 Какушкин Юрий Александрович

Презентует в совет 10.06.2022 

С отзывами ознакомлен 14.06.22г.  Буслович Д.Г. 7