



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Н.П. ОГАРЁВА»
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)**

ул. Большевикская, д. 68, г. Саранск,
Республика Мордовия, Россия, 430005,
телефон (8342) 24-37-32, 24-48-88, факс (8342) 47-29-13,
E-mail: dep-general@adm.mrsu.ru, http://www.mrsu.ru
ОКПО 02069964, ОГРН 1021300973275,
ИНН/КПП 1326043499/132601001

17.05.2022 № *02-01-39/320*
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

проректор
г. Огарёва»
профессор

П.В. Сенин
_____ 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва» на диссертационную работу Бусловича Дмитрия Геннадьевича «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 диссертационной работы

В настоящее время созданию конструкционных композиционных материалов на базе полимерных матриц для применения в различных областях промышленности уделяется пристальное внимание. Это обусловлено расширением номенклатуры доступных полимеров, обладающих высокими физико-механическими и триботехническими свойствами. Одним из достаточно востребованных полимеров по уровню функциональных свойств является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), что определяет исключительные области его промышленного применения. Несмотря на высокие физико-механические свойства СВМПЭ, получение изделий из него сопряженно с рядом технических проблем. Прежде всего, по причине сверхвысокой вязкости расплава СВМПЭ практически не перерабатывается методами литья под давлением и экструзии. Сложность переработки СВМПЭ в первую очередь, связана с тем, что этот материал переходит в высокоэластичное, но не в вязкотекучее состояние, необходимое для реализации процессов экструзии. Изготовление же объемных изделий из СВМПЭ другими методами экономически крайне затратно и требует использования сложного и дорогостоящего технологического оборудования. Работа Бусловича Д.Г. направлена

на решение данной задачи и поэтому является **актуальной**, как с научной, так и с технической точек зрения.

Значимость полученных автором диссертации результатов

Научная значимость работы заключается в следующем:

- впервые предложен единый подход к получению полимер-полимерных СВМПЭ-композитов, основанный на двухшнековом компаундировании и одношнековой экструзии, что позволило существенно повысить механические характеристики композитов по сравнению с традиционными методами изготовления;

- впервые развита методика определения рационального состава и режима изготовления экструдруемых композитов СВМПЭ-ПП, основанная на построении поверхностей эффективных характеристик от значений управляющих параметров, использующая метод линейной интерполяции ограниченного количества экспериментальных данных с применением полинома Лагранжа;

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

Практическая значимость полученных результатов. 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.

По результатам выполнения исследований получен акт внедрения от ООО «НИОСТ» (г. Томск). На состав разработанного экструдруемого антифрикционного композита на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена получен патент на изобретение №2674019 (дата регистрации 04.12.2018 г.).

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечиваются системным подходом к исследованиям с привлечением современных стандартизованных экспериментально-аналитических методов испытаний, а также согласием полученных результатов исследований с литературными данными и результатами других авторов.

Оценка содержания диссертации

Работа изложена на 171 стр., состоит из введения, 6 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка публикаций по теме диссертации, содержит 75 рисунков и 39 таблиц.

В **обзоре литературы** дан критический анализ опубликованных данных по теме диссертации. Обзор является весьма полным и хорошо отражает современное

состояние изучаемой проблемы. Следует отметить, что большая часть рассмотренных статей является публикациями в высокорейтинговых изданиях, поэтому обзор диссертации представляет собой самостоятельную ценность. Отмечены основные сведения о способах получения и перемешивания композитов на основе СВМПЭ. Приведены сведения о наполнителях различной природы и размеров. Рассмотрены результаты исследований, посвященных повышению экструзируемости СВМПЭ путем введения пластифицирующих наполнителей. На основании проведенного анализа различных методов переработки композитов на основе СВМПЭ, включая сопротивление изнашиванию формируемых полимерных композиционных материалов, делается постановка задач исследований.

Во **второй главе** описаны применяемые типы и размеры исходных порошковых и волокнистых материалов, способы изготовления заготовок методом горячего прессования и экструзионного компаундирования в экструдерах. Описаны методы определения эксплуатационных характеристик. Показатель текучести расплава (ПТР, г/10 мин) оценивали согласно ГОСТ 11645–73 (ASTM D1238) на приборе ИИРТ-5М. Испытания на растяжение проводили на электромеханической машине «Instron–5582». Триботехнические испытания в режиме сухого трения скольжения (износостойкость), а также граничной смазки проводили на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вал-колодка» в соответствии со стандартом ASTM G 77-98. Коэффициент трения образцов определяли по схеме «шар-по-диску» на трибометре CSEM CH2000. Для структурных исследований использовали оптическую и растровую микроскопию.

В **третьей главе** представлены результаты исследований, полученные при введении в СВМПЭ пластифицирующих (полимерных) добавок. В этом случае композиты были изготовлены только методом горячего прессования порошковых смесей. Показано, что наиболее эффективным пластифицирующим наполнителем для СВМПЭ (ПТР - 0,06 гр./10 мин.) является полипропилен (ПТР - 0,54 гр./10 мин.). Однако из-за отсутствия термодинамического сродства с СВМПЭ, полипропилен не образует с ним химической связи, тем самым обуславливая снижение предела прочности и удлинения при разрыве. В случае порошковой технологии формируется неоднородный по структуре композит, в котором вокруг крупных частиц ПП не образуется сплошная граница раздела с материалом матрицы. Поэтому для равномерного диспергирования ПП в матрице СВМПЭ необходимо дополнительно компаундировать компоненты смеси в двухшнековом экструдере. Установлено, что в трехкомпонентном композите «СВМПЭ + 10 вес.% ПП21030 + 10 вес.% ПЭВП-прив-ВТМС» наличие совместимого с СВМПЭ привитого полиэтилена обеспечивает высокие механические и трибологические характеристики, а частицы полипропилена способствуют повышению текучести расплава до ПТР - 0,15 гр./10 мин. Однако данного значения ПТР недостаточно для дальнейшего изготовления изделий методом шнековой экструзии. В связи с этим в дальнейшем необходимо повысить содержание как ПП, так и ПЭВП-прив-ВТМС.

В **четвертой главе** описаны результаты, полученные при варьировании типа и количества вводимого порошка ПП (с различным ПТР), а также размера исходных частиц СВМПЭ. Также исследованы структура, механические и трибологические

свойства композитов на основе смеси СВМПЭ-ПП, сформированной двухшнековым компаундированием полимеров. Установлено, что более высокими механическими свойствами, а также величиной ПТР обладает композит «СВМПЭ + 20 вес.% ПП21030». За счёт более высокого исходного ПТР частицы ПП лучше растекаются по объему материала композита. С увеличением исходного размера частиц СВМПЭ структура композита становится менее однородной: наблюдаются дефектность, трещины, расслоения. На основании полученных результатов заметно более высокими деформационно-прочностными свойствами обладает композит на основе мелкодисперсного СВМПЭ GUR 2122. Показано, что изменение количества ПП21030 от 20 до 40 вес. % не сопровождается принципиальным изменением характера сформированной структуры в композитах, полученных одношнековой экструзией фидстоков, сформированных двухшнековым компаундированием: во всех случаях изначально крупные частицы ПП оказываются мелко диспергированными в СВМПЭ матрице. На основании проведенных исследований наиболее эффективным составом пластифицированного СВМПЭ композита с позиций сохранения механических, повышения трибологических и придания технологических характеристик следует считать «СВМПЭ GUR 2122 + 20 вес. % ПП21030».

В пятой главе приведены результаты варьирования содержания ПП и ПЭВП-прив-ВТМС (в диапазоне 10-20 вес. %) на экструдирруемость, структуру и механические свойства композитов на основе СВМПЭ GUR 2122. Использован подход к определению оптимальной рецептуры композитов, в котором ограниченное количество экспериментальных данных дополняется применением процедуры интерполяции с целью получения непрерывных зависимостей. Полученные зависимости механических, трибологических и технологических (ПТР) характеристик от управляющих параметров строятся в виде изолиний, на которых выделяется область с заданными ограничениями. Полученные графики накладываются друг на друга, и пересечение выделенных на них областей является областью, отвечающей всем заданным требованиям одновременно. На основании результатов исследований структуры, механических и трибологических свойств СВМПЭ-композитов с варьированием содержания полипропилена и привитого полиэтилена рекомендован экструдиремый композит для дальнейшего введения стеклонаполнителя.

В шестой главе изложены результаты исследований по разработке рационального состава высокопрочного, экструдиремого, износостойкого композита на основе матрицы «СВМПЭ + 17 % ПЭВП-прив-ВТМС + 12 % ПП» с добавлением полых стеклосфер и стекловолокон. Установлено, что независимо от аспектного отношения (ПСС, МСВ и РСВ) рациональным содержанием стеклонаполнителя является 5 вес. %. Данное содержание обеспечивает повышение прочностных характеристик, высокую износостойкость композиций и достаточную для шнековой экструзии текучесть расплава. С помощью метода линейной интерполяции с использованием полинома Лагранжа на основании анализа справочных данных о количественных показателях направляющих определен композит «СВМПЭ + 17 % ПЭВП-прив-ВТМС + 12 % ПП», наполненный 5 вес. % молотых стекловолокон (МСВ), в котором при изготовлении заготовок

одношнековой экструзией достигаются повышенные механические свойства за счёт преимущественной ориентации стекловолокон и компатибилизации компонентов вследствие наличия в ПЭВП привитых силановых групп. Полученный композит рекомендуется для изготовления методом шнековой экструзии направляющих для роликовых и пластинчатых цепей, конвейеров, а также производства труб для перекачки агрессивных жидкостей.

Выводы диссертации полностью отражают и хорошо систематизируют полученные результаты.

Соответствие содержания работы 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)):

п.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»;

п.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» (п. 4).

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертационной работы не приведены соответствующие пояснения, по какой причине были выбраны используемые пластифицирующие наполнители для повышения экструзируемости СВМПЭ.

2. Известно, что показатель текучести расплава СВМПЭ практически равен нулю. Для повышения данного параметра вводятся пластификаторы, однако в работе нет описания механизма повышения ПТР при введении полипропилена и привитого полиэтилена. Автору следовало бы уделить данному вопросу больше внимания.

3. При переработке полимерных материалов в шнековом экструдере гомогенизация смеси определяется развитием сдвиговых деформации высокого уровня. Данный параметр непосредственно влияет на однородность получаемого на выходе из фильеры фидстока. Поэтому следовало бы произвести расчет величины сдвиговой деформации в процессе компаундирования порошковых смесей.

4. В диссертационной работе при описании стеклонаполнителей не дана их подробная характеристика. Известно, что значения деформационно-прочностных характеристик, модуля упругости, вида замасливателя, могут заметно повлиять на свойства получаемых композитов. Недостаточно подробно описаны аспекты диспергирования и деагломерации стекловолокон.

5. Так как изученные композиционные материалы на основе СВМПЭ предполагается использовать в качестве направляющих для конвейеров, помимо испытаний на растяжение следовало бы также провести испытания материалов на сжатие, и изучить физико-механические свойства материалов, проявляемых при

данном виде нагружения.

Заключение

Указанные замечания не относятся к сути сформулированных выводов и выносимых на защиту положений и не изменяют общего положительного впечатления от диссертации, заслуживающей высокой оценки.

В диссертации представлен комплексный подход к решению важной практической задачи – разработке экструдированных волокнонаполненных композитов СВМПЭ, обладающих улучшенными механическими и трибологическими свойствами за счёт компаундирования в двухшнековом экструдере и последующей переработке фидстока одношнековой экструзией. Работа выполнена на высоком научном уровне, её результаты имеют широкое прикладное значение и могут быть использованы в различных отраслях, требующих применение материалов с высокой износостойкостью и прочностью. Результаты выполненных исследований, составившие диссертацию, полностью опубликованы в авторитетных российских и международных научных журналах. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация «Разработка экструдированных износостойких СВМПЭ композитов для переработки методом шнековой экструзии» представляет собой законченную научно-квалификационную работу по уровню и содержанию, соответствующую 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).

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва» от 16 мая 2022 года протокол № 5а.

Заведующий кафедрой
механизации переработки
сельскохозяйственной продукции
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»
кандидат технических наук, доцент

Кузнецов Вячеслав Викторович

Профессор кафедры
механизации переработки
сельскохозяйственной продукции
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»
доктор технических наук, профессор

Зодяков Владимир Николаевич

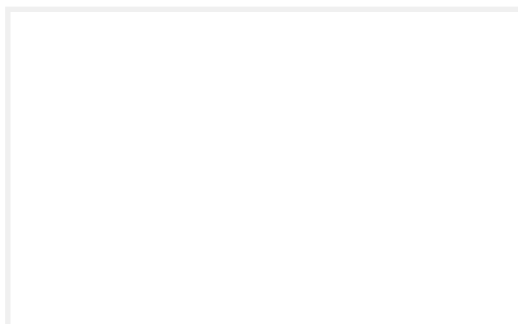
Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва» (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»),
430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

Тел. +7 (8342) 24-37-32; 24-48-88; 47-29-13;


e-mail: dep-general@adm.mrsu.ru, dep-mail@adm.mrsu.ru

веб-сайт: <http://www.mrsu.ru/>



Мирошников В.В.
«*Мирошников В.В. заверяю*»
«Управление кадров
им. Н.П. ОГАРЁВА»
В.В. Мирошников»

Президент в совет 15.06.2022 

С отзывом ознакомлен 17.06.22  *Буслов Д.Г.*