

## Отзыв

Официального оппонента Шафигуллина Ленара Нургалеевича  
на диссертационную работу

**Ибатуллина Азата Нафисовича**

«Получение смесей полимеров с применением сверхкритического флюидного  
антирастворителя»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

### **Актуальность темы.**

Химическая отрасль остается одним из основных локомотивов развития российской промышленности, демонстрируя большую устойчивость в условиях кризиса, чем многие другие сектора.

Одним из важнейших способов создания новых перспективных полимерных композитов является смешение полимеров и получение композиций с необходимым сочетанием свойств. Темпы прироста выпуска смесей полимеров всегда опережали показатель роста общего объема производства пластмасс, что указывает на важность решения проблемы смешения полимеров с разными структурными особенностями.

На свойства смесей полимеров огромное влияние играет способ смешения. Основным методом смешения полимеров является их смешение в вязкотекучем состоянии. Для получения качественной полимерной смеси в расплаве необходимо в процессе смешения обеспечить деформации и напряжение сдвига, достаточные для смешения и диспергирования, определить оптимальный температурный режим процесса, от которого зависят напряжения сдвига, энергозатраты при смешивании, не дать разрушить полимерам в процессе смешения, а также обеспечить высокую интенсивность процесса, определяющую производительность труда.

Получение смесей полимеров с использованием сверхкритического флюидного антирастворителя (СКФА) является одним из методов, который позволяет создавать новые полимерные материалы или улучшать свойства существующих. Сверхкритические флюиды обладают уникальными свойствами, которые делают их полезными для обработки полимеров. Преимущества сверхкритического флюида в процессе получения смесей полимеров включают улучшенную растворимость и распределение полимеров, минимизацию использования органических растворителей, что может быть экологически более устойчивым, и возможность контроля морфологии и свойств смесей. Однако этот

процесс требует тщательного контроля параметров и специализированного оборудования, и его применимость может зависеть от конкретных полимеров и целей смешивания.

#### **Научная новизна работы.**

Научная новизна результатов исследований связано с получением смесей термодинамически несовместимых полимеров методом сверхкритического флюидного антирастворителя, обладающих более высокой теплотой плавления и соответственно более высокой степенью кристалличности по сравнению со смесями полученным смешением в расплаве. Установлено, что для большинства смесей физико-механические свойства превышают показатели смесей, полученных традиционным методом за счет образования более однородной кристаллической структуры при кристаллизации смеси полимеров.

Автором практически доказано влияние режима осуществления процесса диспергирования в сверхкритической флюидной среде на физико-механические и термодинамические свойства получаемых смесей полимеров. Установлено, что наилучшим режимным параметром осуществления процесса диспергирования полимерных смесей является режим, при котором сверхкритический CO<sub>2</sub> обладает наименьшей плотностью и вязкостью, что приводит к улучшению массообменных процессов и условий кристаллизации.

#### **Практическая значимость.**

Практическую значимость диссертации можно свести к разработке метода получения смесей термодинамически несовместимых полимеров различной природы в среде сверхкритического диоксида углерода и возможности использования метода сверхкритического флюидного антирастворителя для переработки отходов полимеров.

#### **Обоснованность и достоверность научных положений.**

В экспериментальных исследованиях автор использует современное сертифицированное оборудование, ГОСТИрованные методы исследований. Достоверность полученных данных подтверждается их воспроизводимостью, хорошей корреляцией результатов различных методов и опытно-промышленной апробацией.

#### **Объем и структура работы.**

Работа Ибатуллина Азата Нафисовича построена традиционно и состоит из трех глав (литературный обзор, выбор материалов и методик исследований, экспериментальная часть, включающая обсуждение результатов исследований), заключения, списка использованной литературы и приложений. Научная работа изложена на 155 стр. машинописного текста, содержит 63 рисунка, 38 таблиц, 2 приложения; список литературы включает 220 наименований.

**Во введении** показана актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, кратко изложены основные результаты исследований, указана их научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** рассмотрены и проанализированы существующие методы смешения полимерных материалов. Большое внимание уделено описанию существующих модификаций технологий, использующих сверхкритические флюиды, и возможности их использования в полимерной промышленности. Обоснован выбор метода сверхкритического флюидного антирастворителя.

**Во второй главе** даны характеристики объектов и методов исследования и технология приготовления образцов. Представлена расширенная характеристика исходных веществ, используемых в работе.

**Третья глава** посвящена обсуждению основных результатов работы, полученных автором. Изучены закономерности влияния метода получения и режимных параметров осуществления процесса диспергирования на структуру и свойства полимерных смесей. На примере вторичного полиэтилена и поликарбоната представлены результаты по возможности вторичной переработки полимеров с помощью метода сверхкритического флюидного антирастворителя.

**В приложениях** приведены протоколы лабораторных испытаний: вторичного ПЭТФ переработанного с помощью метода сверхкритического флюидного антирастворителя. Испытания выполнены в независимой химической лаборатории АО «Экопэт» (РФ, г. Калининград).

#### **Замечания по работе.**

1. Цель работы относится к практической значимости диссертации. Если целью работы является разработка новой технологии, то требуется ее раскрытие в работе.
2. В работе имеются орфографические ошибки (к примеру стр. 30, стр. 54).
3. Отсутствуют выводы в первом и третьем разделе работы. Выводы в представленные в заключении хотя и отражают результаты работы, но в то же время имеют малоинформативный характер, так как практически отсутствуют количественные и качественные характеристики полученных результатов.
4. Во втором разделе указан не действующий ГОСТ 11262-76 для определения упруго-прочностных свойств. В настоящее время действует ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). При этом не указано на образцах какого типа согласно ГОСТ проводились испытания. Таким образом трудно оценить изменение упруго-прочностных свойств при оценке полученных смесей термодинамически несовместимых полимеров различной

природы в среде сверхкритического диоксида углерода и сопоставить с результатами работ других авторов из данной предметной области.

5. Во втором разделе указано оборудование, применяемое для исследований процессов кристаллизации и превращения фаз в смесях полимеров, но при этом не указан применяемый ГОСТ, есть только ссылка на публикацию под номером 219. В этом же разделе указано оборудование, применяемое для сканирующей электронной микроскопии, но при этом отсутствует информация об пробоподготовке полимерных образцов (как происходил процесс дегазации образцов, нанесения проводящего слоя, какой материал в качестве «мишени» использовался и т.д.) и применяемой защитной среде. В этом же разделе указано оборудование, применяемое для определения индекса расплава, но при этом отсутствует информация о методике испытаний. Результаты исследований трудно сопоставить с данными других авторов из данной предметной области.

6. В таблицах 3.5, 3.6, 3.9, 3.10, 3.19, 3.20, 3.21 указана «Прочность», а в таблицах 3.2, 3.16, 3.17, 3.22, 3.23 «Условная прочность при разрыве». При этом из описания, представленного во второй главе трудно понять какого типа образцы и какие условия испытания применялись. Данный факт затрудняет оценку полученных результатов.

7. В разделе 3.5.2 для теплофизических исследований указано применение калориметра марки NETZSCH DSC 204 F1 Phoenix. При этом во втором разделе отсутствует описание прибора и методик испытаний.

8. В списке литературы отсутствует библиографическое описание применяемых ГОСТов.

9. В работе указано применение программных продуктов. Но в самом тексте работы не указаны типы применяемых лицензий, отсутствуют ссылки на разработчиков программного обеспечения в списке литературы.

10. Ряд выводов в разделах работы носят характер предположений и требуют дополнения на основе теоретических и экспериментальных данных полученных лично автором или другими исследователями. К примеру, на стр. 64 «В нашем же случае образцы для физико-механических испытаний были получены прессованием. При испытании образцов, полученных другими методами характеристики материалов должны, в принципе, существенно отличаться», на стр. 92 «Можно сказать, что практически весь полиэтилен кристаллизуется, возможно также частичная сокристаллизация с ПК», на стр. 118 «Однако так же необходимо отметить следующий факт: испытания проводились на отпрессованных образцах по ранее апробированным методикам, хотя ПЭТФ и ПК в основном перерабатываются экструзией и литьем под давлением. Поэтому проведение физико-

механических испытаний на образцах, полученных этими методами должно показать другие результаты».

11. \* На рисунке 3.32 отсутствуют доверительные интервалы, что не позволяет оценить степень точности полученных результатов.

12. В тексте в большом количестве используются слова «были», «мы» и т.д. В работах научного плана принято описывать результаты от третьего лица.

13. Полученные смеси термодинамически несовместимых полимеров различной природы требуют проведения комплекса ускоренных климатических испытаний с целью определения «Долговечности» и/или «Срока службы». В этом случае возможна промышленная апробация смесей термодинамически несовместимых полимеров различной природы, полученных в среде сверхкритического диоксида углерода.

14. В работе отсутствует раздел технико-экономического обоснования применения метода получения смесей термодинамически несовместимых полимеров различной природы в среде сверхкритического диоксида углерода в сравнении с традиционными технологиями (смешивание расплава, мельничное смешивание и техника смешивания мелкодисперсного порошка, смешение растворов, смешение в эмульсиях и т.д.). В этой связи трудно оценить потенциал инновационной технологии получения смесей термодинамически несовместимых полимеров различной природы.

#### **Заключение.**

Работа **Ибатуллина Азата Нафисовича** хорошо освещена в периодической печати, имеется 7 публикаций, в том числе 1 статья в журналах из перечня ВАК категории К-1 и 1 статья в журнале, входящем в международную базу цитируемости Scopus квартиля Q1, и прошла широкую апробацию на конференциях, получен 1 патента РФ. Публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Результаты исследований отмечены победой в конкурсе «50 лучших инновационных идей для Республики Татарстан», и выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 19-73-10029 и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 29.12.2022 г. № 075-01508-23-00 (Сверхкритические флюидные технологии в переработке полимеров (FZSG-2023-0007)).

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации.

Диссертация **Ибатуллина А.Н.** является законченной научно-исследовательской работой, поскольку в ней решена задача разработки смесей термодинамически несовместимых полимеров методом сверхкритического флюидного антирастворителя. Работа содержит большой экспериментальный материал, результаты, полученные

различными методами, хорошо коррелируют друг с другом. Выводы аргументированы и обоснованы.

На основании изложенного, можно сделать заключение, что работа по актуальности, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям и критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук – п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор Ибатуллин Азат Нафисович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. - Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент, кандидат технических наук  
по специальности 05.16.09 –  
Материаловедение (в машиностроение),  
доцент, Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)  
Федеральный университет»,  
доцент кафедры «Материалы, технологии и качества»  
423812, Республика Татарстан,  
г.Набережные Челны, пр.Сююмбике, д.10А  
(8552) 51-01-07  
e-mail: mtk\_ineka@mail.ru

Шафигуллин Ленар Нургалеевич

15.02.2024

СОБСТВЕННОРУЧНУЮ ПОДПИСЬ

*Шафигуллина Р.Н.* ЗАВЕРЯЮ

Набережночелнинский институт КФУ

Отдел кадров *Т.Т. Тажмурова*



Вход. № 05-7888

« 06 » 03 2024.

подпись