

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D05301 – «Физика»
Баяндиновой Молдир Болеухановны

Влияние диабаз – минерального наполнителя на структуру и физико-механические свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена на исследованию структуры и физико-механические свойства покрытий СВМПЭ с минеральным диабаз-наполнителем. В работе установлены основные закономерности влияния диабаз - минерального наполнителя на структуру и физико-механических свойств СВМПЭ.

Актуальность темы исследования.

Полимерные композиционные материалы широко применяются в современной технике, в том числе машиностроительной, транспортной, перерабатывающей и добывающей отраслях. Среди полимерных материалов сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) занимает особое место благодаря уникальному сочетанию практических важных свойств. Дополнительную перспективу его использования в различных отраслях машиностроения представляет введение различных наполнителей, в том числе минеральных, что позволяет заметно повышать механические и трибологические свойства композиционных материалов на его основе.

Однако, как следует из анализа литературы, важным аспектом при проведении исследований является определение взаимосвязи между формирующейся структурой композитов на основе СВМПЭ с обеспечиваемой ею свойствами. В этой связи представляется весьма актуальной исследование влияния различных минеральных наполнителей на структуру и свойства СВМПЭ.

Актуальность работы подтверждается так же на выполнением исследований в рамках следующих проектов: проект фундаментальных исследований Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН № AP09259925 «Разработка и внедрение высокоэффективной технологии нанесения антикоррозионного покрытия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена» (2021-2023 годы) и ИРН № AP19679461 «Разработка и внедрение радиационно- и коррозионностойкого защитного композитного материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с наполнителями» (2023-2025 годы)».

Исследования в области покрытий на основе СВМПЭ и его композитов достаточно активно проводятся и представлены на страницах ведущих рецензируемых научных журналов. Следует отметить работы различных авторов, в том числе Mohammed Abdul Samad, Jing Han, S.M. Kurtz, V. Saikko, K.G. Plumlee, C.J. Schwartz, С.В. Панина, А.А. Охлопковой, М.Д. Соколовой, С.Д. Калошкина, В.О. Алексенко и мн. др.

Так, R.M. Kumar, Jiongrun Chen, Wenying Zhou, M. Naffakh, G. Wang, K. Yang исследовали влияние функционализации минеральных наполнителей с позиции возможного увеличения механических свойств полимерных композитов. Jing Han с соавторами исследовали влияние графенового нанопластиинки (ГНП) на структуру и свойства покрытия из СВМПЭ. Структура СВМПЭ практически не изменилась после обработки распылением, а добавление ГНП привело к небольшому снижению кристалличности и улучшению термостабильности СВМПЭ. Кроме того, покрытие, содержащее 1,0 масс.% ГНП, продемонстрировало снижение скорости износа на ~20% и коэффициента трения на 25%. Значительно улучшенные антикоррозионные характеристики покрытий СВМПЭ+ГНП были подтверждены увеличением потенциала коррозии, плотности тока коррозии и модуля импеданса покрытий СВМПЭ+ГНП.

С.В. Панин изучал армирование матрицы СВМПЭ частицами базальта. Они обнаружили, при сухом трении скольжения: износостойкость композитов увеличивается в 3 раза при добавлении 20 мас. % наполнителя. Добавление базальтовых волокон в СВМПЭ обеспечивает повышение стойкости к абразивному износу, которая увеличивается в 2,5 раза при изменении массовой доли наполнителя в диапазоне 10-20 мас. %.

На основе анализа результатов предыдущих работ возникла идея улучшения физико-механических свойств СВМПЭ путем введения частиц минерального наполнителя. Предполагается, что введение минерального наполнителя в виде диабаза в состав СВМПЭ будет способствовать формированию оптимизированной структуры покрытия, что приведет к улучшению его физико-механических, трибологических и коррозионных свойств.

Следует отметить, что диабаз как минеральное сырье, близкое к базальту, обладает хорошими механическими свойствами и химической стойкостью к агрессивным средам, доступной стоимостью и экологичностью. Диабаз – вулканическая магматическая порода, основным компонентом которой является хорошо сохранившийся плагиоклаз, бесцветный и прозрачный, редко встречающийся пироксен. Температура плавления 1005-1250°C.

Однако, на наш взгляд, до сих пор не изучено влияние наполнителя в виде диабаза на структуру и свойства композитов на основе СВМПЭ. По этой причине представляет значительный научный и практический интерес проведение систематических исследований влияния диабаз – минерального наполнителя на структуру СВМПЭ и на его механические, трибологические и коррозионные свойства.

Целью диссертационной работы является установление закономерностей влияния минерального наполнителя в виде диабаза на структуру и физико-механические, коррозионные свойства СВМПЭ.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **основные задачи:**

- изучить изменения структуры покрытий из СВМПЭ в результате введения диабаз-наполнителя и установить механизмы влияния наполнителя;
- определить влияние диабаз-наполнителя разного состава на физико-механические покрытий из СВМПЭ;
- провести экспериментальные исследования коррозионной стойкости композиционных покрытий на основе СВМПЭ в агрессивных средах;
- обосновать на основе экспериментальных данных прикладной потенциал композиционных покрытий на основе СВМПЭ с минеральным наполнителем диабазом, подтвердив их практическую значимость патентом и актами внедрения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модифицированные покрытия на основе СВМПЭ, полученные методом газопламенного напыления с участием минерального наполнителя диабаза, формируют гетерогенную структуру аморфной и кристаллической фаз. Повышение концентрации диабаза до 10–40 мас.% усиливает внутренние напряжения в аморфной матрице и ограничивает подвижность полимерных цепей. Это явление замедляет кинетику роста кристаллов и приводит к уменьшению их размеров.

2. Введение минерального наполнителя диабаза значительно улучшает физико-механические свойства композиционных покрытий на основе СВМПЭ. Частицы диабаза, располагаясь в аморфной матрице, способствуют росту внутренних напряжений и ограничению движения макромолекул, что повышает структурную прочность покрытия. В результате микротвёрдость композиционных покрытий возрастает с 5,34 до 7,27 Hv, коэффициент трения снижается с 0,17 до 0,05, а износостойкость увеличивается более чем в два раза по сравнению с исходным СВМПЭ.

3. Выявлено влияние агрессивной среды на коррозионную стойкость покрытий из СВМПЭ и композитов с минеральным наполнителем. Снижение количества диабаза с 40 до 10 мас.% повышает коррозионную стойкость покрытия (с 0,058 г до 0,02119 г), что связано с увеличением доли кристаллического компонента в полимерной матрице и замедлением диффузионных процессов. Кроме того, оптимальное количество диабаза способствует формированию плотного и гомогенного защитного слоя на поверхности покрытия, что ограничивает деградационные процессы под воздействием агрессивных сред. Это увеличивает срок службы композитов и повышает их эксплуатационную надёжность.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней:

1 Впервые установлены закономерности влияния диабаз-минерального наполнителя на структурно-фазовое состояние композитных покрытий на основе СВМПЭ, полученных методом газопламенного напыления. Введение в состав СВМПЭ диабаза содержанием 10-40% от общей массы не оказывает значительного влияния на степень кристалличности покрытия и на его химическую структуру.

2 Впервые выявлена и количественно оценена роль диабаз-минерального наполнителя в улучшении физико-механических свойств

композитных покрытий на основе СВМПЭ. Улучшение физико-механических свойств композитных покрытий на основе СВМПЭ с минеральным диабаз-наполнителем. В повышении механических свойств композитов на основе СВМПЭ значительную роль играет содержание минерального диабаз-наполнителя. Так, микротвердость для покрытия из чистого СВМПЭ 5,34 Hv; для покрытия из СВМПЭ+Диабаз 10 мас.% - 5,67 Hv; для покрытия из СВМПЭ+Диабаз 20 и 30 мас.%, 6,15 Hv и 6,95 Hv; соответственно для покрытия СВМПЭ+Диабаз 40 мас.% составляет 7,27 Hv. Износстойкость композитов на основе СВМПЭ с добавлением п масс. % диабаза возрастает по мере заполнения матрицы. Так, с увеличением содержания наполнителя до 40 мас.% износстойкость повышается более чем в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ, а шероховатость возрастает от 1,237 до 4,311 μm . Добавление диабаза приводит к заметному уменьшению коэффициента трения покрытия: для покрытия из чистого СВМПЭ $\sim 0,17$; СВМПЭ+ Диабаз 10 мас.% $\sim 0,14$; СВМПЭ+Диабаза 20 мас.% $\sim 0,09$; СВМПЭ+ Диабаз 30 мас.%, 0,06; а для покрытия СВМПЭ+ Диабаз 40 мас.% $\sim 0,05$.

3 Впервые выявлена устойчивость композитов на основе СВМПЭ с диабаз – минеральным наполнителем к воздействию агрессивных сред. Образцы из чистого СВМПЭ и композита из СВМПЭ с 10 % содержанием диабаза имеют наилучшую химическую устойчивость к воздействию кислотной среды. После химического воздействия кристалличность покрытия из чистого СВМПЭ уменьшается на 22 %, а у композита СВМПЭ с 10% диабаз-минеральным наполнителем на 18%.

Предмет исследования.

Композитные покрытия на основе СВМПЭ с диабаз-минеральным наполнителем, структура и физико-механические свойства композитных покрытий.

Объект исследования.

Изменение микроструктуры и физико-механических свойств покрытий на основе СВМПЭ с минеральным-диабаз наполнителем. Определение коррозионной устойчивости покрытий, полученные методом газопламенного покрытия.

Методы исследования и испытаний.

Для анализа макро- и микроструктуры, фазового состава исследуемых образцов использованы общенаучные методы металлографического исследования с применением растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Для определения элементного и фазового состава образцов применялись методы рентгеноспектрального микроанализа и ИК-спектроскопии. Определение механических, трибологических и коррозионных свойств проводилось на приборах и стендах с использованием аттестованных методик.

Научная и практическая значимость работы.

Полученные результаты позволяют понять физико-механические свойства СВМПЭ при взаимодействии с минеральным диабаз-наполнителем.

Результаты исследования, представленные в диссертационной работе, внедрены в производство для использования в будущих проектах ТОО «PlasmaScience». Кроме того, они внедрены в учебный процесс и использованы в дипломных работах при подготовке обучающихся по следующим образовательным программам: 6B05305 – «Прикладная физика, наноматериалы и инноватика», 6B05303 – «Ядерная физика и атомная энергетика», 7M05301 – «Физика», 8D05301 – «Физика». Соответствующие материалы приведены в приложениях к диссертационной работе.

Получен патент № 8197 на полезную модель «Порошковый материал для газотермического напыления полимерных покрытий» РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» МЮ РК, официальный бюллетень № 2023-06-23.

Диссертационная работа выполнена в научных подразделениях Национальной научной лаборатории коллективного пользования (технопарк «Shygys Bastau») и Научно-исследовательском центре «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), а также в Назарбаев Университете и в отделении экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета (г. Томск, Россия).

Личный вклад автора. Личный вклад автора заключается в поиске и анализе литературных периодических изданий, посвященных теме диссертационного исследования, в частности, газопламенных покрытий на основе СВМПЭ. Совместно с научными консультантами определили цели и задачи исследования, выбрали методы осаждения и методы исследования композитных покрытий. Автор диссертации принимал непосредственное участие в подготовке образцов, изучал фазовый состав, морфологию поверхности полученных покрытий, измерял микротвердость и износостойкость покрытий, исследовал влияния агрессивной, кислотной среды на микроструктуру и коррозионную стойкость покрытий, а также принимал непосредственное участие в анализе результатов и написании статей совместно с консультантами и специалистами лаборатории.

Связь темы с планами научно-исследовательских программ

Экспериментальные результаты настоящей диссертационной работы были получены при финансовой поддержке Государственного учреждения «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан» по следующим темам: 1) «Разработка и внедрение высокоэффективной технологии нанесения антикоррозийного покрытия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена», 2021-2023 годы, ИРН №AP09259925; 2) «Разработка и внедрение радиационно- и коррозионностойкого защитного композитного материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с наполнителями» 2022-2025 годы, ИРН №AP19679461.

Результаты исследования соответствуют целям и задачам физики полимеров и направлены на решение актуальных проблем в области физики конденсированного состояния.

Практическая ценность работы. На основе результатов исследования предложен научно обоснованный способ получения защитных покрытий на основе СВМПЭ с минеральным наполнителем диабазом, обеспечивающий повышение износо-, и коррозионной стойкости материалов. Композитные покрытия, полученные методом газопламенного напыления, эффективно защищают металлические поверхности, работающие в агрессивных химических средах, что расширяет возможности их промышленного применения. На основе полученных данных разработана и запатентована полезная модель порошковой смеси, а также внедрено технологическое решение в производственные условия, эффективность которого подтверждена промышленными испытаниями. Результаты исследования внедрены в учебный процесс и способствуют повышению качества подготовки будущих специалистов.

Степень обоснованности и достоверности результатов, полученных в работе, обеспечивается корректностью и системностью проведенных экспериментальных исследований, а также применением хорошо апробированных общенаучных методов исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК для публикации результатов научной деятельности, а также в рецензируемом зарубежном научном журнале, входящим в базу данных Scopus и Web of Science.

Апробация диссертационной работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на отечественной и международных научных конференциях:

1. 2nd International Conference on «Functional Materials and Chemical Engineering» (04-05, Апрель, 2022, Южная Королина, США);
2. XVIII Международная научно-практическая конференция «Новые полимерные композиционные материалы» «Микитаевские чтения» (4-9 июля 2022, Эльбрус, КБР, Россия)
3. Международной научно-практической конференции «Увалиевские чтения-2022» «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов», посвященной 70-летию ВКУ имени С. Аманжолова
4. Международная конференция «Актуальные проблемы современной физики» «Абдильдинские чтения» Казахский национальный университет имени Аль Фараби (12 - 15 апреля 2023) г. Алматы, Казахстан;
5. XV Международной научно-технической конференции на тему «Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». Институт порошковой

металлургии им. академика О.В.Романа. (14-16 сентябрь, 2022. Минск, Белорусь)

6. X Международной научно-практической конференции на тему «Интеграция образования-науки-бизнеса: Проблемы и перспективы» Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, апрель, 2024г., г. Усть-Каменогорск;
7. X Международной научно-технической конференции на тему «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, 11-12 апреля 2024 г., г. Усть-Каменогорск.

Основные результаты были доложены и обсуждены на совместных научных семинарах Восточно-Казахстанского университета им. им. С. Аманжолова, научных семинарах Восточно-Казахстанского университета им. Д. Серикбаева и заседании отделении экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Публикации

По результатам изложенных в диссертации исследований опубликовано 13 печатных работ, из них в рецензируемых научных изданиях РК, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК -3, в журнале, индексируемом в базах данных Scopus и Web of Science – 2, а также 8 статей в сборниках материалов международных конференций, в том числе 3 в сборниках материалов зарубежных международных конференций.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, всего 121 страниц, 67 рисунков, 19 таблиц, 145 списка использованной литературы, 3 приложения.