

**Раздел 1. «Металлургия»**

МРНТИ 81.33.35

**Г.А. Ульева<sup>1</sup>, А.А. Епанешникова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>АО «Qarmet», Темиртау, Казахстан<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

E-mail: a.epaneshnikova@ttu.edu.kz

**Применение антикоррозионных полимерных покрытий в промышленности**

В данной работе были получены сополимеры, отработана методика их синтеза. Были выбраны различные наполнители для получения полимерного покрытия. Был проведен эксперимент по определению коррозионной стойкости покрытий при воздействии агрессивных сред. Выявлено, что полимерное покрытие с наполнителем микросилика хорошо отработали в кислотной среде, а полимерное покрытие с наполнителем диоксид титана – в соляной и щелочных средах. Бал коррозии у полимерных покрытий с наполнителем диоксид титана составляет не выше 2 балла. Рассмотрена микроструктура покрытий после воздействия агрессивных сред. Видно, что у полимерного покрытия с наполнителем микросилика после воздействия агрессивной среды (5 и 10%КОН) нарушена целостность, наблюдаются микротрещины и отслоения.

*Ключевые слова:* полимер, покрытие на полимерной основе, коррозия, ингибирование коррозии, сталь; функциональные добавки, антикоррозионная стойкость.

*Введение*

Коррозия металлов наносит большой ущерб производству. Большие средства расходуются на предприятиях для замены и ремонта оборудования подвергшемуся коррозии. При проектировании машин часто предусматривается запас по толщине для компенсации коррозионного износа, что требует дополнительных затрат и расхода на сырьё. Широкое применение полимерных антикоррозионных покрытий создает возможность существенно снизить потери металлов, а также способствует экономии дефицитных и дорогостоящих цветных металлов и нержавеющей стали. Полимерные покрытия являются весьма эффективными при защите от различных видов химической и электрохимической коррозии, в том числе атмосферной коррозии в электролитах и в условиях механического воздействия (коррозионной усталости, вызываемой воздействием знакопеременных напряжений и коррозионной среды; коррозионной эрозии, или фреттинг-коррозии, вызываемой механическим истирающим воздействием другого тела при наличии коррозионной среды; коррозионного растрескивания и кавитации). [1]

В целом под коррозией металлических изделий понимают комплекс физико-химических воздействий на поверхность металла, приводящих к изменению и ухудшению эксплуатационных свойств материала. В основе процесса коррозии лежит сложная многокомпонентная химическая реакция между материалом и средой или их составляющими, протекающая на границе раздела фаз. При этом механизм коррозии определяется типом агрессивной среды. В сухих окислительных газах, в том числе в воздухе, при высоких температурах на поверхности конструкционных сталей образуется слой твердых продуктов окисления – окалина. Сплошной слой окалина лимитирует скорость коррозионного процесса скоростью диффузии через него ионов металла к границе раздела фаз или же окислителя (как правило, ионов  $O_2^-$ ) – к границе окалина–металл.

Более распространенным является механизм электролитической коррозии. Наиболее активно они протекают в тонких водных пленках на поверхности металла или в капиллярах поверхности. В этих средах, как правило, существует достаточная концентрация электролита, связанная с общим загрязнением окружающей среды (как правило, преобладают сульфат- и хлорид-ионы). Для усиления защиты поверхности сталей от коррозии рекомендуется применять дополнительные меры. Наиболее надежным способом сегодня можно считать изоляцию от агрессивных сред при помощи современных полимерных покрытий. [2]

## Раздел 1. «Металлургия»

Покрытия, предназначенные для защиты металла от агрессивных сред, должны в первую очередь обеспечивать физические барьеры, достаточно эффективные для предотвращения разрушения открытых поверхностей при контакте с агрессивными веществами. Однако защитные покрытия сталкиваются со сложными разрушительными факторами. Они варьируются от механического воздействия до физико-химического воздействия и микробиологического воздействия во время эксплуатации. Известно, что полимерные покрытия защищают подложки и поверхности, как железные, так и цветные. Эти полимеры представляют собой макромолекулы, обычно с высокой молекулярной массой, способные покрывать большую площадь открытой поверхности. Полимеры обеспечивают существенное покрытие в различных средах, таких как кислотные, основные и нейтральные среды. Отличные пленкообразующие свойства полимеров и их адгезионные свойства в значительной степени поддерживают использование полимеров для защиты металлических подложек от коррозии. Гибкость полимеров также позволяет смешивать их с другими соединениями и добавками для улучшения эффекта герметизации пор, ограничения проникновения разрушающих веществ и подавления деградируемости образующейся полимерной пленки.

Защитные свойства полимерных покрытий зависят от следующих факторов:

- 1) химической стойкости покрытия;
- 2) проницаемости пленки для различных агрессивных сред;
- 3) теплостойкости и теплопроводности защитного слоя;
- 4) природы и количества наполнителя;
- 5) соотношения коэффициентов термического расширения пленки и защищаемого материала;
- 6) величины адгезии пленки;
- 7) механической прочности покрытия.

Многие свойства полимерных покрытий можно изменить химической или физической модификацией полимера, применяемого для нанесения покрытия.

Стойкость покрытия в различных агрессивных средах определяется: способностью полимера противостоять химическому действию агрессивной среды; степенью набухания в агрессивной среде; коэффициентом диффузии, характеризующим скорость проникновения среды через покрытие; устойчивостью к агрессивной среде различных наполнителей, пластификаторов, красителей, противостарителей, вводимых в полимер. Химическая стойкость полимерного покрытия, нанесенного напылением, отличается от стойкости самого полимера. Так, 50%-ный водный раствор серной кислоты при 60° С не вызывает заметных изменений в свойствах листового полиэтилена высокой плотности, в то время как физико-механические свойства покрытия из полиэтилена той же марки толщиной 50 мк в указанных условиях через 160 ч значительно изменяются. Предел прочности при растяжении и относительное удлинение снижаются соответственно на 10 и 50%

Под действием сильных окислителей (азотная кислота, олеум, хромовая смесь и т.д) происходит деструкция в слое покрытия. Стойкость полимера к действию агрессивных сред зависит в первую очередь от наличия в структуре полимера реакционноспособных групп, а также связей. Таковыми являются кратные связи в линейной структуре полимера. Окисление кратных связей винильных групп в боковых цепях приводит к структурированию, тогда как окисление кратных связей в главной цепи полимера вызывает его деструкцию.

При выборе полимера для защитного покрытия необходимо учитывать, что долговечность покрытия обычно снижается с увеличением степени кристалличности полимера. Это объясняется наличием внутренних напряжений в кристаллической фазе, приводящих к ослаблению валентных связей. С увеличением степени кристалличности снижаются адгезия полимера к защищаемой поверхности и устойчивость к окислению.

Большое влияние на эксплуатационные свойства и сроки службы полимерных покрытий в агрессивных средах имеют температура и концентрация агрессивной среды. Химическая стойкость полимеров и покрытий из них, находящихся в напряженном состоянии, обычно снижается.

При введении наполнителей, инертных к агрессивным средам и совмещающихся с полимером, химическая стойкость покрытия в известных пределах повышается; количество введенных наполнителей не должно превышать предела их совмещаемости с полимером. При использовании в качестве защитных покрытий полимеров с наполнителями к ним предъявляются следующие требования: наполнитель не должен существенно снижать адгезию покрытия к защищаемой

## Раздел 1. «Металлургия»

поверхности; покрытие, содержащее наполнитель, должно обладать достаточно высокой эластичностью; теплопроводность наполнителя не должна быть ниже теплопроводности полимера; коэффициенты термического расширения наполнителя, вводимого в полимер, и материала изделия, подлежащего защите, должны соответствовать друг другу.

Кроме специальных наполнителей, повышающих химическую стойкость полимеров, применяемых для защиты от коррозии, в состав полимерных материалов вводят противостарители, пластификаторы, красители. Эти материалы могут влиять на стойкость покрытий. [3]

Во многих случаях наполнители вводят в полимерные материалы для увеличения их долговечности и улучшения эксплуатационных свойств. При введении определенных наполнителей увеличивается теплопроводность полимерного слоя, его химическая стойкость, снижается коэффициент термического расширения, максимально приближаясь к коэффициенту термического расширения защищаемого материала. Для повышения теплопроводности полимерного покрытия в качестве наполнителей рекомендуют порошкообразные материалы с повышенной теплопроводностью, например алюминиевую пудру, мелкодисперсный аморфный графит, а также сажевые наполнители. Эти наполнители одновременно снижают коэффициент термического расширения полимерного покрытия. [4]

Влияние теплопроводности и теплостойкости полимера. Тонкослойные полимерные покрытия устойчивы только в определенных условиях эксплуатации. Если тепловой поток направлен от покрытия к металлу в связи с низкой теплопроводностью покрытия под ним конденсируется влага, которая может вызвать вздутия и отслоение покрытия. Это объясняется диффузией паров влаги, содержащейся в небольших количествах в самом полимере и в окружающей среде, от поверхности внутрь покрытия. Если тепловой поток направлен от металла к покрытию, наблюдается обратное явление содержащаяся в полимере влага, испаряясь, диффундирует через покрытие наружу.

Способность покрытий из эластомеров противостоять действию агрессивной среды зависит от их структуры. Чем меньше непредельных связей в макромолекуле эластомера, тем он химически более стоек. Например, бутилкаучук, у которого число двойных связей меньше, чем у натурального каучука, способен противостоять действию ряда кислот, в которых натуральный каучук разрушается. Вулканизаты бутилкаучука выдерживают действие 40%-ной азотной кислоты при 30° С; они стойки в азотсодержащих растворителях — нитробензоле и анилине. Более стойким во многих агрессивных средах является эластичный полимер — полиизобутилен, не содержащий двойных связей. На стойкость покрытий из эластомеров к агрессивной среде большое влияние оказывает энергия химических связей. Чем выше эта энергия, тем эластомер более стоек; так, каучуки на основе фторированных углеводов и кремнийорганических соединений по своей химической инертности превосходят все известные в настоящее время каучуки. [5]

При введении наполнителей, совмещающихся с эластомером, также повышается их химическая стойкость. Такой наполнитель, образуя непрерывную структуру эластомера, экранирует его активные центры. Для повышения химической стойкости резин в качестве наполнителей могут быть использованы полимерные материалы полиизобутилен, полиэтилен, поливинилхлорид. Химическая стойкость эластомеров повышается при их вулканизации; ее можно регулировать подбором вулканизирующего агента. Чем выше энергия межмолекулярной связи, образованной при вулканизации, тем более инертен вулканизат. Если для вулканизации каучуков вместо серы применяют перекись бензоила, диазосоединения, активные окислы и различные комплексные соединения, то теплостойкость вулканизатов повышается и они лучше сопротивляются действию растворителей. [6]

Кроме способности покрытий противостоять действию агрессивных сред характеристикой долговечности служит степень набухания полимера в агрессивной среде, а также проницаемость среды через слой покрытия. На величине набухания линейных полимеров сказывается различие скоростей диффузии малых и больших молекул. Показатели набухания и проницаемости количественно связаны между собой и поэтому рассматриваются совместно. [7]

В отличие от химической стойкости, характеристикой которой служат валентные связи в молекулах, набухание и проницаемость полимеров определяются силами притяжения между соседними макромолекулами в цепи, зависящими от расстояния между ними, а также от полярности этих молекул. Наиболее плотные упаковки макромолекул, связанные с регулярностью их структуры, образуют кристаллические участки, обладающие повышенной жесткостью, прочностью, а также

## Раздел 1. «Металлургия»

высоким сопротивлением проницаемости. Практически срок службы полимерного покрытия характеризуется скоростью проникновения молекул агрессивной среды в массу полимера, т. е. величиной диффузии данной среды в полимер.

В работе рассматривают такие виды полимерных антикоррозионных покрытий как проводящие полимерные покрытия, полиуретановые покрытия, покрытия на основе эпоксидной смолы, биополимерные покрытия.[8]

Проводящие полимеры представляют большой интерес из-за их электрохимических и смешанных свойств ионной/электронной проводимости.[9] Они широко используются в качестве матриц-хозяев для изготовления различных композитных пленок. Частицы, включенные в проводящие полимеры, изменяют определенные параметры, такие как морфология, проводимость и физические свойства. Частица может быть как неорганической, так и органической в зависимости от требований конечного применения, например, защиты от коррозии.

Авторы работы [10] утверждают, что присутствие проводящих полимеров в некоторых поликристаллических нанокompозитах показало новые свойства. Кроме того, в различных красках низкие концентрации наночастиц дисперсий органических металлополианилинов привели к замечательным эффектам в защите от коррозии.

Авторы [11] изготовили несколько структурных форм полианилина и соответствующие нанокompозиты с графеном в качестве функциональных наполнителей для эпоксидного покрытия, чтобы уменьшить коррозию мягкой стали. Поверхностная оболочка графенового каркаса с помощью полианилина стала более доступной благодаря  $\pi$ - $\pi$  взаимодействиям между ароматическими кольцами генерируемого ковалентно связанного на функционализированном п-фенилендиамином графене. По сравнению с формой на основе изумруда, форма соли изумруда обладала заметно большим сопротивлением и улучшенными антикоррозионными свойствами. Кроме того, антикоррозионные свойства полианилина были значительно улучшены благодаря графеновому каркасу в нанокompозитном материале, что привело к дальнейшему увеличению общего сопротивления.

Полиуретаны – это универсальные полимеры, содержащие полиол и изоцианатные предшественники. Их выдающиеся механические, физические и химические свойства увеличили их спрос в качестве промышленных материалов для покрытий. Полиуретановые соединения также используют для изготовления краски, клея, обуви, автомобильных деталей, пены, изоляционных пластин и т.д. [12]

Авторы статьи [13] рассматривают, что при изготовлении покрытий могут использоваться полиуретаны на основе растворителей и воды. Однако полиуретаны на основе растворителей очень актуальны в волокнах и покрытиях, клеях, пенах и эластомерах из-за их устойчивости к химикатам, воде и другим растворителям. Их гибкость, адгезия к широкому спектру субстратов и стойкость к истиранию в значительной степени способствуют их актуальности. Однако испарение летучих органических соединений является частью его экологических проблем. Таким образом, универсальные, экологически чистые полиуретаны на водной основе являются предпочтительными, даже несмотря на то, что быстрое распространение микротрещин при физическом повреждении является проблематичным после их использования. Применение полиуретановых покрытий в промышленности объясняется несколькими факторами, такими как высокая механическая прочность, устойчивость к царапинам, коррозии, химикатам и гибкость при низких температурах. [14]

Эпоксидные покрытия получают из термореактивных эпоксидных смол, известных своим широким применением в качестве защитных пленок для конструкционных и специальных металлических материалов. Эпоксидные смолы являются широко модифицируемыми, не содержащими растворителей или матрицами на основе растворителей. Эпоксидная технология охватывает различные секторы, включая аэрокосмическую промышленность, производство, автомобилестроение и бытовые товары, и это лишь некоторые из них, как в виде пленок, так и в виде композитов. Эпоксидные покрытия на основе растворителей являются недорогими и обеспечивают превосходную химическую стойкость, адгезию к металлическим подложкам, исключительную обрабатываемость и т. д. [15]

Эпоксидные смолы можно синтезировать многими способами с различным временем отверждения. Отвердителями могут быть азот, кислород, серосодержащие соединения, амин-бортригалогенидные комплексы, катионные соли или четвертичные фосфониевые соли. [16]

## Раздел 1. «Металлургия»

Авторы работы [17] Описывают , что Производство эпоксидных смол путем реакции бисфенола А с эпихлоргидрином восходит к 1930-м годам. С тех пор эпоксидные смолы используются для покрытий и литья. Они также регулярно используются для заливки, клеев, связующих и инкапсулятов. Классы широко используемых и коммерциализированных эпоксидных смол включают ароматические глицидиламины, циклоалифатические и фенольные глицидиловые эфиры.

Коммерческие эпоксидные смолы под различными торговыми наименованиями основаны на их форме (твердые, жидкие или полутвердые), вязкости, эквивалентном весе и количестве реакционноспособных участков на молекулу .

Эпоксидные смолы обычно используются в качестве грунтовочных покрытий и редко в качестве верхних покрытий из-за их известного недостатка воздействия УФ-излучения. [18]

Для достижения устойчивости покрытия к УФ-излучению, авторы работы [19] предлагают в состав эпоксидной смолы добавить диоксид титана ( $TiO_2$ ) или гибриды оксида титана-оксида графена чтобы значительно улучшить ее коррозионную стойкость.

Авторы исследования [20] наблюдали морфологию покрытий в процессе коррозии и подчеркнули влияние гибридов оксида титана и оксида графена явно превосходящих данные наноаппликации по отдельности, с точки зрения улучшения коррозионной стойкости эпоксидных покрытий при том же содержании. Отслаивание, дисперсия и хорошие свойства закупорки микропор гибридов, которые являются результатом их слоистой структуры, способствуют их превосходству в сравнении с другими наполнителями.

Биополимеры получают из биологических и устойчивых ресурсов путем биохимических превращений с катализаторами или без них . Биополимеры представляют собой макромолекулы с высокой молекулярной массой. Примерами являются полисахариды, полипептиды и полинуклеотиды с повторяющимися звеньями, связанными ковалентными связями. Добавление и удаление этих повторяющихся звеньев не изменяет химических характеристик полимера. Они классифицируются на основе источника происхождения, задействованных связей, физических, химических, термических характеристик и т.д. [21]

Авторы [22] объясняют, что Биополимеры, используемые в покрытиях, являются экологически чистыми и устойчивыми. Использование таких биополимеров снизит зависимость от полимеров, полученных из нефти, которые не поддаются биологическому разложению и оставляют углеродный след. Покрытия из биополимеров предпочтительны при разработке биоматериалов и пленок в различных областях, таких как биомедицинские устройства и антикоррозионные материалы. Эффективность биопокрытия этих биополимеров может быть улучшена путем смешивания биоматериалов с пластификаторами и компатибилизаторами. Покрытия на основе биополимеров являются гидрофильными и могут быть покрыты антимикробными веществами для разработки подходящих биомедицинских материалов для предотвращения патогенных инфекций. Некоторые природные полимеры в покрытиях на основе биоматериалов обладают антиоксидантной и антимикробной активностью.

Недостатком является то, что некоторые из используемых биополимеров обладают низкой механической прочностью. Чтобы преодолеть это ограничение, добавляются поверхностные модификации с использованием пластификаторов и поверхностно-активных веществ, что улучшает их функциональность для различных применений. Высокая вязкость биополимеров может мешать образованию однородных покрытий на поверхности. В некоторых случаях для извлечения биополимеров, например хитозана, требуются высокие температуры и едкие химикаты. В долгосрочной перспективе пластификаторы могут отслаиваться от биополимерных покрытий. [23]

Авторы данной статьи, проделав литературно-патентный анализ, предлагают технологию создания полимерного покрытия, обладающего коррозионной стойкостью, с использованием различных наполнителей.

### *Методы и материалы*

В трехгорлую колбу наливали метилметакрилат и винилбутиловый эфир и загружали малеиновый ангидрид (**сополимер 1**). После растворения малеинового ангидрида загружали 100 г толуола. Температура нагревания смеси мономеров составляет около 60°C. Затем добавляли инициатор полимеризации динитрилазонизомасляной кислоты количеством 0,2 г. Сополимеризация

**Раздел 1. «Металлургия»**

происходит при медленном нагревании до температуры 70-80°C в течении 1-2 часов. Для вызревания сополимера реакцию смесь выдерживали 24 часа.

Подобным образом проводили синтез **сополимера 2** (метилметакрилат и винилбутиловый эфир) с различным соотношением исходных компонентов. Полученные сополимеры смешивали с наполнителями с целью направленного изменения их технологических и эксплуатационных свойств.

После приготовления сополимеров различного состава они смешивались с наполнителями – микросилика, окись титана и совместно окись титана и микросилика при одинаковом соотношении сополимера и наполнителя 3:1. В процессе смешивания компонентов происходил процесс сольватации с бурным выделением пузырьков в течении 15 мин с последующим процессом устаканивания. После нанесения полимерных покрытий на образцы время сушки составляет 24 ч.

В таблице 1 приводится рецептура разработанных защитных полимерных покрытий.

Таблица 1 – Составы разработанных полимерных покрытий

№ покрытия	Состав			
	полимеры		наполнители	
	сополимер 1 MMA:ВБЭ:МА	сополимер 2 MMA:ВБЭ	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1		+		+
2		+	+	
3		+	+	+
4	+			+
5	+		+	
6	+		+	+

Примечание: MMA – метилметакрилат; ВБЭ – винилбутиловый эфир; МА – малеиновый ангидрид; SiO<sub>2</sub> – порошок микросилики; TiO<sub>2</sub> – порошок диоксида титана.

Полученные полимерные покрытия наносили на металлические пластины.

**Проведение испытаний коррозионной стойкости.**

С целью определения поведения полученных полимерных покрытий и подсчета их коррозионной стойкости пластины с исследуемым покрытием и пластины без покрытия помещали в различные агрессивные среды. Состав агрессивных сред, следующий: кислота H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 10%; щелочь КОН – 10%; соль NaCl – 10%. Пластины выдерживали в агрессивных средах 24 часа.

В таблице 2 приводятся масса образцов с покрытием до и после воздействия агрессивных сред и балл коррозии по ГОСТ 9.908-85.

Результаты таблицы 2 показывают, что введение в состав полимерного покрытия малеинового ангидрида значительно увеличивает процессы коррозии, то есть понижает их коррозионную стойкость. Влияние агрессивной среды: образцы серии с наполнителем TiO<sub>2</sub> выдержали воздействие агрессивных сред лучше в соляном и щелочном растворах, а образцы серии с наполнителем SiO<sub>2</sub> могут хорошо работать, наоборот, в кислых средах.

Таблица 2 – Результаты определения весового балла коррозии полимерных покрытий с наполнителями (микросилика и окись титана)

Параметр	Покрытие 1TiO <sub>2</sub>	Покрытие 3TiO <sub>2</sub>	Покрытие 1SiO <sub>2</sub>	Покрытие 3SiO <sub>2</sub>
1	2	3	4	5
<b>5% NaCl</b>				
m <sub>о</sub> , г	12,43	11,92	11,78	12,19
m <sub>к</sub> , г	12,45	11,88	11,81	12,16
V, кг/м <sup>2</sup> *ч	0,00083	0,00167	0,00125	0,00125
K <sub>m</sub> <sup>-</sup>	0,001	0,0019	0,0014	0,0014
Б, %	весьма стойкие / 2			

**Раздел 1. «Металлургия»**

$\Delta m, \%$	0,16	0,34	0,25	0,25
<b>5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>				
$m_0, \text{г}$	11,94	11,60	11,11	11,56
$m_k, \text{г}$	11,56	11,24	11,14	11,60
$V, \text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$	0,0158	0,0150	0,00125	0,00167
$K_m^-$	0,0178	0,0169	0,0014	0,0019
Б, %	стойкие / 4	стойкие / 4	весьма стойкие / 2	весьма стойкие / 2
$\Delta m, \%$	3,18	3,10	0,27	0,35
<b>10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>				
$m_0, \text{г}$	11,90	11,86	13,02	15,76

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
$m_k, \text{г}$	11,72	11,68	13,06	15,73
$V, \text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$	0,0750	0,0750	0,00167	0,00125
$K_m^-$	0,0084	0,0084	0,0019	0,0014
Б, %	весьма стойкие / 3	весьма стойкие / 3	весьма стойкие / 2	весьма стойкие / 2
$\Delta m, \%$	1,51	1,52	0,31	0,19
<b>5% КОН</b>				
$m_0, \text{г}$	11,33	11,45	11,89	12,14
$m_k, \text{г}$	11,42	11,49	12,30	11,10
$V, \text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$	0,0038	0,00167	0,01708	0,04333
$K_m^-$	0,0042	0,0019	0,0192	0,0487
Б, %	весьма стойкие / 2	весьма стойкие / 2	стойкие / 4	стойкие / 4
$\Delta m, \%$	0,79	0,35	3,45	8,57
<b>10% КОН</b>				
$m_0, \text{г}$	12,50	12,15	12,08	16,37
$m_k, \text{г}$	12,17	12,63	12,67	15,39
$V, \text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$	0,0138	0,0200	0,0246	0,0408
$K_m^-$	0,0154	0,0225	0,0276	0,0459
Б, %	стойкие / 4	стойкие / 4	стойкие / 4	стойкие / 4
$\Delta m, \%$	2,64	3,95	4,88	6,00

**Исследование микроструктуры**

На фото приводятся микроструктуры полимерных покрытий после воздействия агрессивных сред (рисунок 1-4), полученных на сканирующем электронном микроскопе «Zeiss» лаборатории металловедения и дефектоскопии Центра аналитического контроля АО «Qarmet».

**Раздел 1. «Металлургия»**

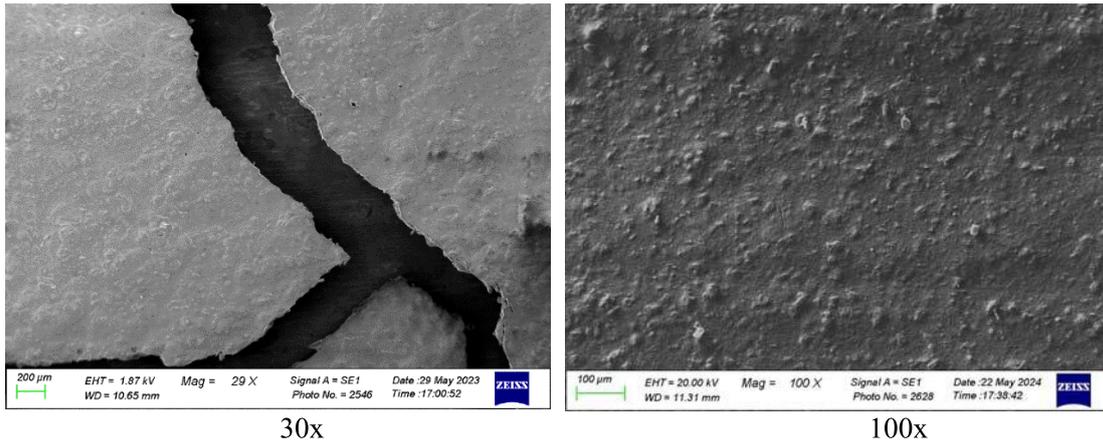


Рисунок 1 – Полимерное покрытие  $1SiO_2$  после воздействия агрессивной среды

По рисунку 1 видно, что полимерное покрытие  $1SiO_2$  после воздействия агрессивной среды имеет ровное однородное строение. Полимерное покрытие  $3SiO_2$  после воздействия агрессивной среды также однородное, ровного строения, но локально наблюдаются микротрещины при большом увеличении (рисунок 2). Подобное строение имеет полимерное покрытие  $1TiO_2$  после воздействия агрессивной среды (рисунок 3). В полимерном покрытии  $3TiO_2$  после воздействия агрессивной среды уже при небольшом увеличении наблюдаются микротрещины в некоторых местах, само покрытие имеет ровное, однородное строение (рисунок 4).

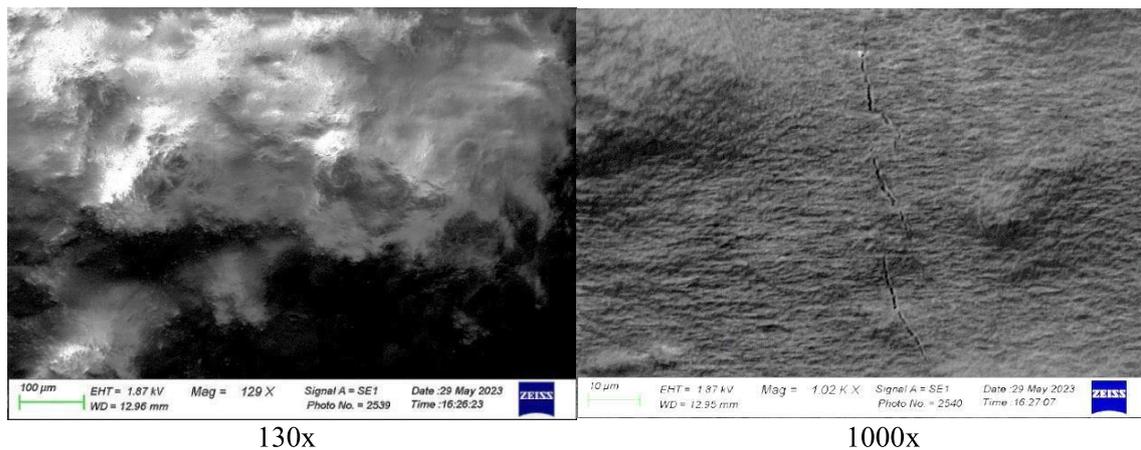


Рисунок 2 – Полимерное покрытие  $3SiO_2$  после воздействия агрессивной среды

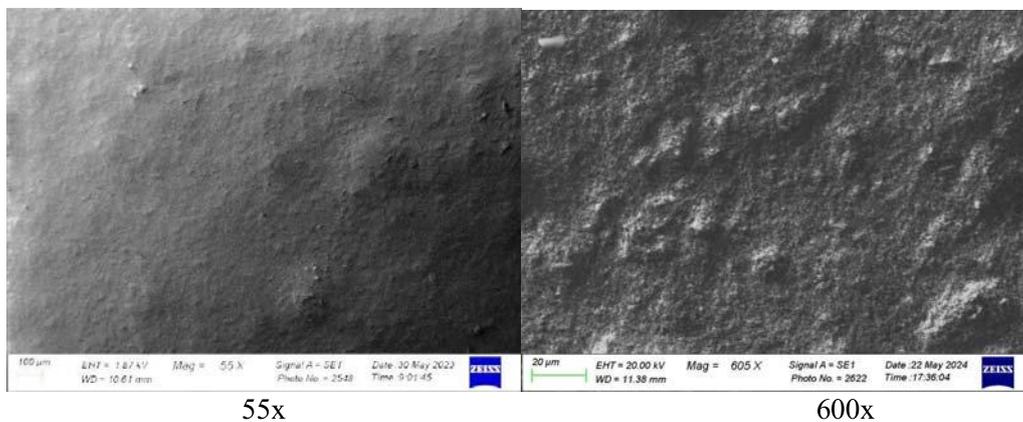
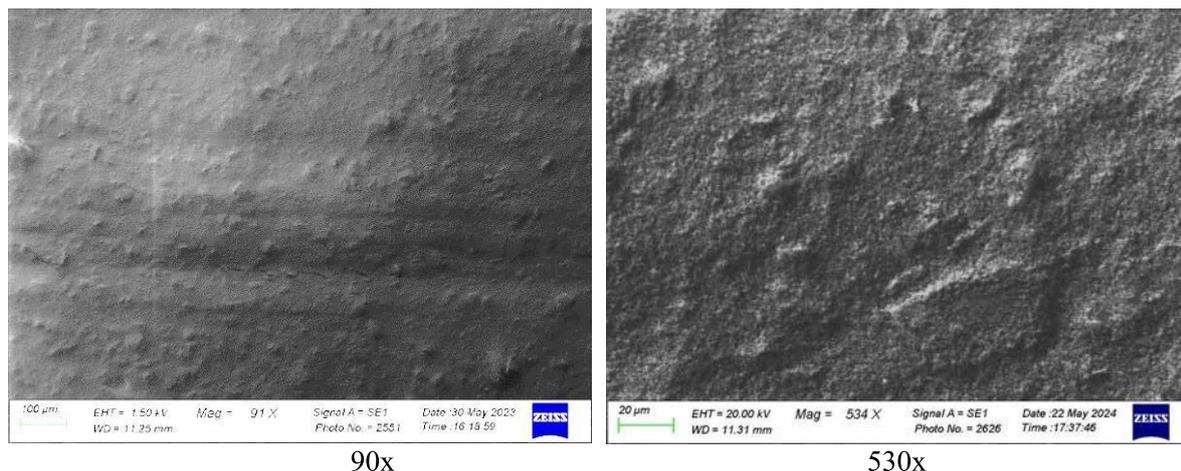


Рисунок 3 – Полимерное покрытие  $1TiO_2$  после воздействия агрессивной среды

**Раздел 1. «Металлургия»**Рисунок 4 – Полимерное покрытие  $3\text{TiO}_2$  после воздействия агрессивной среды*Выводы*

Таким образом, была разработана технология защитных покрытий нового состава, используемых для металлических и неметаллических изделий, работающих в агрессивных средах. Новая рецептура разработанных полимерных защитных покрытий выгодно отличается предлагаемый состав от существующих.

Результаты испытаний нового полимерного покрытия на основе сополимеров показали хорошие значения по коррозионной стойкости с применением различных наполнителей.

Образование базы новых технологий, направленных на улучшение качества выпускаемой продукции, есть решение важной народнохозяйственной проблемы.

В настоящее время на территории Казахстана отсутствуют производства для создания новых полимерных систем антикоррозионной защиты. Создание такого производства позволит получать собственные защитные полимерные покрытия, экономит экономические средства при покупке полимерных покрытий, закупаемых за рубежом, гарантирует расширению сырьевой базы страны, увеличению импортозамещения и, тем самым, повышению конкурентоспособности Казахстана.

*Список литературы*

1. Генель С.В., Белый В.А., Булгаков В.Я., Гехтман Г.А. Применение полимерных материалов в качестве покрытий. – М.: Химия, 1968. – 240 с.
2. Е. Гришина Полимерные покрытия для стали: эффективная защита // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – № 2 (43). – 2009. – с. 36-38.
3. Р.Б. Хмельницкая. Применение полимерных материалов в качестве защитных покрытий // Сборник «Новые материалы и их применение в химическом машиностроении», ЦИНТИ хнмнефтемаш, 1965. – стр. 42.
4. П.А. Афанасьев, Ю.А. Августов. Метод вихревого напыления пластмасс для защиты металла от коррозии // Сборник «Применение полимеров в антикоррозионной технике», Машгиз, 1962. – стр. 98.
5. Г. Я. Воробьева, Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств, Изд. «Химия», 1967, стр. 115.
6. А.Л. Лабутин. Каучуки в антикоррозионной технике. – М.: Госхимиздат, 1962, стр. 152.
7. В.А. Каргин, Г.Л. Слонимский. Краткие очерки по физикохимии полимеров. Изд. 2-е. – И.: «Химия», 1967, стр 85.
8. Ulaeto S.B., Ravi R.P., Udoh I.I., Mathew G.M., Rajan . Polymer-Based Coating for Steel Protection, Highlighting Metal–Organic Framework as Functional Actives: A Review // Corrosion and Materials Degradation. – №4(2). – 2023. – pp. 284-316.

**Раздел 1. «Металлургия»**

9. Rout T., Jha G., Singh A., Bandyopadhyay N., Mohanty O. Development of conducting polyaniline coating: A novel approach to superior corrosion resistance // Surf. Coat. Technol. - №167. – 2003ю. – pp. 16-24.
10. Wessling B., Posdorfer J. Nanostructures of the dispersed organic metal polyaniline responsible for macroscopic effects in corrosion protection // Synth. Met. - №102. – 1999. – pp. 1400-1401.
11. Goswami R.N. et al. Graphene-polyaniline nanocomposite-based coatings: Role of convertible forms of polyaniline to mitigate steel corrosion //Applied Surface Science. – 2022. – Т. 599. – p. 153.
12. Tatiya P.D. et al. Novel polyurea microcapsules using dendritic functional monomer: synthesis, characterization, and its use in self-healing and anticorrosive polyurethane coatings //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2013. – Т. 52. – №. 4. – pp. 1562-1570.
13. Wan T., Chen D. Synthesis and properties of self-healing waterborne polyurethanes containing disulfide bonds in the main chain //Journal of materials science. – 2017. – Т. 52. – pp. 197-207.
14. Saunders J.H., Frisch K.C. Polyurethanes: chemistry and technology. – Interscience Publishers. – 1962. – Т. 16. P 158.
15. Pourhashem S. et al. Distinctive roles of silane coupling agents on the corrosion inhibition performance of graphene oxide in epoxy coatings //Progress in Organic Coatings. – 2017. – Т. 111. – pp. 47-56.
16. Ellis B. Introduction to the chemistry, synthesis, manufacture and characterization of epoxy resins //Chemistry and technology of epoxy resins. – Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. – pp. 1-36.
17. Boyle M.A., Martin C.J., Neuner J.D. Epoxy resins // Composites. – ASM International. – 2001. – pp. 78-89.
18. Liu D. et al. In situ regulating of surface morphologies, anti-corrosion and tribological properties of epoxy resin coatings by heat treatment //Surface Topography: Metrology and Properties. – №2. – 2017. – Т. 5. – pp.24 – 30.
19. Chopra I. et al. Recent advances in epoxy coatings for corrosion protection of steel: Experimental and modelling approach-A review //Materials Today: Proceedings. – 2022. – Т. 62. – pp. 1658-1663.
20. Yu Z. et al. Preparation of graphene oxide modified by titanium dioxide to enhance the anti-corrosion performance of epoxy coatings //Surface and Coatings Technology. – 2015. – Т. 276. – pp. 471-478.
21. Nair L.S., Laurencin C.T. Biodegradable polymers as biomaterials //Progress in polymer science. – № 8-9. – 2007. – Т. 32. – pp. 762-798.
22. Karak N. Biopolymers for paints and surface coatings //Biopolymers and biotech admixtures for eco-efficient construction materials. – Woodhead Publishing. – 2016. – pp. 333-368.
23. Dastpak A. et al. A sustainable two-layer lignin-anodized composite coating for the corrosion protection of high-strength low-alloy steel //Progress in Organic Coatings. – 2020. – Т. 148. – pp. 105 - 115.

Г.А. Ульева, А.А. Епанешникова

**Өнеркәсіпте коррозияға қарсы полимерлі жабындарды қолдану**

Бұл жұмыста сополимерлер алынды, оларды синтездеу әдістемесі пысықталды. Полимерлі жабынды алу үшін әртүрлі толтырғыштар таңдалды. Агрессивті ортаға ұшыраған кезде жабындардың коррозияға төзімділігін анықтау үшін эксперимент жүргізілді. Микросилик толтырғышы бар полимер жабыны қышқыл ортада жақсы жұмыс істегені, ал титан диоксиді толтырғышы бар полимер жабыны тұзды және сілтілі ортада жақсы жұмыс істегені анықталды. Толтырғышы бар полимерлі жабындардағы коррозия балы титан диоксиді 2 балдан аспайды. Агрессивті орталардың әсерінен кейін жабындардың микроқұрылымы қарастырылады. Агрессивті ортаға әсер еткеннен кейін (5 және 10% КОН) микросилик толтырғышы бар полимерлі жабынның тұтастығы бұзылып, микрожарықтар мен қабыршақтану байқалады.

**Раздел 1. «Металлургия»**

*Кілт сөздер:* полимер, полимер негізіндегі жабын, коррозия, коррозияны тежеу, Болат; функционалды қоспалар, коррозияға төзімділік.

G.A. Ulyeva, A.A. Epaneshnikova

**Application of anticorrosive polymer coatings in industry**

In this work, copolymers were obtained and the method of their synthesis was worked out. Various fillers have been selected to produce a polymer coating. An experiment was conducted to determine the corrosion resistance of coatings when exposed to aggressive media. It was revealed that the polymer coating with a microsilicon filler worked well in an acidic environment, and the polymer coating with a titanium dioxide filler worked well in hydrochloric and alkaline environments. The corrosion score of polymer coatings with titanium dioxide filler is not higher than 2 points. The microstructure of coatings after exposure to aggressive media is considered. It can be seen that the polymer coating with a microsilicon filler has a broken integrity after exposure to an aggressive environment (5 and 10%KOH), microcracks and detachments are observed.

*Key words:* polymer, polymer-based coating, corrosion, corrosion inhibition, steel; functional additives, corrosion resistance.

*References*

1. Genel S.V., Belyj V.A., Bulgakov V.Ya., Gehtman G.A. *Primenenie polimernykh materialov v kachestve pokrytij.* – M.: Himiya, 1968. – 240 s.
2. E. Grishina *Polimernye pokrytiya dlya stali: effektivnaya zashita // Obrabotka metallov: tehnologiya, oborudovanie, instrumenty.* – № 2 (43). – 2009. – s. 36-38.
3. R.B. Hmelnickaya. *Primenenie polimernykh materialov v kachestve zashitnykh pokrytij // Sbornik «Novye materialy i ih primeneniye v himicheskom mashinostroenii», CINTI hnmneftemash,* 1965. – str. 42.
4. P.A. Afanasev, Yu A. Avgustov. *Metod vihrevogo napyleniya plastmass dlya zashity metalla ot korrozii // Sbornik «Primeneniye polimerov v antikorrozionnoj tehnike», Mashgiz,* 1962. – str. 98.
5. G. Ya. Vorobeva, *Korrozionnaya stojkost materialov v agressivnykh sredah himicheskikh proizvodstv,* Izd. «Himiya», 1967, str. 115.
6. A.L. Labutin. *Kauchuki v antikorrozionnoj tehnike.* – M.: Goshimizdat, 1962, str. 152.
7. V.A. Kargin, G.L. Slonimskij. *Kratkie ocherki po fizikohimii polimerov.* Izd. 2-e. – I.: «Himiya», 1967, str 85.
8. Ulaeto S.B., Ravi R.P., Udoh I.I., Mathew G.M., Rajan . *Polymer-Based Coating for Steel Protection, Highlighting Metal–Organic Framework as Functional Actives: A Review // Corrosion and Materials Degradation.* – №4(2). – 2023. – pp. 284-316.
9. Rout T., Jha G., Singh A., Bandyopadhyay N., Mohanty O. *Development of conducting polyaniline coating: A novel approach to superior corrosion resistance // Surf. Coat. Technol.* - №167. – 2003ю. – pp. 16-24.
10. Wessling B., Posdorfer J. *Nanostructures of the dispersed organic metal polyaniline responsible for macroscopic effects in corrosion protection // Synth. Met.* - №102. – 1999. – pp. 1400-1401.
11. Goswami R.N. et al. *Graphene-polyaniline nanocomposite-based coatings: Role of convertible forms of polyaniline to mitigate steel corrosion // Applied Surface Science.* – 2022. – T. 599. – p. 153.
12. Tatiya P.D. et al. *Novel polyurea microcapsules using dendritic functional monomer: synthesis, characterization, and its use in self-healing and anticorrosive polyurethane coatings // Industrial & Engineering Chemistry Research.* – 2013. – T. 52. – №. 4. – pp. 1562-1570.
13. Wan T., Chen D. *Synthesis and properties of self-healing waterborne polyurethanes containing disulfide bonds in the main chain // Journal of materials science.* – 2017. – T. 52. – pp. 197-207.

**Раздел 1. «Металлургия»**

14. Saunders J.H., Frisch K.C. Polyurethanes: chemistry and technology. – Interscience Publishers. – 1962. – Т. 16. P 158.
15. Pourhashem S. et al. Distinctive roles of silane coupling agents on the corrosion inhibition performance of graphene oxide in epoxy coatings //Progress in Organic Coatings. – 2017. – Т. 111. – pp. 47-56.
16. Ellis B. Introduction to the chemistry, synthesis, manufacture and characterization of epoxy resins //Chemistry and technology of epoxy resins. – Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. – pp. 1-36.
17. Boyle M.A., Martin C.J., Neuner J.D. Epoxy resins // Composites. – ASM International. – 2001. – pp. 78-89.
18. Liu D. et al. In situ regulating of surface morphologies, anti-corrosion and tribological properties of epoxy resin coatings by heat treatment //Surface Topography: Metrology and Properties. – №2. – 2017. – Т. 5. – pp.24 – 30.
19. Chopra I. et al. Recent advances in epoxy coatings for corrosion protection of steel: Experimental and modelling approach-A review //Materials Today: Proceedings. – 2022. – Т. 62. – pp. 1658-1663.
20. Yu Z. et al. Preparation of graphene oxide modified by titanium dioxide to enhance the anti-corrosion performance of epoxy coatings //Surface and Coatings Technology. – 2015. – Т. 276. – pp. 471-478.
21. Nair L.S., Laurencin C.T. Biodegradable polymers as biomaterials //Progress in polymer science. – № 8-9. – 2007. – Т. 32. – pp. 762-798.
22. Karak N. Biopolymers for paints and surface coatings //Biopolymers and biotech admixtures for eco-efficient construction materials. – Woodhead Publishing. – 2016. – pp. 333-368.
23. Dastpak A. et al. A sustainable two-layer lignin-anodized composite coating for the corrosion protection of high-strength low-alloy steel //Progress in Organic Coatings. – 2020. – Т. 148. – pp. 105