

Increasing the Corrosion Resistance of Metal Through the Application of Fillers Based on Nanochalk and Nanotalc in Paint and Varnish Materials in Shipbuilding and Aircraft Industry

N.V. Fatyanova

Azerbaijan State Marine Academy (Z. Aliyeva st. 18, Baku, AZ1000, Azerbaijan)

For correspondence:

Fatyanova Natalya / e-mail: nice.natali92@mail.ru

Abstract

The article examines the results of introducing a technology for increasing the corrosion resistance of metal in the shipbuilding and aircraft industry by adding chalk and talc nanopowders to fillers, as well as substantiating the rationality and economic efficiency of using chalk and talc nanoparticles in the production of paints and varnishes, discussing in detail the method of obtaining nanoparticles and the application of the obtained experimentally nanopowders for the preparation of a new type of enamel. Also, in connection with the trend towards ecologization, the article pays special attention to the environmental component of the production process, determines the degree of danger that the manufactured enamel poses to the environment and the human body.

Keywords: chalk nanoparticles, talc nanoparticles, corrosion, nanotechnology, paints and varnishes, shipbuilding, aircraft industry.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_03_15_27

Received 21.12.2022

Revised 18.09.2023

Accepted 20.09.2023

For citation:

Fatyanova N.V.

[Increasing the Corrosion Resistance of Metal Through the Application of Fillers Based on Nanochalk and Nanotalc in Paint and Varnish Materials in Shipbuilding and Aircraft Industry]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 15-27 (in Russian)

Gəmiqayırma və aviasiya sənayesində lak və boya örtüklərində nanotəbaşir və nanotalk əsaslı doldurucuların tətbiqi ilə metalın korroziyaya davamlılığının artırılması

N.V. Fatyanova

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası (Z. Əliyeva küç., 18, AZ1000, Bakı, Azərbaycan)

Yazışma üçün:

Fatyanova Natalya / e-mail: nice.natali92@mail.ru

Xülasə

Məqalədə dolduruculara təbaşir və talk nanotozlarının əlavə edilməsi yolu ilə gəmiqayırma və aviasiya sənayesində metalın korroziyaya davamlılığının artırılması texnologiyasının tətbiqinin nəticələri, habelə təbaşir və talk nanohissəciklərinin istehsalında istifadənin rasionallığı və iqtisadi səmərəliliyi əsaslandırılır, nanohissəciklərin alınması üsulu və əldə edilmiş eksperimental nanotozların yeni növ emalların hazırlanması üçün tətbiqi ətraflı müzakirə olunur. Həmçinin, yaşıllaşdırma tendensiyası ilə əlaqədar olaraq məqalədə istehsal prosesinin ekoloji komponentinə xüsusi diqqət yetirilir, istehsal olunan emalların ətraf mühitə və insan orqanizminə yaratdığı təhlükə dərəcəsi müəyyən edilir.

Açar sözlər: təbaşir nanohissəcikləri, talk nanohissəcikləri, korroziya, nanotexnologiya, lak və boya örtükləri, gəmiqayırma, aviasiya sənayesi.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_03_15_27

УДК 656.6:620.193; 656.6:620.197

Повышение коррозионной стойкости металла за счёт применения наполнителей на основе наномела и наноталька в ЛКМ в судо- и авиастроении

Н.В. Фатьянова

Азербайджанская государственная морская академия (ул. З.Алиева, 18, Баку, AZ1000, Азербайджан)

Для переписки:

Фатьянова Наталья / e-mail: nice.natali92@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются результаты внедрения технологии повышения коррозионной стойкости металла в судо- и авиастроении посредством добавления нанопорошков мела и талька в наполнители, а также обоснована рациональность и экономическая эффективность применения наночастиц мела и талька в процессе производства лакокрасочных материалов (ЛКМ), подробно рассмотрен метод получения наночастиц и применение полученных экспериментальным путём нанопорошков для приготовления эмалей нового типа. Также в связи с тенденцией на экологизацию в статье особое внимание уделяется экологической составляющей производственного процесса, определена степень опасности, которую представляет изготовленная эмаль для окружающей среды и организма человека.

Ключевые слова: наночастицы мела, наночастицы талька, коррозия, нанотехнологии, лакокрасочные материалы (ЛКМ), авиастроение, судостроение.

Введение

В настоящее время существует немало различных методов защиты судов и авиаконструкций от обрастания и коррозии, однако одним из более надёжных и простых методов уменьшения процессов коррозии этих конструкций считается покраска поверхности лакокрасочными материалами (ЛКМ).

Коррозионные разрушения наносят непоправимый ущерб корпусу, трубопроводам и прочим конструкциям, так как вследствие коррозионного воздействия в местах, подвергающихся коррозионному разъеданию, металл становится тоньше, вследствие чего уменьшается плотность и прочность конструкций и корпуса в общем.

Коррозия (от лат. *corrosio* – «разъедание») – процесс самопро-извольного разрушения элементов, чаще всего металлов, под воздействием химического, электрохимического либо физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Коррозионные разрушения могут привести к остановке работы всей установки либо отдельного её элемента. Для устранения последствий коррозионных разрушений требуется выполнение дорогостоящих ремонтов.

Коррозия корпуса авиационных и судовых конструкций происходит под воздействием агрессивной среды (атмосферы и морской воды). Следует также учесть, что большая часть авиационных и судовых элементов и механизмов корпуса одновременно подвергается воздействию коррозионного разрушения и механического напряжения.

Кроме того, коррозионные разрушения наносят колоссальный материальный ущерб в связи с прямыми потерями (потери

металла). Однако косвенные потери гораздо выше прямых. К косвенным потерям относится экологический ущерб, а также ущерб жизни и здоровью человека.

В новом тысячелетии наметилась тенденция к росту потребления экологически безопасных ЛКМ, поэтому особое внимание в статье уделено вопросам воздействия процесса изготовления эмали на окружающую среду и организм человека.

В силу того, что эра нанотехнологий наступила сравнительно недавно – всего несколько десятков лет назад, на сегодняшний день мало разработок и исследований по рассматриваемой тематике. Поэтому данная работа представляется актуальной в аспекте применения нанотехнологий в производстве ЛКМ для судов и авиационного строения в целях повышения коррозионной стойкости металлических покрытий.

Цель статьи – дать сравнительный анализ физико-технологических свойств образцов красок с добавками кальцита, талька, наномела и наноталька; продемонстрировать преимущества применения наполнителей на основе наномела в изготовлении ЛКМ для судовых и авиаконструкций, благодаря которым обеспечивается повышение функциональных свойств без снижения их основных характеристик.

Постановка задачи

Основными задачами являются:

- получение и анализ результатов процесса экспериментального получения нанопорошков мела и талька;
- разработка рационального состава ЛКМ с применением наполнителей на основе наномела и наноталька для повышения

коррозионной стойкости металла с целью применения полученных ЛКМ в судо- и авиастроении;

- доказание преимущественных характеристик эмалей на основе наномела в сравнении с эмалями на основе талька и наноталька;
- обоснование экономической эффективности промышленного получения наполнителя на основе наномела.

Решение задачи

Для защиты и декоративной окраски изделий судо- и авиационной техники используются различные системы лакокрасочных покрытий (ЛКП), сочетающие последовательно нанесенные слои ЛКМ различного назначения. В системах лакокрасочных покрытий возможно сочетание многообразия свойств ЛКМ для повышения прочностных, адгезионных, антикоррозионных, защитных и декоративных характеристик покрытий [1].

Применение той или иной системы покрытий для внешних поверхностей изделий судо- и авиационной техники зависит от ресурса работы, назначения, условий эксплуатации. Долговечность, надёжность и декоративный вид покрытия определяются множеством факторов, таких как свойства ЛКМ, схема построения системы защитного покрытия, режим и условия формирования каждого из слоёв. В процессе получения эффективного, качественного покрытия каждый из перечисленных факторов в отдельности и все они вместе взятые имеют особое значение в процессе получения качественного ЛКП.

При разработке ЛКМ основной задачей является защита узлов и деталей конструкций судо- и авиационной техники от

пагубного воздействия окружающей среды. Поверхность металлических деталей одновременно подвергается сложному воздействию многих факторов. К таким факторам относятся: обширный диапазон перепадов температуры воздушной атмосферы, солнечная радиация, повышенное ультрафиолетовое излучение, эрозия, неизбежное воздействие в процессе эксплуатации горючих и смазочных веществ, а также других агрессивных жидкостей. Кроме этого, ЛКП должно выполнять декоративные функции.

ЛКП для судо- и авиационной техники, помимо основных свойств, таких как адгезия, коррозионная стойкость, физико-механические (эластичность, твёрдость, стойкость при ударе), защитные, декоративные свойства, должны обладать также функциональными свойствами – влагозащитными, атмосферостойкими, термостойкими, эрозионностойкими, антистатическими [2].

Коррозионное воздействие ЛКП приводит к возникновению дефектов плёнки данного покрытия и, соответственно, увеличивает проницаемость агрессивной среды к защищаемой подложке.

Функциональные ЛКП используют для защиты изделий от воздействия атмосферных и водных воздействий, химических реагентов, растворителей, моющих веществ, горючих и смазочных материалов, биологических факторов, для придания поверхности антистатических свойств, повышения твёрдости и износостойкости поверхности, временной защиты поверхности изделий при транспортировке и хранении.

Необходимо отметить, что ужесточение экологического законодательства, ограничивающего содержание растворите-

лей и иных токсичных компонентов в рецептурах, требует разработки экологически чистых ЛКМ [3]. При этом системы ЛКП должны обладать высокими защитно-декоративными свойствами для обеспечения долговременной защиты конструкций изделий судо- и авиационной техники.

На протяжении последних десятилетий научные исследования в области инновационных технологий доказывают целесообразность применения нанотехнологий для изготовления антикоррозионных красок. С применением нанонаполнителей открываются новые возможности для совершенствования технологии приготовления и повышения качества ЛКМ, поэтому разработка оптимальных составов ЛКП с применением высококачественных нанонаполнителей имеет важное научное и практическое значение.

Под нанотехнологиями понимается область прикладной и фундаментальной техники и науки, которая отображает совокупность теоретического обоснования, практических методов исследования, синтеза и анализа, производственных методов и применения продуктов с заданной атомной структурой посредством контролируемого манипулирования конкретными молекулами и атомами (приставка «нано» от греч. «nanos» обозначает одну миллиардную часть чего-л.).

Нанонаполнителями называются материалы, в матрице полимера которых распределены другие материалы и вещества, которые образуют области наномасштаба. Размер обособленных частиц этого материала находится в нанодиапазоне как минимум по одному измерению. Частицы нанонаполнителя преимущественно имеют размер менее 100 нм. Свойства композитов

определяются интенсивностью молекулярного взаимодействия между материалами матрицы и наполнителем, а также площадью поверхности раздела. Высокая удельная поверхность позволяет существенно снижать степень наполнения композита [4].

Оптимизация параметров синтеза наноразмерности наполнителя даёт возможность сократить его удельный расход и производить материалы, отвечающие более высоким требованиям. Нанонаполнители – это активные аддитивы нового поколения. Аддитивы – технологические добавки, облегчающие и ускоряющие смачивание подложки, диспергирование пигментов, устранение дефектов, отверждение на этапах изготовления, транспортирования, хранения ЛКМ и при формировании ЛКП.

Применение порошков и нанопорошков во многом зависит от их строения и проявляемых физико-химических свойств, поэтому их исследования являются актуальными на сегодняшний день.

Экспериментальная часть

При помощи микроскопических исследований можно определить размеры, формы частиц, образование агломератов из частиц и т.д. Для определения взаимосвязи технологических, физических и химических свойств ЛКМ и свойств минеральных наполнителей был проведён микроскопический анализ.

Так, в качестве образцов наполнителей были взяты мел и тальк. Анализ образцов проводился в Институте геологии и геофизики при Министерстве науки и образования Азербайджанской Республики.

Микроскопические исследования проводились на программном микроскопе JEOL JSM 6610lv, предназначенном для

исследования морфологического, фазового, элементного состава и молекулярной структуры материалов и вещества. Микроскопический анализ мела показал, что мел является осадочной горной породой органического (зоогенного) происхождения. По результатам анализа химического состава мела было выявлено наличие CaO в составе в большом количестве (96,89%), а MgO в малом количестве (3,11%). Химическая формула мела CaCO_3 . Минеральный состав мела схож с известняком, имеет мелкодисперсную морфологическую структуру. В составе мела нет примесей, он имеет микроскопический размер частиц.

Химический анализ талька показал, что он имеет крупнодисперсную структуру. Тальк представлен чешуйчатыми и листоватыми агрегатами, тонко-чешуйчатыми породами, таблитчатыми кристаллами или волокнистыми массами, плохо огранёнными и с трудом расщепляющимися на тонкие пластины. Химическая формула талька $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или $\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Тальк является минералом моноклинной сингонии. В составе талька присутствует в больших количествах оксид кремния SiO_2 (65,57%) и оксид магния MgO (33,25%). Примеси в виде оксида алюминия Al_2O_3 и оксида железа Fe_2O_3 представлены в сравнительно малом количестве. Таким образом, мы пришли к выводу, что тальк представлен не в чистом виде, так как в его составе обнаружены примеси. Размер частиц талька – микроскопический.

Тальк и мел значительно отличаются друг от друга по физико-химическим показателям и структурам своих кристаллических решеток, однако незначительно отличаются по размерам.

На сегодняшний день наиболее рас-

пространенным и производительным способом получения нанопорошков является тонкое механическое измельчение (диспергирование) материалов (от лат. *dispersio* – рассеяние). В промышленности и лабораториях для диспергирования твёрдых тел используют различные мельницы (вибрационные, струйные, шаровые, бисерные).

Повышение дисперсности может осуществляться посредством измельчения порошков в диспергационных мельницах. Поэтому оба образца (мел и тальк) были отправлены в Институт полимерных материалов при Министерстве науки и образования АР на помол в универсальную режущую экономичную вертикальную мельницу VLM-2. Данная мельница предназначена для измельчения образцов в лабораторных условиях.

Таким образом, испытуемые нами образцы мела и талька были измельчены до наночастиц. Был проведен микроскопический анализ, показавший, что нанотальк в размерах значительно уступает размерам наномела. Даже после помола талька не удалось добиться значительного уменьшения частиц и избавиться от игольчатой формы, тогда как мел за значительно меньшее время намного уменьшился в размерах своих частиц (рис. 1 и 2).

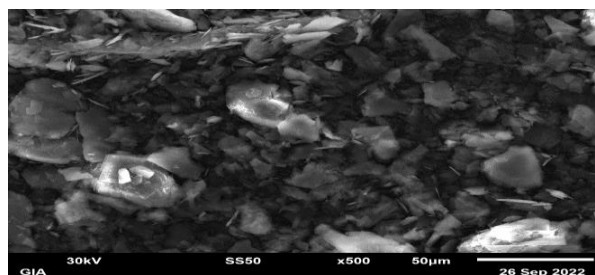


Рисунок 1 – Морфологическое изображение наноталька

Figure 1 – Morphological image of nanotalc

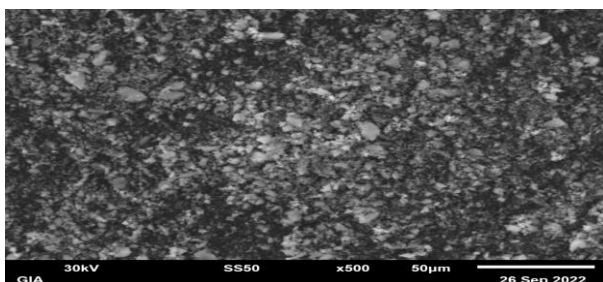


Рисунок 2 – Морфологическое изображение наномела

Figure 2 – Morphological image of nanochalk

Проведенные эксперименты показали, что только лишь через несколько часов сухого помола наблюдалось увеличение удельной поверхности частичек талька, в то время как мел в течении часа достигает требуемой удельной поверхности частиц. Так, при одинаковых условиях для мела требуется менее длительное диспергирование, чем для талька. Также необходимо отметить, что при измельчении частиц талька для улучшения качества диспергирования понадобилось добавление поверхностно активных веществ (ПАВ). Таким образом можно избежать явления самозалечивания трещин в частицах талька за счет адсорбции. Адсорбирующие вещества усилят действие разрушающих сил, но будут оказывать негативное влияние на окружающую среду, поскольку ПАВ могут высвобождать ионы тяжелых металлов. В отличие от талька, в меле такого не происходит. Было установлено, что при сухом помоле длительностью около часа обеспечивается достаточная дисперсность мела, тогда как тальк диспергируется в течении нескольких часов с добавлением ПАВ.

Для исследования составов и свойств ЛКМ на судоремонтном заводе «Биби-Эйбат» в лакокрасочном участке были созданы 3 образца судостроительной краски ПФ-115: 1-й образец - контрольный обра-

зец; 2-й образец - с наполнителем тальк; 3-й образец - с наполнителем наномел; 4-й образец - с наполнителем нанотальк.

Эмаль ПФ-115 была изготовлена в соответствии с ГОСТ 6465-76 [5] по рецептуре, приведённой в таблице 1.

Для проведения эксперимента в качестве подложки нами была выбрана сталь РСД-32, которая была окрашена всеми 4-мя эмалями (контрольным образцом, изготовленным на заводе «Биби-Эйбат» на основе мела, и тремя полученными нами образцами).

Таблица 1 – Рецептура судовых ЛКМ на основе разных наполнителей

Table 1 – Formulation of ship paints and varnishes based on various fillers

Составляющие компоненты	Вес составляющих компонентов
Состав краски на основе наполнителя наномела	
Лак ПФ-60	0,435
Диоксид титана (TiO_2)	0,092
Наполнитель (наномел)	0,343
Растворитель	0,114
Катализатор	0,016
Состав краски на основе наполнителя наноталька	
Лак ПФ-60	0,435
Диоксид титана (TiO_2)	0,092
Наполнитель (нанотальк)	0,343
Растворитель	0,114
Катализатор	0,016
Состав краски на основе наполнителя талька	
Лак ПФ-60	0,435
Диоксид титана (TiO_2)	0,092
Наполнитель (тальк)	0,343
Растворитель	0,114
Катализатор	0,016

После предварительной очистки, обезжиривания и обработки стали все 4 образца были нанесены на стальные пластины и оставлены с целью затвердевания методом холодной сушки. После высыхания все образцы были опущены в морскую воду в целях фиксирования изменений, происходящих с каждым из образцов в есте-

ственных условиях. Исследования проводились нами на 60, 120 и 180-й день эксперимента. Сравнительный анализ физико-технологических свойств образцов красок с добавками кальцита, талька, наномела и наноталька проводился в Институте геологии и геофизики при Министерстве науки и образования АР.

Согласно проведённому сравнительному анализу эмалей было установлено, что эмаль на основе мела имеет однородную структуру благодаря тому, что частицы мела равномерно распределены в составе эмали, тогда как эмаль на основе талька имеет неоднородную структуру за счёт распределения в составе краски относительно большими кусками.

Исследование и последующий анализ 60, 120 и 180-дневных образцов подложек, окрашенных всеми 4 образцами эмалей показали, что на 60-й и 120-й день эксперимента поверхность образца стали, покрытой эмалью на основе наномела, имеет более мелкодисперсную структуру, эта эмаль более плотно прилегает к поверхности, не наблюдается вспучивания, в отличие от поверхности образца стали, покрытой эмалью на основе наноталька.

По результатам проведённого химического анализа было установлено, что в составе эмали на основе наноталька наличие оксида железа составляет 1,42%, что свидетельствует о протекании коррозии. Наличие коррозии в образце с наномелом на 60-й и 120-й день эксперимента не было зафиксировано. На 180-й день эксперимента для визуального сравнения всех четырёх образцов были сделаны фотографические снимки, на которых видно значительное превосходство образцов на основе мела и наномела по сравнению с образцами

на основе талька и наноталька. Образцы эмали на основе мела и наномела отличались меньшим вспучиванием, тогда как в образцах эмали на основе талька и наноталька наблюдались значительные признаки коррозии. Таким образом, были выявлены преимущественные характеристики эмали на основе мела и наномела, благодаря которым она обладает лучшей коррозионной стойкостью, чем эмаль на основе талька и наноталька (рис. 3 и 4).



Рисунок 3 – Фотографический снимок 180-дневных образцов эмали на основе талька (слева) и мела (справа)

Figure 3 – Photograph of 180-day-old talc (left) and chalk (right) enamel samples



Рисунок 4 – Фотографический снимок 180-дневных образцов эмали на основе наноталька (слева) и наномела (справа)

Figure 4 – Photograph of 180-day-old nanotalc (left) and nanochalk (right) enamel samples

Далее для определения адгезионных характеристик и коррозионной стойкости на электронном микроскопе JSM 6610LV были исследованы 180-дневные образцы, покрытые эмалями на основе мела, талька,

наномела и наноталька. По итогам микроскопического анализа было установлено, что эмаль на основе мела спустя 180 дней значительно отличается от поверхности, покрытой эмалью на основе талька.

Поверхность стали, покрытой эмалью на основе мела, почти равномерно покрыта, наблюдается небольшое вспучивание, коррозия протекает незначительно, о чём свидетельствуют небольшие вкрапления ржавчины. На поверхности, покрытой эмалью на основе талька, краска отслоилась от поверхности, наблюдаются сильные вкрапления ржавчины, соответственно процесс коррозии протекает быстрее.

Химический анализ 180-дневных образцов, покрытых эмалями на основе мела, талька, наномела и наноталька, также показал, что процесс коррозии на поверхности, покрытой эмалью на основе талька, протекает значительно быстрее, чем на поверхности, окрашенной эмалью на основе мела. Хотя вкрапления оксида железа FeO появились на обоих образцах, однако на поверхности, окрашенной образцом на основе мела, коррозионный процесс протекает медленнее, чем на поверхности, покрытой ЛКМ на основе талька.

По итогам морфологического анализа также было выявлено, что поверхность, покрытая краской на основе наномела, имеет более мелкодисперсную структуру, более гладкая и краска равномерно распределена по поверхности (рис. 5 и 6).

Химический анализ образцов показал незначительное количество оксида железа FeO в составе эмали на основе наномела, значит, процесс коррозии на поверхности окрашенной стали протекает медленнее, в отличие от процесса, происходящего на поверхности, окрашенной эмалью на осно-

ве наноталька. Это происходит благодаря тому, что наночастицы мела после диспергирования уменьшены до нужных наноразмеров. Измельчённый до такого размера мел в составе ЛКМ хорошо влияет на адгезионные и коррозионные свойства ЛКМ.

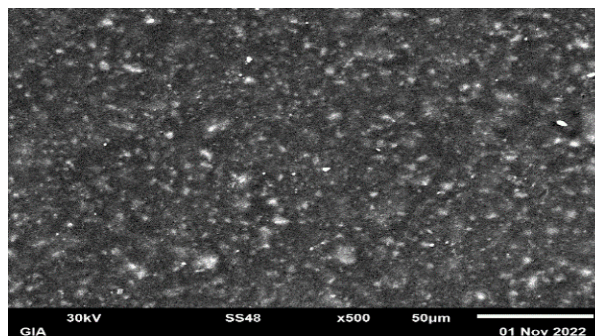


Рисунок 5 – Морфологическая структура эмали ПФ-115 на основе наномела (180-дневный образец)

Figure 5 – Morphological structure of PF-115 enamel based on nanochalk (180-day sample)

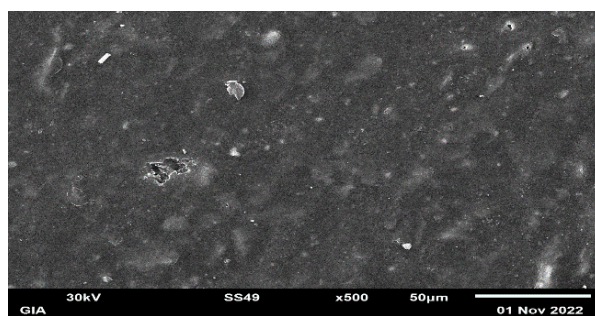


Рисунок 6 – Морфологическая структура эмали ПФ-115 на основе наноталька (180-дневный образец)

Figure 6 – Morphological structure of PF-115 enamel based on nanotalc (180-day sample)

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, мы пришли к выводу, что благодаря технологическим, физическим и химическим свойствам мела и талька они могут использоваться в качестве наполнителя в составе ЛКМ и ЛКП. Однако мел и наномел, в отличие от талька и наноталька, полностью отвечают требованиям, которые предъявлены к ЛКМ.

Благодаря добавкам наномела установлено также повышение стойкости ЛКП к растрескиванию, улучшение свойств, придающих глянец эмали, улучшение реологических свойств эмали и повышение прочностных характеристик эмали при механическом воздействии, улучшение атмосферостойкости и влагостойкости ЛКМ, повышение химической и коррозионной стойкости ЛКМ. Уникальность мела обусловлена особенностями кристаллической структуры и пластинчатой формой частиц.

Наиболее важными свойствами наномела являются высокая белизна и мягкость, гидрофобность и органотфильность, высокая термостойкость, химическая инертность и низкая электропроводность. За счёт мягкости наночастиц мела лакокрасочным материалам придаётся хорошая шлифуемость и обеспечивается низкий абразивный износ поверхности; гидрофобность и химическая стойкость наномела обеспечивает долговечность, антикоррозионную стойкость, а также улучшает внешний вид поверхности металла.

Пластичность наночастиц мела обеспечивает низкую водонепроницаемость, хорошую укрывистость и высокие характеристики прочности ЛКМ, повышается укрывистость, водостойкость и атмосферостойкость, усиливается химическая и коррозионная стойкость, регулируется матовость покрытия и вязкость композиции, улучшаются реологические характеристики ЛКМ.

Таким образом, экспериментально установленные преимущества подтверждают эффективность и целесообразность использования добавок наномела в составе ЛКМ, применяемых в авиа- и судостроительном производстве.

Расчёт загрязняющих веществ от лакокрасочного производства

Поскольку производственная практика показывает, что большинство ЛКМ содержит в себе компоненты, которые способны оказать пагубное воздействие на окружающую среду и организм человека, нами был произведён расчёт загрязняющих веществ от производства изготовленных нами образцов.

При приготовлении краски из растворителей выделяются пары растворителей [6].

$$P^{\text{II}} = M_{\text{б}} \cdot \phi_{\text{л}} \cdot \delta_{\text{л}} \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

где $M_{\text{б}}$ – количество компонентов, используемых при приготовлении краски; $\phi_{\text{л}}$ – сумма летучих частей из ЛКМ, 7%; $\delta_{\text{л}}$ – количество растворителя, выделившегося из смесителя, 3%; $P^{\text{II}} = 1425,0 \text{ кг/г} = 1,4235 \text{ т/г}$.

Выделение веществ в виде паров растворителей за секунду: $P^{\text{II}} = 0,075 \text{ г/сек}$

В таблице 2 представлены количественные значения выделяющихся паров растворителей.

Таблица 2 – Выделяющиеся пары растворителей
Table 2 – Emerging solvents

Ксилол	0,6785 т/г	0,0370 г/сек
Сольвент	0,4735 т/г	0,0220 г/сек
Уайт-спирит	0,2715 т/г	0,0160 г/сек

По степени воздействия на организм ксилол относится к 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества), уайт-спирит и сольвент относятся к 4-му классу опасности (вещества малоопасные) по ГОСТ 12.1.007-76 [7].

Пылевидные выделения

При добавлении в смеситель красок различных порошкообразных веществ

(мел, тальк и т.п.) эта зона принимается за источник интенсивного нелетучего пылеобразования.

Для расчета пылевидных выделений порошкообразных веществ используются данные, взятые для расчета пыли.

Объем пыли:

Секундный выброс загрязняющего вещества:

$$q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 \cdot B \cdot G \cdot 10^6}{3600} \text{ г/сек} \quad (2)$$

где $K_1 = 0,09$ – весовая доля пылевой фракции; $K_2 = 0,06$ – доля пыли (от всей весовой пыли), переходящая в аэрозоль; $K_3 = 1$ – коэффициент, учитывающий метеорологические условия (скорость ветра); $K_4 = 0,1$ – коэффициент степени защищённости рабочего места от внешних воздействий (условия пылеобразования); $K_5 = 0,7$ – коэффициент влажности материала; $K_7 = 0,8$ – коэффициент крупности материала; $B = 0,4$ – коэффициент высоты пересыпки; $G = 0,083$ – суммарное количество перерабатываемого материала.

$$q = 0,00055 \text{ г/сек}$$

Годовые выбросы пигментной пыли:

$$Q = 0,000295 \text{ т/г}$$

По степени воздействия на организм пылевидные выделения относятся к 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества).

Как показывают расчеты, выбросы, хотя и вредные и могут нанести вред как здоровью, так и окружающей среде, незначительны, эмаль относится к категории умеренно токсичных.

Сегодня одной из актуальных технологических проблем является повышение тонины помола сырья, создание многофункционального помольного оборудования, уменьшение затрат энергии при

нанопомоле.

Современное материальное производство основано на диспергировании, поскольку от свойств и качества порошка зависит материалоемкость, сложность и энергоёмкость всего производственного процесса [8].

Большие затраты электроэнергии на нанопомол обусловили многочисленные исследования, которые направлены на повышение рентабельности помольного оборудования и на разработку новейших устройств и методов получения нанопорошков. Исследования, направленные на улучшение качественных характеристик краски, в случае нахождения оптимальных вариантов, будут способствовать уменьшению затрат на ремонт, восстановление и замену авиа- и судовых металлических конструкций, вышедших из строя по причине разъедания ЛКП коррозией. Так может быть найден экономический баланс в данном вопросе.

Для получения микро- и наноталька одной из компаний, занимающихся научными исследованиями и разработками в области естественных и технических наук, было разработано и изготовлено технологическое оборудование. Целью проводимого анализа было определение целесообразности получения из талька частиц микро- и наноталька. Путём многочисленных экспериментов и расчётов целесообразность получения данных образцов была доказана. Однако перед нами стояла задача сравнения экономической эффективности получения частиц наномела с получением частиц наноталька.

Образцы наномела и наноталька были получены нами на лабораторном оборудовании. Для получения этих же образцов в

промышленных масштабах необходимо приобретение специального помольного оборудования.

На рынке Азербайджана представлено несколько компаний, предлагающих комплекс инжиниринговых услуг для предприятий лакокрасочной, химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, деревообрабатывающей, авиационной, автомобильной, пищевой, косметической, масложировой и фармацевтической промышленности. Благодаря характеристикам предлагаемого ими помольного оборудования нами была определена экономическая эффективность от процесса промышленного получения наномела.

Для определения экономической эффективности мы сравнили производительность наноталька с производительностью наномела, а также удельные затраты энергии, расходуемой на помол каждого из материалов. Сопоставим полученные значения (табл.3).

Так, практически при идентичных показателях удельных затрат энергии на помол наноталька и наномела производительность наномела более чем в 2 раза превышает производительность наноталька. Это обусловлено структурой мела, а также меньшим временем, затрачиваемым на получение наномела.

Таблица 3 – Сравнение показателей производительности и удельных затрат энергии для наноталька и наномела

Table 3 – Comparison of performance indicators and specific energy costs for nanotalc and nanochalk

Производительность, т/час		Удельные затраты энергии, кВт/час/т		Стоимость помольного оборудования (комплект), ман	Мощность мельницы, кВт/час
нанотальк	наномел	нанотальк	наномел		
0,031	0,065	8,1	7,8	141 100	11

Таким образом, была доказана экономическая эффективность и подтверждены преимущества применения наполнителей на основе наномела в изготовлении ЛКМ для судовых и авиаконструкций. В судостроительной отрасли испытуемые ЛКМ могут применяться для покраски корпуса судна, а авиастроении – для окраски внешней поверхности самолётов в целях повышения коррозионной стойкости металла.

Заключение

Согласно проведенным анализам был сделан вывод, что технологические, физические и химические свойства местного мела и талька свидетельствуют о том, что

местные мел и тальк могут использоваться в качестве наполнителя в составе судовых и авиационных ЛКМ и ЛКП. В отличие от талька и наноталька, мел и наномел полностью отвечают требованиям, которые предъявлены к ЛКМ.

Основываясь на результатах проведенных испытаний, были установлены нижеперечисленные преимущества применения наномела в производстве судовых и авиационных ЛКП: высокая атмосферо- и влагостойкость покрытий; улучшенные защитные свойства; регулирование вязкости и матовости композиций; повышенная прочность покрытий; эффективное использование пигмента и высокая укрывистость; предотвращение образования трещин и

низкая потёчность при нанесении; улучшение реологических характеристик.

Обоснована экономическая эффективность и подтверждены преимущества применения наполнителей на основе наномела при изготовлении ЛКМ для судовых и авиационных конструкций.

Экологичность данных материалов достигается вследствие высокого содержания сухого остатка, т. е. снижения легколетучих органических соединений в их составе. Различные пигменты и добавки, применяемые в ЛКМ, в большей или меньшей степени содержат соединения тяжёлых металлов. Они могут содержаться в воздухе зоны покраски и приготовления в аэрозоле жидкого ЛКМ и оказывать серьёзное воздействие на человеческий организм.

Нами был произведён расчёт загрязняющих веществ от лакокрасочного производства. В соответствии с произведёнными расчётами выделяющихся из растворителей

их паров, а также расчётами пылевидных выделений, выявлено, что, хотя они и являются вредными и могут нанести вред как здоровью, так и окружающей среде, тем не менее они являются незначительными. Краска умеренно токсичная. Это подтверждается и требованием ГОСТ.

Состав красок подтвержден актом, подписанным начальником лакокрасочного участка судоремонтного завода «Биби-Эйбат». Результаты апробирования были заверены Актом использования результатов научно-исследовательской работы «Повышение коррозионной стойкости корпуса судна с применением нанонаполнителей в лакокрасочных покрытиях» и получения краски на их основе.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Yakovlev A.D.** Lakokrasocniye pokritiya funksionalnoqo naznaceniya. Spb: Ximizdat, 2016. 272 s. (in Russian)
2. **Kondrashov E.K., Semyonova L.V., Kuznetsova V.A., Malova N.E., Lebedeva T.A.** Razviyiye aviacionnix lalokrasocnix materialov. Vse materiali. Ensiklopediceskiy spravocnik. 2012. №5. S.49-54. (in Russian)
3. **Kondrashov E.K., Kuznetsova V.A., Lebedeva T.A., Malova N.E.** Antikorrozionniye, termostoykiye, termorequliruyushiye i vlaqozashitniye pokritiya MKS «Buran». *Aviacionniye materiali i texnologii*. 2013. №5. S.137-141. (in Russian)
4. **Fatyanova N.V.** Modern methods of increasing the corrosion resistance of metal structures with the use of nanofillers in paint coatings in ship and aircraft // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, 2020, vol. 12, no. 4, pp. 40-46 (in Russian)
5. **QOST 6465-76.** Emali marok PF-115, ix texniceskiye usloviya. Moskva, 1977, 14 s. (in Russian)
6. **Karpov Yu.A., Orlova V.A., Mironova I.V.** Analiticeskiy kontrol ekoloqiceskoy bezopasnosti LKP// Doklad Mejd. foruma «Analitiki i analitika». Voronej. 2004. T. 2, 556 s. (in Russian)
7. **QOST 12.1.007-76 SSBT.** Vredniye veshestva. Klassifikasiya i obshiye trebovaniya bezopasnosti, s.1. (in Russian)
8. **Kalinskaya V., Drinberq A.S., Itsko E.F.** Nanotexnologii. Primeneniye v lakokrasocnoy promishlennosti. – M.: *ООО «Izdatelstvo «LKM-press»*, 2011. - 212 s. (in Russian)