

Научная статья
УДК 629.12
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-44-50>

Опыт применения композитных материалов в судостроении

Максим Алексеевич Мелешин^{1✉}, Али Саламех², Мазен Алсаид³

¹*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Россия, meleshin.maxim@yandex.ru*

²*Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала Федора Матвеевича Апраксина,
филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия*

³*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия*

Аннотация. Представлен опыт применения полимерных композиционных материалов в судостроении, приведены примеры судовых конструкций, изготовленных с использованием данных материалов. Рассматриваются некоторые современные иностранные и российские проекты в области военного и гражданского судостроения. Указаны основные преимущества полимерных композиционных материалов по сравнению с другими судостроительными материалами, используемыми в современном кораблестроении. На основании механических характеристик и других свойств полимерных композиционных материалов был изменен подход Российского морского регистра судоходства (РМРС) к возможности применения композитных материалов для отдельных судовых конструкций, что привело к широкому их использованию для изготовления различных судовых конструкций. Проанализированы основные технологические качества, по которым производятся испытания полимерных композитных материалов для выбора области их применения. Указаны направления развития производства и способы изготовления полимерных композиционных материалов. Представленный материал иллюстрирует темп внедрения новых способов изготовления полимерных композиционных материалов. Проведен анализ характеристик, по которым производится разработка новых регламентирующих документов по сертификации и приемке полимерных композиционных материалов. В лабораторных условиях ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» проводятся испытания по использованию полимерных композиционных материалов для изготовления судовых конструкций. Представленный материал свидетельствует о постоянном расширении области применения полимерных композиционных материалов и перспективах их применения в судостроении.

Ключевые слова: судостроение, полимерные композиционные материалы, стеклопластик, механические свойства, область применения полимерных композиционных материалов, судовые конструкции

Для цитирования: Мелешин М. А., Саламех Али, Алсаид Мазен. Опыт применения композитных материалов в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 44–50. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-44-50>.

Original article

Experience in application of composite materials in shipbuilding

Maksim A. Meleshin^{1✉}, Ali Salamekh², Mazen Alsaïd³

¹*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia, meleshin.maxim@yandex.ru*

²*Caspian Institute of Sea and River Transport after General-Admiral F. M. Apraksin,
branch of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

³*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia*

Abstract. The paper deals with the experience of using polymer composite materials (PCM) in shipbuilding. There are presented samples of ship structures designed using PCM. A number of modern Russian and foreign projects in the military and civil shipbuilding are considered. The main advantages of PCM in comparison with other materials

used in shipbuilding are indicated. Due to the mechanical and other characteristics of PCM, the approach of the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) to the possibility of using PCM for individual ship structures was changed. There have been analyzed the main technological qualities, according to which PCM tests are carried out to select the area of their application. The trends in the development of production and methods for the manufacture of PCM are appointed. The material presented demonstrates the pace of introduction of new methods into the PCM manufacturing. There has been conducted the analysis of the characteristics by which the development of new regulatory documents for the certification and acceptance of PCM is carried out. In the laboratories of Astrakhan State Technical University there are carried out the tests on using PCM for manufacturing the ship structures. The materials presented show the expansion of PCM application area and using the new methods in shipbuilding.

Keywords: shipbuilding, polymer composite materials, fiberglass, mechanical properties, application area of polymer composite materials, ship constructions

For citation: Meleshin M. A., Salamekh Ali, Alsaïd Mazen. Experience in application of composite materials in shipbuilding. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2022;2:44-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-44-50>.

Введение

Отрасль судостроения переходит на новую ступень развития с заменой общепринятых традиционных материалов на композиты. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) постепенно вытесняют с рынка традиционные: металл, алюминиевые сплавы, дерево. Взамен общепринятым материалам ПКМ внедрились в такие отрасли, как авиастроение и ракетостроение, военная промышленность, медицина, производство спортивного инвентаря, строительство. В последнее время заметно расширяются научно-лабораторные исследования в области применения и технологии изготовления ПКМ, наблюдается рост различных модификаций ПКМ, появляются новые технологии производства и изготовления деталей [1]. Можно утверждать, что ПКМ являются материалами будущего.

С середины XX в. ПКМ начали применять в авиастроении и судостроении. Процесс внедрения ПКМ в авиастроение продвигался быстрыми темпами, что было связано с хорошими финансовыми ресурсами, выделяемыми государством. В сферу судостроения внедрение ПКМ затянулось на десятилетия, поскольку в производстве имели место нестыковки технологических процессов [2].

В судостроении ПКМ используются как при изготовлении, так и при ремонте и модернизации судов, особенно следует отметить направления их применения [3]:

- надстройки судов, корпуса которых изготовлены из металла;
- корпуса кораблей тральщиков, надстроек корветов;
- подводные батискафы;
- люковые закрытия сухогрузных судов и дельные вещи;
- катера, яхты, катамараны [4].

Предпочтения использования композитных материалов в судостроении обусловлены их уникальными свойствами: коррозионная стойкость, немагнитность, меньшие затраты на техническое обслужи-

вание, малый удельный вес при относительно высокой прочности, возможность получения конструкции из ПКМ с требуемыми характеристиками, например с заданными акустическими свойствами (радиопоглощение, звукопрозрачность). На современном этапе практически все ведущие страны мира, в том числе Россия, включили композитные материалы в национальные проекты. Внедрение ПКМ является одним из важных приоритетов формирования и развития нового судостроения.

Сегодня для военного судостроения композитные материалы – необходимый элемент благодаря уникальности качества радиопрозрачности.

Недостаток современных ПКМ – их подверженность горению. Согласно результатам исследований возможности внедрения неметаллических материалов в судостроение ПКМ являются горючими, но трудновоспламеняемыми (с медленным распространением пламени на поверхности) [5].

Качества и характеристики конструкции из полимерных композиционных материалов

В соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС) (часть XVI) судовые конструкции, изготовленные с применением ПКМ, должны сохранять свои качества, прежде всего работоспособность и надежность, при эксплуатации в морских условиях в заданных диапазонах температур (от –40 до +60 °С) в течение длительного времени (не менее 20 лет); применяемые материалы, технологии и конструктивные решения должны обеспечивать пригодность корпусных конструкций к ремонту как в заводских условиях, так и при эксплуатации в море. Конструкции из ПКМ должны соответствовать требованиям к огнестойкости, взрывозащите и токсичности при повышенных температурах, т. е. не представлять опасности для жизни и здоровья человека [6].

Требования к пожароопасным параметрам определяются в зависимости от типа судна, его назначения и положений правил РМРС, на которые был одобрен проект судна. Для конструкций судов долж-

ны использоваться конструкционные ПКМ и наполнители среднего слоя, одобренные РС (СТО), согласно техническим условиям и спецификации на промышленную поставку, стандартам и паспортам (сертификатам качества изготовителя) [7].

Область применения композитных материалов в судостроении и других областях промышленности обусловлена возможностями этих материалов:

- основным показателем роста технологичности продукции является эффективное расходование горюче-смазочных материалов. Экономия топлива – это ключевой фактор общемировой направленности. Следует отметить, что статья эксплуатационных расходов (на горюче-смазочные материалы) для судов, изготовленных с применением ПКМ, ниже, чем расходы таких же судов, но изготовленных с применением алюминиевого сплава;

- суда, изготовленные из ПКМ, обладают такими качествами, как низкая видимость (военные технологии), скоростные характеристики, небольшая шумность;

- производственные изделия из ПКМ надежнее при эксплуатации, чем их эквиваленты из алюминиевых сплавов и стали, поскольку композитные материалы обладают такими свойствами, как неустойчивость к коррозии и старению. Соединения

композитных материалов характеризуются отсутствием концентраторов напряжения и других дефектов, которые встречаются при соединении стальных и других материалов разными технологическими способами;

- технология изготовления ПКМ и их состав постоянно обновляются, что положительно отражается на их применении в судостроении, т. к. создание высокоперспективных современных судов во многом зависит от технологии изготовления новых материалов, и внедрении в производство;

- при своей малой плотности ПКМ обладают высокими физико-механическими характеристиками. Прочность на растяжение у сталей – 240 МПа, у алюминиевых сплавов – 50–440 МПа, а у ПКМ – 70–1 800 МПа.

Страны с высоким уровнем экономики активно развивают судостроение, внедряя новые технологии и материалы. С развитием научно-технической и исследовательской деятельности в отношении новых композитных материалов расширяется область их применения для изготовления различных видов конструкций [8]. В таблице представлены механические характеристики некоторых компонентов композитных материалов, использованных для изготовления судовых конструкций.

Прочностные характеристики компонентов композитных материалов

Strength characteristics of composite material components

Виды нити	Удельная плотность, г/см ³	Упругость, ГПа	Предельная прочность на разрыв, ГПа	Разрывное удлинение, %	Энергия разрыва, МДж/м
Полиамидное волокно – нейлон 6,6	1,1	5	0,9	18	80
Kevlar 49tm	1,4	130	3,6	3	50
Высокопрочная стальная нить	7,8	200	3	2	6

Объем технологических испытаний ПКМ:

- проницаемость армирующих материалов;
- предельный угол деформации волокон ткани и армирующих материалов;
- смолонасыщение;
- адгезионная прочность между волокнами армирующего материала и полимерной матрицы по результатам прочностных испытаний в составе ПКМ;
- изменение диапазона времени гелеобразования связующих при вариациях отверждающей системы;
- отсутствие пенообразования и газообразования в связующих при введении отверждающей системы и время его окончания;
- температура экзотермической реакции при изготовлении ПКМ различными методами формования;
- отсутствие визуальных дефектов (пористость, расслоения) в готовом ПКМ после полимеризации связующего;

- физико-механические характеристики армирующих материалов, связующих и ПКМ на их основе.

Разработка новых регламентирующих документов по сертификации и приемке ПКМ обусловлена следующими процессами:

- исследованием и производством новых армирующих материалов различной химической природы, в том числе гибридных со сложными структурами армирования, а также новых терморезистивных и термопластичных матриц;

- освоением новых технологий формования конструкций и изделий из ПКМ (пултрузия, инфузия, RTM, RFI и т. д.);

- совершенствованием методологии проектирования судовых конструкций из ПКМ с широким привлечением методов компьютерного моделирования.

Сертификация является одним из драйверов внедрения ПКМ и новых технологий в отрасль.

Судовые проекты с применением полимерных композиционных материалов

В настоящее время активно используются и внедряются в производство при строительстве судов композитные материалы. Из них изготавливают трубопроводы, спасательные и дежурные шлюпки, сантехнические модули и приборные панели.

Компания Palmer Johnson достигла больших результатов в строительстве яхты 48M Super Sport, в данном проекте активно сочетаются углеродные композиты и алюминиевые сплавы. Длина яхты составляет 49 м, ширина – 11 м, максимальная скорость – 32 уз. Корпус яхты сделан из углеродистых композитов, что значительно меньше по массе, чем у классических яхт из стандартных материалов. Данный конструкционный материал позволяет экономично расходовать горюче-смазочные материалы [9].

На выставке Japan International Boat Show японская автомобильная компания представила моторную спортивную лодку Toyota Ronam-28V, на которой используется трехлитровый дизельный агрегат. Особенность спортивной лодки – сверхлегкий каркас из стекловолокна с применением алюминиевых сплавов. Основные характеристики лодки: длина – 9,14 м, ширина – 3,1 м, масса – 3,640 кг [10].

Широко применяется ПКМ и в оборонной промышленности на судах военного назначения. Например, первый в мире боевой корабль-невидимка, корвет проекта Visby (Швеция). Корпус корвета представлен в виде моноблока из сэндвича панелей. В качестве основного материала используется набор полимеров, армированных углеволокном, связующий – на основе винилэфира. Подобное сочетание композитов обеспечивает радиопоглощение и снижает уровень видимости для противника. Основные характеристики корвета: длина – 73 м, ширина – 10,4 м, водоизмещение – 640 т, максимальная скорость – 35 уз.

Ocean Eagle 43 – это тримаран океанского патруля, сочетающий в себе очень тонкий корпус из композитных материалов с двумя небольшими поплавами, обеспечивающими необходимую устойчивость. Эта комбинация снижает расход топлива, увеличивает скорость и автономность, обеспечивая при этом достаточный уровень комфорта даже в условиях умеренного и бурного моря. Очень высокая экономия топлива: 238 морских миль прошли со скоростью 15 уз всего за 1 т топлива. Основные характеристики тримарана: длина – 43,6 м, ширина – 15,7 м, максимальная скорость – 30 уз.

Независимая британская компания STruk занимается проектированием и строительством композитных судов и рабочих катеров для морского сектора. Отличительные факторы деятельности компании:

– повышенная эффективность за счет снижения веса судна;

– проверенная технология и надежность производства;

– универсальность благодаря сменным капсулам;

– короткие сроки и высокие скорости производства.

Судно MPC 19 является примером подхода STruk, разработано для смешанных потребностей сектора морских ветроэлектростанций, подвижная рулевая рубка и модульная система обеспечивают исключительную универсальность на одной платформе. Морские суда фирмы STruk прочные, они предназначены для посадки на грунт, ремонт и очистку корпуса возможно выполнять без докования.

Из эпоксидных композитных материалов ООО «Эволюшн Моторс» производит скоростные катера с каютами и мотором (Sirius 25 и Sirius 25 Jet). Проектируются и производятся качественные скоростные экономичные и функциональные моторные катера из композитных материалов с возможностью их транспортировки по дорогам общего назначения без специального разрешения и сопровождения. Основные характеристики катера: длина – 7,7 м, ширина – 2,54 м, максимальная скорость – до 70 км/ч.

Исследуя материалы различных источников и интернет-ресурсов, можно отметить, что военные корабли, изготовленные с применением сэндвич-панели из ПКМ, менее заметны радиолокационными станциями противника, чем классические с применением металлических конструкций. В конструкции военных кораблей из композитных материалов используется технология «стелс» – комплекс, способный снизить видимость кораблей радиолокационными, инфракрасными системами противника, позволяющий двигаться без обнаружения [11].

В целом судостроение в Российской Федерации не отстает от мировых лидеров производства из ПКМ. В России внедряются новые технологии и происходит импортозамещение сырья. Примером российского судостроения по освоению и внедрению композитных материалов является деятельность ОАО «Средне-Невский судостроительный завод». На его технологической базе строятся композитные корабли военного назначения. В настоящее время ОАО «Средне-Невский судостроительный завод» считается ведущим предприятием по применению ПКМ и внедрению композитных материалов в кораблестроение с военным уклоном. Кроме того, ПАО «Амурский судостроительный завод» внедряет и осваивает технологию производства композитных материалов для военных нужд и гражданского назначения.

На предприятии ОАО «Средне-Невский судостроительный завод» изготавливаются военные суда с применением ПКМ: базовый тральщик проекта 12700 «Александрит» и рейдовый траль-

щик проекта 10750Э, корпуса которых изготовлены из монолитного стеклопластика [12].

Для проектов 12700 и 10750Э использовалась технология RTM-Light, с помощью методов вакуумной инфузии изготавливались корпуса судов. Применялись полимерные материалы УГЭТ, стеклотекстолиты КАСТ-В, СТЭФ, стеклопластик СТЭТ-1 и СТЭТ-2. В структуру входят стеклопластики на основе полиэфирных смол холодного отверждения марок ПН-1, ПН-1С, ПН-3 и МА-3. Использовался армирующий материал, стеклопластиковый наполнитель следующих марок: Т1, Т2, АСТТ(б)-С1, АСТТ(б)-С2, АСТТ(б)-С8, АСТТ(б)-С9. Применяемыми марками стеклоткани для защитной оклейки маломерных судов являются ССТЭ-6 или ССТЭ-9.

Исследования в области применения полимерных композиционных материалов в судостроении

Современная версия правил РМРС допускает использование двух типов ПКМ в судовых конструкциях: однослойные и трехслойные. К однослойным относятся ПКМ на основе стеклянных, углеродных арамидных волокон, при этом требуется применять термореактивные полимерные связующие, полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы. К трехслойным ПКМ относятся конструкции, состоящие из наружных несущих слоев, выполненных из ПКМ, и среднего слоя наполнителя, в качестве которого правила РМРС допускают применять следующее: поливинилхлоридные пенопласты, имеющие жесткую закрытую структуру, пенополиуретан, легковесные маты с микросферами. К недостаткам трехслойного ПКМ относят огромную трудоемкость его изготовления, а также пониженную эксплуатационную надежность, сложность крепления устройств и деталей насыщения. Проведенные исследования в лабораторных условиях Астраханского государственного технического университета на разработанной установке [13] для изучения возможности применения ПКМ на основе

стеклянных волокон и применения полиэфирной смолы в качестве связующего материала для изготовления судовых надстроек свидетельствуют, что использование ПКМ взамен традиционных материалов, таких как сталь и алюминиевые сплавы, повышает экономическую эффективность эксплуатации судна на 20–30 %. Данные исследования продолжаются в отношении ПКМ на основе стеклянных волокон, но с применением других типов связующего компонента (винилэфирные и эпоксидные смолы). Проводится также исследование возможности применения указанных выше материалов для других типов судовых конструкций, например для изготовления судовых цистерн.

Заключение

В настоящее время композитные материалы становятся перспективными и востребованными в процессе проектирования и строительства современных судов и морской техники. Об этом свидетельствует состояние рынка ПКМ, где объем их продаж растет, регулярно внедряются новые технологии для их изготовления, что влияет на их стоимость, снижая ее. Результаты проведенных исследований экономической эффективности применения композитных материалов для изготовления судовых надстроек были получены при сравнительном анализе с надстройками, изготовленными из стали для транспортных судов с короткими надстройками. Эффективность применения ПКМ достигается за счет уменьшения водоизмещения судна, тем самым и снижения расхода топлива при эксплуатации судов и сокращения расходов на обслуживание, т. к. ПКМ не подвергаются коррозии и не требуют постоянной окраски. Следует отметить, что правила РМРС и Российского речного регистра постоянно обновляются, внедряются новые требования к применению ПКМ в судовых конструкциях с учетом новых достижений в области исследования и расширения возможности применения данных материалов в судостроении.

Список источников

1. Гуняев Г. М., Чурсова Л. В., Комарова О. А., Раскутин А. Е., Гуняева А. Г. Конструкционные полимерные угленанокомпозиты – новое направление материаловедения // Все материалы. Энциклопед. справ. 2011. № 12. С. 2–9.
2. Баженов С. Л., Берлин А. А., Кульков А. А., Ошмян В. Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: Интеллект, 2010. 352 с.
3. Алсаид М., Саламех А. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 37–47. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.
4. Арсадов А. В. Катера и яхты «Полимермо» // Композит. мир. 2011. № 2. С. 24–25.
5. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы: основные типы. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/110/> (дата обращения: 25.01.2022).
6. Кордонец С. М., Кутейников М. А. Требования Российского морского регистра судоходства к композиционным материалам. Опыт наблюдения, перспективы развития // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2018. Вып. 2. С. 140–143.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XVI. Конструкция и прочность корпусов судов

Али Саламех – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры судомеханических дисциплин; Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала Федора Матвеевича Апраксина, филиал Волжского государственного университета водного транспорта; a.salameh@mail.ru

Мазен Алсаид – аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; mazenal60@yahoo.com

Ali Salamekh – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Ship Mechanical Disciplines; Caspian Institute of Sea and River Transport after General-Admiral F. M. Apraksin, branch of Volga State University of Water Transport; a.salameh@mail.ru

Mazen Alsaid – Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; Astrakhan State Technical University; mazenal60@yahoo.com

