

УДК 629

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА КОРПУСА МАЛОГО УЧЕБНОГО СУДНА ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Романов А.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

В работе представлен обзор литературных данных по технологии производства корпусов и элементов судов из композиционных материалов, срокам их активной эксплуатации, а также возможности их оперативного ремонта.

Ключевые слова: композиционные материалы, полиэфирная смола, ремонтпригодность, учебное судно

JUSTIFICATION OF A CHOICE OF MATERIAL OF THE CASE OF THE SMALL TRAINING SHIP FROM COMPOSITE MATERIALS

Romanov A.D., Chernyshov E.A., Romanova E.A.

*The Nizhny Novgorod state technical university of R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

In work the review of literary data on the production technology of cases and elements of courts from composite materials is submitted, to terms of their active operation, and also possibility of their expeditious repair.

Keywords: composite materials, polyester pitch, maintainability, training ship

В настоящее время в России создано значительное число судов с одно-, двух- мачтовым парусным вооружением, стилизованным «под старину», часть из которых используется для обучения. Создание конкурентоспособного учебного парусного судна [1], предназначенного для серийной постройки и возможности эксплуатации на внутренних водных путях, позволит эффективнее проводить обучение молодого поколения моряков. Несмотря на то, что сталь в настоящее время – наиболее распространенный судостроительный материал, а также разрабатываются новые судостроительные стали [2], предлагается создать парусное судно с корпусом из композиционных материалов.

Первые суда из стеклопластика были изготовлены во второй половине 30-х годов XX века. С 50-х годов стеклопластиковое судостроение получило широкое распространение в мире, было построено значительное число яхт, рабочих и спасательных катеров и рыболовецких судов, десантно-высадочных судов и др. [3]. В настоящее время большую часть мирового малотоннажного флота составляют суда, имеющие корпуса из неметаллических композиционных материалов. Применение технологии изготовления судовых корпусных конструкций из композиционных материалов позволяет снизить массу на 25–30% при уменьшении стоимости элементов конструкции на 30–40% [4].

Однако постройка корпуса судна из композитных материалов требует специальных навыков, помещения и оборудования. Причем стоимость матрицы для корпуса может превышать стоимость постройки одного кор-

пуса. При этом важным моментом являются габариты судна (крайне желательна транспортировка в автогабарите (рис. 1), в том числе в наклонном положении), масса судна, а также водоизмещение. Предполагается, что учебные суда будут зимовать на берегу, а возможность спуско-подъемных работ, а следовательно, и масса судна, может оказаться критической величиной. Кроме того, для судна с меньшим водоизмещением необходима меньшая по мощности двигательная установка и, следовательно, эксплуатационные расходы [5].

Наиболее распространенным методом постройки судов из пластмасс является формирование корпуса с монокотной оболочкой. Обычно на поверхность матрицы наносят сначала декоративный поверхностный слой, а затем ламинируют матом или тканью, пока не будет достигнута нужная толщина обшивки или необходимая прочность на разрыв. В большинстве случаев в качестве связующего наполнителя используется химически отверждаемая термореактивная смола. В основном используются полиэфирные, эпоксидные, фенольные и др. смолы. Чаще всего в изготовлении деталей сложной конфигурации применяют технологии, суть которых заключается в выкладке «сухой» основы с последующей пропиткой связующим составом («влажная» формовка, Resin Transfer Molding/RTM) или с поочередной выкладкой «сухой» основы с пленочным клеем (вакуумная пропитка, Resin Film Infusion/RFI). Кроме того, широкое распространение получила технология изготовления деталей с использованием препрегов (представляют собой материал основы, пропитанный связующим составом).



Рис. 1. Яхта проекта Рикошет-930 установленная под углом на трейлер, при этом обеспечивается соблюдение автогабарита

При использовании комбинированного метода постройки или «сэндвич-конструкции» корпус состоит из трех основных связанных между собой слоев, имеет армированные стеклотканью несущие слои. В качестве заполнителя между этими слоями применяют преимущественно жесткие пенопласты. Пенопласты, используемые в качестве заполнителей сэндвич-структуры, не только улучшают свойства композитных компонентов, позволяя достигать более высокой объемной плотности армирующих слоев, но также служат структурой, проводящей смолу в процессе пропитки, в том числе после механической обработки поверхности пенопласта, и изготовлении каналов для лучшего распределения смолы. Однако в процессе эксплуатации со снижением жесткости возрастает степень гибкости, испытываемой отдельными участками днища, с ростом гибкости возрастает риск усталостных деформаций. Если корпус имеет сэндвичевую конструкцию, механические разрушения могут наступить довольно скоро. При этом насыщение влагой заполнителя, носящее обширный характер, значительно усложняет и удорожает ремонт.

В настоящее время используя модуль лазерного проецирования (рис. 2), специалисты имеют возможность автоматически генерировать данные для проецирования непосредственно из 3D-модели композитного изделия. Такая схема работы значительно сокращает временные издержки, увеличивает эффективность процесса, снижает вероятность дефектов и ошибок и де-

лает управление данными проще. Комплекс «программное обеспечение – раскройный станок – проекционный лазер» по сравнению с традиционной выкладкой снижает трудоемкость раскроя примерно на 50%, трудоемкость выкладки – примерно на 30%, повышает коэффициент использования материалов [6].

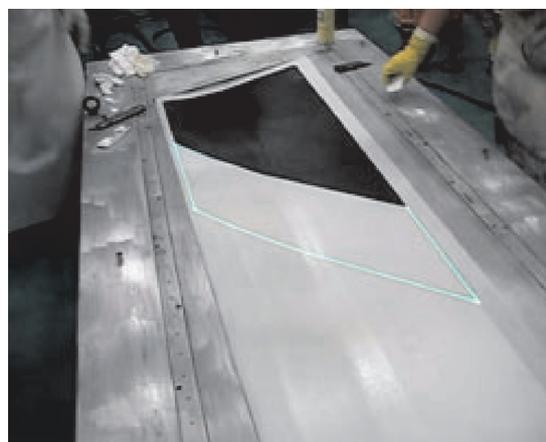


Рис. 2. Система лазерного позиционирования (зеленый контур)

В соответствии с практикой, сложившейся в мировом судоходстве, одним из достоверных критериев оценки эксплуатационной прочности и долговечности корпуса судна является наблюдение за динамикой развития в нем различных эксплуатационных дефектов и износов. По достижении определенных размеров напряжения, действующие в конструкции в районе его расположения, превышают пределы прочности,

установленные проектантом и изготовителем судна в качестве предельно допустимых. Это может привести как к разрушению конструкции при расчетных режимах движения, так и к непропорциональному увеличению зоны аварийных разрушений при нештатных эксплуатационных ситуациях.

В отличие от других материалов, применяемых для изготовления корпусов судов, слоистые композиты типа стеклопластика в процессе старения практически не изменяют своего внешнего вида и размеров, но в них могут возникать внутренние дефекты типа расслоения. В ряде случаев состарившийся расслоившийся стеклопластик с восстановленным декоративным покрытием внешне мало отличается от нового материала.

Понятие долговечности корпусных конструкций из композиционных материалов относится к стойкости композита к воздействиям механических нагрузок, воды, тепла и света. Эксплуатационные дефекты судовых корпусных конструкций из композиционных материалов можно классифицировать по причине возникновения следующим образом:

- дефекты, возникающие вследствие силовых воздействий на конструкцию;
- дефекты, возникающие вследствие воздействия на конструкцию воды;
- дефекты, возникающие вследствие температурных воздействий на конструкцию;
- дефекты, возникающие вследствие воздействия на конструкцию излучения;
- дефекты случайного характера (аварийные).

По окончании гарантийного срока, установленного фирмой-изготовителем на корпусные конструкции судна, оценка их технического состояния является обязанностью и прерогативой органов, осуществляющих техническое наблюдение за судном, и предметом специальных процедур [7].

Полиэфирная смола, применяемая при постройке практически всех пластиковых корпусов, приобретает твердость и прочность в результате реакции при введении отвердителя. Смола – полимер и имеет длинные цепи молекулярных структур. Отвердитель – мономер, способный соединить эти цепи прочными связями между собой. Смолы с большим содержанием мономера – стирола (этиленбензола) были распространенным явлением в 70-х и 80-х годах, и если при изготовлении ламината мономер (стирол) не прореагировал весь с полимером (смолой) еще в начальной, жидкой фазе отверждения смолы, то он остается в массе стеклопластика.

Однако в 90-е годы резко ужесточились законы относительно ограничения количества канцерогенных летучих орга-

нических соединений. Смолы и гелькоуты с тех пор были постепенно изменены в своем химическом составе для уменьшения эмиссии вредных веществ. Но новые, измененные смолы сделали и постройку лодок, и их ремонт значительно более требовательными технически, чем это было прежде. Чтобы уменьшить содержание стирола в смоле был применен другой ингредиент – дициклопентадиен. Дициклопентадиен обладает низкой вязкостью, в содержащие его смолы можно добавлять лишь незначительное количество стирола и при этом получать смолу с вязкостью, пригодной для производства стеклопластикового ламината. При этом применение смолы с дициклопентадиеном и другими новыми ингредиентами, которые способствуют полному отверждению смолы в течение дней, максимум – недель, а не месяцев и лет, как это было прежде, накладывает технологические ограничения на строительство и ремонт судов. В частности, вторичная выклейка (или ламинирование) предполагает приклейку, приформовку свежего стеклопластикового ламината к уже отвердевшему. В случае с «новыми» стеклопластиковыми соединениями прочность соединения отвердевшего ламината со свежим будет обеспечиваться лишь адгезией смолы к «старой», химически инертной, поверхности. В этом случае соединение на молекулярном уровне произойдет на глубину слоя лишь нескольких молекул, что значительно слабее, чем образование единого полимерного блока.

Внутренний, силовой набор корпуса – стрингера, флоры, переборки и проч. – должны быть вставлены на место и приламинированы к корпусу в течение короткого временного промежутка. Даже небольшое количество ультрафиолетового излучения в солнечный день может сократить этот период от нескольких дней до нескольких часов.

Также одной из проблемных мест композитов является осмос, т.е. химический процесс гидролиза, развивающегося вследствие проникновения, или диффузии, воды сквозь тонкий слой гелькоута и появления в ламинате пузырей. Полиэфирные смолы на основе изофталевого смолы (изосмолы) менее склонны к образованию осмоса по сравнению с широко используемой в производстве ортофталевого смолы. Еще большую водостойкость имеет изофталкислотная неопентилгликолевая смола (Iso-NPG). Благодаря применению данных смол можно значительно уменьшить опасность образования осмоса.

Участки вздувшегося пузырями стеклопластика на днище лодки свидетельствуют о том, что имеет место явление, известное как гидролиз стеклопластика. Далеко не всякий корпус, пораженный гидролизом имеет пузыри, но любой пузырящийся корпус в той или иной степени поврежден его процессом. Опыт говорит о том, что все лодки, построенные на полиэфирной смоле, демонстрируют те или иные признаки разрушения гидролизом наружных слоев стеклопластика после 5–10 лет нахождения на воде [8].

Вода проникает сквозь гелькоат как в виде паров, так и в виде жидкости. Гелькоат при постоянном контакте с водой является довольно слабой преградой для ее проникновения. При этом стекловолоконно действует как капилляры и транспортирует воду вглубь ламината. Находясь в близком контакте со смолой в гелькоате и ламинате, вода образует своего рода химический раствор с тем, что принято называть водорастворимыми веществами, содержащимися в смоле. К этим веществам относятся фталевые кислоты, гликоли, соединения кобальта, растворитель и стирол, который не завершил отверждение в процессе полимеризации. В той или иной степени они присутствуют в любой отвержденной полиэфирной смоле. В некоторых случаях по причине неудовлетворительного качества материалов или же из-за нарушений технологии уровень этих веществ может превышать норму.

Винилэфирные смолы стали сейчас стандартным материалом барьерных покрытий. Будучи разработанными с целью защиты от коррозии и достижения высокой механической прочности, они совмещают хорошие водостойкие качества эпоксидных смол с простотой применения полиэфирных. Теоретическая водостойкость при равной толщине пленки у нее значительно меньше, чем у эпоксидной, но ее низкая стоимость и гибкость позволяет наносить ее толстым слоем, что значительно повышает водостойкость. Винилэфирные смолы также более совместимы с полиэфирными, чем эпоксидные. Прочность клеевого шва на винилэфирной смоле с «родным» стеклопластиком получается выше, чем у полиэфирной и эпоксидной.

В течение более 40 лет в странах Западной Европы и США из полиэфирных стеклопластиков и трехслойных полимерных композиционных материалов – ПКМ (стеклопластик – пенопласт – стеклопластик) изготавливают корпуса кораблей и судов водоизмещением до 900 т [9]. Строительство крупных судов из композиционных материалов наиболее развито в США, Великобритании, Канаде, Франции, Швеции, Италии, Южной Корее и др.

В качестве примеров применения композитов и для оценки их долговечности можно привести следующее: впервые композитные материалы в подводном кораблестроении активно применялись в США при переоборудовании подводных лодок по проекту GUPPI (Great Underwater Propulsive Power) и FRAM (Fleet Rehabilitation and Modernization). Они получили новые ограждения боевых рубок и выдвижных устройств, изготовленных с применением полиэфирного стеклопластика. В настоящее время в конструкциях ПЛ стеклопластик занимает значительный объем, например, при выполнении элементов конструкции ПЛ пр. 212.

В СССР в 1964 году был спущен на воду корабль противоминной обороны (ПМО) с корпусом из композиционного конструкционного стеклопластика водоизмещением 320 т пр. 1252 «Изумруд». За период его длительных испытаний и службы в составе ВМФ трижды заменялись главные двигатели, израсходовав моторесурс, а внешний вид корпуса как и его прочностные характеристики остались без существенных изменений, как, [10].

При этом возникла проблема ремонтно-пригодности корпуса корабля из стеклопластика. Традиционные способы ремонта, применявшиеся в металлическом судостроении, не подходили. Технологию и материалы, используемые при постройке пластмассового корпуса в цеховых условиях, использовать также было нельзя (корабль находился на плаву). Проблема была решена способом с применением специального связующего, обеспечивающего его полимеризацию при относительно низких температурах и повышенной влажности воздуха. Корпус первого ПМО, получивший в результате столкновения пробоину площадью несколько квадратных метров, был отремонтирован по этой технологии в течение суток.

В настоящее время получают все большее распространение подобные составы, предназначенные для оперативного ремонта композитных корпусов судов, находящихся в море. Например, состав компании [11] предназначен для оперативного ремонта. Для ремонта отсутствует необходимость в применении мерных емкостей, так как состав поставляется в едином пакете (смола, отвердитель, стеклоткань). При применении сначала удаляется разделительная клипса, что позволяет смоле и отвердителю перемешаться. После чего удаляется разделительный слой и происходит пропитка стеклоткани. Затем разрезается общая упаковка и готовый пластырь наклеивается на поврежденный участок. Причем установка пластыря возможна как на поверхности, так и под водой. Состав набирает 90% прочности в течение часа.



Рис. 3. Поврежденный обтекатель ПЛ пр. 971

Еще одна из областей, где стеклопластик нашел применение, – это изготовление обтекателей гидроакустических комплексов ПЛ [12]. Было создано несколько типов конструкции обтекателей, в том числе конструкция с трехслойной безнаборной обшивкой со средним слоем из сферопластика и наружными слоями из стеклопластика. Многолетний опыт эксплуатации обтекателей из стеклопластика показал надежность и подтвердил правильность принятых научно-технических решений при их разработке и внедрении.

Заключение

Вышеизложенное говорит о том, что в настоящее время современные технологии производства корпусов из композиционных материалов на основе стеклопластика обеспечивают возможность строительства, а также, в случае соблюдения технологии строительства, длительной эксплуатации судов. Для ремонта корпусов из композиционных материалов разработаны и внедрены необходимые технологии, которые позволяют провести аварийный ремонт, в том числе в открытом море или в условиях стоянки без необходимости докования.

Список литературы

1. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Разработка учебного парусного судна для внутренних водных путей // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 11–2. – С. 31–33.
2. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Развитие сталей для прочных корпусов подводных лодок // Технология металлов. – 2014. – № 5. – С. 45–48.
3. Конструкция и прочность корпусов судов и кораблей из стеклопластика. Иностранное судостроение в 1965–1973 гг. // Судостроение. – 1973.
4. Францев М.Э. Проектные особенности зарубежных судов их композиционных материалов для прибрежного лова // Судостроение. – 2010. – № 5. – С. 14–16.
5. Проектный анализ конкурентоспособности судов из композиционных материалов / Францев М.Э., Ханухов В.К., Царев Б.А. // Морской вестник. – 2013. – № 10. – С. 9–15.
6. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Современные технологии производства изделий из композиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 2. – С. 46–51.
7. Францев М.Э. Эксплуатационные дефекты корпусов стеклопластиковых судов // Катера и яхты. – № 2(212). – С. 90–93, № 3(213). – С. 102–105.

8. Craig Bumgarner Blisters and laminate hydrolysis // Zahniser's Yachting Center Гидролиз стеклопластика и пузырение гелькоата URL: <http://t22.nm.ru/hydrolysis.htm>.

9. Фролов С.Е. Методы создания новых макронеоднородных композиционных материалов и технологические решения при изготовлении из них корпусных конструкций // Судостроение. – 2003. – № 3. – С. 55–59.

10. Лукьянов Н.П. Опыт применения композиционных полимерных материалов для постройки кораблей ПМО // Судостроение. – 2007. – № 3. – С. 19–22.

11. Сайт компании APLTec composite patch. URL: <http://compositpatch.com>.

12. Лукьянов Н.П. Обтекатель гидроакустического комплекса из полимерного композиционного материала // Судостроение. – 2006. – № 4. – С. 55–60.

References

1. Chernyshov E.A., Romanov A.D. Razrabotka uchebnogo parusnogo sudna dlja vnutrennih vodnyh putej // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija. 2013. no. 11–2. pp. 31–33.

2. Chernyshov E.A., Romanov A.D. Razvitiye stalej dlja prochnykh korpusov podvodnykh lodok // Tehnologija metallov. 2014. no. 5. pp. 45–48.

3. Konstrukcija i prochnost' korpusov sudov i korablej iz stekloplastika. Inostrannoe sudostroenie v 1965–1973 gg. // Sudostroenie. 1973.

4. Francev M.Je. Proektnye osobennosti zarubezhnykh sudov ih kompozicionnykh materialov dlja pribreznogo lova // Sudostroenie. 2010. no. 5. pp. 14–16.

5. Proektnyj analiz konkurentosposobnosti sudov iz kompozicionnykh materialov / Francev M.Je., Hanuhov V.K., Carev B.A. // Morskoj vestnik. 2013. no. 10. pp. 9–15.

6. Chernyshov E.A., Romanov A.D. Sovremennye tehnologii proizvodstva izdelij iz kompozicionnykh materialov // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2014. no. 2. pp. 46–51.

7. Francev M.Je. Jekspluatacionnye defekty korpusov stekloplastikovyx sudov // Katera i jahty. no. 2(212). S. 90–93, no. 3(213). pp. 102–105.

8. Craig Bumgarner Blisters and laminate hydrolysis // Zahniser's Yachting Center Gidroliz stekloplastika i puzyrenie gel'koata URL: <http://t22.nm.ru/hydrolysis.htm>.

9. Frolov S.E. Metody sozdanija novyx makroneodnorodnykh kompozicionnykh materialov i tehnologicheskie reshenija pri izgotovlenii iz nih korpusnykh konstrukcij // Sudostroenie. 2003. no. 3. pp. 55–59.

10. Luk'janov N.P. Opyt primeneniya kompozicionnykh polimernykh materialov dlja postrojki korablej PMO // Sudostroenie. 2007 no. 3. pp. 19–22.

11. Sajt kompanii APLTec composite patch. URL: <http://compositpatch.com>.

12. Luk'janov N.P. Obtekatel' gidroakusticheskogo kompleksa iz polimernogo kompozicionnogo materiala // Sudostroenie. 2006. no. 4. pp. 55–60.