

**В** последние два десятилетия в мировом судостроении расширяются объемы применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) и идет интенсивный процесс разработки новых ПКМ и технологий изготовления конструкций из этих материалов.

ОАО «ЦМКБ «Алмаз» совместно с ФГУП «Крыловский государственный научный центр» создан целый ряд судостроительных конструкций на основе ПКМ.

На корвете пр. 20380 спроектированы, изготовлены и прошли эксплуатационные испытания надстройка, рама под

главные двигатели и виброизолирующие соединительные муфты (ВСМ) из ПКМ, которые показали высокую эффективность и надежность.

В настоящее время на ОАО «Средне-Невский судостроительный завод» идет строительство корабля пр. 12700 из ПКМ, на котором впервые в отечественном судостроении для изготовления обшивки корпуса и корпусных конструкций используется технология закрытого формования. Дальнейшее распространение ПКМ связано с применением современных армирующих материалов и развитием технологии их изготовления. Одним из перспективных направлений повышения характеристик кораблей и судов является использование в их конструкциях углепластиков и гибридных ПКМ на основе углеродных армирующих систем. Известно, что углепластики имеют по сравнению с другими ПКМ ряд преимуществ, к которым, в первую очередь, относятся:

- значительно более высокие удельные прочностные и жесткостные характеристики;
- повышенная сопротивляемость при воздействии повторных статических и вибрационных нагрузок.

Углепластики находят все более широкое применение в судостроении в таких развитых в промышленном отношении странах, как Франция, ФРГ, Швеция, Япония и т. д. Если в 60–70-х гг. из них изготавливались корпуса спортивных лодок, гоночных катеров и яхт, то сегодня эти материалы используются при строительстве более крупных кораблей. В качестве примера можно назвать корветы типа «Visby» ВМС Швеции водоизмещением 640 т и длиной 73 м, корпус и надстройка которых имеют трехслойную конструкцию с несущими слоями из углепластика на основе мультиаксиальной углеродной ткани со структурой армирования ( $0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ$ ) из волокон T800H японской компании «Toray Group» и средним слоем из пенопласта марки Divinycell (фирма DIAB, Швеция) [1]. В настоящее время в США ведется строительство корабля пр. DDG-1000 длиной 182 м и водоизмещением около 14 000 т с надстройкой из ПКМ размерами 49×21×20 м, которая имеет трехслойную конструкцию с несущими слоями из углепластика и средним слоем из балзы (фирма «AIREX BALTEK», Швейцария) [2].

Углеродные армирующие системы также широко применяются для изготовления судовых валов, подшипников скольжения, судовых валопроводов и виброизолирующих соединительных муфт.

Обоснованное внедрение углепластиков в корпусные конструкции надводных кораблей невозможно без изучения их прочностных, вибропоглощающих, электромагнитных и других свойств, в том числе учета влияния факторов среды эксплуатации.

Определенную перспективу имеют гибридные полимерные композиционные материалы (ГПКМ), в которых помимо углеродных армирующих систем введены стеклоармирующие материалы. Это позволяет не только снизить стоимость по сравнению с углепластиковыми, но и повысить их удароустойчивость.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В НАДВОДНОМ СУДОСТРОЕНИИ

*В.А. Булкин, начальник сектора ОАО «ЦМКБ «Алмаз»,  
Н.Н. Федонюк, канд. техн. наук, начальник сектора  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,  
А.В. Шляхтенко, д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор ОАО «ЦМКБ «Алмаз»,  
контакт. тел. (812) 369 1122, 8 921 316 5992*

Введение в состав ГПКМ наполнителей и других материалов со специальными свойствами позволит получить материал, наделенный полифункциональными свойствами, например, повышенным вибро- и радиопоглощением. Однако выбор исходных компонентов, создание из них оптимальных по составу и структуре ГПКМ, удовлетворяющих поставленным требованиям, и разработка на их базе конструктивных решений связаны с большими трудностями и требуют значительных по объему расчетно-экспериментальных исследований.

За рубежом производством углеродных волокон занимаются несколько десятков фирм, подавляющее большинство которых расположено в Японии. Наибольших успехов в производстве высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон достигла компания «Toray Group». Волокна марок T800H и T1000G обладают уникальным сочетанием свойств по прочности, жесткости и предельному относительному удлинению, параметры которых достигают рекордных значений. То же самое можно сказать о высокомодульных волокнах марок M50J и X665, модуль нормальной упругости которых находится на максимальном уровне порядка 500 ГПа и более при прочности на растяжение 3,4–4,1 ГПа [3].

Достаточно высокие характеристики имеют углеродные волокна и других производителей, при этом за рубежом выпускаются углеродные волокна широкой номенклатуры, из которых изготавливаются разнообразные армирующие материалы: маты, ровинги, ленты, ткани различного плетения, мультиаксиальные ткани. Это позволяет удовлетворить потребности разных отраслей промышленности и расширить области применения ПКМ на основе углеродных волокон, а увеличение объемов использования этих материалов обеспечивает снижение стоимости изготовления продукции.

В России лидером в производстве углеармирующих материалов является ЗАО «ХК «Композит» (Москва) [4], которое выпускает ленты и ткани саржевого и полотняного переплетения из углеродных волокон, изготавливаемых собственными предприятиями, а также предприятиями других фирм и компаний. При этом ассортимент материалов весьма ограничен, и большинство из них уступает по своим механическим и технологическим свойствам зарубежным аналогам.

Создание эффективных корпусных конструкций из ПКМ и ГПКМ надводных кораблей в настоящее время невозможно без внедрения передовых технологических процессов, какими являются методы закрытого формования, к которым относятся метод инфузии и RTM-методы. Внедрение этих методов положительно скажется на качестве изготовления корабельных корпусных конструкций из ПКМ и ГПКМ и в значительной степени ликвидирует отставание России в области механизации процессов формования конструкций и изделий.

В настоящее время ФГУП «Крыловский государственный научный центр» проводит комплекс работ по оценке эффективности использования ПКМ и ГПКМ на основе углеродных армирующих систем в судостроении. Совместно с ООО «Композит-Проф» (Санкт-Петербург) отрабатываются тех-



нологии закрытого формования, а совместно с ОАО «ЦМКБ «Алмаз» разрабатывают корпусные конструкции на их основе.

Проведенные в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» испытания образцов ПКМ и ГПКМ на основе углеармирующих материалов ЗАО «ХК «Композит» позволили достичь требуемых основных физико-механических характеристик этих материалов и выполнить предварительные проработки корпусных конструкций на их основе.

На рис. 1 приведены сравнительные характеристики ПКМ и ГПКМ параллельно-диагональной структуры армирования  $[0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/90^\circ]$ , изготовленные по технологии вакуумной инфузии на винилэфирном связующем DION FR 9300 («Reichhold», Швеция). Сравниваются характеристики стеклопластика на основе стеклоткани марки T11-ГВС-9 той же структуры армирования, изготовленного по технологии контактного формования на отечественном полиэфирном связующем ПН-609-21М. Этот материал широко применялся ранее в отечественном судостроении.

Сравнение производится для следующих ПКМ:

– стеклопластика на основе стеклоткани 9977R3-290  $[0^\circ/90^\circ]$  и диагональной стеклоткани 62031  $[+45^\circ/-45^\circ]$  («Ahlstrom», Финляндия);

– углепластика на основе углеткани Ст-12026  $[0^\circ/90^\circ]$  и диагональной углеткани Сб-42101  $[+45^\circ/-45^\circ]$  (ЗАО «ХК «Композит»;

– гибридного материала на основе углеткани Ст-12026  $[0^\circ/90^\circ]$  и диагональной стеклоткани 62031  $[+45^\circ/-45^\circ]$ .

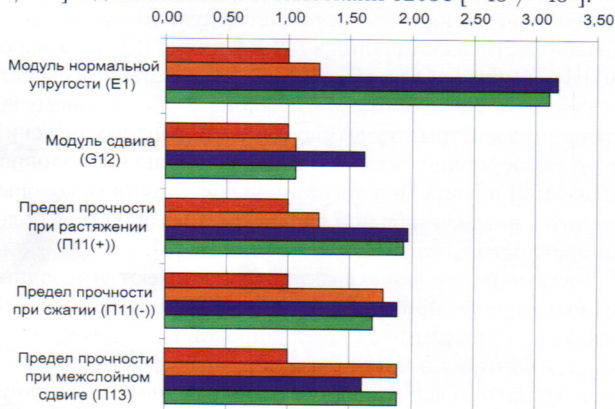


Рис. 1. Сравнение физико-механических характеристик стеклопластиков, углепластика и ГПКМ

■ – стеклопластик T11-ГВС-9/ ПН-609-21М, ■ – стеклопластик 9677R3-290+62031/FR9300, ■ – углепластик Ст-12026+Сб-42101/FR9300, ■ – ГПКМ Ст-12026+62031/FR9300

Как видно из рис. 1, углепластики и ГПКМ имеют по сравнению со стеклопластиком более высокий модуль упругости и предел прочности при растяжении, при этом предел прочности при сжатии и при межслойном сдвиге находится на уровне стеклопластика, изготовленного по технологии закрытого формования.

На основании полученных физико-механических характеристик в ОАО «ЦМКБ «Алмаз» совместно с ФГУП «Крыловский государственный научный центр» были выполнены проработки корпусных конструкций из однослойного ПКМ и ГПКМ на основе углеродных армирующих систем и балок набора применительно к пр. 12700, а также конструкциям надстройки пр. 20380 из трехслойного полимерного композиционного материала (ТС ПКМ). Полученные результаты показали эффективность применения углепластика в корпусных конструкциях.

На рис. 2 показано относительное снижение массы обшивки, балок набора и ТС ПКМ надстройки при использовании углепластика.

При сохранении обшивки равной массы по сравнению со стеклопластиком применение углепластика позволяет в 1,5 раза увеличить шпацию поперечного набора, что соответственно снижает в 1,5 раза трудоемкость его установки.

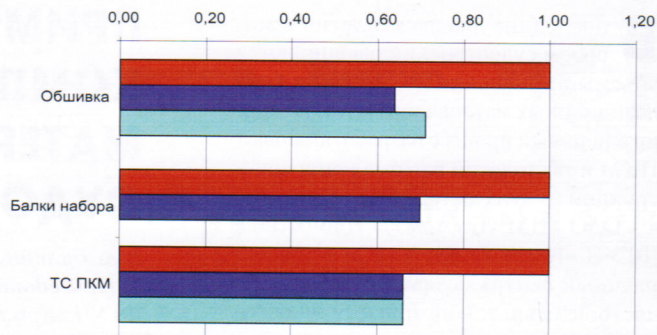


Рис. 2. Относительное снижение массы корпусных конструкций при использовании углепластика

■ – стеклопластик, ■ – углепластик, ■ – ГПКМ

Высокие физико-механические характеристики углепластиков позволяют приступить к постройке кораблей и судов водоизмещением до 1200 т и длине корпуса до 100 м с пересмотром технологии их строительства, в частности с переходом на секционно-блочный метод строительства. Изготовление обшивки таких корпусов в матрице с последующей установкой набора становится неэффективным. Переход к секционно-блочной технологии изготовления корпусов требует проведения комплекса исследований работоспособности стыковых соединений обшивки, в том числе трехслойной, и продольных балок набора.

Стоимость отечественных углеармирующих материалов, которая на сегодняшний день более чем в 5–10 раз превышает стоимость стеклоармирующих материалов, что существенно увеличивает стоимость корпусных конструкций с их применением. Поэтому перед производителем углеармирующих материалов – ЗАО «ХК «Композит» – стоит основная цель – снизить их стоимость и повысить характеристики. Производители углеродных волокон стремятся снизить себестоимость производства путем уменьшения стоимости сырья и совершенствования технологических процессов.

На рис. 3 представлена динамика изменения стоимости производства углеродных волокон по данным ЗАО «ХК «Композит» [5].



Рис. 3. Динамика изменения стоимости производства углеродных волокон, долл. США за 1 кг

Применение ПКМ и ГПКМ на основе углеродных армирующих систем в корпусных конструкциях, изготавливаемых с применением высокомеханизированных методов закрытого формования, открывает перспективы повышения их эффективности, прежде всего снижения материалоемкости, повышения надежности и долговечности, улучшения качества постройки кораблей. Корпусные конструкции с углеармирующими материалами обладают целым рядом характеристик, снижающих электромагнитные, тепловые, акустические поля корабля. Разработка оптимальных структур, в полной мере обеспечивающих снижение полей при сохранении параметров прочности, жесткости и долговечности конструкций является одним из основных направлений дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федюк Н.Н. Применение полимерных композиционных материалов в зарубежном кораблестроении: Обзор по материалам прессы 1990 – 2006 гг. – СПб.: Изд. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2009, 114 с.
2. Sandwich technology news, Airex Baltex, 2012, 19 p.
3. Каталог продукции компании «Toray Group» (Япония).
4. Каталог продукции ЗАО «ХК «Композит».
5. <http://www.komposit.ru>