

Полимерные композиционные материалы. Инновации в промышленности



Е. М. Апполонов,
Д. Т. Н., профессор,
зам. генерального
директора
e-mail: krylov@krylov.spb.ru



Н. Н. Федонюк,
К. Т. Н.,
начальник лаборатории
прочности и проектирования
конструкций из композиционных
материалов



В. М. Шапошников,
К. Т. Н., начальник
отделения прочности

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Рассматривается технология проектирования конструкций из полимерных композиционных материалов, разработанная в ФГУП «Крыловский государственный научный центр», которая успешно реализуется при создании перспективных кораблей и судов из этих материалов. На примере таких элементов судовых конструкций, как перекрытия и балки, приводятся результаты их технологической отработки с применением высокоэффективных технологий закрытого формования – метода инфузии и RTM-методов. Эти методы обеспечивают снижение трудоемкости формования, высокие прочностные характеристики и качество изготовления, что подтверждается положительными результатами их испытаний и длительной эксплуатации в составе судовых конструкций кораблей и судов.

Разработанная технология создания перекрытий и балок из полимерных композиционных материалов может быть применена при строительстве пешеходных переходов, а также мостов различного назначения. Преимущества разработанных конструкций по сравнению с традиционными для мостостроения металлическими и железобетонными конструкциями заключаются в их относительно небольшом весе и высокой коррозионной стойкости, что упрощает монтаж, снижает его трудоемкость и эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, проектирование, технология, балки, перекрытия, мосты, переходы.

В настоящее время в различных отраслях промышленности все более широко применяются полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе термореактивных связующих (полиэфирных, эпоксидных, винилэфирных и т. д.). Такое положение обусловлено их низкой по сравнению с металлами плотностью, высокой в направлениях армирования прочностью, коррозионной стойкостью, а также низкими затратами на обслуживание и эксплуатацию конструкций и изделий из этих материалов.

Наибольшее распространение получили стеклопластики, в меньшей степени используются органопластики и углепластики из-за их высокой стоимости по сравнению со стеклопластиком. Однако, несмотря на это, интерес к углепластикам все возрастает, особенно в авиации, ракетостроении и судостроении, что связано с их уникально высокими удельными прочностными и жесткостными характеристиками, а также с рекордно высокой усталостной прочностью. Используя в одном материале армирующие волокна разной химической природы, например стеклянные и

углеродные, можно получить гибридный ПКМ со сбалансированным комплексом свойств. При надлежащем выборе состава и структуры гибридного ПКМ можно создать полифункциональный материал, обладающий комплексом характеристик, например, он может вы-

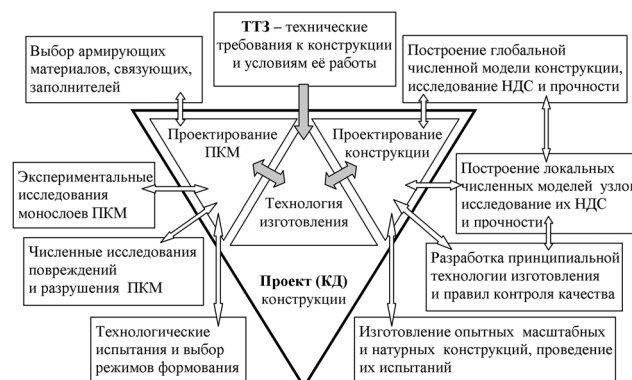


Рис. 1. Принципиальная схема разработки проекта – конструкторской документации (КД) конструкции (изделия) из ПКМ



Рис. 2. Изготовление балки таврового профиля из стеклопластика методом инфузии

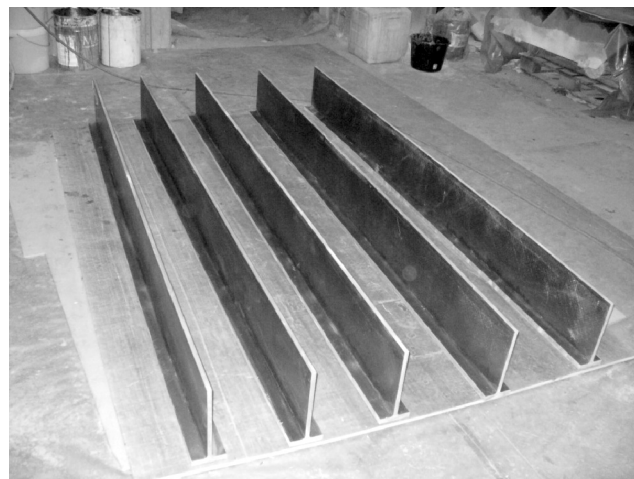


Рис. 3. Изготовленные балки таврового профиля из стеклопластика длиной 4 м

полнять силовые функции и одновременно являться звукопоглощающим. Другим эффективным инструментом создания прочных и полифункциональных конструкций является синтез в одном многослойном пакете разнородных по своей химической природе и структуре материалов, например, стеклопластика и пенопласта, или сферопластика.

Приведенная выше краткая характеристика ПКМ показывает их широчайшие возможности в достижении требуемых характеристик, наиболее полно отвечающим условиям работы создаваемого из них объекта. Однако при реализации положительных качеств этих материалов и создании из них эффективных конструкций необходимо учитывать ряд особенностей, таких как низкая сопротивляемость при межслойном сдвиге и растяжении в трансверсальном направлении, зависимость свойств от технологического процесса. Он в значительной степени влияет не только на свойства, но и на стабильность их воспроизведения в конструкции, что в конечном итоге предопределяет ее прочность и работоспособность. Таким образом, создание конструкций из ПКМ основано на «триаде» взаимопроникающих процессов: «проектирование

ПКМ — проектирование конструкции (изделия) — разработка технологии изготовления» (рис. 1).

В существовании такой «триады» и заключается отличие методологии проектирования конструкций из ПКМ от их металлических аналогов. В этом кроется «камень преткновения», часто стоящий на пути внедрения композитных технологий, что связано с трудностями перестройки психологии проектировщиков, которые не могут отойти от традиций и подходов, принятых при создании металлических конструкций.

Разработанная в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (далее — Центр) процедура проектирования конструкций (изделий) из ПКМ, схематично показанная на рис. 1, успешно реализуется при создании перспективных кораблей и судов, в которых применяются эти материалы.

При разработке судовых конструкций и изделий из ПКМ широко проводятся как численные, так и экспериментальные исследования, начиная от исследований свойств ПКМ и процессов, происходящих в них при действии силовых и эксплуатационных факторов, и кончая расчетами напряженно-деформированного и



Рис. 4. Испытания натурного перекрытия длиной 7 м с тавровыми балками и трехслойным настилом из стеклопластика на изгиб по 4-точечной схеме

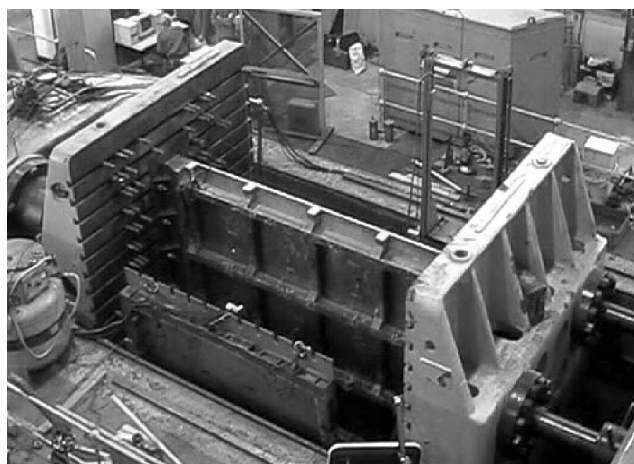


Рис. 5. Испытания натурного перекрытия размерами 5×3 м с тавровыми балками и трехслойным настилом из стеклопластика на сжатие вдоль балок

опасного состояний натуральных конструкций и их испытаниями на различные виды воздействий.

При проведении испытаний широко используется весь арсенал испытательного оборудования Центра, который включает стандартные испытательные машины мощностью 100–1500 кН, большие испытательные машины с максимальным усилием от 6000 до 30000 кН и стенд пространственного нагружения с одновременным приложением по заданным программам до 20 усилий от 20 до 5000 кН в разных направлениях. Использование этого оборудования позволяет решить практически все задачи, которые стоят перед исследователями по экспериментальной отработке композитных конструкций и определению их статической и усталостной прочности.

Одним из основных направлений по созданию корпусов и надстроек из ПКМ кораблей и судов является разработка конструкций балок набора и обеспечение их надежного соединения с обшивкой корпуса и настилами палуб. Для этих корпусных конструкций была разработана с участием ООО «Композит-Проф» технология формования тавровых (двутавровых) балок из ПКМ длиной до 8 м и высотой стенки до 1 м методом инфузии и RTM-методом (рис. 2, 3). Данная технология не накладывает ограничений на размеры профиля балок и их длину (она может быть ограничена только размерами производственного участка для их формования). Этими методами также изготавливаются однослойные или трехслойные настилы с различными типами заполнителей (мата, пенопласта, пенопласта, армированного гофра и т. д.) и их соединение с балками. Причем для этого применяются клееформованные соединения, а в отдельных случаях, если необходимо, — металлический крепеж.

Проверка прочности этих балок на изгиб производилась совместно с настилами при действии кратковременных статических и повторно-статических нагрузок, а также при сжатии вдоль балок для определения их устойчивости (рис. 4, 5).

Результаты проведенных испытаний показали, что разработанная технология изготовления тавровых (двутавровых) балок из ПКМ обеспечивает требуемую прочность и жесткость, высокое качество изготовления и приводит к снижению трудоемкости формования. Высокие эксплуатационные качества этих балок были подтверждены результатами их ресурсных испытаний. В частности, повторно-статические испытания на изгиб на базе 10^6 циклов при уровне нагружения 50% от предельной разрушающей нагрузки показали, что прочность и жесткость тавровых балок из стеклопластика практически не изменилась.

При разработке судовых конструкций и изделий из ПКМ Центр, ранее называвшийся ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, опирается на более чем полувековой опыт создания различных объектов морской и речной техники с применением этих материалов. На основе его разработок с участием других организаций (ОАО «ЦКБ «Алмаз», ОАО «Средне-Невский судостроительный завод» и др.) был построен в 1966 г. первый в мире тральщик «Изумруд» водоизмещением 320 т с корпусом и надстройкой из стеклопластика. В последующие годы из стеклопластика было построено более

250 тральщиков, а также различных пассажирских и рыболовных судов.

В результате проведенных в Центре работ была разработана трехслойная конструкция надстройки из ПКМ для корветов типа «Стереющий», которая в настоящее время строится серийно. Заканчивается строительство противоминного корабля «Александрит» водоизмещением около 700 т с корпусом и надстройкой из ПКМ многослойной структуры. На этом корабле впервые в отечественном судостроении был широко применен метод инфузии для изготовления целиком обшивки корпуса, а также палубных перекрытий и переборок. Помимо перечисленных конструкций, по результатам исследований, выполненных в Центре, серийно производятся из ПКМ четыре типа виброизолирующих соединительных муфт для передачи номинального крутящего момента от 50 до 400 кНм, а также амортизированные рамы под главные судовые двигатели.

Разработанная ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с ООО «Композит-Проф» технология создания конструкций перекрытий с тавровыми (двутавровыми) балками из ПКМ может быть применена при строительстве пешеходных переходов, а также мостов различного назначения. Преимущество разработанных конструкций по сравнению с традиционными для мостостроения металлическими и железобетонными конструкциями заключается в их относительно небольшом весе, что упрощает монтаж, снижает его трудоемкость, а также эксплуатационные затраты. При этом они имеют высокую работоспособность и надежность в эксплуатационных условиях, что подтверждается опытом их длительной эксплуатации в составе корпусных конструкций из ПКМ кораблей и судов.

Composite polymer materials: innovations in industry

E. M. Appolonov, D.Sc., Professor, Deputy Director General of Krylov State Research Centre.

N. N. Fedonyuk, PhD, Head of Laboratory for composite structure strength & design.

V. M. Shaposhnikov, PhD, Head of Structural Strength Division.

The technology for design of composite polymer structures is presented, which has been developed at the Krylov State Research Centre and successfully implemented in the development of advanced composite ships. Ship deck grillages and girders are used to exemplify the optimization of manufacturing processes with application of highly efficient closed-mold methods like infusion and RTM. These techniques reduce molding labor effort, high strength and manufacturing quality confirmed by good test results and long service life of such ship structures.

The technology for design and manufacturing of composite polymer grillages and girders can be applied to construction of pedestrian cross-overs as well as various bridge structures. As compared to conventional metal and reinforced concrete structures the composite polymer structures are noted for their relatively light weight and high corrosive resistance making them easy to install and reducing labor and maintenance costs.

Keywords: composite polymer materials, design, technology, girders, grillages, bridges, cross-overs.