

**Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для  
ремонта корабельных надстроек**

В.А. НЕЛЮБ

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: mail@emtc.ru

*Приведены основные области применения полимерных композиционных материалов в судостроении при изготовлении и ремонте. Рассмотрены типовые повреждения сотовых панелей, используемых в качестве основных конструктивных элементов корабельных надстроек и основные причины их возникновения.*

**Ключевые слова:** трехслойная панель, сотовая конструкция, полимерной связующее, стеклопластик, судостроение.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) уже давно вытеснили стандартные материалы и технологии в таких отраслях как авиа- и ракетостроение, производство спортивной техники, строительство [1, 2]. Некоторые исследователи называют ПКМ материалами XXI века, однако в действительности человечество их начало использовать еще в XIX веке [3]. В настоящее время наблюдается стремительный рост различных модификаций ПКМ и новых технологий производства из них изделий.

ПКМ начали применять в судостроении и в авиастроении, начиная с середины XX века, однако в авиации процесс внедрения проходил в существенно более короткие сроки, что, возможно, было связано с большими объемами ресурсов, которые государство выделяло на эти цели. У судостроителей, при формовании изделий очень больших размеров (100 м<sup>2</sup> и более), возникало множество технологических проблем, в результате процесс широкого внедрения ПКМ растянулся на несколько десятилетий.

В настоящее время в судостроении ПКМ используют как при изготовлении, так и при ремонте следующих изделий:

- надстроек кораблей, корпуса которых изготовлены из металла;
- корпусов кораблей противоминной обороны;
- подводных лодок;
- подводных аппаратов;
- яхт, байдарок, катамаранов и др. плавательных средств индивидуального пользования [4].

Целью данной работы является обзор ПКМ и технологий, используемых при ремонте корабельных надстроек.

Корабельной надстройкой называют конструкцию, заходящую выше верхней палубы, которая образована продолжениями палуб и бортов, соединенных поперечными переборками. Высота надстроек из ПКМ может превышать 40 м, ширина доходить до 20 м, а высотой они могут быть 10 м и более.

Как правило, в корабельных надстройках транспортных судов, размещают каюты для экипажа и пассажиров, а также грузовые помещения. В корабельных надстройках боевых кораблей кроме кают экипажей также располагаются различные виды вооружений и боеприпасы.

Для боевых кораблей характерно, что с увеличением их водоизмещения экономическая эффективность использования надстроек из ПКМ увеличивается. Поэтому первоначально надстройки из стеклопластика появились именно на больших кораблях и уже впоследствии их стали строить и на тральщиках меньшего водоизмещения. Япония и США были первыми странами, которые стали серийно оснащать свои корабли надстройками из ПКМ.

Башни артиллерийских установок установлены непосредственно на палубе и закрываются (вместе со стволами) специальными стеклопластиковыми панелями. Стволы орудий находятся внутри стеклопластикового короба и выдвигаются только на период выполнения стрельбы.

В отдельных блоках, являющихся частью надстройки корабля, располагается радиолокационное оборудование, и использование ПКМ при их изготовлении обеспечивает полную интеграцию всех антенн систем радиолокации и связи.

Блоки надстройки представляют собой трехслойные сотовые конструкции, высота которых может достигать 20 м и более, а вес 300 кг и более.

В нашей стране впервые корабельные надстройки начали устанавливать не на боевых кораблях, а на научно-исследовательских судах, например на судне «Изумруд» (водоизмещение 300 т, длина 42,9 м, ширина 8,25 м).

Во многом ускорил внедрение ПКМ в судостроении Фолклендский конфликт 1982 г. (война между Великобританией и Аргентиной за контроль над Фолклендскими островами). Он показал, что все существующие корабельные надстройки (которые традиционно изготавливали из алюминиевых сплавов) обладают низкой огнестойкостью и требуется поиск альтернативного материала, который не только обладал бы меньшей огнестойкостью, но и имел такие же весовые характеристики. Из всего множества различных материалов в наибольшей степени этим требованиям отвечали ПКМ.

Фолклендский конфликт также показал, что корабли, корпуса которых изготовлены из ПКМ или же защищены панелями из ПКМ, существенно менее уязвимы для противника, чем традиционные (с металлическим корпусом). Они имеют очень низкое инфракрасное и оптическое излучение и поэтому остаются незамеченными противником. Такие конструкторско-технологические решения получили название «Stealth- технологии». Их особенностью являлось использованием ПКМ на всех обводах, что позволяло уменьшить эффективную поверхность рассеивания. Кроме уже перечисленных преимуществ, такие конструкции имели существенно меньший вес, особенно по сравнению со стальными, что позволяло увеличить боевое оснащение корабля.

Статистика пожаров, случившихся на кораблях, которые имели надстройки из стеклопластика, показала, что они существенно более пожаробезопасны, чем аналогичные конструкции из алюминиевых сплавов. Конструкции из ПКМ обеспечили надежную защиту от усталостного растрескивания, которая неизбежно возникала в металлических конструкциях в местах стыка корпуса корабля с надстройкой. Надстройки, изготовленные из углепластика, имеют более высокие противопожарные свойства, чем из стеклопластика [5, 6].

Конструкцию крупногабаритных панелей деталей надстройки, чаще всего выполняли с использованием сотового заполнителя (рис. 1). Толщина несущих слоев, как правило, невелика и составляет около 5 мм (см. рис.1,  $t_f$ ). Толщина же сотового

заполнителя в таких панелях, наоборот, как правило, составляет 50 мм и более (см. рис.1, t<sub>c</sub>).

Применение трехслойной конструкции панелей надстроек, наряду с традиционными для ПКМ преимуществами, также позволило сократить количество балок набора, что привело к некоторому снижению стоимости и дало дополнительное уменьшение весовых характеристик. Варьируя теплофизическими свойствами сотового заполнителя (путем введение в его состав углеродных и органических тканей, дисперсных наполнителей типа графита и используя каучук в качестве модификаторов связующего), удается получить теплоизоляцию с интегрированными свойствами, что, в свою очередь, позволило направленно регулировать акустические характеристики.

Трехслойные панели благодаря своим уникальным теплофизическим свойствам являются хорошими теплоизоляторами, что позволило отказаться от части дополнительной теплоизоляции и тем самым еще больше снизить вес надстройки, по сравнению с алюминиевыми сплавами из которых ее традиционно изготавливали.

Общих рекомендаций по выбору схем армирования и толщин несущих панелей и сотового заполнителя при проектировании деталей надстройки кораблей нет, однако на основании имеющегося у изготовителей большого опыта они сформулировали следующие практические рекомендации:

1. Увеличение толщины сотового заполнителя позволяет в большей степени изменить жесткость и прочность при изгибе, чем увеличение толщин несущих слоев.
2. Для определения схемы армирования, которая оказывает существенное влияние на прочностные и жесткостные свойства деталей, нельзя ограничиваться только расчетными характеристиками и необходимо проводить серию натурных испытаний на образцах больших размеров, поскольку огромное влияние оказывает масштабный фактор.

В процессе эксплуатации корабельных надстроек возможны пять типов разрушений трехслойных панели:

- общая потеря устойчивости (рис. 2, а);
- местная потеря устойчивости (рис. 2, б-г);
- отслаивание (рис. 2, е)
- разрыв сотового заполнителя (редко встречающийся дефект) (рис. 2, д);
- разгерметизация.

Влияние типа используемого полимерного связующего и технологии склеивания обшивок с сотовым заполнителем на качество трехслойной панели очень велико.

Общая потеря устойчивости может иметь место если:

- велика жесткость сотового заполнителя;
- если содержание летучих в связующем или материале сотового заполнителя превышает допустимую норму;
- при больших остаточных деформациях (более 0,1%) материала несущих слоев.

Местная потеря устойчивости может иметь место если: жесткость сотового заполнителя мала и происходит его смятие; имеет место непрочность между наружными обшивками и сотовым заполнителем.

Потеря устойчивости трехслойной панели может быть симметричной и несимметричной. К числу наиболее распространенных дефектов многослойных конструкций относятся отслоение или нарушение целостности клеевых соединений, возможны дефекты следующих пар элементов: обшивка-соты, накладка-обшивка, обшивка-каркас, каркас-соты.

Отслаивание может иметь место если:

- недостаточна прочность клеевого соединения между несущей панелью и сотовым заполнителем;
- если использован избыток вспенивающего клея, в тех местах сотового заполнителя, через которые впоследствии устанавливают крепежные детали.

Разгерметизация является одним из внешне незаметных дефектов сотовых конструкций, возникновение которого происходит при нарушении сплошности клеевого соединения обшивки с деталями каркаса и сотовым заполнителем, однако при разгерметизации имеет место очень быстрое накопление влаги. Колебания температуры окружающей среды приводят к тому, что влага в сотах замораживается, потом размораживается и это приводит к существенному ускорению процессов разрушения.

Разгерметизация может иметь место если: в сотовых заполнителях присутствует влага; имеются неплотности между обшивками и каркасом и в др. местах.

Дефекты трехслойных панелей в виде потерь устойчивости не ремонтируют: требуется удалить поврежденный участок и установить на его место новый элемент панели.

Технологический процесс устранения расслоений обшивки зависит от места его обнаружения. Расслоения могут быть по периметру или по полю обшивки. При обнаружении расслоения по периметру обшивки его устраняют следующим образом. Первоначально очищается дефект от старого связующего наждачной бумагой или тонкой пластиной с насечками. Зашприцовывают клей или связующее с помощью шприца (при необходимости можно подогреть до температуры 40-50 °С), плотно сжимают зону ремонта вручную. Удалив излишки связующего или клея салфеткой, смоченной в ацетоне, собирают технологический пакет из антиадгезионной пленки (фторопластовая, полипропиленовая), нагревателя, термопары, цулаги, теплоизолятора. С противоположной стороны укладывают (к обшивке) пористую резину и сверху на нее металлическую пластину. Устанавливают струбцины с тарированной затяжкой и проводят соответствующий режим отверждения связующего или клея.

Устранение расслоений по полю обшивки осуществляют сверлением отверстий в зоне ремонта. Для этой цели в отверстия на клей устанавливают гайки-пистоны.

Отслоение обшивки от сотового заполнителя на агрегатах, не испытывающих акустических и вибрационных нагрузок и не имеющих специального назначения, устраняют зашприцовкой клея в дефект и установкой заглушек из алюминиевого сплава (если обшивка из стеклопластика).

Первоначально в качестве исходных материалов панелей сотовых конструкций использовали только стеклопластики на основе полиэфирных и эпоксидных связующих. В настоящее время в качестве наполнителей при формировании несущих панелей сотовых конструкций используют гибридные ПКМ, где в качестве армирующих наполнителей применяют стеклянные и углеродные ткани.

В качестве исходных компонентов ПКМ для конструкций надстройки использовали стеклоткань из волокон стекла Е, плотностью 500 г/м<sup>3</sup> или же стеклянные маты, плотностью 1225кг/м<sup>3</sup>. С появлением мультиаксиальных тканей (этот тип тканей состоит из нескольких слоев нитей, которые могут быть ориентированы в различных направлениях и вместе сшиты при помощи органической нити, чаще всего полиэфирной), они все более вытесняют традиционные тканые наполнители, поскольку обладают существенно лучшими свойствами и позволяют практически вдвое увеличить прочность ПКМ[7, 8].

Панели могут быть отформованы методом горячего прессования, однако в настоящее время все более широкое распространение получают инфузионные технологии.

Таким образом, проведенный анализ конструкции навесных панелей корабельных надстроек показал, что они состоят из наружных обшивок ПКМ и слоя сотового

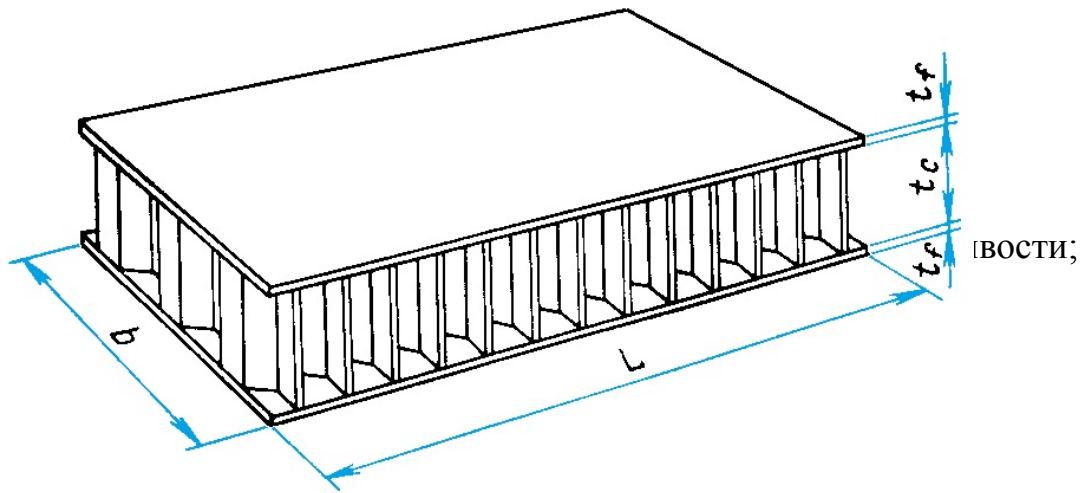
заполнителя. Такие панели обладают наилучшими жесткостными характеристиками, имеют меньшую стоимость и лучшие весовые характеристики по сравнению с аналогичными конструкциями из алюминиевых сплавов. Ремонт сотовых панелей выполняют с использованием тех же материалов, которые использовали при их изготовлении, и при этом не требуется применения дорогостоящего оборудования и инструмента.<sup>1</sup>

### Список литературы

1. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Комарова О.А. и др. Конструкционные полимерные угленаноккомпозиты – новое направление материаловедения // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 12. С.2-9
2. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Огнестойкие стеклопластики в конструкциях мотогондол двигателей самолетов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 7. С.16-25
3. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект». 2010. 352 с.
4. Арсадов А.В. Катера и яхты «Полимермо» // Композитный мир. 2011. № 2. С. 24-25.
5. Чуднов И.В. Исследование тепловых нагрузок деталей металлической оправки, применяемой при формовании изделий из стеклопластиков // Тепловые процессы. 2012. № 9. С. 430-432.
6. Буянов И.А. Механизм исчерпания несущей способности крупногабаритных силовых оболочек из ПКМ / /Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 8. С. 35-40.
7. Склеивание в машиностроении. Спр. в 2 т. Т.1. / Под ред. Г.В. Малышевой. М.: Наука и технология. 2005. 544 с.
8. Баурова Н.И. Диагностирование и ремонт машин с применение полимерных материалов. М.: ТехПолиграфЦентр. 2008. 280 с.

---

<sup>1</sup> Отдельные результаты настоящей работы получены при финансовой поддержке по ГК 16.523.11.3012



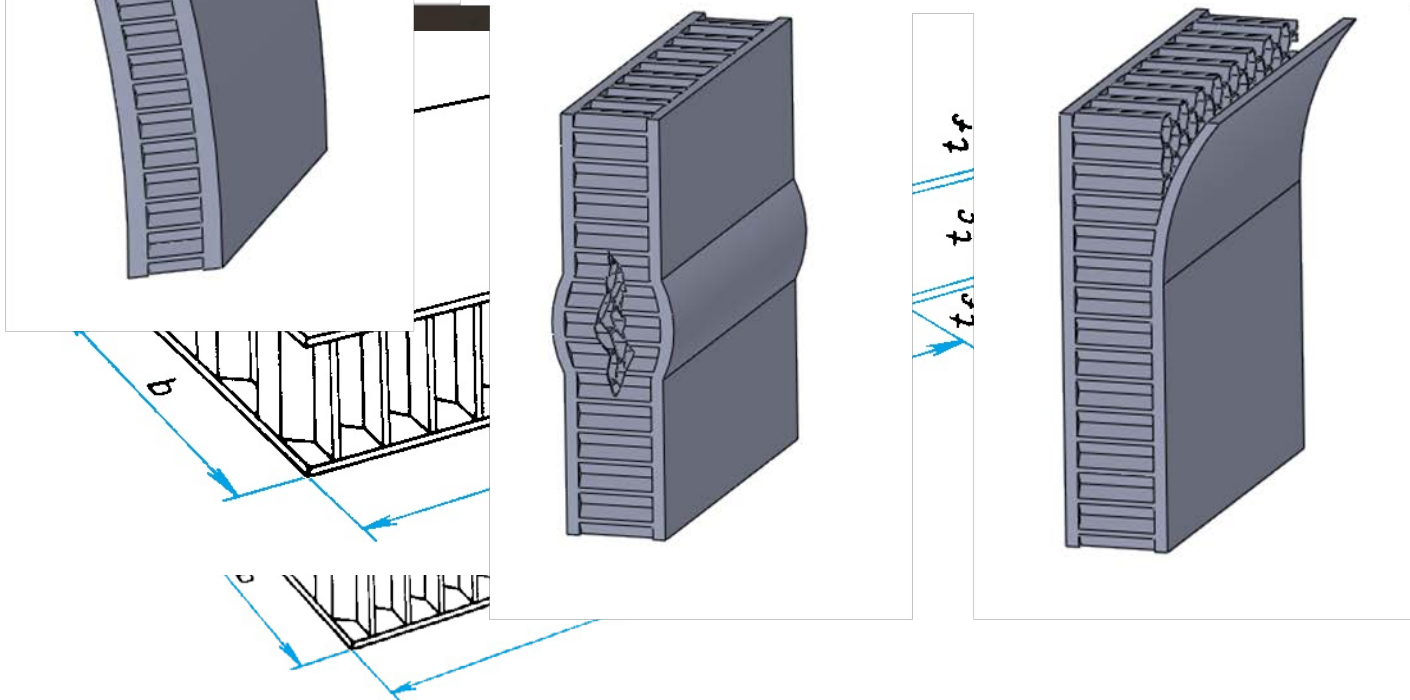


Рис. 1. Общий вид трехслойной панели

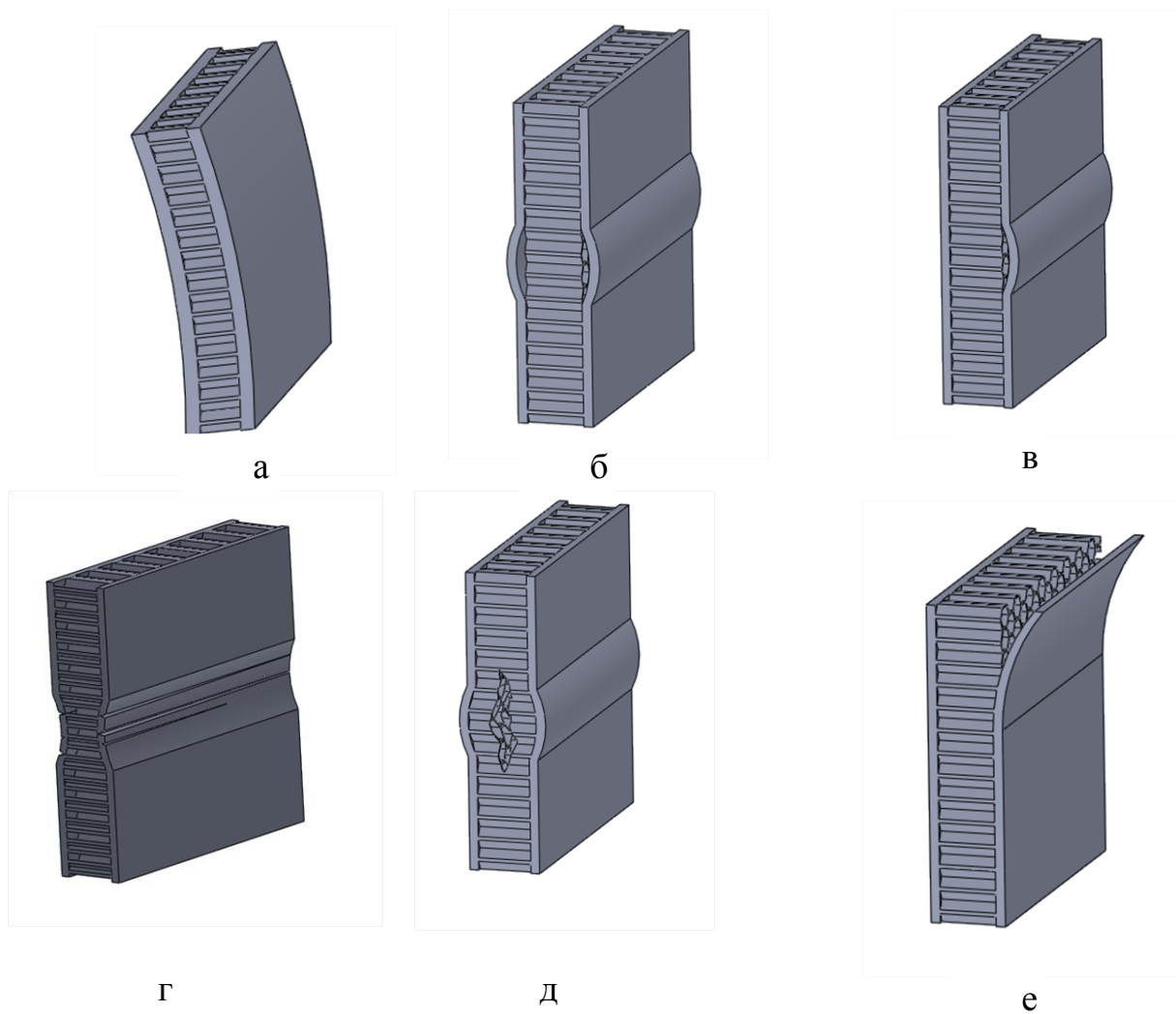




Рис. 2. Типовые повреждения трехслойной панели: а – общая потеря устойчивости; б - г – местная потеря устойчивости; д – разрушение сотового заполнителя; е – отслаивание