

Артур Гроховский

Современное пластиковое судостроение

Продолжение.
Начало см. в № 217

Наполнители

Наполнители сегодня – одни из важнейших компонентов композитных конструкций. В яхтостроении их назначение сводится в основном к увеличению толщины выклеиваемого ламината при одновременном снижении его массы. В качестве дополнительных бонусов – улучшенные шумо- и теплоизоляция, а также повышенная жесткость корпуса. Минусы, правда, тоже имеются: помимо увеличения трудоемкости производства, наличие сэндвича из двух разнородных материалов с разными модулями упругости и уровнями адгезии к смоле может привести к расслоению (деламинации) пластика в процессе эксплуатации, крайне трудно поддающемуся ремонту. К деламинации (помимо дефектов изготовления) приводит в первую очередь иной механизм деформации сэндвичевого пластика при воздействии на него сильных сосредоточенных (ударных) воздействий. С одной стороны, при значительной деформации вследствие сильного удара наполнитель сэндвичевого корпуса воспринимает на себя часть поперечных нагрузок, разгружая наружный слой пластика, при этом внутренний слой начинает работать на растяжение, что весьма благоприятно для стеклоткани (и особенно для углеткани). С другой стороны, сильные касательные напряжения, возникающие на границе «пластик–наполнитель», приводят к тому, что пластиковые поверхности сэндвичевого корпуса могут сдвинуться относительно наполнителя (что сопровождается, естественно, раз-



На британской верфи «Northshore Marine» бальсу используют исключительно в надводной части корпусов. Предварительно ее заклеивают в чехол из стеклоткани.



Бальса так легка, что рабочий (на заднем плане) в одиночку легко поднимает и перемещает довольно большую переборку из этого материала

рывом клеевого слоя и потерей общей целостности конструкции), хотя внешне на корпусе может не быть абсолютных никаких дефектов. В силу этих обстоятельств ряд известных фирм (например, «Oyster Marine»), прежде всего выпускающих яхты высшей ценовой категории, предпочитают изготавливать их из монолитного стеклопластика. Другие же (например, «Northshore Marine») рекомендуют обязательно проводить ультразвуковую дефектоскопию после любых сильных ударов по сэндвичевому корпусу, даже при отсутствии видимых повреждений.

Сегодня применяются в основном

четыре вида наполнителей: это дерево, вспенивающиеся материалы, пенопласты и сотовые конструкции. В последнее время популярность также стали набирать синтетические материалы, имеющие в своей структуре воздушно-наполненные микрокапсулы или иные воздушные объемы и промежутки. У каждого из них – свои достоинства и недостатки.

Дерево – традиционный наполнитель, применяемый в пластиковом судостроении с давних пор. Это прежде всего бальса, средняя плотность которой в высушенном состоянии колеблется от 120 до 150 кг/м³, что при-

Физико-механические качества ряда популярных наполнителей

Наполнитель	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Теплопроводность, Вт/м·С°
Бальса	120–150	5–15	20–40	0.17–0.22
ProBalsa	90	5.4	12.7	0.052
	155	7.0	13.5	0.064
Airex C 70	70	1.3	2.0	0.033
	100	1.9	2.7	0.035
	130	2.6	3.8	0.039
Divinycell H	60	0.9	1.8	-
	100	2.0	3.5	-
	200	3.0	4.8	-
Herex C 70	90	1.5	2.2	-
	120	2.4	3.4	-
Plascore PN2-1/8	64	3.6	н.д.	-
	144	14.8	н.д.	-
Coremat Xi	630*	4.0*	10*	-

* Пропитанный полиэфирной смолой

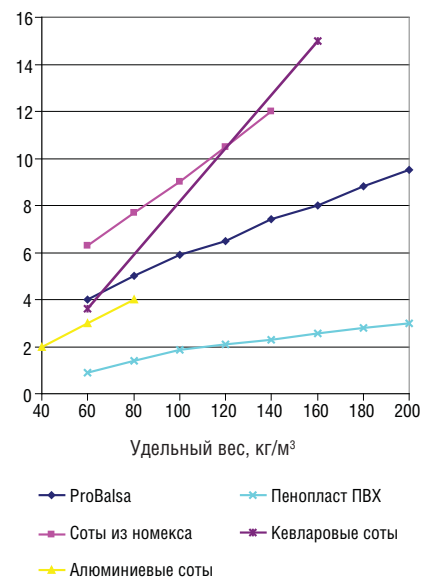
мерно в полтора раза легче пробки (и в 3–4 раза – многих пород дерева, произрастающих в России). Гораздо реже, чем бальса, применяется морская фанера; иные же варианты деревянных наполнителей не выдержали проверки временем и практически вышли из употребления.

Достоинства дерева вполне очевидны: относительно невысокая цена, простота обработки, хорошая доступность. Минусов, однако, тоже немало. И если с подверженностью бальсы гниению удалось (или почти удалось) справиться специальными пропитками, то другие недостатки дерева пока выглядят трудноустраняемыми. Фанеру практически невозможно применять в криволинейных поверхностях (в силу чего ее употребление ограничивается почти исключительно палубами и переборками), бальса же очень сильно впитывает в себя смолу, что увеличивает вес готового композита и повышает риск недостаточного насыщения смолой прилегающих к наполнителю слоев ткани. Чтобы избежать этого, куски бальсового наполнителя часто заранее монтируют на листе плотной стеклоткани, потом обклеивают их тканью снаружи и клеивают в ламинируемый корпус, что увеличивает как трудоемкость работы, так и риск последующей деламинации. Кроме того, бальса (как и практически любой другой продукт

природного происхождения) является неомогенным материалом, свойства и характеристики которого могут заметно отличаться от образца к образцу, в связи с чем ряд фирм (особенно при постройке единичных образцов яхт) стараются заранее подбирать бальсу по плотности. Еще один недостаток дерева – анизотропность, выражающаяся в различии его свойств в зависимости от ориентации волокон. Несмотря на это, ряд известных фирм (например, «Coryplex») считает бальсу наилучшим материалом для наполнителя корпусов современных пластиковых яхт – в небольшой степени по причине близости модуля упругости этого дерева к стеклопластику (что улучшает их совместную работу) и отличной прочности на сжатие. Тепло- и шумоизолирующие свойства бальсы заметно уступают этим характеристикам современных пенопластов. В последнее время появились композитные наполнители на основе бальсового дерева (например, ProBalsa), имеющие как высокую стабильность, так и улучшенные физико-механические качества.

Вспенивающиеся материалы (в основном на основе полиуретана), несмотря на периодически повторяющиеся попытки их применения, так и не смогли найти достойное место в изготовлении собственно стеклопластиковых конструкций. Их применяют более

Прочность на сжатие, МПа



Соотношение «удельный вес–прочность» для некоторых типов наполнителей

или менее широко при заливке глухих таранных отсеков, объемов плавучести (в основном на малых судах), теплоизоляции бойлеров и на других тому подобных локальных участках.

Пенопласты сегодня являются, пожалуй, первыми по популярности и значимости наполнителями. Рынок предлагает очень большое их количество самой разнообразной плотности. Однако сразу же надо заметить, что подавляющее большинство современных пенопластов, имеющих плотность равную бальсе (или более низкую), существенно уступают ей по прочностным характеристикам, особенно по ударной прочности. Основная доля конструктивных пенопластов – это композиции на основе ПВХ с закрытыми порами, имеющие минимальный уровень водопоглощения и отличные изоляционные характеристики. Пенопласты не гниют, многие из них имеют хорошую огнестойкость (либо не поддерживают горение, либо не горят вовсе), их основные свойства высокостабильны от партии к партии. Некоторые марки наполнителей могут легко изгибаться в подогретом состоянии, что удобно при выкладке листов пенопласта по криволинейным поверхностям.

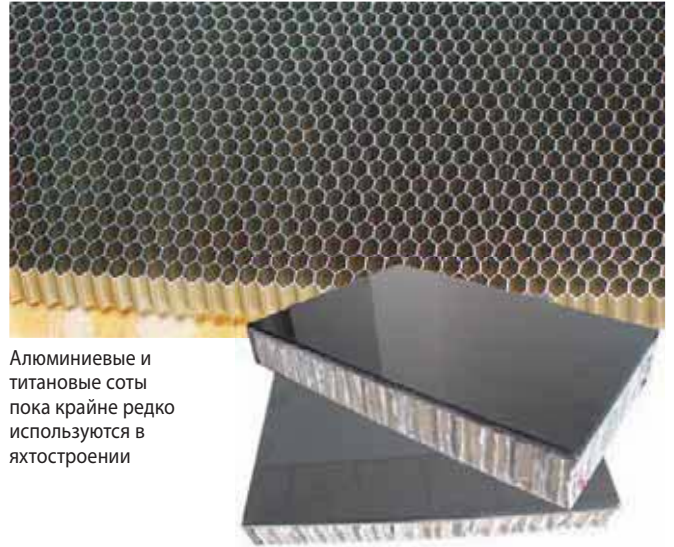
Широкому распространению пенопластов способствовала возможность передовой химической индустрии выпускать такие материалы



Номекс теперь стараются применять в относительно ненагруженных конструкциях, например, в переборках



Кевларовые соты похожи на номексовы, но внешне отличаются более насыщенным цветом



Алюминиевые и титановые соты пока крайне редко используются в яхтостроении

с различными, заранее заданными свойствами. На современном рынке несложно найти и сверхлегкие пенопласты, и пенопласты, обладающие повышенной прочностью на сжатие (что необходимо при использовании вакуумных технологий формования), недавно появились и спецпенопласты, рассчитанные для «запекания» корпусов в печи. Проблемы здесь до недавнего времени было то, что большинство ПВХ-композиций, во-первых, начинают плавиться при сравнительно небольшом повышении температуры, во-вторых, имеют очень высокий коэффициент теплового объемного расширения. Это приводит после «запекания» к короблению корпуса и появлению в нем больших внутренних напряжений. Сравнительно недавно эти проблемы химиками-технологами были устранены. К сожалению, объем данной статьи не позволяет хотя бы вкратце рассмотреть весь тот широчайший перечень предлагаемых сегодня пористых ПВХ-материалов, используемых в пластиковом судостроении, и к этой теме мы еще вернемся в отдельной статье.

Сотовые наполнители, представляющие собой вертикально ориентированные шестиугольные соты из тонкого и прочного материала, закрепленного между двумя клейкими поверхностями, применяются почти исключительно для создания экстремальных спортивных яхт. Сейчас существуют следующие варианты таких конструкций: с сотами из полипропилена (исключительно легкого пластика) или

поликарбоната (довольно прочного материала), из номекса или кевлара (при всем своем химическом сходстве два этих материала довольно заметно различаются по свойствам и цене), из металла (относительно распространен лишь вариант с алюминиевыми сотами, нержавеющие и титановые разновидностей – пока суровая экзотика, встречающаяся лишь в авиакосмической индустрии). Полипропиленовые соты в яхтостроении пока почти не применяются: малая прочность этого материала дает ему шанс на использование лишь при изготовлении деталей мебели или ненагруженных переборок – там, где нужна определенная толщина, а не особо высокая прочность. Соты из номекса широко распростра-

нены при строительстве экстремальных многокорпусников, но недавние многочисленные аварии сильно подорвали репутацию этого материала, в силу чего взоры конструкторов обратились к кевларовым сотам (например, типа Plascore PN2), которые гораздо прочнее, но, увы, много дороже.

Алюминиевые сотовые конструкции в яхтостроении пока – очень большая редкость. Навскидку удастся вспомнить только одно судно, построенное с их использованием – рекордный катамаран Стива Фоскета «Playstation/Cheyenne». Материал, однако, оказался небеспроблемным: по свидетельству участников кругосветного плавания, подводные поверхности корпусов, накопив внутри

Вологодская область
г. Череповец
т/ф: (8202) 59-14-92
+7 921 259 78 45
sevenfeet07@mail.ru
www.sf35.ru
привлекаем дилеров

ПРОИЗВОДСТВО
из стеклопластика
ЛОДОК И КАТЕРОВ

г. Сургут

Производство
и продажа катеров
и лодок
тел. 8 (3462) 72-32-86
www.verfsurgut.ru
verf@verfsurgut.ru

сотовых поверхностей огромный заряд статического электричества, фактически превратились в гигантский конденсатор, в один прекрасный момент разрядившийся и «погасивший» всю бортовую электронику. Сегодня применение алюминиевых сот в яхтостроении, по мнению ряда специалистов, оправданно лишь при изготовлении переробок.

Еще один недостаток сотовых конструкций – их плохая стойкость к пиковым ударным нагрузкам, сконцентрированным на малой площади. В этой ситуации потеря устойчивости части сот, приводящая к резкому падению несущей способности материала – очень частый сценарий. В силу этого в местах основного сосредоточения ударных нагрузок (районы форштевня/носовой скулы/днища вблизи кормовой оконечности) соты стараются заменять сплошным материалом типа бальсы или пенопластов.

Новейшие материалы с воздушными капсулами или объемами внутри широко представлены очень популярным в России наполнителем Polyscore (еще известен под названием Coremat), представляющим собой нетканый полиэфирный материал с воздушными микробаллонами. Другие материалы подобного рода (например, «трехмерная» стеклоткань Parabeam 3D, «Кия» № 201) лишь начинают находить свое применение в судостроении. Наполнители типа Polyscore/Coremat сравнительно дешевы, очень технологичны и

просты в обработке, что обеспечило им популярность, в первую очередь среди изготовителей массовых лодок. Их главным отличием от большинства ранее рассмотренных наполнителей является то, что они, будучи пронизаны сеткой почти капиллярных отверстий, пропитываются смолой одновременно со стеклотканью, образуя практически единый с последней композит, практически не подверженный расслоению (деламинации). Это обстоятельство, без сомнения, выглядит огромным плюсом в глазах всех производителей. Недостаток таких материалов – довольно высокая масса получающегося (после полной пропитки смолой) композита. Подобные наполнители совместимы со всеми типами существующих смол, но непригодны для работы с препрегами и в инфузионных процессах.

Напыление

Постепенное развитие технологий позволило привнести в пластиковое судостроение важное новшество – технологию укладки стекловолокна путем напыления (заметим, что примерно 40 лет назад на этот метод возлагались очень большие надежды). Сам метод заключается в подаче через специальный пистолет-распылитель смолы, перемешанной с отвердителем, в виде отрезками однонаправленного стекловолокна (подаваемый длинный жгут волокна нарезается непосредственно перед распылением на отрезки равной длины). Из такого пистолета рабочий

«запыляет» форму, наполняя ее смолой с отрезками волокна и, увы, с многочисленными пузырьками воздуха. В силу последнего механические качества готового изделия невысоки и сильно уступают изделиям, отформованным с использованием иных технологий. Отсутствие длинных цельных «от края до края» изделия стекловолокон тоже не способствует высокой общей прочности получающегося продукта: в нем нет единой целостной структуры, обеспечиваемой стеклотканью. Как следствие, в силу все более и более растущих требований к прочностным качествам яхт (и к наиболее выгодному соотношению «масса/прочность») этот метод формирования практически полностью сегодня вышел из употребления, так как его единственным, по сути, достоинством является лишь экономия времени. Впрочем, порой его применяют при изготовлении корпусов небольших лодок или отдельных некритичных элементов конструкции. Заметим, что некоторые известные в нашей стране яхты постройки 70-х гг. прошлого века (например, польская «Carina») выклеены именно этим способом.

Наиболее же технологически изощренными и качественными с точки зрения получаемых результатов сегодня являются три способа формирования пластиковых корпусов: из препрегов, вакуумными и инъекционными методами (их несколько) и в закрытой матрице (самый сложный из них).

Продолжение следует

РАЗУП®

Лодочные моторы

(аналог «Ямахи»)



Гарантия - 1 год

Запасные части. Сервис.

Скидки.

603003, Россия, г. Нижний Новгород,
ул. Свободы, д. 57, оф. 313

Факс: (831) 273-89-18
Тел.: 229-65-49, 229-62-14, 229-68-45

E-mail: suh@billora.ru
<http://www.billora.ru>

РАСШИРЯЕМ РЕГИОНАЛЬНУЮ СЕТЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ



РФ, 603003, Россия, г. Нижний Новгород,
ул. Свободы, д. 57, оф. 313.
Тел./факс: (831) 273-91-01, 273-89-18, 229-65-49
E-mail: suh@billora.ru <http://www.billora.ru>

 <p>Одиссей – 530 cabin каютный катер размеры, мм: 5300 x 2130 мощность ПМ, л.с.: до 115 прицеп МЗСА 832321.007</p>	 <p>Finnsport 490 Cruise Day катер с рубкой размеры, мм: 4900 x 1900 мощность ПМ, л.с.: до 90 прицеп МЗСА 81771E</p>
 <p>Нептун – 3 открытый катер размеры, мм: 4300 x 1850 мощность ПМ, л.с.: до 60 прицеп МЗСА 81771D</p>	 <p>Finnsport 425 рыбац открытый катер с постом размеры, мм: 4250 x 1700 мощность ПМ, л.с.: до 60 прицеп МЗСА 81771D</p>
 <p>Finnsport 425 Sport открытый катер размеры, мм: 4200 x 1600 мощность ПМ, л.с.: до 50 прицеп МЗСА 81771D</p>	 <p>Finnsport 410 рыбац открытый катер с постом размеры, мм: 4100 x 1650 мощность ПМ, л.с.: до 30 прицеп 817708.003</p>
 <p>Finnsport 400 открытая моторолетка размеры, мм: 4000 x 1650 мощность ПМ, л.с.: до 30 прицеп 817708.003</p>	 <p>Пингвин открытая моторолетка размеры, мм: 3880 x 1480 мощность ПМ, л.с.: до 15 прицеп 817708.003</p>

а также гребные лодки Дельфин, Спорт, Головак, Таймень

РАСШИРЯЕМ РЕГИОНАЛЬНУЮ СЕТЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ