

Виталий Беляков, Москва

Современные композиты и развитие многокорпусников

Бурному развитию серийных многокорпусных яхт младших классов способствовало появление новых композиционных материалов. Разнесенная в пространстве конструкция требовала предельной жесткости поперечных связей корпусов и минимизации веса судна. Прорыв на рынок был совершен в конце 80-х гг., когда на смену полиэфирной смоле и стеклорогоже пришли винилэфирные и эпоксидные смолы, полиуретановые клеи и сэндвичевые конструкции.



«Иван-32» в цехе. Слева – матрица и корпус, справа – контрольная сборка судна

В 1990 г. при создании отечественного тридцатифутового крейсерско-гоночного катамарана «Иван-30» («КиЯ» №189) у меня была возможность работать с лучшими специалистами военно-промышленного комплекса России. Сейчас можно с уверенностью сказать, что по технологиям и материалам мы тогда опережали многие известные «яхтенные» страны, но вот опыта постройки из них судов не было. Технологам, прочнистам и инженерам автоматических систем конструирования требовались параметры расчетных нагрузок, их ожидаемой цикличности, но никто цифр не знал.

У меня был определенный опыт ремонта и эксплуатации фанерных многокорпусников и сведения, взятые из специальных зарубежных периодических изданий. Решил создавать конструкцию, равнопрочную фанерной, при этом за образец был взят фанерный катамаран «Centaurus 30» латвийского конструктора Алдиса Эглайса. И тут оказалось, что свойства древесного ламината – фанеры – настолько

высоки, что могут быть достигнуты только за счет применения в конструкции углеродного волокна. Прочнисты сказали, что фанера имеет высокий модуль упругости, а это главный показатель материалов, используемых в сэндвичах. Пожалуй, недостатками фанеры являются ее относительная недолговечность и чувствительность к перепадам температуры и влажности. В прежние годы в СССР имелась высококачественная водостойкая фанера (мы рассматривали фанеру марки ФСФ толщиной 6 мм) и клеи ВИАМ, оставшиеся от малой авиации. (Между прочим, гагаринский спускаемый аппарат был тоже... фанерным, выклеенным из многослойного березового шпона. Толщина его корпуса была более 200 мм, и он не боялся гореть при входе в плотные слои атмосферы.) Сам Алдис Эглайс – блестящий создатель фанерных катамаранов. Его «Центаурус» были совершенными судами для своего времени: имели минимальный вес, круглоскулые обводы, а при их постройке было применено много интересных конструкторских реше-

ний. Их скоростные и мореходные показатели до сих пор поражают. Но сегодня и Алдис перешел на композитные материалы – сейчас он работает с «эпоксидкой» и стеклотканевым ПВХ-сэндвичем, а на балках использует однонаправленный стекложгут, который очень хвалит.

Работы с углепластиками велись методом последовательного приближения, поскольку «просчитать» композитный пакет оказалось невозможно. Если первый «Иван» получился тяжелее своего фанерно-алюминиевого прототипа, то четвертый катамаран был уже в полтора раза легче. Правда, после испытаний его пришлось подформовывать и усиливать. Подвела психология – я не учел, что, уменьшая и облегчая сборочный «пакет» очередного катамарана, пытаюсь оптимизировать уже оптимизированный мной проект. Успокаивает то, что у строителей «кубковых» лодок и участников «VOR» это – обычная практика. Я сам наблюдал на старте «VOR» 2008 и 2009 гг. в Аликанте авральные формовочные работы на «Ericsson».

Самое ценное приобретение в результате многолетней эксплуатации катамаранов серии «Иван» – это тот самый «пакет композитов», оптимальный для 30-футового многокорпусника. Каждый концентратор нагрузки имеет теперь проверенную схему выкладки усиления и перехода от «трехслойки» к монококу, чертежи разноса закладных по поверхности.

Безусловно, эти наработки могут пригодиться только при постройке крейсерско-гоночных многокорпусников с компоновкой open bridgedeck длиной от 29 до 33 футов. На более крупных судах нагрузки возрастут в

новые композиты вследствие своего «военно-космического» происхождения имеют предельно достижимые для данного типа материалов показатели, то за рубежом нередко встречаются углеродные волокна и ткани скорее «декоративного», чем «силового» назначения. Ведь и «карбоновая» поверхность, закатанная под лак, смотрится очень эффектно. Что же касается смол, то нужно помнить, что все мы живем на одной планете, с одной и той же таблицей Менделеева, и смолы «ЭД-20» и «ЭД-22» имеют такие же характеристики, как и английские «Ampreg 20» и «-22». Конечно, существуют очень

зачинное относится к работам, проводившимся десять и более лет назад. В прошлом году я попробовал во время большого ремонта применить новые импортные наполнители для эпоксидной шпаклевки. Помимо уже привычных микросфер и аэросила использовал фирменную целлюлозу и микрошарики (Microballs). Так как ремонт проводился в Англии, образцов я не изготовил и доверился рекомендациям фирмы (чего никогда не делал на Родине). Шпаклевка-клей с новыми добавками заметно «отвердела». Не став при этом хрупкой, она обрабатывалась с трудом. Что же касается отечествен-



Болваны готовы к нанесению гелькоута и разделительного слоя (слева), болваны со снятыми матрицами половинок корпуса (справа)

разы*. При этом в нашем классе, например, минимально требуемый (из соображений общей прочности) по толщине пакет обшивки приходится увеличивать из-за необходимости «держать» точечную нагрузку. Иначе можно просто продавить обшивку коленкой. По этой же причине в углепластиковых сэндвичах я использую пенопласты ПХВ плотностью не менее 80 кг/м³ (ПХВ-85 владимирского производства). Кстати, считаю, что опыт строительства традиционных яхт недостаточен для работы над многокорпусным проектом. Дело в том, что нагрузки на палубную часть корпусов многокорпусников больше, чем на подводную, а самую большую суммарную нагрузку создают не ванты и не балки, а туго набитые сетки и трамплины, по которым прыгает экипаж.

Отечественные и зарубежные образцы углепластиков и сэндвичей показывали при лабораторных испытаниях примерно одинаковые характеристики. Но, если практически все отечествен-

сложные и интересные композиции с пластификаторами, особыми наполнителями и «медленными» отвердителями, в том числе и у нас в стране. Образцы отечественных композитов, предоставленные мной на фирму «SP Systems», были оценены англичанами очень высоко. Правда, та же английская фирма фасует свои реактивы в удобную тару, красит в разные цвета и создает все удобства для работы.

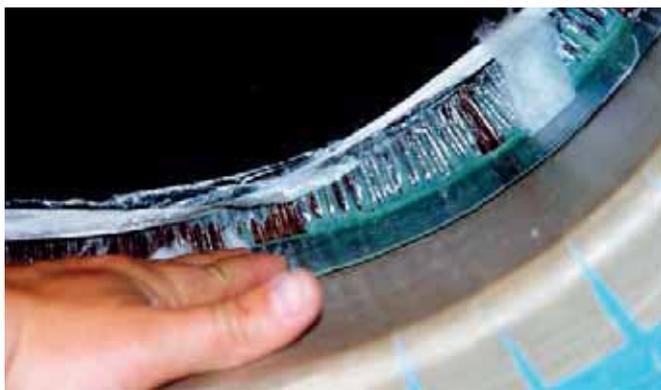
Мы работали с углетканями «УТ-900», однонаправленными жгутами «УОЛ-300» и уфимской смолой «ЭД-22», к которой добавлялись «ПО-300» и триэтилентетрамид. В качестве наполнителя использовали аэросил «А-300» и микросферы – все с апретом № 78. Применял я и уникальные клеи разработки ВИАМ. Так, при изготовлении поворотных мачт для своих катамаранов салинговую оковку, на которой фактически «висит» вся яхта, я приклеивал к «корке» клеем «ВК-27», имеющем нагрузку на сдвиг 295 кг/см² (следует помнить, что при нагреве до 60°C эта величина уменьшается почти вдвое).

Должен уточнить: все вышеска-

ных материалов, то, увы, за прошедшие годы мы лишились ряда просто уникальных разработок. Например, у подмосковного НПО «Стеклопластик» была стеклоткань с полрой нитью марки «ТР-04 П». Удельная прочность композиции, в состав которой она входила, достигала 0.033 кгс/г, в то время как углепластик показывал 0.019 кгс/г! Для ее изготовления использовались платиновые детали оснастки. Их «приватизировали». Все – ткани больше нет! Как нет на сегодняшний день и многих «рядовых» отечественных материалов – та же «ЭД-22» в виде компонентов уходит за границу, после чего возвращается к нам красиво упакованной и по другой цене.

Убежден, что нельзя экономить на материалах. Всегда нужно работать с самыми лучшими из них. Ведь самое дорогое в строительстве яхты – квалифицированный ручной абсолютно ненормированный труд, а не материалы. Правда, и здесь есть российская специфика. При строительстве «32-го» половину затрат составила арендная плата. Владелец помещения, которое я арен-

* См. статью А. Эглайса в «Кия» № 182.



«Team Philips»: корка корпуса – угольный препрег на 60-градусной смоле, соты «Номекс» (слева). Формовка «корок» 30-метровых мачт в матрицах, построенных без болвана (справа).

довал – цеха площадью 180 м², видел, что мой «коготок увяз»: сделан ремонт, залит ровный пол, выстроена подсобка с душем, налажены вытяжка и принудительная вентиляция с подогревом, а все помещение заставлено элементами оснастки и деталями недостроенного судна. За два года строительства он поднял арендную плату в четыре раза от первоначально оговоренной.

Этот цех я оборудовал очень тщательно. Ведь для качества композитов важно не только предельное соблюдение рецептуры, но и выдерживание температурного режима. Опытным путем убедился, что можно регулировать скорость «зашивания» и рабочее время смолы, варьируя температуру помещения от 14 до 28°С. Но опускаться ниже 10°С не советую – смола может и вовсе не «зашиться» – и эту ошибку уже не исправить. Можно греть рабочие поверхности локально (феном или тепловой пушкой), но такой прогрев нужно начинать обязательно до начала формовки. Замечу, что холодноформованные изделия очень полезно греть и после «зашивания», поскольку полностью процесс отверждения смолы длится несколько суток. Но нужно помнить, что при сильном нагреве изделие, снятое с оснастки, может «поплыть», переформоваться*.

Есть и другие требования к рабочему помещению. Например, я долго «сражался» с отечественными вакуумными насосами, которые «гнали масло» – при их работе в цехе повисал туман – масляная взвесь. Теперь могу порекомендовать для вакуума

* Следует также отметить, что при формовке крупных деталей и охлаждение нагретых композитов следует проводить медленно во избежание появления внутренних напряжений и возможных деформаций. – Прим. ред.



Крылатый тримаран «Центаурус 27». Внизу «Центаурус 35» – последний фанерный проект А.Эглайса

итальянские двухступенчатые воздуходувки (поскольку пока обнаружил только импортные подходящего качества) типа «DVP-80» (цена – 827 евро) производительность 80 м³/ч, имеющие предельное остаточное давление 200 мбар. Весит такое устройство всего 17 кг, так что вполне транспортабельно и может быть использовано даже на выезде. Оно не дает глубокого вакуума, но он и не нужен. Зато надежно, а это – главное. Представьте: вы выкладываете «пакет» из угольного препрега, гелькоута, жертвенных слоев, герметизируете вакуумный мешок, а насосы не запускаются. Потери в итоге могут составить тысячи долларов. (Кстати, о потерях – все оборудование помещения, где строился «Иван 32», пришлось отдать за долги. Сам цех «ушел» под автомастерскую.)

Впрочем, для формовки внешних корок корпусов я не использовал вакуум. Достаточно тщательно прикатать

два-три слоя отечественной «УТ-900» и гелькоут. А вот многослойные и сэндвичевые композиции вакуумировать обязательно: получается совершенно другой материал по своей «физике»**. Ракетчики вообще рекомендовали ответственные детали делать с «подпрессовкой». Это когда в матрицу после формуемого пакета вкладывается «ответная часть» – болван, уменьшенный на толщину изделия***. Я использовал эту технологию при изготовлении «хомутов» крепления балок, сдавливая получающуюся сборку струбцинами. Трудоемкость изготовления такой важной детали оказалась оправданной.

Значительно уменьшает трудозатраты изготовление непосредственно матриц, минуя стадию болвана. Так сделана оснастка для наших балок: фанерные короба по стыкам были отшпаклеваны под радиусы. Балки получились очень рациональными по распределению нагрузок и достаточно элегантными. Вообще, чем больше лодка, тем спокойнее двойная погибь, тем более оправданно изготовление непосредственно матриц. По этой технологии был построен английский 35-метровый катамаран «Team Philips». Один из его создателей – конструктор Барри Ноубль – открыл для меня многие ноу-хау. В английском коллективном проекте сам Барри занимался поворотными 30-метровыми

** Один старый профессор в бывшем ЛПИ им. М. И. Калинина «на пальцах» объяснял разницу между стеклопластиком ручной и вакуумной формовки следующим образом: «Представьте себе, что в одном случае вы имеете дело с металлом литым, а в другом случае – с кованным». Сравнение, конечно, весьма условно, но довольно наглядно. – Прим. ред.

*** Фактически речь идет о процессе с закрытой матрицей. – Прим. ред.



Формовка корпусов. В торце цеха виден макет сечения суперката. Справа – в цехе корпус «Ивана 30»

мачтами-крыльями. К ним претензий не было. Именно эта технология заложена в балки «Ивана 32», и пока (тьфу-тьфу!) они работают хорошо. Весь секрет конструкции – в наличии внутренних диафрагм-переборок, расположенных с определенным шагом.

Правда, несмотря на все конструкторские ухищрения, гигантский катамаран погиб – развалился в Атлантике. Наверное, у консервативных англичан не хватило опыта создания подобных передовых конструкций. Конкуренты-французы, прежде чем научились строить свои 60-футовые тримараны*, в буквальном смысле наломали их гору.

На территории верфи под Шербуром эти обломки так и валяются, как своего рода памятник. И как лишнее доказательство того, что полностью «просчитать» на бумаге или компьютере конструкцию легкого углепластикового гоночного судна пока невозможно – его удачная конструкция может выдержать лишь с опытом.

Послесловие

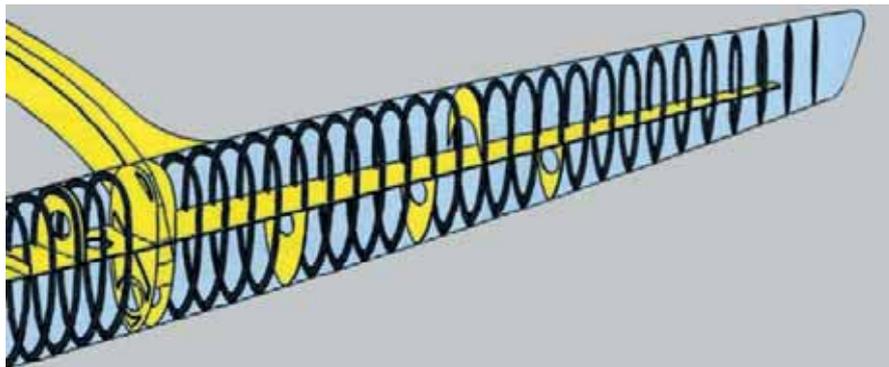
Конечно, индивидуальная постройка легкого (тем более – гоночного) композитного многокорпусника доступна далеко не каждому. Однако компьютерное проектирование, лазерный

раскрой и современные материалы позволили возникнуть и развиваться малому панельному судостроению. Особенно эффективно оно при создании круизных и спортивно-круизных катамаранов, самостоятельно собираемых их владельцами из готовых элементов. Из Австралии и Новой Зеландии, где сейчас кипит самая активная «многокорпусная жизнь», заказчик получает контейнеры с трехслойными панелями заготовок корпусов, ступель-кондуктора, элементов застройки, деталями рангоута и такелажа, двигателями и парусами. Подробнейшие инструкции позволяют справиться со строительством даже новичкам. Как правило, длина таких судов ограничена габаритами 40-футовых контейнеров – но это как раз самый ходовой размер для круизеров. Их конструкторы используют как собственные заготовки, так и выкройки из легчайших композитных панелей фирмы «DuFLEX».

Авторитетно заявляю, что суда из этих заготовок получаются превосходные. Такие модели, как «Spirited 380» (конструкции «Schioning designs»), «G 38 XT» («Grainger designs»), лодки верфи «Fusion catamarans», отличные ходоки, многократно проверенные тяжелыми условиями южных широт. Благодаря отлаженным технологиям их с успехом строят любители по всему миру. Главное – следовать инструкциям, не проявлять инициативу, смекалку и «творчество». Не пытаться «улучшить» проект. Но для наших соотечественников это – самая трудная задача.



Установка 30-метровой поворотной мачты в степс. Справа – первая авария гиганта. Внизу – схема усиления корпусов после поломки.



* Несмотря на печальную судьбу всего класса в целом, они были и остаются судами, опередившими свое время. – Прим. ред.