

Артур Гроховский

Современное судостроение ПЛАСТИКОВОЕ

Продолжение. Начало см. в № 217

Развитие современных технологий и совершенствование качества смол позволило технологам реализовать давнюю мечту производителей: механизировать процесс пропитки ламината, исключив (или существенно уменьшив) применение ручного труда при выполнении этой операции. Еще одной важной задачей фактически с самого момента зарождения стеклопластикового судостроения была необходимость обеспечить идентичность качества изделий, сделав ее как можно менее зависящей от качества рабочей силы. Так стали появляться различные технологии усовершенствования пропитки ламината смолой и его формования.



Современные методы формования

С самого начала применения волокнистых термореактивных пластиков в промышленности (в судостроении это произошло ровно 50 лет назад, так что данный цикл статей, по замыслу автора, как раз и предназначен для того, чтобы оценить развитие технологий работы с пластиком за эти годы), инженеры и технологи задумывались о том, как усовершенствовать процесс формовки изделий. Высокая доля ручного труда и отсутствие строгой повторяемости (особенно весовой) при производстве серийных деталей оказались серьезными факторами, сдерживающими массовое применение стекловолоконных материалов при выпуске крупномасштабных партий продукции. Собственно говоря, именно этим обстоятельством и объясняется тот факт, что малое судостроение стало, по сути, пионером в освоении этих типов материалов и лидером в области новейших технологий работы с ними. Поскольку при произ-

водстве яхт (особенно – крупных) не так важно отсутствие точной весовой идентичности деталей, а высокая доля ручного труда при формовании корпусов тоже не очень критична при производстве нескольких десятков лодок в год (особенно парусных), где неавтоматизированных процессов в любом случае более чем хватает.

SMC

Однако время шло, достоинства стеклопластика заметили в других областях промышленности (например, в автомобилестроении), где с указанными выше недостатками мириться было нельзя. Да и производство стеклопластиковых судов стало предъявлять все новые и новые требования как в плане снижения себестоимости, так и в части уменьшения эмиссионных выбросов при производстве. Ученые головы задумались и в конце 60-х гг. прошлого века родили первый частично автоматизированный процесс формовки деталей из волокнистых пластиков, названный SMC (sheet

molding compound). Суть новой технологии заключалась в следующем: разогретая примерно до 180–190° С массивная стальная матрица заполнялась заранее подготовленной смесью связующего, отвердителя (и при необходимости какого-нибудь наполнителя), к которой добавлялся армирующий материал. После этого матрица закрывалась разогретым до той же температуры пуансоном с давлением порядка 15–18 МПа и выдерживалась в таком состоянии несколько минут. После разъема из матрицы вынималась готовая деталь, имеющая отличный внешний вид, гарантированное качество и требующая минимум дополнительной обработки. Помимо этого новый метод обеспечивал и высокую весовую повторяемость деталей, поскольку смешивание и дозирование связующего состава могло быть автоматизировано, равно как и подача армирующего материала (частично).

Создание этой технологии было большим шагом вперед, оказавшимся, однако, совершенно непригодным для

пластикового судостроения. Значительные капиталовложения, необходимые для изготовления сложных по форме стальных матриц, вкупе с требованием применения мощного пресса могли окупиться лишь при годовом выпуске многих тысяч единиц продукции. Эта технология восхитила автомобилестроителей, но разочаровала специалистов яхтенных верфей. Процесс SMC нашел широкое применение в автомобилестроении (одна из самых известных деталей, изготавливаемых по этой технологии – пластиковая поперечная рессора подвески автомобиля «Chevrolet Corvette»), а также в некоторых других областях промышленности. Для яхтостроения же требовались иные процессы.

Вакуумирование

Параллельно с этим в пластиковом судостроении активно развивалось применение вакуумных методик формования. Строго говоря, эту технологию формования в его изначальном виде следует отнести к ручной формовке пластика, поскольку пропитка ламината смолой здесь производится вручную (за исключением применения препрегов) и лишь на следующей стадии применяется вакуумная «наволочка», эффективно отжимающая избыток смолы из ламината и минимизирующая вероятность возникновения пузырей и непроклеев. Вакуумирование было сравнительно недорогим (не требова-

лось практически никакого дорогостоящего оборудования), эффективным и несложным способом обеспечить высокую весовую идентичность формируемых деталей и их высокое качество. Для сравнительно небольших верфей, не готовых к широкомасштабным инвестициям в современные технологии, вакуумирование до сих пор остается одним из самых простых средств, способных повысить качество судов.

При вакуумном обжатии формуемого ламината на его поверхность оказывается избыточное давление, термически (в пределе) равное атмосферному (101.3 кПа). На практике же такой величины достичь, разумеется, не удастся – при современном оборудовании реальнее говорить об избыточном давлении порядка 70–80 кПа.

Существует две основные разновидности формования с использованием вакуума. Первый из них («сухое» формование) осуществляется, когда верхний слой выклеиваемого композита является сухим, т.е. свободен от связующего. Сегодня такой способ применяется только тогда, когда верхним слоем ламинируемой детали является наполнитель – пенопласт, фанера или что-то иное. Во всех остальных случаях рекомендуется применять «мокрое» формование, поскольку оно имеет заметные преимущества. В этом случае верхняя поверхность ламината, обращенная к вакуумному мешку, покрыта связующим. При данной технологии из

ламината хорошо удаляются излишки смолы, за счет чего весовое отношение «смола/ткань» становится более выгодным (у ряда фирм оно стремится к величине 30/70, порой доходя до рекордных 25/75), что делает формуемую деталь легче. Помимо этого при таком методе из ламината эффективно уходят пузырьки воздуха, а плотный прижим слоев друг к другу исключает их «ерзание» относительно друг друга внутри ламината при сильных знакопеременных нагрузках. Эта же технология применяется и при работе с препрегами (собственно говоря, сегодня она – единственная, которая пригодна для работы с ними).

Следует отметить, что применение вакуумного метода формования оказывает серьезную механическую нагрузку на матрицу, особенно негативно это воздействие сказывается на матрицах с сильно вогнутой формой – как раз тех, в которых формируют секции корпусов. В силу этого ряд фирм (в том числе широко известных) традиционно выполняет ламинирование секций корпусов вручную и только для секций палуб применяется вакуумное формование или еще более современные процессы наподобие инъекционных или инфузионных. В среднем рекомендуется иметь одну вакуумную «соску» на 1–2 м² поверхности при «мокрое» формование, для «сухого» формования цифры (особенно при большой площади поверхности) могут быть заметно ниже.



Вакуумные процессы с охотой применяют при формовании секций сравнительно плоских палуб – при этом нагрузки на матрицу гораздо меньше, чем при формовании секций корпусов



При производстве секций корпусов передовые верфи стараются использовать инфузионные и инъекционные технологии

Препреги

Препреги (сокращение от английского слова «preimpregnated», что означает предварительно пропитанный) представляют собой выпускаемые на специализированных фабриках заранее пропитанные смолой (как правило – эпоксидной, но встречаются и варианты с фенольными смолами) листы и рулоны стекло- или углеткани. Они появились как следствие одного из требований судостроителей (а чуть позднее – и ракетчиков): иметь постоянно стабильный уровень весового соотношения «ткань/смола». Еще одной причиной их появления стали довольно жесткие требования по охране труда: эпоксидная смола – весьма токсич-

ный материал, и продолжительная работа с ней в «ручном» режиме (т.е. при ручной пропитке ламината смолой) весьма неблагоприятна для здоровья персонала. На специализированных же фабриках обработка ткани смолой с заранее добавленными туда отвердителем и катализатором ведется в режиме, не требующем контакта работников с токсичным связующим.

Наряду с этими очевидными достоинствами у препрегов есть и существенные недостатки. Один из них – это не самое благоприятное весовое соотношение смолы и ткани, составляющее примерно 45:55. Как видим, весовая доля стеклоткани здесь ниже, чем при использовании вакуумирования формируемого ламината. Вторым недостатком является необходимость хранить готовые препреги (до момента их использования в производстве) исключительно в холодильных камерах, что повышает производственные затраты. Далее, чтобы после выкладки в матрице полотнищ препрегов запустить процесс полимеризации смолы, содержащейся в них (его дополнительно сдерживают специальные ингибиторы), смолу надо нагреть, «запекать» корпус лодки в печи или некоем ее подобии (что производственных расходов тоже не сокращает). Ну и наконец нельзя не сказать о том, что при нарушении норм хранения препрегов содержащееся в них связующее (сложный комплекс, включающий в себя эпоксидную смолу, отвердитель, ингибитор, предотвращающий реакцию отверждения смолы при низкой и комнатной температуре, и катализатор, наоборот, инициирующий запуск

процесса полимеризации при нагреве) может деградировать и резко потерять свои качества. К сожалению, способов оперативно проверить на месте пригодность препрегов не существует, и в процессе производства подобную потерю качества основного конструкционного материала попросту не обнаружить.

Все это вместе взятое осложняет использование препрегов. До сравнительно недавнего времени они применялись лишь при строительстве уникальных судов, наподобие кубковых яхт IACC и океанских гоночных яхт. Однако с началом нового тысячелетия они пошли в сравнительно массовое использование. Во многом, за счет того, что удалось решить ряд технологических проблем, серьезно затруднявших применение препрегов: например, увеличения объема и/или коробления пенопластов, используемых в качестве наполнителей в сэндвичевых конструкциях. Существует также опасность химического разложения пенопласта-наполнителя под воздействием горячих паров смолы при «запекании» корпуса, поскольку находящаяся в гелеобразном, полужидком состоянии смола при нагреве корпуса меняет фазовое состояние (еще до начала полимеризации), превращаясь в довольно текучую и летучую жидкость. Поэтому серьезные изготовители конструкционных материалов составляют таблицы их совместности в различных комбинациях и пренебрегать ими ни в коем случае нельзя (кстати, многие изготовители препрегов очень рекомендуют в процессе укладки отделять наполнитель от препрега специальными клеющими



Системы вентиляции и очистки воздуха на крупных современных верфях – это очень сложные и дорогие установки

пленками с особо высокой адгезией). Одним из пионеров широкого применения эпоксидных углетканых препрегов стала словенская верфь «Shipman», опробовавшая применение этой технологии на яхте «Shipman 50» («КиЯ» № 191). Затем это знамя подхватили фирмы среднего и массового сегмента: например, германская «HanseYachts AG», выпускающая широкий ассортимент яхт в варианте с эпоксидными корпусами, сделанными из препрегов («КиЯ» № 209).

Специалисты малого судостроения ожидают, что в ближайшие несколько лет практика применения препрегов серьезно расширится. И одной из причин ее этого станет отнюдь не только высокое качество получающихся таким образом корпусов, а требования «зеленых» к чистоте производственных процессов. Работа с препрегами на судовой верфи означает практически нулевой (в сравнении с ручной пропиткой) выброс вредных веществ в атмосферу, а также отсутствие необходимости размещать на предприятии мощную фильтровентиляционную

установку, стоящую немалые деньги. На многих крупных современных европейских верфях единые централизованные ФВУ представляют собой сложную разветвленную систему воздухопроводов, оснащенных большим количеством фильтров, вкуче с весьма высокой трубой, обеспечивающей выброс очищенного воздуха в окружающую атмосферу на высоте не менее 25 м. По оценке владельцев ряда подобных предприятий, стоимость подобного рода систем может достигать до 20–25% полной стоимости всего предприятия. Несмотря на это, строгие европейские нормы в любом случае заставляют размещать верфи, работающие с жидкими смолами, в пределах городской черты, требуя их выноса за пределы населенных пунктов (например, британская компания «Northshore Marine», строящая яхты «Southerly», по этой причине вынуждена ламинировать корпуса на производственном участке, находящемся в часе езды от основного сборочного цеха верфи). В то же самое время судовой верфь, работающая исключительно с препрегами мо-

жет (исходя из санитарных соображений) располагаться даже в черте города (как, например, британская же компания «Green Marine» в Лимингтоне).

Но и препреги сегодня уже являются самыми совершенными технологиями работы с волокнистыми терморезактивными материалами. Умы многих ведущих специалистов заняты разработкой новейших процессов пропитывания тканей смолами: инъекционными, инфузионными и – вершина технологических достижений! – процессами с закрытой матрицей, довольно часто именуемыми RTM-процессами. В работы по их созданию включены ведущие научные учреждения мира – так, например, одна из разновидностей RTM-технологий разработана в знаменитом Массачусетском технологическом институте, в честь чего и получила наименование RTM MIT*.

* MIT – Massachusetts Institute of Technology, одно из двух ведущих научно-учебных технических заведений США. Вторым является калифорнийский Caltech. – Прим.ред.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

для производства судов, катеров и яхт



Зачистные круги для удаления сварных швов, объемные круги Скотч Брайт™ для обработки деталей из нержавеющей стали, круги и рулоны для шлифовки грунтов и шпатлевок, полировальные пасты, пневматические орбитальные машинки, шлифки различных размеров, средства индивидуальной защиты: респираторы, маски, фильтры, очки и другие материалы производства 3M™.

Проводим техническую консультацию по использованию абразивов. Изготавливаем шлифленты любых размеров.

ООО «КЛАРЕЙ» (495)780-2836, 642-7303
 info@klarey.com
 www.klarey.com

3M ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТУРБАЗ, ПЛЯЖЕЙ, БАССЕЙНОВ
- ТОВАРЫ ДЛЯ АКТИВНОГО ОТДЫХА
- ЛОДКИ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА
- ВОДНЫЕ ВЕЛОСИПЕДЫ
- ГОРКИ
- ВОДНЫЕ АТТРАКЦИОНЫ



ООО СПОРТ и ОТДЫХ
 199106 Санкт-Петербург, пл. Морской славы 1
 тел. (812) 322 60 60; 322 60 50
 www.pedalboats.ru www.walkerbay.ru www.argotsc.ru