

Этим материалом мы завершаем серию заметок, посвященных обзору технологий современного пластикового судостроения, начавшего свой путь 50 лет назад. Разумеется, это цикл статей, ни в коей мере не может претендовать не только на энциклопедичность, но даже на всеохватность: более или менее полно описать все существующие технологии с указанием ряда важных (и не очень) деталей можно в монографии (причем, скорее всего, размером не в один том). Впрочем, по уверению французских экспертов по пластику с верфи «Dufour», во всем мире едва ли найдется человек двадцать, досконально знающих абсолютно все тонкости большинства существующих процессов. Мы просим не рассматривать эти статьи и в качестве технологического пособия, поскольку в силу ограничений (в том числе и по объему) в них приходится сознательно оставлять за кадром многие важные моменты. Это всего лишь общий обзор, позволяющий читателю получить общее представление о современных технологиях.



Современное пластиковое судостроение

Артур Гроховский. Фото автора

Окончание. Начало см. в № 217

Мы закончили рассказ на инфузионном процессе («КиЯ» № 221), особенностью которого является всасывание смолы в ткань в силу разрежения, создаваемого внутри нее. В подавляющем большинстве случаев применение инфузионных технологий идет с использованием вакуумного мешка, но существует и способ инфузионного формования в закрытой матрице – это так называемая методика RTM-light (или «эконом»). Мы уже рассказывали о нем («КиЯ» № 200), но сегодня вновь коснемся его, поскольку в определенном смысле это переходный процесс от инфузионного формования к инъекционному.

Сразу оговорюсь, инъекционное формование (или RTM – Resin Transfer Molding) и процессы с закрытой матрицей не синонимы. Инъекция всегда (или почти всегда) требует наличия закрытой матрицы, и, напротив, ее наличие необязательно свидетельствует исключительно об инъекционном способе пропитки ламината смолой.

Впервые инъекционная технология в судостроении была применена еще 60 лет назад в США для постройки 40-футового патрульного катера для Береговой охраны, т. е., как ни удивительно, но эта технология появилась еще до того, как пластиковое судостроение стало нормой. Тем не менее в течение без малого 30 лет методика практически не совершенствовалась, и лишь в 70-е гг. прошлого века началось ее распространение. Как это обычно бывает с новинками, появились суперэнтузиасты, предсказывавшие «полную гибель традиционных процессов формования в течение ближайших 10 лет». Сегодня можно видеть, чего стоили эти прогнозы, а в те годы события развивались довольно драматично – в силу ряда причин (технологических и материаловедческих, в первую очередь) к середине 80-х гг. инъекционный процесс почти полностью исчез из обихода. Его повторное рождение обязано серьезному прорыву в химии смол и ряду других технологических достижений.

Очень многие детали роднят инфузионный и инъекционный способы формования, поэтому не станем здесь описывать общие для них этапы.

Как мы уже говорили, инфузионное и инъекционное формование имеют свои сильные и слабые стороны, что влечет за собой неполную взаимозаменяемость их между собой в процессе производства. Основное достоинство метода инъекции – то, что после формования обе стороны детали получаются идеально гладкими (если конечно, матрица и пуансон – высокого качества), не требующими ни доработки, ни декоративной зашивки. Плюс к этому: «поджатие» формируемой детали матрицей и ее ответной частью – пуансоном – позволяет тщательно контролировать толщину (и массу) будущей детали, точно «загоняя» ее в допуски чертежа (некоторые польские судостроители утверждают, что точность изготовления детали составляет ± 0.25 мм). Два эти обстоятельства довольно точно определяют основную об-

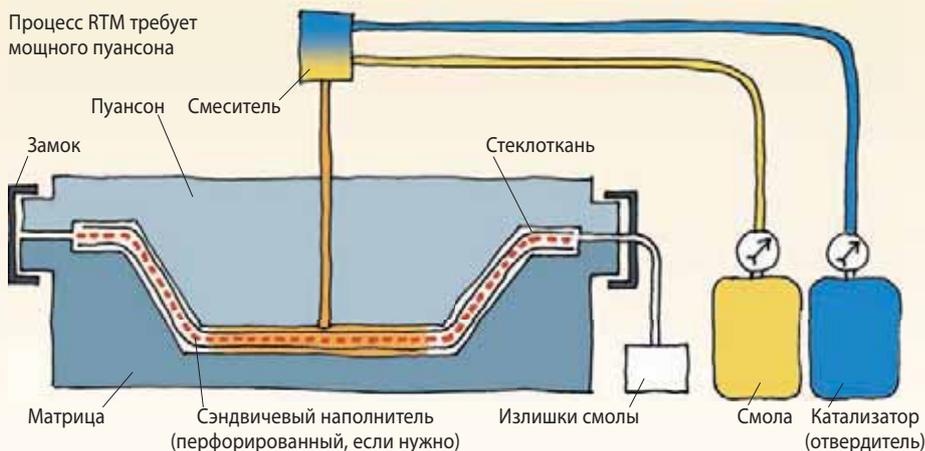
ласть применения инъекционной технологии в современном яхтостроении: это палубы, крышки люков и «мыльницы» рубок (в том случае, если последние представляют собой отдельно формуемую от палубы деталь). Именно подобное позитивное (в смысле уменьшения толщины) влияние инъекции на массу и толщину формуемых палуб, рубок и люков позволяет увеличить высоту внутри судна и понизить ЦТ яхты. Отсутствие необходимости покрывать внутреннюю поверхность отформованных в закрытой матрице деталей дополнительной зашивкой или иной формой декоративного покрытия снижает себестоимость их применения, позволяя «отбивать» затраты на применение этой недешевой технологии. Опять же отсутствие дополнительных зашивок на подволоке рубки повышает внутреннюю высоту судна.

Подчеркну, практически все без исключения технологи-практики крупных яхтенных верфей, обсуждавшие с автором этих строк вопросы современных технологий, говорили в один голос: внедрение полноценных инъекционных технологий с закрытой матрицей экономически оправдано лишь в том случае, если обе поверхности отформованной детали после сборки останутся незашитыми. В противном случае экономика говорит веское «нет» этому процессу, поскольку остальные преимущества инъекционного метода в массовом судостроении не столь весомы. Вернее, весомы, но очень дороги, что далеко не всегда может оправдать себя именно в массовом судостроении. Сегодня можно говорить о следующих примерных (очень примерных!) расценках по внедрению RTM-технологии на верфи: изготовление оснастки для каждого квадратного метра будущей детали потребует порядка 2000 евро без учета затрат на создание болвана. Серьезное уменьшение веса и строгий контроль за ним, которого позволяет добиться эта технология, не имеют особого значения для массовых яхт. А для рекордных и гоночных яхт существуют иные методы уменьшения веса (карбон, номексовые соты и пр.), так что применение RTM (иначе – инъекционного метода с закрытой матрицей) практически ограничивается «верхней» частью судов (опыт верфи «Harmony Yachts», пытавшейся цели-

Если в инфузионном процессе чуть «поддуть» поступающую смолу избыточным давлением, получится метод RTM-light



Процесс RTM требует мощного пуансона



Вакуумные (инфузионные и инъекционные) методы сегодня используются для выклеивания очень больших деталей («Sunreef»)

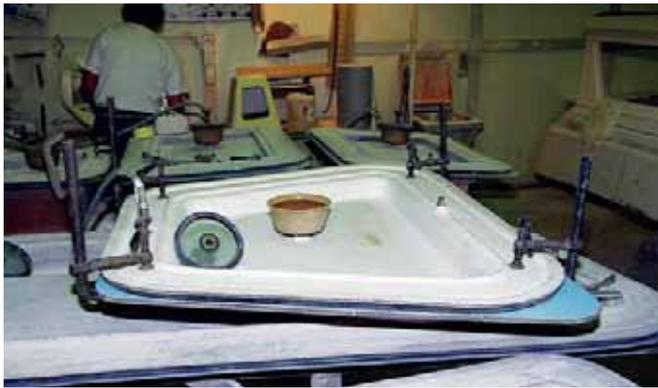
ком формировать корпуса яхт в закрытой матрице («КиЯ» № 201), оказался неудачным, и фирма обанкротилась). Хотя есть и исключения, об одном из них речь пойдет ниже.

Еще одно важное преимущество инъекционного способа формирования детали в закрытой с двух сторон мощной матрице – это возможность «запечь» ее прямо в ней под высокой температурой, не опасаясь деформации. Благодаря этому можно:

а) наиболее полно использовать

прочностные качества смолы (прочность итогового композита у ряда смол напрямую зависит от температуры, при которой произошло отверждение смолы);

б) серьезно сократить время процесса отверждения смолы (вплоть до 6–10 минут в ряде случаев), что позволяет резко увеличить «оборот» матриц в технологическом процессе, уменьшая временные издержки и интенсифицируя производство. Очевидно, впрочем, что этот фактор имеет значение лишь



При использовании инъекционного метода главное – хорошо поджать пуансон («Amel»)



Метод RTM-light позволяет формировать детали с закладными элементами («Amel»)

при более или менее массовом выпуске изделий.

Возможность качественной заделки в ламинат различных закладных деталей – еще одно из важнейших достоинств инъекционного метода. Подаваемая под давлением смола очень хорошо пропитывает окружающие деталь слои ткани, обеспечивая надежный контакт. Очень высокая повторяемость изделий (весовое различие на хорошо отлаженном производстве находится на уровне менее 1%) также является одним из преимуществ инъекции.

Само собой, имеются у инъекционного метода и недостатки. Один из них – это практически полная невозможность применения сотовых наполнителей в конструкции. Затруднено и применение ряда других наполнителей, что сильно осложняет задачу технологов.

Но вернемся к собственно инъекционным технологиям. Их много. В литературе довольно часто приходится встречать выражение «дерево технологий», под которым понимают тот факт, что человек в ходе развития техники осваивает все более и более широкий спектр различных процессов и производственных методик, которые разветвляются наподобие дерева. Примерно то же самое можно сказать и о каждом технологическом методе отдельно, в том числе о методах строительства из стеклопластика: чем дальше развивается эта технология, тем на большее число отдельных (но похожих!) процессов она делится. Сегодня RTM – это в общей сложности порядка 70 (!) похожих процессов, в большинстве своем имеющих «фирменное» имя и различающихся в деталях.

Разумеется, описать все их в одной статье (или даже серии статей) невозможно (даже без учета того, что многие

изготовители не особенно раскрывают свои секреты). Поэтому мы расскажем лишь о наиболее примечательных технологиях и их особенностях, нашедших свое применение в яхтостроении. И начнем, как уже было сказано ранее, с RTM-light.

Способ RTM-light, как видно из приводимой схемы (рис. 1), – довольно близкий гибрид инфузии и инъекции (которая, заметим, в свою очередь родилась из экструзионных методов работы с термопластичными синтетическими материалами). При нем смоле как бы помогают всасываться в ламинат, дополнительно «поддувая» емкость с ней воздухом под небольшим избыточным давлением. При этом не нужно делать мощную ответную часть матрицы, достаточно ограничиться легким пластиковым пуансоном, что снижает затраты на внедрение данной технологии. Дело в том, что в матрице не развивается высокого давления от подкачиваемой смолы – его отчасти компенсирует разрежение, создаваемое в ней же. Как видно из приводимой таблицы, процесс RTM-light во всех смыслах является «умеренным» процессом: при нем создается меньшее разрежение, чем при обычной инфузии, и меньшее избыточное давление, чем при обычной инъекции, что позволяет сократить расходы на насосно-вакуумную систему. Кроме того, можно сделать сразу несколько разных ответных частей (они же дешевы), при необходимости быстро их заменяя (они легкие), благодаря чему можно довольно быстро перейти на выпуск деталей с разной конфигурацией обратной стороны. Недаром этот способ называют «экономным». Еще одним его достоинством следует отметить то, что сквозь тонкий пуансон хорошо

видно распространение фронта смолы по формуемой детали, а значит можно визуально контролировать качество (в отличие от процесса с полноценной закрытой матрицей).

Нельзя, однако, не отметить, что он имеет и существенные недостатки. Вследствие подачи смолы под сравнительно невысоким давлением невозможно использовать одно из важнейших преимуществ инъекционных методов – заформовывать в пластиковые конструкции закладные детали. Вследствие определенных проблем продвижения фронта смолы по заполняемому объему вакуумированного ламината при чисто вакуумной пропитке (инфузии) не всегда удается заламинировать закладную деталь в формуемую пластиковую – возле «закладухи» остаются места, не пропитываемые смолой. Лишь подача смолы под заметно избыточным давлением позволяет нормально насытить смолой окружающие закладную деталь слои ткани. Нельзя при данном способе применять и особенно горячее «запекание» – под легким пуансоном без сильного механического прижима деталь может «повести». При этом необходимо строго соблюдать заданное разрежение в матрице (оно ни в коем случае не должно превышать 0.6, а лучше 0.5 бар). В противном случае смола не сможет заполнить внутренние поры наполнителя, и качество детали резко ухудшится, причем обнаружить и проконтролировать это в процессе изготовления не удастся. Также метод RTM-light не позволяет добиться очень высокого содержания стеклоткани в готовом изделии – ее доля редко превышает 55%. Спецификой этого метода является и требование к низкой

Сравнение избыточных давлений при различных методах формования

Процесс	Ответная часть матрицы	Величина разрежения в матрице, бар	Величина избыточного давления в смоле, бар
Вакуумная инфузия	Вакуумный мешок	0.5–0.9	Нет
RTM-light	Легкий пуансон с вакуумным или вакуумно-механическим поджатием	0.3–0.5 (не выше 0.6!)	До 1
Инжекция	Мощный пуансон с механическим, пневматическим или гидравлическим поджатием	До 1	2–12

вязкости (высокой текучести) используемых смол.

Одним из развитий инъекционного способа стал метод MIT RTM (Multiple Insert Tooling RTM), разработанный с целью снижения себестоимости и повышения гибкости использования матриц. Здесь ответная часть матрицы (пуансон) выполняется из двух частей: постоянной (силовой) и съемной (формовочной), соединяемых друг с другом перед началом формовки. Силовая часть матрицы обеспечивает прижим пуансона с должным усилием и отсутствием деформаций, формовочная часть придает поверхности детали нужную форму. Как вариант, то же самое может быть сделано и с самой матрицей, тогда в одной и той же матрице можно формовать множество различных по геометрии деталей. Эта методика очень полезна на гибких производствах с большой номенклатурой изделий, оперативно подстраивающихся под текущую конъюнктуру.

Очень интересны и перспективны технологии закрытой матрицы, использующие процессы термической деформации. Например, процесс TERTM (Thermal Expansion RTM) базируется на термическом расширении сэндвичевого наполнителя, закладываемого в матрицу вместе с тканью. После заполнения матрицы смолой под давлением и начала ее нагрева сильно расширяющийся наполнитель не просто компенсирует термическую усадку ряда смол, но и создает дополнительное избыточное давление внутри матрицы, активно «выжимая» избыток смолы наружу и повышая тем самым соотношение «ткань-смола» в готовом изделии. Технология RARTM (Rubber Assisted RTM) подразумевает предварительное размещение в матрице с той

же целью специальных вкладышей из синтетического материала, точно также расширяющихся при нагреве и выдавливающих излишки смолы – эти материалы в данном случае не становятся частью будущей детали и называются «интенсификаторами заполнения». Разумеется, все эти процессы требуют очень точного расчета и правильно подобранных смол и наполнителей, в силу чего для их корректного применения требуется приобретение комплексного ноу-хау у фирм-разработчиков.

Весьма любопытным и также перспективным процессом с закрытой матрицей выглядит метод RFI (Resin Film Injection), не имеющий уже ничего общего с подачей смолы под давлением. В этой хитроумной технологии желатинизированная смола в листовом виде (нечто вроде препрега, но без наполнителя) помещается в матрицу, после чего поверх нее выкладываются ткань и наполнитель (если он нужен). Все это накрывается пуансоном под сильным давлением и помещается в автоклав. Смола разжижается и за счет высокого давления пропитывает ламинат. Достоинство процесса в том, что из него полностью исключается вся «вакуумно-насосная» составляющая, а технология работы мало отличается от той, что применяется при работе с препрегами. Минусы – нужны сильное давление, автоклав с приличной температурой и, опять же, довольно точный расчет. Однако ряд специалистов предсказывает этому методу большое будущее.

Оригинальную разновидность инъекционного метода формования в свое время применяла компания «Genmag». Фирма весьма своеобразно решила очень важный вопрос – сжатие матрицы и пуансона под большим



Мощный замок вакуумной матрицы («Modelart»)

давлением без серьезных инвестиций в мощные прессы. После закрытия матрицы, создания в ней разрежения и подачи смолы под давлением, автоматизированная линия помещала матрицу... в бассейн с горячей водой. Использование давления воды позволяло решить сразу две проблемы: во-первых, исключить необходимость мощного пресса или иного устройства для сжатия обеих частей матрицы, во-вторых, повысить долговечность матрицы за счет равномерного давления воды на ее поверхность. В-третьих, бассейн с контролируемым подогревом воды заменял собой «печку» для «запекания» изделий. В таких матрицах компания делала даже корпуса судов, причем с завидной скоростью – менее часа уходило на изготовление одного корпуса целиком. До кризиса такие объемы и скорости производства на американском рынке были востребованы, а вот сейчас... В недавнее банкротство «Genmag» этот производственный процесс (вернее, расходы на его создание и внедрение) внес не последний по значимости вклад.

Впрочем, к собственно технологиям это уже не имеет никакого отношения...