



Разложена стеклоткань, отмеренное количество смолы распределяется шпателями



Пропитанная стеклоткань накручивается на резиновый шланг

Артур Уракаев, Олег Токарев. Фото Бориса Полозкова и Юрия Майорова

## В пользу эпоксидной смолы

Среди судостроителей, занимающихся стеклопластиком, и самодельщиков, не утихают споры о преимуществах двух типов смол – полиэфирной и эпоксидной. В советские времена, кстати, в свободной продаже имелась только последняя по вполне подъемным ценам; нынешние фирмы, в том числе и иностранные, считают использование эпоксидной смолы вместо полиэфирной своим козырем и нередко даже упоминают этот факт в рекламе как доказательство эксклюзивности продукции. При современном засилии «полиэфирки» даем слово приверженцам эпоксидной смолы, которые поделятся опытом ее использования.

### Российские эпоксидные смолы

Наиболее распространенные и доступные в России эпоксидные смолы – ЭД16, ЭД20 и ЭД 22. Похожие по характеристикам смолы выпускаются в Чехии («Spolshemie») и Германии («Dow Chemical»). Отвердителями для данных смол могут служить ПЭПА, ТЭТА и М-4.

ПЭПА – полиэтиленполиамин, наиболее часто используемый отвердитель для эпоксидных смол серии Д, имеет ярко выраженный запах (нашатыря), является легколетучей жидкостью и требует хранения в закрытой таре. Обычное соотношение со смолой – 10:1.

ТЭТА – триэтилентетрамин, обычное соотношение со смолой – 10:1. Более подходит для заливки толстых поверхностей и более критичен к температуре.

М-4 («Модифицированный 4») – отвердитель красноватого цвета, более густой, чем ПЭПА и созданный, по всей видимости, на его же основе. Соотношение к смоле 100:20–22. Недавно появившийся отвердитель М-4 имеет ряд неоспоримых преимуществ:

1. Смола на основе М-4 получается очень прочной.
2. Температура выклейки может быть ниже 10°C (мы использовали М-4 при ремонте в цеху при температуре 6–7°C и получили отличный результат).

3. Время полной полимеризации смолы – 6 ч.

Есть лишь один минус – цена. Один килограмм ПЭПА стоит 190 руб., а килограмм М-4 – 290 руб.

### Пластификаторы

ДБФ – дибутилфталат, маслянистая жидкость средней вязкости без особого запаха, применяется для придания пластичности конечному изделию. Модифицированная пластификатором смола становится менее хрупкой. Применяемый процент в смоле – от 1 до 10. Обычно мы добавляем от 3 до 5%, если изделие должно быть жестким и хорошо держать форму. А если требуется более пластичное и упругое изделие, пластификатора можно добавить до 10%. При относительно невысокой цене ДБФ – 120 руб./кг он имеет одну технологическую особенность: его очень трудно полноценно перемешать со смолой, для этого необходимо разогреть смесь на водяной бане до 50–60° С и перемешивать в течение 2–3 часов.

ДЭГ-1 – не самостоятельный пластификатор, а эпоксиалифатическая смола, которая может использоваться в его качестве. Это вещество желтого цвета более густое, чем ДБФ. Соотношение с основной смолой – 2–5%. Надежно перемешивается без нагрева, делает смолу менее вязкой, предпочтительна в употреблении для



Укладка стеклоткани на поверхности

«самодельщиков». Цена ДЭГ-1 – 300 руб./кг. Смесь смолы ЭД-20 и пластификатора ДЭГ-1 производится под маркой КДА.

### Наполнители

В качестве наполнителей обычно используют древесные опилки, тальк, аэросил. Аэросил (диоксид кремния SiO<sub>2</sub>) – легкое порошкообразное вещество белого цвета – обычно продается в мешках по 5 кг. В основном аэросил применяется для изготовления шпатлевки и как загуститель, чтобы предотвратить стекание смолы с вертикальных и наклонных поверхностей. Такая шпатлевка подходит для грубого выравнивания поверхностей, заливания стыков. Обычное соотношение – 1–4 % по объему. В таком соотношении смола становится менее текучей и хорошо держится на наклонных поверхностях. Аэросил – очень легкий материал, его очень трудно размешать со смолой, поэтому советуем сначала растворять его в пластификаторе, а потом уже заливать в смолу. При работе с аэросилом соблюдайте осторожность, поскольку материал этот очень легкий и летучий.

### Растворители

Растворители обычно очень редко добавляют в смолу, только в крайнем случае, когда необходимо сделать ее просто более жидкой. Наше мнение по поводу применения растворителя однозначно – добавлять его никак не более 2–3% от объема смолы. Дело в том, что растворитель испаряется быстрее, чем полимеризуется смола, отсюда в ламинате получаются крошечные отверстия, которые в дальнейшем пропускают воду. При работе с эпоксидными смолами есть технологические приемы, когда вязкость смолы не будет играть решающего значения.

### Типичные мифы о эпоксидной смоле

**«Эпоксидная смола токсична и работать с ней очень вредно».**

О токсичности эпоксидной смолы говорят все кому не лень, но тот, кто хотя бы раз был на производстве, где работают с полиэфирными смолами, знает, какой там стоит запах. На небольших отечественных верфях проделывают следующие вещи: отечественную «полиэфирку», имеющую запредельные характеристики по стиролу и другой «воняющей» гадости, разбавляют более экологически чистыми импортными смолами.

Стоит приняться к новой полиэфирной лодке, особенно в

жаркую погоду и особенно в каюте – резкий запах стирола стоит там порой два-три года. Если разобраться, что же токсичного в эпоксидной смоле? Сама смола не выделяет ни запаха, ни вредных летучих соединений; отвердители же пахнут нашатырем, но в соединении со смолой готовый продукт абсолютно не токсичен.

В цехах, где работают с эпоксидной смолой, нет необходимости в мощной вентиляции. Такая же смола используется при устройстве полов на фармацевтических предприятиях и в крупных супермаркетах, а также для изготовления и герметизации емкостей под жидкости. Для всех перечисленных сфер применения смолы санитарно-гигиенические нормы гораздо более жесткие, чем на производстве лодок.

**«Работа с эпоксидной смолой сложная и требует дорогого профессионального оборудования»**

Основная сложность работы с эпоксидными смолами возникает из-за ее более высокой вязкости по сравнению с полиэфиркой. Как и при работе с полиэфирной смолой, важно соблюдать технологию, уже опробованную другими, что исключит ошибки и брак. Применительно к мелкосерийному или штучному производству стоимость необходимого инструмента (кисточки, валики, весы, тара и т.д.) и расходного материала ничтожна, и при использовании метода ручной формовки этот инструмент ничем не отличается от используемого в полиэфирном производстве. Однако есть один нюанс: если мы работаем с самой прочной композицией (ЭД-16+ДЭГ-1+М-4) желательно провести процесс постполимеризации. Необходимо отформованную и отвержденную деталь разогреть до температуры 50–60° С на 2–3 ч, что возможно даже в кустарных условиях с помощью электрических или газонагревательных приборов. Такая деталь после окончания постполимеризации станет прочнее в 2–3 раза, поэтому этот процесс нередко именуют «закалкой».

**«Изделия из эпоксидной смолы получаются очень дорогие»**

Сравнивать стоимость полиэфирной и эпоксидной смолы имеет смысл на примере обычной 5-метровой моторной лодки, при этом учитывая, что при равной прочности обшивки за счет эпоксидной смолы готовое изделие получается на 30–40% легче, а срок его службы в несколько раз превосходит срок службы корпуса из полиэфирной смолы.

Теперь цифры. Например, на такой катер ушло 500 кг стеклопластика при соотношении смола/стекло 60:40. Таким образом по-



Стеклоткань разравнивается при помощи шпателя и валика

лиэфирной смолы в корпусе – 300 кг. Цена смолы М-105 – 100 руб./кг., получаем  $300 \times 100 = 30\,000$  руб./кг. Реально серийно произведенный в России из эпоксидной смолы корпус катера «Селенга 500» весит 270 кг. Таким образом, смолы там 150 кг. Цена смолы ЭД-20 – 175 руб./кг.,  $150 \times 175 = 26\,250$  руб. Как говорится, комментарии излишни...

### Технологические приемы

Общеизвестно, что наилучшее соотношение смола/стекло – 50/50. Как надежно и равномерно пропитать ткань и при этом не перерасходовать смолу?

Мы использовали следующий технологический прием.

Накрываем полиэтиленом стол (чтобы пленка не сдвигалась, прикрепляю ее скобами), потом взвешиваем на весах необходимое количество стеклоткани. Например, полотно длиной 5 м весит 1500 г. Приготавливаем 1500 г смолы, разливаем половину объема под ткань, расположенную на полиэтилене, и распределяем равномерно по всей площади, затем берем резиновый шланг и наматываем полотно максимально туго, чтобы сквозь ткань пропитывалась смола. Заматываем половину ткани на шланг, укладываем вторую половину ткани и повторяем процесс. Накрученная таким образом ткань равномерно пропитывается, и смола распределяется, не оставляя сухих мест на ткани.

На такой способ пропитки волокна уйдет не больше 15 мин., за такое непродолжительное время смола не успевает «вскипеть», и у вас не будет необходимости наносить дополнительное количество смолы, тем самым не перерасходуя ее. Даже если смола и будет немного густой, можно дополнительно распределить ее по стеклоткани шпателем. Накрученную на шланг ткань укладываем на подготовленную поверхность при помощи шпателя с последующим разглаживанием валиком. Получится равномерно пропитанная стеклоткань с соотношением 50/50 со смолой. Замерив заранее всю стеклоткань, необходимую для производства корпуса, можно будет точно проконтролировать его вес. Такой способ нанесения смолы поможет сэкономить время и получить достойный по качеству результат. Необходимые инструменты:

- весы;
- шпатели (шириной 200 мм);
- прикаточные валики;
- резиновые шланги диаметром 40–60 мм и длиной 1200 мм;
- стол (1200×2500);
- полиэтилен.

### Как и в каком количестве размешивать смолу

Способом, описанным выше, можно размешивать относительно большое количество смолы одновременно (за один замес мы использовали до 5 кг смолы), но главное здесь время – если вы ее используете за 5–10 мин., ничего не произойдет, и смола не «вскипит». Если вам нужно небольшое количество смолы на время от 15 до 30 мин., используйте неглубокую и широкую тару. Но лучше не смешивайте более 700 г за один прием, хотя эти цифры и не абсолютны. Сначала заливайте отвердитель в подготовленную тару, а затем вливайте смолу (хотя многие советуют обратную последовательность действий). Объясняем почему.

Во-первых, когда вырабатывается вся смола, то на следующий день тару можно будет использовать повторно, во-вторых, плохо размешанная смола остается снизу, а это приведет к тому, что появятся участки, где смола останется липкой и не схватившейся из-за недостатка отвердителя. Не ставьте готовую смесь возле источников тепла – это ускоряет процесс полимеризации, смола может «вскипеть».

Если в помещении слишком жарко, используйте за один раз меньшее количество смолы, оптимальная температура – 20–23° С. Если на поверхности ламината появилась белесая пленка, немного липкая, этот процесс называется карбонизацией и происходит из-за повышенной влажности в помещении.

### Практические советы по работе со стеклотканью

Надо знать, что самый крепкий и прочный стеклопластик вне зависимости от размера будущего изделия получается на основе тканей сатинового переплетения, обычное обозначение (Т-11, Т-13 и т.п.). У такого ламината нет конкурентов среди тканей иных типов плетения, однако такая ткань более плотная и требует тщательной пропитки, склонна к образованию морщин и пузырей. Она практически не тянется, ее лучше использовать в первых и последних слоях, а также для оклейки деревянных деталей.

Обозначение тканей для ровингов и стеклорогож – ТР (ТР-025, ТР-056, ТР-07). Это менее прочные ткани, где цифры обозначают вес 1 м<sup>2</sup> в килограммах. Они более подходят для средних слоев, а также изготовления матриц и других толстых оболочек. Хорошо пропитываются и укладываются (хотя чем толще ткань, тем хуже она укладывается на радиусах), неплохо тянутся и практически не создают воздушных пузырей.

Стекломат как серьезный материал менее всего подходит для «самодельщиков». Он очень хрупкий, но из-за дешевизны и простоты работы с ним более подходит для использования при серийной постройке из полиэфирной смолы.

При выборе стеклоткани следует обратить внимание на то, какой замазливатель использует завод-изготовитель. Импортные ткани и некоторые отечественные производители используют силиконовые добавки – такая ткань не требует отжига и сразу готова к употреблению. Некоторые отечественные производители тканей в качестве замазливателя применяют машинное масло или парафин, и такую ткань необходимо обжигать. Обработать ткань газовой горелкой следует очень аккуратно, не пережигая, до светло-коричневого цвета.

В заключение надо сказать, что современные эпоксидные смолы наиболее подходят для самостоятельной постройки, так как обладают наилучшими показателями по прочности и долговечности. ■