



## **Композитные сэндвич-структуры: новая веха в мостостроении**

**Django Mathijsen**

*Мосты всегда были движущей силой социального и экономического прогресса. Многие из них стали достопримечательностями и символами. В древности мосты строили из камня и дерева. Позже в арсенал строителей вошли кирпич, известь, бетон, железо и сталь. И сейчас пришла очередь полимерных сэндвич-компози́тов предложить инновационное решение и множество новых впечатляющих возможностей.*

Использование композиционных материалов в городском строительстве стремительно развивается, особенно это касается строительства лестниц, лестничных площадок, перил, ограждений, которые выдерживают воздействие таких коррозионноопасных сред, как бытовые стоки или морская вода. Композиты также используются для создания сложных фасадных форм. Полимерные сэндвич-структуры также нашли применение в больших нагруженных конструкциях, таких как мосты и ворота.

Преимущества сэндвич-компози́тов очевидны. Они, по сравнению со сталью, деревом и бетоном, имеют более высокое соотношение прочность-вес, длительный срок службы и низкие расходы на текущий ремонт. Сэндвич-компози́ты формуруются практически без ограничений. Однако использование подобных материалов в городском строительстве до сих пор сдерживается недостаточной изученностью их свойств.

Но ситуация меняется. К примеру, инженеринговая компания Ingenieursbureau Amsterdam достаточно хорошо изучила возможности полимеров, проектируя новый мост, перекинутый через канал Амстердам-Рейн в Нидерландах. Они выдвинули поистине новаторское решение.



## **Постоянная опалубка**

Мост через канал Амстердам-Рейн спроектирован как арка со стальными фермами, находящимися на расстоянии 3,8 м друг от друга. Расстояния между фермами следовало заполнить железобетонным дорожным настилом. Обычно бетон для настила заливается в деревянную опалубку. Однако дерево само по себе не достаточно прочное, чтобы удерживать влажный бетон, поэтому оно, в свою очередь, должно поддерживаться огромными лесами: временной стальной конструкцией.

Сборка деревянной опалубки и лесов занимает длительное время, что приводит к задержкам работ, большим трудозатратам и помехам движению транспорта. Кроме того, висеть под мостом, перекинутым через канал, - это сложная и опасная работа. Сборка опалубки и лесов на рабочем месте на берегу и их последующая установка является весьма сложной задачей. Следует упомянуть, что опалубку и леса следует разобрать после того, как бетон застынет, а это также требует того, чтобы рабочие висели под мостом.

И тогда специалистам Ingenieursbureau Amsterdam пришла идея – почему бы не попробовать полимерные сэндвич-панели для изготовления опалубки? Они должны быть достаточно прочными, чтобы удерживать влажный бетон, не требуя при этом использования поддерживающих лесов. Кроме того, композитные панели достаточно стойкие к внешним воздействиям, они обеспечивают получение ровной гладкой поверхности нижней части готового моста. Поэтому нет необходимости удалять их после застывания бетона. Так был ли выбор композитных панелей жизнеспособен?

## **Межслойные напряжения**

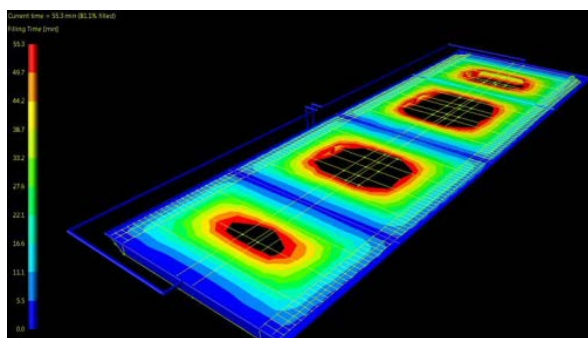
Работа по проектированию и изготовлению опалубки была поручена компании Poly Products, Веркендам, Нидерланды, которая специализируется на индивидуально разработанных композитах, используемых в городском строительстве и промышленности.

«Перед нами стоял ряд проектных задач» - говорит доктор Альберт тен Бушен, технический директор Poly Products. «Панели должны были быть легкими –  $25 \text{ кг/м}^2$ » - чтобы можно было их легко установить. К тому же места установки панелей на стальные фермы не должны были выступать над стальной поверхностью более чем на 20 мм. В то же время каждая панель должна была представлять собой толстый сэндвич, обладающий достаточной жесткостью. Ведь если панель прогнется более чем на 25 мм, когда залиют тяжелый бетон ( $850 \text{ кг/м}^2$ ), это нарушит эстетику внешнего вида моста и приведет к повышенному расходу бетона.»

Для того чтобы заполнить промежутки между фермами (длиной 3,8 м), требовались панели, состоящие из полиуретанового заполнителя в комбинации со стеклопластиковым ламинатом длиной 11-15 м. Самой большой проблемой было возникновение межслойных напряжений.

«Эти напряжения между слоями», объясняет господин тен Бушен «можно сравнить с деревом: оно прочное в направлении волокон, но если вы приложите поперечную нагрузку – оно может расслоиться. Межслойные напряжения снижают прочность

материала, и этот фактор следует учитывать при проектировании. Но это не всегда возможно. Вы не можете полностью предотвратить возникновение подобных напряжений на краях панелей. Если мы просто уложим композитные панели на стальные фермы, несовершенства металлической поверхности приведут к возникновению избыточных локальных напряжений, в результате чего панели будут просто отваливаться от стали. Мы предотвратили этого путем наклеивания резиновых полосок на фермы. Таким образом, мы распределили нагрузку и получили оптимальную поверхность, на которую затем уложили композитные панели».



Специалисты Poly Products изготовили образцы из целевого материала, чтобы провести испытания на прочность и жесткость. Провели моделирование краев панелей, просчитав напряжения и отклонения. В конце концов, пять панелей, размером 1x2 м, испытали на изгиб в трех точках. Это самый сложный случай, когда вся

нагрузка сосредоточена в одной области. В реальности наливаемый бетон создает распределенную по верхнему слою нагрузку, и при этом вероятность прогиба невелика. Результаты испытаний совпали с теоретическими выкладками, и Poly Product приступили к изготовлению панелей.

В процессе производства тщательно регистрировались характеристики каждой панели, сырья, окружающей температуры, данные вакуумного оборудования, проверялись все армирующие слои и их порядок.

Затем панели отвезли к месту строительства и установили на мост, пока он еще находился на берегу. Как только мост поставили на место, уложили армирующие стальные элементы и залили бетон. Работы завершились в марте 2013 года.

Безусловно, композитные панели оказались гораздо более дорогими, чем дерево, но они в значительной степени снизили трудозатраты, так что господин тен Бушен остался непреклонен в своем мнении, что в итоге композиты стали не только более быстрым, безопасным и эстетичным, но и дешевым решением.

### **Больше композитных мостов**

«Мы изготавливали края композитных мостов до того, как понадобились специальная форма» говорит тен Бушен.

«Подъемный мост, к примеру, имеет весьма сложную геометрическую форму, которую сложно было бы получить, используя другие материалы».

В таком случае почему бы не изготавливать полностью стеклопластиковые мосты?

«В случае, когда мосты имеют очень длинные пролеты, основным ограничивающим фактором является жесткость такой конструкции. Тогда было бы оптимально

использовать стальные фермы для основной конструкции моста, и композиты для настила. В противном случае вам понадобится очень и очень толстый сэндвич чтобы достичь требуемой жесткости.»

Пример подобного моста – автомобильный мост длиной 140 м в Лунеттене, одной из самых оживленных трасс в Нидерландах. Его композитный настил, способный выдерживать большие нагрузки, склеен с металлическим каркасом при помощи специального адгезива. Готовую конструкцию привезли на место установки как единое целое, причем транспортировка и монтаж заняли всего две ночи, так что автомобилисты не ощутили никаких проблем.



*Статья написана по материалам журнала Reinforced Plastics, оригиналы которых Вы можете найти по ссылке:*

[Composite sandwich structures: the new milestone in bridge building](#)

®Все фотографии принадлежат авторам