

ПРАКСЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.Н. Свирский, Б.Н. Сухиненко

*Витебский государственный технологический университет
210028, Витебск, Московский пр., 72
svirsky@vstu.unibel.by*

В статье предлагается оценивать прочностные свойства конкретных конструкций из композитов, а не только использовать косвенные оценки, основанные на исследовании эталонных образцов этих материалов. Для выбора конструкционного материала необходимо учитывать его удельные прочностные характеристики относительно стоимости и массы и других экстенсивных параметров конструкции.

Благодаря укоренению синергетической парадигмы в материаловедении и технологии композиты являются наиболее динамично развивающимся классом современных конструкционных материалов. Характерная особенность производства различных изделий из композиционных материалов состоит в том, что процесс производства конструкционного материала протекает одновременно с изготовлением самого изделия. В этих условиях исключительное значение приобретает технологический фактор создания материала/конструкции изделия, а именно, критерий эффективности технологии его производства. Рассматривая технологию в организационно-деятельностном аспекте, для общей оценки ее эффективности в категориях «цель», «полезный результат», «затраты» и т.п. можно воспользоваться методами праксеологии – науки об эффективной (рациональной) организации деятельности [1, 2].

Широко используемый метод оценки прочностных свойств конструкционных материалов описывает предельно допустимую нагрузку, вызывающую ту или иную деформацию, относительно площади сечения образца. Во-первых, в связи с использованием размерной характеристики такой метод описывает не свойства материала, а характеристики макрообъекта изготовленного из этого материала и представляет собой макрооценку образца или изделия. А, во-вторых, как следствие, позволяет сравнивать, и аргументировано выбирать материалы для конструкций, в которых критичными являются параметры габаритов. Это приводит к применению дорогих и трудно обрабатываемых материалов для изделий, в которых основным критерием эксплуатации является параметр массы. В настоящее время для таких конструкций предлагается удельная оценка, представляющая собой отношение прочностных параметров к плотности материала [3].

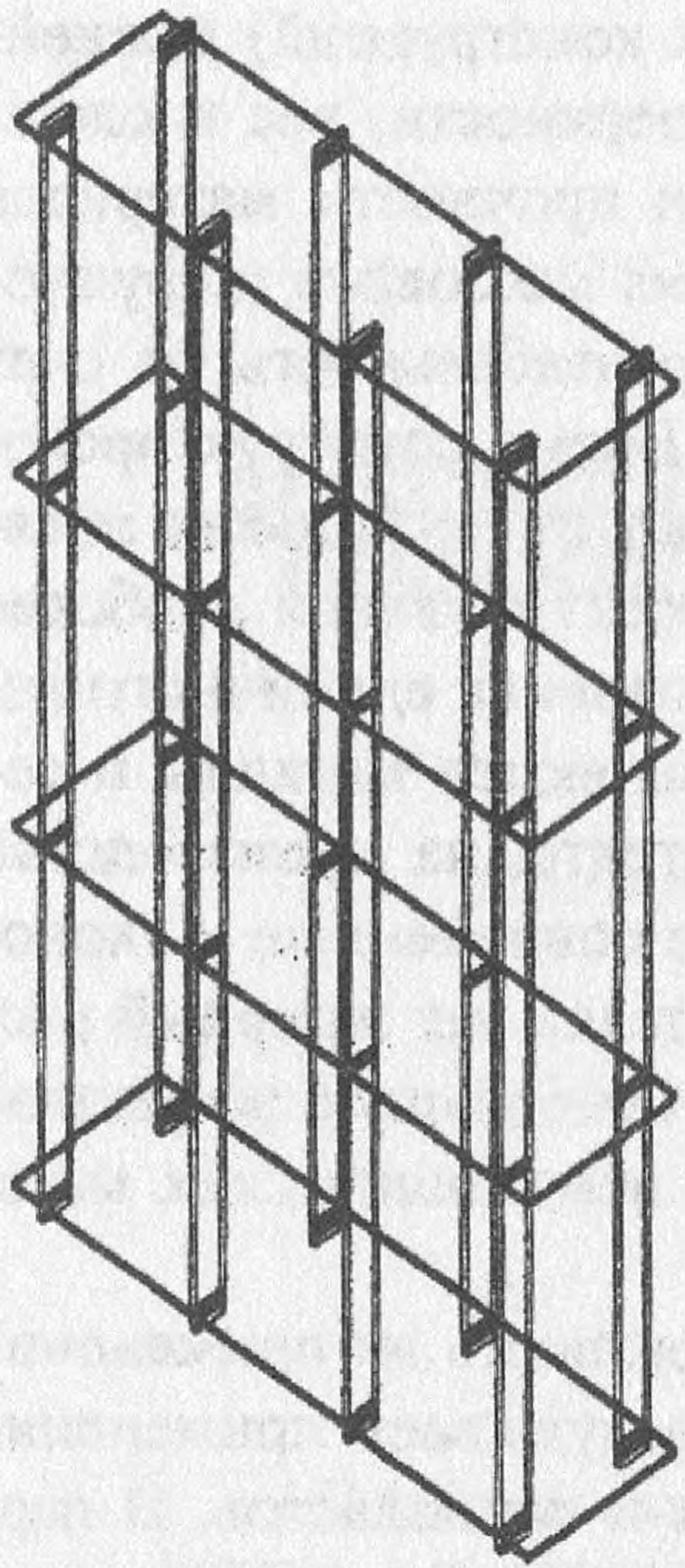
Известный принцип "конструкция определяет технологию" успешно используется в условиях традиционного производства и практически неприменим в случае внедрения

ния новых технологий. Например, при изготовлении каркасно-оболочковых изделий (автомобильные кузова, корпуса судов, элементы авиационных конструкций) важнейшими ограничениями являются точность формы, качество поверхности, вес и сложность производства. При использовании традиционной оценки прочности материала для изготовления этих изделий выбираются металлы. В условиях массового и крупносерийного производства такой выбор обеспечивает высокую рентабельность, за счет использования эффективного автоматического оборудования. Время конструкторско-технологической подготовки массового производства составляет от нескольких месяцев до несколько лет, что позволяет выработать на стадии проектирования наиболее технологичные и экономичные методы изготовления. Но и в условиях единичного изготовления аналогичных каркасно-оболочковых изделий применяются металлы и соответствующее оборудование. В этом случае приведенные затраты на производство оказываются неоправданно большими. В то же время, наиболее современные и экономичные методы производства каркасно-оболочковых изделий, такие как лазерный раскрой и сборка продольно-поперечного каркаса, обеспечивают наибольшую эффективность и уровень автоматизации при изготовлении изделий из неметаллических материалов.

Анализ неметаллических материалов показывает целесообразность их применения в различных отраслях машиностроения. Особого внимания заслуживает применение композиционных материалов на основе текстолита, древесины и пенопластов. В перспективе деревослоистые и деревоволокнистые материалы на основе отходов деревообрабатывающей промышленности способны частично заменить металлы за счет их относительно низкой стоимости. Кроме того, сырье для этих материалов является восполнимым, а производственные отходы могут быть переработаны без существенной потери качества.

Следует отметить тот факт, что удельная прочность древесины соизмерима с прочностью конструкционных сталей. В рамках исследований, выполненных в ВГТУ, был осуществлен сравнительный анализ равнонагруженных балок из стали 08кп и деревослоистого композита – фанеры ФСФ. Балки устанавливали на две опоры и нагружали сосредоточенной силой 70 кгс. Расчет производился по допускаемым напряжениям. Для обеспечения прочности по этому параметру стальная балка должна быть выполнена из квадратного профиля размерами 36х36 мм и толщиной 0,8 мм, а размеры равнопрочной фанерной балки – 56х56 мм из листа толщиной 4 мм. Иными словами, при прочих равных условиях вес равнопрочного изделия из деревослоистых композитов обычного качества в 1,5 раза меньше аналогичного изделия из конструкционной стали. Кроме того, предварительные расчеты удельной ценовой прочности позволяют утверждать, что стоимость каркасов каркасно-оболочковых изделий из древесных композитов будет в 1,5..2,0 раза ниже стоимости аналогичных металлических конструкций, причем эта оценка не учитывает стоимость обработки и сборки изделия.

Дальнейшие исследования деревослоистых композитов были ориентированы на оценку такого важного эксплуатационного показателя конструкции как жесткость. Теоретические расчеты, основанные на стандартной методике расчета на жесткость стержневых ферм, показали, что жесткость фанерного каркаса должна более чем в 7 раз превышать жесткость равного по весу и габаритам каркаса, выполненного из стали 45. Для подтверждения теоретических расчетов были изготовлены фермы, имеющие одинаковые внешние габариты (700х350х100 мм), равный вес и общую схему расположения конструктивных элементов - поперечных рам и продольных стержней. Внешний вид фермы из деревослоистого композита показан на рисунке. В эксперименте обеспечивался анализ жесткости каркаса на чистое кручение вокруг его продольной оси за счет жесткого закрепления базовой поперечной рамки и шарнирного закреп-



ления оси противоположного сечения фермы. Оба каркаса нагружались крутящим моментом 0,2 Нм. При этом угол поворота стальной фермы составил $36,73^\circ$, а фанерная ферма повернулась на $5,38^\circ$. Фактические показатели жесткости отличались от теоретических примерно на 5%, что связано с качеством исходных материалов и погрешностями в технологии изготовления испытуемых каркасов. Тем не менее, эксперимент подтвердил, что удельная жесткость деревослоистых каркасов практически в 6,83 раза выше жесткости стальных. Иными словами, использование параметра удельной жесткости конструкции наглядно демонстрирует очевидность такого явления, а, следовательно, психологически существенно расширяет диапазон возможных материалов. Параллельно выполненные исследования показали, что реальные прочностные характеристики фанеры обычного качества отличаются от технических требований не более чем на 6%.

Предлагаемая экономичная технология индивидуального производства каркасных и каркасно-оболочковых конструкций из деревослоистых материалов предусматривает максимально возможное обеспечение жесткости и прочности за счет использования внутреннего объема каркаса для установки усиливающих элементов. Причем за счет малых приведенных затрат и высокой скорости формообразования эти элементы могут иметь неограниченно сложную форму с целью обеспечения наибольшей прочности и наименьшего возможного веса всей конструкции. В ходе выполнения последующих исследований в представленный каркас были вмонтированы фигурные диагональные элементы усиления, что привело к увеличению веса конструкции в 1,5 раза и повышению жесткости в 12,2 раза. Следует отметить, что усиливающие элементы не имели жесткой связи с основными деталями каркаса, т.е. устанавливались с натягом без применения неразъемных соединений.

При анализе служебного назначения, специфичности конструкций и технологии изготовления широкого ассортимента каркасно-оболочковых изделий было определено, что металлы не обладают существенными преимуществами перед другими конструкционными материалами. В ходе исследований было установлено, что при изготовлении каркасно-оболочковых изделий с неограниченным заполнением внутренних полостей и с габаритами до 10,0 метров наиболее предпочтительными материалами являются композиты на основе древесины (фанера, древесноволокнистые материалы, бумага, шпон, цельная древесина). Ряд качественных показателей этих материалов (удельные прочность, жесткость, усталостная прочность, цена), а также технологичность их преобразования, являются более привлекательными по сравнению с металлами. Некоторые иные свойства древесных материалов (склонность к гниению, скалываемость, изменения размеров под воздействием различных факторов и т.п.) не могут быть однозначно оценены в сравнении с металлами и пластмассами без дополнительных исследований. Так, например, крупная частица лущеного березового шпона, имеющая вдоль волокон длину 100 мм, при нагревании от 20 до 100°C расширяется на 0,02 мм, а при увеличении влажности от 10 до 20 % разбухает на 0,066 мм. Таким образом, суммарное изменение длины волокна не превысит 0,086 мм, что составляет менее 0,1%. При аналогичных изменениях температуры стержень из углеродистой стали

длиной 100 мм удлинится на 0,09 мм, а это на 5% больше изменения размеров древесных наполнителей.

Выполненные исследования, осуществленные на основе анализа деревослоистых материалов, показывают перспективность оценки прочностных параметров конструкций относительно массогабаритных характеристик изделий. Еще более предпочтительным является способ описания аналогичных свойств по отношению к показателям стоимости исходных материалов и приведенных затрат на изготовление всего изделия. Тем более важными являются дальнейшие аналогичные теоретические и практические исследования других композиционных и полимерных материалов, хотя и имеющих высокую стоимость, но обладающие более высокими прочностными характеристиками.

Список литературы

1. Котарбинский Т. Избранные произведения. М.: Изд. ин. лит-ры, 1963. 911 с.
2. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок. М.: Мир, 1971. 172 с.
3. Павловский Я. Автомобильные кузова. М: Машиностроение, 1977. 544 с.