

УДК 691.1

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

¹Акопян А.Л., ¹Глухих В.Н., ²Прилуцкий А.А.

¹ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: g84003@bk.ru;

²ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург, e-mail: 9100202@mail.ru

Отмечается, что на основании опыта изучения и использования природных конструкций растительного и животного происхождения человек разрабатывает и создает материалы с наперед заданными свойствами – композиционные материалы. При использовании таких материалов в строительстве предпочтения должны отдаваться продольному расположению армирующих волокон в деталях и конструкциях – по аналогии со структурой древесины, но при этом обладающих гораздо большей прочностью и жесткостью. В природе в процессе эволюции создана масса примеров совершенных биологических конструкций, обладающих высокой прочностью. Наиболее прочные волокна костных тканей человека и животных, различных материалов растительного происхождения совпадают по направлению с главными напряжениями и деформациями, что соответствует принципу траекториального строения, который должен быть использован при разработке композиционных материалов. Важным бионическим принципом является также регулирование параметров напряженно-деформированного состояния конструктивных систем, что обеспечивает возможность получения конструктивной материи на основе гармоничной связи внешних сил с внутренними.

Ключевые слова: природные материалы, древесина, стекловолокна, конструкции, прочность, композит, строительство

THE USE OF SOME NATURAL MATERIALS IN THE DEVELOPMENT OF COMPOSITES FOR THE BUILDING INDUSTRY

¹Akopyan A.L., ¹Glukhikh V.N., ²Prilutskiy A.A.

¹Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, e-mail: g84003@bk.ru;

²Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, e-mail: 9100202@mail.ru

Noting that new composite materials with required properties are developed and created based on the experience of studying and using natural structures, derived from plants or animals. When using such materials in construction, the fibers must be longitudinal similar to the structure of wood, but composites are much more strength and stiffness. In nature, many examples of perfect biological structures with high strength were created during the evolution. The strongest fibers of human and animal bones and various materials of vegetal origin coincide with the direction of the principal stresses and deformation. An important bionic principle is the regulation of the stress-strain state parameters of structural systems which provide the possibility of a constructive matter on the basis of a harmonious connection of external forces to internal.

Keywords: natural materials, wood, fiberglass, construction, strength, composite, building

С момента своего появления как разумного существа человек использовал имеющиеся доступные естественные природные материалы для устройства жилища, его обогрева, для изготовления простейших орудий труда, предметов мебели, добычи природной пищи на охоте и рыбалке, позднее – для строительства зданий и сооружений, мостов, военных и торговых судов, фортификационных сооружений, сохранившихся до наших дней. Наиболее широко использовалось в качестве строительного материала дерево.

Несколько сотен лет назад венецианские строители использовали российскую лиственницу для сооружения фундаментов

стоящих и поныне дворцов, картинных галерей, музеев, соборов, жилых домов.

Свойства разбухания древесины при увлажнении издавна использовались человеком для изготовления герметичных винных бочек, судов, ёмкостей для воды, в качестве клиньев для разлома камней в каменоломнях.

Из истории известны случаи использования дерева для изготовления пушек сибирскими партизанами в годы гражданской войны. Прочности дерева хватало на производство 1–2 выстрелов, но и этого оказывалось достаточно, учитывая нехватку такого вооружения.

Одним из известных примеров современной истории нашей страны можно назвать строительство велотрека в Крылатском перед Олимпийскими Играми 1980-го года в Москве. Высокая стоимость зарубежного материала способствовала поиску отечественной древесины с требуемыми свойствами. Выбор был сделан в пользу лиственницы сибирской, из которой были получены радиальные пиломатериалы, уложенные в покрытие трека. Такие пиломатериалы были использованы для изготовления пола в каминном зале Санкт-Петербургской лесотехнической академии. После 15 лет эксплуатации пол находится в прекрасном состоянии.

Особенности природных материалов

Природа в процессе эволюции создала совершенные биологические конструкции, обладающие высокой прочностью (панцирь черепахи, кости скелетов животных и человека, прочные костные оболочки черепов, легкие и прочные конструкции костных скелетов птиц, мощные челюстные кости хищников и т.д.).

Человек в своей деятельности создаёт подобные искусственным путём и добивается максимальной прочности при минимальном весе конструкции.

В природе такие материалы формируются естественным путём. Наиболее прочные волокна костных тканей животных и человека, древесины и других материалов растительного происхождения совпадают по направлению с главными напряжениями и деформациями.

Изучая строение природных конструкций, человек создаёт материалы с наперёд заданными свойствами, необходимые для создания современных конструкций и сооружений. Примерами высокопрочных конструкций из дерева служат фанера, древесно-слоистые пластики, клееные балки из шпона, фермы, гнутоклееные конструкции. Наибольшее развитие получило создание композиционных материалов с использованием металлов, полимеров, стекловолокон, волокон углерода, бора и т.д. Композиционный материал, например, на основе алюминия, армированного волокнами бора диаметром 3–6 мкм, обладает прочностью конструкционных сталей при объёмном весе алюминия и применяется в авиа- и ракетостроении.

При проектировании изделий несущие нагрузку армирующие волокна должны быть сориентированы таким образом, чтобы их высокая прочность была оптимально использована с учетом гео-

метрической формы изделия, выбранной при проектировании.

Армированные пластмассы состоят из смолы и волокнистого каркаса. Существует достаточно широкий выбор смол и волокнистых материалов, что позволяет получать композиционные материалы с довольно широким диапазоном свойств. Такие материалы отличаются от традиционных высокой удельной прочностью, антикоррозионной стойкостью.

Композиционные материалы наряду с целым набором положительных свойств имеют и серьезный недостаток – для их изготовления потребуются значительные капитальные затраты.

Повышение прочности и жёсткости конструкций при минимальном расходе материала можно наблюдать на примере костей скелета птиц, у которых костные ткани разнесены от центров сечений на периферию, т.е. для повышения их прочности и жёсткости природа сделала эти кости полыми, добившись при этом минимума расхода строительного материала.

Широкое применение в технике получают изделия, изготовленные из стеклопластиков, в том числе и намоточных, которые своим строением, цилиндрической анизотропией похожи на древесину с ее годичными слоями.

Наиболее широко распространённый в строительстве материал, которым является древесина, является предварительно напряжённой, созданной природой конструкцией, находящейся в соответствующем напряжённо-деформированном состоянии. Этому состоянию соответствуют размеры и формы сечений ствола дерева, оно проявляет себя в технологии производства изделий из древесины и в процессе эксплуатации готовых изделий.

На сегодня нет исследований, в которых изучалось бы влияние напряжённо-деформированного состояния, сформировавшегося в процессе роста дерева, на прочность и жёсткость изделий и заготовок из древесины, их качество. Неизвестным остаётся напряжённо-деформированное состояние каждой доски, выпиливаемой из бревна.

Одной из главных целей изучения свойств древесины как природного армированного материала является определение путей ее рационального использования с учетом анизотропии, которую необходимо оптимизировать в механических тканях опорных элементов живых организмов в процессе эволюционного развития.

Стеклопластики на основе эпоксидных олигомеров сочетают в себе высокую прочность с относительно небольшой плотностью, хорошую стойкость к динамическим нагрузкам и резким перепадам температур, высокую химическую стойкость. Тонкие высокопрочные стеклянные волокна обеспечивают прочность и жёсткость стеклопластика, а синтетическое связующее придаёт материалу монолитность, способствует более эффективному использованию прочностных свойств стеклянных волокон, защищает волокна от внешних воздействий, а также само воспринимает часть усилий, развивающихся в материале при работе под нагрузкой. Для более широкого использования изделий из эпоксидного стеклопластика в гражданском строительстве необходимо улучшение его теплофизических свойств. Авторы исследования [5] разработали связующее для конструкционного стеклопластика, эксплуатационная устойчивость которого сохраняется до температуры 200 °С.

Получение стекловолоконистых композиционных материалов обеспечивает высокую прочность и малый объёмный вес изделия благодаря использованию высокопрочных стекловолокон и органического либо неорганического связующего. Недостаток эластичности стекловолокон требует поиска и применения для армирования композитов других волоконистых материалов. В практике могут быть использованы нити из углерода, бора, асбеста, базальта, керамики и некоторых известных металлов и их сплавов. Однако только армирование стекловолокнами обеспечивает высокую прочность и низкую стоимость изделия.

Совокупность этих качеств стекловолоконистых композитов делает их незаменимыми в строительстве. Самая высокая прочность у стеклянных волокон среди волоконистых материалов на разрыв составляет по данным [2] 1370–1500 МПа.

Одним из положительных качеств стеклопластиков является их низкая чувствительность к надрезам и другим концентраторам напряжений. По сравнению со стеклопластиковыми стальными сплавы при напряжениях близких к предельному (пределу текучести при растяжении) имеют более высокую чувствительность.

Известен технологический способ получения армированного композиционного материала путем намотки нитью, проволокой, лентой, тканью с пропиткой либо смачиванием смолистым веществом. Композиционные материалы, полученные намоткой, могут быть использованы

в конструкциях гражданского и военного назначения. Из композиционных материалов могут изготавливаться корпуса турбин, обтекатели гребного винта, столбы для тентов, тепловые экраны, трубы и емкости для жидкостей, железнодорожные цистерны, цистерны-хранилища для кислот, щелочей, солей, нефти и др., баллоны высокого давления, корпуса аккумуляторов, корпуса лодок, автомобилей, понтоны, кожухи вентиляторов, рессоры для легковых и грузовых автомобилей, трубопроводы для химических жидкостей, опоры подвесных дорог и др. Не менее широким является перечень изделий военного назначения. Корпуса самолетов гражданской авиации на 80 % изготовлены из композиционных материалов.

В строительных материалах растительного происхождения необходимо учитывать начальные напряжения, сформировавшиеся в процессе роста. Это позволяет рационально использовать материал, сократить его неоправданные потери в технологии обработки, повысить его качество и прочность.

Для этого нужно шире использовать некоторые бионические принципы и закономерности. Например, принцип траекториального строения [5], когда наиболее прочные волокна материала расположены в нём в соответствии с геометрией поля перемещений по траекториям главных деформаций. Или принцип резильянса в конструктивных элементах, согласно которому строение материала должно обеспечивать им свойства накапливать максимальное количество энергии упругой деформации без разрушения. В костях человека и животных, в деревьях наиболее прочные волокна ориентированы вдоль направления главных напряжений.

Древесина, например, в направлении вдоль волокон проявляет свойства хрупкого материала, у которого прочность при растяжении и сжатии различна, следует ожидать, что напряжённо-деформированное состояние (НДС) в процессе роста позволяет, например, при ветровой нагрузке и раскачивании дерева уменьшить напряжение в его более слабой (сжатой) зоне и увеличить их в более прочной (растянутой). За счёт этого, в частности, повышается жизнестойкость деревьев.

Научные исследования В.Г. Темного [5] позволили установить «бионический принцип регулирования параметров НДС конструктивных систем», который определяет закономерность создания конструктивной материи на основе гармоничной связи внешних сил с внутренними,

обеспечивая тем самым возможность получения конструкции с высокой работоспособностью и живучестью.

Пассивное регулирование параметров напряженно-деформированного состояния происходит за счёт использования физических свойств материала, за счёт изменения геометрии объекта при нагружении и разгрузке.

Активное регулирование параметров НДС происходит за счёт обратной связи, позволяющей перестроить геометрические схемы в соответствии с видом нагрузок, изменить плотность материала, модули упругости. В итоге обеспечивается оптимальный режим работы конструкции во времени. Для растущего дерева свойственны и активное и пассивное регулирование НДС, как и для всех объектов в живой природе. Композиционные материалы в числе других, в том числе и древесина в виде заготовок и готовых изделий, поддаются лишь пассивному регулированию. Получение математической модели напряженно-деформированного состояния, сформированного в процессе роста, например, дерева как растительного полимера и уже не изменяющегося во времени, позволит управлять параметрами НДС в заготовках и изделиях из композиционных материалов, предназначенных для строительства зданий и сооружений.

В механике деформируемого твердого тела известен метод фотоупругости, применяемый в исследованиях напряжений и деформаций в прозрачных и непрозрачных моделях реальных объектов из оптически активных материалов в проходящем либо отраженном луче поляризованного света. Метод позволяет получить интерференционную картину, на которой точки на изохромах – линиях одинакового цвета – характеризуются одинаковой величиной напряжения. Большой интерес в соответствии с названием данного исследования представляют другие линии, так называемые изоклины, характеризующие направление наибольшего главного напряжения. Таким образом, армирующие волокна в реальном объекте должны совпадать с изоклинами в модели этого объекта из оптически активных материалов, к которым относятся желатин, эпоксидная смола, некоторые полимеры. Высокой оптической активностью обладают модели из полиуретана. В зависимости от нагрузок, воспринимаемых элементами конструкций, с помощью моделирования и использования методов фотоупругости, применения лазерной техники, метода голографии можно наиболее рационально

расположить армирующие волокна. В таком природном материале растительного происхождения, как древесина, направление наиболее прочных волокон фактически совпадает с направлением изоклин при моделировании.

Использование таких особенностей природных материалов при разработке композитов позволит получать новые материалы с наибольшей удельной прочностью.

При использовании композиционных материалов в строительстве предпочтение нужно отдавать материалам с продольным расположением армирующих волокон в деталях и конструкциях, работающих в условиях деформации изгиба – по аналогии со структурой древесины, но при этом обладающих гораздо большей прочностью и жесткостью.

Выводы

Использование волокнистой структуры в материалах в условиях максимальных конструктивных характеристик является велением времени. Армированные стеклопластики, например, имеют высокую прочность при малом весе вследствие использования высокой прочности стекловолокон, связанных органическим либо неорганическим связующим. Эти материалы обладают устойчивостью к химическим активным средам, хорошей атмосфероустойчивостью, отсутствием электропроводности, хорошей технологичностью и одновременно с этим высоким отношением прочности к весу. Однако для их изготовления потребуются и большие капитальные затраты.

Волокна стеклопластика [4] можно ориентировать в изделиях в направлении наибольших напряжений, чем будет достигнута наибольшая прочность, как это происходит в природных материалах растительного происхождения.

Современные стальные сплавы чувствительны к надрезам при напряжениях близких к пределу текучести при растяжении. Стеклопластики являются очень ценным материалом в решении и этой проблемы.

Методами намотки стеклонитей и стеклоткани, например, могут быть изготовлены легкие высокопрочные декоративные строительные панели, столбы для осветительных фонарей, опорные колонны, перила, лестницы, трубы и цистерны для воды, обрешетка кровли зданий, корпуса вентиляторов и т.д.

Конструкционные пиломатериалы, получаемые из природного композиционного материала – древесины, находят все

более широкое применение в промышленном и гражданском строительстве. Практика показывает, что значительный объем таких пиломатериалов используется в строительстве для изготовления несущих конструкций [3]. Применяются пиломатериалы разных сечений с необходимой прочностью, которая в значительной мере зависит от расположения волокон древесины по отношению к действующей нагрузке.

Список литературы

1. Ашкенazi Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 247с.
2. Матвеева Л.Ю., Ястребинская А.В. Эксплуатационные характеристики эпоксидного связующего для конструкционного стеклопластика // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: материалы V Международной конференции. 25–28 июня 2013 г. / под общ. ред. Е.Б. Смирнова; СПбГАСУ. – в 2 ч. Ч. 1. – СПб., 2013. – С. 348–351.
3. Мелехов В.И. Бызов В.Е. Применение конструкционных пиломатериалов с обеспеченной прочностью в строительстве // Актуальные проблемы архитектуры и строительства. Материалы V Международной конференции.

25–28 июня 2013 г. / под общ. ред. Е.Б. Смирнова; СПбГАСУ. – в 2 ч., Ч. 1. – СПб., 2013. – С. 351–355.

4. Росато Д.В., Грове К.С. Намотка стеклонитью. – М.: Машиностроение. – С. 1969–310.

5. Темнов В.Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике. – СПб.: Компьютербург. 2001. – 61 с.

References

1. Ashkenazi E.K., Ganov E.H.V. Anizotropiya konstrukcionnyh materialov: Spravochnik. 2-e izd., pererab. i dop. L.: Mashinostroenie. Leningr.otd-nie, 1980. 247 p.
2. Matveeva L.YU., Yastrebinskaya A.V. EHkspluatacionnye harakteristiki ehpoksidnogo svyazuyushchego dlya konstrukcionnogo stekloplastika // Aktual'nye problemy arhitektury i stroitel'stva: materialy V Mezhdunarodnoj konferencii. 25–28 iyunya 2013 g. / pod obshch. Red. E.B. Smirnova; SPbGASU. v 2 ch. CH. 1. – SPb., 2013. pp. 348–351.
3. Melekhov V.I. Byzov V.E. Primenenie konstrukcionnyh pilomaterialov s obespechennoj prochnostyu v stroitel'stve // Aktualnye problemy arhitektury i stroitel'stva. Materialy V Mezhdunarodnoj konferencii. 25–28 iyunya 2013g. / pod obshch. red. E.B. Smirnova; SPbGASU. v 2 ch., CH. 1. SPb., 2013. pp. 351–355.
4. Rosato D.V., Grove K.S. Namotka steklonityu. M.: Mashinostroenie. pp. 1969–310.
5. Temnov V.G. Konstruktivnye sistemy v prirode i stroitel'noj tekhnike. SPb.: Komp'yutербург. 2001. 61 p.