

УДК 624.21:691.116

В.П. Стуков

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет около 70 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА С ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ БАЛКАМИ

Изучены факторы, определяющие качество клееной древесины в балках пролетного строения мостов. Предложены пути совершенствования технологии ее производства.

Ключевые слова: технология производства, деревожелезобетонная балка, научные исследования, качество продукции.

Современный системотехнический метод проектирования мостов [1] рассматривает научные исследования как важный инструмент совершенствования конструктивно-технологических систем объекта.

В балках большого поперечного сечения, например мостовых, применяют клееную древесину – композиционный материал, качество которого определяется многими факторами.

В задачу научных исследований входит оценка их влияния на качество продукции. Рассмотрим определяющие факторы.

1. Производство клееной древесины предполагает использование низкосортного материала. Элементы клееных деревянных конструкций изготавливают из пиломатериалов только хвойных пород, и необходимо вырезать дефекты. Для получения материалов необходимой длины приходится сращивать короткие пластины, при этом образуются многочисленные стыки. В производстве освоен и достаточно хорошо зарекомендовал себя зубчатый стык короткометражных досок. В Европе шиповое соединение выполняют согласно нормам ДИН 68140, в отечественном производстве качество и прочность склеивания заготовок должны отвечать требованиям ГОСТ 19414–90. В клееных балках с зубчатыми стыками в слоях из отдельных досок разрушение начинается со стыков, расположенных в наружных растянутых слоях [3, 6, 9]. Предел прочности стыков 31 МПа, тогда как балка без стыков разрушалась при 40 МПа, т. е. относительное снижение прочности зубчатого стыка равно 22,5%, что согласуется с данными других

исследователей. Для зубчатых клеевых соединений характерны: минимальные потери древесины на формирование соединений; технологичность и относительная простота формирования зубчатых шипов; способность соединения заклиниваться при кратковременном действии давления прессования и сохранять это давление вне пресса. Никакой нормируемый разброс стыков по длине балки и высоте ее сечения не обеспечивает равнопрочности цельной древесины, и несущая способность клееной балки будет на 20 ... 25 % меньше.

Выполненные нами экспериментальные исследования балок комбинированного сечения с ребром из клееной древесины однозначно фиксировали разрушение балки по зубчатому соединению досок наружного растянутого слоя [7]. Снижение прочности за счет применения зубчатого стыка можно уменьшить, используя принцип дробления сечений слоев. Если широкая клееная пластина составлена из 2-3 узких досок, маловероятно, чтобы стыки совместились по всей ширине. Для равнопрочности стыков и цельной древесины доски наружного слоя целесообразно применять листовые накладки в месте стыка, клей с повышенными прочностными характеристиками, более глубокую модификацию древесины в зоне стыка, граничной с клеевым швом.

2. Качество клееной древесины зависит от толщины досок. С уменьшением толщины склеиваемых по пласти досок повышается прочность и предотвращается расслоение клееной древесины. Так, с уменьшением толщины от 3,3 ... 4,5 до 2,0 ... 3,2 см средний предел прочности клееной древесины возрастает на 28,5 ... 32,5 МПа [3]. Лучшие прочностные характеристики имеет клееная древесина при толщине доски 19 мм и менее. Однако при уменьшении толщины досок увеличивается расход древесины, клеев, повышается трудоемкость изготовления.

3. На качество продукции существенно влияет влажность древесины, от которой в определенной мере зависит впитывание клеев, во время эксплуатации – подбор досок в клееном многослойном пакете. Влажность древесины, предназначенной для склеивания, не должна превышать 12 %.

В производстве пиломатериалов имеет место распиловка с тангенциальным и радиальным расположением годичных колец. В нормативной и технической литературе [9] нет категоричных требований относительно расположения колец в смежных слоях досок. Исследовали влажностные напряжения [2–4], их интенсивность и характер распределения в зависимости от взаимного расположения годичных слоев. Наиболее опасным является несогласованное сочетание слоев в досках тангентальной распиловки. Напряжения при усушке на 10 % сопоставимы с когезионной прочностью клеев и выше прочности древесины. Разрушение происходит по древесине и по клею, что недопустимо. В наиболее напряженных наружных участках сечения следует принимать согласованное расположение годичных колец в досках тангентальной распиловки из заболонной части бревна. При склеивании деталей по ширине (на кромку) их пласти должны быть взаимно противоположными (ядровые и заболонные стороны в соседних частях рас-

полагаются в разные стороны), а соединяемые кромки – одноименными (ядровая сторона к ядровой, заболонная к заболонной). При склеивании по толщине (на пласть) соединяемые пласти должны быть одноименными, а соседние кромки – противоположными [4].

4. При изменении температуры как в процессе изготовления, так и эксплуатации в клеевых соединениях возникают температурные напряжения. Это вызвано различиями коэффициентов термического расширения клея и древесины, а в самой древесине хвойных пород – вдоль и поперек волокон (соответственно $(3,6 \dots 5,4) \cdot 10$ и $(34 \dots 64) \cdot 10$, т. е. на порядок выше. При определенных геометрических параметрах соединения, физических характеристиках клея и древесины температурные напряжения сдвига могут достигнуть значений, сопоставимых с прочностью древесины поперек волокон на растяжение, что необходимо принимать во внимание с учетом сложного напряженного состояния древесины [9]. В клееной древесине, из-за стеснения свободы деформаций при изменении температуры, напряжения могут существенно снижать несущую способность многослойных элементов. Чтобы уменьшить их влияние, следует тщательнее подбирать вид клея, наполнителя, пластификатора; в технологическом процессе предусматривать по возможности более глубокую модификацию древесины в граничной с клеевым швом зоне; избегать значительных температурных перепадов при изготовлении и эксплуатации.

5. При производстве клееной древесины необходимо выдерживать нормируемые ровность и толщину клеевого шва, которая колеблется от 0,1 до 0,8 мм. С увеличением толщины в шве возникают внутренние напряжения. Это вызвано усадкой клея при его отверждении в результате испарения растворителя и поликонденсации [9]. Большинство клеев, применяемых для склеивания древесины, отличается значительной усадкой при отверждении. По данным [5], усадочные напряжения адгезионной пары клей – древесина составляют: для КБ-4 – 9,0; ФР-12 – 5,5; ФР-100 – 4,0 МПа. Напряжения опасны как для древесины поперек волокон, так и для адгезионных связей, обеспечивающих совместную работу разнородных материалов в клееном многослойном пакете.

6. На работу клееной древесины существенно влияют состояние граничной зоны клей – древесина и напряжения в ней. При склеивании прилегающие зоны древесины пропитываются клеем и создаются граничные слои из модифицированной древесины, физико-механические свойства которой иные, чем у натуральной. Это приводит к изменению распределения напряжений в граничной зоне. В многослойном пакете, каким является балка, такие зоны с обеих сторон клеевого шва достаточно велики в общем объеме элемента, что отражается на его напряженном состоянии.

В композитах, выполненных из материалов с разными модулями упругости, с течением времени под действием длительных нагрузок и пластических деформаций происходит перераспределение напряжений. Материал с более высоким модулем упругости оказывается сжатым, а с меньшим – растянутым.

Модифицированная древесина граничной зоны имеет повышенный по сравнению с цельной древесиной модуль упругости. Это приводит к снижению концентрации напряжений в клеевом шве [8], что подтверждается оценкой его температурных напряжений и плоского напряженного состояния [2]. Существует мнение, что при образовании граничных слоев уменьшаются усадочные напряжения до 1,0 ... 3,0 МПа. Следовательно, в меньшей мере снижается адгезия. Граничные слои благотворно влияют на технологические напряжения, способствуя процессу релаксации.

Необходимым элементом технологического процесса производства клееной древесины на клеях, имеющих усадку, является выделение достаточного времени на более глубокую пропитку полимером прилегающей древесины. Это относится к резорциновым клеям, которые непригодны для быстрого склеивания деревянных конструкций. Ускоренный режим применим для полиуретановых и безусадочных клеев-расплавов.

Образование граничных слоев из модифицированной древесины способствует снижению вязкости клея. Однако низкая вязкость клея обычно соответствует низкой концентрации его, что нежелательно из-за значительного увлажнения древесины и увеличения времени отверждения клея. Таким образом, снижение вязкости клея в случае модифицирования граничных зон способствует получению высококачественной клееной продукции. Глубина пропитки древесины со стороны пластей пиломатериалов очень мала, поскольку угол перерезывания волокон близок к нулю и колеблется в пределах угла косослоя в древесине. Влияние глубины пропитки на прочность клеевых соединений древесины можно проследить на примере зубчатых соединений [5], имеющих угол перерезывания волокон 6". При снижении вязкости клея ФР-12 (по ВЗ-1) от 100 до 57 см глубина пропитки увеличивается от 0,11 до 0,12 мм и прочность от 13,8 до 19,4 МПа.

Качество клееной древесины зависит также от чистоты обработки поверхностей склеивания, способа его нанесения, давления запрессовки и других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирский С.Р.* Современные методы проектирования мостов. –СПб.: Папирус, 1998. – 493 с.
2. Исследование прочности и внутренних напряжений при склеивании древесины и других материалов в строительных конструкциях: Тр. / ЦНИИСК. – М., 1976. – 160 с.
3. Исследование зависимости прочности деревянных конструкций от технологии их изготовления: Сб. тр. / ЦНИИСК. – М., 1982. – 180 с.
4. Исследования в области деревянных конструкций: Сб. тр. / ЦНИИСК. – М., 1985. – 182 с.
5. Практическое руководство по деревообработке / Сост. И.М. Фридман. – СПб.: Политехника, 2000. – 543 с.

6. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; Пер. с англ. Я.П. Горелика, Т.В. Михайловой; Под ред. С.Н. Горшина, А.Н. Кириллова, В.Е. Кузнецова и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.

7. *Стуков В.П.* Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона. – Архангельск: АГТУ, 1997. – 176 с.

8. *Фрейдин А.С., Вуба К.Т.* Прогнозирование свойств клееных соединений древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224 с.

9. *Шутенко Л.Н.* и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Л.Н. Шутенко, В.З. Клименко, Ю.Д. Кузнецов и др. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 16.02.04

V.P. Stukov

Improvement of Constructive-technological System of Bridge Framework with Wood-Reinforced Concrete Beams

Factors characterizing quality of glued wood in beams of bridge framework are studied. Ways of improving its production technology are suggested.
