РАЗДЕЛ XII. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Крестьянинова В.Ф.

Особенности работы соединений деревянных конструкций на клеенных стержнях в условиях отрицательных температур*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-04-2021-78

Аннотация

В статье проводится анализ отечественных исследований в области влияния экстремальных температурно-влажностных условий на прочность цельной и клееной древесины с составлением зависимостей названных параметров. Раскрыто явление хладноломкости в металлических стержнях: его причины и работа металла при низких отрицательных температурах. Приведен анализ воздействия отрицательной температуры и комбинаций влажности материала на характер разрушения клеевого соединения металла и древесины, в частности рассматриваются соединения деревянных конструкций на клеенных стержнях. Рассмотрены методы повышения прочности, надежности и долговечности клеенных стержней в условиях отрицательных температур.

Ключевые слова: древесина, клеенные стержни, экстремальные температурно-влажностные условия, прочность клеевого соединения.

Abstract

The article analyzes domestic research in the field of the influence of extreme temperature and humidity conditions on the strength of solid and glued wood with the compilation of the dependencies of the above parameters. The phenomenon of cold brittleness in metal rods is revealed: its causes and the work of metal at low negative temperatures. An analysis of the effect of negative temperature and combinations of material moisture on the nature of destruction of the adhesive bond between metal and wood is given, in particular, the joints of wooden structures on glued-in rods are considered. Methods for increasing the strength, reliability and durability of glued-in rods under negative temperatures are considered.

Keywords: wood, glued-in rods, extreme temperature and humidity conditions, strength of glued joints.

С учетом повышенных темпов развития строительной отрасли в районах Крайнего Севера, большую популярность обретает вопрос исследований влияния экстремальных климатических условий на прочность и долговечность строительных конструкций. В силу малой удельной плотности и повсеместности древесины, в рассматриваемом районе (например, в Якутии запасы древесины оцениваются в 9 млрд м³ [1]), материал обретает не только экологическое, но и явное экономическое преимущество перед другими строительными материалами. Кроме того, остаются не рассмотренными возможности использования новых конструкционных материалов, обладающих повышенными физико-механическими свойствами [2] и клеевых систем [3, 4]. Основными задачами при изучении влияния тех или иных параметров являются нахождение таких конфигураций исследуемого объекта, при которых он (объект) будет иметь максимально возможную прочность и удовлетворять требованиям нормальной эксплуатации в исследуемых условиях. В данной статье, приведен материал по исследованиям влияния различных температурно-влажностных условий (в частности

отрицательных температур), на элементы клеевого соединения: древесину различных пород, стальных стержней и сам клеевой слой.

На сегодняшний день, имеется небольшой список отечественных и зарубежных научно-исследовательских трудов, рассматривающих работу деревянных конструкций из цельной и клееной древесины при столь резких температурно-влажностных воздействиях.

Первые испытания по определению механических свойств цельной древесины (породы: дуб, сосна и береза), подвергнутой увлажнению до насыщения и замораживанию при -10 – 12 °С, проводились А.А. Солнцевым [5]. Было доказано, что при отрицательных температурах прочность на сжатие вдоль волокон и прочность при статическом изгибе увеличивается на 35 %. Также наблюдался рост прочности при скалывании и раскалывании (особенно при радиальном направлении) на 75%. В то же время, зафиксировалось уменьшение ударной вязкости древесины в 2 раза, что особенно заметно для сосны (для дуба данный показатель не превышал – 9 %).

В работе М.Д. Бойко [6] проанализировал характер влияния температуры (-1 °С, -15 °С, -30 °С, -45 °С, -79 °С) на образцы цельной древесины различной влажности (8–10%, 15–18%, 28–30%, 60–65%, 110–130% соответственно). Анализ результатов испытаний показал резкое возрастание прочности мокрой древесины с понижением температуры от -25 °С до -30 °С, после чего процесс увеличения прочности приостанавливается за счет числа ледяных включений, достигших количественный предел, предоставляющий достаточную устойчивость стенок клеток для обеспечения прочности древесины. Аналогичные результаты установлены в работе А.Н. Елхина [7].

Рисунок 1 – Влияние влажности на прочность при сжатии вдоль волокон древесины бука при различной температуре: 1 – -42 °С; 2 – 20 °С

Немаловажным фактом является то, что при достижении древесины точки насыщения (примерно 85% влажности материала), прочность древесины достигает максимума при отрицательной температуре, после чего вновь снижается, за счет выделения тепла, вследствие повышения давления, развивающегося при сжатии. Данное явление увеличения прочности обуславливается безусловным влиянием льда и восприятием им нагрузки.

Воздействие переменной температуры (отрицательной и положительной) оказывает противоположное влияние на прочность цельной древесины, что подтверждается в работе В.С. Панфилова [8]. Значительное снижение прочности (12–17% от контрольных значений) цельных образцов пород сосна и пихта наблюдалось при выдерживании сначала при $+70$ °С (3 суток), потом при -70 °С (3 суток). При втором режиме выдерживания образцов: сначала -70 °С 3 суток, затем $+70$ °С 3 суток, а потом при комнатной температуре 10 суток – потеря прочности составила 5–7% от контрольных значений. Данную зависимость можно объяснить релаксацией внутренних напряжений как раз в период выдерживания при комнатной температуре.

Испытания Ю.Н. Буслаева [9] на прочность клееной древесины при постоянной отрицательной температуре при различных значениях влажности показали следующие зависимости: при отсутствии свободной влаги в древесине прирост прочности плавный, из-за медленной кристаллизации свободной влаги; при влажности выше гигроскопической, в начальный период охлаждения прочность растет, за счет кристаллизации свободной влаги, затем она снижается в силу таких же причин, как и в опытах А.Н. Елхина [7]. Плавное снижение температуры испытаний от 0 °С до -50 °С способствовало увеличению прочности клееной древесины на 16% и на 32 % (при соответствующей влажности 22% и 30%). Увеличение прочности обуславливается кристаллизацией воды в порах древесины и клея, в следствии этого возрастает модуль упругости этих материалов.

При определении влияния температуры и влажности на клееные образцы древесины исследования различных авторов показало увеличение прочностных свойств на 20-25 % при снижении температуры [10].

Рисунок 2 – Изменение предела прочности древесины в зависимости от температуры и влажности: 1 – абсолютно сухая древесины; 2 – влажность древесины 30 %

При рассмотрении вопроса прочности соединения деревянных конструкций на клеенных стержнях необходимо установить влияние отрицательных температур не только на древесину, но и на стальные стержни. Согласно [11] хрупкость стали отмечается при отрицательных температурах порядка -50 °С и ниже, подобное явление получило название хладноломкости. При понижении температуры предел текучести металла повышается (снижается пластичность материала), при этом, температура практически не оказывает влияния сопротивлению отрыву, что в свою очередь, в результате экстремального температурного воздействия, отрыв возможен прежде, чем наступит пластическое состояние. Также, металл становится чувствительным к различным видам ударов: за счет того, что ударная вязкость материала снижается. Переход от пластического разрушения к хрупкому происходит у металлов скачкообразно и в узком диапазоне температур, определяющий порог хладноломкости [12].

Стоит уточнить, что есть категории металлов, которые сохраняют пластические свойства при достаточно низких температурах (металлы с гранцентрированной решеткой), а также среднеуглеродистая сталь теряет свою пластичность только при температуре жидкого водорода (-252,8 °С и ниже). При динамическом воздействии предел текучести повышается, что говорит о более низкой температуре перехода от пластического разрушения к хрупкому.

При рассмотрении совместной работы клееного соединения деревянных конструкций на клеенных стержнях необходимо установить зависимость температуры

и влажности на прочность, а также характер разрушения клеевого слоя. Использование эпоксидных клеевых систем для клеенных стержней связан с их высокими механическими качествами, большой адгезией к металлическим элементам и стойкостью к температурным перепадам. Также клей не дает усадки при отверждении, в результате чего не возникает трещин и разрывов. При изучении вопроса, характеристиками, влияющими на адгезионную прочность (прочность соединения на границе адгезив-субстрат) являются: площадь склеиваемой поверхности, параметр смачивания, ползучесть соединения, усадка и тепловое расширение клея. В силу того, что данные параметры влияют не в процессе эксплуатации, когда происходит влияние отрицательной температуры, а при изготовлении соединения, то данный вопрос рассмотреть сложно.

Но своей работе [9] Буслаев Ю.Н. на практике подтвердил гипотезу о том, что клеевые соединения деревянных конструкций при действии длительной нагрузки (5,5 лет) при отрицательной температуре ослабляются в результате развития внутренних напряжений и механической деструкции клеевой прослойки. Происходит снижение прочности на 17,7%-21% относительно начальной.

Также стоит заметить тот факт, что температурно-влажностное воздействие увеличивает вероятность возникновения трещин и других дефектов в клеевом шве, что в свою очередь становится местом концентрации напряжений, что в последующем увеличивает вероятность истощения адгезионной прочности соединения или когезионной прочности самого клеящего материала.

При испытании образцов, рассматриваемых в источнике [9] установлено то, что разрушение клеевых соединений происходит при отрицательных температурах по клеевому шву, тогда как при нормальных температурно-влажностных условиях характер разрушения обратный – по материалу.

Рисунок 3 – Зависимость относительной прочности клеевого соединения от температуры (А) и влажности (Б) [5]

В уже упомянутой работе [9], для защиты клеевого соединения и минимизации возможности возникновения концентрации напряжений, в следствии влияния температуры и влажности, рекомендуется не пренебрегать нанесением лакокрасочных составов, а также неоспоримым способом улучшения работы клеевого соединения, повышение его прочности и эксплуатационных характеристик в специфических температурно-влажностных условиях является применение рациональной конструктивной схемы здания. Кроме этого, направлением увеличения прочности соединения является введение наполнителей в клеевые составы.

Температура и влага являются основными климатическими факторами, которые оказывают значительное влияние на деревянные конструкции и клеевые соединения с

металлическими стержнями. Немаловажную роль играют различные значения коэффициентов температурного расширения у металла, древесины и эпоксидного клея. У эпоксидных смол данная величина в 6-10 раз выше, чем у древесины и металлов. Проанализировав исследования отечественных ученых, можно заключить, что отрицательная температура положительно влияет на прочность цельной и клееной древесины. В купе с повышением влажности материала, увеличивается предел прочности. Данная зависимость обуславливается кристаллизацией влаги и переходом ее в лед. В клееной древесине процесс увеличения прочности также происходит за счет уменьшения гибкости клея и древесины и в последующем, возрастания модуля упругости данных материалов. Но малая гибкость также влияет на возникновение концентрации напряжений в клеевом шве, за счет образования трещин и разрывов, вызванных хрупкостью материалов, что может привести к адгезионному разрушению. Также стоит учитывать при проектировании влияние длительных нагрузок на клееные деревянные конструкции: за счет деструкции клеевого шва с течением времени происходит существенное снижение прочности соединений и конструкций в целом.

1. Перелыгин Л.М. Строение древесины. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 199 с.
2. Миронова С.И., Нижегородцев Д.В. Скрытые особенности нового строительного материала. Материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета, в 2-х частях. СПбГАСУ 2018. С. 23-29.
3. Миронова С.И., Тихомиров А.В., Кирютина С.Е. Исследование однокомпонентного полиуретанового клея на соответствие 2 классу функционального назначения деревянных клееных конструкций. СПб, «Вестник гражданских инженеров», 2016.- №5, стр. 44-49
4. Миронова С.И. Исследование прочности и стойкости клеевых соединений (клей марки Иовапур 686.30 (Германия) деревянных конструкций. Материалы 72-ой научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета /– СПбГАСУ, 2016. – С. 40-47.
5. Солнцев А.А. Физико-механические свойства замороженной древесины. М.: Информационный листок, ЦНИИМОД. 1939, №84. С. 5.
6. Бойко М.Д. Влияние температурно-влажностного состояния древесины на ее прочность. М.: Госстройиздат, 1952. 96 с.
7. Елхин А.Н. Влияние отрицательных температур на механические свойства древесины при различной влажности: дис. ...канд. техн. наук. – Омск, 1954. 350с.
8. Панфилов В.С. Испытания древесины и фанеры, подвергшихся воздействию низких температур. М.: Гослестехиздат, 1934. 45с.
9. Буслаев Ю.Н. Исследование влияние отрицательных температур и влажности на долговечность клееных элементов деревянных конструкций (на примере Центральной Якутии): Дис..канд. техн. Наук. Л.: ЛИСИ, 1982. 225с
10. Симахин А.Ю., Козакевич А.С., Мамедов Ш.М. Влияние отрицательной температуры и влаги на конструкции из цельной и клееной древесины. СПб.: ФГБОУ ВО СПбГАСУ
11. Ю. Н. Работнов. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1963. — 456 с.
12. В.В. Горев. Металлические конструкции. Элементы конструкций. Том 1. М.: Высшая школа, 2004