

К вопросу о прочности клеевых соединений для деревянных клееных конструкций

В.И. Линьков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: Рассматриваются результаты испытаний серии из 18-ти образцов клеевых соединений на скалывание вдоль волокон древесины. Образцы изготовлены из клееного деревянного бруса, предназначенного для эксплуатации в качестве несущей конструкции междуэтажного перекрытия. Для оценки прочности клеевого соединения в соответствии с ГОСТ 33120-2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений» проведена статистическая обработка результатов испытаний, определены временные сопротивления скалыванию, коэффициенты вариации, размах вариационного ряда и минимальное вероятностное значение предела прочности. Показатели приведены к стандартной влажности древесины $W=12\%$. Определено, что прочность клеевого соединения меньше величины, установленной действующими нормами, на 18,5%.

Ключевые слова: клееная древесина, дощатоклееный брус, прочность клеевого соединения, временное сопротивление скалыванию, предел прочности, минимальное вероятностное значение предела прочности, коэффициент вариации, скалывание при изгибе, стандартная влажность древесины.

Основным показателем эксплуатационной надежности клееных деревянных конструкций [1-3], кроме соблюдения технологии изготовления [4, 5] и обеспечения качества и прочности исходной древесины [6, 7], является прочность клеевых соединений [8, 9], в т.ч. в процессе эксплуатации конструкций [10, 11]. На кафедре Металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ провели испытания на скалывание вдоль волокон образцов клеевых соединений, вырезанных из дощатоклееного бруса сечением 120x300 мм длиной 6 м, предоставленного потребителем и предназначенного к эксплуатации в качестве балок междуэтажного перекрытия. Испытания проводили по ГОСТ 33120-2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений». После проведения отбраковки было испытано 18 образцов. Согласно указаниям ГОСТ 33120-2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений» за результаты испытания принимают статистические

данные - среднее арифметическое значение предела прочности, вариационный коэффициент и минимальное вероятностное значение предела прочности. Влажность образцов на момент испытаний составила от $W=9\%$ до $10,8\%$. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты испытаний на скалывание клеевых соединений КДК

№ обр	b мм	L _{ск} мм	F _{скал} мм ²	P _{разр} кН	$\tau_{ск.w}$ МПа	W, %	Поправ. к-т α	$\tau_{ск.12}$ МПа
1	17,2	29,4	505,68	3,080	6,091	9,8	0,04	5,6
2	17,2	29,3	503,96	2,428	4,818	10,6		4,5
3	17,4	29,3	509,82	2,840	5,571	10,4		5,2
4	17,3	29,6	512,08	3,172	6,194	9,8		5,6
5	17,4	29,2	508,08	3,260	6,416	9		5,6
6	17,4	29,6	515,04	3,326	6,458	9,6		5,8
7	17,3	28,6	494,78	3,051	6,166	9,4		5,5
8	19,7	28,7	565,39	3,004	5,313	9		4,7
9	19,9	28,5	567,15	2,854	5,032	10,2		4,7
10	19,6	28,8	564,48	3,242	5,743	10		5,3
11	19,8	28,6	566,28	2,860	5,051	9,6		4,6
12	19,6	29,4	576,24	3,415	5,926	10		5,5
13	19,8	29,4	582,12	2,902	4,985	9,8		4,5
14	20,7	28,0	579,60	3,028	5,224	10,2		4,8
15	20,8	28,0	582,40	2,880	4,945	10,1		4,6
16	20,8	28,0	582,40	3,128	5,371	10		4,9
17	20,9	27,8	581,02	3,056	5,260	9,8		4,8
18	20,8	27,7	576,16	3,186	5,530	9		4,9
Средн.	19,1	28,8	548,48	3,040	5,561	9,8		5,066
Средн. кв.откл	1,521	0,656	34,702	0,229	0,535	0,466		0,451
К-т вариации	0,080	0,023	0,063	0,075	0,096	0,048		0,089

Из рассмотрения таблицы 1 видим, что при фактической влажности образцов временное сопротивление (среднее значение выборки) клеевого соединения скалыванию составила $\tau_w=5,561$ МПа при размахе вариационного

ряда от 4,818 МПа до 6,458 МПа. Коэффициент вариации составил $v=9,6\%$. Прочностные характеристики клеевого соединения были пересчитаны к стандартной влажности $W=12\%$ по формуле $\tau_{12} = \tau_w \times (1 + \alpha \times (W - 12))$, где τ_{12} - предел прочности при влажности древесины $W=12\%$; τ_w - предел прочности при фактической влажности древесины на момент испытаний; W - влажность древесины образца на момент испытаний; $\alpha = 0,04$ - поправочный коэффициент на влажность древесины. В результате пересчета прочностных характеристик клеевого соединения к стандартной влажности уменьшился разброс экспериментальных данных и коэффициент вариации составил $v=8,9\%$. Так же на 10% уменьшились значения предела прочности клеевого соединения и при размахе вариационного ряда от 4,5 МПа до 5,8 МПа временное сопротивление скалыванию составило $\tau_{12}=5,066$ МПа. Минимальное вероятностное значение предела прочности на скалывание при влажности древесины $W=12\%$ составит

$$\tau_{min} = \tau_{12} - 3 \times (\tau_{12} \times v) = 5,066 - 3 \times 5,066 \times 0,089 = 3,71 \text{ МПа.}$$

Такая относительно высокая величина параметра τ_{min} объясняется незначительным разбросом полученных данных и меньшим, по сравнению с указанным в табл. 6 СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80» значением коэффициента вариации, поскольку образцы вырезаны из одного клеевого деревянного элемента. Если принять характерный для скалывания коэффициент вариации $v=0.20$, то минимальное вероятностное значение предела прочности составит

$$\tau_{min0.2} = 5,066 - 3 \times 5,066 \times 0,2 = 2,03 \text{ МПа.}$$

Рассмотрим, какие требования следует предъявлять к прочности клеевых соединений. В руководящих документах (Руководство по изготовлению

и контролю качества деревянных клееных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко - М.:Стройиздат, 1982) установлены показатели прочности образцов на скалывание, которые должны быть не менее: среднее значение (временное сопротивление) $R_{вр.ск} = 6,5$ МПа, минимальное значение $\tau_{min} = 4,5$ МПа. Так же можно исходить из того, что прочность клеевого соединения должна быть не ниже прочности древесины на скалывание вдоль волокон. Из таблицы 3 СП 64.13330.2017 следует, что для режима нагружения «А», что соответствует стандартным машинным испытаниям, расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон местное в клеевых соединениях для максимального напряжения $R_{ск}^A = 3,2$ МПа. Тогда временное сопротивление скалыванию при стандартном коэффициенте вариации $v=0,2$

$$R_{вр} = R_{ск}^A / (1 - \eta_p \times v) = 3,2 / (1 - 2,33 \times 0,2) = 5,992 \approx 6 \text{ МПа.}$$

Минимальное вероятностное значение предела прочности на скалывание при коэффициенте вариации $v=0,2$ $\tau_{min} = 6,0 - 3 \times 6,0 \times 0,2 = 2,4$ МПа.

Как видим, для всех рассмотренных случаев прочность клеевого соединения, полученная по результатам испытаний, по временному сопротивлению и по минимальному вероятностному значению оказывается меньше установленной действующими нормами на 18,5%. Определим, возможно ли разрушение от действия касательных напряжений [12] исследуемого дощатоклееного бруса, в случае его применения в качестве несущей балки междуэтажного перекрытия. При сечении $b \times h = 120 \times 300$ мм и расчетном пролете $L = 5,9$ м максимальный изгибающий момент составит $M_{max} = R_n^A \times W_x = 21 \times 120 \times 300^2 / (6 \times 10^6) = 37,8$ кН*м, погонная нагрузка на балку $q_{max} = 8 \times \frac{M_{max}}{L^2} = 8 \times \frac{37,8}{5,9^2} = 8,7$ кН/м, поперечная сила на опоре $Q = q \times L / 2 = 8,7 \times \frac{5,9}{2} = 25,7$ кН. При этом касательные напряжения

В опорной зоне балки составят

$$\tau = \frac{Q \times S_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}} \times b_{\text{расч}}} = \frac{25,7 \times 10^3 \times 3}{300 \times 120 \times 2} = 1,07 \text{ МПа} < \tau_{\text{min}} = 2,03 \text{ МПа.}$$

Прочностные характеристики клеевого шва больше расчетных касательных напряжений в опорной зоне балки в 2 раза. Однако в ряде случаев для обеспечения надежности дощатоклееных элементов требуется усиление армированием [13], а для находящихся в эксплуатации конструкций – композиционными материалами [14] или установкой наклонных стержней [15].

Выводы.

1. По результатам испытаний образцов клеевых соединений установлено, что для исследуемого прямоугольного строганного дощатоклееного бруса временное сопротивление клеевых швов скалыванию вдоль волокон древесины, приведенное к стандартной влажности древесины $W=12\%$, составило $\tau_{12}=5,066$ МПа. Минимальное вероятностное значение предела прочности на скалывание при коэффициенте вариации фактическом $v=0,096$ составило $\tau_{\text{min}} = 3,71$ МПа, при стандартном $v=0,20$ - $\tau_{\text{min}0,2} = 2,03$ МПа.

2. Прочностные характеристики на скалывание исследуемых клеевых соединений меньше требуемых значений временного сопротивления и минимального вероятностного предела прочности, установленных действующими нормами, на 18,5%.

3. Применение исследуемого клееного бруса размерами 120x300x6000 мм с пониженными прочностными характеристиками клеевых швов в качестве балок междуэтажного перекрытия не приведет к разрушению деревянных элементов от скалывания при изгибе, поскольку на уровне расчетной несущей способности дощато-клееной балки из условия действия нормальных напряжений коэффициент использования по критерию касательных напряжений составляет $K_{\text{исп}}=1,07/2,03 = 0,53 < 1$.

Литература

1. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Требования к надежности и безопасной эксплуатации большепролетных клееных деревянных конструкций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 3 (327). С. 143-147 .
2. Лабудин Б.В. Серов Е.Н. Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 2. С. 137-141.
3. Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Шумякова Н., Кушнерев В.О. Повышение эффективности клееных деревянных конструкций // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 219-228.
4. Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Краснов А.А. Оценка влияния технологических факторов на прочность клееного бруса. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 459-464.
5. Моисеев И.А., Ерошкина Н.А., Коровкин М.О. Влияние технологических факторов на прочность при скалывании клееной древесины. - Приднепровский научный вестник. 2018. Т. 7. № 3. С. 039-042.
6. Серов Е.Н. Особенности разрушения стандартных образцов и их связь с работой конструкций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1994. № 1. С. 75–79.
7. Jorissen, A. Fragiaco, M. (2011). General notes on ductility in timber structures. Engineering Structures, Volume 33, Issue 11, November 2011, P. 2987- 2997. doi. org /doi:10.1016/j.engstruct.2011.07.024.
8. Разиньков Е.М. Прочность склеивания пиломатериалов в технологии клееного бруса для жилых домов.- Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 127-134.

9. Федяев А.А., Чубинский А.Н. Исследование прочности склеивания хвойных пиломатериалов. - Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 225. С. 202-212.

10. Мазаник Н.В., Божелко И.К. Эксплуатационные характеристики клеев для составных деревянных конструкций. - Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 136-139.

11. Fragiaco M. Dujic B. Sustersic I. Elastic and ductile design of multi-storey crosslam massive wooden buildings under seismic actions. Engineering Structures, Volume 33, Issue 11, November 2011, Pages 3043-3053. doi. org/10.1016 /j.engstruct. 2011.05.020.

12. Сморчков А.А., Орлов Д.А., Кереб С.А., Барановская К.О., Сморчков Д.А. К оценке прочности и выбору критерия разрушения элементов из клееной древесины на скалывание при изгибе // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-2 (38). С. 253а-257.

13. Кавелин А.С., Тютин А.Д., Нуриев В.Э., Колтакова В.А. Армирование деревянных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156.

14. Рощина С.И., Лисятников М.С., Грибанов А.С., Глебова Т.О. Расчет и усиление предельно напряженных приопорных зон высоких дерево-клееных балочных конструкций. Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 187-197.

15. Линьков В.И. Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592

References

1. Karel'skij A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2012. № 3 (327). pp. 143-147.

2. Labudin B.V. Serov E.N. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2013. № 2. pp. 137-141.
 3. Fedyaev A.A., Fedyaeva N.YU., SHumyakova N., Kushnerev V.O. Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2016. № 217. pp. 219-228.
 4. Fedyaev A.A., Fedyaeva N.YU., Krasnov A.A. Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika 2017. T. 5. № 5 (31). pp. 459-464.
 5. Moiseev I.A., Eroshkina N.A., Korovkin M.O. Pridneprovskij nauchnyj vestnik. 2018. T. 7. № 3. pp. 039-042.
 6. Serov E.N. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 1994. № 1. pp. 75–79.
 7. Jorissen, A. Fragiaco, M. (2011). General notes on ductility in timber structures. Engineering Structures, Volume 33, Issue 11, November 2011, pp. 2987- 2997. doi.org/doi:10.1016/j.engstruct.2011.07.024.
 8. Razin'kov E.M. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2016. T. 6. № 3 (23). pp. 127-134
 9. Fedyaev A.A., CHubinskij A.N. .Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2018. № 225. pp. 202-212.
 10. Mazanik N.V., Bozhelko I.K. Trudy BGTU. №2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2016. № 2 (184). pp. 136-139.
 11. Fragiaco M. Dujic B. Sustersic I. Elastic and ductile design of multi-storey crosslam massive wooden buildings under seismic actions. Engineering Structures, Volume 33, Issue 11, November 2011, pp. 3043-3053. doi.org/10.1016 /j.engstruct. 2011.05.020
 12. Smorchkov A.A., Orlov D.A., Kereb S.A., Baranovskaya K.O., Smorchkov D.A. Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 5-2 (38). pp. 253a-257.
-



13. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E., Koltakova V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156.
14. Roshchina S.I., Lisyatnikov M.S., Griбанov A.S., Glebova T.O. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2015. T. 5. № 1 (17). Pp. 187-197.
15. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592