

УДК 694.143

Клеефанерные балки с Х-образной стенкой

Фурсов В.В., д.т.н., Бидаков А.Н.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

Анотація. Проведені натурні випробування Х-подібної клеєфанерної балки з різними радіусами кривини фанерної стінки. Отримані результати експериментального вишукування та результати, які були отримані при використанні розрахункового програмного комплексу ANSYS, наводяться для попередньої оцінки точності використаних розрахункових моделей клеєфанерних балок нового типу.

Аннотация. Проведены натурные испытания Х-образных клеєфанерных балок с различными радиусами кривизны фанерной стенки. Полученные результаты экспериментального исследования и результаты, полученные при использовании расчетного программного комплекса ANSYS, приводятся для предварительной оценки точности применяемых расчетных моделей клеєфанерных балок нового типа.

Abstract. The tests of the X-form glued thin-webbed beams with different radiuses of curvature of the plywood web are carried out. Received findings of experimental investigations and the results obtained by means of the software package ANSYS are cited for the preliminary estimate of data accuracy concerning the calculated models of glued thin-webbed beams of new types.

Ключевые слова: Х-образная клеєфанерная балка, криволинейная фанерная стенка.

Постановка проблеми. Клеєфанерные балки с плоскими стенками экономичны по расходу материала. Однако необходимость обеспечения устойчивости стенок требует постановки дополнительных поперечных ребер, плотно приторцованных к поясам. Технологическая операция приторцовки ребер к поясам балок составляет около 50 % расходов по их изготовлению. Отказ от поперечных ребер, или хотя бы существенное их уменьшение, может резко повысить технологичность изготовления клеєфанерных балок.

Созданная на кафедре МДК ХНУСА и защищенная патентом балка с Х-образной фанерной стенкой снимает целый ряд недостатков клеєфанерных балок, что было подтверждено их испытаниями. Испытанию были подвергнуты три балки с Х-образной фанерной стенкой с разными радиусами закругления. Расчет фанерных стенок, как правило, основывается на решении плоской задачи теории упругости [1].

Анализ существующих решений. Результаты исследования изогнутых фанерных элементов проведены в работе финского ученого Jarkko Niiranen [5] и реализованы в виде конструкции павильона, выставленного в центральном парке Шанхая на «Radical Design Week Shanghai 2012». Криволинейные формы фанерных элементов в его проекте имеют сложную пространственную геометрию изгибов, которые были лабораторно исследованы (Aalto University, Department of Civil and Structural Engineering) – рис. 1.

Высокая прочность фанеры и ее эффективность из-за ортогональной укладки слоев шпона подтолкнула немецких ученых к разработке ортогональной клееной древесины (Brettspertholz), которая в данный момент активно исследуется в лаборатории строительных материалов института технологий в г. Карлсруэ (KIT-Karlsruher Institut für Technologie) ведущими европейскими специалистами Hans Joachim Blass [7, 8] и Flaig M. [6].



Рис. 1. Испытание элементов конструкции «Radical wood pavilion»

Результаты, полученные при проведении ими испытаний, имеют значение для теории анизотропного тела. На рис. 2 показано схематическое изображение различия клееной древесины от ортогональной клееной древесины.

В работах японских ученых в области деревянных конструкций и фанеры, проведены испытания под руководством Hiroshi Yoshihara [1–3], в которых были исследованы упругие характеристики фанеры, а также предложены методы их определения. Например, разработаны новые технические рекомендации для определения свойств фанеры при сжатии образцов так называемым методом ИТРИ (Illinois Institute of Technology Research Institute, USA), наряду с уже существующими американскими рекомендациями для испытаний по ASTM D 3501-94 (ASTM 1994).



Рис. 2. Схема розположення ламелей в поперечному сеченні балки із клееної деревини (слева) і із ортогональної клееної деревини – Brettspertholz (справа), рисунок приведен из [8]

Исследование криволинейных форм материала сопряжено с новыми методами испытаний фанерных элементов из плоскости листа, для фиксации изменчивости значений упругих свойств материала при различных углах между направлением действия сил и осями упругой симметрии материала. Предполагается сравнение результатов испытаний плоских листов с результатами, которые будут получены при испытаниях образцов криволинейных форм. Анализ полиморфизма результатов испытаний позволит выявить закономерности, указывающие на границы эффективной работы материала и определяющие новые формы конструкций или их составных элементов.

Методика проведення експериментів. Предлагаемая клефанерная балка с криволинейной формой фанерных стенок в виде Х-образной системы, с различными радиусами кривизны фанерной стенки, испытана в лаборатории строительных конструкций ХНУСА. При испытаниях наибольшее внимание было уделено наблюдению работы балок с малым шагом нагружений. Шаг нагружений составлял 0,5 т в каждой точке приложения нагрузки. В процессе испытаний каждая балка модернизировалась путем соединения фанерных стенок в районе нейтральной оси болтами с прокладками из фанеры такой же толщины, а также установкой в отдельных случаях односторонних ребер в местах приложения нагрузки и на опорах. Более того, последняя балка, на основании наблюдений двух предыдущих, укреплялась деревянными вставками в полости между фанерными стенками, а также заполнением полостей монтажной пеной. Каждое конструктивное дополнение балки сопровождалось отражением изменений в показаниях датчиков активного сопротивления, число которых достигало 150 на каждом балочном элементе, в значительном своем большинстве расположенных на фанерных стенках.

Обсуждение результатов. Наиболее сильное выражение анизотропии фанеры, и всех видов слоистой клееной древесины при взаимно перпендикулярном расположении волокон в смежных слоях, является резкое понижение ее сопротивления разрыву при критической нагрузке под углом 45° , что подтверждают кривые, представленные на рис. 3, близко совпадающие с данными проф. Ашкенази Е. К. [1], а также на рис. 4, где показаны кривые сжатия, изгиба и растяжения, в зависимости от угла между направлениями действующей силы и волокон.

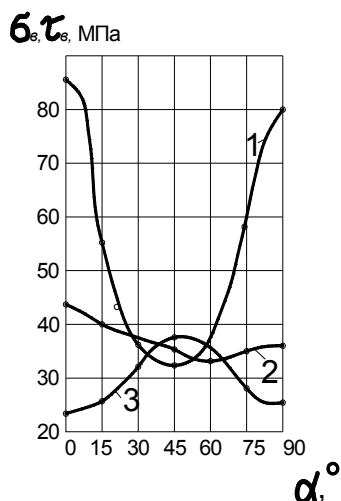


Рис. 3. Результаты испытаний фанеры: 1 – на растяжение, 2 – на сжатие, 3 – на срез

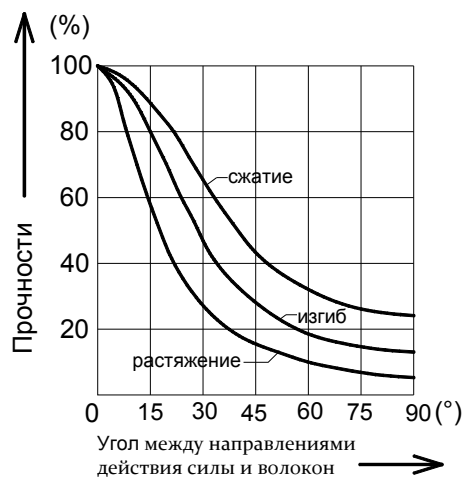


Рис. 4. Прочность древесины в зависимости от угла между направлением действия волокон (гор. ось) силы и направлением [9]

Анизотропия прочности при сжатии по Ашкенази Е. К. выражена для фанеры в меньшей степени, чем при растяжении, тем более для квазигомогенной трехслойной фанеры.

Для изотропных тел условие прочности обычно выражается уравнением, связывающим величины трех главных напряжений с одной характеристикой прочности материала. Для анизотропных тел такое уравнение не позволяет решать задачу, так как опасное состояние зависит не только от величины главных напряжений, но и от их ориентации по отношению к осям симметрии материала. Поэтому условие равноопасных напряженных состояний для ортотропных тел должно содержать не три, а шесть величин – например, три главных напряжения и три направляющих косинуса, фиксирующих ориентацию этих напряжений в материале.

Фанерная стенка балки испытывает сложное напряженное состояние, работая на сжатие в верхней зоне фанерного листа вдоль длины балки и на растяжение – в нижней зоне. При всем этом фанерный элемент конструкции, изогнутый из плоскости, имел упругую связь в виде вогнутой стенки в месте соединения в зоне нейтральной оси. Во время испытаний стенка балки получала неравномерные деформации по длине, и, более того, при увеличении нагрузки даже менялся знак деформаций (см. рис. 5 и 6).

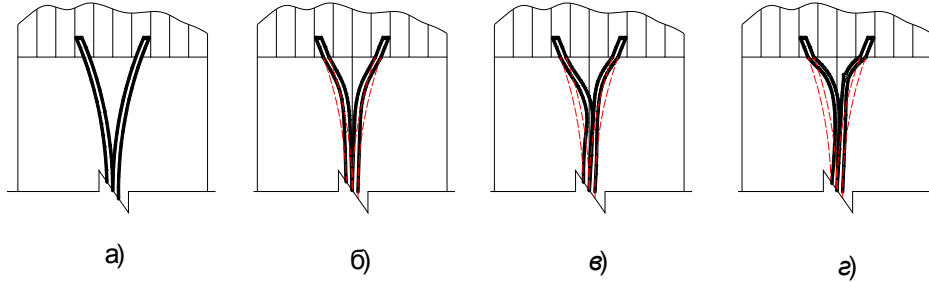


Рис. 5. Деформации фанерных стенок в торцах балки при увеличении нагрузки

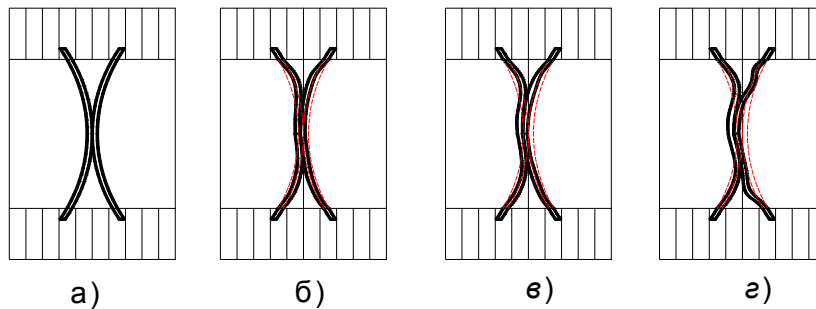


Рис. 6. Деформации фанерных стенок середины балки при увеличении нагрузки:
а) без нагрузки; б) при нагрузке 2,5 т; в) при нагрузке 3,0 т; г) при нагрузке 3,5 т

Такая работа фанерной стенки балки обусловлена не только сложностью напряженного состояния, но и анизотропными свойствами материала, иллюстрируемыми на рис. 3 и 4.

Сходимость результатов эксперимента и расчета показали довольно близкие данные с разницей до 22 %, что для деревянных конструкций вполне приемлемо из-за особенностей сопряжения элементов деревянных конструкций. Такая разница между результатами объясняется тем, что в расчетном программном комплексе ANSYS модель балки идеализируется, чего нельзя сказать о любых реальных деревянных конструкциях вследствие их анизотропии и наличия рыхлых деформаций.

Максимальные напряжения и, соответственно, деформации наблюдались в крайних зонах фанерной стенки в зонах опирания балки. На рис. 7 показаны разрушения балок в опорных зонах.



Рис. 7. Результаты испытания экспериментальной модели

На рис. 8 приведены результаты расчета и распределения напряжений в поперечном сечении моделей.

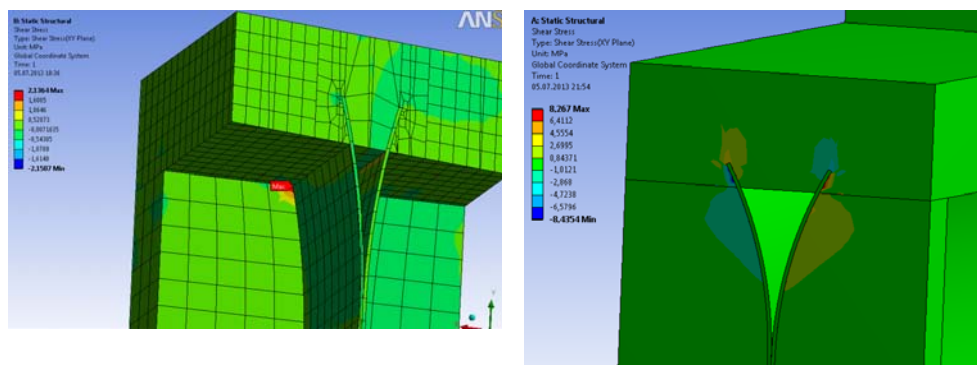


Рис. 8. Результаты распределения напряжений в расчетной модели

Наблюдаемые во время испытаний деформации стенок балки в виде локального выпучивания фанеры или, соответственно, вогнутости с увеличением нагрузки меняли свое положение, тем самым меняя знак деформаций и даже взаимное смещение фанерных стенок по вертикали. Разрушение всех балок наступало вследствие достижения касательных напряжений критического значения и нарушения клеевого шва, соединяющего стенки с верхним поясом балки.

Выполненные испытания балок подтвердили эффективность новой формы поперечного сечения и указали на необходимость дополнительной разработки конструктивных мероприятий для снижения локальных перемещений фанерных стенок и достижения максимального использования их несущей способности.

Выводы

Клеефанерная балка с Х-образной стенкой затрагивает новый раздел практически не изученной работы криволинейных форм фанеры как ортотропного материала. Причем вопросы упругих свойств древесины исследованы полнее, чем ее прочность, и объясняется такое положение тем, что методика определения характеристик упругости разработана полнее, а действующие стандарты предусматривают определение полного комплекса характеристик упругости древесины и фанеры. Вместе с тем методы определения характеристик прочности «сильно» анизотропных материалов, каковыми являются древесина и фанера, все еще продолжают составлять предмет дискуссии и усовершенствования.

Литература

- [1] Ашкенази Е. К. Анизотропия конструкционных материалов : Справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Машиностроение, 1980. – 247 с.
- [2] Hiroshi Yoshihara. Poisson's ratio of plywood measured by tension test / Hiroshi Yoshihara // *Holzforschung*. – 2009. – № 63 (5). – P. 603–608.
- [3] Hiroshi Yoshihara. Edgewise shear modulus of plywood measured by square-plate twist and beam flexure methods / Yoshihara Hiroshi // *Construction and Building Materials*. – 2009. – № 23 (12). – P. 3537–3545.
- [4] Hiroshi Yoshihara. Characterization of in-plane compressive properties of plywood by IITRI and end-loading compression tests / Hiroshi Yoshihara // *Wood and Fiber Science*. – 2010. – № 43 (3). – P. 409–411.
- [5] Wood transformed into pavilion / Aalto University School of Engineering. News and Events [сайт]. – Электронные данные. – Aalto : Aalto University School of Engineering, Department of Civil and Structural Engineering, 2012. – Режим доступа : <http://eng.aalto.fi/en/current/newsview/2012-12-12-002/> – Название с экрана.
- [6] Flaig, M. Modellierung der Biegefestigkeit von hochkant auf Biegung beanspruchten Bauteilen aus Brettspertholz / M. Flaig // *Forschungskolloquium Holzbau „Forschung und Praxis“*. – Stuttgart, 2012. – 8 S.

- [7] Blaß, H. Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche / [H. J. Blaß, M. Frese, P. Glos, P. Linsenmann, J. Denzler]. – Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2004. – 137 S. – ISBN: 3-937300-40-6.
- [8] Blaß, H. Stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz / Hans Joachim Blaß; Marcus Flaig // KIT Scientific Publishing. – 2012. – B. VIII. – 171 S. – ISBN 978-3-86644-922-0.
- [9] Pörtner, C. Untersuchungen zum Verbund zwischen eingeklebten stiftförmigen faserverstärkten Kunststoffen und Holz / Carsten Pörtner. – Kassel : Kassel University Press GmbH, 2006. – 241 S.

Надійшла до редколегії 18.05.2013 р.