УДК 674-415

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАНЕРЫ АРМИРОВАННОЙ БАЗАЛЬТОВЫМИ И ПОЛИЭСТЕРОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

А.И. Криворотова, О.А. Усольцев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет»
660049, Красноярск, пр. Мира, 82, e-mail: tkmkai@mail.ru

В статье приведены результаты исследований физико-механических свойств фанеры, армированной базальтовой и полиэстеровой сетками. Фанера, как конструкционный материал постоянно является предметом исследований с целью улучшения ее физико-механических характеристик. Армирование фанеры различными материалами позволяет улучшить свойства фанеры или придать ей специальные свойства. В качестве армирующего материала применяются металлические сетки, тканые и нетканые материалы, полимеры, пленки, резина и многое другое. В работе изучается возможность армирования базальтовыми и полиэстеровыми сетками. Базальтовые и полиэстеровые волокна на сегодняшний день являются доступными, распространенными материалами, обладающими высокими механическими характеристиками. Армирование фанеры в зависимости от технологии может проводиться по клеевым слоям или с заменой части слоев шпона другими материалами. Для армирования базальтовой и полиэстеровой сеткой выбрано армирование по клеевым слоям. Армирование производилось в нарастающем порядке. С целью установления возможности армирования фанеры исследуемыми материалами был проведен трехфакторный эксперимент по изучению режимов прессования. Установлено, что режимы прессования фанеры, армированной полиэсторовым и базальтовым материалом, соответствуют традиционным режимам прессования фанеры марок ФК и ФСФ. Исследование проводились по двум показателям прочности – прочности при статическом изгибе и прочности на скалывание. Установлена целесообразность армирования фанеры базальтовой и полиэстеровой сеткой по двум крайним клеевым слоям, так как это обеспечивает достаточное увеличение прочности фанеры при статическом изгибе. Дальнейшее увеличение количества армированных клеевых слоев (степени армирования) не приводит к значительному росту прочности на статический изгиб. Отмечено, что армированная фанера сохраняет прочность при скалывании по клеевому слою, что обеспечивает качественные показатели фанерной продукции.

Ключевые слова: фанера, армирование, режим прессования, базальтовая сетка, полиэстеровая сетка, прочность.

In article results of research of physical and mechanical properties of plywood reinforced with basalt and polyester mesh's. Plywood as a structural material is the subject of research with the aim of improving its physical-mechanical characteristics. Reinforcement of plywood with various materials allows to improve the properties of plywood, or to give it special properties. As the reinforcing material shall be a metal mesh, woven and nonwoven fabrics, polymers, films, rubber and more. We study the possibility of reinforcement of basalt and polyester mesh's. Basalt and polyester fibers are nowadays available, common materials with high mechanical characteristics. Reinforcement of plywood depending on the technology can be carried out by adhesive layers or the replacement of the layers of veneer with other materials. For reinforcement of basalt and polyester mesh selected reinforcement for the adhesive layers. Reinforcement was carried out in the increasing order. With the aim of establishing the possibility of reinforcement of plywood the studied materials were carried out three-factor experiment to study modes of pressing. It is established that the compaction of plywood, reinforced poliestrowy and basaltic material, correspond to the traditional modes pressing brands of plywood FK and FSF. The study was conducted on two indicators of strength – strength at a static bend strength and shear. The expediency of reinforcing the veneer of basalt and polyester mesh two extreme adhesive layers, as this provides sufficient increase in strength of plywood under static bending. Further increase in the number of reinforced adhesive layers (the degree of reinforcement) does not lead to a significant increase in strength to static bending. Noted that the reinforced plywood maintains stiffness for shearing on the adhesive layer, which provides qualitative indicators of plywood products.

Keywords: plywood, reinforcement, the mode of compression, basalt mesh, polyester mesh, strength.

ВВЕДЕНИЕ

Фанера относится к высокоэффективным конструкционным материалам, имеющим высокие технические и эксплуатационные свойства. Спрос на фанерную продукцию стабилен как на внешнем, так и на внутреннем рынках. Отрасль производства фанеры активно развивается как в отношении объемов производства, так и в направлении совершенствования применяемых для ее изготовления материалов, оборудования и технологий. Активное развитие фанерной промышленности дало толчок к разработке технологий армирования слоистых материалов, которое продолжается и в настоящий момент. В качестве армирующих материалов применяются металлические сетки, пластины, расплавленный металл, тканые и нетканые материалы, полимеры, пленки, резина и другие. Армирование позволяет изменить свойства фанерной продукции или придать ей специальные свойства, например, повысить прочность, гибкость и эластичность фанеры, уменьшить ее воздухо- и влагопроницаемость. При этом сохраняется внешний вид древесного материала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первой попыткой армирования древесных клееных материалов можно считать предложение А.

Клайтила (1921 г., США) использовать в конструкциях аэропланов и дирижаблей несущий деревянный элемент коробчатого сечения с запрессованной в полке стальной проволокой. Этот элемент, по сути, является прообразом современных армированных деревянных конструкций. В дальнейшем способы и технологии армирования клееных материалов активно развивались. На сегодняшний день армированной фанерой принято называть фанеру, в которой в конструкции пакета один или несколько внутренних слоев шпона заменены на другие материалы.

В разное время исследователями предлагалось множество способов армирования фанерной продукции различными материалами. Способ улучшения качественных и эксплуатационных показателей фанеры тканные материалами типа дублирина, канвы предложили Тихомиров Л.А. и Горячев С.А. (г. Кострома). В Германии в 1999 году ученые предложили упрочнять древесный шпон слоем нетканого материала (смесь целлюлозы и полиэфирного волокна), придающего шпону повышенные прочностные свойства при нагрузках на изгиб. В Англии в 2000 году обнаружили, что фанера с покрытием из стеклоткани, пропитанной ПЭФ-смолой, отличается повышенной прочностью и гибкостью. Фанера армированная металлом, нанесенным в расплавленном состоянии (металлизированная фанера) используется в радиопромышленности, в оборудовании рентгеновских кабинетов, в производстве мебели.

В данной работе в качестве армирующего материала для изготовления фанеры предлагается использовать базальтовые и полиэстеровые волокна. Основные сведения о свойствах, производстве и применении этих материалов приведены ниже.

Первые образцы базальтового волокна были получены в 60-х годах прошлого века. Промышленные технологии и оборудование для производства базальтового волокна появились в середине 80-х годов. Непрерывное базальтовое волокно (ровинг) (ТУ5952-030-00204949-95) обладает следующими свойствами: диаметр волокон от 10 до 20 мкм, температура применения от минус 200 до плюс 600 °С, плотность 2800 кг/м^3, модуль упругости от 9100 до 1100 кг/мм^2. Волокна являются коррозионностойкими и могут быть использованы взамен металла для армирования материалов на основе вяжущих.

Полиэфирное волокно - оно же полиэстеровое. По объемам производства полиэфирные волокна занимают первое место в мире. Особенностью этих волокон является сочетание высокой прочности с высоким начальным модулем, который определяет высокую стойкость к сминанию и способность сберегать форму. Полиэфирное волокно не гигроскопичное (при относительной влажности 65% поглощает 0,4-0,5 % влаги), прочность волокна в мокром состоянии не изменяется. Плотность волокна составляет 1,33 - 1,38 г/см^3, температура плавления 255-280 °С. Полиэфирное волокно -электроизоляционный материал. Высокие диэлектрические свойства оно сохраняет в широком диапазоне температур.

Для определения оптимальных условий образования клеевого шва между шпоном, феноло- и карбамидоформальдегидной смолой и сетками базальтовой и полиэстеровой, а также для определения оптимального режима прессования армированной фанеры были изготовлены в лабораторных условиях образцы армированной по схеме - | - | - (армирование по двум наружным слоям) семислойной фанеры марки ФК и ФСФ.

Определение оптимальных условий образования клеевого соединения фанеры армированной базальтовой и полиэстеровой сетками проводили согласно В-3 плану.

В результате математической обработки экспериментальных данных, были получены уравнения регрессии, выражающие зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою армированной базальтовой сеткой фанеры от режима прессования

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{скл} = 1{,}463 + 0{,}064\,\tau_{уд} + 0{,}045P + 0{,}020T - 0{,}052\tau_{уд}^2 - 0{,}027P^2 - 0{,}042T^2 - 0{,}025\,\tau_{уд} P - 0{,}0025\,\tau_{уд} T + 0{,}015\,PT,$$

- для фанеры марки ФСФ

$$\sigma_{скл} = 1{,}48 + 0{,}053\tau_{уд} + 0{,}049P + 0{,}016T - 0{,}045\tau_{уд}^2 - 0{,}035P^2 - 0{,}040T^2 - 0{,}0175\tau_{уд} P + 0{,}0001\tau_{уд} T + 0{,}0125PT,$$

Таким же образом были получены уравнения регрессии, выражающее зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою армированной полиэстеровой сеткой фанеры от режима прессования

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{скл} = 1{,}51244 + 0{,}004\tau_{уд} + 0{,}007P + 0{,}004T - 0{,}00555556\tau_{уд}^2 - 0{,}000555556P^2 - 0{,}00555556T^2 + 0{,}00125\tau_{уд} P + 0{,}00625\tau_{уд} T - 0{,}00375PT$$

- для фанеры марки ФСФ

$$\sigma_{скл} = 1{,}58511 + 0{,}016\tau_{уд} + 0{,}019P + 0{,}022T + 0{,}00111111\tau_{уд}^2 - 0{,}0138889P^2 - 0{,}0288889T^2 - 0{,}00125\tau_{уд} P + 0{,}00125\tau_{уд} T + 0{,}01875PT,$$

Испытание фанеры на скалывание по клеевому слою проводили по армированному слою с целью выявления влияния армирования базальтовой и полиэстеровой сетками на качество фанеры. Оценку влияния исследуемых факторов на прочность при скалывании по клеевому слою проводили по графической интерпретации уравнения регрессии и графикам эффектов факторов и их взаимодействий приведенных для фанеры марки ФК на рисунках 1 – 3, для фанеры марки ФСФ на рисунках 4-6.

Как следует из приведенных графических зависимостей, наименьшее влияние на прочность оказывает температура прессования. Зависимость прочности от температуры прессования носит экстремальный характер. Увеличение прочности наблюдается при увеличении температуры до 125 ºС для фанеры изготовленной с применением карбамидо- и фенолоформальдегидных клеев, затем происходит сниже-

ние прочности. Практически идентичное влияние на прочность обоих видов фанеры оказывают удельная продолжительность прессования и давление прессования. При увеличении давления прессования с 1,6 до 1,9 МПа прочность возрастает соответственно для фанеры марки ФК на 0,09 МПа, а для фанеры марки ФСФ на 0,10 МПа. Дальнейшее увеличение давления прессования не приводит к увеличению прочности. При изменении удельной продолжительности прессования от 0,6 до 0,9 мин/мм прочность возрастает соответственно для фанеры марки ФК на 0,15 МПа, а для фанеры марки ФСФ на 0,11 МПа. Дальнейшее увеличение продолжительности прессования приводит к незначительному снижению прочности.

Если проанализировать характер совместного влияния факторов на прочность, рисунки 2 и 5, то можно увидеть, что для фанеры марок ФК и ФСФ наблюдается примерно одинаковое по характеру влияние режима прессования на прочность фанеры. Изменение прочности при изменении продолжительности прессования при минимальной и максимальной температуре прессования носит одинаковый характер, разница между показателями составляет для фанеры ФК 0,04 МПа, для фанеры марки ФСФ 0,02 МПа, что говорит о незначительном влиянии температуры на прочность клеевых соединений армированной фанеры. Аналогичный характер наблюдается при изменении давления и температуры прессования. При нахождении давления прессования на нижнем уровне (1,6 МПа) температура прессования не влияет на прочность клеевого соединения. При повышении давления прессования до 2,0 МПа разница в прочности между образцами для фанеры ФК, спрессованными при температуре 110 и 140 ºС составляет 0,14 МПа, для фанеры марки ФСФ, спрессованными при температуре от 115 до 135 ºС составляет 0,08 МПа. Таким образом, после анализа графиков эффектов факторов и их взаимодействий можно сделать вывод, что на прочность клеевых соединений армированных базальтовой сеткой влияют удельная продолжительность прессования и давление прессования. При этом введение в клеевой слой сетки из базальтового волокна не приводит к значительному изменению прочности фанеры на скалывание, что является достаточным доказательством возможности использования базальтового волокна при армировании фанеры. По результатам проведенного эксперимента для проведения дальнейших исследований был выбран следующий режим прессования: для фанеры марок ФК и ФСФ - температура прессования 135 °С, давление прессования 2,0 МПа, удельная продолжительность прессования 0,9 мин/мм.

Аналогичные исследования были проведены для фанеры, армированной полиэстеровой сеткой. При анализе характера совместного влияния факторов на прочность фанеры марки ФК, армированной полиэстеровой сеткой можно отметить, что при увеличении удельной продолжительности прессования и максимальном давление равном 2,0 МПа наблюдается прочность на 0,01 – 0,02 МПа большая, чем при давление 1,6 МПа. При изменении продолжительности прессования и температуре прессования, находящейся на нижнем уровне варьирования Т=110 °С, прочность фанеры уменьшается, а при температуре равной Т=140 °С прочность фанеры резко возрастает. Вероятно, это связано с невозможностью обеспечения прочного клеевого соединения карбамидоформальдегидного клея, шпона и армирующего слоя из полиэстеровой сетки между собой.

При более высокой температуре происходит адгезионное взаимодействие полиэстеровой сетки и карбамидного клея. При увеличении давления и температуры прессования наблюдается значительный рост прочности (0,02 МПа). Максимальная прочность равна 1,513 МПа. Для фанеры на основе фенолоформальдегидного клея, экстремальное увеличение прочности наблюдается при увеличении давления и температуры прессования. При этом значительный рост прочности происходит до температуры 125 °С, при дальнейшем увеличении температуры до 135 °С прочность снижается. Прямая зависимость имеет место при изменении прочности от продолжительности прессования. При анализе графика парных взаимодействий факторов для фанеры марки ФСФ следует отметить, что максимальные значения прочности наблюдаются в случае нахождения всех факторов на верхних уровнях варьирования.

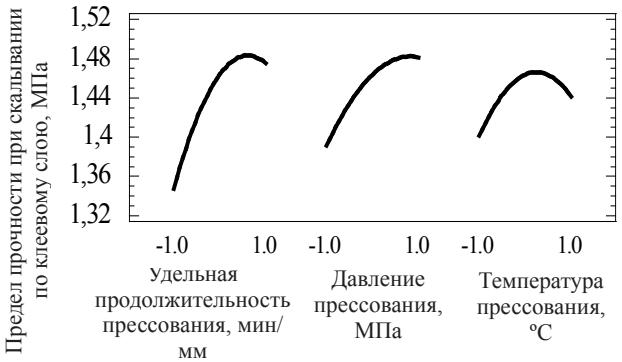


Рисунок 1 – График эффектов факторов для фанеры марки ФК

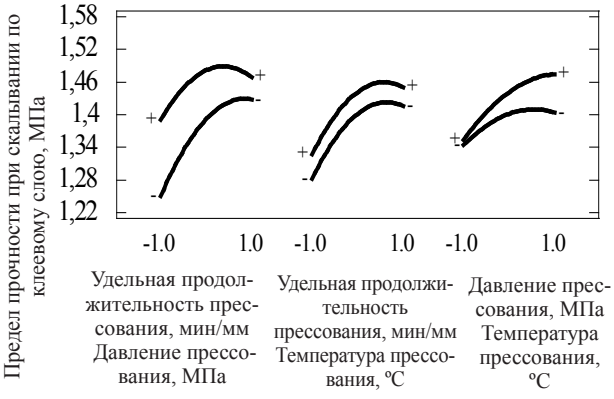


Рисунок 2 – График эффектов взаимодействий факторов для фанеры марки ФК

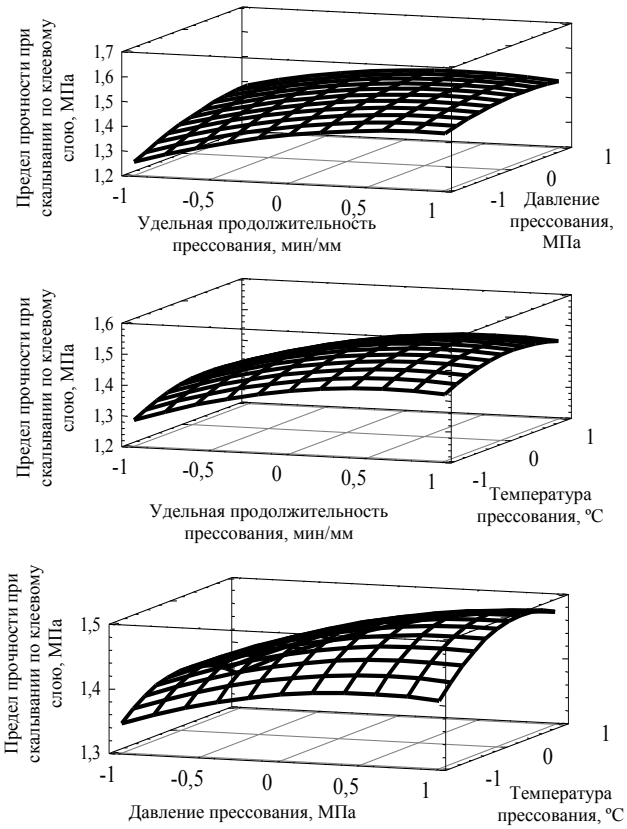


Рисунок 3– Зависимость прочности фанеры марки ФК от режима прессования

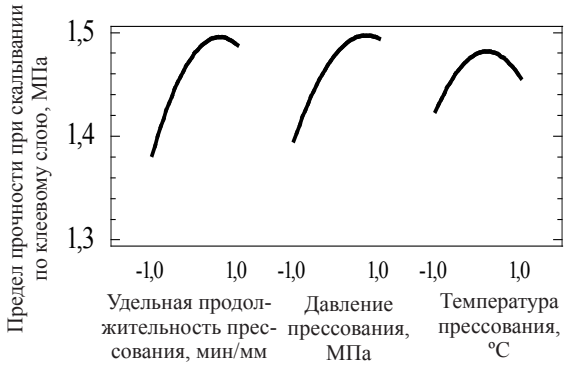
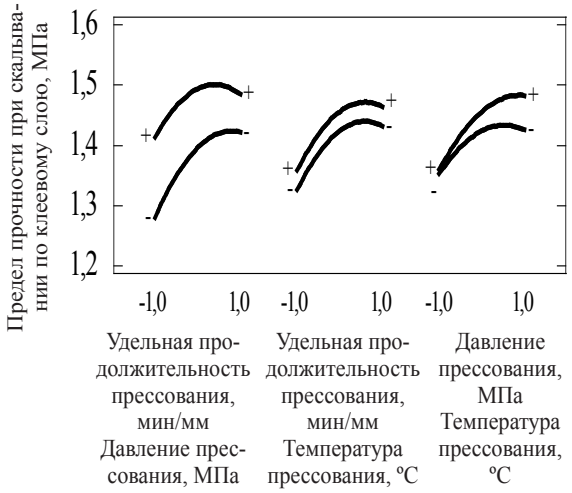


Рисунок 4 – График эффектов факторов для фанеры марки ФСФ



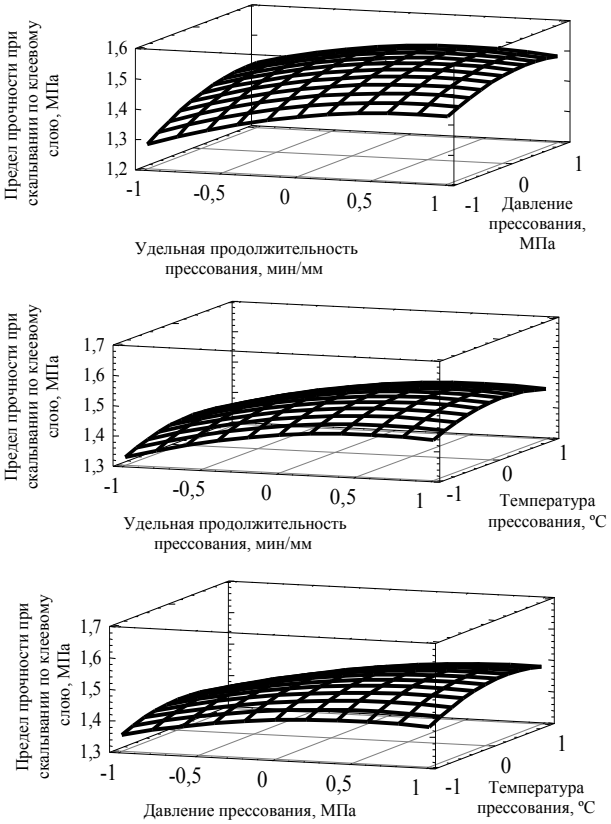


Рисунок 6 – Зависимость прочности фанеры марки ФСФ от режима прессования

Также следует отметить разницу в зависимостях для фанеры марок ФК и ФСФ, армированных базальтовой и полиэстеровой сеткой. При использовании для армирования базальтовой сетки наблюдается стабильное незначительное снижение прочности при скалывании, а при армировании полиэстеровой сеткой наблюдается обратная зависимость – незначительный рост прочности при скалывании.

Для проведения исследований влияния степени армирования на прочность фанеры при статическом изгибе были изготовлены образцы семислойной фанеры. Армирование клеевых слоев проводилось в нарастающем порядке.

На основе полученных данных были построены графические зависимости, приведенные на рисунках 7 – 10 при армировании базальтовой сеткой, на рисунках 11-14.

Как видно из рисунков 7 и 8 с увеличением степени армирования предел прочности при скалывании по клеевому слою уменьшается от 1,5 до 1,41 МПа для фанеры марки ФК и от 1,5 до 1,44 МПа для фанеры марки ФСФ, однако остается в пределах требований стандарта.

В результате математической обработки экспериментальных данных, было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от степени армирования

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{скл} = 1{,}495 - 0{,}00087X.$$

- для фанеры марки ФСФ

$$\sigma_{скл} = 1,495 – 0,00057X.$$

Коэффициенты регрессии составили соответственно R =-0,991 и R = -0,981.



Рисунок 7 – Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры марки ФК от степени армирования

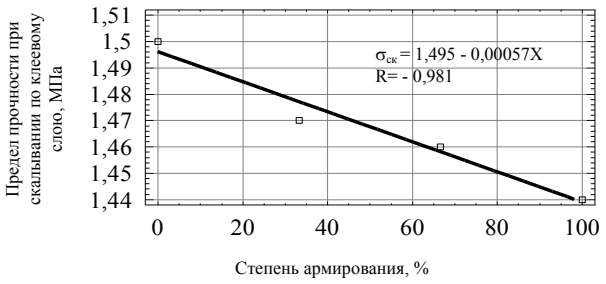


Рисунок 8 – Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры марки ФСФ от степени армирования

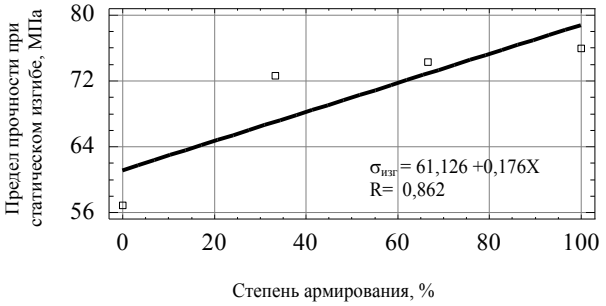


Рисунок 9 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры марки ФК от степени армирования

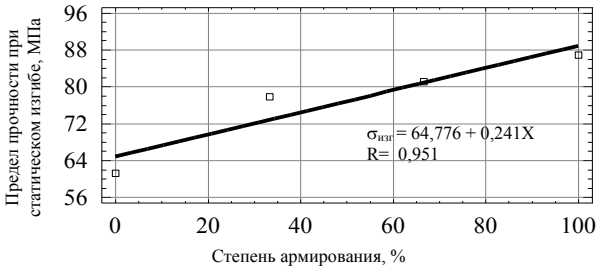


Рисунок 10 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры марки ФСФ от степени армирования

Как видно из рисунка при увеличении степени армирования предел прочности при статическом изгибе увеличивается. Следует также отметить, что значительное увеличение прочности фанеры для марки ФК на 15,7 МПа, для фанеры марки ФСФ 16,5 МПа наблюдается при двухслойном армировании фанеры (степень армирования 33,3 %). При дальнейшем увеличении степени армирования от 33,3 % до 100 % предел прочности при статическом изгибе увеличивается на значительно меньшую величину – соответственно на 3,3 МПа 9,1 МПа. Таким образом, можно сделать вывод, что для значительно увеличения прочности фанеры достаточно армировать два крайних клеевых шва.

В результате математической обработки экспериментальных данных, было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры от степени армирования:

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{изг} = 61,126 + 0,176X.$$

- для фанеры марки ФСФ

$$s_{изг} = 64,776 + 0,241X.$$

Коэффициенты регрессии составили соответственно R=0,862 и R=0,951.

При армировании полиэстеровой сеткой, рисунки 11-12, с увеличением степени армирования предел прочности при скалывании по клеевому слою увеличивается от 1,5 до 1,64 МПа для фанеры марки ФК и от 1,5 до 1,73 МПа для фанеры марки ФСФ, что можно объяснить хорошей адгезией полиэстеровой сетки к древесине и синтетическим смолам.

В результате математической обработки экспериментальных данных, было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры от степени армирования

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{скл} = 1,52905 + 0,00131975X.$$

- для фанеры марки ФСФ

$$\sigma_{скл} = 1,53706 + 0,0021598X.$$

Коэффициент регрессии составил соответственно R =0,88 и R = 0,92.

При исследовании предела прочности при статическом изгибе наблюдается зависимость аналогичная зависимости при армировании базальтовой сеткой – при увеличении степени армирования возрастает предел прочности. При этом значительное нарастание прочности наблюдается при армировании двух крайних слоев шпона, далее нарастание прочности уменьшается.

В результате математической обработки экспериментальных данных, было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры от степени армирования:

- для фанеры марки ФК

$$\sigma_{изг} = 61,6272 + 0,225569X.$$

- для фанеры марки ФСФ

$$s_{изг} = 66,2182 + 0,258266X.$$

Коэффициенты регрессии составили соответственно R=0,89 и R=0,91.

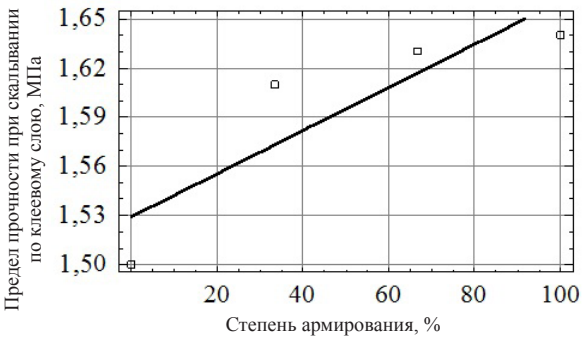


Рисунок 11 – Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры марки ФК от степени армирования полиэстеровой сеткой

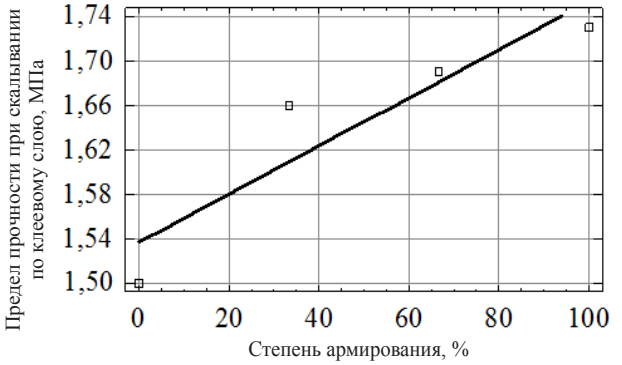


Рисунок 12 – Зависимость предела прочности при скалывании по клеевому слою фанеры марки ФСФ от степени армирования полиэстеровой сеткой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности армирования фанеры базальтовой и полиэстеровой сеткой по двум крайним клеевым слоям, так как это обеспечивает достаточное увеличение прочности фанеры при статическом изгибе. Увеличение количества армированных клеевых слоев (степени армирования) не приводит к значительному росту прочности на статический изгиб (прирост прочности при увеличении степени армирования от 33 до 100 % составляет 4,5 %). Армирование полиэстеровой сеткой позволяет повысить прочность при статическом изгибе более значительно по сравнению с армирование базальтовой сеткой. Разница составляет от 1,8 МПа до 5,3 МПа. Режим прессования армированной фанеры соответствует традиционному режиму прессования принятому для фанеры марок ФК и ФСФ. Армирование фанеры исследуемыми материалами оказывает незначительное влияние на прочность при скалывании по клеевому слою, что обеспечивает качество фанерной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ 3916.1-96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 12 с.

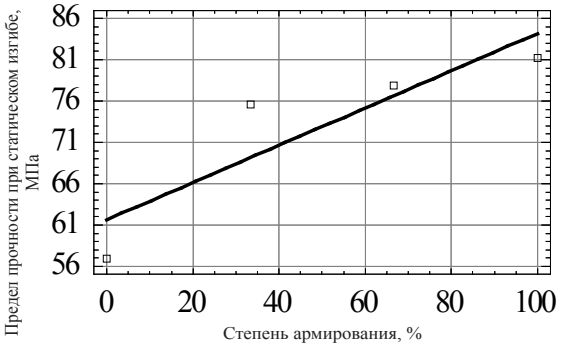


Рисунок 13 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры марки ФК от степени армирования полиэстеровой сеткой

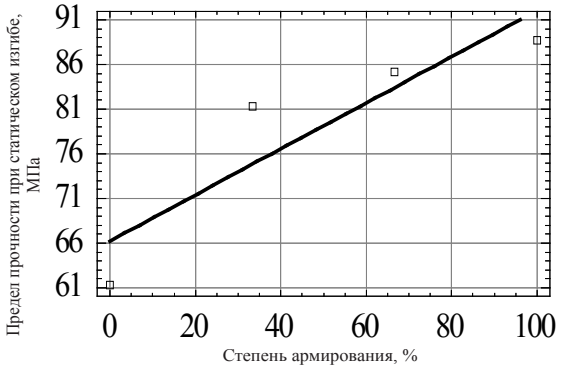


Рисунок 14 – Зависимость предела прочности при статическом изгибе фанеры марки ФСФ от степени армирования полиэстеровой сеткой

Свешников А.С. Технологические особенности производства композиционной фанеры [Текст]: А.С. Свешников, С.А. Угрюмов // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Кострома: КГТУ. 2012. – с. 126-127.

Угрюмов, С.А. Обоснование экономической эффективности производства композиционной фанеры [Текст]: С.А. Угрюмов, А.С. Свешников// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. - №2 (16). – с. 38-45.

Угрюмов, С.А. Исследование свойств композиционной фанеры с внутренним слоем из древесной стружки [Текст]: С.А. Угрюмов // Вестник КГТУ: Периодический научный журнал. – Кострома: КГТУ, 2005. -№11. – с.110-111.

Угрюмов, С.А. Экспериментальное исследование прочностных характеристик композиционной фанеры [Текст]: С.А. Угрюмов, А.С. Свешников // Лес-2011: сборник научных трудов по итогам XII международной научно-технической интернет-конференции. – Брянск: БГИТА, 2011. – Выпуск 29. – с. 139-142.

Хлопина, А.Ю. Исследование свойств комбинированной фанеры [Текст] /А.Ю. Хлопина, О.А. Усольцев// Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием). Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1.- Красноярск: СибГТУ, 2014.- 302 с.

Поступила в редакцию 20.02.16
Принята к печати 29.12.16