

С.С. Утгоф, Л.В. Игнатович

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ УПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

В статье изложены результаты исследования процесса уплотнения древесины мягких лиственных пород с целью улучшения физико-механических характеристик древесины. Для изучения механизма пластификации древесины был проведен термогравиметрический анализ полученных образцов уплотненной древесины мягких лиственных пород. В ходе исследования были определены физико-механические характеристики уплотненной древесины: твердость, износостойкость и степень уплотнения. Сделаны выводы о влиянии уплотнения на физико-механические характеристики древесины и химических изменениях, происходящих в древесине в процессе уплотнения.

Ключевые слова: уплотнение древесины, древесина мягких лиственных пород, термогравиметрический анализ, пластификация, многослойные паркетные покрытия.

Введение. Достоинства древесины общеизвестны. Это, наверное, единственный материал, возобновляемый естественным путем в течение жизни одного поколения. Древесина является одним из наиболее важных широко используемых традиционных материалов в строительстве, в производстве мебели, столярно-строительных изделий.

В настоящее время основной задачей лесной и деревообрабатывающей промышленности является рациональное и комплексное использование лесосырьевых ресурсов. Паркетные покрытия на основе древесины и древесных материалов используются как в отечественной, так и в зарубежной практике. Они обладают рядом достоинств по сравнению с синтетическими напольными покрытиями. Существенным препятствием для широкого распространения паркетных покрытий является его стоимость. Дороговизна паркетных покрытий обусловлена применением древесины твердолиственных пород. Благодаря своей твердости, прочности и высокой износостойкости, древесина дуба и ясеня является традиционным материалом в паркетном производстве. В настоящее время твердолиственные породы составляют 5,1 % основных лесообразующих пород в лесопокрытой площади Республики Беларусь [1].

Приоритетной задачей деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь является вовлечение в производство мягких лиственных пород древесины, доля которых составляет 38 %. Таким образом, является актуальным снижение расхода древесины твердолиственных пород путем замещения их мягкими лиственными породами, в том числе и в паркетном производстве. Использование натуральной древесины мягких лиственных пород в производстве паркетных покрытий не находит применения в связи с низкими эксплуатационными показателями. Одним из распространенных способов улучшения эксплуатационных показателей древесины

Утгоф Светлана Сергеевна, аспирант каф. технологии и дизайна изделий из древесины БГТУ (Минск); науч. рук. – Л.В. Игнатович, канд. техн. наук, доц. каф. технологии и дизайна изделий из древесины БГТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь; e-mail: utgof.svetlana@yandex.by

Игнатович Людмила Владимировна, канд. техн. наук., доц. каф. технологии и дизайна изделий из древесины БГТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: ул. Свердлова 13а, 220006, г. Минск, Беларусь; e-mail: lignatovich6@gmail.com

является модифицирование. Модифицированием древесины мягких лиственных пород для создания полноценного заменителя ценной древесины твердых лиственных пород занимаются уже довольно продолжительное время, однако технологии с применением различных пропиточных смол и составов являются вредными для окружающей среды и здоровья человека. Альтернативным способом улучшения физико-механических характеристик мягких лиственных пород древесины можно считать уплотнение (термомеханическое модифицирование).

Основная часть. Уплотненная древесина обладает более высокими физико-механическими показателями, чем натуральная, при этом в процессе уплотнения не применяются химические составы, а улучшение свойств происходит только под воздействием высоких температур и давления. Уплотнение древесины повышает ее прочностные свойства, твердость, износостойкость, улучшает способность смачиваться жидкими связующими.

Целью экспериментального исследования являлось изучение механизма пластификации древесины и физико-механических характеристик уплотненной древесины мягких лиственных пород. Для проведения испытаний были выбраны наиболее распространенные на территории Республики Беларусь мягкие лиственные породы древесины: береза (22,6 %) и ольха (8,4 %).

Для определения механизма пластификации древесины был использован термогравиметрический анализ. Этот метод позволяет получить достоверную информацию о строении, составе и свойствах различных материалов, о физических и химических процессах, протекающих в них при нагревании и охлаждении. При динамической термогравиметрии регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры (кривая ТГ), причем температура среды, окружающей навеску материала, изменяется по заданному закону (как правило, с постоянной скоростью). Экспериментально получаемая кривая зависимости изменения массы от температуры позволяет судить о термостабильности и составе образца в исходном состоянии, о термостабильности и составе веществ, образующихся на промежуточных стадиях процесса, и о составе остатка при его наличии. Данный метод будет эффективен при условии, что образец выделяет летучие вещества в результате различных физических и химических процессов, таких как возгонка, абсорбция, реакции дегидратации и диссоциации, пиролиз.

ДТГ – математическая дифференциальная кривая изменения массы, она является производной по температуре (времени) от функции изменения веса исследуемого вещества $dt/dT = f(T)$, т.е. производной от $P = f(T)$. По кривой ДТГ можно более точно определить температуры начала и конца реакции, а по пику ДТГ кривой – температуру максимальной скорости реакции.

Для определения термических характеристик древесных материалов, физических и химических процессов, протекающих в них при нагревании, выполнен термогравиметрический анализ в термоаналитической системе TGA/DSC-1 HT/319 METTLER TOLEDO Instruments (Швейцария).

Исследование проводили на образцах натуральной и уплотненной древесины ольхи массой 10,311 мг и 10,538 мг соответственно, в интервале температур 27–500 °С при скорости нагревания 5 °С/мин. Навеска материала для исследования была сделана из образцов натуральной и уплотненной ольхи влажностью 6 %. Для проведения исследования был взят образец древесины, уплотненный по следующему режиму: температура плит пресса – 110 °С, давление – 14,7 МПа, время уплотнения – 2 мин.

Прибор фиксировал изменение массы изучаемого вещества в зависимости от температуры и времени нагрева в виде характерной термогравиметрической кривой (кривая ТГ) [1]. Изменение массы образца записывали в функции температуры, которая составляла температуру камеры печи.

Дериватограммы исследуемых образцов натуральной и уплотненной древесины ольхи представлены на рисунках 1 и 2.

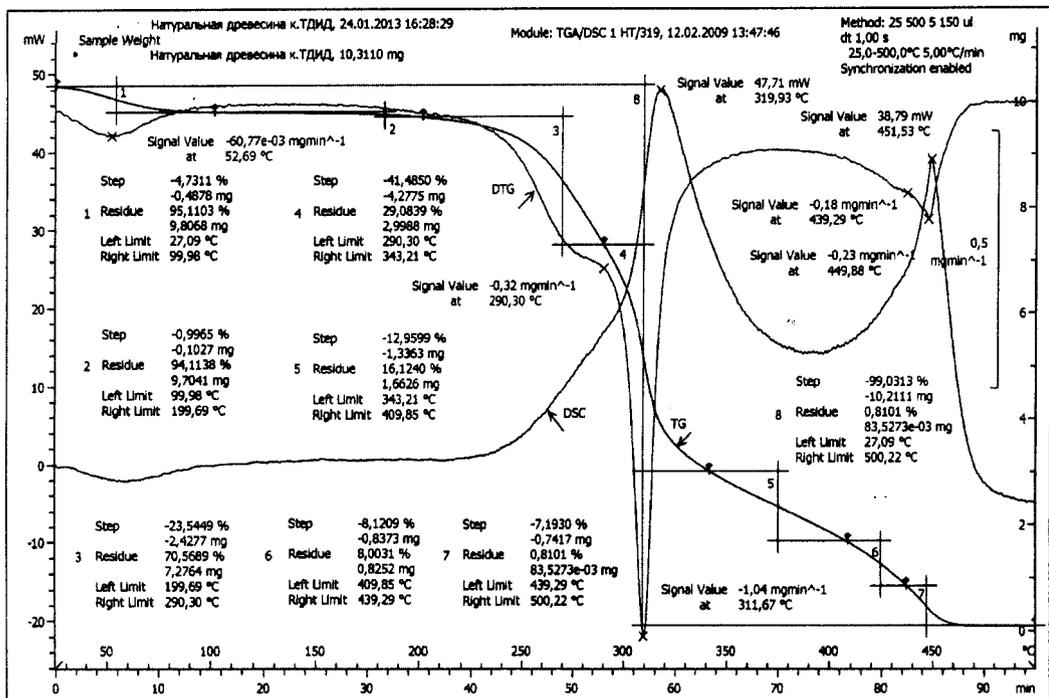


Рисунок 1 – Дериватограмма образца из натуральной древесины ольхи

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что процесс потери массы древесины происходит в несколько этапов, что можно объяснить протеканием различных реакций. Наиболее близким аналогом процесса, происходящего при термогравиметрическом анализе древесины и древесных материалов, можно считать пиролиз древесины. При пиролизе происходит глубокая деструкция высокомолекулярных компонентов древесины – полисахаридов и лигнина – с образованием низкомолекулярных продуктов. Термопревращения вышеуказанных компонентов включают разнообразные реакции – термической деструкции, гидролитической деструкции, дегидратации, сопровождающихся реакциями изомеризации, диспропорционирования, окисления, а также вторичными процессами полимеризации, преимущественно конденсационной [2].

Дериватограммы, полученные при динамическом нагреве образцов при термической деструкции, демонстрируют наличие на них ряда тепловых эффектов, указывающих на высокую тепловую активность компонентов древесины [3]. В интервале температур 27–200 на термограммах двух образцов наблюдается незначительная потеря массы, обусловленная испарением физической и химической влаги. По достижении температурного интервала 200–340 в образцах начинается активная стадия пиролиза целлюлозы с возрастающей скоростью потери массы. Потеря массы к этому периоду для образцов натуральной и уплотненной древесины составляет 71 и 72 % соответственно. При дальнейшем увеличении температуры до 450 наблюдается еще один пик увеличения скорости потери массы, что можно объяснить пиролизом лигнина. Суммарная потеря массы по достижении 500 для образцов натуральной и уплотненной ольхи составила 99,03 и 99,1 % соответственно.

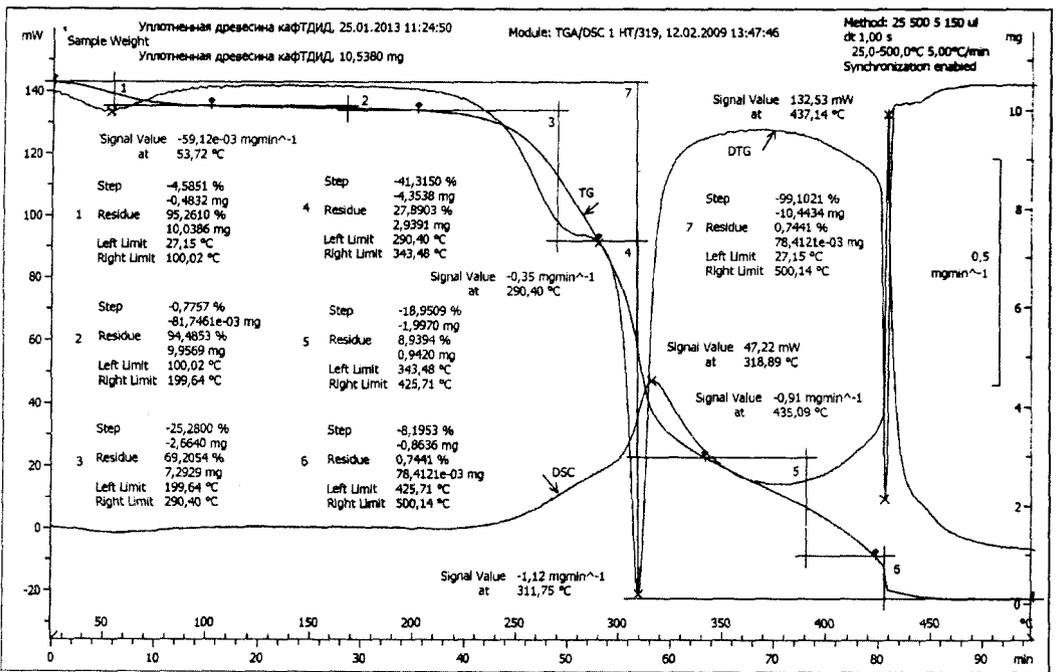


Рисунок 2 – Дериватограмма образца из уплотненной древесины ольхи

Дериватограмму образцов из натуральной древесины можно условно разделить на 7 этапов, уплотненной – на 6. Описание этапов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Поэтапное описание термогравиметрического анализа натуральной древесины ольхи

Натуральная древесина				
Этап	Температурный интервал, °C	Потеря массы		Описание процесса
		%	мг	
1.	27–100	4,73	0,49	Сушка древесины.
2.	100–200	0,99	0,10	Из древесины испаряется связанная влага.
3.	200–290	23,54	2,43	В целлюлозе протекают реакции расщепления цепей по гликозидным связям, сопровождающиеся реакциями дегидратации.
4.	290–343	41,48	4,28	Полная аморфизация целлюлозы со значительной потерей массы, начинается переход аморфизированной структуры целлюлозы в карбонизованную (формирование структуры угля). В результате экзотермических реакций выделяется теплота.
5.	343–410	12,96	1,34	Термическое разложение лигнина. Расщепление по связям C _α -C _β . Гомолитическое расщепление связей в метоксильных группах (по связи O-CH ₃).
6.	410–439	8,12	0,84	Термическое разложение лигнина. Перегруппировки с образованием связей α-5, образованием связей 5-5; расщепление связей α-5 и 5-5.
7.	439–500	7,19	0,74	Формирование структуры угля из конденсированных многоядерных структур.

Основным отличием в результатах термогравиметрического анализа натуральной и уплотненной древесины ольхи является сокращение количества этапов термического разложения лигнина, вызванных его количественным изменением химических связей. В температурном интервале 343–425 происходит снижение массы на 18,9 %, что свидетельствует о непрерывном термическом разложении лигнина.

Лигнин – наиболее термостабильный высокомолекулярный компонент древесины. Это обусловлено его ароматической природой, а также протекающими при нагревании реакциями конденсации, которые способствуют переходу лигнина в более термостабильную форму. Особенностью лигнина является значительная роль этих реакций. К ним относятся все реакции вшивания цепей с образованием новых углерод-углеродных связей независимо от механизма, приводящие к увеличению молекулярной массы, снижению растворимости и реакционной способности лигнина.

Природный лигнин термопластичен, т.е. при нагревании он способен размягчаться и переходить из стеклообразного состояния в высокоэластичное. Размягчение лигнина происходит в определенном интервале температур. Температуры размягчения лигнинов в зависимости от древесной породы колеблются в пределах от 130 до 190 °С для сухих образцов со структурой, близкой к природному лигнину.

На температуру размягчения лигнинов влияет присутствие влаги. Вода оказывает на лигнин пластифицирующее действие и снижает температуру размягчения (до 80 ... 130 °С). Однако этот эффект вызывается лишь небольшим количеством воды. Так, при влагосодержании около 2 % температура размягчения природного лигнина снижается до 110–115 °С. Дальнейшее повышение влагосодержания не снижает температуру размягчения. Происходят реакции первичной конденсации с образованием прочных термоустойчивых связей α -5 [4].

Таким образом, в процессе уплотнения древесины под действием высоких температуры и давления происходит переход лигнина в высокоэластичное состояние и образование в результате реакций конденсации связей α -5. Этот процесс объясняет качественное и количественное изменение в структуре лигнина, которое отражается в непрерывной деструкции лигнина в температурном диапазоне 343–425.

Следовательно, в процессе уплотнения древесины мягких лиственных пород влажностью 6 %, при температуре плит пресса 110 °С происходит переход лигнина в высокоэластичное состояние, в результате чего происходит пластификация древесины. Лиственные породы древесины содержат 18–24 % лигнина, который является природным экологически чистым пластификатором.

В процессе охлаждения уплотненной древесины лигнин переходит в стеклообразное состояние, что позволяет зафиксировать деформации древесины, произошедшие под влиянием механического воздействия.

Пластифицированная уплотненная древесина является формоустойчивым и термостабильным материалом с улучшенными прочностными и эксплуатационными характеристиками.

Для определения физико-механических характеристик уплотненной древесины мягких лиственных пород были изготовлены образцы 100 × 100 мм толщиной 6 мм, плотность образцов из древесины березы – 640 кг/м³, из древесины ольхи – 525 кг/м³, влажность – 6 %. Уплотнение древесины проводили на гидравлическом прессе типа ПСУ-50 усилием 500 000 Н. Твердость образцов определяли в соответствии с ГОСТ 16483.17-81, показатель истирания – на абразиметре Табера.

Степень упрессовки составила 22–40 % для древесины березы и 38–49 % для древесины ольхи. Показатели износостойкости составили 0,170–0,278 г для березы и 0,098–0,164 г для ольхи, твердости – 34–45 Н/мм² для березы и 27–43 Н/мм² для ольхи. Твердость уплотненной древесины березы улучшилась по сравнению с натуральной на 5–39 %, ольхи – на 5–67 %, износостойкость уплотненной древесины березы улучшилась

на 15–37 %, ольхи – 25–15 %. Улучшение свойств зависит от режима уплотнения древесины. Твердость и износостойкость уплотненной древесины березы и ольхи для некоторых режимов достигает значения аналогичных показателей древесины дуба.

Заключение. Уплотнение древесины улучшает эксплуатационные и прочностные характеристики древесины мягких лиственных пород. Уплотненная древесина достигает твердости и износостойкости, характерной для древесины твердолиственных пород (дуба). Результаты термогравиметрического анализа показывают, что пластификация древесины происходит за счет перехода лигнина в высокоэластичное состояние под действием высокой температуры, что оказывает влияние на формоустойчивость и термостабильность уплотненной древесины.

Улучшение эксплуатационных показателей уплотненной древесины мягких лиственных пород является результатом совместного влияния давления на механические изменения в процессе уплотнения (степень уплотнения) и температуры на химические изменения (пластификация лигнина).

Полученные результаты позволяют рекомендовать уплотненную древесину в качестве материала для производства многослойных паркетных покрытий, к качеству которых предъявляются высокие требования.

Уплотненная пластифицированная древесина также может широко применяться в производстве столярно-строительных изделий, мебели и спортивного инвентаря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берштейн, В.А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров : учебник / В.А. Берштейн, В.М. Егорова. – Л. : Химия, 1990. – 256 с.
2. Пилоян, О.Г. Введение в теорию термического анализа / О.Г. Пилоян. – М. : Наука, 1984. – 254 с.
3. Оболенская, А.В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. – М. : Экология, 1991. – 320 с.
4. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2010. – 624 с.

Поступила в редакцию 20.06.13.

This article presents the results of a study of the deciduous wood pressing process to improve the physical and mechanical properties of wood. To study the mechanism of plasticization of wood held thermal gravimetric analysis of the samples pressed deciduous wood. As in the study were identified by physico-mechanical characteristics of pressed wood: hardness, wear resistance and the degree of compaction. The conclusions about the impact of pressing on the physical and mechanical properties of wood and chemical changes occurring in the wood during pressing process.

Keywords: pressed wood, deciduous wood, thermal gravimetric analysis, plasticization, multilayer parquet flooring.

