

УДК 674.812–41:674.213(043.3)

Л. В. Игнатович, С. С. Утгоф

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ
ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ОЛЬХИ**

Древесина хвойных пород широко применяется при производстве мебели и столярно-строительных изделий, что обусловлено значительными запасами древесины сосны на территории Республики Беларусь. Однако ее применение ограничено изделиями, не подверженными высоким нагрузкам, не требующими хорошей твердости и износостойкости древесины.

В данной научной работе в качестве способа улучшения физико-механических свойств древесины использован метод термомеханического модифицирования. Данный метод является экологически чистым, так как древесина не обрабатывается химическими составами, а проведение модифицирования при температуре 100–110°C обуславливает энергоэффективность процесса по сравнению с существующими методиками термомеханического модифицирования.

Результат изучения химических изменений в древесине сосны показывает, что термомеханическое модифицирование привело к качественному изменению в структуре основных компонентов лигноуглеводной матрицы древесины, однако количественная оценка этих изменений показала, что нагрев древесины привел к деструкции связей, а не к их образованию.

Микроскопическое исследование выявило, что в результате уплотнения структуры древесины происходит механическая деформация поздних и ранних трахеид (смятие клеточных стенок), а воздействие температуры приводит к плавлению смоляных кислот, которые заполняют клеточные полости.

Ключевые слова: термомеханически модифицированная древесина, хвойные породы, физико-механические свойства, химические изменения, режимы модифицирования.

L. V. Ignatovich, S. S. Utgof

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF STRUCTURAL CHANGES
DURING THERMOMECHANICAL MODIFICATION PINE
AND ALDER WOOD**

Coniferous wood is widely used in furniture and joinery products, due to significant reserves of pine wood in the territory of the Republic of Belarus. However, its use is restricted to products not subject to high loads that do not require a good hardness and wear resistance of the wood.

In this research work as a way to improve the physical and mechanical properties of wood, the method of thermomechanical modification. This method is environmentally friendly, because wood not treated with chemical compounds, carrying a modification at a temperature of 100–110°C causes the energy efficiency of the process, compared with existing techniques thermomechanical modification.

The result of changes in the study of chemical pine wood shows that a thermomechanical modification led to a qualitative change in the structure of the main components of wood lignocellulosic matrix, but the quantitative evaluation of these changes showed that the heating timber has led to the destruction of bonds, not to their formation.

Microscopic examination showed that the resulting structure seals wood mechanical deformation occurs early and late tracheids (collapse of the cell walls), and the effect of temperature leads to melting of resin acids that fill the cell cavity.

Key words: thermomechanically modified wood, coniferous wood, physical and mechanical properties, chemical changes, modification regimes.

Введение. В работах многих исследователей отмечено, что в качестве способа улучшения физико-механических свойств древесины используется термомеханическое модифицирование, в то же время в большинстве исследований изучено уплотнение пропаренной и увлажненной (25–30%) древесины. Для предотвра-

щения распрессовки уплотненной древесины применяется обработка паром или прогрев при температуре 180–200°C, что приводит к увеличению продолжительности и энергоемкости процесса модифицирования [1, 2].

В качестве сырья для изготовления термомеханически модифицированной древесины

целесообразно применять древесину широко-распространенных и произрастающих на территории Республики Беларусь ольхи и березы, а также сосны.

Для обеспечения высокой производительности и сокращения энергоемкости процесса проводилось прессование поперек волокон заготовок из древесины сосны тангенциального и радиального распила толщиной 7 мм, влажностью $10 \pm 2\%$ при температуре, близкой к температуре текучести компонентов древесины ($100\text{--}110^\circ\text{C}$), давлении $19,0\text{--}19,5$ МПа и времени уплотнения 2–3 мин.

Основная часть. Целью данной работы является определение химических изменений, происходящих в лигноуглеводной матрице древесины сосны, и их сравнение с изменениями в древесине ольхи после термомеханического модифицирования. Для оценки химических изменений, происходящих в древесине в процессе термомеханического модифицирования, применяли дифференциально-термогравиметрический (ДТГ) и термогравиметрический (ТГ) анализы с использованием термоаналитической системы TGA/DSC-1 HT/319 METTLER TOLEDO Instruments.

Термогравиметрия (ТГ) – метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры. Экспериментально получаемая кривая зависимости изменения массы от температуры (называемая термогравиметрической кривой или термограммой) позволяет судить о термостабильности и составе образца в начальном состоянии, о термостабильности и составе веществ, образующихся на промежуточных стадиях процесса, и о составе остатка, если таковой имеется [4].

Исследования проводились в интервале температур $27\text{--}500^\circ\text{C}$ при скорости нагревания $5^\circ\text{C}/\text{мин}$ и графически записывалось изменение массы древесной навески в зависимости от температуры и времени нагрева в виде характерной термогравиметрической кривой (ТГ-кривая).

Анализ полученных результатов показал, 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 – терми-

ческой деструкции, гидролитической деструкции, дегидратации, сопровождающихся реакциями изомеризации, диспропорционирования, окисления, а также вторичными процессами полимеризации, преимущественно конденсационной [3, 4].

Ранее проведенное термогравиметрическое исследование образцов натуральной и термомеханически модифицированной древесины ольхи позволило определить их отличие на химическом уровне и предположить механизм модифицирования древесины в процессе нагревания с одновременным прессованием [5].

Характерной особенностью образования остаточных деформаций в процессе термомеханического модифицирования является ведение процесса при температуре, выше температуры текучести компонентов древесины, в частности, лигнина. Переход лигнина в стеклообразное состояние при остывании древесины обеспечит необратимость деформации и стабильность формы. Основным отличием в химическом строении древесины хвойных и лиственных пород является наличие в составе хвойных пород смоляных кислот, которые являются основным компонентом смолы.

В ходе исследований была зарегистрирована энергия, необходимая для выравнивания температур исследуемого вещества и эталона в зависимости от времени и температуры.

На рис. 1 представлены кривые, отражающие зависимость выделения энергии при превращении компонентов древесины в процессе повышения температуры образца, энергии. Прогибы на кривой соответствуют протеканию эндотермических реакций, которые требуют подвода тепла, пики – экзотермическим реакциям, протекающим с выделением.

В температурном диапазоне $27\text{--}200^\circ\text{C}$ происходит сушка древесины, что является эндотермическим процессом, далее начинается разложение целлюлозы и формирование структуры угля, сопровождающиеся выделением энергии (на кривой отражается пиком). При температуре выше 350°C происходит разложение лигнина, которое вначале сопровождается образованием связей, а в температурном диапазоне $400\text{--}500^\circ\text{C}$ – их разрушением с выделением энергии.

Основным отличием термомеханически модифицированной древесины сосны от натуральной является величина пика в зоне разложения лигнина, что свидетельствует о качественном отличии химического состава проб. Для количественной оценки проведем расчет энергии активации термоокислительной деструкции [6].

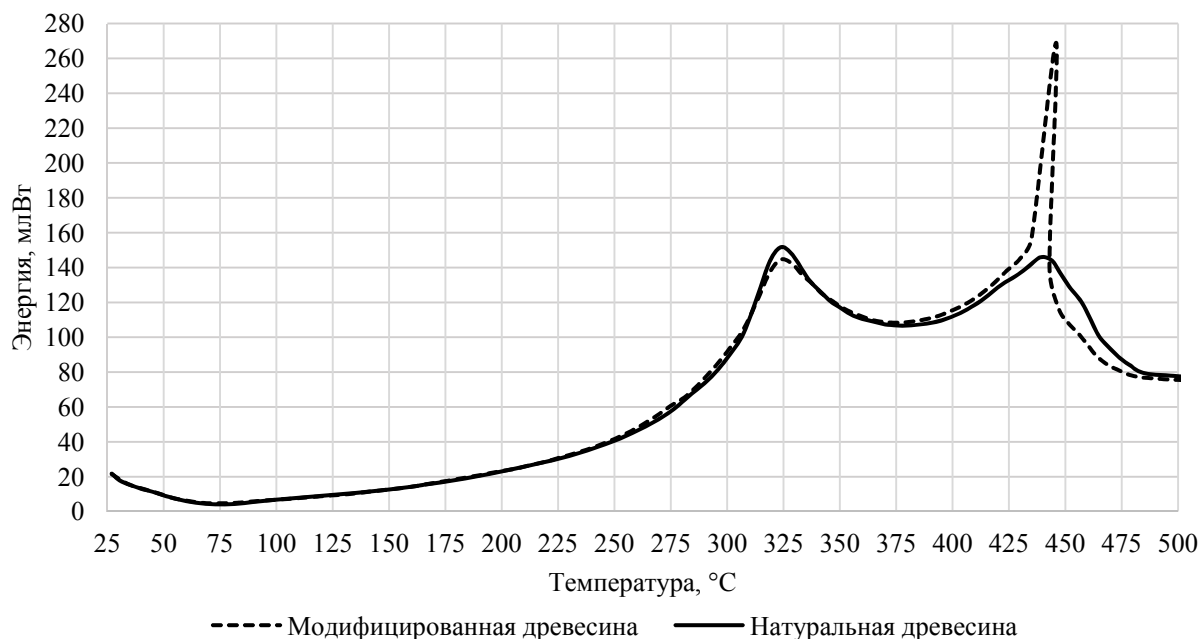


Рис. 1. Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии натуральной и термомеханически модифицированной древесины сосны

Энергия активации термоокислительной деструкции лигнина в натуральной древесине составила 44 кДж/моль, а в термомеханически модифицированной древесине — 38 кДж/моль, что на 13,5% меньше по сравнению с натуральной древесиной и свидетельствует о частичной деструкции компонентов древесины.

Для идентификации механических изменений в структуре древесины сосны после термомеханического модифицирования использовали микросъемку заранее подготовленных проб торцового среза древесины сканирующим электронным микроскопом JSM-5610LV. Снимки древесины получали с приближением в 200 раз. Разрешение снимков — 640×480 пикс. (127 пикс./дюйм).

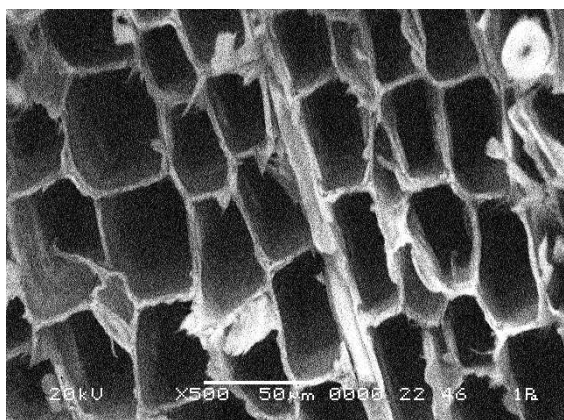


Рис. 2. Образец натуральной древесины (увеличение в 200 раз)

Сравнивая полученные снимки (рис. 2 и 3) натуральной и термомеханически модифици-

рованной древесины, можно увидеть значительное сокращение полостей трахеидов, а также смятие их стенок вследствие механического воздействия. Разрушений элементов древесины нет.

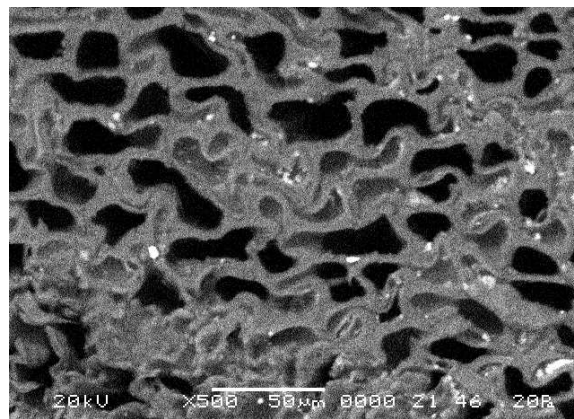


Рис. 3. Образец уплотненной древесины (увеличение в 200 раз)

Заключение. Результат изучения химических изменений в древесине сосны показывает, что термомеханическое модифицирование привело к качественному изменению в структуре основных компонентов лигноуглеводной матрицы древесины, однако количественная оценка этих изменений показала, что нагрев древесины вызвал деструкцию связей, а не их образование.

Микроскопическое исследование выявило, что в результате уплотнения структуры древесины происходит механическая деформация

ранних и поздних трахеид (смятие их клеточных стенок), а воздействие температуры приводит к плавлению смоляных кислот, которые заполняют клеточные полости. Часть смоля-

ных кислот выступает на поверхность заготовок, что препятствует дальнейшей механической обработке и созданию защитно-декоративных покрытий.

Литература

1. Gong M., Lamason C. Improvement of Surface Properties of Low Density Wood: Mechanical Modification with Heat Treatment. University of New Brunswick (Canada), 2007. 111 p.
2. Lamason C. Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen. *Forest Products Journal*, 2007. No. 57(10). P. 64–68.
3. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
4. Утгоф С. С. Термомеханически модифицированная древесина ольхи и березы для изготовления лицевого слоя паркетных изделий. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук 05.21.05. Минск, 2014. 23 с.
5. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий. Минск: БГТУ, 2011. 273 с.
6. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов: СТБ 1333.0–2002. Введ. 28.06.2002. Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2002. 16 с.

References

1. Gong M., Lamason C. Improvement of Surface Properties of Low Density Wood: Mechanical Modification with Heat Treatment. *University of New Brunswick (Canada)*, 2007. 111 p.
2. Lamason C, Gong M. Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen. *Forest Products Journal*, 2007, no. 57(10), pp. 64–68.
3. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry and syntetic polimers]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 624 p.
4. Utgof S. S. *Termomekhanicheski modifitsirovannaya drevesina ol'khi i berezy dlya izgotovleniya litseвого sloya parketnykh izdeliy*: Avtoref. dis. kand. techn. nauk [Thermomechanical modified alder and birch wood for the production of the surface layer of parquet products. Abstract of diss. cand. eng. sci.]. Minsk, 2014. 22 p.
5. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Konstruktivnye i tekhnologicheskie osobennosti napol'nykh pokrytyi* [Design and technological features of floor coverings]. Minsk, BGTU Publ., 2011. 273 p.
6. STB 13330.– 2002. Polymer construction. Method for determining the durability of the activation energy for thermal oxidative degradation of polymeric materials. Minsk, Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus' Publ., 2002. 16 p. (In Russian).

Информация об авторах

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by

Утгоф Светлана Сергеевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: utgof@belstu.by

Information about the authors

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by.

Utgof Svetlana Sergeevna – PhD (Engineering), Assistant lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: utgof@belstu.by

Поступила 16.02.2016