

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ СУШКИ ДРЕВЕСНЫХ ЗАГОТОВОК

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Введение

В последние 15–20 лет пытаются применять электромагнитную энергию сверхвысоких частот (СВЧ-излучение) для сушки древесины. В качестве источников СВЧ-излучения применяются магнетроны, энергия электромагнитных волн которых мгновенно проникает по всему объему заготовки, вызывая нагрев за счет диэлектрических потерь. Основные преимущества данного способа: электроэнергия потребляется только источником излучения, нагрев осуществляется непосредственно изнутри древесины [1]. Древесина является сложным по строению и составу естественным материалом, который обладает специфическими свойствами, проявляемые при взаимодействии с переменным электромагнитным полем.

Физико-механические свойства древесины зависят от влаги, находящейся в клеточных стенках и связанной с ее компонентами. При максимальном содержании абсорбционной влаги механические свойства древесины минимальны и в таком состоянии идет торцово-прессовое деформирование заготовок влажностью $W = 17\text{--}30\%$ во вкладыш при изготовлении подшипников скольжения самосмазывающихся (ПСС). Неотъемлемым процессом в технологии их изготовления является последующая сушка до влажности $W = 3\text{--}5\%$ для придания максимальных механических свойств с последующей стабилизацией размеров вкладыша в этом состоянии. До настоящего времени применяется неэкономичная и энергоемкая сушка в печах, продолжительность которой составляет от двух до трех часов в зависимости от размеров вкладышей [2]. Применение СВЧ-сушки позволит сократить расход энергии и время сушки древесных заготовок в 7–8 раз.

Однако при СВЧ-сушке часто происходит возгорание древесины в следствии полного удаления связанной влаги, находящейся в клеточных стенках. Поэтому до настоящего времени СВЧ-сушка не находит широкого применения. Одна из причин несовершенства этого процесса – отсутствие теоретических исследований физико-химического процесса СВЧ-сушки древесных заготовок.

Постановка задачи. Теоретически обосновать взаимодействие электромагнитного поля и гигроскопической влаги древесины для создания технологии ускоренной сушки древесных заготовок.

Теоретические предпосылки. Свободная вода в древесине распространяется вдоль волокон по капиллярам (микрокапиллярам и сосудам), а поперек волокон – по сердцевинным лучам и порам. Размеры микрокапилляров колеблются по диаметру 20–70 мкм, по длине 0,7–1,6 мм; сосуды имеют диаметр 100–400 мкм, а длину 100 мм, но могут достигать 2–3 м. Сосуды и капилляры соединяются между собой густо расположенными в клеточной стенке порами, диаметр которых составляет 4–8 мкм. На 1 мм клеточной стенки находится 50–60 пор [3]. Свободная вода, присутствующая в этих полостях не влияет на механические свойства древесины, а только влага, находящаяся в водородных связях с компонентами древесины в клеточных стенках.

Результаты исследования. При отсутствии свободной влаги в древесине влажность внутри полостей сосудов, капилляров и пор будет равной влажности окружающей среды, в которой влага находится в газообразном состоянии. Влажность клеточных стенок (древесины) находится в равновесном состоянии с влажностью окружающей среды. Следовательно, для определения путей проникновения молекул воды в клеточную стенку древесины и изменения ее влажности необходимо рассматривать процесс гигроскопичности на молекулярном уровне.

Известно, что размер молекулы воды составляет 0,2 нм.

Очень приблизительно сравнить путешествие молекулы воды, например, по капиллярам, описанным выше, мысленно увеличив их размеры в 5 млн. раз. Тогда молекула воды будет представлять шарик, летящий по трубе диаметром 100–350 м и длиной 3,5–8 км. Естественно эта труба будет перфорированной порами – отверстиями диаметром 20–40 м, которые соединяют ее с соседними трубами. При этом диаметр шарика составит 1 мм.

Данное сравнение показывает, что древесина (в макроскопическом варианте) не содержащая свободную влагу проницаема для молекул воды и воздуха. То есть молекула воды может пронизать древесину вдоль и поперек волокон, не задерживаясь в ней.

Установлено молекулы воды свободно могут внедряться и покидать связи в зависимости от энергетического состояния, обусловленного влажностью среды, и поэтому их взаимодействие с электромагнитным полем практически не отличается от взаимодействия поля и свободных молекул воды. Поле СВЧ передает энергию непосредственно молекулам воды, вызывая их колебания с частотой волн, сопровождающиеся трением, а следовательно мгновенным нагревом. Молекулы воды отрываются, покидают связи и удаляются в окружающую среду. Поэтому при достижении влажности древесины $W = 3-5\%$ необходимо отключать подачу энергии.

Если количество подводимой СВЧ-энергии (посредством излучения) превысит количество отводимой энергии от древесины путем ее теплопроводности и теплоотдачи, то будет происходить тление с последующим возгоранием в установках СВЧ-сушки.

Теплоотдача происходит не только посредством теплопроводности, но и с удалением влаги. При температуре $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$ теплопроводность вдоль волокон при влажности 30% $\lambda_{30} = 0,54\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ и влажности 0% $\lambda_0 = 0,38\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; поперек волокон $\lambda_{30} = 0,36\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ и $\lambda_0 = 0,25\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.

С уменьшением влажности древесины резко уменьшается ее теплопроводность, что приводит к накоплению энергии в образцах (поглощение энергии уменьшается, но не прекращается). При этом молекул воды уже не хватает для удаления излишков энергии, которые они затрачиваются уже на разрыв водородных связей между макромолекулами ($4-33\text{ кДж/моль}$), подвижность последних резко возрастает. Это приводит к увеличению молекулярного трения и, соответственно, к дополнительному нагреву.

Таблица 1 – Энергии межатомных связей

Вид связи	Энергия, кДж/моль	Вид связи	Энергия, кДж/моль
C-C	348	H-C	415
C-O	344	H-O	466

Превышение уровня энергии разрыва ковалентных (межатомных, внутримолекулярных) связей (таблица 1) приводит к разрушению макромолекулы на ее составляющие, которые в свою очередь будут обладать еще большей полярностью и подвижностью [4, 5].

Таким образом, начинается каскадное разрушение молекулярной структуры древесины – деструкция. Прекращение подачи энергии уже не может остановить начавшийся процесс, поскольку он сопровождается окислением радикалов и высвобождением дополнительной энергии. При этом древесина тлеет без возгорания (рисунок 1), превращаясь в древесный уголь.

Предотвратить разрушение древесины можно постепенно понижая мощность излучения, либо увеличивая расстояние от источника СВЧ-излучения до образца, т.к. напряженность электромагнитного поля уменьшается с увеличением глубины проникновения по экспоненциальному закону.

При правильном соотношении частоты и мощности излучения в зависимости от уменьшения содержания гигроскопической влаги возможно достижение безопасной сушки древесины без ее разрушения.

Нами был предложен *расчет количества связанной воды при полном насыщении волокон древесины влагой* через молекулярные массы элементарных звеньев макромолекул основных компонентов древесины – целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Установлено, что количество всей связанной воды в компонентах древесины будет пропорционально суммарному количеству воды, присоединенной одной единицей каждого компонента.

Полученный результат соответствует многочисленным экспериментальным данным независимых исследователей и этот *расчет подтверждает, что абсорбционная (связанная) влага находится только в водородных межмолекулярных связях*, а так же свидетельствует о том, что только связанная вода, а именно, молекулы воды, внедрившиеся в водородные связи компонентов древесины, вызывают ее разбухание и обуславливают изменение ее физико-механических свойств.

Выводы. Предложено теоретическое обоснование взаимодействия электромагнитного поля и гигроскопической влаги древесины для создания технологии ускоренной сушки древесных

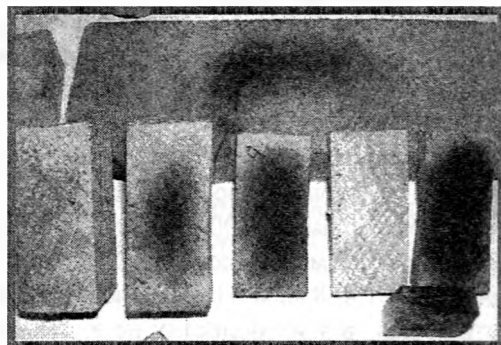


Рисунок 1 – Экспериментальные образцы древесины березы, высушенных до абсолютно-сухого состояния, после воздействия СВЧ-излучения 2,45 ГГц в течении 30 минут

заготовок. Показано, что молекулы гигроскопической воды находятся в водородных межмолекулярных связях и только через них они проникают вглубь клеточной стенки преимущественно поперек волокон. Установлено, что электромагнитное поле воздействует на молекулы связанной воды так же как на молекулы свободной влаги, а при полном удалении которой в процессе СВЧ-сушки происходит возгорание древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гареев Ф.Х. Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины // Леспромформ. – 2004. – №1. – С. 50–52.
2. Врублевская В.И., Невзорова А.Б., Врублевский В.Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 324 с.
3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
4. Роговин З.А., Шарыгина Н.Н. Химия целлюлозы и ее спутников. – М.: Химия, 1992. – 520 с.
5. Лигнины (структура, свойства и реакции): Пер. с англ. / Под ред. В.М. Никитина. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 629 с.

УДК 62-233.2

Дашковский В.А., Врублевская В.И.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Современное машиностроение обладает большим выбором различных антифрикционных материалов. Широкое распространение получили полимерные материалы. Благодаря их применению повышается надежность и долговечность узлов трения, удешевляются эксплуатация и ремонт машин и механизмов.

На сегодняшний день, одним из лучших представителей альтернативных материалов является антифрикционная самосмазывающаяся прессованная древесина березы (АСПД), пропитанная модифицированными смазками, которая используется в качестве вкладышей подшипников скольжения самосмазывающихся (ПСС). ПСС отлично работают в абразивно-агрессивных средах, при факторе $pv \leq 2,5$ МПа·м/с, температурах до $+120^\circ\text{C}$ [1].

При сравнении триботехнических свойств АСПД с другими антифрикционными материалами мы столкнулись с проблемой – все испытания проводятся при различных условиях и разными методами. Для объективной сравнительной оценки работоспособности ПСС с лучшими антифрикционными полимерами нами проводились испытания в одних и тех же условиях с одинаковыми нагрузочно-скоростными параметрами.

Для экспериментов были выбраны: вторичный фторопласт Ф-4, флубон-20, Ф4К20, суперфлувис и АСПД.

Потребительские свойства изделий из вторичного Ф-4 практически соответствуют свойствам из первичного Ф-4, что позволяет экономить до 40% средств, не теряя при этом уникальных свойств фторопластов.

Флубон-20 – полимерный композиционный материал на основе политетрафторэтилена, сополимеров этилена и тетрафторэтилена и других фторсодержащих полимеров, модифицированных углеродных волокон и других волокнистых и дисперсных наполнителей. Флубон характеризуется износостойкостью, низким коэффициентом трения, самосмазывающимися и уплотнительными свойствами. Детали из него (под-

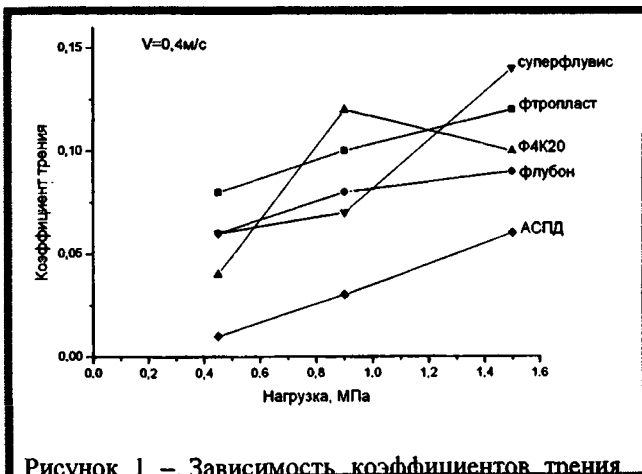


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов трения материалов от нагрузки при $v = 0,5$ м/с