

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 674.59

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОДИСПЕРСИОННЫХ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

С.А. Прохорчик, А.А. Янушкевич — член-корреспондент БИА
Белорусский государственный технологический университет, Минск

Поступила 29.06.2004.

The results of electron-microscopic stage-by-stage studies of a production procedure for furnishing base plates from pine-wood by water-dispersion lacquer materials are presented.

A process of interaction between water-dispersion lacquer materials and wood of a pine at all the stages of making a lacquer coating was considered. A reason for soaking the summerwoods in growth rings of pine-wood was found to be the presence in these zones of strained cells resulting in quality deterioration of water-dispersion lacquer coatings.

Ключевые слова: воднодисперсионные лакокрасочные материалы, древесина сосны, годичный слой, ранняя зона, поздняя зона, трахеиды, электронный микроскоп, микроанализ, клеточная стенка, деформированные клетки.

При исследовании причин ухудшения качества воднодисперсионных (ВД) защитно-декоративных покрытий столярно-строительных изделий (ССИ) из древесины сосны, выраженного в образовании неровностей («эффекта волны» [1]), с помощью оптической микроскопии было установлено:

- ВД лакокрасочные материалы (ЛКМ) способны больше проникать в раннюю зону годичных слоев по сравнению с поздней;

- перед нанесением ВД ЛКМ состояние ранней зоны годичного слоя характеризовалось наличием деформированных трахеид, что является причиной образования «эффекта волны» при отделке изделий из древесины сосны ВД ЛКМ.

Для уточнения полученных результатов, а также для более глубокого изучения явления «эффект волны» нами проведены исследования с использованием электронной микроскопии.

В эксперименте использовались образцы, прошедшие основные этапы технологического процесса производства ССИ, применяемого на УПП ДОЗ ОАО «Забудова» и включающего:

- обработку продольным фрезерованием и шлифованием;

- нанесение ВД грунтовки способом струйного облива с последующей конвективной сушкой;

- шлифование грунтовки;

- нанесение ВД краски методом комбинированного распыления с последующей конвективной сушкой.

Для исследования на электронном растровом микроскопе «JEOL JSM-1560» после прохождения образцами каждого этапа технологического процесса из них вырезались (поперек волокон, остро отточенным инструментом) фрагменты. Полученные снимки состояния поверхности образцов на торцовых срезах древесины приведены на рис.1 — 4.

При изучении снимков, полученных ранее с использованием оптической микроскопии, было подвергнуто сомнению, являются ли включения белого цвета, расположенные в трахеидах сосны, компонентами ВД ЛКМ. С этой целью на данном электронном микроскопе был проведен микроанализ. Общеизвестно, что в качестве пигмента в данных ЛКМ используется TiO_2 . Поэтому микроанализ проводился на наличие данного вещества. Результаты микроанализа представлены на рис.1,

из рассмотрения которого следует, что включения белого цвета являются ничем иным, как TiO_2 . Интересен также характер размещения ЛКМ в древесине, показанный на рис.1, б. При его рассмотрении следует отметить, что в одних трахеидах ЛКМ заполняет их полностью, в других же размещается по стенкам клеток. Микроанализ этого фрагмента (рис.1, б') свидетельствует о том, что между двумя соседними трахеидами отсутствует какое-либо сообщение, в то же время наблюдается сообщение между клетками, образующими сердцевинный луч и соприкасающимися с ними трахеидами.

На рис. 2, а, б представлены фрагменты образцов после первой стадии технологического процесса. Причем на рис. 2, б образец находится под наклоном к полю зрения, поэтому представляется возможным хорошо рассмотреть как торцовую поверхность образца (для контроля проникновения ЛКМ вглубь древесины), так и состояние поверхности, на которую непосредственно будут наноситься ВД ЛКМ.

Анализируя вышеприведенные снимки, следует отметить несколько большую шероховатость поверхности ранних зон годичного слоя по сравнению с поздними. Обращает на себя внимание и факт наличия полузакрытых, закрытых отверстий, образованных перерезанными трахеидами. Над поздними зонами наблюдается поверхность с незначительным количеством закрытых отверстий, расположенных ближе к участку перехода ранней зоны годичного слоя к поздней. Очень важно указать также на сжатые (прямые) клетки древесины в поверхностном слое. Причем характерно, что деформированные трахеиды располагаются именно в ранней зоне, в поздней зоне таких клеток не отмечается.

Необходимо отметить, что высота смятых клеток состоит в основном из трех слоев ранних трахеид и находится в пределах 70-80 мкм. Вероятно, деформированные слои клеток образуются в результате воздействия не очень острого инструмента на ранние менее плотные, а следовательно, менее прочные зоны годичного слоя.

На рис. 2, в, г представлен образец после нанесения ВД грунтовки. При анализе снимков следует отметить волнообразный характер поверхности древесины именно над ранней зоной. Также подтверждается факт различного размещения грунтовки в клетках и направленный характер ее

проникновения в древесину по сердцевинным лучам. На рис. 2, в отчетливо просматривается образование «ступеньки» при переходе (в правой части снимка) от поздней в раннюю зону годичного слоя. На рис. 2, г этот ступенчатый переход представлен более наглядно. Характерные отверстия на поверхности образованы только над ранней зоной годичного слоя. По всей видимости, ВД грунтовка вызывает (из-за наличия в ней воды) разбухание стенок ранних трахеид и восстановление их первоначальной формы поперечного сечения.

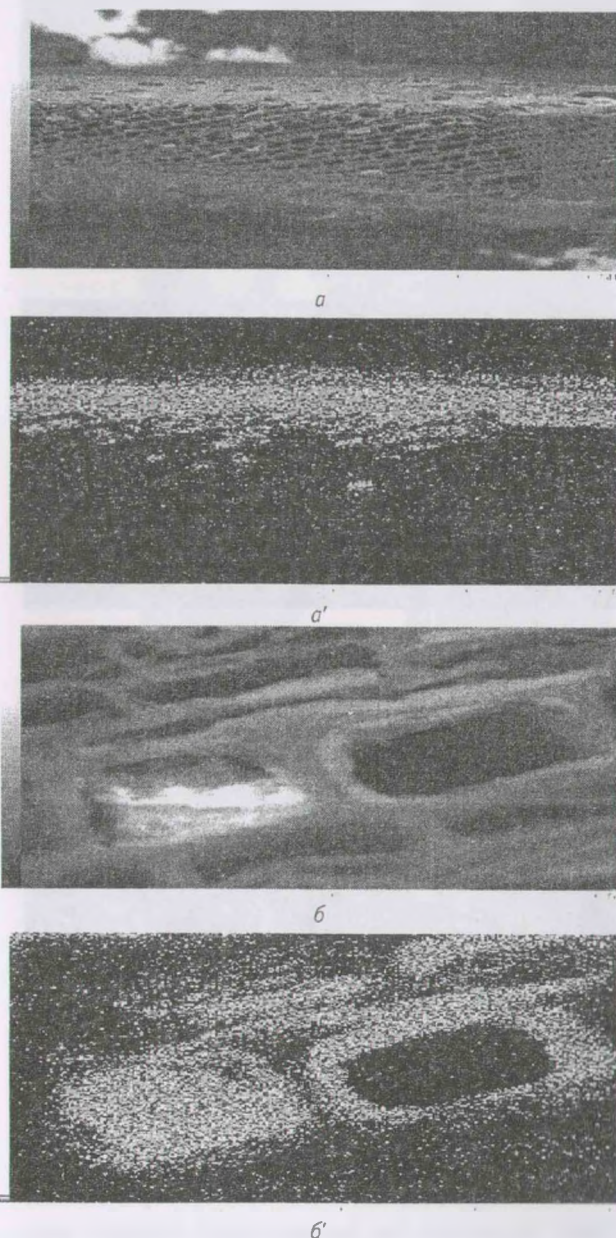
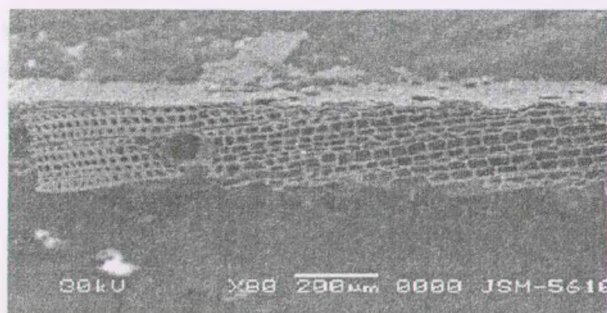
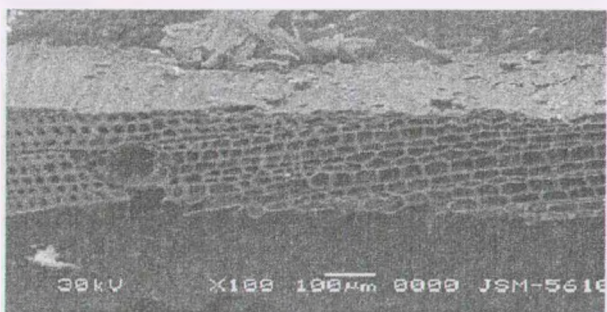


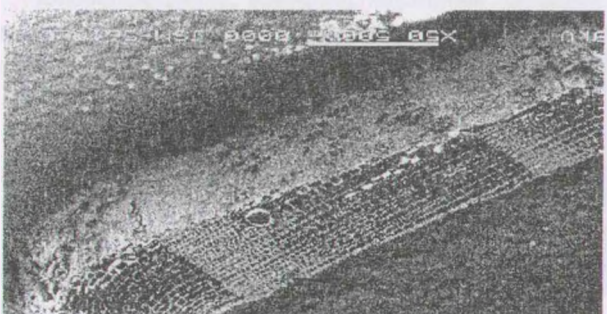
Рис. 1. Расположение ЛКМ в древесине:
а, б – торцовые срезы древесины;
а', б' – микроанализ торцовых срезов древесины на Ti



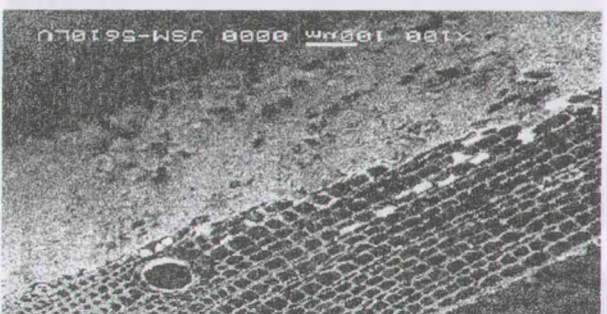
а



б



в



г

Рис. 2. Образцы древесины после первой и второй стадий обработки: а, б – шлифованная древесина; в, г – после нанесения ВД грунтовки

Следует указать и на то, что в поверхностных слоях грунтовка как бы выстилает полость трахеид, располагаясь по их стенкам, ЛКМ же, который, согласно полученным снимкам, проникает

на глубину около 150 мкм, имеет другое расположение: не выстилает клетки, а каким-то образом группируется в одной части трахеид. Важно отметить расположение ЛКМ вдоль сердцевинного луча и под этим лучом. На этом снимке отчетливо наблюдаются отверстия — вероятнее всего, вскрытые трахеиды. На поверхности с нанесенной грунтовкой расположены 3-4 отверстия, находящиеся по диагонали на одной условно проведенной линии. По всей видимости грунтовка, которая располагается под сердцевинным лучом (торцовая поверхность) в трахеидах, проникает в них через вскрытые торцы клеток, образующих поверхность древесины, непосредственно контактирующей с ЛКМ. При обработке поверхности древесины вскрытие трахеид, вероятнее всего, происходит из-за того, что они располагаются под некоторым углом к поверхности (особенности строения дерева), на которую наносится ЛКМ. Этим можно, скорее всего, объяснить неравномерность распределения ЛКМ в торцовой части образцов. При переходе от ранней к поздней зоне годичного слоя наблюдается практически отсутствие ЛКМ в полостях поздних трахеид. Это свидетельствует о незначительном проникновении ЛКМ в поздние трахеиды и, как следует из рис. 2 — об отсутствии перерезанных и вскрытых, либо прикрытых полостей клеток, формирующих поверхность, впоследствии контактирующую с ЛКМ.

На рис. 3, а, б показан образец после операции промежуточного шлифования ВД грунтовки. Исходя из представленных снимков, следует заключить, что по средней глубине проникновения грунтовки, которая до операции шлифования составляла ~100 мкм, а после ~50 мкм, можно судить о сошлифовке грунтовки с древесиной ~ 50 мкм. Следует отметить некоторое выравнивание поверхности, достигнутое за счет операции шлифования. Но при этом по-прежнему наблюдается большее содержание рядов клеток, заполненных ЛКМ именно в ранней зоне годичного слоя.

Из анализа снимков также вытекает, что промежуточное шлифование грунтовочного покрытия снова вызывает прикрытие отверстий (их явные признаки просматриваются в основном над ранней зоной годичного слоя).

На рис. 3, в, г представлен образец после последней стадии технологического процесса отделки — нанесения ВД краски. На рис. 3, в просматриваются

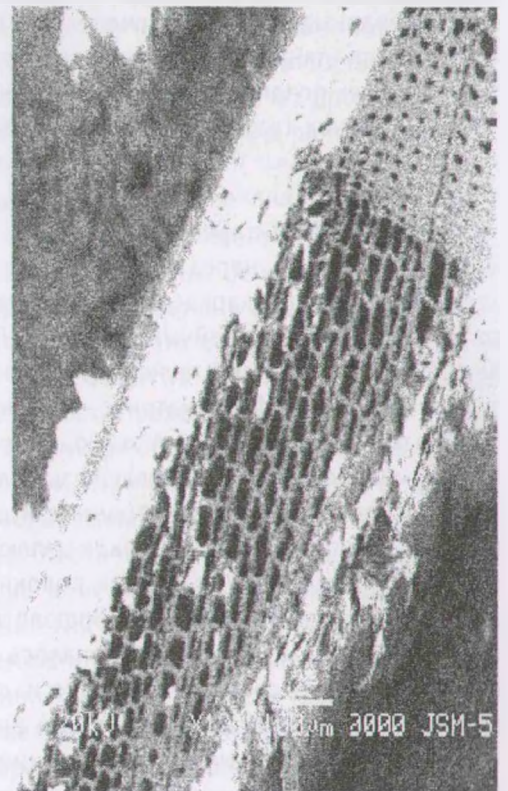
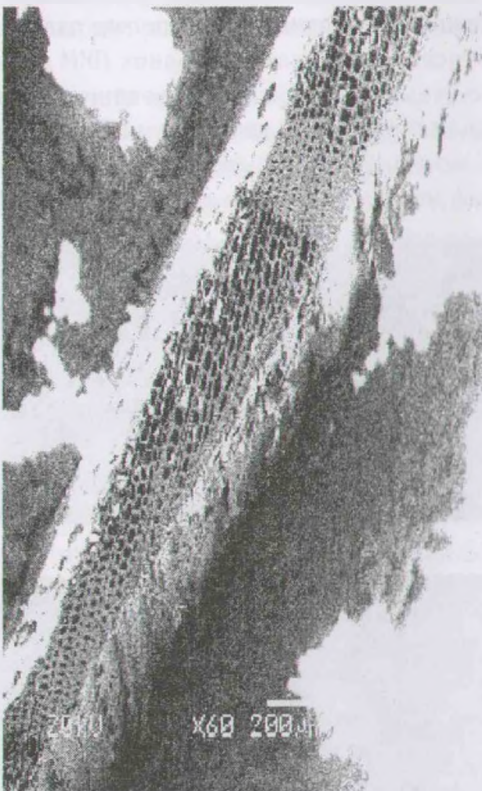
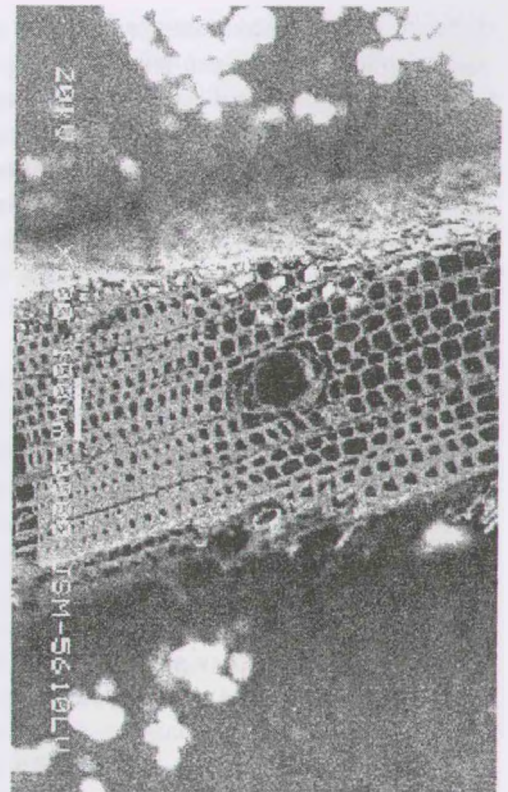
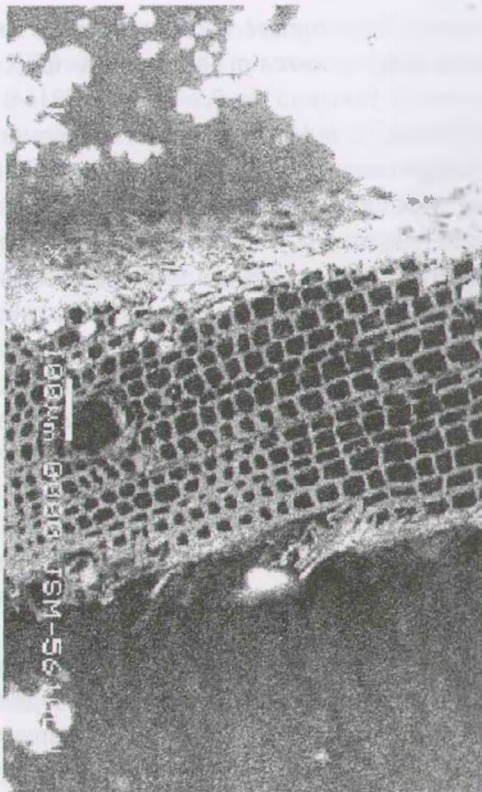


Рис. 3. Образцы древесины после третьей и четвертой стадий обработки:
 а, б – после шлифования ВД грунтовки; в, г – после нанесения ВД краски

ривается отчетливое поднятие ранней древесины по сравнению с поздней древесиной годовичного слоя на границе ЛКП — древесина. На рис. 3, г показана правая часть образца (рис. 3, в) в увеличенном масштабе (участок перехода поздней к ранней зоне). Из анализа снимка следует отметить «подняtie» ранней древесины по сравнению с поздней на высоту порядка ~ 30 мкм, а также почти полное отсутствие ЛКМ в поздней древесине.

Ранняя и поздняя древесина ядра и заболони по анатомическому строению одинаковы, но резко отличаются по количественному и качественному составу экстрактивных веществ, которые, по-видимому, и являются причиной различной проницаемости. На проницаемость древесины кроме разницы в количественном и качественном составе, очень большое влияние оказывает локализация смолистых веществ в анатомических элементах древесины. В малозасмоленной сосне смола находится только в вертикальных и горизонтальных смоляных ходах и единично встречаются в полостях поздних трахеид, чаще около смоляных ходов. В засмоленной древесине, кроме смоляных ходов, она заполняет полости почти всех поздних трахеид и частично встречается в ранних трахеидах, которые чаще располагаются группами и единично около поздней зоны или сердцевинных лучей [2].

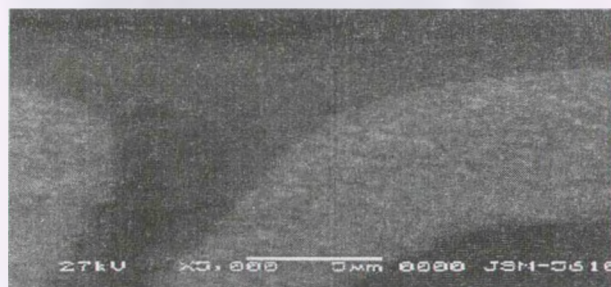
Представляет интерес изучение способности ВД ЛКМ проникать через клеточную стенку трахеид. Известно, что каркас клеточной стенки образует целлюлоза (линейный полимер). Гемицеллюлоза (разветвленный полимер), лигнин и пектин образуют аморфный матрикс — мягкую, пластичную массу, заполняющую промежутки между микрофибриллами целлюлозы. Клеточная стенка имеет волокнистое строение и рассматривается на уровне микрофибрилл целлюлозы — простейших структурных единиц волокна, которые принимаются в качестве морфологических единиц целлюлозы. Как уже отмечалось, клеточная стенка имеет слоистое строение и, согласно современным представлениям, в ней выделяют наружный, промежуточный и внутренний слои. Клетки древесины скреплены межклеточным аморфным, изотропным веществом, образующим срединную пластинку М толщиной 0,5-1,5 мкм [3]. К срединной пластинке примыкает более тонкая первичная (наружная) оболочка клеточной

стенки Р, состоящая из редкой сетки микрофибрилл, находящихся в матриксе. В природном состоянии толщина ее 0,1-0,5 мкм [3]. Вторичная оболочка S в 10 раз толще первичной, и в ней принято различать тонкий внешний слой S_1 , примыкающий к первичной оболочке Р, толстый средний S_2 и тонкий внутренний слой S_3 . Эти слои в свою очередь состоят из тонких слоев микрофибрилл. Расположение микрофибрилл в клеточной стенке всегда спиралеобразное [4], угол наклона микрофибрилл может быть разным в различных оболочках и слоях [5].

По мнению авторов [6], из-за наличия капилляров в клеточной стенке в нее способны проникать частицы размером 0,012 мкм. Так, в качестве пленкообразующих веществ в ВД ЛКМ выступают акрилатные частицы, размер которых может достигать 0,01 мкм. С целью исследования возможности проникновения были получены снимки при помощи электронного микроскопа, представленные на рис. 4, а, б. На рис. 4, а представлен фрагмент ранней зоны годовичного слоя древесины сосны (x1800 увеличение). Анализируя снимок, можно снова отметить различное размещение ВД в соседних клетках — в одних ЛКМ размещается по стенкам клеток с образованием полостей, в других полностью заполняя их. Исходя из рис. 4, б, можно сделать вывод об отсутствии сообщений между соседними клетками ВД ЛКМ. По-ви-



а



б

Рис. 4. Размещение ВД ЛКМ в ранних трахеидах сосны: а — увеличение x 1800, б — увеличение x 5000

димому, основные пленкообразующие компоненты ВД ЛКМ не способны проникать через клеточную стенку.

На проницаемость ранней и поздней зоны годичного слоя большое влияние оказывают физико-химические свойства стенок трахеид. Так Е.В. Харук и другие исследователи [2] считают возможным проникновение жидкости из клетки в клетку (при закрытых порах) через торус или же мелкие капилляры, соединяющие торус с маргинальной зоной поровой мембраны.

Полученные нами результаты, к сожалению, не позволяют с полной уверенностью сказать о возможности проникновения ЛКМ сквозь закрытые поры трахеид. Скорее всего, ВД ЛКМ не может перемещаться через закрытые поры. Об этом можно говорить, исходя из закономерности беспорядочного расположения ЛКМ по древесине, что вытекает из приведенных выше снимков. Хотя рис. 1, 2 подтверждает факт распространения ЛКМ по сердцевинному лучу и наличия сообщения между лучом и соседней клеткой, А. Вордропом и Г. Дэвисом [2] установлено, что лучевая паренхима проводит раствор лучше, чем лучевые трахеиды.

Особую важность приобретают вопросы, связанные с различным проникновением ВД ЛКМ в раннюю и позднюю зоны годичного слоя. Не исключено, что разница в химическом составе ранней и поздней древесины, помимо содержания смолистых веществ, также оказывает влияние на проницаемость. По данным Л.П. Жеребова, смолистых веществ в ранней древесине сосны обыкновенной содержится 4,55%, в поздней — 1,4%, хотя смоляные ходы расположены в основном в поздней части слоя [2]. Но это суждение не совсем согласуется с полученными снимками, на которых при визуальном восприятии отмечаются утолщенные темные стенки поздних трахеид (скорее всего пропитанных смолистыми веществами) по сравнению со стенками ранних трахеид.

В связи с этим большой интерес представляет опыт Я. Рачковского [7] по определению теплоты набухания ранней и поздней зон годичного слоя дугласовой пихты. Оказалось, что на набухание поздней древесины расходуется меньше тепла, чем ранней. Это указывает на то, что поздняя зона менее доступна воде. Данный вывод хорошо согласуется с рентгенограммами

ранней и поздней древесины дугласовой пихты, которые указывают на более высокую «кристалличность» поздней зоны. Им также показано, что радиальное давление набухания древесины сосны возникает почти исключительно за счет слоев ранней древесины [2].

По имеющимся литературным данным, в ранней зоне годичного слоя сосны обыкновенной содержится больше пентазанов и урановых кислот, чем в поздней, которые способствуют увлажнению целлюлозных компонентов в клеточных стенках ранней древесины. Возможно также, что более высокая адсорбция слоев ранней зоны по сравнению со слоями поздней, обусловлена различным содержанием в них гидрофильных элементов. Величина водопоглощения ранней и поздней древесины сосны находится в обратной зависимости от их плотности. Учитывая, что ранняя и поздняя зоны годичного слоя резко различаются между собой по свойствам и строению, можно также ожидать, что в них проходят различные физико-химические процессы, которые по-разному могут влиять на проницаемость [2].

Таким образом, из вышеизложенного можно заключить, что вода, входящая в состав ВД ЛКМ, при их контакте с подложкой из древесины сосны, будет больше проникать в ранние зоны годичных слоев.

Выводы:

1. Подтвержден факт проникновения ВД ЛКМ в полости трахеид сосны. Основное расположение материала отмечается в ранних клетках.

2. Установлено, что основной путь проникновения компонентов ВД ЛКМ лежит через вскрытые полости трахеид, образующиеся в результате взаимодействия древесины с режущим инструментом. Причем большинство таких отверстий обнаружено над ранними зонами годичных слоев. Хаотическое расположение этих отверстий на поверхности объясняет различное размещение ЛКМ в структуре древесины. Показана возможность проникновения ВД ЛКМ из сердцевинных лучей в полости трахеид.

3. Выявлено, что проникновение основных пленкообразующих компонентов ВД ЛКМ через клеточную стенку не происходит.

4. Приведенные данные свидетельствуют о том, что различная проницаемость ранних и поздних зон годичного слоя связана с комплексом факторов, в числе которых — различное содер-

жание экстрактивных веществ и количества открытых отверстий, — не являются единственными.

5. В результате проведенных исследований установлено, что причиной образования «эфекта волны» является поднятие ранних зон годичных слоев древесины сосны. Природа данного явления заключается в контакте ВД ЛКМ с деформированными клетками этих зон, а точнее говоря, с водой, входящей в состав этих материалов.

6. Так как ранние трахеиды обладают меньшей плотностью и твердостью по сравнению с поздними, то на этапе подготовки к отделке поверхности древесины, которую они образуют, воздействие на них не очень острого режущего

инструмента при продольном фрезеровании приводит к деформированию (уплотнению) этих клеток (величина сминания достигает 70-80 мкм) при отсутствии деформации поздних трахеид. При недостаточном шлифовании после взаимодействия этих элементов древесины с водой, входящей в состав ВД ЛКМ, происходит поднятие таких клеток. Завершение же формирования «эфекта волны» происходит слоем ВД краски, которая также способна к поднятию деформированных трахеид.

Предпосылкой по снижению проявления «эфекта волны» может явиться операция по устранению деформированных клеток ранней древесины сосны перед нанесением ВД ЛКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохорчик С.А., Ситнов А.А. // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Минск, 2002. Вып. X. С. 166 – 167.
2. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. Новосибирск, 1976.
3. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : Учебник для лесотехнических вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., 2001.
4. Кленкова Н.И. Структура и реакционная способность целлюлозы. Л., 1976.
5. Колосовская Е.А, Лоскутов С.Р., Чудинов Б.С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск, 1989.
6. Frey-Wyssling A., Mitrakos R. // « J. Ultrastructure Res.». 1959, 3, 2, 228.
7. Рачковский Ян. Некоторые свойства древесины ранней и поздней частей годичного слоя. Перспективы фундаментального исследования древесины. Братислава, 1963.