

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 66–70.  
*Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century.* 2022. P. 66–70.

Научная статья  
УДК 684.4.059.4

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЛАКОКРАСОЧНОЙ СИСТЕМЫ

Светлана Валентиновна Совина<sup>1</sup>, Анастасия Сергеевна Плюснина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> sovinasv@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> nastya.plyusnina.2016@mail.ru

**Аннотация.** Возрастающие требования к качеству защитно-декоративных покрытий на древесине предполагают возможность поиска новых высокоэффективных материалов. Целью проведенной работы являлось получение теоретических закономерностей формирования покрытий на основе лакокрасочной композиции.

**Ключевые слова:** защитно-декоративное покрытие, модифицирующая добавка, массопроводность

**Для цитирования:** Совина С. В., Плюснина А. С. Теоретические исследования закономерностей процесса формирования покрытий на основе лакокрасочной системы // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 66–70.

Original article

## THEORETICAL STUDIES OF THE REGULARITIES OF THE COATING FORMATION PROCESS BASED ON THE PAINT AND VARNISH SYSTEM

Svetlana V. Sovina<sup>1</sup>, Anastasia S. Plyusnina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> sovinasv@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> nastya.plyusnina.2016@mail.ru

**Abstract.** The increasing requirements for the quality of protective and decorative coatings on wood suggest the possibility of searching for new high-performance materials. The purpose of the work was to obtain theoretical regularities of the formation of coatings based on the paint composition.

**Keywords:** protective and decorative coating, modifying additive, mass conductivity

**For citation:** Sovina S. V., Plyusnina A. S. Theoretical studies of the regularities of the coating formation process based on the paint and varnish system // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 66–70.

Формирование лакокрасочного покрытия на основе модифицированной алкидной смолы нитроцеллюлозой – сложный физико-химический процесс.

Процесс образования традиционного пентафталевого покрытия происходит при совместном протекании химических реакций и испарения летучих растворителей. Предварительные исследования показали, что введение нитроцеллюлозного лака в качестве модифицирующей добавки позволяет ускорить процесс формирования покрытия. Химические изменения при этом очень сложны, теоретически обосновать их крайне проблематично.

Наряду с химическими реакциями имеет место и процесс испарения летучих растворителей. Переход из жидкого в твердое стеклообразное состояние в этом случае связан с непрерывным уменьшением объема и имеет несколько характерных стадий, показанных на рис. 1 [1].

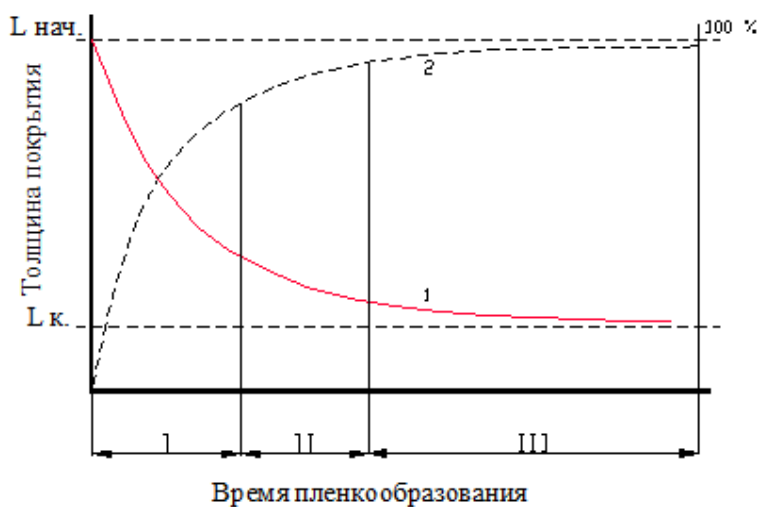


Рис. 1. Кинетика сушки лакокрасочного покрытия:  
1 – изменение толщины покрытия;  
2 – количество испарившегося растворителя

Первая стадия (I) характеризует испарение растворителей из жидкого лака, нанесенного на отделяемую поверхность. На этой стадии происходит наиболее интенсивное удаление летучих растворителей и уменьшение начальной толщины покрытия  $L_{нач}$ .

Вторая стадия (II) характеризуется образованием тонкой поверхностной пленки геля. Этому моменту соответствует начало высыхания

покрытия от пыли, что сопровождается уменьшением толщины лакокрасочного покрытия, его деформированием.

На третьей стадии (III) происходит дальнейшее испарение растворителей из неподвижной и твердеющей пленки. Процесс этот происходит очень медленно, что характеризуется кривой, асимптотически приближающейся к прямой линии, параллельной оси абсцисс. Так же медленно сокращается толщина лакокрасочного покрытия до конечной толщины  $L_k$ , при этом изменение массы слоя не происходит, что может служить косвенным показателем перехода лакокрасочного покрытия в стеклообразное состояние.

Для повышения защитных показателей лакокрасочного покрытия предлагается введение в лакокрасочную композицию чешуйчатого пигмента на основе слюды, обработанного  $TiO_2$ .

Введение пигмента в лакокрасочную композицию на основе пентафталевого и нитроцеллюлозного лаков позволяет не только улучшить защитные свойства покрытия, но и является также тестовой характеристикой окончания процесса образования покрытия.

При нанесении лакокрасочной системы на поверхность подложки частицы пигмента находятся непосредственно под слоем жидкого лака. По мере отверждения покрытия, в процессе испарения растворителя, частицы пигмента начинают всплывать. По окончании процесса формирования покрытия на поверхности образуется «листовочный» слой пигмента. В этот период летучие компоненты лаков испаряются и после этого масса покрытия практически не меняется.

Анализируя вышеизложенное, следует отметить, что выводы уравнений массопереноса в процессе формирования лакокрасочного покрытия на основе модифицированных алкидных смол представляют вполне научно-практический интерес, так как полученные результаты можно соотнести с наблюдаемыми в экспериментальных исследованиях данными и произвести необходимый расчет коэффициентов, что позволит расширить область использования полученных уравнений массопроводности и решить задачу прогнозирования поведения лаковой пленки в процессе сушки в широком диапазоне практических применений.

Массоперенос в твердой фазе, вызванный концентрационной неоднородностью системы, описывают феноменологическим уравнением массопроводности, называемом в теории сушки также уравнением диффузии влаги [2]:

$$i = -\alpha * gradu, \quad (1)$$

где  $i$  – плотность диффузионного потока по отношению к сечению, фиксированному на твердой фазе (частицы, гранулы и т. д.) или на одном из компонентов (при диффузии в газах и жидкостях),  $кг/м^2 с$ ;

$\alpha$  – коэффициент массопроводности,  $м^2/с$ ;

$u$  – концентрация связанного вещества,  $кг/м^3$ ,  $моль/м^3$ .

Уравнение массопроводности (1) помимо собственно молекулярной диффузии описывает также и другие виды массопереноса (например, капиллярный массоперенос) как в жидкой, так и в парогазовой фазе, а также массоперенос в капиллярно-пористых материалах в процессах сушки. Все выше сказанное дает возможность как и в других подобных задачах массопроводности использовать дифференциальное уравнение массопереноса [2].

Рассмотрим задачу высыхания лаковой пленки, толщиной  $L$  на поверхности древесины, как показано на рис. 2.

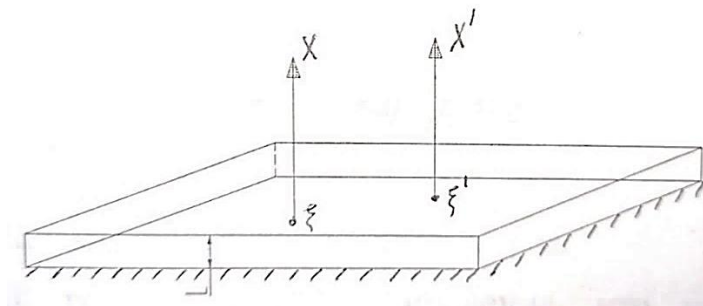


Рис. 2. Схематичное изображение лаковой пленки, нанесенной на поверхность древесины

Если рассмотреть две точки  $\xi$  и  $\xi'$ , то можно предположить, что условия высыхания на любых двух внутренних точках поверхности лаковой пленки одинаковы. Поэтому можно рассматривать одномерную задачу высыхания лакокрасочной системы вдоль оси координат  $X$ .

Введем переменную  $u(x, t)$  – потеря массы в точке  $x$  в момент времени  $t$ , кг/м<sup>3</sup>, где  $0 < x \leq L$ , где  $L$  – начальная толщина лакокрасочной пленки. Выбор переменной обусловлен тем, что испарение летучих компонентов лаков при сушке лакокрасочных покрытий сопровождается наибольшей потерей массы пленки.

Тогда уравнение массопереноса имеет вид:

$$u_t = \alpha^2 \cdot u_{xx}, \quad 0 < x \leq L, \quad t \geq 0 \quad (2)$$

где  $\alpha^2$  – коэффициент массопроводности, м<sup>2</sup>/с.

При этом начальные условия решения задачи:

$$u(x, 0) = u_0, \quad 0 \leq x \leq L \quad (3)$$

где  $u_0$  – начальная масса слоя в единице объема, кг/м<sup>3</sup>.

Граничные условия для решения задачи можно записать в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} u_x(0, t) = 0 \\ u_x(L, t) - h_b \cdot u(L, t) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $t \geq 0$ ;

$h_b$  – коэффициент массоотдачи в воздух, 1/м.

На нижней границе делаем допущение, что массопереноса в древесину не происходит. Это допущение достаточно грубое, однако для прояснения всех обстоятельств данной проблемы вполне пригодно для начальных рассуждений.

На верхней границе пары растворителя выносятся в воздух с коэффициентом массоотдачи  $h_b$  и граничные условия записываются как  $u_x(L, t) - h_b \cdot u(L, t) = 0$ , поскольку концентрацию растворителя в воздухе можно считать практически нулевой.

В результате математических преобразований, основанных на принципе метода разделения переменных, было получено уравнение изменения массы слоя:

$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2u_0 (\sin \lambda_n L)^2}{\lambda_n^2 L + \lambda_n / 2 \sin 2\lambda_n L} e^{-(\lambda_n \alpha)^2 t}, \quad (5)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots$  – удовлетворяют уравнению  $\operatorname{tg} \lambda L = -h/\lambda$ .

Каждое слагаемое в разложении (5) является функцией  $x$  и  $t$ . Отметим, что вклад слагаемых с большими номерами при положительном  $t$  очень мал благодаря множителю с экспонентой. Следовательно, при истечении достаточно большого времени полное решение приближенно совпадает с первым слагаемым.

Полученная математическая модель изменения массы слоя во времени позволяет контролировать процесс отверждения покрытия посредством адекватного подбора модифицирующих добавок и определения времени отверждения.

Наличие указанной модели позволяет кроме того производить математическое моделирование процесса сушки с минимальным количеством экспериментальных исследований.

### ***Список источников***

1. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах. – М. : Химия., 1980. – 130 с.
2. Гагарина С. В. Формирование защитно-декоративных покрытий древесины модифицированной нитроалкидной композицией : дис. ... канд. техн. наук: 28.12.1999 / Гагарина Светлана Валентиновна. – СПб., 1999. – 181 с.

### ***References***

1. Rudobashta S. P. Massopereenos in systems. – M. : Chemistry., 1980. – 130 p.
2. Gagarina S. V. Formation of protective and decorative wood coatings with modified nitroalkide composition: Dis. kand. techn. nauk : 28.12.1999 / S. V. Gagarin. – St. Petersburg, 1999. – 181 p.