

УДК 664.8.047

СНЕЖКИН Ю.Ф., РЕВА В.И., БОРЯК Л.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

АНАЛИЗ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ПРИ СУШКЕ НАДГЛАЗУРНЫХ МУФЕЛЬНЫХ КРАСОК

Встановлено залежність коефіцієнта тепловіддачі від довжини пластини та часу сушіння. За одержаним значенням коефіцієнта тепловіддачі побудована залежність $Nu = f(Re)$.

Установлена зависимость коэффициента теплоотдачи от длины пластины и от времени сушки. По полученным значениям коэффициента теплоотдачи построена зависимость $Nu = f(Re)$.

The dependence of factor heat transfer from length of a plate and from drying time is established. On the received meanings of factor heat transfer the dependence $Nu = f(Re)$ is constructed.

\bar{c} – теплоёмкость влажной краски;
 d – влагосодержание теплоносителя, г/кг сухого воздуха;
 $g = m/s$ – отношение абсолютно сухой массы краски к поверхности испарения;
 N^* – обобщенная скорость сушки;
 q^* – обобщенный тепловой поток;
 Rb – число Ребиндера;
 r – удельная теплота испарения;
 t – температура теплоносителя;

$\left[\frac{d\bar{U}}{d\tau} \right]_{max}$ – максимальная скорость сушки слоя краски;

V – скорость теплоносителя;
 W – абсолютная влажность материала;
 τ – время.

Индексы:

v – теплоноситель;
 m – поверхность материала;
 исп – испарение;
 нагр – нагревание.

Процесс сушки надглазурных муфельных красок изучался на экспериментальном стенде с помощью тепломассомеретрического устройства, разработанного в ИТТФ НАНУ [1,2]. При этом замерялись плотность теплового потока и температура слоя материала на трёх участках по длине пластины, что позволило построить кривые сушки (рис.1), скорости сушки (рис.2) и изменение температуры материала в процессе сушки (рис.3) [3].

Это позволило по зависимости $t = f(W)$ определить температурный коэффициент сушки $b = \frac{d\bar{t}}{d\bar{U}}$,

число Ребиндера $Rb = \frac{c}{r} \cdot \frac{d\bar{t}}{d\bar{U}}$ и провести анализ процессов теплообмена при сушке.

Как показали проведенные исследования, процесс сушки надглазурных муфельных красок протекает во втором периоде, что видно из кривых скорости сушки, представленных на рис.2.

Как видим, скорость сушки уменьшается от первого участка пластины ко второму, что можно объяснить уменьшением плотности теплового потока по длине пластины.

Из кривых скорости сушки определили критическое “влагосодержание” материала: $W_{кр1} = 40\%$, $W_{кр2} = 27\%$, $W_{кр3} = 9\%$.

Под влагосодержанием в данном случае понимаем количество органического растворителя в надглазурной муфельной краске, отнесенное к абсолютно сухой массе краски.

При сушке надглазурных муфельных красок к поверхности материала подводится тепловой поток, который расходуется на нагревание слоя краски и на испарение растворителя из краски.

Плотность теплового потока, расходуемого на нагревание слоя краски, определяется соотношением:

$$q_{нагр.} = \bar{c} \cdot g \cdot \frac{d\bar{t}}{d\tau}, \quad (1)$$

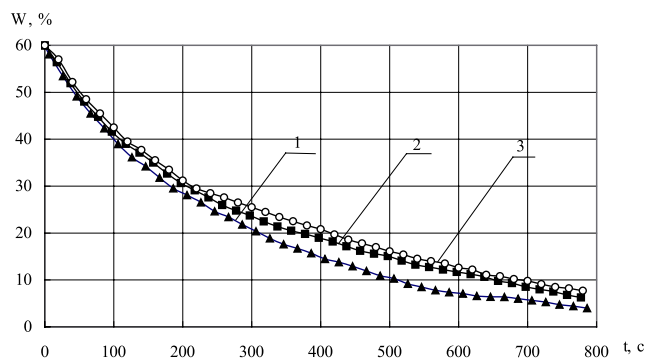


Рис.1. Кривые сушки чёрной муфельной краски:
 $t = 60^\circ\text{C}$, $V = 1 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха;
 1 – на первом участке пластины; 2 – на втором;
 3 – на третьем.

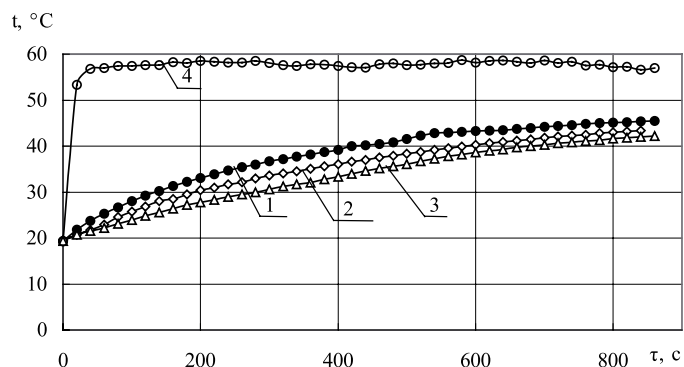


Рис.3. Изменение температуры материала в процессе сушки слоя краски:
 $t = 60^\circ\text{C}$, $V = 1 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха;
 1 – на первом участке пластины; 2 – на втором; 3 – на третьем; 4 – температура набегающего потока.

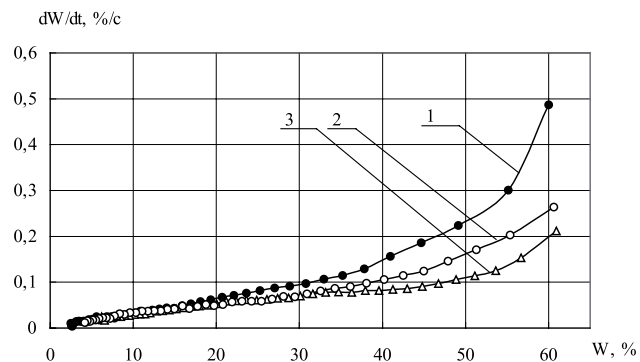


Рис.2. Кривые скорости сушки чёрной муфельной краски:
 $t = 60^\circ\text{C}$, $V = 1 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха;
 1 – на первом участке пластины;
 2 – на втором; 3 – на третьем.

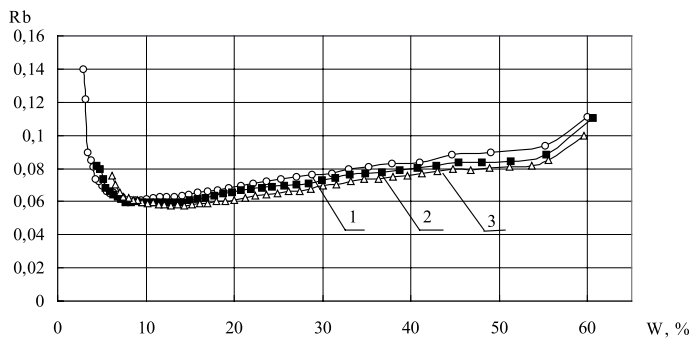


Рис.4. Характер изменения числа Рейбиндера при сушке чёрной краски:
 1 – на первом участке пластины; 2 – на втором;
 3 – на третьем.

При этом пренебрегаем усадкой слоя краски во время сушки.

Плотность теплового потока, расходуемого на испарение растворителя из слоя краски, вычисляется по формуле:

$$q_{\text{исп.}} = r \cdot g \cdot \frac{d\bar{U}}{d\tau}, \quad (2)$$

В соответствии с законом сохранения энергии удельный тепловой поток на единицу поверхности тела

$$q(\tau) = rg \frac{d\bar{U}}{d\tau} + cg \frac{d\bar{t}}{d\tau} = gr \frac{d\bar{U}}{d\tau} \left(1 + \frac{\bar{c}}{r} \cdot \frac{d\bar{t}}{d\bar{U}} \right). \quad (3)$$

Величина $\frac{d\bar{t}}{d\bar{U}}$ определяет изменение средней температуры материала, приходящееся на единицу изменения его среднего влагосодержания за бесконечно малый промежуток времени, и носит название температурного коэффициента сушки

$$b = \frac{d\bar{t}}{d\bar{U}}. \quad (4)$$

Для органического растворителя изменения числа Рейбиндера, представлено на рис. 4. В начале процесса сушки происходит прогревание материала, и число Рейбиндера снижается. В процессе сушки число Рейбиндера уменьшается почти до нуля, что ука-

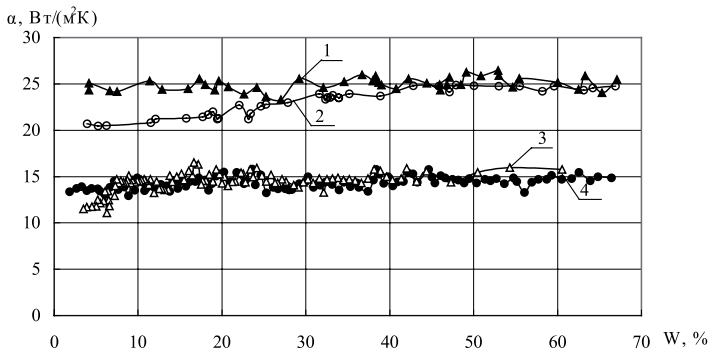


Рис.5. Значения коэффициента теплоотдачи при сушке чёрной краски:
 1 – $t = 80\text{ }^\circ\text{C}$, $V = 3\text{ м/с}$, $d = 10\text{ г/кг}$ сухого воздуха;
 2 – 60; 3; 10; 3 – 80; 1; 10; 4 – 60; 1; 10.

зывает на то, что теплота расходуется на испарение растворителя из слоя краски. При достижении третьего критического влагосодержания $W_{к3} = 9\%$ температура материала резко увеличивается и резко возрастает число Рейндера. Это указывает на то, что на заключительной стадии процесса сушки теплота расходуется на нагревание материала, а не на испарение из него растворителя, как и в случае испарения влаги из капиллярно-пористых материалов. Поэтому нецелесообразно повышать температуру теплоносителя при сушке надглазурных муфельных красок, так как кроме повышения затрат теплоты на нагревание слоя материала это не приводит к существенной интенсификации процесса сушки.

Сушка при пониженной температуре теплоносителя приводит к снижению числа Рейндера, т.е. к снижению тепловой нагрузки на материал.

При прохождении воздушного потока над пластиной снижается его температура и температура пластины, как показано на рис.3. Поэтому и число Рейндера снижается от одного участка пластины к другому, хотя общий характер числа Рейндера не изменяется.

Связь между теплообменом и массообменом устанавливается с помощью числа Рейндера

$$q^* = N^*(1+Rb). \tag{5}$$

Уравнение (5) называют основным уравнением кинетики сушки [4,5].

По известным величинам q^* можно рассчитать величину плотности теплового потока для различных режимов сушки:

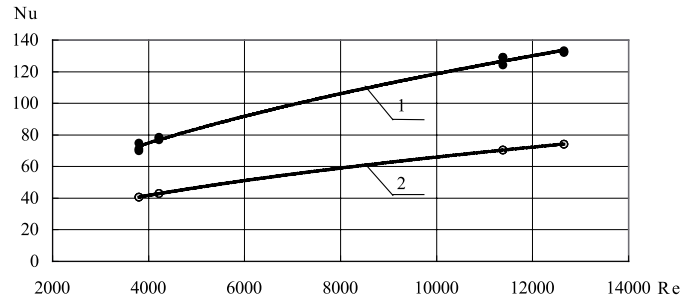


Рис. 6. Зависимость $Nu = f(Re)$ при сушке чёрной и люминесцентной краски:
 1 – $Nu = 1,15Re^{0,5}$ – при сушке краски;
 2 – $Nu = 0,66Re^{0,5}$ – при ламинарном обтекании чистой пластины [7].

$$q(\tau) = q^* \cdot g \cdot r \left[\frac{d\bar{U}}{d\tau} \right]_{max}. \tag{6}$$

Следует отметить, что на плотность теплового потока не влияет химический состав красок: надглазурная цветная краска или люминесцентная.

По известным $q(\tau)$ рассчитан коэффициент теплоотдачи α (рис.5).

$$\alpha = \frac{q(\tau)}{t_g - t_m} = f(W). \tag{7}$$

Как видно из рис.5, во время сушки надглазурной муфельной краски коэффициент теплоотдачи изменяется на 15...25%. По полученным значениям коэффициента теплоотдачи построена зависимость $Nu = f(Re)$. Расчеты проведены для пластин с нанесенным слоем как чёрной, так и люминесцентной краски.

Результаты расчетов $Nu = f(Re)$ представлены на рис.6. Увеличение числа Рейнольдса в 3 раза приводит к повышению числа Nu в 1,7 раза (на 40%).

Процесс теплообмена описывается уравнением:

$$Nu = 1,15 \cdot Re^{0,5}. \tag{8}$$

Вывод

Процесс сушки слоя краски, как и в случае сушки растительных материалов [6], интенсифицирует процесс теплообмена в сравнении с теплообменом при ламинарном обтекании пластины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Снежкін Ю.Ф., Рева В.І., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А.* Пристрій для визначення вмісту вологи в матеріалі. – Деклараційний патент № 6848. МПК G 01N 25/56. Заявка №20041210135 від 09.12.2004 р. Бюл. № 5, 2005.
2. *Снежкін Ю.Ф., Рева В.І., Боряк Л.А., Декуша Л.В., Воробьев Л.И.* Теплометрический метод исследования кинетики процесса сушки. // Пром. теплотехника. – 2005. – т.27. – № 4. – с.72–77.
3. *Рева В.И.* Исследование кинетики сушки надглазурных муфельных и люминесцентных красок. // Промышленная теплотехника. – 2005. – т.27. – № 4. – с.81–85.

4. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
5. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
6. *Снежкин Ю.Ф.* Научные основы разработки ресурсосберегающих теплотехнологий производства фруктово-ягодных порошков: Дис. д-ра техн наук: 05.14.04; 05.18.12. – К., 1993. – 631 с.
7. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. – 340 с.

Получено 09.11.2005 г.

УДК 66.063.2.011

РУДОБАШТА С.П.,¹ ЖУКОВ Н.П.,² ДМИТРИЕВ В.М.,² ЧУРИЛИН А.В.²

¹Московский государственный агроинженерный университет, Россия

²Тамбовский государственный технический университет, Россия

КИНЕТИКА ПРОПИТКИ И СУШКИ ИМПРЕГНИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Подано результати комплексних досліджень структурних властивостей абразивних інструментів на основі корунду, фізико-хімічних та реологічних властивостей імпрегнаторів – водяних полімерних дисперсій (Емукрила М, Емукрила 2М, Емукрида С), кінетики просичення ними та наступним сушінням абразивного інструмента. Запропоновано спосіб закріплення імпрегнатора у порах інструмента та апаратурно-технологічне оформлення операції просичення, термофікації та сушіння абразивних виробів. Одержано залежності для розрахунку тривалості стадій їх просичення та сушіння, розроблено методику інженерного розрахунку камерної циркуляційної сушарки періодичної дії для таких виробів. Показано підвищення ефективності та якості абразивної обробки металічних поверхонь імпрегнованими абразивними інструментами.

Представлены результаты комплексных исследований структурных свойств абразивных инструментов на основе корунда, физико-химических и реологических свойств дисперсий (Эмукрила М, Эмукрила 2М, Эмукрида С), кинетики пропитки ими и последующей сушки абразивного инструмента. Предложены способ закрепления импрегнатора в порах инструмента и апаратурно-технологическое оформление операции пропитки, термофиксации и сушки абразивных изделий. Получены зависимости для расчета продолжительности стадий их пропитки и сушки, разработана методика инженерного расчета камерной циркуляционной сушилки периодического действия для этих изделий. Показано повышение эффективности и качества абразивной обработки металлических поверхностей импрегнованными абразивными инструментами.

Results of complex investigations of structural properties of abrasive tools based on corundum, physical and chemical impregnator characteristics of dispersion water polymers as well as kinetics of abrasive tools impregnation and drying are presented. Means of impregnator fixation in tool interstice and mechanical design of impregnation, thermal treatment and drying operations are offered. Relations of impregnation and drying stages duration are obtained and methods of chamber circular batch dryer design calculations are proposed. Improvement in quality and efficiency of abrasive treatment of metallic plates by impregnated abrasive tools is shown.

C – массовая доля Эмукрила М в воде;
 D_3 – эффективный коэффициент диффузии влаги в импрегнованном АИ;

M – количество поглощенного импрегнатора;
 R – половина толщины пластины, радиус цилиндра или шара;