

обработанные интенсификатором (даже при температуре термофиксации – 160 °С), более темные, чем эталон с температурой термофиксации 200 °С. Значит, используя интенсификатор, можно достичь заданную интенсивность окраски при температуре зреления на ~ 35 °С ниже, либо возможно уменьшение содержания красителя в печатной краске без изменения температурного режима.

Подобные испытания были проведены при более низкой концентрации триклозана – 2 г/дм³ и с уменьшенным содержанием красителя (0,5 и 0,7 г/100 г краски).

Сравнивая цвет окрашенных образцов (Скрас = 1 г/100 г), обработанных триклозаном с концентрацией 2 и 3 г/дм³, можно заключить, что различия по светлоте невелики. Значит, при печатании в темные цвета достаточно концентрации триклозана 2 г/дм³. При крашении в более светлые тона (Скрас=0,5 г/100 г) для достижения цвета эталона надо увеличить концентрацию триклозана до 3 г/дм³, либо повысить температуру зреления с 170 °С до 180 °С. Следовательно, триклозан проявляет более сильное действие при печатании в темные тона. Влияние интенсификатора увеличивается с повышением времени обработки материала (с 20 до 60 мин).

Устойчивость окраски к трению в сухом и мокром состоянии для всех образцов достаточно высокая – 4–5 баллов. С повышением температуры термофиксации значения показателей увеличиваются. Применение интенсификатора способствует более глубокому проникновению красителя в волокно, устойчивость к трению несколько повышается.

Результаты проведенной работы на данном этапе указывают на целесообразность использования триклозана для печатания тканей, содержащих полиэфирные волокна.

Список использованных источников

1. Петрова-Куминская, С. В., Миронова, А.В., Гаранина, О.А. Придание антибактериальных свойств текстильным материалам, содержащим полиэфирные волокна, на стадии крашения / Вестник Витебского государственного технологического университета, 2018. – №1 (34). – С. 96–102.

УДК 66.04

МАССООБМЕН ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Протасов С.К., доц., Матвейко Н.П., проф.

*Белорусский государственный экономический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Ключевые слова: конвективная сушка, коэффициент массоотдачи, силикогель, скорость, сушильный агент, высота слоя, температура, влагосодержание материала.

Реферат. Теоретически обосновано влияние параметров сушильного агента на массообмен между высушиваемым слоем дисперсного капиллярно-пористого влажного материала с сушильным агентом во внешнедиффузионном кинетическом режиме. Опытным путем подтверждены теоретические выводы. Исследования проведены на лабораторной установке с диаметром сушильной камеры 0,064 м. В качестве капиллярно-пористого дисперсного материала использован силикагель со средним диаметром частиц 0,003 м. В каждой серии опытов изменяли скорость сушильного агента, его температуру, высоту слоя материала и его начальное влагосодержание. Получена формула для расчета объемного коэффициента массоотдачи в зависимости от скорости и температуры сушильного агента, высоты слоя и начального влагосодержания материала.

При конвективной сушке капиллярно-пористых дисперсных материалов сушильный агент проходит через слой материала и нагревает частицы. С поверхности частиц влага испаряется и уносится сушильным агентом.

Рассматривая конвективную сушку капиллярно-пористых дисперсных материалов как массообменный процесс, выделяют внешнедиффузионный, смешаннодиффузионный и внутридиффузионный кинетические режимы.

Внешнедиффузионный режим наблюдается в начальный период сушки, когда из частиц материала удаляется свободная и слабосвязанная влага. За счет испарения влаги влагосодержание материала в поверхностных слоях частиц становится меньше, чем в их внутренних частях. Создается градиент влагосодержания (разность влагосодержаний), направленный от центра частиц к периферии. Благодаря этому градиенту влага интенсивно перемещается из внутренних частей частиц материала в зону испарения.

В сушильном же агенте над поверхностью частиц образуется диффузионный пограничный слой, в котором влага переносится от поверхности частиц в сушильный агент за счет молекулярной диффузии. Скорость молекулярного переноса влаги очень мала по сравнению со скоростью переноса внутри материала. За пределами пограничного слоя преобладает конвективный перенос влаги, скорость переноса которого значительно больше скорости молекулярного переноса, поэтому основное сопротивление сосредоточено в пограничном слое.

Интенсификация процесса массопереноса во внешнедиффузионном кинетическом режиме возможна, если уменьшать толщину пограничного слоя, изменяя режим течения сушильного агента.

Смешаннодиффузионный кинетический режим в процессе сушки наступает тогда, когда из частиц материала наряду со свободной и слабосвязанной влагой начинает удаляться прочносвязанная влага. Поэтому внутридиффузионное сопротивление значительно увеличивается и становится равным или больше внешнего сопротивления.

При расчете сушки в смешаннодиффузионном режиме требуется учитывать влияние внешних и внутренних факторов. Это является трудной задачей, решение которой упрощают выполняя расчет по внешнедиффузионному кинетическому режиму.

Во внутридиффузионном кинетическом режиме удаляется только прочносвязанная влага, которая удерживается дисперсионными, электростатическими и индукционными силами. Вследствие энергетической ненасыщенности поверхности молекул и ионов твердого тела на его поверхности образуется мономолекулярный слой адсорбированной влаги. Этот слой наиболее сильно связан с материалом.

Изучение процесса сушки во внутридиффузионном режиме затруднен, поскольку необходимо знать механизм внутреннего движения потока влаги. Кроме этого, с течением времени сушки этот механизм движения влаги изменяется.

Рассмотрим конвективную сушку слоя капиллярно-пористого дисперсного материала нагретым воздухом с постоянной температурой и относительной влажностью на входе в сушилку. Примем размер частиц материала менее 0,003 м, то за счет их большой удельной поверхности распределение влагосодержания внутри частиц будет близким равновесному. Будем рассматривать удаление влаги во внешнедиффузионном кинетическом режиме, когда скорость сушки и все остальные параметры не меняются во времени. Давление паров воды над материалом будет равно давлению насыщенных паров чистой воды, а материал будет иметь температуру мокрого термометра, которая соответствует данному состоянию нагретого воздуха. В этом случае количество испаренной влаги будет пропорционально количеству подведенной воздухом теплоты к поверхности частиц.

Количество влаги, переходящее из влажного материала в сушильный агент во внешнедиффузионном кинетическом режиме, определяется с помощью коэффициента массопередачи. Поскольку основное сопротивление массопередачи сосредоточено в газовой фазе, то коэффициент массопередачи в расчетах можно заменить коэффициентом массоотдачи.

Массовый расход пара, проходящий через пограничный слой, определим из уравнения массоотдачи

$$M = \beta_x \cdot F \cdot \Delta x_{cp}, \quad (1)$$

где M – массовый расход влаги, кг/с; β_x – поверхностный коэффициент массоотдачи кг/(м²·с); F – поверхность испарения, м²; Δx_{cp} – средняя движущая сила массоотдачи, кг/кг с. а.

$$\Delta x_{\text{ср}} = \frac{\Delta x_{\text{б}} - \Delta x_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta x_{\text{б}}}{\Delta x_{\text{м}}}}, \quad (2)$$

где $\Delta x_{\text{б}} = x^* - x_{\text{н}}$; x^* ; $\Delta x_{\text{м}} = x^* - x_{\text{к}}$; x^* – влагосодержание сушильного агента при полном насыщении, кг/кг с. а.; $x_{\text{н}}$ – влагосодержание сушильного агента на входе в слой, кг/кг с. а.; $x_{\text{к}}$ – влагосодержание сушильного агента на выходе из слоя, кг/кг с. а.

При сушке капиллярно-пористых дисперсных материалов определить истинную поверхность испарения невозможно, поэтому поверхностный коэффициент массоотдачи заменим на объемный коэффициент массоотдачи. Тогда уравнение массоотдачи примет вид

$$M = \beta_V \cdot V \cdot \Delta x_{\text{ср}}, \quad (3)$$

где M – массовый расход влаги, кг/с; β_V – объемный коэффициент массоотдачи, кг/(м³·с); V – объем слоя частиц, м³; $\Delta x_{\text{ср}}$ – средняя движущая сила массоотдачи, кг/кг с. а.

Массовый расход влаги выразим из уравнения материального баланса

$$M = G (x_{\text{к}} - x_{\text{н}}), \quad (4)$$

где G – массовый расход сухого сушильного агента, кг/с.

Приравняем правые части уравнений (3) и (4)

$$\beta_V \cdot V \cdot \Delta x_{\text{ср}} = G (x_{\text{к}} - x_{\text{н}}). \quad (5)$$

Выразим из уравнения (5) коэффициент массоотдачи β_V

$$\beta_V = \frac{G}{V} \cdot \frac{x_{\text{к}} - x_{\text{н}}}{\Delta x_{\text{ср}}}. \quad (6)$$

В выражении (6) заменим $V = S \cdot H$, где S – площадь поперечного сечения сушильной камеры, м²; H – высота слоя материала, м. Кроме этого умножим и разделим правую часть выражения на $\rho_{\text{с.а.}}$ – плотность сухого сушильного агента, кг/м³, то получим следующее выражение

$$\beta_V = \frac{G}{\rho_{\text{с.а.}} \cdot S} \cdot \frac{\rho_{\text{с.а.}} \cdot (x_{\text{к}} - x_{\text{н}})}{H \cdot \Delta x_{\text{ср}}}, \quad (7)$$

где $G/S \rho_{\text{с.а.}} = \omega$ – скорость сухого сушильного агента на полное сечение сушильной камеры; м/с.

Тогда окончательное выражение получит вид:

$$\beta_V = \frac{\omega}{H} \cdot \frac{\rho_{\text{с.а.}} \cdot (x_{\text{к}} - x_{\text{н}})}{\Delta x_{\text{ср}}}. \quad (8)$$

Анализ формулы (8) позволяет сделать вывод, что объемный коэффициент массоотдачи зависит прямо пропорционально от скорости сушильного агента и обратно пропорционально от высоты слоя материала.

Опыты по определению коэффициента массообмена проводили по параметрам сушильного агента. Исследования проводили в экспериментальной вертикальной сушилке с неподвижной горизонтальной опорной решеткой в нижней части. Сушильный агент подавали снизу и прогревали сушилку до необходимой температуры. Сухой дисперсный материал предварительно взвешивали, а затем увлажняли до необходимого влагосодержания. Затем материал помещали на решетку. Перед решеткой и после слоя материала устанавливали термогигрометры. Через определенные промежутки времени с помощью термогигрометров фиксировали температуру и относительную влажность сушильного агента до и после слоя материала. Для каждого замера по диаграмме Рамзина определяли влагосодержание сушильного агента до и после слоя и его влагосодержание при полном насыщении. Затем по формуле (6) рассчитывали коэффициент массоотдачи.

В качестве сушильного агента использовали нагретый воздух, а в качестве пористого дисперсного материала – окрашенный силикагель КСМГ со средним диаметром частиц $3 \cdot 10^{-3}$ м. Высоту слоя материала изменяли от 0,04 м до 0,125 м. Температуру воздуха – от 40 до 125 °С. Величину массового расхода воздуха изменяли от $0,6 \cdot 10^{-3}$ до $2,18 \cdot 10^{-3}$ кг/с. Схема установки, ее описание и принцип работы представлены в работе [1].

Опытные данные математически обработаны и получена зависимость для расчета коэффициента массоотдачи:

$$\beta_V = 0,66 \cdot \frac{\omega}{H} \cdot t^{0,273} \cdot u_H^{-0,134}, \quad (9)$$

где t – температура воздуха, °С; u_H – начальное влагосодержание материала, кг/кг_{с.м.}

Из зависимости (9) видно, что теоретический вывод подтверждается опытными данными.

Список использованных источников

1. Протасов, С. К., Боровик, А. А., Вилькоцкий, А. И., Матвейко, Н. П. Исследование массоотдачи в конвективной сушилке // Химическая промышленность. – № 5. – 2015. – С. 120–122.

УДК 685.34.08

ПОЛУЧЕНИЕ ПОДОШВ ИЗ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ С ВОЛОКНИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Радюк А.Н., асп., Буркин А.Н., проф.

*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Ключевые слова: технология, переработка отходов, полиуретановые композиции, свойства.

Реферат. В работе представлен анализ технологий и методов переработки полимерных отходов. Рассматривается технология получения материалов и деталей низа обуви на основе отходов полиуретанов с добавлением в их состав ингредиентов, модифицирующих свойства и снижающих себестоимость изделий. Использование в качестве наполнителя волокнистых отходов позволяет создать новые материалы с заданными свойствами, достаточными для производства подошвенных материалов. Приведены результаты изготовления материалов и экспериментальных образцов подошв из отходов производства.

Все технологии переработки подразделяются на две группы: индустриальные и утилизационные. Индустриальные технологии аналогичны технологиям, применяемым для первичного сырья, а утилизационные – специальные технологии переработки вторичного сырья, в частности, отходов синтетических полимеров и полимерных композиций [1, 2]. Данные технологии позволяют осуществить переработку отходов большинства полимерных материалов.

В настоящее время основными направлениями переработки отходов обувных пенополиуретанов (ППУ) являются регенерация отходов ППУ способом деструкции, с помощью диспергирования и термомеханическим методом [3, 4]. При переработке ППУ возможно протекание вторичных реакций, например, образование аллофанатов и биуретов. Именно по этой причине отходы ППУ необходимо подвергать такому технологическому процессу, который полностью изменит молекулярную структуру и обеспечит повторное использование этих отходов. Наиболее рациональным путем переработки таких отходов является термомеханический метод. Данный метод заключается в разрушении отходов ППУ и преобразовании их в новый материал.

Для получения подошв в качестве основного компонента использовали вторичное полимерное сырьё в виде отходов ППУ. В условиях литья под давлением он обеспечивает фор-