

УДК 66.063.2.011

РУДОБАШТА С.П.¹, ЖУКОВ Н.П.², ДМИТРИЕВ В.М.², ЧУРИЛИН А.В.²¹ Московский государственный агроинженерный университет² Тамбовский государственный технический университет

СУШКА ИМПРЕГНИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Наведено результати експериментальних досліджень кінетики сушіння імпрегнованих абразивних кругів. Розроблено методику розрахунку конвективного сушіння імпрегнованих абразивних кругів та конструкцію промислового сушильного апарата.

Представлены результаты экспериментальных исследований кинетики сушки импрегнированных абразивных кругов. Разработана методика расчета конвективной сушки импрегнированных абразивных кругов и конструкция промышленного сушильного аппарата.

The experimental results of drying kinetics investigation for imbedded abrasive disks are presented. The calculation methodology of convective drying of imbedded abrasive disks and design of industrial drying device are developed.

a – коэффициент температуропроводности;

C – концентрация;

D – эффективный коэффициент диффузии;

E – относительная концентрация;

l – определяющий размер тела;

T – температура;

v – скорость подачи сушильного агента;

\bar{W} – среднееобъемное влагосодержание;

β – коэффициент массоотдачи;

ρ_0 – плотность материала;

τ – время;

ν – кинематический коэффициент вязкости;

$Bi_m = \frac{\beta_c l}{D_i \rho_0 A_{p,n}}$ – число Био;

$Gu = \frac{T_c - T_{m.t.}}{T_c}$ – число Гухмана;

$Lu = D/a$ – число Лыкова;

$Nu = \beta_c l / D$ – число Нуссельта;

$Pr = \nu / D$ – число Прандтля;

$Re = vl / \nu$ – число Рейнольдса;

АИ – абразивный инструмент.

Индексы:

m – диффузионный;

k – конечный;

м.т. – мокрый термометр;

n – начальный;

c – среда;

ε – эффективный.

Введение

Операции абразивной обработки составляют в технологических процессах изготовления деталей машин и приборов до 60-70 %. Так, в машиностроении из общего парка металлорежущих станков 12-15 % являются шлифовальными, хонинговальными и суперфинишными, а на заводах массового производства их значительно больше: в автомобильной промышленности – до 30 %, в подшипниковой – до 65-70 % [1].

Повышение эффективности и качества абразивной обработки является актуальной задачей, решение которой позволит получить значительный экономический эффект.

В настоящее время особое внимание привлекают пути повышения эффективности и качества абразивной обработки, связанные с совершенствованием инструмента.

Одним из методов, улучшающих эксплуатационные свойства абразивного инструмента, является его импрегнирование.

Изучен достаточно широкий диапазон импрегнаторов [2]. Среди них наиболее перспективными признаны органические соединения на углеводородной основе, обеспечивающие низкоэнергетическую интенсивность химического взаимодействия с обрабатываемым металлом [3].

При выборе импрегнатора следует учитывать следующие требования. Импрегнатор, введенный

в поры абразивного инструмента (АИ), должен обладать способностью улучшать показатели операции шлифования, обеспечивать смазку в процессе абразивной обработки, не снижать качества обработанной детали, не оказывать коррозирующего действия на станок, сохранять стабильность при хранении, удовлетворять требованиям пожарной безопасности, минимально загрязнять воздух и сточные воды, не оказывать вредного воздействия на организм человека.

Всем вышеперечисленным условиям отвечают водные полимерные дисперсии акрилатного и стирольного типов [4, 5]. При этом процессы массопереноса при пропитке АИ импрегнатором и сушке от водной составляющей дисперсии играют существенную роль в обеспечении качества готовой продукции.

Ввиду того, что процесс импрегнирования АИ водными дисперсиями предложен лишь в последнее время, то особенности тепломассообмена при сушке АИ изучены недостаточно. Это предопределило цели и задачи данного исследования.

Исследование кинетики сушки импрегнированных абразивных инструментов

При определении диффузионных свойств импрегнированных АИ использовался зональный метод, относящийся к группе методов нестационарного режима [6].

Метод основан на решении дифференциального уравнения массопроводности [7]. Полученное решение позволяет найти зависимость эффективного коэффициента диффузии от концентрации, используя кривую кинетики изотермической сушки. При этом необходимо исключить внешне диффузионное сопротивление ($Bi_m > 100$). Весь исследуемый интервал изменения концентраций $\bar{W}_H - \bar{W}_K$ разбивается на m концентрационных зон, в каждой из которой эффективный коэффициент \bar{D}_i принимается постоянным. Для i -той зоны определяется время изменения концентрации от $\bar{W}_{H,i}$ до $\bar{W}_{K,i}$, относительные концентрации \bar{E}_i и рассчитываются значения D_i по формуле:

$$D_i = \frac{\ln \frac{1}{E_i}}{\tau_i \sum_{j=1}^s \frac{\mu_j^2}{l_j^2}}, \quad (1)$$

где μ_j – первый корень характеристического уравнения для j -ой координаты; τ_i – время изменения концентрации, мин.

Керамические корундовые круги, пропитанные полимерной дисперсией и представляющие собой материалы со значительным внутридиффузионным сопротивлением, в процессе сушки быстро прогреваются, так как основная часть теплоты расходуется на нагрев [6]. Перенос влаги внутри высушиваемых АИ описывается основным уравнением массопроводности, аналогичным уравнению Фика для диффузии в растворах.

При рассмотрении процессов сорбции-десорбции низкомолекулярных веществ полимерными материалами различают «нормальную» и «аномальную» диффузию [6]. При температуре сушки АИ (333...353 К) латексная основа импрегнатора находится в высокоэластичном состоянии. Диффузия низкомолекулярных веществ в полимерах, находящихся в высокоэластическом состоянии, в большинстве случаев подчиняется закону Фика. Коэффициент диффузии для таких систем зависит только от концентрации. Время релаксационных процессов при температурах выше температуры стеклования является очень небольшим по сравнению со скоростью диффузии. Поэтому при сорбции-десорбции не проявляются какие-либо аномальные временные эффекты.

Зональный метод определения концентрационной зависимости эффективного коэффициента диффузии применим для материалов, перенос влаги в которых подчиняется закону Фика. Для обоснования применимости этого метода при исследовании процесса сушки импрегнированных кругов необходимо определить характер процесса десорбции воды из них. «Нормальность» или «аномальность» сорбции или десорбции можно установить на основе анализа кинетических кривых этих процессов, построенных в координатах

$$\frac{\bar{W}_H - \bar{W}_H}{\bar{W}_H}, \sqrt{\tau}.$$

Исследованию подвергались широко применяемые абразивные корундовые круги марок 25A12СМ26К5, 25A16СМ26К5, 25A25СМ26К5, 25A32СМ26К5, 25A40СМ26К5, характеризующиеся одинаковым объемом пор (40,5 %), но различным размером абразивного зерна (вследствие чего менялись размеры пор и их извилистость). Так же исследовались абразивные круги марок 25A25ПСМ16К5, 25A25ПС16К5, 25A25ПСТ16К5, характеризующиеся одинаковым размером абразивного зерна и различным объемом пор (42 %, 39 %, 36 % соответственно).

В качестве импрегнатора выбрана дисперсия (40 % масс.) сополимера этилакрилата, диметакрилового эфира этиленгликоля и метилолметакриламида в водной среде (Эмукрил М).

Экспериментальные кривые кинетики сушки импрегнированного круга снимались при температурах сушильного агента $T = 20 \dots 80$ °С. Каждая кривая сушки является результатом осреднения 4-5 опытов, проведенных в одинаковых условиях. Высокую скорость подачи воздуха (до 10 м/сек) применяли для интенсивного прогрева образца (при испытаниях цельных кругов большого размера) и снятия внешнедиффузионного сопротивления.

Для выделения изотермических участков кривых сушки, используемых при расчете зависимости коэффициента диффузии от концентрации, непосредственно измеряется температура в образце.

Кинетика нагрева влажных абразивных кругов в процессе сушки получена экспериментально. Измерение температуры осуществляли в среднем сечении круга на расстоянии L от центра,

$$L = \frac{R-r}{2} + r, \quad (2)$$

где R – радиус абразивного круга, м; r – радиус посадочного отверстия, м.

Полученные данные по кинетике нагрева влажных АИ в процессе сушки позволяют выделить изотермические участки на кривых кинетики сушки.

На основании данных по кинетике сушки в условиях, близких к изотермическим, можно провести анализ процесса десорбции для исследуемых систем.

Кривые десорбции, построенные в координатах $\frac{\bar{W}_H - \bar{W}}{\bar{W}_H}, \sqrt{\tau}$, (\bar{W} – среднеобъемное влагосодержание, соответствующее наступлению условий сушки, близких к изотермическим), представлены на рис. 1. Кривые десорбции имеют следующие особенности.

1. Количество удаляемой влаги в начальный период времени линейно зависит от $\sqrt{\tau}$. Линейная зависимость сохраняется в пределах 20-30 % от всего интервала изменения влагосодержания АИ.

2. На криволинейных участках кривых кинетики десорбции нет точек перегиба.

Процессы сорбции-десорбции, кривые кинетики которых имеют аналогичный вид, подчиняются закону Фика. В таких системах коэффициент диффузии зависит только от концентрации распределяемого вещества (при постоянной температуре процесса).

Отклонений от закона Фика не наблюдается и при более поздних стадиях сушки, т.к. концентрация и градиенты концентраций малы. Этим можно объяснить «нормальную» десорбцию воды из пленок сополимера.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о применимости зонального метода для кинетического расчета процесса конвективной сушки импрегнированных АИ.

С использованием кривых кинетики изотермической сушки импрегнированных АИ были най-

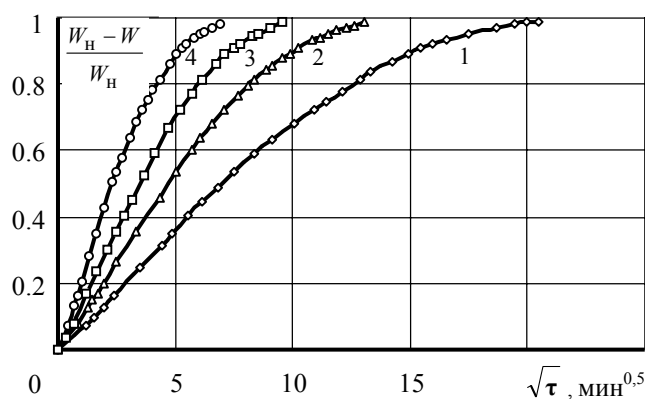


Рис. 1. Кривые десорбции импрегнированного круга 25A12ПСМ26К5, снятые при различных температурах: 1 – 20 °С; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80.

дены зависимости эффективного коэффициента диффузии от концентрации распределенного компонента и температуры (рис. 2).

Для проверки выполнения условия снятия внешнедиффузионного сопротивления ($Bi_m > 100$) на основании полученных данных по значениям коэффициентов эффективной диффузии были рассчитаны значения чисел Bi_m (рис. 3) для соответствующих интервалов температур сушильного агента по формуле:

$$Bi_m = \frac{\beta_c l}{D_i \rho_0 A_{p,n}}, \quad (3)$$

где $A_{p,n}$ – коэффициент распределения функции равновесия при значениях концентраций у поверхности материала [6].

Коэффициенты массоотдачи определяли из соответствующего критериального уравнения А.В. Нестеренко [8]:

$$Nu_m = A Pr_m^{0,33} Re^m Gu^{0,135}, \quad (4)$$

где A , m – коэффициенты, зависящие от гидродинамического режима процесса теплообмена. Значения чисел Bi_m в указанных интервалах температур находятся в пределах $(1...15) \cdot 10^3$. Эти данные свидетельствуют о том, что в опытах по определению диффузионных свойств пленок сополимера Эмукрил М рассматривалась чисто внутренняя задача переноса влаги.

В результате проведенных исследований установлено, что импрегнированные АИ характеризуются значительным внутридиффузионным сопротивлением (рис. 2), скорость процесса массопереноса при их конвективной сушке лимитируется только диффузионными свойствами АИ. Разработаны методика расчета процесса конвективной сушки импрегнированных АИ и конструкция промышленного сушильного аппарата, в котором реализовывались квазиизотермические условия процесса ($Lu = (0,1...0,26) \cdot 10^{-4}$) при условии снятия внешнедиффузионного сопротивления ($Bi_m = (3...34) \cdot 10^3$).

На рис. 4 представлена схема аппарата конвективной сушки АИ.

Сушилка состоит из следующих основных элементов: 1 – корпус; 2 – мотор-редуктор; 3 – ременная передача; 4 – абразивный инструмент (блок); 5 – распределительное устройство подвода

$D_e \cdot 10^{10}, \text{ м}^2/\text{с}$

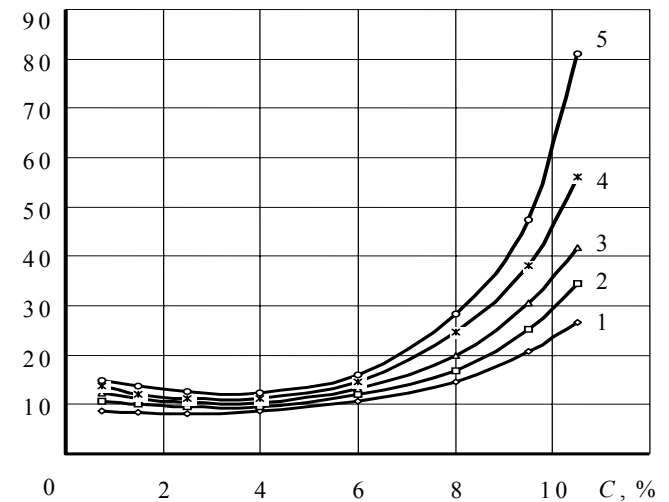


Рис. 2. Температурно-концентрационные зависимости эффективного коэффициента диффузии влаги D_e для импрегнированных АИ. Температура сушки $T = 80^\circ\text{C}$.
1 – 25А12ПСМ26К5Б, 2 – 25А16ПСМ26К5Б, 3 – 25А25ПСМ26К5Б, 4 – 25А32ПСМ26К5Б, 5 – 25А40ПСМ26К5Б.

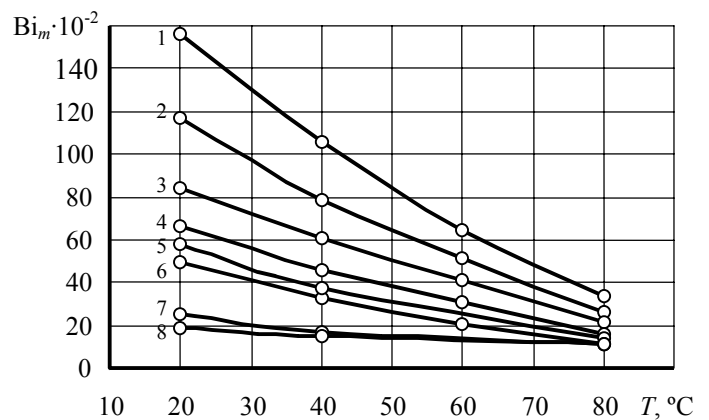


Рис. 3. Значения чисел Bi_m при сушке импрегнированных кругов марок:
1 – 25А12ПСМ26К5, 2 – 25А16ПСМ26К5, 3 – 25А25ПСМ26К5, 4 – 25А32ПСМ26К5, 5 – 25А40ПСМ26К5, 6 – 25А25ПСМ16К5, 7 – 25А25ПС16К5, 8 – 25А25ПСТ16К5.

и отвода сушильного агента; 6 – патрубок для дополнительного ввода свежего сушильного агента; 7 – центробежный вентилятор; 8 – патрубок для частичного отвода отработанного сушильного агента; 9 – калорифер.

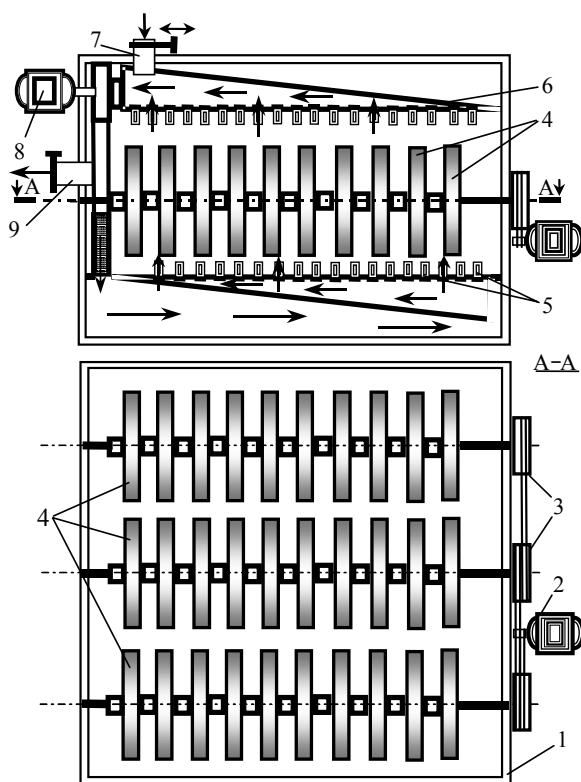


Рис. 4. Конвективная сушилка с рециркуляцией теплоносителя.

Заключение

1. Проведено исследование кинетики сушки влажных импрегнированных абразивных кругов. Показана правомерность применения основного уравнения массопроводности для описания процесса миграции влаги в рассматриваемых системах: абразивный круг – импрегнатор, а следовательно, и целесообразность расчета кинетики процесса на основе этого уравнения.

2. Получены температурно-влажностные зависимости коэффициента диффузии влажных импрегнированных АИ. Обнаружено увеличение коэффициентов диффузии с повышением влажности импрегнированных кругов, объяснимое пластифицирующим воздействием воды на полимерные плёнки, адсорбированные на стенках пор АИ и образовавших перегородки в узких местах пор во время сушки дисперсии.

3. Исследована кинетика нагрева влажных, импрегнированных полимерной дисперсией, абразивных кругов с большой величиной внутри диффузионного сопротивления в поздних стадиях конвективной сушки. Обнаружено, что подобные системы быстро прогреваются до температуры

среды и процесс сушки протекает практически в условиях равенства температур среды и сложной системы, состоящей из АИ, импрегнированного сополимером. Кинетика сушки АИ лимитируется только диффузионными свойствами высушиваемого материала, обладающего значительным внутридиффузионным сопротивлением ($D_3 = (1 \dots 80) \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$).

4. В результате проведенных исследований разработана методика расчета промышленного аппарата для сушки импрегнированных абразивных кругов, в котором реализуются квазиизотермические условия процесса сушки ($Lu = (0,1 \dots 0,26) \cdot 10^{-4}$) при условии снятия внешнедиффузионного сопротивления ($Bi_m = (3 \dots 34) \cdot 10^3$). Сушильный аппарат рекомендован к использованию на машиностроительных заводах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оробинский В.А.* Абразивные методы обработки и их оптимизация / В.А. Оробинский. – 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 2000. – 314 с.
2. *Островский В.И.* Импрегнированный абразивный инструмент / В.И. Островский. – М.: НИИ-Маш, 1983. – 72 с.
3. *Гороховский Г.А.* Полимеры в технологии обработки металлов / Г.А. Гороховский. – Киев.: Наукова думка, 1975. – 224 с.
4. А.с. № 1604590 СССР, МКИ В24Д 3/34. Способ импрегнирования абразивного инструмента на основе корунда / Н.Ф. Майникова, С.М. Опарин, Ю.В. Воробьев, В.А. Роцин. БИ № 41, 1990.
5. А.с. № 1726222 СССР, МКИ В24Д 3/34. Способ импрегнирования абразивного инструмента на основе корунда / Н.Ф. Майникова, С.М. Опарин, Ю.В. Воробьев, В.А. Роцин. БИ № 14, 1992.
6. *Рудобаишта С.П.* Массоперенос в системах с твердой фазой / С.П. Рудобаишта. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
7. *Рудобаишта С.П.* Диффузия в химико-технологических процессах / С.П. Рудобаишта, Э.М. Карташов. – М.: Химия, 1993. – 208 с.
8. *Лыков А.В.* Тепломассообмен: Справочник – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

Получено 14.07.2004 г.