

натяжение медной микропроволоки в развернутом виде:

$$(5) \quad T_{.m} = e^{f_1\beta} \left[ (T_{.m0} + Q \cdot f) \cdot e^{f_1\alpha} + Q \cdot f \right].$$

Приведенная формула не учитывает вращения тормозных шайб. При этом расчетная величина натяжения получается немного завышенной. Кроме этого, при выводе зависимости (5) медная микропроволока полагалась идеально гибкой и имеющей постоянный диаметр.

Вычислим натяжение медной микропроволоки по формуле 5, подставив следующие значения:  $T_{.m0}=1$  сН;  $\alpha=\pi=3,14$  рад;  $\beta=\pi/2=1,57$  рад;  $f=0,12$ ;  $f_1=0,36$ ;  $Q=10$  сН. В результате вычисления получаем натяжение медной микропроволоки на выходе натяжного прибора  $T_{.m}=14,11$  сН. В таблице 1 представлены значения натяжения медной микропроволоки при прохождении питающего устройства.

Таблица 1 – Натяжение медной микропроволоки при прохождении питающего устройства

| Вид натяжения   | Значение, сН |
|---|--------------|
| Натяжение нити после выхода из натяжителя, $T_{.m1}$            | 2,2          |
| Натяжение после огибания металлического стержня, $T_{.m2}$      | 6,81         |
| Натяжение после второго стержня натяжного устройства, $T_{.m3}$ | 8,01         |
| Результирующее натяжение медной микропроволоки, $T_{.m}$        | 14,11        |

Анализируя, полученные результаты можно сделать вывод, что при абсолютной разрывной нагрузке медной микропроволоки 35 сН, предварительное её натяжение при прохождении питающего устройства значительно меньше разрывной нагрузки комбинированной пряжи, что обеспечит минимальную обрывность в процессе формирования комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности.

УДК 678.744.72+620.192.53

## КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, СШИТОГО НАСЫЩЕННЫМИ ДИКАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

*К.х.н., доц. Степин С.Г., к.х.н., доц. Соколова Т.Н., к.т.н., доц. Алексеев И.С.*

*Витебский государственный технологический университет*

*к.х.н., с.н.с. Дикусар Е. А.*

*Институт физико-органической химии Национальной академии наук Республики Беларуси*

Поливиниловый спирт синтезируют кислотным или основным гидролизом поливинилацетата в метанольном или диоксановом растворе при нагревании [1]. Он чрезвычайно устойчив к действию масел, жиров и большинства органических растворителей. Лучшим растворителем для поливинилового спирта является вода. В зависимости от степени гидролиза и содержания непрореагировавших ацетатных групп поливиниловый спирт по-разному растворяется в воде. При содержании менее 5% ацетатных групп поливиниловый спирт не растворяется в холодной воде, но легко растворяется при нагревании до 70<sup>0</sup>С, при содержании ацетатных групп 20% он растворяется в воде при 40<sup>0</sup>С. Растворимость поливинилового спирта в воде также зависит от стереорегулярности. Синдиотактический поливиниловый спирт не растворяется и практически не набухает в воде при нагревании до 85<sup>0</sup>С. Поливиниловый спирт размягчается при нагревании, но не плавится при обычных условиях. При длительном нагревании до 160-170<sup>0</sup>С он теряет способность растворяться в воде вследствие дегидратации и окисления. Поливиниловый спирт имеет хорошую адгезию к различным материалам, нетоксичен, обладает хорошей атмосферостойкостью и стойкостью к окислению [1]. Недостатком поливинилового спирта является низкая влагостойкость, которую можно устранить при помощи сшивки. Сшивка поливинилового спирта может быть осуществлена такими сшивающими агентами как: эпихлоргидрином в щелочной среде; диальдегидами (глутаровым, янтарным, терефталевым, тиодиацетальальдегидом) в кислой среде. Также в качестве сшивающих агентов могут использоваться янтарная, малеиновая, полиакриловая кислоты и п-ксилендихлорид [2,3]. Нерастворимый в воде поливиниловый спирт можно получить обработкой его фосфорной

кислотой при нагревании, обрабатывая диизоцианатами или нагреванием поливинилового спирта с каталитическими добавками  $\beta$ -нафталинсульфокислоты.

Сшитый поливиниловый спирт находит применение в легкой промышленности в качестве эффективного модификатора трикотажа для производства мокасин-ботинок [4]. Он может найти применение в медицине в качестве гидрофильного носителя для иммобилизации ферментов [2], производства модифицированного трикотажа с бактерицидным действием для хирургии [5]. Чрезвычайно перспективными являются нановолокна на основе поливинилового спирта с бактерицидными свойствами, полученные методом электроспиннинга [6].

В работе [7] синтезированы сшитые поливинилоксалаты с различным соотношением поливинилового спирта и щавелевой кислоты и исследовано их набухание в воде

В настоящей работе синтезированы образцы поливинилового спирта сшитого насыщенными дикарбоновыми кислотами и исследована его кинетика набухания и содержание гель-фракции.

В качестве сшивающих агентов использованы следующие дикарбоновые кислоты: щавелевая, малоновая, янтарная, глутаровая, адипиновая.

Навески поливинилового спирта растворяли в воде при нагревании на водяной бане. К полученному раствору добавляли водный раствор дикарбоновой кислоты. На 0.04 моль поливинилового спирта брали  $7.5 \cdot 10^{-4}$  моль дикарбоновой кислоты. Раствор выливали в чашки Петри и высушивали на воздухе. Сшивку пленок поливинилового спирта проводили при нагревании в воздушном стерилизаторе Витязь ГП-40-3 с программируемым регулированием температуры с шагом  $1^\circ\text{C}$  и временем 1 минута, при  $130^\circ\text{C}$  в течение 10 минут.

Образцы пленок взвешивали на аналитических весах, погружали в дистиллированную воду и взвешивали через определенные промежутки времени. Степень набухания определяли по формуле.

$$\alpha = (m - m_0) / m_0 \times 100,$$

где  $\alpha$  – степень набухания, %;  $m$  – масса полимера после набухания, г;  $m_0$  – масса полимера до набухания, г.

Скорость набухания лимитируется скоростью взаимной диффузии компонентов системы и для полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии, обычно удовлетворительно описывается кинетическим уравнением первого порядка.

$$v = da/dt = k(\alpha_{max} - \alpha),$$

где  $v$  – скорость набухания, %/с,  $k$  – константа скорости набухания,  $\text{с}^{-1}$ ,  $\alpha_{max}$  – максимальная степень набухания, %,  $t$  – время набухания, с. Интегрируя данное уравнение получаем уравнение для расчета константы скорости набухания.

$$k = 1/t \times \ln \alpha_{max} / (\alpha_{max} - \alpha)$$

Набухание образцов поливинилового спирта описывается уравнением первого порядка. С использованием компьютерной программы методом наименьших квадратов определены значения констант скоростей набухания. Скорость набухания рассчитана для времени 10 мин.

Определение гель-фракции проводили многократной экстракцией образцов сшитого поливинилового спирта водой при комнатной температуре. Пленки высушивали на воздухе, прогревали при  $130^\circ\text{C}$  в течение 10 минут и взвешивали на аналитических весах. Кинетические параметры набухания сведены в таблицу.

Таблица – Кинетические параметры процесса набухания сшитого поливинилового спирта

| № | Кислота    | $\alpha_{max}, \%$ | $v, \%/с$            | $k, \text{с}^{-1}$   | Гель-фракция, % |
|---|------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | Щавелевая  | 135                | $8.74 \cdot 10^{-5}$ | $6.72 \cdot 10^{-4}$ | 87              |
| 2 | Малоновая  | 64                 | $8.14 \cdot 10^{-4}$ | $2.22 \cdot 10^{-3}$ | 91              |
| 3 | Янтарная   | 62                 | $3.97 \cdot 10^{-5}$ | $1.19 \cdot 10^{-3}$ | 90              |
| 4 | Глутаровая | 61                 | $3.08 \cdot 10^{-5}$ | $1.23 \cdot 10^{-3}$ | 90              |
| 5 | Адипиновая | 58                 | $3.57 \cdot 10^{-5}$ | $1.34 \cdot 10^{-3}$ | 91              |

Как видно из данных таблицы максимальная степень набухания уменьшается с увеличением числа атомов углерода в сшивающем агенте.

Наиболее быстрое достижение равновесия набухания наблюдается в образцах сшитых

глутаровой кислотой. Содержание гель-фракции в поливинилово спирте шитом щавелевой кислотой ниже, чем в спирте шитом остальными кислотами. Содержание гель-фракции остальных образцах практически не отличается в пределах погрешности эксперимента.

Следует отметить, что вода после определения гель-фракции не содержит неотвержденного поливинилового спирта, т.к. не дает синей окраски с раствором иода в иодиде калия, которая характерна для поливинилового спирта. Вероятно, уменьшение массы образцов вызвано удалением непрореагировавших кислот или линейных не сшитых кислых эфиров поливинилового спирта. Известно, что скорость этерификации дикарбоновых кислот значительно выше чем у монокарбоновых, причем с увеличением числа углеродных атомов между карбоксильными группами в алифатических дикислотах их реакционная способность к этерификации сначала возрастает, достигая максимума для глутаровой кислоты, а затем уменьшается [8]. Значения максимальной степени набухания уменьшаются с увеличением числа углеродных атомов между карбоксильными группами, что удовлетворительно коррелирует с реакционной способностью дикарбоновых кислот в реакции этерификации.

Степень набухания является важной характеристикой сшитого полимера, т. к. позволяет оценить плотность сшивок и рассчитать среднюю молекулярную массу звена между сшивками. Гель-фракция характеризует долю сшитого полимера в образце. Знание значений скоростей набухания и констант скоростей набухания позволяет синтезировать полимеры носители лекарственных средств с различной скоростью высвобождения лекарственных средств и разрабатывать эффективные модификаторы текстильных материалов.

#### Список использованных источников

1. Ушаков, С.Н., Поливиниловый спирт и его производные/ С.Н.Ушаков. - М.Л.: Изд. АН СССР.- Том 1. -1960. -552 с.
2. Ямсков, И.А. Гидрофильные носители на основе поливинилового спирта для иммобилизации ферментов/ И.А. Ямсков, М.В. Буданов, В.А. Даванков //Биоорг. химия. - 1979. -Т. 5. -№11. -С. 1728-1734.
3. Сорбционное разделение электролитов на поперечно сшитом поливинилово спирте/ Груздева А.Н. [и др.] //Журн. физ. химии. -2005. -Т. 79.- №7. -С. 1325-1327.
4. Разработка рациональной конструкции мокасин-ботинок с использованием модифицированного трикотажа/Смелкова С.В. [и др.] Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фрумкина посвящается», М.: Ч.3. – 2014. – С. 122-129.
5. Ковалевич, Е.Е. Исследование эффективности способов модификации трикотажа для хирургии / Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск – 2012) / Е.Е., Ковалевич, С.Г. Степин // Сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов . Ч.1. – Иваново: ИГТА, 2012. – С.84-85.
6. Алексеев, И.С. Синтез нити с бактерицидными свойствами из полимерных наноразмерных волокон/ И.С. Алексеев, С.Г. Степин, И.А. Дорошенко//Вестник ВГТУ Вестник ВГТУ . – 2013. – Вып. 25. – С.78-81.
7. Исследование набухания поливинилоксалата/ Гораева О.Ф. [и др.]// Материалы докладов 46 РНТК ВГТУ, Витебск, 2013. - С. 205-206.
8. <http://www.ngpedia.ru/id435076p3.html>

УДК 615. 468.21:546.841

## **БАКТЕРИЦИДНЫЕ БИНТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫМ СЕРЕБРОМ И ПОЛИАКРИЛАТОМ СЕРЕБРА**

**К.х.н., доц. Степин С.Г., к.т.н., доц. Алексеев И.С.**

*Витебский государственный технологический университет*

**к.в.н., доц. Журба В. А.**

*Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной  
медицины*

Современная медицина и ветеринария использует разнообразные средства для лечения ран [1,2]. В настоящее время круг показаний для применения повязок значительно расширился.