

Капиллярный эффект слоев резиноканевого композита

Станислав Ю. Ямилинец ¹	ymlnz@yandex.ru	 0000-0002-9598-1117
Иоланта В. Губанова ¹	iolanta23@gmail.com	 0009-0003-2827-2286
Мария Д. Козлова ¹	mdkozlova14-15@mail.ru	
Александр П. Кондратов ¹	apkrezerv@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Резиноканевые композиты являются представителем класса анизотропных армированных композиционных слоистых материалов, предназначенных для эксплуатации в контакте с жидкой средой. Каждый слой композита выполняет определённую функцию при эксплуатации полиграфических машин. Слой резины расположен на поверхности материала и непроницаем для гидрофильных жидкостей, но может ограниченно набухать в органических растворителях. Слои тканей обеспечивают структурную целостность и натяжение слоистого композиционного материала и защищены от проникания жидкой среды слоями резины в плоскости перпендикулярной расположению слоёв. В плоскости параллельной расположению слоёв ткань проницаема для водных растворов, органических растворителей. Проницаемость основана на капиллярном эффекте впитывания. Для ликвидации анизотропии проницаемости армированных композиционных слоистых материалов, предложено на торцевую поверхность наносить дополнительные слои закрывающие доступ жидкости в капиллярное пространство сквозь поры, промежутки между нитями и волокнами слоёв ткани. Дополнительные слои наносят кистью или погружением в растворы суспензии и эмульсии плёнообразующих полимеров: поливинилового спирта, политетрафторэтилена и акрилового полиэфира. В статье описаны экспериментальная методика оценки пористости и расчет среднего радиуса капилляров с использованием физической модели пористой структуры композита. Капиллярное давление, приводящее к впитыванию, описывается законом Лапласа. Лабораторный стенд представляет собой модернизированный прибор Клемма–Винклера. Измерено проникновение жидкостей в пористую структуру композитного резиноканевого материала через торцевую поверхность. Рассчитаны размеры пор в структуре композита, их количество, объем, и скорость заполнения водой пор через торцевую поверхность в образцах анизотропных армированных композиционных слоистых материалов применяемых в полиграфии. Показано снижение проницаемости воды сквозь защитные слои на торцевой поверхности в зависимости от химического и фазового состава плёнообразующих полимеров. Сопоставлены диаграммы проницаемости, кинетики впитывания и таблицы параметров пористости резиноканевого композита. Определены доли капилляров различного диаметра и их распределение по площади сечения.

Ключевые слова: модификация поверхности, пористость, закон Лапласа, прибор Клемма–Винклера, резиноканевый композит.

Capillary effect of layers of rubber-fabric composite

Sergey Yu. Yamilinets ¹	ymlnz@yandex.ru	 0000-0002-9598-1117
Irina V. Gubanova ¹	iolanta23@gmail.com	 0009-0003-2827-2286
Mariya D. Kozlova ¹	mdkozlova14-15@mail.ru	
Aleksandr P. Kondratov ¹	apkrezerv@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, 38 B.Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Abstract. Rubber-fabric composites are a representative of a class of anisotropic reinforced composite laminates designed for operation in contact with a liquid medium. Each layer of the composite performs a specific function in the operation of printing machines. The rubber layer is located on the surface of the material and is impervious to hydrophilic liquids, but can swell to a limited extent in organic solvents. Layers of fabrics provide structural integrity and tension of the layered composite material and are protected from the penetration of the liquid medium by layers of rubber in a plane perpendicular to the arrangement of the layers. In a plane parallel to the arrangement of layers, the fabric is permeable to aqueous solutions and organic solvents. Permeability is based on the capillary effect of absorption. To eliminate the anisotropy of the permeability of reinforced composite layered materials, it is proposed to apply additional layers on the end surface that block the access of liquid to the capillary space through the pores, gaps between the threads and fibers of the fabric layers. An additional layer is applied by brushing or dipping into solutions of suspensions and emulsions of film-forming polymers: polyvinyl alcohol, polytetrafluoroethylene and acrylic polyester. The article describes an experimental technique for estimating porosity and calculating the average radius of capillaries using a physical model of the porous structure of the composite. The capillary pressure leading to absorption is described by Laplace's law. The laboratory stand is a modernized Klemm-Winkler device. The penetration of liquids into the porous structure of a composite rubber-fabric material through the end surface was measured. The sizes of pores in the structure of the composite, their number, volume, and the rate of filling of pores with water through the end surface in samples of anisotropic reinforced composite layered materials used in printing were calculated. A decrease in water permeability through protective layers on the end surface is shown depending on the chemical and phase composition of film-forming polymers. Diagrams of permeability, absorption kinetics and tables of porosity parameters of the rubber-fabric composite are compared. The proportions of capillaries of different diameters and their distribution over the cross-sectional area were determined.

Keywords: surface modification, porosity, Laplace's law, Klemm-Winkler device, rubber-fabric composite.

Для цитирования

Ямилинец С.Ю., Губанова И.В., Козлова М.Д., Кондратов А.П. Капиллярный эффект слоев резиноканевого композита // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 233–239. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-233-239

For citation

Yamilinets S.Yu., Gubanova I.V., Kozlova M.D., Kondratov A.P. Capillary effect of layers of rubber-fabric composite. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 233–239. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-233-239

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Резинотканевые композитные полотна набухают в жидкостях благодаря физической сорбции и капиллярному эффекту [1]. Используемые в полиграфии резинотканевые композиционные полотна при работе контактируют с красками, лаками и технологическими жидкостями, но не подвержены набуханию, поскольку верхняя рабочая поверхность полотна из резины защищает остальные слои ткани и вспененной резины [2, 3]. Однако торцевые поверхности полотна могут контактировать с используемыми увлажняющими растворами и смывками [4, 5]. Ранее исследовано физическое набухание резинотканевых композитов и изменение их механических и эксплуатационных свойств [1–3]. Под влиянием воды и водных растворов значительно ухудшаются свойства композита при циклических сжатиях.

Для предотвращения негативного эффекта набухания полотна предложено защищать торцы композита тонким слоем лака получаемого из суспензии фторопласта (Ф4Д), водного раствора поливинилового спирта (ПВС) или эмульсии акрилового полиэфира (АСМ) [6, 7]. На базе методик оценки гигроскопичности бумаги, количества и размера пор была разработана новая методика. Ранее такие задачи решались оптико-акустическим методом [8–11], но в отличие от него предложенная методика не требует специального оборудования и может быть выполнена на аналитических весах.

Согласно капиллярной модели пористость резинотканевых полотен эквивалентна серии каналов, структура которых более сложная, чем структура отдельного капилляра. Капиллярная структура полотна состоит из пор вспененной резины, межфазового пространства между нитями и их волокнами. Физически эта структура представляется в виде пакета параллельных капилляров различного диаметра. Капилляры расположены вдоль основной нити, вдоль утка и перпендикулярно полотну. В случае перпендикулярного расположения капилляров их длина равна толщине полотна, в остальных случаях длина не ограничена. Для описания пористости пакета параллельных капилляров существуют математические модели расчета по формулам Пуазеля, Лапласа, Лапласа–Пуассона, Юнга–Лапласа, Пюизё [12, 13].

Наиболее часто используется физическая модель пористой структуры, в которой полотно представлено в виде пакета прямых капилляров различного диаметра. В качестве структурного элемента подлежащего экспериментально определению является средний диаметр капилляров и доля пористости композитного резинотканевого полотна соответствующая капиллярам определенного диаметра. Распределение капилляров

по средним размерам определяется по известной зависимости высоты поднятия жидкости от диаметра капилляра [14–20].

Следует учитывать, что в ткани могут присутствовать не только цилиндрические капилляры, но и другие микроструктуры (сферические поры или плоские трещины), которые существенно влияют на скорость смачивания и растекание жидкости.

Пористость – объем пор, пустот и капилляров, содержащихся в 1 см³ композита, определяется расчетным способом по результатам взвешивания образца полотна насыщенного жидкостью:

$$P = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{композита}}} \quad (1)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объем пор; $V_{\text{композита}}$ – объем композита.

Так как капилляры ткани и бумаги не имеют определенной формы и различаются размерами, то вводится условный показатель – средний радиус пор, определяемый на основании изучения кинетики впитывания.

Относительное количество пор (N) среднего радиуса (r) на единицу площади горизонтального сечения резинотканевого композита можно рассчитать, исходя из плотности жидкости и материала. При этом мы предполагаем, что капилляры располагаются строго вертикально.

$$N = \frac{V_{\text{пор}}}{h \pi r^2} \quad (2)$$

Капиллярная структура бумаги и ткани представляется как система правильных цилиндрических капилляров одинакового радиуса (r). Капиллярное давление (P), приводящее к впитыванию, зависит от радиуса капилляров r и межмолекулярных сил притяжения обуславливающих натяжение поверхности жидкости на межфазной границе с воздухом. Величина капиллярного давления оценивается по поверхностному натяжению жидкости (σ) и краевому углу смачивания (θ) гладкой горизонтальной поверхности материала (закон Лапласа):

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (3)$$

Время впитывания, т. е. время течения жидкости по вертикальному капилляру определенного диаметра зависит от вязкости жидкости:

$$r_i = \frac{2\eta h_i}{\pi t_i \sigma g} \quad (4)$$

где r_i – средний радиус капилляров i -того образца, м; η – вязкость жидкости, Па·с или Н·с/м²; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; t_i – время поднятия до верхней границы i -го образца, с; h_i – высота поднятия жидкости до верхней границы i -го образца, м; g – ускорение свободного падения, м/с²,

Решая систему уравнений 3 и 4 мы получим:

$$t = \frac{2\eta h}{\pi r \sigma g} \quad (5)$$

где t – время впитывания, σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, h – высота подъёма жидкости в капилляре определенного размера, η – вязкость жидкости, r – средний радиус капилляра.

Материалы и методы

В методике использовали модернизированный прибор «Клемма–Винклера», секундомер и аналитические весы [14].

Модernизированный прибор «Клемма–Винклера» представляет собой вертикально расположенную металлическую линейку, вдоль которой стопкой закреплены вырезанные из пористого композита образцы призматической формы высотой 2–5 мм плотно соприкасающиеся друг с другом торцами (рисунок 1). Нижний образец композита стоит на пропитанной губке, погруженной в исследуемую жидкость (дистиллированную воду) до её верхнего края.

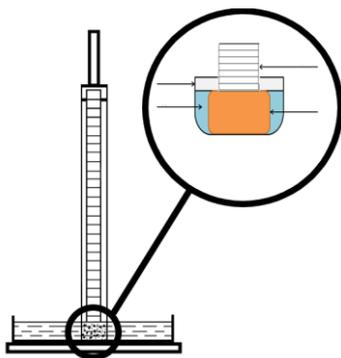


Рисунок 1. Прибор Клемма–Винклера модернизированный

Figure 1. The Terminal–Winkler device is upgraded

В качестве образца пористого композита используется многослойное офсетное резиноканевое полотно различных марок с внешним верхним слоем нитрилбутадиенового каучука (NBR) или этилен-пропиленового каучука EPDM и внешним нижним слоем хлопчатобумажной ткани. В конструкции полиграфических машин строго определено положение полотна на металлическом офсетном цилиндре: нити основы нижнего слоя хлопчатобумажной ткани должны располагаться вдоль цилиндра для уменьшения растяжения и искажений печатных элементов. Исходя из этого образцы для экспериментальной оценки глубины и скорости впитывания жидкостей в резиноканевые полотна, следует вырезать в поперечном направлении, перпендикулярно утке нитей основы нижнего слоя хлопчатобумажной ткани.

Нижний образец пористого материала, контактирующий с поверхностью исследуемой

жидкости, может иметь «чистый» торец (срез) или «окрашенный», закрытый для капиллярного потока защитным слоем полимера. Защитный слой получают путем «окрашивания» любым способом, т. е. нанесения жидкой композиции высокомолекулярного соединения: суспензии фторопласта (Ф4Д), водного раствора поливинилового спирта (ПВС), эмульсии акрилового полиэфира (АСМ).

На лабораторном стенде фиксируются значения массы образцов до и после эксперимента, высота и время подъема жидкости до верхней границы каждого образца.

Средний радиус капилляров (r) в каждом образце находим по формуле 4.

Распределение капилляров по размерам определяют по массе воды «поднятой» капиллярными силами до высоты расположения каждого призматического образца материала в вертикальной стопе. Для этого каждый призматический образец имеет строго определенную высоту и до расположения на вертикальной металлической линейке взвешивается на аналитических весах. Отклонение высоты и исходной массы образцов от средней величины не должно превышать $\pm 5\%$. В случае отклонения размер образцов уменьшается до средней величины массы. Снизу стопка образцов постоянно смачивается жидкостью комнатной температуры ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) и выдерживается постоянной по уровню расположения поверхности и температуре до остановки подъема жидкости. После остановки поднятия жидкости стопку разбирают. Массу жидкости определяют в каждом i -том образце. Для этого находят разницу массы образца после окончания поднятия жидкости и исходной массы. Массу образцов определяют путем взвешивания на аналитических весах в закрытом стеклянном боксе. Массу жидкости в каждом i -том образце определяют из уравнения 6:

$$m_{\text{жидкости}} = m_i - m_{i0} \quad (6)$$

где m_i и m_{i0} – масса смоченного i -того образца в линейке и масса сухого i -того образца, г, соответственно.

Площадь сечения капилляров в i -том слое можно рассчитать по формуле 7

$$S_i = \frac{m_{\text{жидкости}}}{\rho_{\text{жидкости}} h_i} \quad (7)$$

где S_i – площадь капилляров в i -том слое, м^2 ; $m_{\text{жидкости}}$ – масса жидкости в i -том образце, кг; $\rho_{\text{жидкости}}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; h_i – Высота капилляров в i -том слое, м.

Рассчитывают $\sum S$ и принимают эту сумму за 100%. Определяют долю площади капилляров каждого i -того образца в пачке.

Результаты

Были протестированы несколько полотен для определения наиболее гигроскопичного материала для дальнейшей обработки торца (рисунок 2). Эксперимент проходил до завершения подъема жидкости, то есть когда масса жидкости в образцах не менялась значительное время.

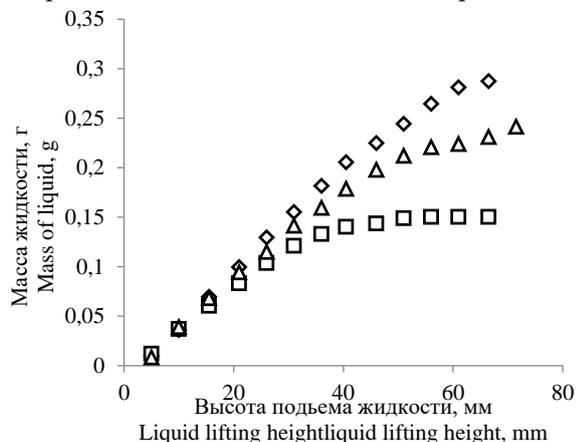


Рисунок 2. Зависимость массы жидкости в ОРТП от высоты. ▲ – 1000, ■ – Explorer, ◆ – Blankets

Figure 2. The dependence of the mass of the liquid in the offset rubber blanket on the height of ▲ -1000, ■ – Explorer, ◆ – Blankets

Защита торца офсетного резиноканевого полотна суспензией фторопласта уменьшает высоту проникновения жидкости на 15 %, при этом время проникновения сопоставимо с образцом без защиты торцевой поверхности (рисунок 3). Защита торца эмульсией акрилового полиэфира уменьшает высоту проникновения жидкости на 87 % и время проникновения увеличивается на порядок (рисунок 3).

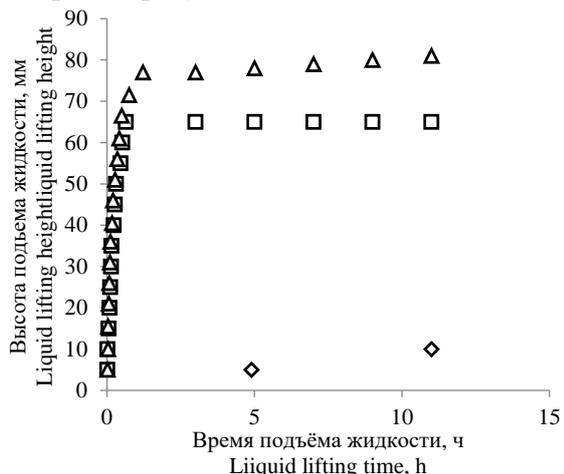


Рисунок 3. Зависимость высоты подъема воды в порах ОРТП «Blankets» от времени. ▲ – образец с открытым торцом. Образцы с торцом покрытым защитным слоем: ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 3. Dependence of the height of the rise of water in the pores of the offset rubber blanket "Blanks" on time. ▲ – a sample with an open end. Samples with the end covered with a protective layer: ■ – F4D, ◆ – ACM

У чистого образца сорбированная масса жидкости выше. Защита торца суспензии фторопласта (Ф4Д) уменьшает сорбцию на 20%, а АСМ на 93% (рисунок 4).

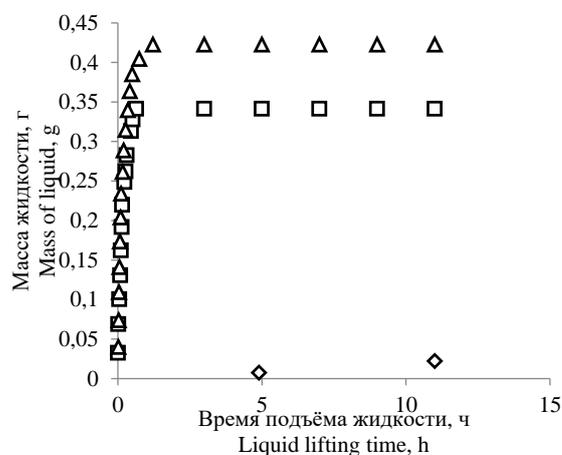


Рисунок 4. Зависимость массы воды проникающей в линейку образцов ОРТП «Blankets» от времени. Образец с открытым торцом ▲ – и с торцом покрытым защитным слоем: ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 4. Dependence of the mass of water penetrating into the line of samples of offset rubber blanket "Blanks" on time. Sample with an open end face ▲ and with an end covered with a protective layer: ■ – F4D, ◆ – ACM

Средний радиус капилляров, по которым происходит поднятие жидкости, показывает, что защита торца эмульсии акрилового полиэфира (АСМ) оставляет открытым только очень тонкие капилляры и вода по ним поднимается ниже, чем у других образцов (рисунок 5).

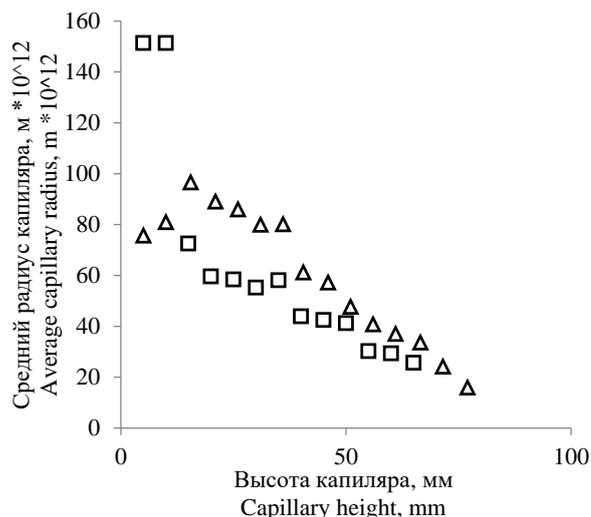


Рисунок 5. Зависимость среднего радиуса от высоты капилляра в образце ОРТП «Blankets». ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д

Figure 5. Dependence of the average radius on the height of the capillary in the sample offset rubber blanket "Blanks". ▲ – with an open end, ■ – F4D

Суспензии фторопласта (Ф4Д) закрывает крупные капилляры и практически не влияет на количество мелких и средних капилляров (рисунок 6). Эмульсии акрилового полиэфира (АСМ) закрывает на торцевой поверхности композита крупные и средние капилляры, но оставляет открытыми и доступными для воды очень тонкие капилляры, проницаемость которых не позволяет заполнять за время эксперимента крупные и средние пустоты расположенные выше, т. е. за защитным слоем лака (рисунок 7).

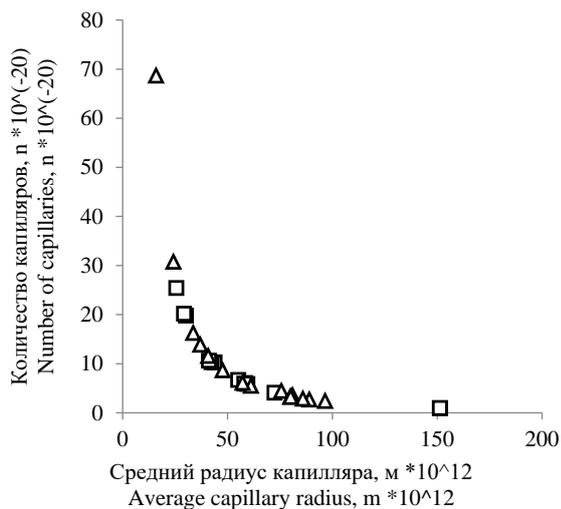


Рисунок 6. Распределение капилляров в образце ОРТП «Blanks» по величине их условного радиуса. Образец ▲ – с открытым торцом, с торцом закрытым слоем ■ – Ф4Д

Figure 6. Distribution of capillaries in the sample of offset rubber blanket "Blanks" according to the size of their conditional radius. Sample ▲ – with an open end, with a closed end layer ■ – F4D

Зная массу воды проникающей в каждый фрагмент стопы пористого материала и высоту подъема воды, получаем график распределения относительной площади капилляров в образце доступных для заполнения жидкостями за время эксперимента (рисунок 7).

Так как малая высота капилляров заполненных водой за время эксперимента показывает глубину проникновения жидкости в пористый материал, то можно предположить, что негативное влияние набухания на печатные свойства полотна будет локализовано защитным слоем АСМ лака и не превышает 10–15 мм.

График зависимости пористости от высоты подъема наглядно показывает разницу в капиллярном эффекте полотен «Blanks» с различным защитным слоем лака на торцах (рисунок 8).

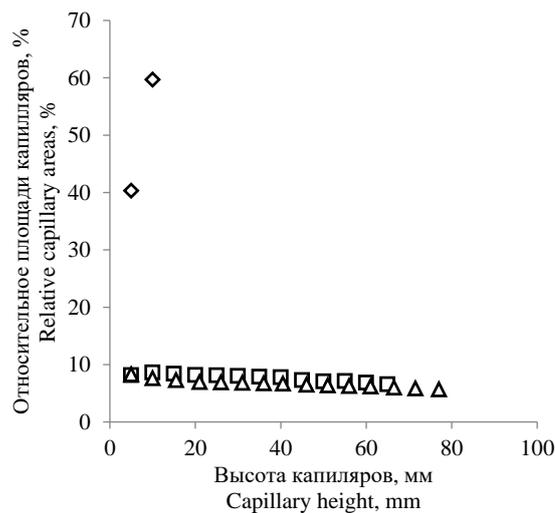


Рисунок 7. Распределение относительной площади капилляров в образце ОРТП «Blanks» по высоте подъема. Образец ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 7. Distribution of the relative capillary area in the sample of the ORTP "Blanks" by lifting height. Sample: ▲ – with an open end, ■ – F4D, ◆ – AFM

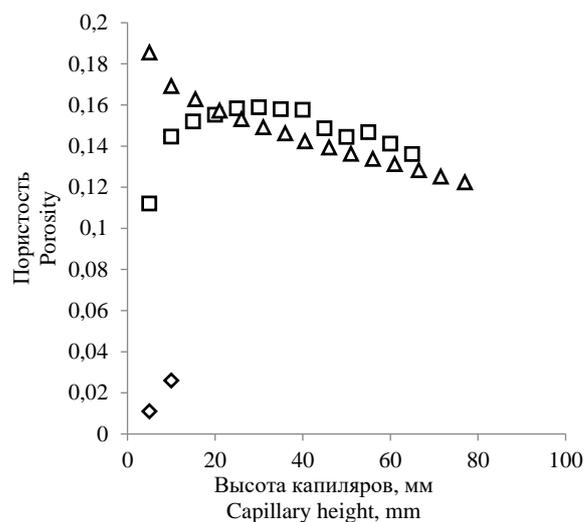


Рисунок 8. Распределение заполненных водой пор и капилляров в образце ОРТП «Blanks» по высоте стопы. Образец ▲ – с открытым торцом, ■ – Ф4Д, ◆ – АСМ

Figure 8. Distribution of water-filled pores and capillaries in the sample of offset rubber blanket "Blanks" by foot height. Sample: ▲ – with an open end, ■ – F4D, ◆ – AFM

Заключение

Модификация резинотканевого полотна путем локального нанесения лака на микропористые поверхности эмульсией акрилового полиэфира формирует защитное покрытие, которое уменьшает скорость и глубину проникновения жидкой среды в торец офсетного полотна, что позволяет увеличить рабочую поверхность печатного цилиндра, обеспечить качество широкоформатной печати и уменьшить отходы полиграфического производства.

Литература

- 1 Мельников А.В., Румянцева Ю.М., Стоянова Л.Н. Влияние увлажняющих растворов на офсетные резинотканевые полотна // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2003. № 4. С. 17–22.
- 2 Барковский Е.В., Медяк Д.М. Исследование модели краскопереноса с учетом закономерностей износа офсетного полотна // Труды БГТУ. № 9. Издательское дело и полиграфия. 2016. № 9(191). С. 58–61.
- 3 Капуста, Т.В., Харитонов Е.Е. Исследование и сравнение печатно-технических свойств резинотканевых полотен для офсетных печатных машин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2013. № 2. С. 36–42.
- 4 Нечипоренко Н.А., Иванова Н.А., Бердовщикова А.В., Николаев А.В. Исследование технологических свойств резинотканевых полотен для листовых машин плоской офсетной печати // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 6. С. 43–50.
- 5 Байдаков Д.И. Кинетика набухания шитых эластомеров в растворителях // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 2. С. 003–008.
- 6 Ямилинец С.Ю., Лоизцкая А.В., Кондратов А.П. Физико-химическая стойкость и амортизирующие свойства полимерных композитов с защитной оболочкой // Лакокрасочные материалы и их применение. 2023. № 3. С. 50–55.
- 7 Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Кондратов А.П. Деформация и изменение прочностных свойств многослойных полотен в результате набухания в смесях органических растворителей разной липофильности // Механика композиционных материалов и конструкций. 2022. Т. 28. № 2. С. 255–273.
- 8 Хохлова Т.Д., Пеливанов И.М., Карабутов А.А. Методы оптико-акустической диагностики биотканей // Акустический журнал. 2009. Т. 55. № 4–5. С. 672–683.
- 9 Карабутов А.А., Кобелева Л.И., Подымова Н.Б., Чернышова Т.А. Лазерный оптико-акустический метод локального измерения упругих модулей композиционных материалов, упрочненных частицами // Техническая акустика. 2008. Т. 8. С. 19.
- 10 Максачук А.И., Леонов Г.В. Оптико-акустический метод дистанционного контроля размеров дисперсных частиц // Техническая акустика. 2009. Т. 9. С. 4.
- 11 Карабутов А.А., Подымова Н.Б. Лазерный оптико-акустический метод измерения пористости газотермических покрытий на металлической подложке // Техническая акустика. 2010. Т. 10. С. 15.
- 12 Турусбекова, Н.К. К вопросу о расчетах пористости текстильной основы композита в зависимости от деформации // Наука и новые технологии. 2008. № 5–6. С. 17–19.
- 13 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019614669, RU. Программа для расчета пористости покрытия / Иванов К.А., Стрелков М.Н. № 2019613393; Заявл. 02.04.2019; Опубл. 10.04.2019.
- 14 Агеев М.А. Способ определения среднего радиуса пор бумаги // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: сборник материалов VI Всероссийской отраслевой научно-практической конференции. 2018. С. 23–27.
- 15 Kondratov A., Konyukhov V., Yamilinets S., Marchenko E. et al. Compression Relaxation of Multi-Structure Polymer Composites in Penetrating Liquid Medium // Polymers. 2022. V. 14. №. 23. P. 5177. doi: 10.3390/polym14235177
- 16 Horiashchenko S., Musiał J., Horiashchenko K., Polasik R. et al. Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric // Polymers. 2020. V. 12. №. 11. P. 2684. doi: 10.3390/polym12112684
- 17 Amado J.C.Q., Ross P.G., Sanches N.B., Pinto J.R.A. et al. Evaluation of elastomeric heat shielding materials as insulators for solid propellant rocket motors: a short review // Open Chemistry. 2020. V. 18. №. 1. P. 1452-1467. doi: 10.1515/chem-2020-0182
- 18 Xu X., Wang G., Yan H., Yao X. Constitutive relationship of fabric rubber composites and its application // Composite Structures. 2022. P. 116302. doi: 10.1016/j.compstruct.2022.116302
- 19 Cho J.R. Anisotropic large deformation and fatigue damage of rubber-fabric braid layered composite hose // Procedia engineering. 2017. V. 173. P. 1169-1176. doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.097
- 20 Xu X., Yan H., Xiao C., Yao X. An anisotropic hyper-visco-pseudo-elastic model and explicit stress solutions for fabric reinforced rubber composites // International Journal of Solids and Structures. 2022. V. 242. P. 111519. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2022.111519

References

- 1 Melnikov A.V., Rumyantseva Yu.M., Stoyanova L.N. The effect of moisturizing solutions on offset rubber fabrics. News of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2003. no. 4. pp. 17-22. (in Russian).
- 2 Barkovsky E.V., Medyak D.M. Investigation of the paint transfer model taking into account the wear patterns of offset canvas. Proceedings of BSTU. no. 9. Publishing and printing. 2016. no. 9(191). pp. 58-61. (in Russian).
- 3 Kapusta, T.V., Kharitonova E.E. Research and comparison of printing and technical properties of rubber fabrics for offset printing machines. Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2013. no. 2. pp. 36-42. (in Russian).
- 4 Nechiporenko N.A., Ivanova N.A., Berdovschikova A.V., Nikolaev A.V. Research of technological properties of rubber-woven fabrics for flat offset printing machines. News of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2013. no. 6. pp. 43-50. (in Russian).
- 5 Baidakov D.I. Kinetics of swelling of cross-linked elastomers in solvents. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problems of printing and publishing. 2013. no. 2. pp. 003-008. (in Russian).
- 6 Yamilinets S.Yu., Loizitskaya A.V., Kondratov A.P. Physico-chemical resistance and shock-absorbing properties of polymer composites with a protective shell. Paint and varnish materials and their application. 2023. no. 3. pp. 50-55. (in Russian).
- 7 Yamilinets S.Yu., Dmitriev L.D., Kondratov A.P. Deformation and change of strength properties of multilayer canvases as a result of swelling in mixtures of organic solvents of different lipophilicity. Mechanics of composite materials and structures. 2022. vol. 28. no. 2. pp. 255-273. (in Russian).

- 8 Khokhlova T.D., Pelivanov I.M., Karabutov A.A. Methods of optical-acoustic diagnostics of biological tissues. Acoustic magazine. 2009. vol. 55. no. 4-5. pp. 672-683. (in Russian).
- 9 Karabutov A.A., Kobeleva L.I., Podymova N.B., Chernyshova T.A. Laser optical-acoustic method of local measurement of elastic modules of composite materials hardened by particles. Technical acoustics. 2008. vol. 8. pp. 19. (in Russian).
- 10 Maksachuk A.I., Leonov G.V. Optical-acoustic method of remote control of the sizes of dispersed particles. Technical acoustics. 2009. vol. 9. pp. 4. (in Russian).
- 11 Karabutov A.A., Podymova N.B. Laser optical-acoustic method for measuring the porosity of gas-thermal coatings on a metal substrate. Technical acoustics. 2010. vol. 10. pp. 15. (in Russian).
- 12 Turusbekova, N.K. On the question of calculating the porosity of the textile base of a composite depending on deformation. Science and New Technologies. 2008. no. 5-6. pp. 17-19. (in Russian).
- 13 Ivanov K.A., Strelkov M.N. Program for calculating the porosity of the coating. Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2019614669, 2019.
- 14 Ageev M.A. A method for determining the average pore radius of paper. Innovations – the basis for the development of pulp and paper and timber processing industry: a collection of materials of the VI All-Russian branch scientific and practical conference. 2018. pp. 23-27. (in Russian).
- 15 Kondratov A., Konyukhov V., Yamilinets S., Marchenko E. et al. Compression Relaxation of Multi-Structure Polymer Composites in Penetrating Liquid Medium. Polymers. 2022. vol. 14. no. 23. pp. 5177. doi: 10.3390/polym14235177
- 16 Horiashchenko S., Musiał J., Horiashchenko K., Polasik R. et al. Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric. Polymers. 2020. vol. 12. no. 11. pp. 2684. doi: 10.3390/polym12112684
- 17 Amado J.C.Q., Ross P.G., Sanches N.B., Pinto J.R.A. et al. Evaluation of elastomeric heat shielding materials as insulators for solid propellant rocket motors: a short review. Open Chemistry. 2020. vol. 18. no. 1. pp. 1452-1467. doi: 10.1515/chem-2020-0182
- 18 Xu X., Wang G., Yan H., Yao X. Constitutive relationship of fabric rubber composites and its application. Composite Structures. 2022. pp. 116302. doi: 10.1016/j.compstruct.2022.116302
- 19 Cho J.R. Anisotropic large deformation and fatigue damage of rubber-fabric braid layered composite hose. Procedia engineering. 2017. vol. 173. pp. 1169-1176. doi: 10.1016/j.proeng.2016.12.097
- 20 Xu X., Yan H., Xiao C., Yao X. An anisotropic hyper-visco-pseudo-elastic model and explicit stress solutions for fabric reinforced rubber composites. International Journal of Solids and Structures. 2022. vol. 242. pp. 111519. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2022.111519

Сведения об авторах

Станислав Ю. Ямилинец аспирант, кафедра инновационные материалы принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, ymlnz@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Иоланта В. Губанова студент, кафедра инновационные материалы принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, iolanta23@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2827-2286>

Мария Д. Козлова студент, кафедра Инновационные материалы принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, mdkozlova14-15@mail.ru

<https://orcid.org/>

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра инновационные материалы принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezer@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

Станислав Ю. Ямилинец обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнил расчеты, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Иоланта В. Губанова провела эксперимент

Мария Д. Козлова провела эксперимент

Александр П. Кондратов консультация в ходе исследования, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey Yu. Yamilinets graduate student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, ymlnz@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

Irina V. Gubanova student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, iolanta23@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-2827-2286>

Mariya D. Kozlova student, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, mdkozlova14-15@mail.ru

<https://orcid.org/>

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, head of the department, innovative materials of the print media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezer@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

Sergey Yu. Yamilinets review of literary sources on the problem under study, performed calculations, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editorial office and is responsible for plagiarism

Irina V. Gubanova conducted an experiment

Mariya D. Kozlova conducted an experiment

Aleksandr P. Kondratov consultation during the study, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editor and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2023	После редакции 02/02/2023	Принята в печать 03/03/2023
Received 16/01/2023	Accepted in revised 02/02/2023	Accepted 03/03/2023