

2. Карасева Ю.С., Черезова Е.Н. Сульфидирование замещенных фенолов и олефинов элементной серой как путь синтеза добавок бифункционального назначения для полимерных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16. № 6. С. 79–82.

3. Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю. Добавки для увеличения адгезионной прочности к металлокорду // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 9. С. 65–67.

4. Черезова Е.Н., Галиханов М.Ф., Карасева Ю.С., Накып А.М. Влияние состава резин, наполненных карбокисметилцеллюлозой, на их свойства // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96. № 4. С. 391–396.

5. Гусейнова Ф.Ф., Закирова Л.Ю., Шишкина Н.Н. Исследование влияния добавок на основе карбамидов на свойства резин. В книге: Каучук и резина – 2023: традиции и новации. ООО "Издательство "Каучук и резина". Материалы XI Всероссийской конференции. Москва, 25–26 апреля 2023 года. С. 83.

УДК 546.47:66.081.3

**Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.**

(Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий г. Могилев, Республика Беларусь)

### **ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ И АНТИМИКРОБНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Ученые и технологи все больше обращаются к аспектам, связанным с особым физическим влиянием наноразмерных частиц (НЧ) на физико-химические, механические, тепловые, электрические и другие свойства композитных систем. Эти тенденции не обошли и анизотропную полимерную структуру волокнистых материалов (ВМ) и сулят перспективы расширения ассортимента полимерных волокнистых материалов путем их модификации на наноразмерном уровне. К числу таких ВМ можно отнести полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, в том числе используемые в качестве прекурсоров углеродных волокнистых материалов (УВМ) и материалов текстильного назначения.

Развитие практических решений в данном направлении сдерживается отсутствием достоверных сведений о механизме влияния наноразмерных частиц на свойства ВМ и возможности прогнозирования эффекта их применения, например, в отношении изменения практически важных

свойств ВМ, например, таких, как пожароопасность и антимикробная активность.

Сложность поиска ответов на данные вопросы применительно к ПАН волокнистым материалам усугубляет их специфическая термореактивная структура, нагревание которой приводит к автотермическому процессу ее перестройки, сопровождающемуся возгоранием. Это осложняет разработку негорючих изделий на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила. Тем не менее, поиск вариантов управления автотермическим процессом в полимерной структуре ПАН материалов перспективно для практического использования.

В связи с этим в данной работе рассмотрено влияние различных по природе НЧ на следующие свойства модифицированных ими ПАН волокон:

- пожароопасность по значению кислородного индекса;
- антимикробную активность по давлению роста колоний.

В качестве модельных образцов в работе были использованы волокна на основе волокнообразующего терсополимера (ВТП) поли[акрилонитрил (АН) (91) – со – метилакрилат (МА) (8) – со – 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты (АМПС) (1 %)], сформованные из прядильных растворов (ПР), содержащих различные по природе НЧ количестве до 5 % (масс.). Практика показала, что введение наноразмерных модификаторов в большом количестве нарушает процесс нитеобразования, приводя к получению волокон неудовлетворительного качества по типовым потребительским показателям.

Наноразмерные модификаторы подбирались, в основном, из тех веществ, чья природная основа потенциально могла бы иметь как свойства антипирена, так и антимикробную активность. При этом были апробированы возможности наномодификации ПАН волокон путем введения высокодисперсных частиц в прядильный раствор на стадии его приготовления и путем инклюзионной модификации ПАН волокон в гелеобразном состоянии путем их поверхностной обработки различными реагентами с последующим закреплением модификаторов в структуре волокон в результате коллапса их гель-структуры в процессе сушки. НЧ диспергировали в прядильном растворе воздействием ультразвука с частотой 44 кГц. Формование модельных ПАН волокон осуществляли по диметилформамидной технологии мокрым методом в условиях, близких к производственным. При введении НЧ в прядильный раствор полученные из него гель-волокна сушили и исследовали на целевые показатели. При модификации поверхностным способом гель-волокна погружали в раствор модификатора на сутки, затем их сушили, промывали и снова

сушили, а далее использовали для исследований. При этом в обозначении образцов указана концентрация раствора модификатора с буквой П (например, П-1%).

При определении кислородного индекса образцов волокон из них изготавливали стержни длиной до  $(200 \pm 50)$  мм и сечением  $(3 \pm 0,5)$  мм, которые исследовали с использованием установки «Прибор для измерения кислородного индекса БГ-КИ-01 ООО «БГМСервис Групп» (Республика Беларусь) согласно ГОСТ 12.1.044-2018. За окончательный результат принимали среднее арифметическое из пяти измерений. Антимикробную активность по отношению к штаммам микроорганизмов *E. coli* и *S. Aureus* оценивали в аккредитованной лаборатории учреждения здравоохранения «Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» в соответствии с методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты, утвержденных МЗ СССР от 18.11.1983.

На основе полученных экспериментальных данных можно констатировать, что практически все апробированные модификаторы к незначительному повышению кислородного индекса ПАН волокон. Исключение составил пирогенный оксид кремния марки Aerosil R805, который понизил кислородный индекс до 18,4 % (рисунок 1). Возможной причиной этого может быть формирование высокоразвитой внутренней поверхности ПАН волокна, получаемого из прядильных растворов, содержащих  $\text{SiO}_2$  марки Aerosil R805.

Наиболее активно повышался кислородный индекс при введении в структуру ПАН 0,1 % наноразмерных частиц металлической меди. К сожалению, в большем количестве ввести НЧ Cu в прядильный раствор оказалось невозможным из-за критического возрастания вязкости и застудневания прядильных растворов, содержащих данные НЧ в большем количестве. Не оправдались ожидания от введения наночастиц  $\text{MgO}$ , а также  $\text{ZnO}$ , упоминаемых в различных источниках, как замедлители горения полимерных материалов.

Более эффективным оказалось применение НЧ для повышения антимикробной активности ПАН волокон (рисунок 2). В данной серии экспериментов антимикробная активность, по сравнению с контролем (ПАН волокно, не содержащее НЧ), полностью отсутствовала только у волокон, модифицированных  $\text{ZnO}$ . При этом важно отметить, что в большинстве случаев использованные наноразмерные модификаторы при придавали ПАН волокнам антимикробную активность находящуюся в диапазоне, близком к антимикробной активности ПАН волокон,

обработанных в гель-состоянии поверхностным способом 1 % раствором  $\text{AgNO}_3$  с последующим переводом ляписа в структуре волокна в нерастворимый хлорид серебра и дополнительной его фиксацией в полимерном субстрате волокна путем проведения коллапса его гель-структуры.

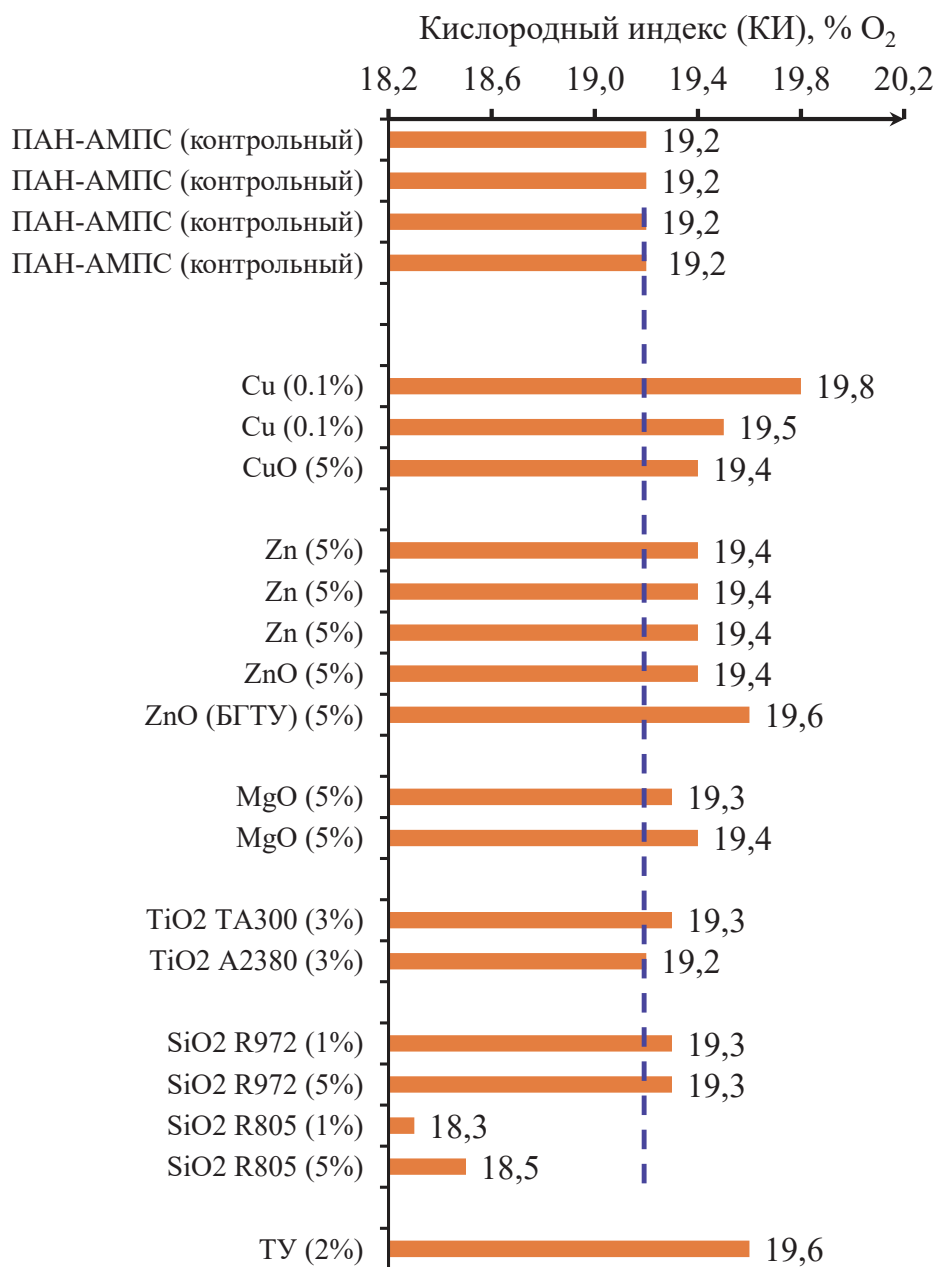


Рисунок 1 – Влияние НЧ на кислородный индекс модифицированных ПАН волокон

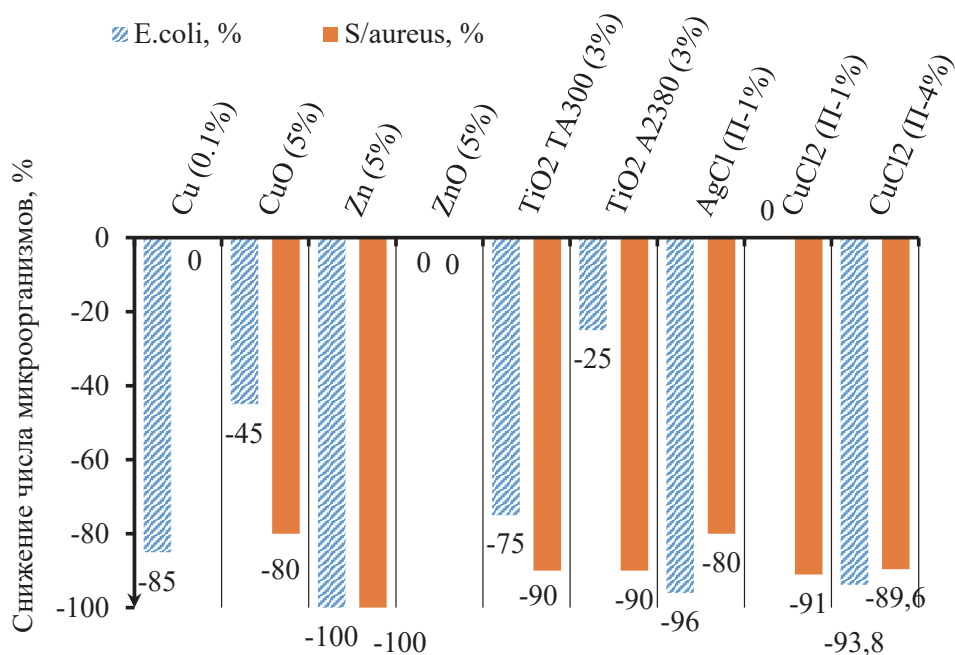


Рисунок 2 – Влияние НЧ на снижение антимикробной активности модифицированных ПАН волокон

Таким образом, имеются основания полагать целесообразным поиск дальнейших вариантов применения наноразмерных материалов для создания новых ассортиментов ПАН волокон.

УДК 524

Сенюк Д.А., Петрунина А.С.,  
Барковская О.А., Черник А.А.

(Белорусский государственный технологический университет)

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ХРОМ ИЗ КОМПЛЕКСНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

**Аннотация.** Разработана технология электрохимического осаждения защитно – функциональных покрытий на основе сплава Ni-Cr, исследована кинетика электрохимического процесса осаждения сплава Ni-Cr, установлено влияние содержания хрома в сплаве на коррозионную стойкость и структуру покрытий.

Исследование электрохимического осаждения сплавов представляет теоретический и практический интерес. Полученные таким образом сплавы являются новыми материалами с улучшенными свойствами,