

эластомерных композиций на основе СКИ-3. Она позволяет целенаправленно регулировать свойства резиновых смесей, улучшая их технологичность (снижая вязкость и ускоряя вулканизацию).

ЛИТЕРАТУРА

1. Vieira M.G.A., da Silva M.A., Santos L.O., Beppu M.M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review // *European Polymer Journal*. – 2011. – Vol. 47. – P. 254–263.
2. Marturano V., Marotta A., Agustin-Salazar S., Ambrogi V., Cerruti P. Recent advances in bio-based functional additives for polymers // *Progress in Materials Science*. – 2023. – Vol. 139. – P. 101186.
3. Oh E., Kim B. A Trend and Market in Eco-friendly Plasticizers: Review and Prospective // *Composites Research*. – 2022. – Vol. 35. – P. 232–241.
4. Xie C., Li H., Li L., Yu Sh. Liu F. Synthesis of plasticizer ester using acid-functionalized ionic liquid as catalyst // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – Vol. 151. – P. 847–850.
5. Jia P., Xia H., Tang K., Zhou Y. Plasticizers Derived from Biomass Resources: A Short Review // *Polymers*. – 2018. – Vol. 10. – P. 1303.
6. RU 2 396 293 C2, 2010.

УДК 678.074.046.3.03

Касперович А.В., Боброва В.В.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

Ефремов С.А., Нечипуренко С.В.

(Казахский национальный университет имени аль-Фараби)

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОД-КРЕМНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОТЕКТОРНОЙ ЧАСТИ ШИНЫ

Одним из перспективных методов практического использования продуктов переработки рисовой шелухи и стебля является применение их карбонизатов в составе эластомерных композиций в качестве замены промышленных наполнителей [1]. Из-за своей низкой цены и большого содержания кремнезема, по сравнению с другими натуральными материалами, рисовая шелуха была признана подходящей для широкого спектра использования в производственных и прикладных процессах. Уникальные физико-химические характеристики рисовой шелухи, а именно высокое содержание аморфного кремнезема (87–97 мас.% SiO₂), развитая пористая структура, низкая плотность и большая удельная поверхность, обуславливают ее востребованность в различных промышленных

процессах [2]. Учитывая многочисленные проведенные исследования, очевидно, что применение золы рисовой шелухи (ЗРШ) распространено в широком промышленном секторе, в том числе в составе эластомерных композиций.

Стоит отметить, что значительное количество исследований посвящено получению из ЗРШ аморфного диоксида кремния [3, 4], который характеризуется более высокой реакционной способностью и меньшим содержанием примесей по сравнению с кристаллическими формами кремнезема, такими как кварц и кристобалит.

В середине 90-х годов компания Continental одной из первых в шинной индустрии увидела перспективность использования кремнезема (белая сажа) в качестве компонента резиновых смесей. Эксперименты показали многообещающие результаты. Свойства кремнезема проявляются в процессе смешивания резины, когда он вступает в реакцию с силаном, который обеспечивает связь между компонентами. В настоящее время разработчики шинных компаний работают над тем, чтобы сделать белую сажу, как и другие используемые материалы, более экологичной. Применяется белая сажа как наполнитель в протекторной части шины для снижения сопротивления качению, повышения сопротивления износу и увеличения сцепления шины с мокрым дорожным покрытием, а также в брекерной части для снижения теплообразования, что в совокупности приведет к уменьшению расхода топлива и повышению экологичности. Использование ЗРШ в эластомерных смесях для протекторной и брекерной частей шин обычно сводится к двум направлениям: либо изучается возможность частичной замены традиционного кремнезема на кремнезем, полученный из рисовой шелухи, либо исследуются составы с добавлением специальных связующих веществ или модификаторов поверхности для улучшения связи золы с каучуком [5, 6]. Однако, оба этих подхода, как правило, приводят к увеличению стоимости готовой продукции.

Целью данного исследования являлось использование продукта карбонизации сельскохозяйственных отходов (рисовой шелухи и стеблей) – углерод-кремнистый наполнитель (УКН), содержащего как углеродную, так и кремнеземную фракции и не подвергавшегося дополнительной обработке, в качестве частичной замены высоко усиливающего кремнекислотного наполнителя (Экстрасил ВД150) в эластомерных композициях на основе бутадиен-стирольного каучука (БСК), предназначенных для изготовления протектор-беговой части летней легкой шины, а также оценка их технологических, физико-механических, упруго-гистерезисных и эксплуатационных характеристик с целью удешевления

производства, уменьшения загрязнения окружающей среды при утилизации отходов сельского хозяйства, а также придания резинам особых качеств.

Применение углерод-кремнистого наполнителя в резиновых смесях на основе БСК в случае частичной замены (до 20,0 мас. ч.) коммерческого высокоусиливающего кремнекислотного наполнителя (ККН) Экстрасил 150ВД приводит к снижению вязкости по Муни резиновых смесей до 5,3% и времени достижения оптимума вулканизации до 9,2%, что, в свою очередь, снизит энергоемкость процесса переработки данных изделий. Выявлено, что введение УКН во всех исследуемых дозировках способствует повышению сопротивления пластической деформации до 7,7% и клейкости резиновых смесей на 31,3–34,4%, что будет способствовать увеличению прочности сцепления дублируемых слоев шины при ее сборке. Показано, что частичная замена ККН на углерод-кремнистый наполнитель приводит к снижению модуля потерь до 24,0% и тангенса механических потерь до 14,3%, что позволит снизить теплообразование в шине и расход топлива. Исследования эксплуатационных характеристик резин для протектор беговой части шины показали повышение усталостной выносливости до 2,7 тыс. циклов и снижение температуры внутри образца до 7°C при использовании в них УКН, что связано с уменьшением взаимодействия «наполнитель-наполнитель», уменьшением потерь энергии на внутреннее трение и меньшим гистерезисом. В то же время, определено некоторое снижение прочностных показателей резин, а именно, условная прочность при растяжении как до, так и после теплового старения снижается на 10,7–27,0%, а истираемость повышается до 43,3% как до, так и после воздействия высоких температур и кислорода воздуха.

Результаты, полученные в данном исследовании, показали, что углерод-кремнистый наполнитель, является жизнеспособной альтернативой традиционному кремнекислотному наполнителю, который используется в шинной промышленности. Свойства эластомерных композиций, наполненных УКН, можно улучшить не только путем уменьшения размера частиц и физической и/или химической модификацией поверхности, а также путем корректировки дозировки ингредиентов резиновой смеси, а именно компонентов вулканизирующей группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li M., Yunqiao P., Thomas V.M., Yoo C.G., Deng Y., Nelson K., Ragauskas A.J. Recent Advancements of Plant-Based Natural Fiber-Reinforced Composites and Their Applications // Composites Part B: Engineering. – 2020. – Vol. 200, no. 2. – P. 254–276.

2. Abe Y., Tomioka M., Kabir M., Kumagai S. Role of SiO_x in rice-husk-derived anodes for Li-ion batteries // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – P. 1–11.
3. Yunhai M., Shengwang Y., Zichao M., Yihao H., Shichao N., Li L., Guoqin L., Feipeng C. Comparative Study of Different Pretreatment and Combustion Methods on the Grindability of Rice-Husk-Based SiO_2 // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13. – P. 2951–2969.
4. Guojie Z., Ge W., Yang J., Shefing W., Yong Z. Preparation and properties of rice husk ash silica filled natural rubber // Polymer Composites. – 2024. – Vol. 45. – P. 438–447.
5. Moresco S., Sicinski M., Gozdek T., Giovanela M., Carli L.N., Crespo J. S. Plasma treatment of rice husk ash for application in tire retread compounds based on natural rubber // Polymer Engineering & Science. – 2024. – Vol. 65, no. 2. – P. 700–713.
6. Boonmee A., Sabsiroht P., Jarukumjorn K. Preparation and characterization of rice husk ash for using as a filler in natural rubber // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Vol. 17. – P. 2097–2103.

УДК 678.074.046.3.03

**Касперович А.В., Боброва В.В.,
Колосовский Р.С., Фарафонов В.Н.**

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ КАРБЕНИЗАТА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Отходы сельского хозяйства могут служить сырьевым источником для производства зольных материалов на основе переработки биомассы. Исследования, проведенные в широком географическом диапазоне, показывают, что многие виды отходов сельского хозяйства, в том числе шелуха риса, кукурузы и овса, косточки плодовых деревьев, косточки оливок, виноградные косточки, а также миндаль, скорлупа подсолнечника и др., могут быть использованы в целях получения материалов для применения их в различных отраслях промышленности [1]. Сообщения мировой литературы в области материалов, содержащих растительные биодобавки, обычно включают композиты на основе термопластов и реактопластов [2]. Важным фактором, определяющим свойства композиций, является выбор соответствующих натуральных материалов в качестве