

5. Patent CN 102757063 A, МПК C01B 35/14, B82Y 40/00. Nano-grade boron phosphate rapid preparation method with microwave radiation low-temperature solid-phase reaction method : № 20121031 / Wang Rui, Jiang Heng, Gong Hong, Zhang Jun ; заявитель Liaoning Shihua University.

УДК 623.093

В. В. Апишев, А. Ю. Изобелло

Физико-технический институт НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ СУСПЕНЗИЙ И ЗОЛЕЙ В СРЕДСТВАХ БРОНЕЗАЩИТЫ

***Аннотация.** Изучены и проанализированы базы данных, в которых говорится о использовании жидкостей, загущающихся при сдвиге (лат. *Shear-Thickening Fluid (STF)*). Подобраны необходимые составы, используемые в приготовлении жидкостей, загущающихся при сдвиге и изучены способы приготовления таких систем.*

V.V. Apishev, A.Yu. Izobello

Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of
Belarus,
Minsk, Belarus

THE USE OF COLLOIDAL SUSPENSIONS AND SOLS IN BODY ARMOR

***Abstract.** Databases on the use of shear-Thickening fluids (STF) have been studied and analyzed. The necessary formulations used in the preparation of liquids that thicken during shear have been selected and methods for preparing such systems have been studied.*

Цель. Изучить влияние дилатантных суспензий на баллистические свойства композиционных материалов.

Задачи. Изучение истории создания гибкой бронеодежды, базы данных по использованию STF в исследованиях защитных свойств.

Уменьшение веса и толщины композита, применяемого в переносимой солдатом защитной структуре, достигается путём совершенствования таких композитных структур пропитывая их жидкостями, загущающимися при сдвиге, тем самым увеличив

маневренность передвижения. Пропитка ткани STF является перспективным методом улучшения механических свойств тканей для различных применений, включая средства индивидуальной защиты, спортивную одежду и текстиль промышленного назначения

Изучение STF жидкостей началось ещё с 60х годов прошлого столетия, однако первое исследование, в котором сообщалось об использовании STF в качестве наполнителя для арамидных тканей, было опубликовано только в 2003 году Lee и др. [1], которые также подали заявку на патент в 2003 году. Авторы сообщили, что пропитка Kevlar® STF (смесь кремнезёма 450 нм и этиленгликоля) позволила сократить количество необходимых слоёв с 10 до 4 для достижения прежних баллистических характеристик.

Как правило арамид, стеклоткань, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полифениленбензобисоксазол (РВО-волокна) и нейлон используются в мягкой броне для защиты от пуль и колющих ударов, поскольку они представляют собой высокопрочные/модульные волокна и обеспечивают достаточную устойчивость к ударам и травмам в соответствии с действующими нормами безопасности. В качестве основного баллистического материала в диссертации будет использоваться арамидная ткань различных марок и плетений.

Наиболее распространёнными составами является смесь дисперсной фазы кремнезёма SiO_2 фракцией 100-450 нм с дисперсионной фазой в виде полиэтиленгликоля-200. В таких смесях массовая доля частиц варьируется от 0-70 %. Помимо таких составов, в публикациях, где проводятся испытания на баллистическую стойкость с STF ещё используются составы: H_4SiO_4 +Акрил+вода [2]; кукурузный крахмал+вода [3]; полипропиленгликоль-400+ SiO_2 среднего размера 7 нм [4]; смесь B_4C и SiO_2 с ПЭГ-200; этиленгликоль+ SiO_2 и т.п.

Для пропитки тканей STF используются различные методы, в зависимости от желаемых свойств и типа ткани:

- **Погружение:** Ткань погружается в STF, чтобы волокна пропитались жидкостью [5]. Концентрацию STF можно регулировать для достижения желаемого уровня жесткости и гибкости композитной ткани. В одном исследовании ткани были пропитаны 30%, 35% или 40% STF для повышения взаимодействия между волокнами [5].

- **Нанесение покрытия:** STF наносится на поверхность ткани с использованием таких методов, как нанесение покрытия валиком, распыление или печать. Этот метод может быть использован для создания локализованных зон защиты или для изменения текстуры поверхности ткани.

- **Капиллярное действие:** STF вводится в ткань, используя капиллярное действие волокон [5]. Этот метод особенно подходит для плотных тканей, где проникновение затруднено.

В качестве разбавителя для суспензий используется этанол, что позволяет лучше пропитывать тканый материал.

После пропитки ткани STF композитную ткань можно высушить на воздухе или в печи, чтобы удалить излишки жидкости и зафиксировать STF в волокнах. Степень отверждения может повлиять на жесткость и гибкость конечного продукта.

В процессе исследования литературных источников было проведено пробное замешивание компонентов золя (размер частиц <100 нм) ручным способом – ПМС-10000 с XYSIL300 и ПЭГ-400 с XYSIL300 в концентрациях до 7 %. При смешивании наночастиц кремнезёма в дисперсионной фазе ПМС и ПЭГ высокой молярной массы, наблюдается быстрое загустевание при концентрации выше 0,5 % кремнезёма. Для увеличения стабильности системы следует использовать ультразвуковое перемешивание в течении длительного времени.

Разработан и изготовлен копер (Рис. 1) для сравнительных испытаний падающим грузом разрабатываемых защитных структур, позволяющий воздействовать на образцы с энергией до 350 Дж, что соответствует кинетической энергии pistolетной пули калибра 9x18 мм (Бр1 класс защиты по ГОСТ 34286-2017).



Рисунок 1 – Копёр

Исходя из анализа открытых источников, желательной тенденцией будущих научных исследований является использование различных комбинаций материалов для получения композита с применением дилатантных суспензий и зольей. Полученные на данный

момент результаты подтверждают потенциальную возможность применения таких суспензий, для повышения баллистической прочности тканей, что является простым и экономичным решением для производства мягкой брони.

Список использованных источников

1. Lee, Y.S.; Wetzel, E.D.; Wagner, N.J. The ballistic impact characteristics of Kevlar R woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid. J. Mater. Sci. 2003, 38, 9.
2. Crineviciute, D.; Abraitene, A.; Sankauskaite, A.; Tumeiene, D.M.; Lenkauskaitė, L.; Barauskas, R. Influence of Chemical Surface Modification of Woven Fabrics on Ballistic and Stab Protection of Multilayer Packets. Mater. Sci. Medžiagotyra 2014, 20, 193–197.
3. Cho, H.; Lee, J.; Hong, S.; Kim, S. Bulletproof Performance of Composite Plate Fabricated Using Shear Thickening Fluid and Natural Fiber Paper. Appl. Sci. 2019, 10, 88.
4. Olszewska, K.; Zielinska, D.; Struszczyk, M.H.; Wierzbicki, L.; Leonowicz, M.K. Thermal stability of the elastomeric anti-trauma pad. Pol. J. Chem. Technol. 2017, 19, 93–100.
5. Huang, Chen-Hung & Chien, Chih-Hua & Shiu, Bing-Chiuan & Chen, Yueh-Sheng & Lin, Jia-Horng & Lou, ching-wen. (2022). Reinforcement Effects of Shear Thickening Fluid over Mechanical Properties of Nonwoven Fabrics. Polymers. 14. 4816.

УДК 621.389

А. Ю. Резнюков^{1,2}, А. Е. Рогожин^{1,2}, О. О. Пермякова²

¹ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,

² НИЦ «Курчатовский институт»
г. Москва, Российская Федерация

МЕМРИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГАФНИЯ ДЛЯ НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация:** На текущий момент для реализации процессов обучения ИИ используются схемы на КМОП-транзисторах на архитектуре фон Неймана. В работе предлагается использование мемристоров – электронных приборов, способных проводить «измерения в памяти», с рабочим слоем на основе HfO₂, улучшающие быстродействие и энергоэффективность нейроморфных систем.*

A. Yu. Reznyukov^{1,2}, A. E. Rogozhin^{1,2}, O. O. Permyakova²

¹ National Research University «MPEI»