
Углепластики на основе композиции полидиметилсилоксанового каучука и фенолформальдегидной смолы

К.С. Панина^{1,2}, Е.А. Данилов², Ю.А. Курганова^{1,2}

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

² АО «НИИГрафит», Москва

В работе исследуются многослойные композиционные материалы на основе смеси полидиметилсилоксана и фенолформальдегидной смолы. Получены характеристики механических свойств при растяжении и измерении твердости по Шору. Исследованы теплофизические характеристики при стационарном нагреве и методом лазерной вспышки.

Carbon plastics based on a composition of polydimethylsiloxane rubber and phenol formaldehyde resin

K.S. Panina^{1,2}, E.A. Danilov², Yu.A. Kurganova^{1,2}

¹ BMSTU, Moscow, Russia

² JSC “Research Institute of Structural Materials based on Graphite” NIIGrafit”, Moscow, Russia

The paper investigates multilayer composite materials based on a mixture of polydimethylsiloxane and phenol-formaldehyde resin. Characteristics of mechanical properties in tension and measurement of hardness according to Shore were obtained. Thermophysical characteristics were studied during stationary heating and by the laser flash method.

1. Введение

Силоксановые каучуки (СК) являются синтетическими полимерами со звеньями Si-O в основной цепи. СК обладают высокой озоностойкостью, атмосферостойкостью, химической стойкостью, термо- и теплостойкостью, эластичностью, низким водопоглощением, химической и биологической инертностью, что позволяет их использовать практически во всех отраслях промышленности [1–3].

За счет двойственной природы полимера при горении образуется неорганический остаток SiO₂, снижающий доступ окислителя и способствующий самозатуханию материала. Это свойство реализуется при изготовлении изоляции токопроводов, а также в составе огнезащитных материалов [4–6].

Однако в чистом виде СК образуют слабосвязанный керамический слой, в связи с этим применяют модификацию полимера [5; 7; 8] путем введения армирующих волокон и коксообразующих дисперсных наполнителей.

Самым эффективным коксообразующим полимером являются фенолформальдегидные смолы, коксовый остаток составляет около 60%.

Армирование волокнами применяется для того, чтобы повысить прочность исходного материала и

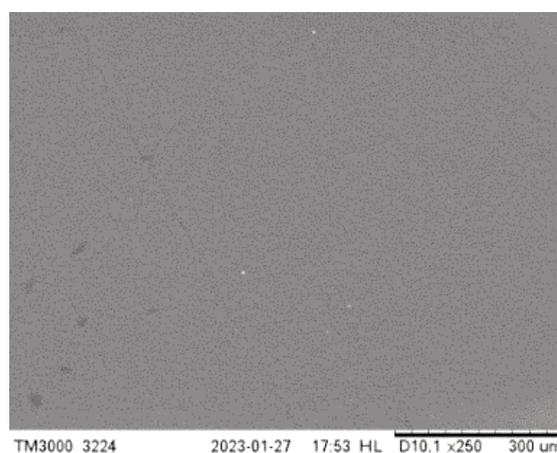


Рис. 1. Структура ПДМС

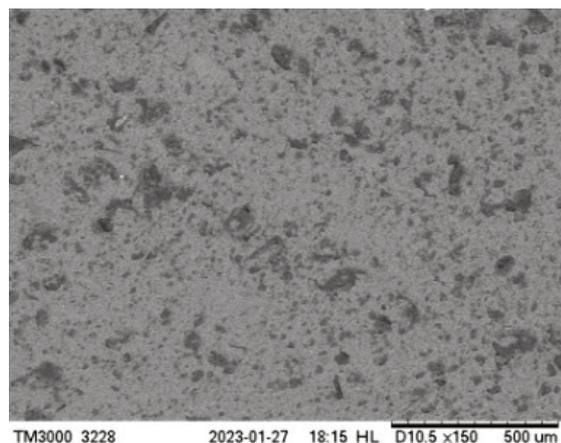


Рис. 2. Структура ПДМС+ФФС

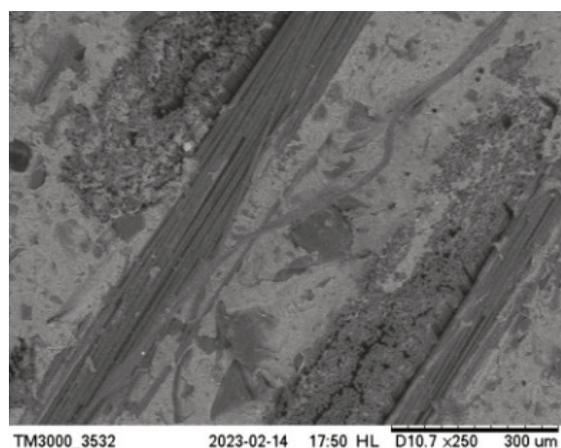


Рис. 3. Структура ПДМС+ФФС+УВ

углеродного или керамического остатка, формирующегося при пиролизе. Углеродные волокна (УВ) наиболее перспективны для армирования ввиду низкой плотности, высокой прочности и жесткости, низкого коэффициента теплового расширения.

В данной работе исследуются материалы на основе полидиметилсилоксана (ПДМС) марки «Юнисил 9728» и фенолформальдегидной смолы (ФФС) марки СФ-015 в виде порошка. Армирование проводили углеродными волокнами (УВ) текстильной формы в виде ткани марки UWB-3K-TWILL2/2-100 (три слоя).

Материалы получены методами механического замешивания и ручного формования. Микроструктура исходного ПДМС с добавлением ФФС и волокон показана на рис. 1 – рис. 3.

В зависимости от угла армирования в таких материалах может быть достигнут различный уровень прочностных характеристик. Так, при армировании $0^\circ/90^\circ$ прочность возросла в 20 раз, а относительное удлинение снизилось в 20 раз в сравнении с

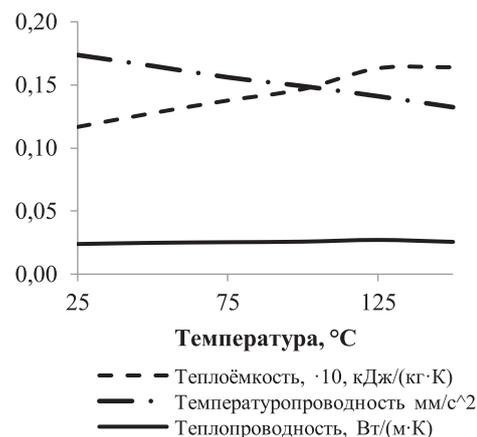


Рис. 4. Теплофизические характеристики с ростом температуры углепластиков

углепластиками, армированными в направлениях $\pm 45^\circ$.

С введением ФФС твердость по Шору возрастает в 1,5 раза, а при армировании УВ – в 2 раза, что свидетельствует о повышении сопротивляемости вдавливанию индентора и, соответственно, о повышении сопротивлению истиранию.

Температуропроводность является мерой теплоинерционных свойств и зависит от многих факторов: природы и физических свойств, строения, кристалличности, межфазных границ и т.д. Для полученных углепластиков при 25°C температуропроводность составила $\sim 0,17 \text{ мм/с}^2$ (рис. 4).

Теплоемкость и теплопроводность углепластиков составили $1,2 \text{ кДж/(кг·К)}$, $0,24\dots 0,25 \text{ Вт/(м·К)}$ соответственно (рис. 4).

Проведен термогравиметрический анализ в среде воздуха и аргона. Термостойкость в среде кислорода примерно 360°C , коксовый остаток – 21%. Термостойкость в инертной среде составляет 455°C , коксовый остаток – 45%.

2. Заключение

Таким образом, исследованы механические и теплофизические характеристики композиционных материалов на основе полидиметилсилоксанового каучука и фенолформальдегидной смолы, исследована микроструктура и поведение материалов при стационарном нагреве.

Список использованных источников

- [1] Improving ablation properties of liquid silicone rubber composites by in situ construction of rich-porous char layer / L. Yan et al. // Journal of applied polymer science. 2021. Vol. 138, no. 11. Art. 50030.

-
- [2] Study on the thermal stability and ablation properties of metallic oxide-filled silicone rubber composites using uniform design method / R. Li et al. // *Journal of polymer engineering*. 2016. Vol. 36, no. 8. P. 805–811.
- [3] Шетц М. Силиконовый каучук. Л.: Химия, 1975. 192 с.
- [4] Flame retardancy of silicone-based materials / S. Hamdani et al. // *Polymer Degradation and Stability*. 2009. Vol. 94, no. 4. P. 465–495.
- [5] Studies on the thermal properties of silicone polymer based thermal protection systems for space applications / S. Nair et al. // *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2017. Vol. 128. P. 1731–1741.
- [6] Combined kinetic analysis of multistep processes of thermal decomposition of polydimethylsiloxane silicone / C. García-Garrido et al. // *Polymer*. 2018. Vol. 153. P. 558–564.
- [7] In situ construction of fiber-supported micro-porous char structure to enhance anti-ablative performance of silicone rubber composites / Y. Huang et al. // *Polymers for advanced technologies*. 2021. Vol. 32, no. 8. P. 2899–2907.
- [8] Highly branched phenolic resin-grafted silicone rubber copolymer for high efficiency ablation thermal protection coating / B. Li et al. // *Journal of applied polymer science*. 2020. Vol. 137, no. 6. Art. 48353. 9 p.