

---

## Углепластики на основе композиции полидиметилсилоксанового каучука и фенолформальдегидной смолы

К.С. Панина<sup>1,2</sup>, Е.А. Данилов<sup>2</sup>, Ю.А. Курганова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

<sup>2</sup> 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<sup>1,2</sup>, E.A. Danilov<sup>2</sup>, Yu.A. Kurganova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, Russia

<sup>2</sup> 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 SiO<sub>2</sub>, 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

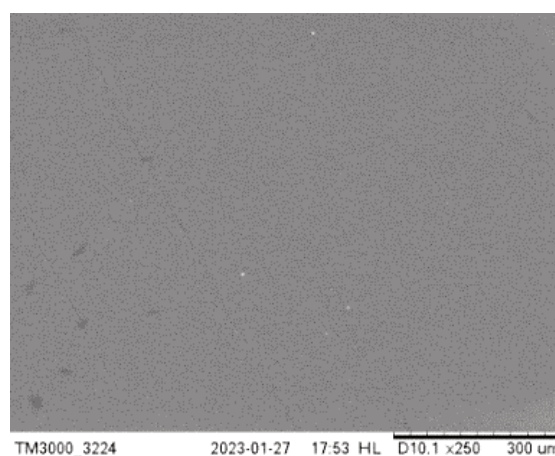


Рис. 1. Структура ПДМС

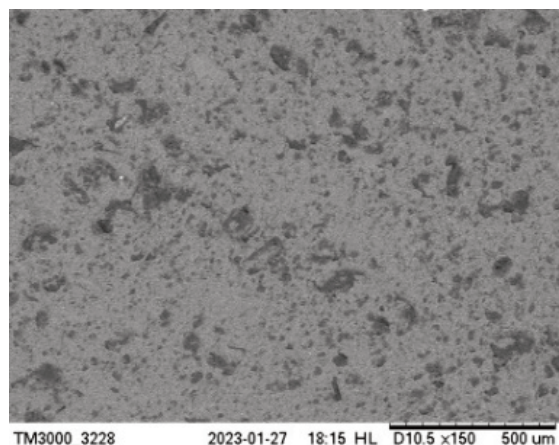


Рис. 2. Структура ПДМС+ФФС

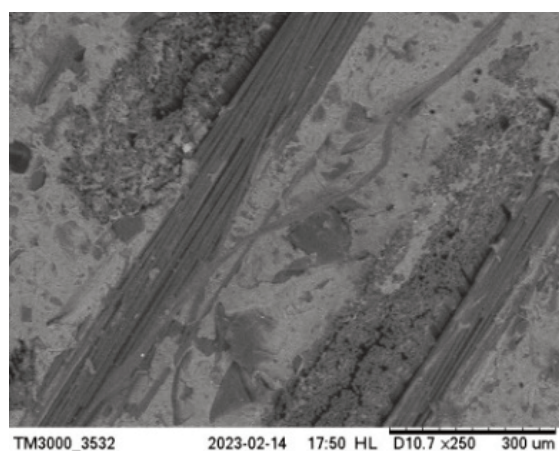


Рис. 3. Структура ПДМС+ФФС+УВ

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

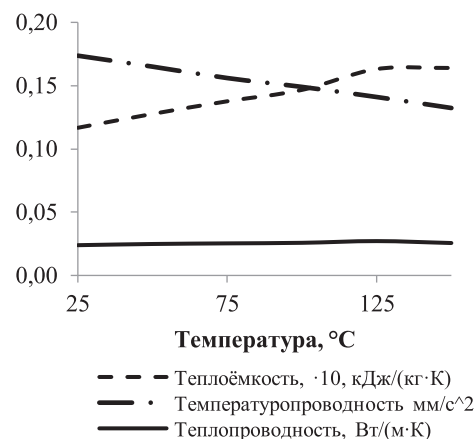


Рис. 4. Теплофизические характеристики с ростом температуры углепластиков

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 вдавливаю 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  $25^\circ\text{C}$  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  $360^\circ\text{C}$ , коксовый остаток – 21%. Термостойкость в инертной среде составляет  $455^\circ\text{C}$ , 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.