

КОНСОЛИДАЦИЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СВМПЭ-WB<sub>5</sub> МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

*ЯНЬ ХУЭЙЮЭ, В.Д.ПАЙГИН*

Томский политехнический университет

E-mail: [hueyyue1@tpu.ru](mailto:hueyyue1@tpu.ru)

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), благодаря своей структуре, обладает рядом уникальных свойств, выделяющих его среди других термопластичных полимеров: низкий коэффициент трения, высокая вязкость разрушения и износостойкость. Кроме выдающихся механических характеристик, СВМПЭ обладает способностью замедлять проходящее через него нейтронное излучение, однако полиэтилен не может полностью остановить движение нейтронов. Решением данной проблемы является модификация полимерной матрицы радиационно-стойкими наполнителями, которые способны поглощать нейтроны без образования долгоживущих радионуклидов. Такие композиты являются перспективными материалами для радиационной защиты [1], что делает развитие технологии их синтеза актуальной задачей [2].

Целью настоящей работы является изготовление композитов на основе СВМПЭ с высоким содержанием WB<sub>5</sub> методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) и изучение их свойств.

Порошковые смеси для изготовления композиционных материалов состава СВМПЭ-WB<sub>5</sub> готовили при помощи шаровой мельницы. Содержание WB<sub>5</sub> в смесях составляло 25, 50, 75 и 90 об. %. Консолидацию образцов проводили методом электроимпульсного плазменного спекания в пресс-формах из твердого сплава ВК6 на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония), изображение которых представлено на рисунке 1.

Электроимпульсное плазменное спекание похоже на горячее прессование, но метод нагрева совершенно другой. Это метод спекания под давлением, который использует электрический ток для нагрева консолидируемого материала. В процессе ЭИПС электрический ток проходит через частицы порошка [3, 4].

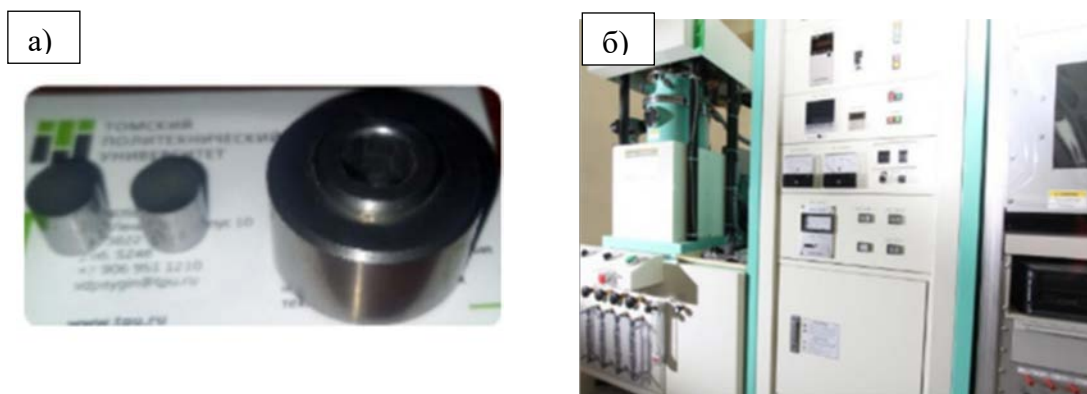


Рисунок 1 – а-Пресс-формы из твердого сплава, б-ЭИПС-515S

Температурный коэффициент расширения (ТКР) определяли на основе данных, зарегистрированных технологической установкой в процессе электроимпульсного плазменного спекания.

Плотность образцов определяли геометрическим методом по формуле:

$$\rho = \frac{m}{v}, \quad (1)$$

где  $\rho$ -плотность,  $m$ -масса образца,  $v$ -объем объекта.

Твердость образцов определяли по методу Шора на твердомере (дюрометре) ТВР-D (Восток-7, Россия).

На рисунке 2 представлены кривые изменения линейных размеров в процессе ЭИПС образцов СВМПЭ-WB<sub>5</sub>. Видно, что усадка образцов зависит от концентрации пентаборида вольфрама. Изменение линейных размеров образцов наблюдается на неизотермической стадии нагрева. Для образцов с содержанием пентаборида вольфрама в количестве от 25 до 50 об. % наблюдается уменьшение линейных размеров в диапазоне температур от 118 до 180 °С. Для образца с содержанием пентаборида вольфрама в количестве 75 об. % наблюдается увеличение линейных размеров в диапазоне температур от 124 до 170 °С. Для образца с содержанием пентаборида вольфрама в количестве 90 об. % наблюдается увеличение линейных размеров в диапазоне температур от 137 до 180 °С. Увеличение линейных размеров образцов, содержащих 75 и 90 об. % пентаборида, можно объяснить термическим расширением WB<sub>5</sub>, который преобладает в составе образцов.

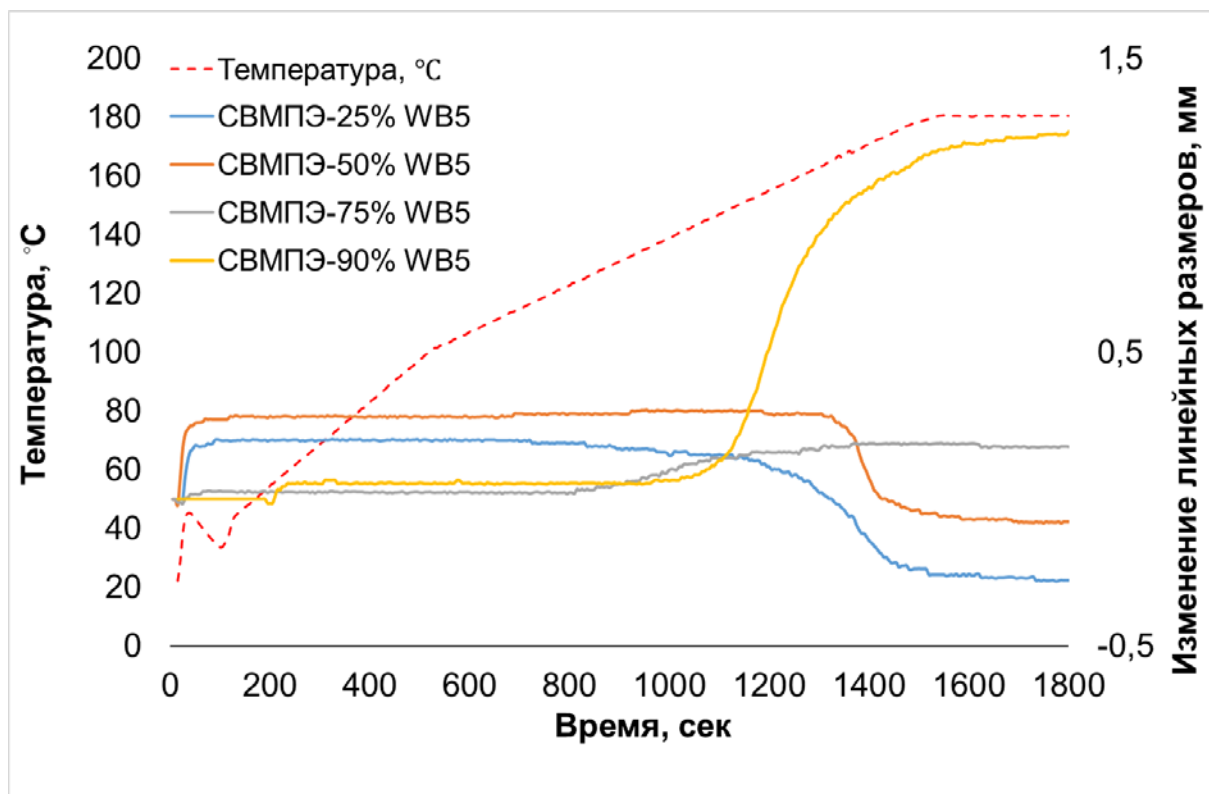


Рисунок 2 – Изменение линейных размеров образцов в процессе ЭИПС

Результаты измерения плотности, твердости и коэффициента термического расширения образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики образцов СВМПЭ-WB<sub>5</sub>

Параметры	СВМПЭ	СВМПЭ-25% WB <sub>5</sub>	СВМПЭ-50% WB <sub>5</sub>	СВМПЭ-75% WB <sub>5</sub>	СВМПЭ-90% WB <sub>5</sub>
Твердость по Шору, отн. ед.	62±2	67±2	67±2	76±2	86±2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,92±0,02	1,17±0,02	1,51±0,02	2,09±0,02	2,88±0,02

Результаты показывают, что с увеличением содержания WB<sub>5</sub> в СВМПЭ от 0 до 90 об. % твердость образцов повышается с 62 до 86 от. ед. Наибольшую твердость демонстрирует образец СВМПЭ-90 %WB<sub>5</sub>. Плотность образцов возрастает с увеличением содержания наполнителя СВМПЭ-90 %WB<sub>5</sub>.

В результате работы были изготовлены композиционные материалы состава СВМПЭ-WB<sub>5</sub> методом электроимпульсного плазменного спекания, изучено влияние содержания наполнителя на плотность и твердость. Электроимпульсное спекание позволяет эффективно повысить твердость, прочность и ударную вязкость композиционных материалов, одновременно снижая их коэффициент теплового расширения и теплопроводность.

Показано, что твердость композиционных материалов состава СВМПЭ-WB<sub>5</sub> повышается с увеличением содержания наполнителя. Максимальная твердость (86 отн. ед.) наблюдается при содержании WB<sub>5</sub> - 90 об. %.

*Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России, Гос.задание «Наука», проект № FSWW-2023-0011. на базе ЦКП НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.*

#### **Список литературы**

1. Kaloshkin S.D., Tcherdyntsev V.V., Gorshenkov M.V., Gulbin V.N., Kuznetsov S.A. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites, Journal of Alloys and Compounds, 2012. – P.522 – 526.
2. Алишин Т.Р., Чжан П., Хуан Ж., Двилис Э.С., Хасанов О.Л. Влияние процесса приготовления порошковой смеси на консолидацию композитов В<sub>4</sub>С-СВМПЭ // О Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (ФППСМ-2022): Сборник трудов XI всероссийской научной конференции, 13-17 апреля 2022 года, г. Томск. – Томск: Томский государственный университет, 2022. – 187 с.
3. Болдин М.С. Физические основы технологии электроимпульсного плазменного спекания. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 59 с.
4. Eric J.M., Marcel A.J.S. Thermochemical Surface Engineering of Steels // Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering – 2010. – P. 434-473.