

УДК 678

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ SPS-СПЕКАНИЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ И В₄С**Д.С. Васильев, Т.Р. Алишин, О.С. Толкачев

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Э.С. Двилис

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2, 634028

E-mail: dsv11@tpu.ru**INFLUENCE OF SPS-SINTERING TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE
MATERIALS BASED ON UHMWPE AND B₄C**D.S. Vasilev, T. R. Alishin, O.S. Tolkachev

Scientific Supervisor: Dr. E.S. Dvilis

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 2, 634028

E-mail: dsv11@tpu.ru

Abstract. *In this work, we studied the effect of the SPS sintering temperature on the properties of composite materials based on UHMWPE and B₄C. The dependence of the density of samples with different filler content, as well as the effect of particle size on the density of samples with a B₄C content of 75%, is considered.*

Введение. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение во многих областях науки и техники. Одним из наиболее перспективных материалов для ПКМ является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) [1]. СВМПЭ представляет собой аморфно-кристаллический термопластичный полимер с молекулярной массой 1,5—11,5 млн. г/моль. Для СВМПЭ характерны высокая прочность, ударная вязкость, износостойкость, низкий коэффициент трения, химическая стабильность, биосовместимость, поэтому изделия из СВМПЭ применяют в эндопротезировании (шарнирный наконечник суставов), для изготовления элементов индивидуальной бронезащиты, спортивного инвентаря (лыжи, сноуборды), а также деталей, подверженных повышенным ударным нагрузкам и истиранию (шестерни, направляющие) и т.д. [2]

В настоящее время ведутся работы в направлении улучшения механических и трибологических характеристик СВМПЭ. Одним из методов повышения эксплуатационных характеристик является армирование полимерной матрицы различными дисперсными или волокнистыми наполнителями [2]. Перспективным наполнителем для ПКМ является карбид бора, который обладает высокой твердостью (до 50 ГПа) и низкой удельной массой (2,52 г/см³) [4].

Цель данной работы – изучить влияние температуры консолидации, объемной доли и размера частиц наполнителя на конечную плотность композиционных образцов на основе СВМПЭ.

Материал и методики экспериментов. В качестве объекта исследования в работе использовали композиционный материал на основе СВМПЭ GUR 2122 (Celanese, Германия), с молекулярной массой 4,5 млн. г/моль и размером частиц 5-15 мкм. В качестве наполнителя использовали частицы карбида бора со

средними размерами: 46 нм (Plasmachem GmbH, Германия), 3 мкм (ОКБ-БОР, Россия), 60 мкм (Plasmotherm, Россия) и 160 мкм (Plasmotherm, Россия). Объемная доля наполнителя В₄С составляла 25, 50 и 75%.

Механические смеси получали методом сухого перемешивания в шаровой мельнице при скорости вращения 30 оборотов в минуту в течении 24 ч. В качестве мелющих тел использовали шары из диоксида циркония диаметром 3 мм. Соотношение массы смеси к массе мелющих тел составляло 1:4. После обработки порошков в шаровой мельнице смесь дополнительно перетирала в агатовой ступке.

Консолидацию образцов осуществляли на установке электроимпульсного плазменного спекания SPS-1500A (SPS SYNTEX INC, Япония) в вакууме при температурах 145, 180 и 210°C, скорость нагрева 20°C/ мин., время выдержки 10 мин., давление 40 МПа. Спекание проводили в пресс-форме из карбида вольфрама (ВК6) диаметром 10 мм, предназначенной для одноосного прессования.

Результаты исследования и их обсуждение. График зависимости плотности образцов с различным содержанием наполнителя от температуры спекания представлен на рисунке 1. Из представленных результатов видно, что плотность образцов снижается с увеличением объемной доли наполнителя. Увеличение доли наполнителя приводит к образованию большого количества закрытых пор, которые не заполняются полимером в процессе спекания. При повышении температуры спекания с 145 до 180 °C плотность образцов из чистого СВМПЭ снижается приблизительно на 3%, что связано с изменением соотношения фаз в сторону аморфной. Дальнейшее повышение температуры в изученном диапазоне к существенному изменению плотности не приводит. У состава В₄С 75% наблюдается обратный эффект, вызванный повышением текучести полимера с ростом температуры, вклад которой в консолидацию, в данном случае, существенно выше вклада конкурирующего процесса фазовых превращений в структуре СВМПЭ. Влияние температурного режима спекания на плотность оказалось минимальным для образцов с содержанием наполнителя 25 и 50% В₄С

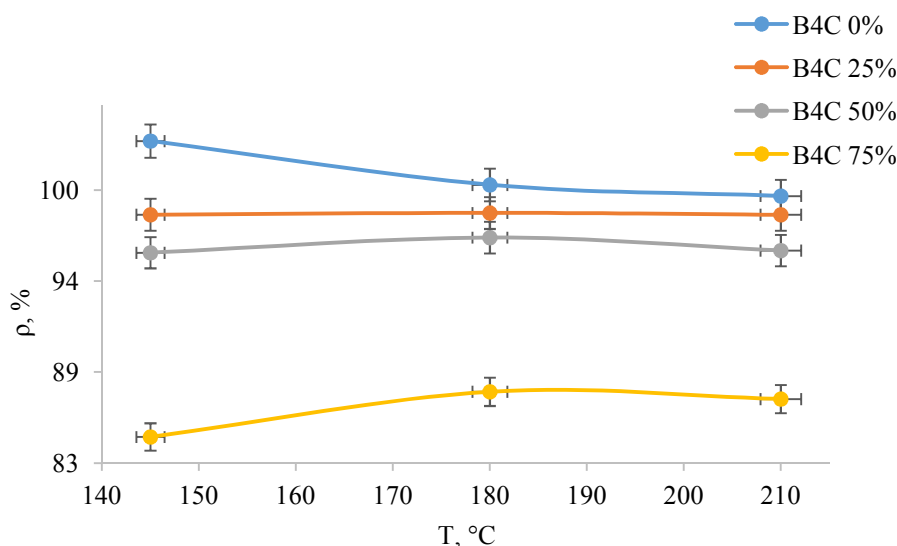


Рис. 1. Зависимость плотности образцов с различным объемным содержанием частиц наполнителя размера 3 мкм от температуры спекания

Последующую серию экспериментов проводили для выявления зависимости влияния размера частиц наполнителя на плотность композиционных образцов с содержанием В₄С 75%. Предполагалось,

что при максимальном содержании наполнителя влияние размера частиц будет наиболее существенным. Спекание проводили при температуре 180 °С. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Плотность образцов с разным размером наполнителя В₄С 75%

Размер, мкм	ρ , %
0,046	70,5
3	87,4
60	75,6
160	75,6

Из результатов видно, наибольшую плотность (87,4%) имеет образец с наполнителем размером 3 мкм. Полученный результат можно объяснить более плотной упаковкой частиц СВМПЭ и наполнителя. При изменении размера частиц в большую и меньшую сторону плотность композитов снижается на 13% и 19% соответственно.

Закключение. В ходе работы установлено, что увеличение объемной доли наполнителя приводит к снижению плотности композита. Максимальную плотность из композитов (98,4%) имеет образец с содержанием В₄С 25%, полученный при температуре 180 °С. Минимальная плотность (84,6%) у образца с содержанием В₄С 75%, спеченного при температуре 145 °С.

При повышении температуры спекания от 145 до 180 °С наблюдается изменение конечной плотности у образцов из чистого СВМПЭ (снижение на 3%) и с содержанием наполнителя В₄С 75% (увеличение на 3,5%). Влияние температурного режима спекания на плотность оказалось минимальным для образцов с содержанием наполнителя 25 и 50% В₄С

Эксперимент по влиянию размера частиц показал, что при использовании наполнителя размером 3 мкм достигается наибольшая плотность (87,4%), изменение размера частиц в большую и меньшую сторону приводит к снижению плотности на 13% и 19%.

Работа выполнена по теме Госзадания «Наука» FSWW-2020-0014 (5.0017.ГЗБ.2020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валуева М.И., Колобков А.С., Малаховский С.С. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: рынок, свойства, направления применения (обзор) // Труды ВИАМ. – 2020. – Т. 3., №87. – С. 49-57.
2. Селютин Г.Е., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская У.Н., Захаров В.А., Никитин В.Е., Полубояров В.А., Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – №18. – С. 375-388
3. Sobieraj, M. C., Rimnac, C. M. Ultra high molecular weight polyethylene: Mechanics, morphology, and clinical behavior // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2009. – V.2, №5. – P. 433–443.
4. Косолапова, Т.Я. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений: справ.изд./ под ред. Т.Я. Косолаповой. – М.: Металлургия, 1986. – 928 с.