

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСАДКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСКРОВОМ ПЛАЗМЕННОМ СПЕКАНИИ

Тукмакова А. С.<sup>1</sup>, Кадыров А. Ф.<sup>1</sup>, Темуров Б.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Новотельнова А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Искровое плазменное спекание (ИПС) является одним из наиболее эффективных и современных методов получения объемных наноструктурированных материалов. Механизмы формирования конечной структуры материала в ходе ИПС, включающие нагрев, деформацию, усадку материала, остаются не до конца изученными. Существует ряд работ по исследованию ИПС металлов и керамик с подробным рассмотрением механических аспектов спекания [1-5]. Однако, в литературе не представлены работы по детальному исследованию ИПС термоэлектрических материалов.

Проведен расчет усадки термоэлектрического материала в процессе ИПС. Моделирование выполнено методом конечных элементов в программе Comsol Multiphysics. Проведено моделирование процесса Джоулева нагрева при прохождении электрического тока и термоэлектрического эффекта. Описание механических процессов включало упругую и пластическую деформацию обрабатываемого материала. При расчете учитывалось влияние пористости материала на механические, теплофизические, электрофизические свойства материала. Проводилось нестационарное моделирование заданной усадки, полученной экспериментально. В результате оценивалась величина давления в объеме образца и его деформация.

Полученная величина давления согласуется с экспериментом. Максимальное отклонение расчетного давления от экспериментального не превышает 7 %. Рассчитано увеличение размеров образца до 2 % в радиальном направлении. Изменение размеров образца также согласуется с экспериментом. Модель позволяет рассчитывать локальный рост давления в матрице пресс-формы, что может применяться для оценки прочности пресс-формы при заданных технологических параметрах искрового плазменного спекания.

- [1] W. Wang, H. Qi, P. Liu, Y. Zhao, H. Chang. *Metals*, 8 (7), 537 (2018).
- [2] P. Han, X.Z. An, Y.X. Zhang, Z.S. Zou. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.*, 51, 163 (2015).
- [3] Y. Song, Y. Li, Z. Zhou, Y. Lai, Y. Ye. *J. Mater. Sci*, 46, 5645 (2011).
- [4] C. Manière, L. Durand, A. Weibel, C. Estournès. *Acta Mater.*, 102, 169 (2016).
- [5] P. Mondalek L. Silva, M, Bellet. *Adv. Eng. Mater.*, 13 (7), 587 (2011).