

УДК 678.073

## Определение параметров изготовления деталей из углепластика методом автоматизированной выкладки с учетом особенностей теплообмена препрега

**Резник Сергей Васильевич**

sreznik@bmstu.ru

SPIN-код: 1000-3828

**Михайловский Константин Валерьевич**

mikhaylovskiy@bmstu.ru

SPIN-код: 6481-7346

**Смирнов Григорий Константинович<sup>(\*)</sup>**

gksmirnov@bk.ru

SPIN-код: 4742-5257

**Щербина Виталий Андреевич**

vitaliy.chess@mail.ru

SPIN-код: 4226-4872

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

**Аннотация.** Предложена математическая модель теплообмена однонаправленного термопластичного препрега при автоматизированной выкладке деталей из углепластика с учетом зависимости оптических характеристик препрега от угла падения теплового потока, отражения потока от предыдущего слоя и области тени в месте прижима ленты. Проведена оценка влияния мощности теплового потока на температурное состояние однонаправленного препрега для различных скоростей выкладки.

**Ключевые слова:** автоматизированная выкладка, препрег, параметрическое моделирование

**Введение.** На сегодняшний день активно развиваются автоматизированные технологии производства деталей и конструкций для аэрокосмической отрасли с применением различных полимерных композиционных материалов [1]. Принцип изготовления заключается в последовательной выкладке слоев препрега на основе однонаправленной ленты, преимущественно армированной углеродным волокном для достижения высоких физико-механических характеристик. В процессе автоматизированной выкладки препрег подвергается воздействию быстрого локального нагрева с использованием лазерного излучения [2–4]. Для выбора рациональных параметров процесса изготовления деталей указанным методом крайне важно разработать математическую модель, которая бы учитывала зону тени, образованную ввиду конструктивных особенностей системы выкладки, отражение лазерного излучения от предыдущего слоя выкладываемого изделия и зависимость оптических характеристик ленты от угла падения теплового потока.

**Методы и материалы.** Решение уравнений математической модели теплообмена в препреге было реализовано в программе Comsol Multiphysics методом конечных элементов. В работе препрег рассматривался как термически тонкое тело, отражение от предыдущего слоя препрега принималось зеркальным. Также в работе учтено термическое контактное сопротивление препрега

с прижимным роликом. В качестве материала препрега рассматривались различные комбинации углеродной нитки и термопластичных связующих.

**Результаты.** Получено температурное поле в препреге при выкладке и определены рациональные значения теплового потока для разных скоростей выкладки. Проведена оценка влияния различной температуры ролика на температурное поле ленты.

**Заключение.** Разработана математическая модель нагрева угленасыщенного термопластичного препрега в процессе аддитивного изготовления детали ракетно-космической техники. Указанная математическая модель и полученные температурные поля могут быть применены в последующих работах для оптимизации технологического режима автоматизированной выкладки с целью повышения прочности межслоевого взаимодействия в детали.

#### Список источников

- [1] Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Развитие автоматизированной выкладки: от истоков до наших дней (обзор) часть 1. Автоматизированная выкладка лент (ATL). *Авиационные материалы и технологии*, 2021, № 2 (63), с. 51–61. <https://doi.org/10.18577/2713-0193-2021-0-2-51-61>
- [2] Comer A.J., Ray D., Obande W.O., Jones D., Lyons J., Rosca I. et al. Mechanical characterisation of carbon fibre–PEEK manufactured by laser-assisted automated- tape-placement and autoclave. *Compos Part Appl Sci Manuf.*, 2015, vol. 69, pp. 10–20.
- [3] Stokes-Griffin C.M., Compston P., Matuszyk T.I., Cardew-Hall M.J. Thermal modelling of the laser-assisted thermoplastic tape placement process. *J. Thermoplast. Compos Mater.*, 2013, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1177/0892705713513285>
- [4] Oromiehie E., Prusty B.G., Compston P., Rajan G. Automated fibre placement based composite structures: Review on the defects, impacts and inspections techniques *Compos. Struct.*, 2019, vol. 224, art. no. 110987. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.110987>