

УДК 629.78:678.8

Анализ путей совершенствования технологии автоматизированной выкладки ленточного препрега на основе моделирования тепловых процессов

Щербина Виталий Андреевич^(*)

vitaliy.chess@mail.ru

Резник Сергей Васильевич

sreznik@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы производства конструкций по технологии автоматизированной выкладки углеродной ленты на основе углеродного волокна UMT 49-12K-EP и термопластичной матрицы. Теоретически и экспериментально исследованы процессы комбинированного теплообмена в зоне наплавки при действии лазерного излучения. Для заданного уровня температуры наплавки установлена связь между скоростью выкладки и плотностью теплового потока лазерного излучения.

Ключевые слова: углепластик с термопластичной матрицей, автоматизированная выкладка, лазерный нагрев, моделирование, теплообмен

Введение. Автоматизированная выкладка материалов на основе термопластичных связующих — одна из перспективных энергоэффективных и высокопроизводительных технологий формообразования композитных конструкций ракетно-космической и авиационной техники [1–5]. При этом отпадает необходимость в отверждении полимерного связующего в печах или автоклавах. При автоматизированной выкладке конструкция формируется за счет послойного наплавления лент до достижения необходимой толщины. Соединение лент происходит за счет локального лазерного нагрева и приложения давления в зону наплавки.

При реализации автоматизированной выкладки одновременно происходят несколько физико-химических процессов, оказывающих влияние на качество получаемого соединения. Поскольку динамика этих процессов в сильной степени зависит от температуры, то на первый план при выборе рациональных режимов производства выходит получение достоверной информации об изменении температурных полей в зоне наплавки. В силу достаточно сложной пространственной конфигурации рабочего пространства актуальна разработка математической модели комбинированного теплообмена, происходящего в окрестностях зоны наплавки.

Материалы и методы; результаты. Разработана математическая модель комбинированного теплообмена движущейся ленты из анизотропного полимерного композиционного материала, тыльная поверхность которой нагревается под углом потоком лазерного излучения. Модель впервые учитывает многократное отражение и переизлучение теплового излучения в области, имеющей сложную форму клиновидной поверхности с вершиной в зоне

наплавки и в окрестностях прижимного ролика. Для определения температурных полей использован метод конечных элементов и его реализация в программном комплексе.

Заключение. В результате моделирования были получены теоретические данные о распределении температуры в процессе автоматизированной выкладки. На основе экспериментальных данных была проведена валидация математической модели. Разработанная математическая модель используется для подбора рациональных технологических режимов производства и может представлять интерес для промышленных предприятий, специализирующихся в данной области.

Список источников

- [1] Lukaszewicz D.H.J.A., Ward C., Potter K.D. The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future. *Composites: Part B*, 2012, vol. 43, no. 3, pp. 997–1009. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.12.003>
- [2] Jeyakodi G.G., Shroff S. Finite element simulation of in-situ consolidation of fiber placed thermoplastic laminate for prediction of residual stresses and laminate quality. *Proc. 3-rd International symposium on automated composites manufacturing*, Montreal, 2017.
- [3] Schledjewski R., Latrille M. Processing of unidirectional fiber reinforced tapes — fundamentals on the way to a process simulation tool (ProSimFRT). *Composites science and technology*, 2003, no. 63, pp. 2111–2118. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00108-8](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00108-8)
- [4] Ювшин А.М., Андреев Ю.С., Восоркин А.С., Яблочников Е.И. Роботизированный комплекс для реализации технологии автоматизированной выкладки изделий из термопластичных композиционных материалов. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2018, т 61, № 8, с. 672–677. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-8-672-677>
- [5] Михайловский К.В., Каледин А.В., Базанов М.А. Измерение остаточных технологических деформаций в углепластике при автоматизированной выкладке препрега на основе термопластичного связующего. *Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов. XXII Междунар. науч.-техн. конф.: сб. тез.* Обнинск, Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» имени А.Г. Ромашина, 2023, с. 182–183.