РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОКИ ИЗ ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ

Савлук Д.А.[1], Савлук А.А.[2], Лысак Г.В.[3], Лысак И.А.[4]
Томский политехнический университет
e-mail: dab47@tpu.ru

В статье рассмотрена задача разработки математической модели формообразования изделий из титана методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме.

Ключевые слова: электронно-лучевая проволочная аддитивная технология, математическое моделирование, титановый сплав, послойная наплавка, компьютерная инженерия.

Введение

Аддитивное производство является сложной системой, к характерным особенностям которых относятся многокритериальность оценок процессов, разнородность и многообразие информационных связей между подсистемами и элементами.

Электронно-лучевой источник тепла имеет определенные преимущества при обработке материалов из-за его высокой энергоэффективности и возможности использовать собственные высокие скорости сканирования для поддержания высокой температуры окружающей среды в вакууме. Однако образование дефектов препятствует дальнейшему применению ЭЛАП. Нестабильные ванны расплава приводят к появлению некоторых дефектов, связанных со стабильностью обработки, таких как дымление, разбрызгивание [1].

Описание теоретических исследований

Целью настоящей работы является разработка модели для исследования распределения температур, возникающих при послойном нанесении титанового сплава марки ВТ6 на подложку с использованием программного комплекса ANSYS.

Математическая модель включает в себя модель источника теплового воздействия и подложку из титанового сплава марки ВТ6 (рис. 1). Наплавляемый материал – проволока Ø0,9 мм из титанового сплава той же марки. В качестве зажима используются медные пластины.

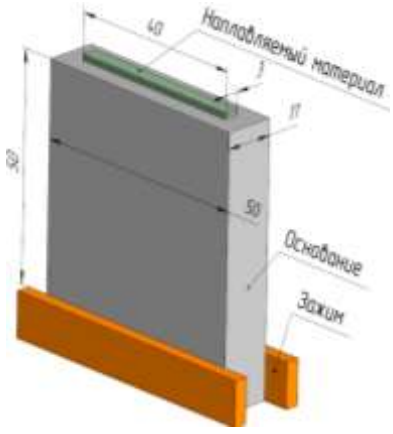

Рис. 1. Схема геометрии образца

В основе решения поставленной задачи лежит численная аппроксимация дифференциального уравнения теплопроводности, которое в общем случае имеет вид:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(\lambda \nabla T) + Q, \quad (1)$$

где $T = T(x, \tau)$ – температура; C – теплоемкость единицы массы; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; $Q = Q(x, \tau)$ – плотность тепловых источников, т. е. количество тепла, выделяющееся в единицу времени в единице объема; τ – время.

Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность могут зависеть от температуры, времени и координат.

Уравнение (1) с определенными начальными и граничными условиями представляет задачу о распределении температуры в каждой точке рассматриваемой области для любого момента времени.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 и 3 представлено прогнозируемое распределение температур во время нанесения первого и последнего слоев соответственно.

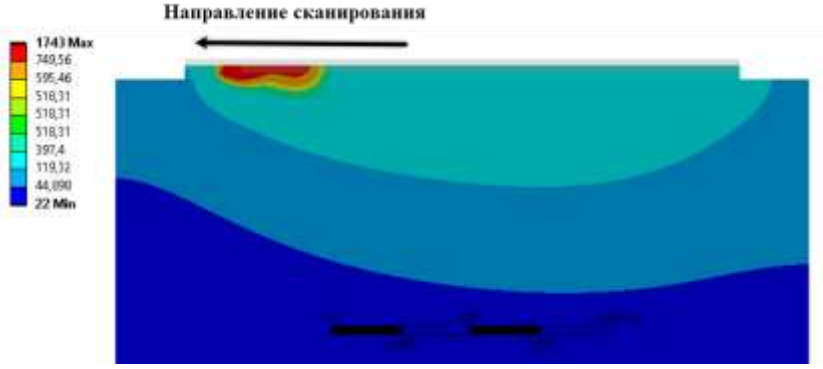

Рис. 2. Распределение температуры в процессе наплавления первого слоя

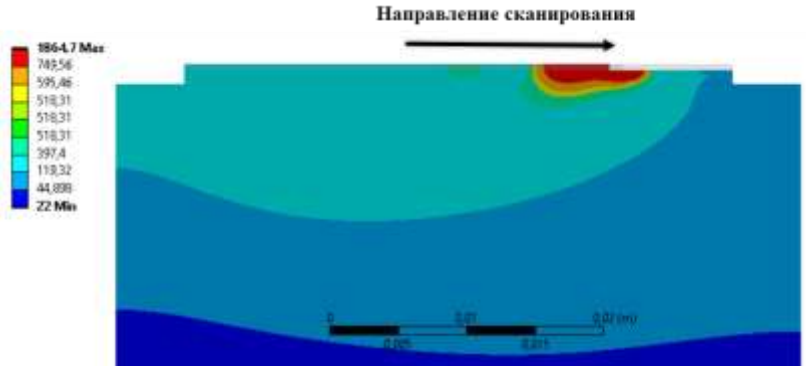

Рис. 3. Распределение температуры в процессе наплавления последнего слоя

На основе проведенного численного исследования установлена локализация максимального температурного пика внутри ванны расплава и температура титановой подложки в процессе наплавки. Установлено, что остаточное тепло первого слоя оказывает существенное влияние на процесс многослойной наплавки.

Список литературы

1. Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi Electron beam metal additive manufacturing: Defects formation and in-process control [Текст] / Yilei Shi, Shuili Gong, Haiying Xu, Guang Yang, Junnan Qiao, Zhuang Wang, Jianchao Zhang, Bojin Qi // Journal of Manufacturing Processes. – 2023. – № 101. – С. 386–431.

2. Rouquette S.; Guo J.; Le Masson P. Estimation of the parameters of a Gaussian heat source by the Levenberg–Marquardt method: Application to the electron beam welding. Int. J. Therm. Sci. 2007, 46, 128–138. [CrossRef].