

УДК 621.791

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ABAQUS CAE

С. А. ЭГАМБЕРДИЕВ¹, Р. С. МИХЕЕВ¹,
П. А. БЫКОВ², И. Е. КАЛАШНИКОВ²

¹Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

²Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН
Москва, Россия

Многослойные композиции широко применяются во многих отраслях промышленности. Например, биметаллические подшипники скольжения, представляющие собой антифрикционный слой из баббита на стальном корпусе, входят в состав конструкций двигателей автомобилей и тракторов, тяжелых транспортных дизелей, технологического оборудования, а также компрессоров и насосов [1]. При этом с целью дальнейшего расширения областей применения в тяжелых условиях эксплуатации подобных изделий многообещающим является формирование процессом дуговой наплавки рабочего антифрикционного слоя из композиционных материалов на основе алюминия с повышенными триботехническими свойствами [2]. Однако температурно-временные условия процесса наплавки оказывают решающее воздействие на кинетику физико-химических и металлургических процессов, а также величину деформаций и напряжений [3]. Поэтому особый интерес представляет моделирование температурно-временных условий процесса дуговой наплавки многослойных композиций системы «низкоуглеродистая сталь – баббит – антифрикционный композиционный материал на основе алюминия», что и являлось целью данной работы.

Математическое моделирование осуществляли методом конечных элементов в программном комплексе ABAQUS CAE, выбранном по критериям доступности и широкого практического применения для решения задач при сварке и наплавке. С целью обеспечения возможности чтения конфигурационного скрипта математической модели использовали язык программирования Python. Важно отметить, что выбор и применение источника тепла в виде двойного эллипсоида позволили учесть проплавление электрической дугой слоя баббита, а также построить распределение температурного градиента в процессе дуговой наплавки.

Валидацию разработанной математической модели процесса дуговой наплавки многослойных композиций проводили сопоставлением полученных с помощью аналитического и экспериментального методов геометрических размеров наплавленных валиков из композиционного материала на основе алюминия: ширина e , мм, и глубина проплавления h , мм, а также его площади поперечного сечения S , мм² (табл. 1). При этом в качестве подложки применяли биметаллическую композицию, состоящую из низкоуглеродистой стали 20 (ГОСТ 1050) и баббита Б83 (ГОСТ 1320), изготовленную по традиционной

литейной технологии. Расхождение P результатов моделирования и эксперимента определяли в процентах как отношение разности значений площади поперечного сечения наплавленных валиков, определенных при моделировании и экспериментально, к таковому, полученному при моделировании.

Табл. 1. Полученные при моделировании и экспериментально геометрические характеристики и площадь поперечного сечения наплавленных валиков в зависимости от величины погонной энергии процесса дуговой наплавки

Погонная энергия процесса наплавки Q , кДж/мм	Геометрические размеры наплавленного валика ¹⁾ , мм		Площадь поперечного сечения наплавленного валика ¹⁾ S , мм ²	Расхождение P , %
	e	h		
90	13,0 / 11,5	12,0 / 4,0	125 / 109	13
108	16,0 / 12,0	16,0 / 4,0	167 / 123	26
126	18,0 / 13,0	18,0 / 4,0	190 / 146	23
<i>Применение</i> – ¹⁾ в числителе значения, полученные аналитически с применением разработанной математической модели, в знаменателе – экспериментально				

Согласно полученным результатам, значения расхождения площади поперечного сечения наплавленных валиков находятся в диапазоне от 13 % до 26 % в зависимости от погонной энергии процесса наплавки. Таким образом, разработанная математическая модель может быть рекомендована для решения практических задач, заключающихся в определении характера температурно-временных условий и выборе значений основных технологических параметров процесса дуговой наплавки при создании многослойных композиций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение износостойкости узлов скольжения технологических машин / Е. А. Панфилов, В. В. Капустин, Е. В. Шевелева, Г. А. Пилюшина // Вестник машиностроения. – 2022. – № 4. – С. 38–42.
2. Исследование влияния аргонодуговой сварки на структуру и механические свойства композиционных материалов АМг2-10TiC, АМг6-10TiC, полученных методом СВС в расплаве / Ю. В. Шерина, А. Р. Луц, И. Ю. Тимошкин, И. А. Зырин // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 1. – С. 79–91.
3. **Mikheev, R. S.** Using mathematical methods for analysis of temperature-time conditions of arc surfacing upon manufacturing of steel-aluminum compositions / R. S. Mikheev, I. E. Kalashnikov // Inorganic Materials. – 2022. – Vol. 58. – P. 94–103.