

## ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПОПЕРЕЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ДЛЯ ПЛАСТИНЫ ИЗ ЭП-718

О. В. Муругова

murugova.oxana@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема верификации математического моделирования сварки. Описан процесс верификации путем сравнения термических циклов при натуральных и математических экспериментах. Разработана математическая модель роботизированной сварки плавящимся электродом с поперечными колебаниями для пластины из железоникелевого сплава ЭП-718. Проведено сравнение термических циклов.

**Ключевые слова:** роботизированная сварка; математическое моделирование; ANSYS; термические циклы; верификация; поперечные колебания.

### ВВЕДЕНИЕ

Один из важнейших этапов при моделировании любых физических процессов, например сварки, – это этап верификации математической модели. Один из способов верифицировать модель нагрева от теплового источника, имитирующего сварочную дугу, это сопоставление термических циклов, полученных на натуральных экспериментах, с термическими циклами из математической модели.

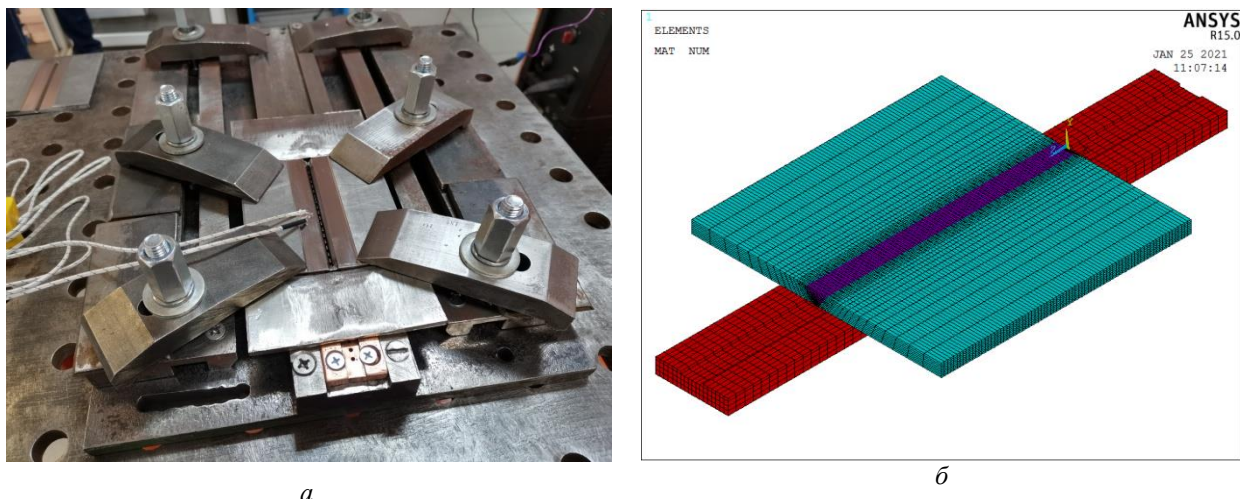
В данной статье предлагается рассмотреть процесс создания и верификации математической модели роботизированной дуговой сварки железоникелевого сплава ЭП-718 плавящимся электродом с поперечными колебаниями.

### СОЗДАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Сварка плавящимся электродом осуществлялась на роботизированном комплексе, в состав которого входили: робот ABB IRB 1600 с блоком управления IRC 5, источник питания EVOMIG 350 с синергетическим управлением, приспособление для сварки листовых заготовок с подачей аргона с обратной стороны шва. В качестве листовых заготовок использовали сплав ЭП718 толщиной 5 мм в состоянии поставки. Присадочная проволока – ЭП533 Ø 1,2 мм в состоянии поставки. Сварка проводилась с поперечными колебаниями горелки относительно траектории шва в 2 прохода. Технология сварки подробно описана в статье [1].

При сварке проводилось термометрирование – две термопары были установлены в пластине на глубине 1 мм и на расстоянии от сварного шва на 1 и 3 мм (рис. 1, а). Были сняты термические циклы при двухпроходной сварке.

Далее была создана конечно-элементная модель для имитации сварки аналогичной геометрии (рис. 1, б). Зависимость теплофизических свойств от температуры  $\rho(T)$ ,  $\lambda(T)$ ,  $c(T)$  принимали в соответствии с расчетами программы OPENCALTHAD по усредненному химическому составу сплава ЭП718. Размер конечных элементов вблизи стыка – 0,3 мм, плавно увеличивается от 1,3 до 7 мм к торцам пластины, количество элементов по толщине – 14, количество элементов в длину – 160. Размер конечных элементов в медной подкладке – 5 мм.



**Рис. 1.** Места установки термопар «К-типа» на сварном образце 100x100x4 мм (а) и конечно-элементная модель

Реальный нагрев имитировался подвижным источником типа двойного полуэллипсоида Голдака [2]. Поперечные колебания источника нагрева имитировались движением по синусоиде с амплитудой на 1-м проходе – 0,75 мм и 2,0 мм - во втором проходе.

Моделирование проводилось в несколько этапов:

Этап 1. Имитация 1-го прохода сварочным источником нагрева проводилась с помощью Heat generation (объемный источник). Время сварки – 15 сек. Для наплавления присадочного материала использовалась техника Birth and Death Elements (смерти и рождения элементов).

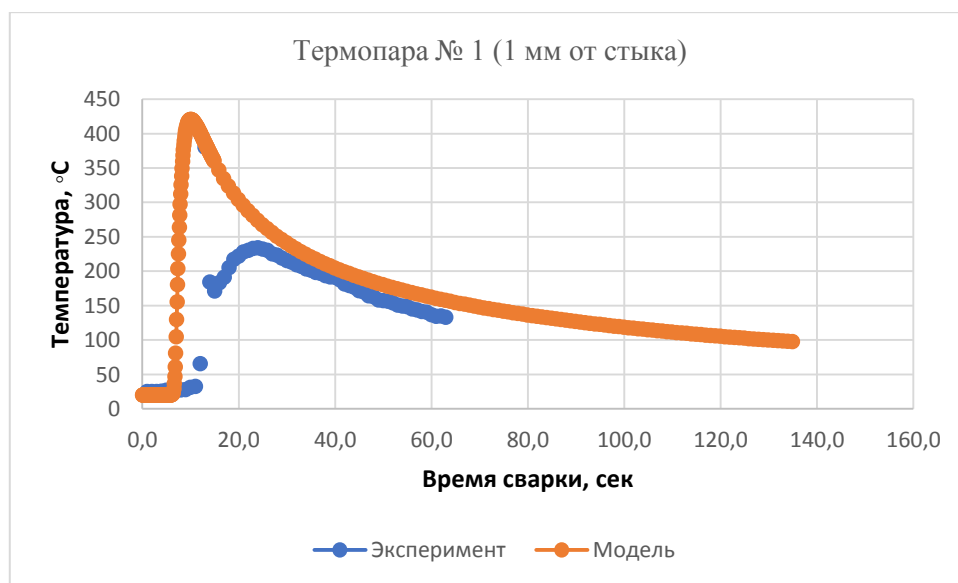
Этап 2. Остывание в течение 60 сек. Максимальная температура в конце этапа остывания – 83 °С.

Этап 3. Имитация 2-го прохода сварочным источником нагрева

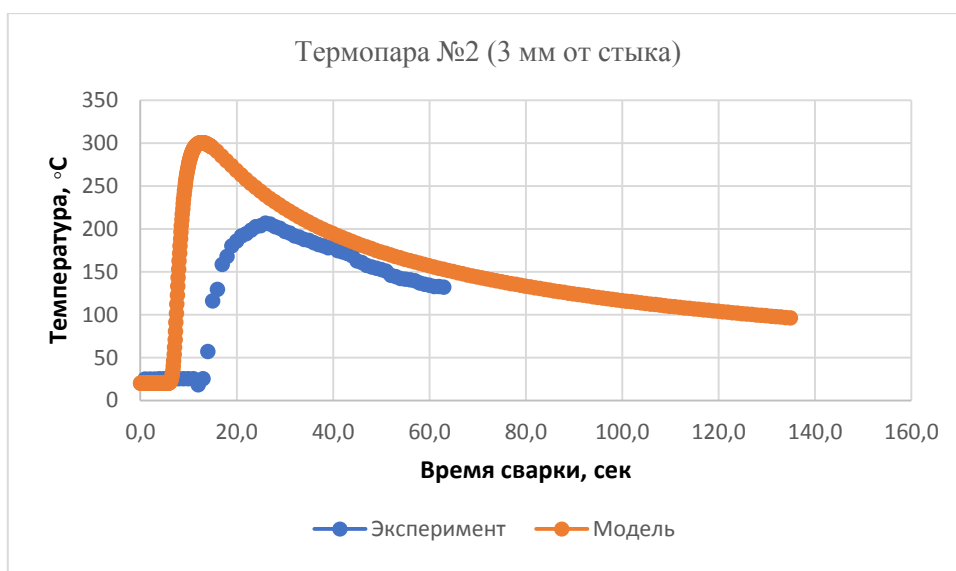
Этап 4. Остывание в течение 60 сек.

После проведения моделирования четырех этапов сварки были сняты термические циклы в узлах сетки, соответствующих местам расположения термопар при натуральных экспериментах.

На рис. 2 показаны термические циклы с термопар и узлов конечно-элементной сетки при моделировании после 1-го прохода.



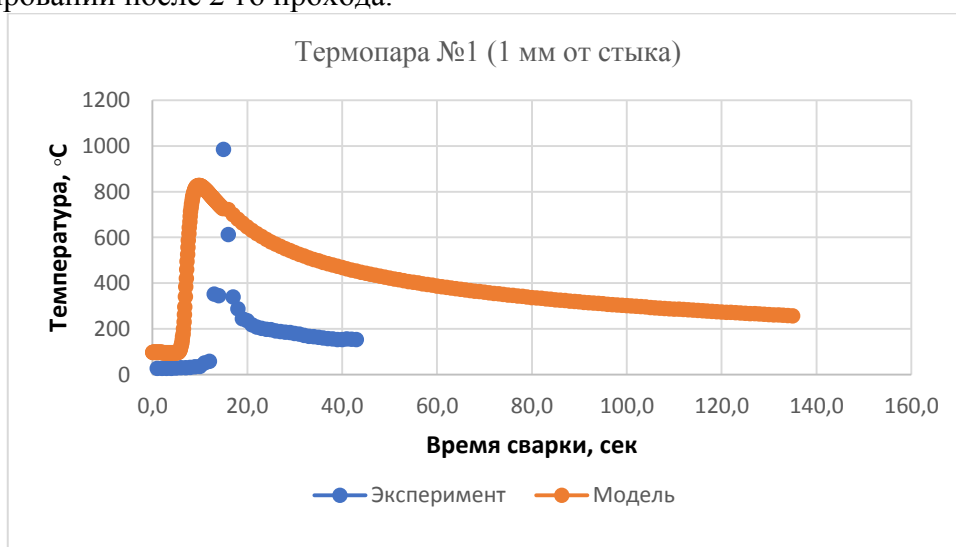
а



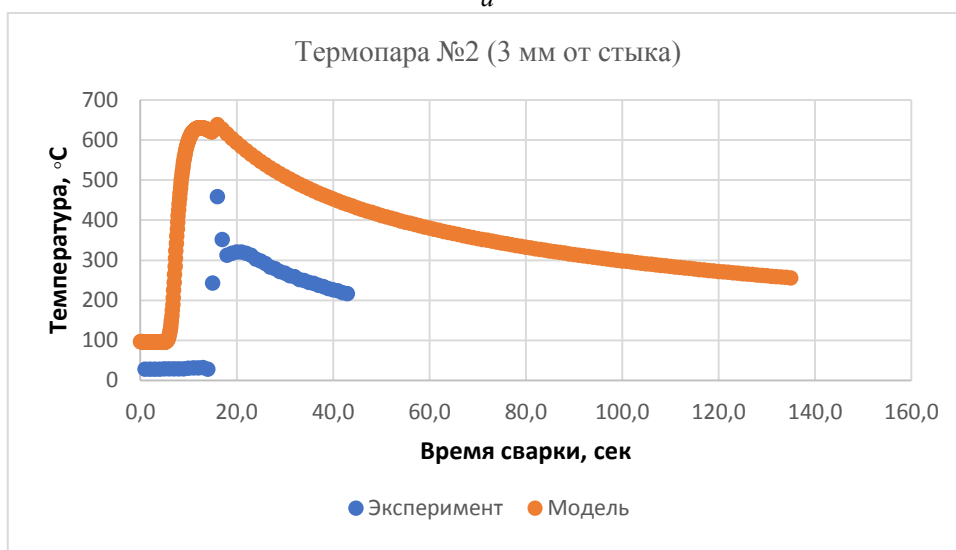
б

Рис. 2. Термические циклы с термопар № 1(а) и 2(б) после 1-го прохода

На рис. 3 показаны термические циклы с термопар и узлов конечно-элементной сетки при моделировании после 2-го прохода.



а



б

Рис. 3. Термические циклы с термопар № 1 (а) и 2 (б) после 2-го прохода

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной статье проведено сравнение термических циклов, полученных при натуральных экспериментах, с циклами, полученными при математическом моделировании. Была получена удовлетворительная схожесть полученных циклов для двух проходов, что позволяет считать построенную математическую модель роботизированной сварки с поперечными колебаниями верифицированной.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Атрощенко В. В., Медведев А. Ю., Никифоров Р. В., "Разработка технологии роботизированной сварки плавящимся электродом соединений из сплава ХН45МВТЮБР" // Сварка и диагностика, 2020. – № 4. – С. 46-49.
2. Атрощенко В. В., Никифоров Р. В., Муругова О.В., "Моделирование тепловых процессов при дуговой сварке высокопрочной трубной стали с учетом структурно-фазовых превращений" // Сварка и диагностика, 2018. – № 2. – С. 50-54.

**ОБ АВТОРАХ**

**МУРУГОВА Оксана Владимировна**, ассистент каф. СЛАТ ИАТМ.

**METADATA**

**Title:** Verification of the mathematical model of a robotic arc welding EP-718 with a melting electrode with lateral vibrations.

**Author:** O. V. Murugova

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** murugova.oxana@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (24), pp. 34-37, 2021. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The article deals with the problem of verification of mathematical modeling of welding. The process of verification is described by comparing thermal cycles in natural and mathematical experiments. A mathematical model of robotic consumable electrode welding with transverse vibrations for a plate made of EP-718 iron-nickel alloy has been developed. Comparison of thermal cycles.

**Key words:** robotic welding; mathematical modeling; ANSYS; thermal cycles; verification; lateral vibrations.

**About author:**

**MURUGOVA, Oksana Vladimirovna**, assistant Professor.