

УДК 621.791.011

Разработка математической модели нагрева при импульсно-дуговой MIG-сварке соединений никелевых сплавов с учетом тепломассопереноса

Никифоров Роман Валентинович¹

nikiforov_svarka@mail.ru

Галимов Виталий Рустемович¹

galimov.vr@mail.ru

Дусматова Елизавета Николаевна²

veta.karyagina@mail.ru

¹ УУНиТ, Уфа, Республика Башкортостан, Россия² УГНТУ, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

Аннотация. Представлена разработка математической модели нагрева импульсно-дуговой MIG-сваркой сварных соединений никелевых сплавов с учетом тепломассопереноса. Сопоставление результатов моделирования формы проплавления при сварке показало перспективность использование метода по сравнению с традиционной моделью описания формы проплавления подвижным источником нагрева при сварке.

Ключевые слова: подвижный источник нагрева, теплокаплетперенос, жаропрочный никелевый сплав, конечно-элементное моделирование сварки

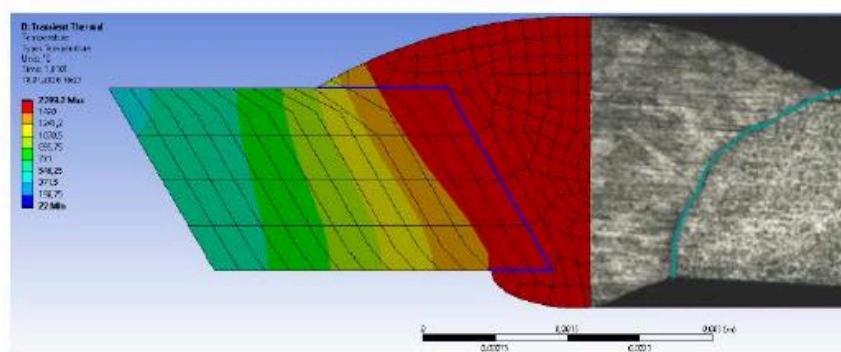
Введение. Анализ сопоставления результатов микроскопии шлифов сварных соединений ЖНС, полученных импульсно-дуговой MIG-сваркой и моделирования распределения температурных полей от традиционной используемого описания формы проплавления подвижного объемного источника нагрева, такая модель лишь приближенно описывает процесс теплопередачи в ОШЗ и вблизи к зоне проплавления со стороны кромки. Необходим качественно иной подход при моделировании глубины проплавления свариваемых кромок при импульсно-дуговой MIG-сварке.

Цель работы: прогнозирование глубины проплавления свариваемых кромок при импульсно-дуговой MIG-сварке однопроходных стыковых сварных соединений за счет математического моделирования.

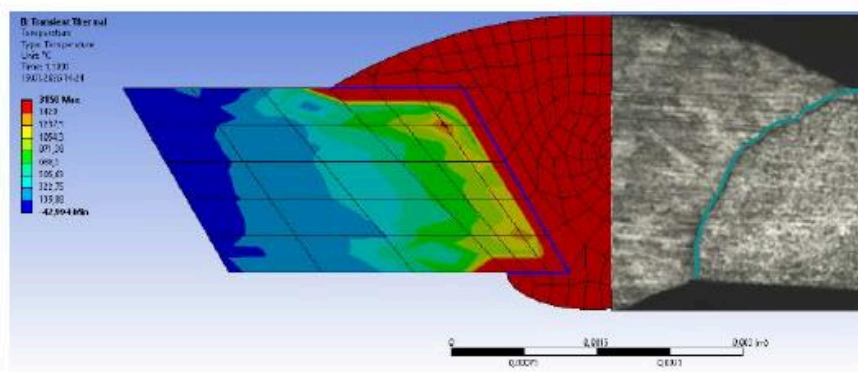
Методы и материалы; результаты. Математическая модель нагрева с учетом капли и массопереноса основана на математическом моделировании размера капли при решении уравнения теплопроводности методом конечных разностей в явной форме, разработанной на кафедре СЛАТ Уфимского Университета науки и технологий. Методика построения модели представлена в работе [1] для сварки трением, однако в данной модели есть отличительные особенности: 1) в качестве граничных условий задаются тепловая мощность дуги на конце электрода и распределенная по вылету электрода тепловая мощность от проходящего тока; 2) тепловая мощность обоих источников задается в дискретной форме, имитирующей квадратную форму импульсов; 3) процесс подачи проволоки и отрыва капель осуществляется перестроением

сетки по принципу, описанному в [1–3], при этом смещение сетки происходит в момент отрыва капли в конце импульса.

Сопоставление результатов моделирования формы проплавления. На рисунке, а показано сопоставление изотерм плавления ($1380\text{ }^{\circ}\text{C}$) от подвижного источника нагрева типа двойного полу эллипсоида Голдака с макрошлифом сварного соединения никелевого сплава толщиной 2 мм с симметричной разделкой кромок в 30° (синим цветом показана исходной кромка под сварку). При этом сама кромка проплавлена на глубину более 1 мм , что не соответствует данным металлографии.



а



б

Сопоставление результатов моделирования изотерм плавления от источника нагрева по схеме № 1 (а) и № 2 (б)

На рисунке, а показано сопоставление с макрошлифом изотермы плавления от источника нагрева с учетом капли и массопереноса электродного металла. Как видно из рисунка, б форма проплавления кромки и изотерма плавления гораздо точнее описывает границу плавления макрошлифа.

Заключение. Разработанная модель нагрева при импульсно-дуговой MIG-сварке позволяет прогнозировать глубину проплавления свариваемых кромок при односторонних стыковых соединений никелевых сплавов за счет математического моделирования. Предложенный подход при разработке подобной математической модели температурного поля при роботизированной импульсной GMA-сварке может послужить началом создания сложной ком-

плексной модели, учитывающей и процессы тепломассопереноса при сварке и эволюции микроструктуры (рост зерна, зародышеобразование и т. д.) как при механообработке свариваемых кромок, так и после сварки.

Список источников

- [1] Никифоров Р.В., Негодяев В.О., Галимов В.Р., Медведев А.Ю., Дьяконов Г.С. Описание температурного поля при импульсно-дуговой сварке тонколистовых соединений никелевых сплавов с различной разделкой кромок. *Materials. Technologies. Design*, 2025, вып. 7, № 4 (23), с. 33–51.
- [2] Никифоров Р.В. Структура и свойства сварных соединений сплава ЭП718, полученных роботизированной сваркой плавящимся электродом. *Вестник УГАТУ*, 2021, т. 25, № 4 (94), с. 10–18. https://doi.org/10.54708/19926502_2021_2549410
- [3] Атрощенко В.В., Медведев А.Ю., Никифоров Р.В., Хисамутдинов Э.Р., Имаев М.Ф., Кабирова Д.Б., Хайретдинов Н.Ф. О влиянии распределения температуры при MIG-сварке на формирование мелкозернистой структуры сварных соединений сплава ЭП718. *Сварка и диагностика*, 2026, № 1, с. 10–17.