ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/329

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ ОКСОГИДРООКСИДА АЛЮМИНИЯ

¹Зернин Е.А., ²Данилов В.И., ¹Кузнецов М.А. ²Шляхова Г.В.

¹*Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, Россия*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

Эксплуатационные свойства сварных соединений существенно зависят от формы и размеров зерен, которые формируются в результате кристаллизации сварочной ванны. Управлять этими параметрами можно путем модифицирования наплавляемого металла нанодисперсными металлическими и неметаллическими порошками. Наиболее удобным способом модифицирования является введение порошковых добавок через защитный (транспортирующий) газ с помощью специально разработанного смесителя, который позволяет регулировать их концентрацию.

В работе рассмотрено модифицирование наплавленного металла путем введения в ванну наноструктурированных волокон оксигидроксида алюминия. В первой части проводилось математическое моделирование для определения оптимального размера частиц модификатора и их концентрации. Верификация результатов моделирования и эффективности разработанного способа производилась путем натурных экспериментов по наплавке поверхностных слоев дуговой сваркой в среде аргона (MIG-сварка). Разработка модели осуществлялась путем использования программного комплекса CONSOL Multiphysics. CONSOL – это гибкая платформа, которая позволяет адаптировать модель к реальным условиям, добавляя или изменяя те или иные физические процессы на основе установленных дифференциальных уравнений в частных производных.

Основная задача компьютерной модели – получить распределение модифицирующих частиц внутри смесителя по объему, а также траектории их движения. Для построения компьютерной модели на программном комплексе CONSOL Multiphysics в качестве входных параметров используются распределение скоростей потока газа и данные по размерам частицам. Решение задачи проводилось в два этапа: моделирование движения аргона в смесителе, осуществляемое на основе дифференциального уравнения ламинарного течения, и моделирование траекторий частиц наноструктурированных волокон оксигидроксида алюминия в потоке газа на основании решения уравнения вязкого движения.

В результате моделирования были определены оптимальные технологические параметры процесса модифицирования размер волокон: диаметр 3-7 нм, длина 140-150 нм, насыпная плотность 0,4 г/см³, расход 0,2 мг/м.

Порошки с такими параметрами промышленностью не производятся, поэтому для их получения был адаптирован известный способ электрического взрыва алюминиевых проводников. Экспериментально было установлено, что требуемые порошки можно произвести, взрывая алюминиевую проволоку марки «АМ» с содержанием 99,5% Al диаметром 0,35мм, длиной 130мм. Напряжение, подаваемое на высоковольтный электрод 21 кВ. Образовавшийся наноструктурированный порошок алюминия пассивировался на воздухе, затем диспергировался в воде, осаждался на мембране и подвергался термогидролизу при 60 °С. В результате, как показали электронно-микроскопические исследования, были получены удовлетворяющие требованиям волокна оксигидрооксида алюминия со средними размерами: диаметр 5 нм, длина 150 нм и удельной поверхностью 150 м²/г.

Далее были проведены исследования по определению оптимальной концентрации наноструктурированных волокон оксигидрооксида алюминия в транспортирующем газе. Для этого проводилась наплавка поверхностных слоев MIG-сваркой образцов, изготовленных из стали 12Х18Н10Т, в среде аргона проволокой 12Х18Н9Т диаметром 1,2 мм без модификатора и с различной концентрацией наноструктурированных волокон оксигидрооксида алюминия. В каждом эксперименте определялись технологические параметры, от которых напрямую

Секция 7. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

зависит качество сварного соединения. Это толщина (s) и ширина (e) дендритов, как основных структурных составляющих наплавленного металла, и объем капли расплавленного электродного металла, которая переходит с торца электродной проволоки в сварочную ванну (v). Размеры структурных составляющих определялись стандартным методом избирательного травления и оптической микроскопии.

Для определения рациональной концентрации наноструктурированных волокон оксигидроксида алюминия в транспортирующем газе находили глобальный минимум безразмерной функции f вида:

$$f = s \cdot e \cdot v. \quad (1)$$

Установлено, что минимуму безразмерной функции f соответствует концентрация наноструктурированных волокон оксигидроксида алюминия в транспортирующем газе $0,2 \text{ мг/см}^3$, которая и является оптимальной.

Следующим этапом была проверка эффективности использования данного модификатора с оптимальными технологическими параметрами при нанесении поверхностных слоев MIG-сваркой на нержавеющую сталь. Для этого методом атомно-силовой микроскопии проводили прецизионные исследования структуры наплавленных поверхностных слоев. Наплавка была произведена по двум различным вариантам: №1 – наплавка без модификатора; №2 – наплавка с оптимальной концентрацией модификатора $\text{AlO}(\text{OH})$. Толщина наплавленных слоев в обоих вариантах составляла 4 мм.

Анализ результатов показал, что наплавленный металл можно разделить на два подслоя, структура которых существенно различна. Толщина подслоев для вариантов №1 и №2 тоже разная. Основной микроструктурной составляющей первого подслоя являются сравнительно короткие, сильно разветвленные и не имеющие преимущественной ориентации дендриты. В образце без модификатора этот подслей выражен слабо, его толщина составляет 43% от общей толщины наплавки, а дендриты в нем образуют практически непрерывную сетку. Первый подслей плавно переходит в следующий (второй) подслей ориентированных дендритов, который в образце без модификаторов имеет относительную толщину 57%. Длинные оси дендритов в этом подслое ориентированы нормально к границе сплавления, то есть вдоль направления теплового потока в основной металл.

В модифицированном образце первый подслей неориентированных дендритов хорошо оформлен, а дендриты в нем непрерывной сетки не образуют, между ними наблюдаются островки свободной поверхности. Относительная толщина данного подслоя в модифицированном образце составляет 62 %. Подслей ориентированных дендритов в модифицированном образце имеет относительную толщину менее 38 %. Непосредственно перед границей сплавления строгая ориентация длинных осей дендритов снова нарушается и образуется еще один тонкий подслей неориентированных дендритов толщиной около 20 мкм.

Таким образом, в работе определены оптимальные технологические параметры процесса модифицирования наноструктурированными волокнами оксигидроксида алюминия наплаваемых слоев стали 12X18H9T и показано, что модификация в таких условиях действительно приводит не только к измельчению структуры наплаваемого слоя, но и к возрастанию доли наиболее благоприятной структурной составляющей неориентированных дендритов в общем объеме наплавленного слоя.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00036.