

УДК 621.791.011

Диффузионный водород — основной фактор образования холодных трещин при сварке высокопрочных сталей

Кархин Виктор Акимович¹

victor.karkhin@mail.ru

Левченко Алексей Михайлович²

info@rszmas.ru

Тишков Максим Константинович^{1(*)}

tishkovmax@gmail.com

Паршин Сергей Георгиевич¹

schweissen@mail.ru

Антипов Иван Сергеевич²

info@rszmas.ru

¹ СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия² ООО «УНТЦ Сварка», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные факторы образования холодных трещин при сварке сталей. Приведена классификация сварочных материалов по диффузионному водороду. Изложен вакуумный метод определения содержания водорода в стандартных образцах и предложен его ускоренный вариант. С помощью разработанных методов математического моделирования диффузии водорода показано, что разнородность сварного соединения оказывает существенное влияние на максимальную концентрацию водорода в зоне термического влияния.

Ключевые слова: сварка, водород, холодная трещина, сталь, диффузия, моделирование

Введение. Сопротивляемость образованию индуцированных водородом холодных трещин относится к технологической прочности, т. е. способности сварного соединения сохранять сплошность при тепловом и механическом воздействии в процессе сварки. Общепринятой теории образования холодных трещин нет. Целью данной работы является демонстрация критического влияния водорода на образование холодных трещин, изложение существующих методов измерения содержания водорода и критериев трещинообразования, а также разработка математических моделей для прогнозирования кинетики выделения водорода и моделирования кинетики локальной концентрации водорода.

Методы и материалы; результаты. Проведен анализ существующих моделей образования холодных трещин [1]. Сделан вывод об интегральном характере существующих критериев образования холодных трещин. На основании опубликованных данных [2], показано значительное влияние водорода на прочность стали при относительно низких температурах. С помощью существующих международных классификаций продемонстрирована зависимость допустимого содержания диффузионного водорода от пределов текучести и прочности стали. На примере испытаний [3] стандартной пробы Tekken (ГОСТ 34061–2017) показан характер возникающих холодных трещин и вид параметра трещинообразования. Приведен сравнительный анализ существующих методов определения содержания водорода в наплавленном металле. Изложен вакуумный метод определения содержания водорода [4, 5].

Показано, что с помощью разработанных расчетных методик возможно предсказывать кинетику выделения водорода, пользуясь экспериментальными данными, полученными вакуумным методом только в первые сутки. На основе разработанных математических моделей продемонстрировано, что неоднородность сварных соединений по коэффициенту диффузии, растворимости и распределению начальной концентрации водорода оказывает значительное влияние на локальную кинетику концентрации водорода.

Заключение. Показано, что диффузионный водород является основным фактором образования холодных трещин при сварке высокопрочных сталей. Максимальная концентрация диффузионного водорода в зоне термического влияния зависит в большой степени от неоднородности сварного соединения по коэффициенту диффузии, растворимости и распределения начальной концентрации водорода. По известным критериям прочности можно оценить вероятность образования холодных трещин с учетом расчетной локальной концентрации диффузионного водорода.

Список источников

- [1] Кархин В.А., Левченко А.М. *Поведение водорода при сварке сталей*. Санкт-Петербург, Политех-пресс, 2024, 321 с.
- [2] Tkachov V.I., Ivas'kevych L.M., Mochul's'kyi V.M. Temperature dependences of the mechanical properties of austenitic and martensitic steels in hydrogen. *Materials Science*, 2007, vol. 43, no. 5, pp. 654–666.
- [3] Kannengiesser T., Boellinghaus T. Cold cracking tests – An overview of present technologies and applications. *Welding in the World*, 2013, vol. 57, no. 1, pp. 3–37.
- [4] Левченко А.М., Кархин В.А., Панченко О.В. Вакуумная методика определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле. *Сварка и диагностика*, 2015, № 3, с. 28–30.
- [5] Левченко А.М., Кархин В.А., Панченко О.В. Устройство для определения содержания диффузионного водорода в наплавленном металле. *Сварка и диагностика*, 2015, № 3, с. 44–46.