

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 538.951

DOI: 10.17223/00213411/65/6/53

ОСОБЕННОСТИ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ
НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА*М.Ю. Панченко, Е.В. Мельников, С.В. Астафуров,
К.А. Реунова, Е.А. Колубаев, Е.Г. Астафурова*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Исследовано влияние электролитического насыщения водородом в разных насыщающих средах на механические свойства и механизмы разрушения низкоуглеродистой стали Fe – (1.8–2.1)Mn – (0.7–1.0)Si – (0.05–0.11)C, полученной методами электронно-лучевого аддитивного производства и промышленного литья. Экспериментально установлено, что насыщение водородом вызывает увеличение предела текучести и уменьшение удлинения до разрыва как для стали, полученной аддитивным способом (преимущественно ферритной), так и для нормализованной стали промышленного производства (со структурой феррито-перлита). Увеличение продолжительности наводороживания от 5 до 20 ч при фиксированной плотности тока ($j_H = 250$ мА/см², водный раствор NaCl+NH₄SCN) сопровождается ростом коэффициента водородного охрупчивания аддитивно-произведенных образцов от $K_H^{5ч} = 13\%$ до $K_H^{20ч} = 19\%$, но практически не влияет на величину K_H для нормализованной промышленной стали ($K_H^{5ч} = 28\%$, $K_H^{20ч} = 30\%$). Использование в качестве электролита водного раствора серной кислоты (H₂SO₄+CH₄N₂S) даже при меньшей плотности тока и продолжительности насыщения вызывает большие водородно-индуцируемые эффекты, чем насыщение в водном растворе поваренной соли. Насыщение водородом способствует формированию дефектов «рыбий глаз» на поверхностях разрушения стали независимо от способа производства и режима насыщения. Установлено, что при одинаковых режимах насыщения негативное влияние водорода проявляется слабее в стали, полученной аддитивным способом.

Ключевые слова: аддитивные технологии, низкоуглеродистая сталь, водородное охрупчивание, разрушение.

Введение

Негативное воздействие водорода на пластичность металлов является важной научной проблемой [1, 2]. Несмотря на большое количество полученных экспериментальных данных и разработанных теоретических моделей, описывающих водородно-индуцируемое поведение металлических материалов, до сих пор не существует полного понимания природы явления водородной хрупкости. С появлением новых материалов, в том числе полученных с использованием новых производственных технологий, этих вопросов становится все больше.

Низкоуглеродистая сталь получила широкое распространение в промышленной и строительной отраслях благодаря своим физико-химическим характеристикам и доступной цене. Известно, что, несмотря на высокую пластичность сталей с феррито-перлитной микроструктурой, они подвержены коррозии и восприимчивы к водородно-индуцированным эффектам, включая само по себе водородное охрупчивание, водородно-индуцированное растрескивание (hydrogen-induced cracking – HIC) и высокотемпературную водородную коррозию (high-temperature hydrogen attack – НТНА) [2–4]. Помимо высокой диффузионной подвижности водорода в ферритных сталях, к основным неблагоприятным особенностям микроструктуры, способствующим восприимчивости малоуглеродистых сталей к водородной хрупкости, можно отнести неоднородную полосчатую микроструктуру перлита [5], а также различные типы включений в структуре стали (преимущественно MnS) [3, 5–7]. Восприимчивость низкоуглеродистых сталей к водороду зависит также от способов внедрения водорода в сталь (электролитический метод или газовое насыщение), температуры и особенностей деформации. В конечном счете эти факторы контролируют основные параметры, определяющие восприимчивость к водороду, а именно концентрацию водорода в стали и его поведение в структуре материала [8, 9].

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0005. Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» (ИФПМ СО РАН, Томск).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>