ИЗУЧЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕТАЛЛА, СВЯЗАННОГО С ВОДОРОДНЫМ РАССЛОЕНИЕМ

STUDY OF METAL HETEROGENEITY ASSOCIATED WITH HYDROGEN BONDAGE

О.А. Насибуллина
Oksana A. Nasibullina

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Комплекс негативных воздействий водорода на металл, приводящих к разрушению металлоконструкций, принято называть водородной коррозией. Следует отметить, что взаимодействие водорода с металлами и сплавами тесно связано с их электронным строением, с электронной конфигурацией атомов, располагающихся в узлах кристаллической решетки металла.

Объектом исследования являлся образец из стали 09Г2С конденсатосборника магистрального газопровода, подвергшийся водородному расслоению.

Цель работы: установление связи между неоднородностью металла и его склонностью к водородному расслоению.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение физико-механических свойств и микроструктуры исследуемого металла;
2. Проведение рентгенофлуоресцентного анализа для выявления причин образования несплошностей внутри металла.

Для изучения микроструктуры исследуемого образца, отобранного из очаговой зоны разрушения конденсатосборника, был проведен метод световой микроскопии. Микроструктура исследовалась при помощи металлографического микроскопа ЛОМО ЕС типа МЕТАМ РВ-22, при этом выявлено, что исследуемый образец стали имеет феррито-перлитную структуру, в которой наблюдаются неоднородности.

Для выявления причин образования несплошности внутри металла был проведен рентгенофлуоресцентный анализ. Испытания проводились на спектрометре EDX-800HS. Были получены различные результаты, на основе которых выявлено, что неоднородности обусловлены неравномерным распределением марганца в теле металла. Это связано, вероятно, с нарушением технологического процесса производства металла.

The complex of the negative effects of hydrogen on the metal, leading to the destruction of metal structures, is called hydrogen corrosion. It should be noted that the interaction of hydrogen with metals and alloys is closely related to their electronic structure, with the electronic configuration of atoms located at the sites of the crystal lattice of the metal.

The object of the study was a sample of steel 09G2S of gas pipeline condensate trap, subjected to hydrogen stratification.

Aim is to establish the relationship between the heterogeneity of the metal and its tendency to hydrogen stratification.

Ключевые слова

водородная коррозия,
спектрометр, водородное
расслоение металла,
микроструктура,
рентгенофлуоресцентный анализ,
феррито-перлитные стали

To achieve this aim the following tasks were solved:

1. Studying the physicomachanical properties and microstructure of the metal under study;
2. Conducting X-ray fluorescence analysis to identify the causes of the formation of discontinuities inside the metal.

To study the microstructure of the test sample taken from the focal zone of destruction of the condensate collector, the method of light microscopy was carried out. The microstructure was studied using a LOMO EC metallographic microscope of the METAM PB-22 type. It was found that the steel sample under investigation has a ferritic-pearlite structure, in which heterogeneities are observed.

To identify the causes of the formation of discontinuities inside the metal, an X-ray fluorescence analysis was carried out. The tests were carried out on an EDX-800HS spectrometer. Various results were obtained, on the basis of which it was revealed that inhomogeneities are due to the uneven distribution of manganese in the metal body. This is probably due to a violation of the technological process of metal production.

Key words

hydrogen corrosion,
spectrometer, hydrogen metal
stratification, microstructure,
x-ray fluorescence analysis,
ferrite-perlite steels

Комплекс негативных воздействий водорода на металл, приводящих к разрушению металлоконструкций, принято называть водородной коррозией [1, 2].

Проблема водородного охрупчивания довольно интенсивно изучается на протяжении нескольких десятков лет в связи с большой ролью, которую этот процесс оказывает на прочность и ресурс магистральных газопроводов. Водородная хрупкость вызвана несовершенностью кристаллической решетки металлов [1, 3]. Наличие водорода в металле увеличивает хрупкость всех металлов без исключения.

При этом можно отметить два направления исследования проблемы водородного охрупчивания: первое связано с дальнейшим изучением фундаментальных основ и раскрытием микромеханизмов и взаимосвязи процессов водородного охрупчивания и старения металлов; второе направление связано с разработкой моделей и методов прогнозирования кинетики изменения напряженно-деформированного состояния и оценки долговечности конструкций, подвергающихся водородному охрупчиванию.

В простейшем случае взаимодействие водорода с металлом можно представить как ряд этапов: адсорбция, растворение, диффузия, выход из объема на поверхность, десорбция [4, 5]. Растворимость является одной из важнейших характеристик, так как физико-химические представления о механизме обезуглероживания и водородной хрупкости стали в значительной степени основываются на имеющихся данных о формах существования водорода в металлах, о механизме его раство-

рения и местах расположения водорода в кристаллической решетке.

Следует отметить, что взаимодействие водорода с металлами и сплавами тесно связано с их электронным строением, с электронной конфигурацией атомов, располагающихся в узлах кристаллической решетки металла [6, 7]. При растворении водорода в металле изменяются энергетические условия в металлической матрице [8]. Благодаря наличию протонного газа меняются эффективные радиусы ионов в узлах кристаллической решетки и зазоры между ними, а заряд ионов водорода вследствие экранизации электронами становится намного меньше заряда протона [9, 10].

Объектом исследования являлся образец из стали 09Г2С конденсатосборника магистрального газопровода, подвергшийся водородному расслоению.

Цель работы: установление связи между неоднородностью металла и его склонностью к водородному расслоению.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение физико-механических свойств и микроструктуры исследуемого металла;
2. Проведение рентгенофлуоресцентного анализа для выявления причин образования несплошностей внутри металла.

Для изучения микроструктуры исследуемого образца, отобранного из очаговой зоны разрушения конденсатосборника, был проведен широко распространенный метод – световой микроскопии (часто этот метод называют металлографическим). Плоскость образца отшлифовывалась пастой ГОИ, в которой основное действующее вещество — оксид хрома.

Полировку металла производили при помощи мягкой ветоши до получения абсолютно гладкой поверхности и зеркального состояния. Далее проводили травление пикриновой кислотой для создания рельефа и выявления структуры исследуемого образца. При травлении кислота в первую очередь воздействует на границы зерна.

Микроструктура исследована при помощи металлографического микроскопа ЛОМО ЕС типа МЕТАМ РВ-22. Результаты представлены на рисунках 1, 2.

Рисунок 1. Микроструктура исследуемого образца вблизи водородного расслоения

Рисунок 2. Микроструктура исследуемого образца вдали водородного расслоения

На рисунках 1, 2 показано, что исследуемый образец стали имеет феррито-перлитную структуру, в которой наблюдаются неоднородности.

Химический состав стали, согласно ГОСТ 19282-73, представлен в таблице 1.

Для выявления причин образования неоднородности внутри металла был проведен рентгенофлуоресцентный анализ.

Испытания проводились на спектрометре EDX-800HS (рисунок 3).

Таблица 1. Химический состав стали 09Г2С

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Cu, %	P, %	S, %	N, %	Ni, %	As, %
0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	0,3	0,3	0,035	0,04	0,008	0,3	0,08

Рисунок 3. Спектрометр EDX-800HS

Принцип действия прибора спектрометра EDX-800HS: металл облучается мощным сплошным рентгеновским излучением, что вызывает рентгеновскую флуоресценцию.

При различных условиях работы рентгеновской трубки были получены различные результаты, представленные в таблицах 2, 3.

Проведенный рентгенофлуоресцентный анализ выявил, что несплошности обусловлены неравномерным распределением марганца в теле металла. Это связано, вероятно, с нарушением технологического процесса производства металла.

Таблица 2. Результаты исследования

Количественный анализ					
Аналит	Результат	Стандартное отклонение	Расчетная характеристика	Линия	Интерференция (с/мкА)
Fe	98,19 %	(0,114)	Кол-FP	FeKa	918,70
Mn	2,12 %	(0,016)	Кол-FP	MnKa	14,29
Cu	0,13 %	(0,008)	Кол-FP	CuKa	0,59
V	0,06 %	(0,005)	Кол-FP	VKa	0,58
Ge	0,06 %	(0,004)	Кол-FP	GeKa	0,46

Таблица 3. Результаты исследования

Условие измерения							
Прибор: 800HS ₂		Атмосфера: воздух		Коллиматор: 10 (mm)		Вращение: выкл.	
Аналит	TG кв	мкА	FI	Получ. (кэВ)	Аналит (кэВ)	Время (с)	D.T. (%)
Na-Sc	Rh 15	56-Auto	—	0–20	0,00–4,40	Live-100	25
C-U	Rh 50	8-Auto	—	0–40	0,00–40,00	Live-100	25

Выводы

1. Проведенные микроструктурные исследования показали, что в составе металла имеются несплошности;

2. Проведенный рентгенофлуоресцентный анализ выявил, что несплошности обусловлены неравномерным распределением марганца в теле металла.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гареев А.Г., Ризванов Р.Г., Насибуллина О.А. Коррозия и защита металлов в нефтегазовой отрасли. Уфа: Гилем, 2016. 352 с.

2. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г. Исследование водородного охрупчивания металла, приводящего к разрушению металлоконструкции // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 107–115.

3. Насибуллина О.А., Абдуллин Т.Э. Исследование воздействия сероводородсодержащего газоконденсата на сталь 09Г2С // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 121–130.

4. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion-Fatigue Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium // Materials Science. 1993. Vol. 29. No. 5. P. 539.

5. Tyusenkov A.S. Chemical resistance of steel 13CrV (rus. 13ХФА) // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017. Vol. 52. Issue 4. P. 766–772.

6. Абдуллин Р.М., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е., Тюсенков А.С. Повышение безопасности эксплуатации промышленных трубопроводов в условиях локализации коррозии в зоне, расположенной после электроизолирующих фланцев // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. Вып. 2. С. 131–136.

7. Тюсенков А.С. Коррозионная стойкость стали 13ХФА // Сталь. 2016. № 2. С. 53–57.

8. Тюсенков А.С., Кононов Д.В., Бугай Д.Е., Лаптев А.Б. Изменение коррозионной активности воды при транспорте водонефтяной смеси по футерованному трубопроводу // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 5. С. 89–95.

9. Повышение безопасности эксплуатации газонефтепроводов в условиях коррозионно-механических воздействий / А.Г. Гареев, М.В. Чучкалов, П.В. Климов, О.А. Насибуллина. СПб.: Недра, 2012. 220 с.

10. Kovshova Yu.S., Kuzev I.R., Naumkin E.A., Fattakhov I.G. The Process of Initiation of Potential Fracture Zones in the Material of Shell Structures under Static Load // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. No. 3. P. 1630–1636.

REFERENCES

1. Gareev A.G., Rizvanov R.G., Nasibullina O.A. *Korroziya i zashchita metallov v neftegazovoi otrasli* [Corrosion and Protection of Metals in the Oil and Gas Industry]. Ufa, Gilem Publ., 2016. 352 p. [in Russian].

2. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G. *Issledovanie vodorodnogo okhrupchivaniya metalla, privodyashchego k razrusheniyu metallokonstruktsii* [The Study of Hydrogen Embrittlement of the Metal Leading to the Destruction of Metalwork]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 107–115. [in Russian].

3. Nasibullina O.A., Abdullin T.E. *Issledovanie vozdeystviya serovodorodsoderzhashchego gazokondensata na stal' 09G2S* [Investigation of Hydrogen Sulfide Bearing Condensed Gas Influence on Steel 09G2S]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 121–130. [in Russian].

4. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion-Fatigue Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium. *Materials Science*, 1993, Vol. 29, No. 5, pp. 539.

5. Tyusenkov A.S. Chemical Resistance of Steel 13CrV (rus. 13ХФА). *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2017, Vol. 52, Issue 4, pp. 766–772.

6. Abdullin R.M., Laptev A.B., Bugai D.E., Tyusenkov A.S. *Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii promyslovykh truboprovodov v usloviyakh lokalizatsii korrozii v zone, raspolozhennoi posle elektroizoliruyushchikh flantsev* [Improvement in Safe Operation of the Field Pipelines in Case of Corrosion Located in a Zone after

Insulating Flanges]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov* — *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2009, Issue 2 (76), pp. 131–136. [in Russian].

7. Tyusenkov A.S. Korroziionnaya stoikost' stali 13KhFA [The Corrosion Resistance of Steel 13HFA]. *Stal'* — *Steel*, 2016, No. 2, pp. 53–57. [in Russian].

8. Tyusenkov, A.S., Kononov D.V., Bugai D.E., Laptev A.B. Izmenenie korroziionnoi aktivnosti vody pri transporte vodoneft'yanoi smesi po futerovannomu truboprovodu [Change Of Corrosive Properties of Water at Joint Transport of Water-Oil Mixture on the Steel-Lined Pipeline]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo»* —

Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2011, No. 5, pp. 89–95. [in Russian].

9. Gareev A.G., Chuchkalov M.V., Klimov P.V., Nasibullina O.A. *Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii gazo-nefteprovodov v usloviyakh korroziionno-mekhanicheskikh vozdествii* [Improving the Safety of Gas and Oil Pipeline with Corrosion-Mechanical Effect]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2012. 220 p. [in Russian].

10. Kovshova Yu.S., Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Fattakhov I.G. The Process of Initiation of Potential Fracture Zones in the Material of Shell Structures under Static Load. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, Vol. 11, No. 3, pp. 1630–1636.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ABOUT THE AUTHOR

Насибуллина Оксана Алексеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Oksana A. Nasibullina, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Petroleum Technology Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ksu33@bk.ru