

УДК 620.193.55

О.А. Насибуллина, Т.Э. Абдуллин (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗОКОНДЕНСАТА НА СТАЛЬ 09Г2С

O.A. Nasibullina, T.E. Abdullin (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INVESTIGATION OF HYDROGEN SULFIDE BEARING CONDENSED GAS INFLUENCE ON STEEL 09G2S

Введение

При наличии повышенной концентрации водорода возникает преждевременное разрушение металла. Сегрегации углерода и других примесных атомов на границах зерен усиливают способность железа к захвату водорода. Атомарный водород, образующийся в результате протекания электрохимических реакций, проникает в сталь при нормальной температуре, приводя к расслоению.

Цели и задачи

Выявить наиболее опасный участок водородной коррозии на отобранном из очаговой зоны образце.

Изучить физико-механические характеристики микроструктуры металла отказавшего газопровода и характер развития расслоения, проанализировать распределение микротвердости. При помощи металлографического метода определить наличие скоплений сульфидов в исследуемом металле трубы.

Background

Increased hydrogen concentration causes premature metal destruction. Carbon and other impurity atoms segregations at grain boundaries enhance the iron ability to capture hydrogen. Atomic hydrogen, formed as a result of electrochemical reactions, penetrates into steel at normal temperature and lead to stratification.

Aims and Objectives

To define the most dangerous section due to hydrogen corrosion on a specimen selected from the focal zone.

To study physical and mechanical characteristics and stratification geometry of the failed gas pipeline metal microstructure, to analyze microhardness distribution. To determine the availability of sulfide accumulation in the pipe metal under investigation using the metallographic method.

Methods

The focal destruction zone microstructure was researched by LOMO EC metallographic microscope «METAM RV-22» type at a two hundredfold increase. The sulfide inclusion distributions were studied by Bauman method.

Методы

Микроструктура в очаговой зоне разрушения была исследована при помощи металлографического микроскопа ЛОМО ЕС типа «МЕТАМ РВ-22» при двухсоткратном увеличении. Распределения сульфидных включений выявлялись методом Баумана.

Результаты

Исследование показало, что образец, взятый из очаговой зоны разрушения, имеет характерные для водородной коррозии расслоения с феррито-перлитной структурой с различным содержанием перлита.

Это объясняется тем, что в центре образца имеется ликвационная полоса, образованная при производстве стального листа, и в области под расслоением металла наблюдается феррито-перлитная структура с соотношением 1:1, в остальных областях содержание феррита к перлиту имеет отношение 2:1.

Максимальное значение твердости наблюдалось вдали от расслоения образца и на основном металле, т.к. в этих местах прочность металла высокая. В данных областях проникновение водорода оказалось не достаточным для разрыва межатомных связей металла, поэтому расслоение отсутствует.

Количество сульфидных включений не превышает первого балла по ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79). Отмечено, что количество сульфидных включений примерно одинаково как около расслоения металла, так и в основном металле образца. Данный факт доказывает, что сульфидные включения не влияют на процесс расслоения металла.

Results

The study showed that the tested specimen with focal destruction zone has stratification typical for hydrogen corrosion of ferrite-perlite structure with different perlite content.

This is due to the facts that there is a segregation strip in the specimen centre formed during steel sheet production, and a ferrite-perlite structure with 1:1 ratio under the metal stratification zone. In the other zones the ferrite-perlite ratio is 2:1.

The maximum hardness was defined in the distance from the sample stratification and in the base metal; i.e. these places the strength of the metal is full. Hydrogen penetration in these zones was insufficient to break interatomic bonds of the metal, so stratification was not observed.

The amount of sulfide inclusions does not exceed the first class according to State Standard 1778-70 (ISO 4967-79). It is noted that the amount of sulfide inclusions is approximately the same as near the metal stratification, and in the base metal of the sample as well. This fact proves that sulfide inclusions do not affect metal stratification process.

Ключевые слова: водородная коррозия, микротвердость, сульфидные включения, расслоение металла, водородное охрупчивание, ловушки (концентраторы) водорода, микроструктура

Key words: hydrogen corrosion, microhardness, sulfide inclusions, metal stratification, hydrogen embrittlement, hydrogen traps (concentrators), microstructure

С каждым годом технологические процессы становятся всё сложнее, осуществляются новые способы получения веществ, одним из которых является водород [1]. Он получил распространение в химической промышленности при производстве аммиака, пластмасс, метанола, а также в качестве ракетного топлива. Однако водород обладает и отрицательным свойством - растворяется практически во всех металлах, вызывая изменение физических, механических и других свойств.

Малые размеры, исключительно высокая диффузионная подвижность, а также простота его электронных свойств являются ключевым инструментом для изучения свойств металла: диффузии, растворения атомов в металле, явлений переноса [2, 3].

Известно, что при наличии повышенной концентрации водорода возникает преждевременное разрушение металла, независимо от температуры, но различают разрушения при высоких температурах и давлениях, а также при низких.

При высоких температурах возникает водородная коррозия, которая забирает атомы углерода из металла, тем самым изменяет механические свойства. При низких температурах происходит только водородное охрупчивание [4, 5], в котором водород в замкнутом пространстве (в баке, сосуде, баллоне и т.д.) проникает в металл. Водород проникает в металл по диффузионному механизму, причем тем интенсивнее, чем сильнее растянута напряженная зона, затем накапливается в металле, и при достижении определенной концентрации механические свойства металла изменяются.

Водородная хрупкость вызвана несовершенностью кристаллической решетки металлов [6, 7]. Наличие водорода в металле увеличивает хрупкость всех металлов без исключения.

Водород диффундирует в металл по междоузельному механизму, т.е. атом перемещается по междоузельям решетки от одного к другому. Водород скапливается в ловушках (вакансиях, дислокациях, границах зерен, неметаллических включениях).

Сегрегации углерода и других примесных атомов на границах зерен усиливают

способность железа к захвату водорода. Атомарный водород, образующийся в результате протекания электрохимических реакций (коррозия с водородной деполяризацией, катодная защита, гальванические процессы) [8 - 10], проникает в сталь при нормальной температуре.

Исследование водородной коррозии проводилось на образце стали 09Г2С, отобранного из очаговой зоны разрушения газопровода Оренбург - Кумертау размерами 40 x 13 x 5 мм.

На трубе имелись расслоения (рисунок 1).

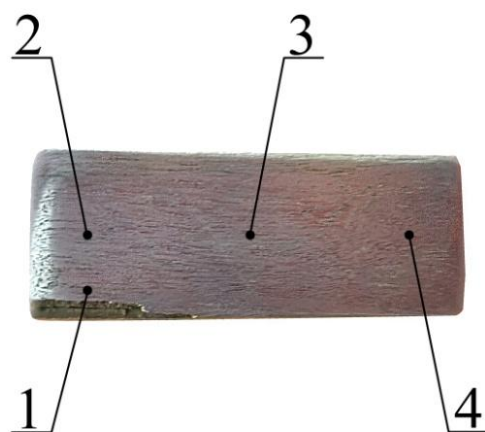


Рисунок 1. Исследуемый образец стали 09Г2С

Химический состав и механические свойства стали, согласно ГОСТ 19282-73, представлены в таблицах 1 и 2 соответственно [11-13].

Для отобранного образца микроструктура в очаговой зоне разрушения была исследована при помощи металлографического микроскопа ЛОМО ЕС типа «МЕТАМ РВ-22» при двухсоткратном увеличении. Исследования проводились в четырех местах: непосредственно в расслоившейся части металла, вблизи расслоения и вдали от него и в точке над зоной расслоения металла.

Результаты приведены на рисунках 2-5.

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

Таблица 2. Механические свойства стали 09Г2С при комнатной температуре

Ударная вязкость K_{CU} , Дж/см ²	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение при разрыве δ , %	Предел текучести σ_T , МПа
64	490	17	365

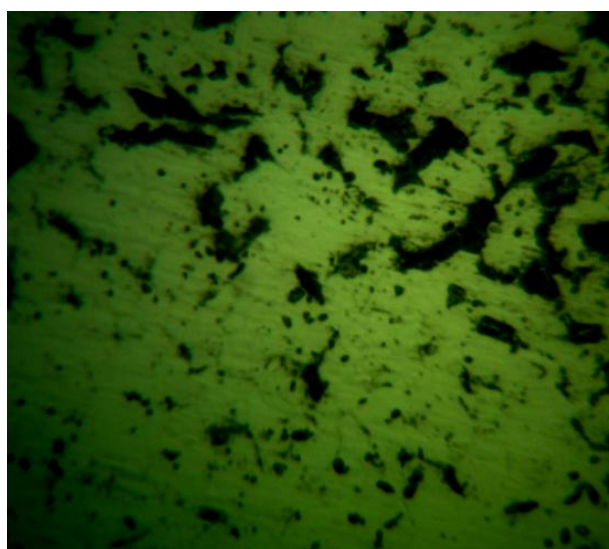


Рисунок 2. Микроструктура исследуемого образца на границе «металл - расслоение» (точка 1)

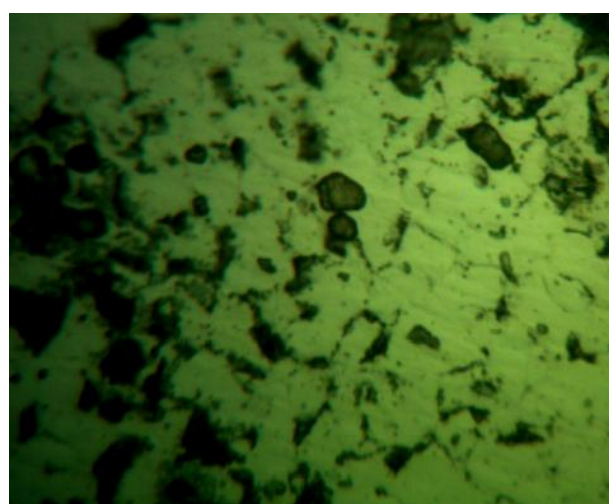


Рисунок 3. Микроструктура исследуемого образца вблизи точки расслоения (точка 3)

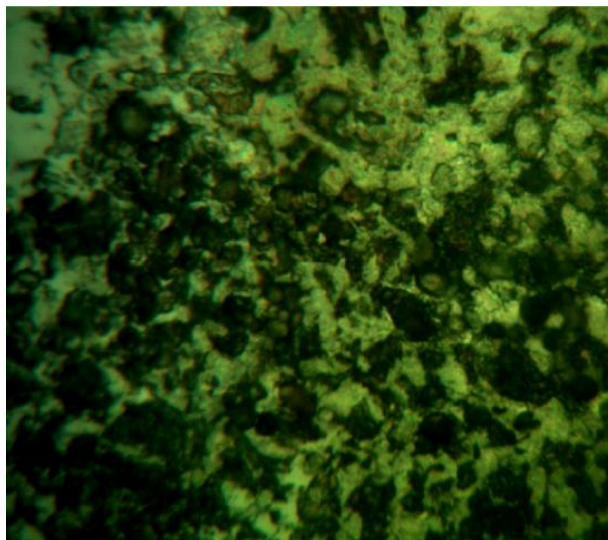


Рисунок 4. Микроструктура исследуемого образца в точке под расслоением (точка 2)

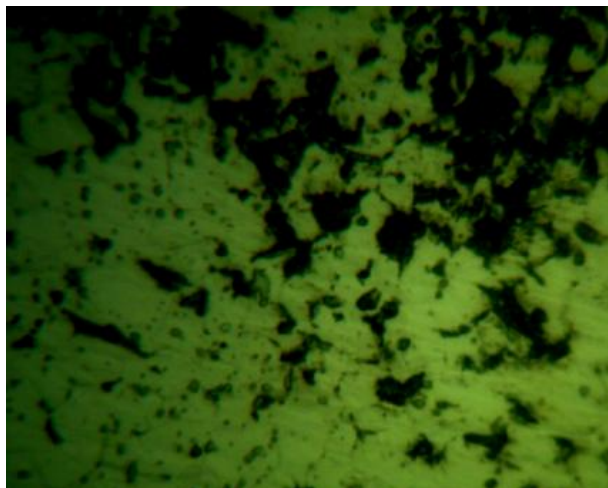


Рисунок 5. Микроструктура исследуемого образца вдали от точки расслоения (точка 4)

Наблюдается феррито-перлитная структура стали с различным содержанием перлита. Так, в точках 1, 3, 4 испытаний содержание феррита по отношению к перлиту примерно 2:1 (рисунки 2, 3, 5). В точке 2 под расслоением наблюдаем отношение феррита к перлиту 1:1 (рисунок 4). Данное явление объясняется тем, что в центре образца имеется ликвационная полоса, образованная при производстве стального листа, поэтому в области 2 наблюдается феррито-перлитная структура с соотношением 1:1.

Испытание на микротвердость применяют при определении твердости таких образцов деталей, которые не могут быть испытаны обычно применяемыми методами (по Бринелю, Роквеллу, Виккерсу), а именно мелких деталей приборов [14-16].

Для измерения микротвердости производилась подготовка образца. Для этого плоская поверхность образца обрабатывалась вращающейся наждачной бумагой, закрепленной на металлическом круге шлифовального станка. Шлифование производилось при

помощи мелкозернистой шкурки (с номером зернистости 1200-2000), поворачивая образец на 90° при смене бумаги. Шлифование каждой шкуркой продолжалось до полного удаления рисок от предыдущей обработки.

После проведения шлифования было проведено полирование детали. Полирование проводилось на фетровом или войлочном круге для удаления всех мелких рисок, после чего поверхность образца получилась зеркальной [17]. На поверхность круга наносился тонкий слой полировальной пасты марки ГОИ (разработана Государственным оптическим институтом).

Определение микротвердости образца проводилось с использованием устройства ПМТ-3, принцип действия которого основан на вдавливании алмазной четырехгранной пирамидки с углом при вершине 136° в исследуемый материал под определенной нагрузкой (0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 кг·с). Число твердости определяется делением нагрузки, приложенной к индентору, на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка. В соответствии с ГОСТ 9450-60 предусмотрены специальные таблицы, рассчитанные на нагрузки 5, 10, 20, 50, 100, 200 и 500 г. Для нагружения был использован груз массой 100 г.

Результаты измерений микротвердости образца стали 09Г2С представлены в таблице 3. Максимальное значение твердости наблюдается вдали от расслоения образца (точка 3) и на основном металле. Вдали от расслоения (точки 3, 4) твердость металла

выше, чем вблизи расслоения (точки 1, 2), т.к. выше прочность металла. В данных областях (точки 3, 4) проникновение водорода оказалось не достаточным для разрыва межатомных связей металла, поэтому расслоение отсутствует.

Произведено выявление сульфидных включений методом Бумана. Для данного метода необходим травитель [5 мл H₂SO₄; 100 мл H₂O]. Этот метод в 1906 г. предложил Бауман. Он является простейшим методом получения отпечатков для выявления распределения серы, и поэтому широко применяется. Принцип метода заключается в следующем: обычную неотфиксированную фотобумагу при дневном свете пропитывают разбавленной серной кислотой и затем лишнюю кислоту удаляют. Потом бумагу прижимают эмульсионным слоем приблизительно на 2 мин к предварительно отшлифованному и обезжиренному образцу, причем, чтобы избежать проскальзывания в случае применения глянцевой бумаги, используют пресс для шлифов. Бумагу быстро промывают, фиксируют, вновь промывают водой и высушивают. Со свежеподготовленной поверхности образца можно получить 2-3 отпечатка.

Как видно из приведенных рисунков 6-8, количество сульфидных включений соответствует 1 баллу по ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79) «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений» (рисунок 9) [18-20], что допустимо для сталей магистральных газопроводов.

Таблица 3. Результаты испытаний на микротвердость

№	Первая диагональ			Вторая диагональ			Среднее значение	Длина диагонали	Значение твердости, МПа
	1	2	2-1	1	2	2-1			
1	475	633	158	473	628	155	156,5	46,95	84,0
2	325	480	155	409	270	139	147,0	44,1	95,4
3	412	313	99	310	199	111	105,0	31,5	187,0
4	448	335	113	327	440	113	113,0	33,9	160,0



Рисунок 6. Макромодель отпечатка по методу Баумана

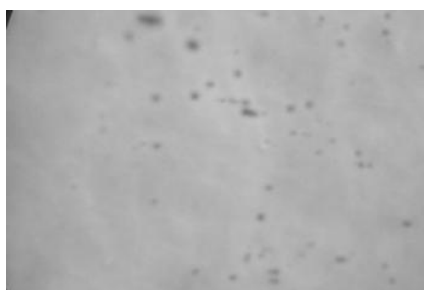


Рисунок 7. Распределение сульфидных включений в точке вдали от расслоения, x 100

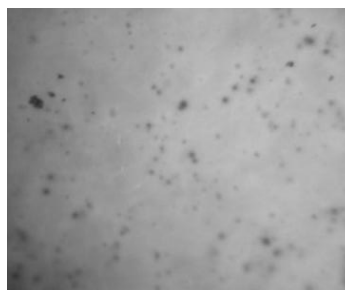


Рисунок 8. Распределение сульфидных включений в точке под расслоением (точка 2), x 100

Балл	Оксиды		Сульфиды и силикаты		Карбиды
	Мелкие	Крупные	Мелкие	Крупные	
1					
2					
3					
4					
5					

Рисунок 9. Шкала неметаллических включений (по ГОСТ 1778-70)

Следует отметить, что количество сульфидных включений примерно одинаково как около расслоения металла, так и на ос-

новном металле образца. Это явление говорит о том, что сульфидные включения не влияют на процесс расслоения металла.

Выводы

Исследование микроструктуры показало, что образец имеет феррито-перлитную структуру с различным содержанием перлита. Данное явление объясняется тем, что в центре образца имеется ликвационная полоса, образованная при производстве стального листа, поэтому в области под расслоением металла наблюдается феррито-перлитная структура с соотношением 1:1, в остальных областях содержание феррита к перлиту имеет соотношение 2:1.

Исследования распределения сульфидных включений проводились по методу Баумана, который является простейшим методом получения отпечатков для выявления распределения серы, и поэтому широко при-

меняется. Установлено, что количество сульфидных включений соответствует 1 баллу по ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79).

Отмечено, что количество сульфидных включений примерно одинаково как около расслоения металла, так и на основном металле образца. Данный факт доказывает, что сульфидные включения не влияют на процесс расслоения металла.

Произведен анализ распределения значения твердости вдали от расслоения и в непосредственной близости. Показано, что максимальное значение твердости наблюдалось вдали от расслоения образца и на основном металле. В данных областях проникновение водорода оказалось не достаточным для разрыва межатомных связей металла, поэтому расслоение отсутствует.

Список литературы

1. 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.
2. Насибуллина О.А., Гареев А.Г. Коррозионные испытания ингибиторов коррозии в условиях низкой обводненности // Образование и наука в современных условиях: матер. внутривуз. науч.-практ. конф. Стерлитамак: Полиграфия, 2016. С. 287-288.
3. Тюсенков А.С., Черепашкин С.Е. Ингибитор солеотложения для котловых систем // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87. Вып. 9. С. 1244-1249.
4. Гареев А.Г., Ризванов Р.Г., Насибуллина О.А. Коррозия и защита металлов в нефтегазовой отрасли. Уфа: Изд-во «Гилем» НИК «Башкирская энциклопедия», 2016. 352 с.
5. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г., Хажиев А.Г. Исследование внутренней поверхности трубопровода системы нефтесбора Северо-Красноярского месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 58-64.
6. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г. Исследование особенностей коррозионного растрескивания под напряжением образца стали Х70, отобранного из очаговой зоны разрушения // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. № 4. С. 244-248.
7. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ибрагимов И.Г. Оценка работоспособности труб, имеющих дефекты коррозионного происхождения //

References

1. 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 nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 107-115. (in Russ.).
2. Nasibullina O.A., Gareev A.G. Korroziionnye ispytaniya ingibitorov korrozii v usloviyakh nizkoi obvodnennosti [Corrosion Tests of Corrosion Inhibitors in Conditions of Low Water Cut]. *Materialy of vnutrivuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh»* [Proceedings of Intra-University Scientific and Practical Conference «Education and Science in Modern Conditions»]. Sterlitamak, Poligrafiya Publ., 2016, pp. 287-288. (in Russ.).
3. Tyusenkov A.S., Cherepashkin S.E. Ingibitor soletozheniya dlya kotlovykh sistem [Scale Inhibitor for Boiler Water Systems]. *Zhurnal prikladnoi khimii - Journal of Applied Chemistry*, 2014, T. 87, Issue 9, pp. 1244-1249. (in Russ.).
4. 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., NIK «Bashkirskaya entsiklopediya», 2016. 352 p. (in Russ.).
5. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G., Khazhiev A.G. Issledovanie vnutrennei poverkhnosti truboprovoda sistemy neftesbora Severo-Krasnoyarskogo mestorozhdeniya [Study of the Inner Surface of the Oil Gathering Pipeline in the Northern Krasnoyarsk Field]. *Problemy of Gathering, Treat-*

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 126-136.

8. Насибуллина О.А. Разработка метода оценки остаточного ресурса в рамках модели развития множественных трещин магистрального газопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 117-127.

9. Насибуллина О.А., Гареев А.Г. Разработка метода оценки остаточного ресурса магистральных газопроводов, имеющих дефекты коррозионного происхождения // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 2. С. 174-178.

10. Пат. 2166729 Российская Федерация, МПК G 01 B5/08, G 01 B5/12. Способ контроля формы и диаметров внутренних сечений крупногабаритных цилиндрических деталей / Ризванов Р.Г., Инсафутдинов А.Ф., Абдеев Р.Г. (РФ). 2000116682/28, заявл. 23.07.2000; опубл. 10.05.2001. Бюл. 13.

11. Гареева О.А., Худяков М.А., Климов П.В., Хажиев А.Д. Моделирование коррозионного растрескивания магистральных газопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2010. Вып. 1 (79). С. 87-92.

12. 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.

13. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. М.: Металлургия, 1989. 640 с.

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

15. Tyusenkov A.S., Cherepashkin S.E. Scale Inhibitor for Boiler Water Systems // Russian Journal of Applied Chemistry. 2014. Vol. 87. No. 9. P. 1240-1245.

16. Фаритов А.Т., Рождественский Ю.Г., Ямщикова С.А., Минниханова Э.Р., Тюсенков А.С. Совершенствование метода линейного поляризационного сопротивления для испытаний ингибиторов коррозии стали // Металлы. М.: ООО НПП «ЭЛИЗ», 2016. № 6. С. 36-43.

17. Зарипов М.З., Ибрагимов И.Г., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Мухаметзянов З.Р. Исследование влияния вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового оборудования из стали 12Х18Н10Т // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. № 2. С. 67. URL: http://ogbus.ru/authors/ZaripovMZ/ZaripovMZ_1.pdf.

18. Насибуллина О.А. Оценка остаточного ресурса газопроводов из стали X70 с учетом коррозионного растрескивания под напряжением: автореф. ... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2012. 24 с.

19. Гареев А.Г. Основы коррозии металлов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. 256 с.

20. Арчаков Ю.И. Водородная коррозия стали. М.: Металлургия, 1985. 192 с.

ment and Transportation of Oil and Oil Products, 2016, Issue 2 (104), pp. 58-64. (in Russ.).

6. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G. Issledovanie osobennosti korroziionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem obraztsa stali Kh70, otobrannogo iz ochagovoi zony razrusheniya [Study of the Stress Corrosion Cracking under Tension Characteristics of X70 Steel Sample, Selected from the Local Zone of Destruction]. *Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business*, 2015, T. 13, No. 4, pp. 244-248. (in Russ.).

7. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Ibragimov I.G. Otsenka rabotosposobnosti trub, imeyushchikh defekty korroziionnogo proiskhozhdeniya [Evaluation of the Performance of Pipes with Corrosion Defects]. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 126-136. (in Russ.).

8. Nasibullina O.A. Razrabotka metoda otsenki ostatochnogo resursa v ramkakh modeli razvitiya mnozhestvennykh treshchin magistral'nogo gazoprovoda [Elaboration of a Method to Estimate the Residual Life of a Trunk Gas Line using the Model of Multiple Cracks Development]. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 117-127. (in Russ.).

9. Nasibullina O.A., Gareev A.G. Razrabotka metoda otsenki ostatochnogo resursa magistral'nykh gazoprovodov, imeyushchikh defekty korroziionnogo proiskhozhdeniya [Development of the Method of the Gas Pipeline Residual Service Life Estimation, Having Defects of Corrosion Origin]. *Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business*, 2016, T. 14, No. 2, pp. 174-178. (in Russ.).

10. Rizvanov R.G., Insafutdinov A.F., Abdeev R.G. Sposob kontrolya formy i diametrov vnutrennikh sechenii krupnogabaritnykh tsilindricheskikh detalei [Method for Controlling the Shape and Diameters of Internal Sections of Large-Sized Cylindrical Parts]. Patent RF, No. 2166729, 10.05.2001. (in Russ.).

11. Gareeva O.A., Khudyakov M.A., Klimov P.V., Khazhiev A.D. Modelirovanie korroziionnogo rastreskivaniya magistral'nykh gazoprovodov [Modeling of Main Gas Pipeline Corrosion Cracking]. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2010, Issue 1 (79), pp. 87-92. (in Russ.).

12. Gareev A.G., Chuchkalov M.V., Klimov P.V., Nasibullina O.A. Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii gazonefteprovodov v usloviyakh korroziionno-mekhanicheskikh vozdeistvii [Increase of Operation Safety of Gas and Oil Pipelines in Conditions of Corrosion-Mechanical Influences]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2012. 220 p. (in Russ.).

13. Sorokin V.G., Volosnikova A.V., Vyatkin S.A. e.a. *Marochnik staley i splavov* [Steel Grade of Steels and Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989. 640 p. (in Russ.).

14. Tyusenkov A.S. Korroziionnaya stoikost' stali 13KhFA [Corrosion Resistance of Steel 13ХФА]. *Stal' - Steel*, 2016, No. 2, pp. 53-57. (in Russ.).

15. Tyusenkov A.S., Cherepashkin S.E. Scale Inhibitor for Boiler Water Systems. *Russian Journal of*

Applied Chemistry, 2014, Vol. 87, No. 9, pp. 1240-1245.

16. Faritov A.T., Rozhdestvenskii Yu.G., Yamshchikova S.A., Minnikhanova E.R., Tyusenkov A.S. Sovershenstvovanie metoda lineinogo polyarizatsionnogo soprotivleniya dlya ispytaniy ingibitorov korrozii stali [Improvement of the Linear Polarization Resistance Method for Corrosion Inhibitors Tests of Steel]. *Metally - Metals*, 2016, No. 6, pp. 36-43. (in Russ.).

17. Zaripov M.Z., Ibragimov I.G., Rizvanov R.G., Fairushin A.M., Mukhametzyanov Z.R. Issledovanie vliyaniya vibratsionnykh i ul'trazvukovykh kolebaniy v protsesse svarki na svoystva svarnykh soedinenii neftegazovogo oborudovaniya iz stali 12Kh18N10T [Research of Influence of Vibration and Ultrasonic Processing that are Imposed on the Welding Parts during the Welding Cycle of 12X18H10T Steel Oil and Gas Equipment]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2010, No. 2, pp. 67. URL: http://ogbus.ru/authors/ZaripovMZ/ZaripovMZ_1.pdf. (in Russ.).

18. Nasibullina O.A. *Otsenka ostatochnogo resursa gazoprovodov iz stali Kh70 s uchetom korroziionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem. Avtoref. kand. tekhn. nauk* [Estimation of the Residual Life of Gas Pipelines from Steel X70 taking into Account Stress Corrosion Cracking. Kand. tekhn. sci. diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2012. 24 p. (in Russ.).

19. Gareev A.G. *Osnovy korrozii metallov* [Bases of Corrosion of Metals]. Ufa, UGNTU Publ., 2011. 256 p. (in Russ.).

20. Archakov Yu.I. *Vodorodnaya korroziya stali* [Hydrogen Corrosion of Steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 192 p. (in Russ.).

Авторы

• Насибуллина Оксана Алексеевна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 242-08-36
e-mail: ksu33@bk.ru

• Абдуллин Тагир Эмилович
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Студент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 242-08-36
e-mail: Abdullin.Tagir@outlook.com

The Authors

• Nasibullina Oksana A., Candidate of Technical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Petroleum Technology Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 242-08-36
e-mail: ksu33@bk.ru

• Abdullin Tagir E.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Technology of Oil Equipment Production Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 242-08-36
e-mail: Abdullin.Tagir@outlook.com