

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

9. Turgunovich, X. B. (2023). Technical and economic efficiency of the use of antifriction-vibration-sound-absorbing composite polymer materials and coatings made of them in the working bodies of cotton gins. *Science Promotion*, 1(1), 271-274.
10. Хаминов, Б. Т. (2022). Методика Определения Функции Желательности. *Miasto Przyszłości*, 30, 207-208.
11. Тургунович, Х. Б., & Муножат, Б. (2023). Методика Определения Вибропоглощающих Свойств Полимерных Материалов И Покровов На Их Основе.
12. Хаминов, Б. Т., & Бургутбойева, М. (2022). Методика Определения Вибропоглощающих Свойств Полимерных Материалов И Покровов На Их Основе. *Miasto Przyszłości*, 30, 188-190.
13. Хаминов, Б. Т. (2023). Олий таълимга инновацияларни жорий этишнинг ижтимоий тараққиёти аҳамияти. *Pedagogs jurnali*, 35(1), 4-7.
14. Turgunovich, X. B. (2023). Aluminum and other metals: a comparison of properties and uses. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 1(11), 136-138.
15. Хаминов, Б. Т., & Абдуллаев, З. Д. (2023). Кесиб жараёнига мойлаш совутиш суюқликлари (мсс) функционал тарқибининг таъсири. *Uzbek Scholar Journal*, 16, 125-127.

Калит сўзлар: ультрадисперс, кобальт, титан карбид кукуни, шпифт.

Ушбу мақолада ультрадисперс TiC кукуни микдорининг вольфрам карбид кобальтти намуналарнинг физик-механик хоссаларига таъсири урганилган.

Ключевые слова: ультрадисперсный, кобальт, порошок карбида титана, шликер.

В данной работе исследовано влияние количества ультрадисперсного порошка TiC на физико-механические свойства образцов карбида вольфрама-кобальта.

Keywords: ultradisperse, cobalt, titanium carbide powder, slip.

In this article, the influence of the amount of ultradispersed TiC powder on the physical and mechanical properties of tungsten carbide cobalt samples is studied.

УДК 620.22

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ НА ИХ КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В СКВАЖИННЫХ УСЛОВИЯХ НЕФТЕНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ю.И. Попкова, А.Я. Григорьев

Введение. В процессе эксплуатации нефтяных месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, в продукции которых присутствует углекислый газ, насосно-компрессорные трубы (НКТ) подвергаются коррозионному разрушению. В результате углекислотной коррозии происходит потеря герметичности колонны НКТ, что приводит к преждевременным подъемам погружного оборудования для замены, и, как следствие, к потерям в добыче нефти в результате простоя скважин.

Для увеличения коррозионной стойкости погружного оборудования используют стали, легированные хромом. Известно, что с увеличением содержания хрома в сталях скорость их коррозии снижается [1]. Согласно данным авторов [2, 3], минимальное содержание хрома, при котором достигается повышение коррозионной стойкости сталей составляет 0.50-0.55 % (здесь и далее масс.%).

Некоторые авторы [4, 5] отмечают, что существует связь между скоростью коррозии стали и ее зернистостью – чем меньше зерно,

тем меньше эта скорость. Однако единого мнения по этому поводу нет. Так, в работах [6, 7] эта связь не подтверждается. С этой точки зрения представляется весьма актуальным экспериментально оценить влияние размера зерна сходных по составу сталей на скорость их коррозии в реальных скважинных средах.

Традиционным методом изменения размера зерна трубных сталей является термомеханическая обработка [8]. Этот метод включает в себя нагревание стали до температуры выше точки аустенитного превращения A₃, после чего следует ее обработка прокаткой. Далее сталь охлаждается в контролируемых условиях. Этот процесс позволяет получить различные характеристики зерна в зависимости от элементного состава стали ее исходной микроструктуры, скорости нагрева в интервале превращения, максимальной температуры нагрева, времени выдержки выше точки A₃ и интенсивности механической обработки. Этот метод может быть встроен в технологию получения труб, но является весьма энергозатратным.

В последнее время для получения нужной структуры стали используют ее микролегирование – процесс введения в расплав комплекса легирующих добавок, общее содержание которых не превышает 0.1%, а характерная концентрация отдельных элементов 0.0001 – 0.0500 % [9]. Уменьшения размера зерна достигается введением ингибиторов его роста – бором, титаном, ниобием, алюминием, цирконием и ванадием, а также рядом редкоземельных металлов [10]. Эти элементы образуют стабильные при высоких температурах нагрева нитриды, карбонитриды или карбиды, которые увеличивают число центров кристаллизации и препятствуют росту зерна, строение, чистоту его границ и межфазных поверхностей.

Микролегирование с целью улучшения физико-механических свойств металлов значительно эффективнее и менее затратно в сравнении с термомеханической обработкой. Этот метод получил широкое распространение для улучшения физико-механических свойств металлов и сплавов, однако систематических исследований его влияния на коррозионную стойкость не проводилось.

В последнее время появились трубные стали, модифицированные микролегированием и содержащие в своем составе бор, кальций, титан, ниобий и алюминий. В этой связи представляет интерес оценка влияния на коррозионную стойкость различных элементов пакета микролегирования, которые судя по литературным данным, могут носить синергетический эффект. В частности, в работах [11] для получения несвязанного свободного бора предлагается проводить его на фоне микролегирования кальцием. В свою очередь для раскисленной алюминием среднеуглеродистой стали это способствует предотвращению выделения сульфидов что, как следствие, должно повышать стойкость сталей к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением.

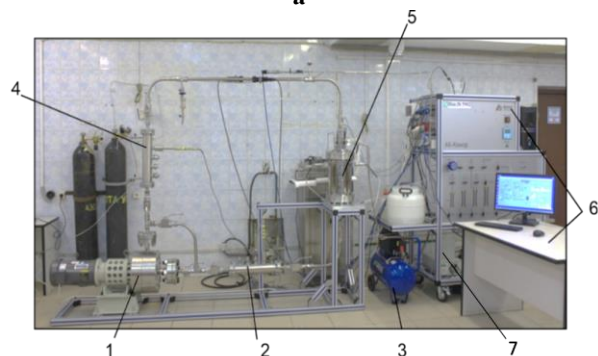
Таким образом, недостаток результатов по изучению влияния на коррозионную стойкость различных элементов микролегирования среднеуглеродистых трубных сталей, определили цель и содержание настоящей работы.

Цель работы заключается в проведении сравнительных испытаний коррозионной стойкости среднеуглеродистых трубных сталей и сталей, модифицированных микролегированием и установления влияния на скорость коррозии различных элементов пакета микролегирования в условиях нефтяных скважин месторождений Беларуси.

Методика проведения испытаний. Из патрубков новых НКТ, изготавливались образцы-свидетели коррозии (ОСК) (рисунок 1а). Испытания проводились на установке для моделирования скважинных условий «АА-КОНКОР», представляющей собой замкнутый циркуляционный контур с вертикальным и горизонтальным участками, на каждый из которых устанавливались по три ОСК (рисунок 2а).



а



б

Рисунок 1. Коррозионные испытания: а – образцы-свидетели; б – установка моделирования скважинных условий эксплуатации образцов сталей насосно-компрессорных труб «АА-КОНКОР»: 1 – циркуляционный насос; 2 – горизонтальный испытательный участок; 3 – компрессор; 4 – вертикальный испытательный участок; 5 – накопительный резервуар-смеситель с нагревательным элементом; 6 – система управления; 7 – плунжерный насос создания давления

Испытания проводились по методике [12], в реальных скважинных средах, отобранных из Осташковичского и Речицкого нефтяных месторождений, при температуре, давлении и скорости потока, соответствующих реальным условиям эксплуатации скважин. Химический состав попутных вод этих месторождений определялся в соответствии с процедурами, также изложенными [12]. Температура, давление и скорость потока устанавливались равными данным аппаратного контроля состояния исследуемых скважин. Состав скважинных вод и условия испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия испытаний и химический состав попутно добываемой воды скважин нефтяных месторождений
Беларуси, осложненных углекислотной коррозией

Плотность, кг/м³	Минерализация, г/л	pH	Общая жесткость	Химический состав попутно добываемой воды, мг/л									Условия испытаний		
				Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Fe ²⁺	CO ₂	H ₂ S	Температура, °C	Давление, МПа	Скорость потока, м/с
Осташковичское нефтяное месторождение															
1155	225	5.9	1600	140307	89	325	26947	2974	54370	6	27	0	+70	15	0.6
Речицкое нефтяное месторождение															
1135	196	6.3	1254	121709	88	356	20069	3072	50285	14	20	0	+55	15	0.4

Исследованные месторождения находятся на поздней стадии разработки и характеризуются высокой обводненностью, которая по некоторым скважинам достигает 95 об.%. По классификации В.А. Сулина [13], вода исследуемых скважинных сред относится к хлоридно-кальциевому типу, по минерализации классифицируется как рассол крепкий и по значению водородного показателя является слабокислой [14]. Объемное содержание CO₂ в попутном нефтяном газе этих месторождений составляло 0.80 и 0.37 % в соответственно.

Для испытаний ОСК, вырезали из труб в состоянии поставки по размерам с точностью 0.01 мм. Образцы подготавливались в соответствии со стандартами NACE TM0169 и ASTM-01. Процедура подготовки включала обезжиривание органическими растворителями (ацетон, бензин, керосин), промывку проточной дистиллированной водой, активации поверхности образца погружением на 1 минуту в 15 % раствор соляной кислоты, промывку в проточной и дистиллированной воде, сушкой фильтровальной бумаге и последующей выдержке в эксикаторе в течение 1 часа. Начальный и конечный вес образца определялся на аналитических весах (AX504 Mettler Toledj, Швейцария) с точностью 0.00001 г. В расчет брались первые три цифры после запятой

В каждом эксперименте испытывались три образца одной марки стали одновременно. Образцы устанавливались на соответствующий участок испытательного стенда, создавалось необходимое давление, температура среды и скорость потока. Продолжительность испытаний составляла 72 часа. По окончании испытаний образцы очищались от продуктов коррозии, промывались дистиллированной

водой, сушились и взвешивались. В случае расхождения конечного веса образцов более чем на 10 %, полученные данные не учитывались и эксперимент повторялся. Каждая трубная сталь характеризовалась средним значением веса, полученным в двух экспериментах по три образца в каждом. Годовая скорость коррозии определялась расчетным способом исходя из потери массы ОСК за установленный период испытаний в соответствии со стандартом NACE TM0169 по формуле (1):

$$v = \frac{87600 \times \Delta m}{S \times t \times \rho} \quad (1)$$

Определение элементного состава образцов-свидетелей коррозии проводились на аттестованном рентгенофлуоресцентном спектрометре ED 2000 («Oxford Instruments analytical», Великобритания) и на аттестованном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ССД (ЗАО «Спектроскопические системы», Беларусь). Погрешность методов составляла 3–5 отн.%. Изучение морфологии поверхности образцов осуществляли с помощью стереоскопического микроскопа CM0745 («Альтами», Россия). Исследование микроструктуры проводили на световом микроскопе MEF-3 («Reichert», США) при увеличении x100, x500. Загрязненность неметаллическими включениями определяли по ГОСТ 1778; размер зерна – по ГОСТ 5639; полосчатость – по ГОСТ 5640.

Кроме исследования морфологии поверхностей определялась глубина проникновения коррозии на поперечных микрошлифах, что позволило определить, какие из испытуемых марок трубных сталей подвержены сплошной (общей) коррозии, какие – локальной. Для оценки скорости локальной коррозии оценивалась глубина коррозионного разрушения за год (мм/год). В качестве

основного критерия выбора трубных сталей для дальнейших опытно-промышленных испытаний принято отсутствие локальных коррозионных повреждений при скорости общей коррозии, обеспечивающей срок службы НКТ из исследуемой стали не менее 5 лет при наименьшей стоимости.

Объекты исследований.

Исследовались образцы микролегированных среднеуглеродистых марганцовистых сталей НКТ марки 30Г2 (Австрия) групп прочности

L80 (1) и N80 (Q), изготовленных по стандарту API Specification 5CT. В качестве объектов сравнения использовалась среднеуглеродистая марганцовистая сталь марки 32Г1А группы прочности

N80 (Q) и сталь 30X группы прочности L80 (1) (РФ), промышленно применяемые на белорусских месторождениях. Характеристика элементного состава и микроструктура исследованных сталей приведена в таблице 2.

Таблица 2

Элементный состав исследованных трубных сталей

Марка стали	Содержание углерода, легирующих элементов и примесей, масс. %							
	C	Mn	Cr	B	Ca	Ti	Nb	Al
30Г2 L80(1)	0.31	1.54	0.28	0.0001	0.0024	0.002	0.0010	0.030
30Г2 N80(Q)	0.32	1.48	0.26	0.0004	0.0019	0.002	не выявл.	0.030
32Г1А N80 (Q)	0.31– 0.35	1.10– 1.12	0.05– 0.07	не выявл.	не выявл.	0.001– 0.020	не выявл.	0.020
30X L80(1)	0.31– 0.36	0.63– 0.75	0.96– 1.15	не выявл.	не выявл.	0.010– 0.030	не выявл.	0.020– 0.030

Результаты и их обсуждение.

Согласно ГОСТ 1050 и спецификации изготовителя трубные стали 30Г2 не позиционируются как стали с повышенной коррозионной стойкостью. Интерес к ним вызван положительным опытом эксплуатации аналогичных НКТ группы прочности Р110 в условиях скважины №84 Осташковичского месторождения. Анализ образцов с действующих скважин показал, в отличие от труб из стали 32Г1А трубы из 30Г2 не были подвержены сквозной коррозии (рисунок 2).



а

б



в

г

Рисунок 2. Состояние НКТ после эксплуатации в условиях нагнетательной скважины №84

Осташковичского нефтяного месторождения: а, б – внешняя поверхность НКТ из стали 32Г1А при наработке 617 и 749 суток соответственно; в, г – внешняя и внутренняя поверхность НКТ из стали 30Г2 при наработке 779 суток

Металлографические исследования показали, что для трубной стали 32Г1А N80 (Q) коррозионные повреждения представляют собой глубокие язвы неправильной формы, на отдельных участках – сквозные. Глубина несквозных коррозионных повреждений при наработке 617 суток составила 2.7 мм, сквозных – 5.5 мм, что в пересчете на годовой показатель скорости коррозии при начальной толщине стенки НКТ 5.5 мм составляет 1.66–3.25 мм/год. Исследование микроструктуры не выявило межкристаллитной и других видов избирательной коррозии. Микрорентгеноструктурный анализ коррозионных отложений в районе повреждений показал присутствие Ca и Cl, являющихся свидетелями процессов электрохимической жидкостной коррозии при участии воды.

Осмотр образца НКТ 30Г2 Р110 показал, что поверхность трубы в удовлетворительном состоянии, по причине коррозии не было отбраковано ни одной НКТ, толщина стенки, измеренная ультразвуковым методом, соответствует характеристикам новой трубы. Результаты металлографического анализа поперечных и продольных

микрошлифов, вырезанных из различных участков НКТ показали, что трубная сталь 30Г2 Р110 имеет более мелкое зерно в сравнении со среднеуглеродистой марганцовистой трубной сталью 32Г1А – 12 и 10 баллов по ГОСТ 5639 соответственно.

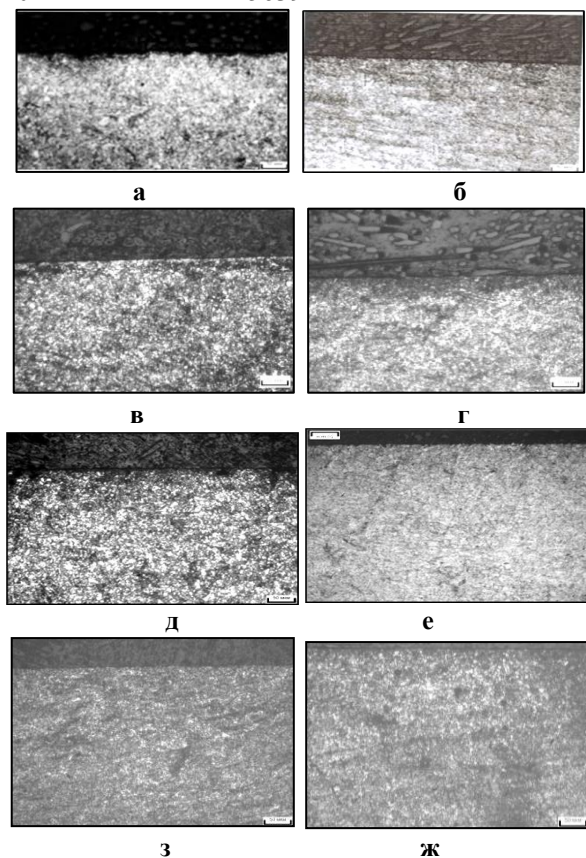


Рисунок 3. Морфология поверхности ОСК из трубных сталей после стендовых испытаний (поле зрения снимков 550×400 мкм): а-г, д-ж – в скважинной воде Осташковичского и Речицкого месторождения соответственно; а, д – 32Г1А N80 (Q); б,е – 30Х L80 (1); в,з – 30Г2 L80 (1); г,ж – 30Г2 N80 (Q)

Полученные результаты позволили предположить, что причиной более высокой коррозионной стойкости трубной стали 30Г2 в сравнении со сталью 32Г1А является повышенное содержание хрома (0.3 % против 0.07 %) и микролегирование бором, кальцием, титаном, ниобием и алюминием. Для выяснения этого, а также определения влияния состава скважинной воды на коррозионную стойкость, на установке «АА-КОНКОР» были проведены стендовые сравнительные испытания образцов труб из сталей 30Г2 и 32Г1А разных групп прочности в имитационных условиях Осташковичского и Речицкого нефтяного месторождений. Для оценки влияния хрома дополнительно исследовалась сталь 30Х L80 (1).

Результаты исследований морфологии поверхностей образцов, испытанных в условиях Осташковичского и Речицкого нефтяных месторождений представлены на рисунке 3. Как видно, в условиях Осташковичского и Речицкого нефтяного месторождений локальные коррозионные повреждения исследуемых трубных сталей, за исключением среднеуглеродистой стали 32Г1А N80 (Q), не выявлены.

Скорость коррозии, определенная гравиметрическим методом, в условиях Осташковичского месторождения составила 0.020 мм, в условиях Речицкого месторождения – 0.040 мм, соответственно, скорость локальной коррозии составила 2.4 мм/год и 4.8 мм/год соответственно. Сводная информация по результатам исследований представлена в таблице 3.

Таблица 3

Результаты стендовых испытаний трубных сталей						
№	Марка стали	VГ ₁ , мм/год	VГ ₂ , мм/год	VГ ₃ , мм/год	$\overline{VГ}$, мм/год	V _{лок} , мм/год
Осташковичское нефтяное месторождение						
1	30Г2 L80 (1)	0.116	0.127	0.109	0.111 ± 0.009	-
		0.107	0.111	0.098		
2	30Г2 N80 (Q)	0.172	0.164	0.152	0.163± 0.010	-
		0.163	0.181	0.147		
3	30Г1А N80 (Q)	0.741	0.744	0.737	0.742 ± 0.009	2.4
		0.743	0.741	0.747		
4	30Х L80 (1)	0.308	0.305	0.302	0.308 ± 0.006	-
		0.304	0.313	0.316		
Речицкое нефтяное месторождение						
5	30Г2 L80 (1)	0.061	0.058	0.059	0.060 ± 0.002	-
		0.060	0.059	0.062		
6	30Г2 N80 (Q)	0.073	0.070	0.072	0.071 ± 0.002	-
		0,070	0,069	0,072		
7	30Г1А N80 (Q)	0.491	0.489	0.495	0.494 ± 0.008	4.8
		0.501	0.482	0.503		
8	30Х L80 (1)	0.050	0.062	0.060	0.057 ± 0.005	-
		0.058	0.057	0.054		

Качественное рассмотрение результатов испытаний, представленных в таблице 4, свидетельствует о существенных различиях скорости коррозии испытанных сталей в водных средах Осташковичского и Речицкого месторождений. Статистический анализ подтверждает это. При парном сравнении одинаковых сталей для двух сред испытаний критическое значение t-критерия для уровня значимости 0.05, составляет 2.228, что существенно меньше расчётных величин для всех исследованных образцов (44.67; 38.01; 29.88 и 46.92 для сталей 30Г1А N80 (Q), 30Х L80 (1), 30Г2 L80 (1) и 30Г2 N80 (Q) соответственно). Поскольку расчетные значения t-статистик превышают его критическую величину, различия между сравниваемыми средними значениями скоростей коррозии в Осташковичском и Речицком нефтяных месторождений значимы. Аналогичный анализ показал и статистически значимые различия коррозионной стойкости исследованных образцов, испытанных в одной и той же среде. Таким образом, все материалы характеризуются разной коррозионной стойкостью, а скважинная вода Осташковичского и Речицкого месторождений обладают разной коррозионной активностью.

Морфология коррозионных повреждений поверхностей образцов также различна. Для среднеуглеродистой марганцовистой стали, как образцов из скважин, так и после стендовых испытаний, характерен неравномерный локальный вид повреждения, обусловленный образованием на поверхности рыхлого слоя продуктов коррозии, который легко удаляется потоком скважинной жидкости, не защищая участки металла для дальнейших повреждений. В отличие от марганцовистой стали на поверхности образцов из низколегированной трубной стали с содержанием хрома 1 % образуется более плотный и равномерный слой продуктов коррозии, препятствующий распространению коррозии. Кроме того, известно, что в продуктах коррозии хром находится в составе аморфного, непроводящего электрический ток, соединения $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Соответственно, с повышением содержания хрома в сталях, увеличивается и его концентрация в продуктах коррозии, что снижает их электропроводность и повышает катионные свойства, что в результате положительно сказывается на коррозионной стойкости сталей [2].

Особую важность имеют результаты испытаний среднеуглеродистой марганцовистой трубной стали 30Г2, содержащих хром на уровне 0.3 %, с

дополнительным микролегированием. Несмотря на невысокое содержание хрома и содержание марганца более 1 % локальные коррозионные повреждения не выявлены. Более того, установлено, что скорость общей коррозии стали 30Г2 в условиях Осташковичского нефтяного месторождения в 2-3 раза ниже, чем аналогичный показатель для низколегированной стали 30Х (0.111-0.163 мм/год и 0.308 мм/год соответственно), и сопоставима с показателем общей коррозии в условиях Речицкого нефтяного месторождения (0.060-0.071 мм/год и 0.057 мм/год соответственно).

Анализ влияния состава исследованных сталей на коррозию, проведенный для двух скважинных сред методом главных компонент позволил выделить основные действующие факторы и их взаимосвязь. Рассмотрение графика, представленного на рисунке 4, позволяет сделать следующие выводы.

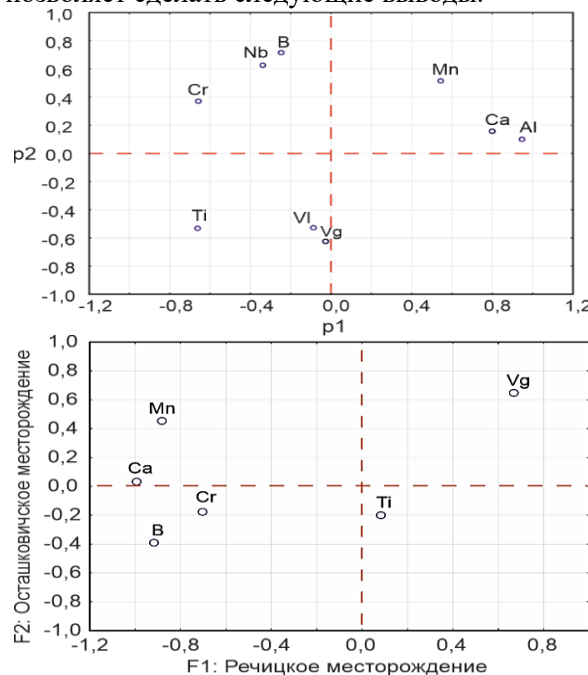


Рисунок 4. Результаты использования метода главных компонент (а) и факторного анализа (б), демонстрирующие влияние элементов легирования и микролегирования на коррозионную стойкость трубных сталей (пояснения в тексте)

Векторы нагрузок Vg, VI и всех легирующих элементов, за исключением Ti, направлены в разные стороны, что указывает на их противоположное влияние на первую главную компоненту (p1). Элементы Ti, Cr, B, Nb, Ba и Mn расположены на отрицательной стороне оси второй главной компоненты (p2), в то время как Mn, Al и Ca — на положительной, что отражает их различное влияние на p2. Ортогональность главных компонент и близкие к нулю значения нагрузок VI и Vg на p2

позволяют предположить, что p_2 связана с характеристиками второго порядка, не ассоциированными с коррозией.

Учитывая высокую корреляцию между Nb и B, а также Ca и Al, и большие по абсолютной величине значения нагрузок Al и Nb на p_2 по сравнению с их «соседями», для упрощения признакового пространства можно исключить Al и Nb из дальнейшего анализа, оставив B и Ca. Также, учитывая, что V1 связана только с одним образцом и имеет низкую корреляцию с Vg, можно оставить Vg как более репрезентативный признак для анализа.

Исследование влияния элементов легирования и микролегирования на коррозионную стойкость трубных сталей в различных скважинных средах было проведено с использованием факторного анализа данных, представленных в таблицах 2 и 3. Результаты анализа представлены на рисунке 4б и интерпретируются следующим образом.

Факторный анализ выявляет скрытые переменные, которые объясняют корреляции между наблюдаемыми переменными, и набор факторных нагрузок, отражающих связь каждой переменной с выделенными факторами. Положительное расположение точек относительно фактора указывает на положительную связь соответствующего признака, и наоборот. Точка, соответствующая скорости коррозии, расположена почти на диагонали факторного пространства, что свидетельствует о её положительной корреляции с обоими выделенными факторами.

Анализируя взаимное расположение точек, соответствующих элементам модификации сталей и скорости коррозии (Vg), можно сделать вывод, что факторы F1 и F2 ассоциированы с коррозионной активностью скважинных сред Речицкого и Осташковичского месторождений соответственно. При этом, характеристики элементов отражают их влияние на скорость коррозии в данных средах. Такой вывод согласуется с различиями в скорости коррозии и концентрациях элементов легирования, приведенными в таблице 3. Важно отметить, что факторный анализ отображает не точные функциональные зависимости, а ключевые тенденции. В этом контексте, положение точки Mп подчеркивает значительные различия в её влиянии на скорость коррозии в двух исследуемых средах. В то же время, влияние титана не было выявлено ни для одной из сред, что может указывать на его косвенную роль в процессах протекания коррозии.

Таким образом, влияние хрома и марганца, выявленное в результате факторного

анализа, соответствует представлениям об их роли в обеспечении коррозионной стойкости трубных сталей. Получено подтверждение положительного влияния на коррозионную стойкость элементов микролегирования.

Выводы. Статистическими методами подтверждено, что коррозионная стойкость трубных сталей 30Г2 группы прочности N80 (Q) связана с микролегированием кальцием и бором (0,0019 %, 0,0004 % соответственно), а для трубной стали группы прочности L80 (1) – кальцием, бором и ниобием (0,0024 %, 0,0001 %, 0,0010 % соответственно). Все данные элементы приводят к получению равномерной мелкозернистой структуры. Очевидно, что измельчение структурных составляющих и их равномерное распределение в металле выравнивает потенциал поверхности, уменьшает ток микропар и снижает скорость коррозии.

Скважинные среды Осташковичского и Речицкого месторождений отличаются по своей коррозионной активности. Большая коррозионная стойкость сталей 30X L80 (1) и 30Г2 L80 (1), 30Г2 N80 (Q) в условиях Речицкого нефтяного месторождения в сравнении с Осташковичским обусловлена большим содержанием хлорид-ионов в попутно добываемой воде последнего – в 1.2 раза. Проведенные ранее исследования показали, что содержание хлорид-ионов оказывает отрицательное влияние на коррозионную стойкость низколегированных сталей [15].

Установлено, что среднеуглеродистая марганцовистая трубная сталь 30Г2 L80 (1) и 30Г2 N80 (Q), имеющая мелкозернистую структуру с размером действительного зерна 12 балл по ГОСТ 5639, несмотря на содержание марганца более 1 % и содержание хрома 0.3 %, не подвержена локальным коррозионным повреждениям в условиях нефтяных месторождений Беларуси. Коррозионная стойкость данной стали не ниже низколегированной трубной стали 30X L80 (1).

Практическое применение полученных результатов. На основании полученных результатов установлены требования к среднеуглеродистой марганцовистой стали, позволяющие повысить ее коррозионную стойкость в условиях углекислотной коррозии нефтяных месторождений Беларуси. В настоящее время проводятся опытно-промышленные испытания НКТ 30Г2 группы прочности N80 (Q) в условиях добывающих скважин нефтяных месторождений РУП «Производственное объединение «Белоруснефть».

Список обозначений:

НКТ – насосно-компрессорная труба;
ОСК – образец-свидетель коррозии;
V_г – скорость коррозии, определенная
гравиметрическим методом;
V_{лок} – скорость локальной коррозии;
v – скорость коррозии ОСК, мм/год;

Δm – потеря массы ОСК;
S – площадь поверхности ОСК, подвергшейся
коррозионному воздействию, см²;
t – время коррозионного воздействия, ч;
 ρ – плотность материала, г/см³.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов : учеб. пособие. 2-е изд. / Н. П. Жук. – М. : ООО ТИД «Альянс», 2006. – 472 с
- 2 Иоффе, А. В. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири / А. В. Иоффе [и др.] // Вектор науки ТГУ. – 2010. – №4 (14). – С. 50–53.
- 3 Al-Hasan, S. Effect of microstructure on corrosion of steels in aqueous solutions containing carbon dioxide / S. Al-Hasan [et. al] // Mechanism of CO₂ corrosion. –Vol.2 – Houston, 2017. – P. 47–58.
- 4 Завьялов, В. В. Проблемы эксплуатационной надежности трубопроводов на поздней стадии разработки месторождений / В. В. Завьялов. – М. : ВНИИОЭНГ, 2005. – 332 с.
- 5 Kermani, B. Depiction of metallurgical parameters as governing CO₂ corrosion / B. Kermani // Mechanism CO₂ and H₂S metal loss corrosion: 10-year review / ed. Yves Gunaltum. – Houston, 2017. – P. 205–214.
- 6 Кофанова, Н. К. Коррозия и защита металлов : учеб. пособие / Н. К. Кофанова. – Алчевск : Изд-во Донбасского горн.-мет. инст-та, 2003. – 181 с.
- 7 Козлов, В. А. Основы коррозии и защиты металлов : учеб. пособие / В. А. Козлов, М. О. Месник. – Иваново : Изд-во Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2011. – 177 с.
- 8 Лахтин, Ю. М. Материаловедение : 2 изд., перер. и доп. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
- 9 Барадынцева, Е. П. Влияние микролегирования на прокаливаемость сталей / Е. П. Барадынцева, Н. А. Глазунова, О. В. Роговцова // Литье и металлургия. – 2016. – №3 (84). – С. 70–74.
- 10 Юдин, П. Е. Металловедческие и металлургические основы безаварийной эксплуатации нефтепромысловых труб и оборудования / П. Е. Юдин, Н. А. Баранов, С. С. Петров. – М. : Наука, 2023. – 183 с.
- 11 Влияние кальция на качество трубной стали / Д. А. Дюдкин [и др.] // Труды 7 конгресса сталеплавильщиков. – 2002. – С.490-493.
- 12 Методика проведения испытаний на установке для моделирования и изучения коррозионных процессов в скважинных условиях «АА-Конкор» / БелНИПИнефть. – Гомель, – 2021. – 33 с.
- 13 Карцев, А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М. : Недра, 1972. – 280 с.
- 14 Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре : ОСТ 41-05-263. – Введ. 1986 – 07 – 01. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. – 9 с.
- 15 Попкова, Ю. И. Влияние металлургических характеристик стали на коррозионную стойкость насосно-компрессорных труб в условиях уголекислотной коррозии / Ю. И. Попкова, А. Я. Григорьев // XXIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления». Тезисы докладов. – Гомель, 2023. – С. 92–96.

Ключевые слова: уголекислотная коррозия, скважина, нефтяное месторождение, трубная сталь, насосно-компрессорная труба, микролегирование, элементный состав, микроструктура, коррозионная стойкость.

Проведена сравнительная оценка коррозионной стойкости среднеуглеродистых сталей насосно-компрессорных труб марок 30Г2, 32Г1А и 30Х. Испытания проводились на установке, имитирующей условия эксплуатации погружного оборудования по температуре, давлению и скорости потока с использованием реальных скважинных сред Осташковичского и Речицкого нефтяных месторождений. Установлено, что трубная сталь 30Г2 с содержанием хрома 0.3% масс., микролегированная бором, кальцием, титаном, ниобием и алюминием обеспечивает в уголекислотных условиях эксплуатации коррозионную стойкость наравне с трубной сталью 30Х. Показано, что повышение коррозионной стойкости стали 30Г2 связано с положительным влиянием микролегирования бором. Сделан вывод, что наблюдаемый эффект микролегирования обусловлен

СОДЕРЖАНИЕ

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокompозитов

- Н.С. Абед, С.С. Негматов, М. Рахимов. О механизме физико-химических взаимодействий компонентов композиционных полимерных материалов, наполненных неорганическими и органическими ингредиентами..... 3
- Д.М. Бердиев, В.М. Константинов, Т.Н. Ибодуллаев. Изучение процесса термоциклической обработки при нагреве без фазовой и с полной фазовой перекристаллизацией..... 11
- L.S. Raxmatullaev, M.O. Karimov, Sh.N. Qiyomov. Polietilenni organo mineral qo'shimchalar bilan modifikatsiyalash.. 13
- F.A. Khamdamova, O.S. Maksumova. Synthesis and properties of a monomeric complex compound based on acrylamide. 17
- А.Т. Шамишова, О.М. Исакова, Д.Н. Махкамova, З. Тураев, И.И. Усманов. Исследование взаимодействия компонентов в системе $KNO_3-CuSO_4-H_2O$ 19
- Н.Н. Рахматуллаева, Л.В. Гальперин, З.Д. Эрматов, Н.С. Дуняшин. Исследование взаимодействия расплавленного металла и шлаков при автоматической дуговой сварке под слоем флюса..... 22
- Л.В. Гальперин, Н.Т. Рахматуллаева, Н.С. Дуняшин, З.Д. Эрматов. Исследование взаимодействия металла со сложными газами при разработке состава керамических флюсов для автоматической дуговой сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей..... 25
- A.F. Ishankulov. Polimerlar bilan ko'p komponentli gibridd kvant nuqtalari kompozitlarining lyuminestsensiyasi va optik-o'lcham xossalari..... 28
- Ш.М. Улашов, Г.А. Ихтиярова. Изучение взаимодействия аминополисахарида хитозана apis mellifera с глутаровым альдегидом..... 30
- A.A. Ermatova, X.Q. Abdushukurova, Sh.S. Ismoilova. Sorbtion-spektroskopik usulda og'ir va zaharli metallarni aniqlash..... 33
- A.A. Ermatova, N.S. Umirov, Sh.Q. Tashbayeva. Сирдарё вилояти тупроклари таркибидаги оғир ва захарли металлар микдори тахлили..... 35
- Sh.T. Khojiev, H.Sh. Sultonov, Sh.A. Muxametdjanova. Xalkopiritni magnetit bilan ta'sirlashish jarayonining ba'zi termodinamik jihatlari..... 37
- Б.А. Юсупов, У.К. Абдурахманова. Янтар кислотасининг янги ҳосилалари синтези..... 41
- А.Ш. Хусенов, А.Ж. Жонузов, Д.С. Камалова, Г. Рахманбердиев. Некоторые особенности химического строения хлоринулина..... 44
- М.И. Мамасалиева. Эффективное полимерное покрытие материалом PVDF..... 47
- Х.У. Усманова, Х.Ш. Бобожонов, З.А. Сманова. Алюминий ва индий ионларини атроф-мухит объектларидан сорбцион-флуоресцент усулда аниқлаш..... 50
- L.B. Pulatova, A.B. Kasimova. Advantages and characteristics of TPU filament over PLA filament when using 3D printing technology in clothes..... 53
- K.N. Sultonov, I.S. Sedalova. Zol-gel metodida TiO_2 nanokompozitmateriallar sintezi va tahlili..... 59
- S.X. Jamolov, M.A. Abdurazov. Rezina kukuni va polimer chiqindisini asfaltbeton qoplamasining mustahkamligini oshirishda sirt-faol kompozit material sifatida qo'llash texnologiyasi 62
- Ш. Урозов. Табиий минерал хомашёси асосида олинган ZSM-5 цеолит анологининг адсорбцион хусусиятлари..... 66

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

- Н.Р. Шеркулова, Д.Т. Шодиев, Р.М. Давлатов. Изучение улучшения прочностных характеристик натурального хлопкового волокна при модификации..... 70
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Қаттиқ қотишмаларнинг физик-механик хоссаларини ошириш усуллари таҳлил қилиш..... 72
- А. Иргашев, Н.А. Эгамбердиева. Оценка износостойкости композиционных шестерен по концентрации продуктов износа в масле агрегатов..... 76
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Вольфрам карбид кобальти қаттиқ қотишма структура ва физик-механик хоссаларига ультрадисперс TiC заррачалар микдорининг таъсирини аниқлаш..... 78
- Н.А. Хусанов. Электроконтакт усулида қоплама қоплашда қоплама макро ва микроструктурасига қуқуннинг детал юзасига сиқишдаги бошланғич босим таъсирини тадқиқ этиш..... 83
- С.С. Самадов, Б.Ф. Мухиддинов, С.С. Негматов, М.Э. Икрамова. Исследование структуры, теплофизических и физико-механических свойств модифицированных эпоксидных композитов..... 84
- Kh.E. Fayzullaev. Study of the influence of fillers on developed composite materials for mechanical engineering..... 88
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Ультрадисперс TiC қуқуни микдорининг вольфрам карбид кобальти намуналарнинг физик-механик хоссаларига таъсирини аниқлаш..... 91
- Ю.И. Попкова, А.Я. Григорьев. Влияние микролегирования сталей насосно-компрессорных труб на их коррозионную стойкость в скважинных условиях нефтеносных месторождений..... 93

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

- A.N. To'rayev, N.D. Turaxodjayev, Sh.N. Saidxodjayeva, Sh. Xudoyqulov, Sh.N. To'raxo'jayeva, R.X. Murodqosimov. Alyuminiy qirindilaridan ferroqotishma olish texnologiyasini ishlab chiqish..... 101
- A.A. Мухамедов, К.В. Гузашвили, З.Б. Мирзарахимова, Н.А. Воронков. Первичное обогащение каолиновых месторождений Узбекистана и применение их в производстве шамотных изделий..... 103