

Е.О. Стеклова, асп., Л.А. Ефименко, проф., д.т.н., РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

# ОЦЕНКА СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И НЕОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ТЕРМО-Э.Д.С.

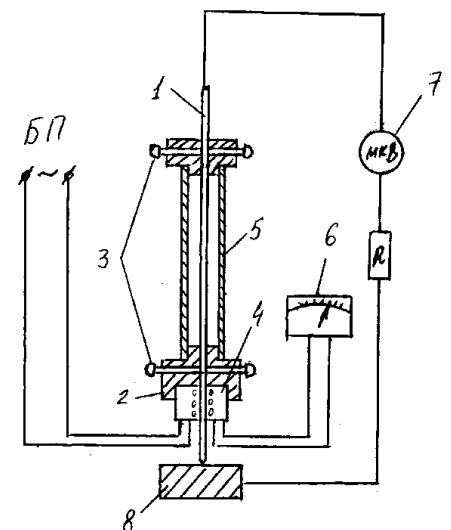
*Существенной проблемой конструкций нефтегазового комплекса является ухудшение их коррозионно-механических характеристик в процессе эксплуатации. Это может стать причиной нарушения работоспособности конструкций и привести к серьезным экологическим и экономическим проблемам, связанных с возгоранием, взрывами, выбросами углеводородного сырья, сокращению службы трубопроводов и в дальнейшем непригодности их эксплуатации. Поэтому в настоящее время особое внимание уделяется вопросам контроля за состоянием таких объектов.*

С этой целью используется большое количество методов неразрушающего контроля, таких как: радиографический, ультразвуковой, магнитный, рентгеноскопия и др. Вместе с тем следует отметить, что указанные методы не позволяют оценить структурно-фазовое состояние материала, определяющее в значительной степени его коррозионную стойкость, а также прочностные и пластические характеристики. Поскольку надежность конструкций и их сопротивляемость разрушению определяется свойствами материала, напряженно-деформированным состоянием конструкции, условиями эксплуатации, необходимо адекватная оценка этих факторов на всех стадиях жизненного цикла конструкции, т.е. необходим комплекс методик и методов, позволяющих оценивать структурно-механические свойства материала, структурно-химические свойства, конструк-

ционную повреждаемость материала в процессе эксплуатации и степень старения, а так же другие свойства. Целью настоящей работы являлось разработка методики оценки структуры трубных сталей и сварных соединений методом термо-э.д.с. с определением их неоднородности.

### СУЩНОСТЬ МЕТОДА ТЕРМО-Э.Д.С.

В основу метода положены термоэлектрические процессы, из которых главное значение принадлежит эффекту Зеебека. Сущность эффекта заключается в возникновении термо-э.д.с. в электрической цепи, образованной двумя различными проводниками, когда спаи этих проводников находятся при различных температурах. При контакте двух разнородных металлов совершается переход носителей заряда из одного металла в другой, пока в силу закона сохранения энергии не уста-



**Рис.1. Схема определения термо-э.д.с.**  
1 – вольфрамовый электрод – зонд; 2 – стальная втулка с гнездом; 3 – стопорные винты; 4 – печь; 5 – обойма, к которой крепится вольфрамовый электрод; 6 – цифровой измеритель температуры; 7 – микровольтметр; 8 – исследуемый образец; БП – блок питания.

**Таблица 1. Исследуемые материалы**

Наименование стали	Химический состав, %										Содержание в % C <sub>экв</sub>	Термо-э.д.с. мкВ/°С	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	As	N			
20	0,17	0,17	0,35	0,25								0,278	224±5
09Г2С	0,12	0,5	1,3	0,3	0,3	0,3	0,035	0,04	0,08	0,008		0,437	69±5
15ХСНД	0,12	0,4	0,4	0,6	0,3	0,2	0,035	0,04	0,08	0,008		0,34	234±5

# КОНСТАНТА®

с 1991 года  
приборы неразрушающего контроля

- ультразвуковые толщиномеры серии БУЛАТ
- толщиномеры покрытий серии КОНСТАНТА
- твердомеры металлов
- приборы комплексного контроля качества защитных покрытий и подготовки лакокрасочных материалов
- принадлежности для всех видов контроля



отдел продаж - тел./факс: (812) 372-2903, 372-2904  
[www.constanta.ru](http://www.constanta.ru), [office@constanta.ru](mailto:office@constanta.ru) 198095, Санкт-Петербург, а/я 42

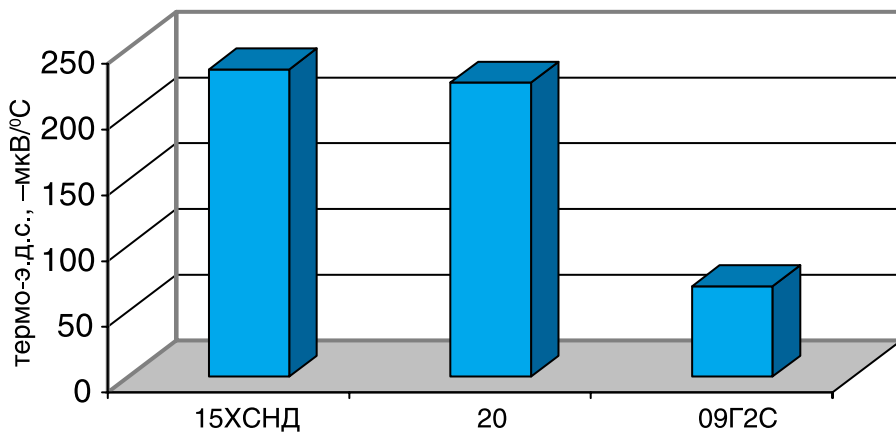
преобразователи  
на любой  
акус

## УЗ-КОНСТАНТА®



- разработка и производство ультразвуковых преобразователей всех типов
- изготовление стандартных образцов предприятий
- продажа дефектоскопов УД2-12 и УД2-140

[www.constanta-us.com](http://www.constanta-us.com) [mail@constanta.ru](mailto:mail@constanta.ru)  
отдел продаж (812) 372-2904 - отдел разработок: (812) 336-4047



**Рис. 2. Влияние химического состава стали на термо-э.д.с.**

новится разность потенциалов, препятствующая дальнейшему переходу и равная разности уровней энергии Ферми обоих металлов. При наличии градиента температур в месте контакта двух металлов, в связи с тем, что горячий металл обладает большей энергией, чем холодный, возникает термодиффузия электронов в сторону меньших энергий — от горячего участка к холодному. Термоэлектродвижущая

сила, возникающая вследствие направленной термодиффузии электронов, является кинетическим электронным свойством металла, наиболее чувствительным к механизму рассеяния и геометрии поверхности Ферми, зависящих от химического состава и структуры сплава.

Высокая чувствительность термоэлектрического метода и возможность регистрации с его помощью весьма тонких

структурных изменений обуславливают возможности использования этого метода в практике современного металловедения. При этом нет надобности в разрушении соединения, а также можно производить оценку качества не только при изготовлении изделия, но и при его эксплуатации во время проведения профилактических работ.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕТОДА ТЕРМО-Э.Д.С.

Измерение термо-э.д.с. проводилось с помощью комплекса, собранного на базе микротвердомера ПМТ-3. Для решения поставленной задачи прибор необходимо снабдить специальным приспособлением (рис. 1.), с помощью которого можно проводить измерение термо-э.д.с.

Для изготовления холодного контакта выбрана низкоуглеродистая сталь, для горячего — вольфрам. Температура нагрева контакта не должна превышать 80-100°С.

**Таблица 2. Количественные показатели структурного состава отдельных участков ЗТВ и значения твердости**

№	Параметры имитированных участков ЗТВ		Содержание структурной составляющей, %					Твердость, HV10	Термо-э.д.с., мкВ/°С
	Максимальная температура нагрева, T <sub>max</sub> °С	Скорость охлаждения, W <sub>8-5r</sub> °С/с	Ф	П	П+Б	Б	М		
1	Основной металл		72	28	-	-	-	144,7±5	-229±5
2	850	4	62	36	-	-	-	154±5	-223±5
3	950	4	70	30	-	-	-	145±5	-222±5
4	1050	4	62	38	-	-	-	177±5	-229±5
5	1150	4	72	28	-	-	-	154±5	-239±5
6	1250	4	47	-	53	-	-	177±5	-173±5
7	1350	0,5	53	47	-	-	-	137±5	-231±5
8	1350	4	46	-	54	-	-	180±5	-180±5
9	1350	10	38	-	62	-	-	206±5	-182±5
10	1350	40	5	-	-	90	5	219±5	-178±5

**Таблица 3. Показания термо-э.д.с. участков ЗТВ, сталь 20**

Сталь 20	W <sub>8-5r</sub> °С/с	Показания прибора, мкВ/°С						
		1	2	3	4	Средние значения	Min значения	Max значения
Основной металл		-231	-231	-235,6	-220,22	-229,45	-235,6	-220,22
850°	4	-229,46	-220,22	-212,52	-231	-223,3	-231	-212,52
950°	4	-234,08	-223,3	-215,6	-215,6	-222,14	-234,08	-215,6
1050°	4	-243,32	-227,92	-231	-215,6	-229,46	-243,32	-215,6
1150°	4	-254,1	-238,7	-231	-234,08	-239,47	-254,1	-231
1250°	4	-181,72	-181,72	-157,08	-172,48	-173,25	-181,72	-157,08
1350°	4	-184,8	-184,8	-169,4	-181,72	-180,18	-184,8	-169,4

Измерительный комплекс состоит из микротвердомера ПМТ-3, у которого вместо индентера с алмазной пирамидой была смонтирована микропечь с вольфрамовым электродом — зондом, микровольтметра, измерителя температур, блока питания.

Исследуемый образец устанавливался на предметный столик микротвердомера. Вольфрамовый электрод опускался до соприкосновения с образцом. Термо-э.д.с. измерялась при температуре вольфрамового зонда  $90 \pm 5^\circ\text{C}$  под нагрузкой 100 г. Более высокий нагрев приводит к окислению поверхности металла и искажению результата. Температура регистрировалась с помощью цифрового измерителя температур (M-838 Digital Multimeter). Прибор автоматически вносит поправку на комнатную температуру.

Измерение термоэлектрических потенциалов необходимо проводить по чистой отшлифованной поверхности для получения более точных результатов.

В момент соприкосновения нагретого конца вольфрамового электрода с образцом возникает термо-э.д.с. Место установки зонда выбиралось так, что при просмотре шлифа — интересующая точка совмещалась с перекрестием окуляра, затем в нее помещали зонд, через 20–30 с после установления стационарного режима на шкале микровольтметра измерялась контактная разность потенциалов (термо-э.д.с.).

### ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА К ИЗМЕНЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ

Для исследования использовали микрошлифы конструкционных трубных сталей, химический состав которых приведен в таблице 1.

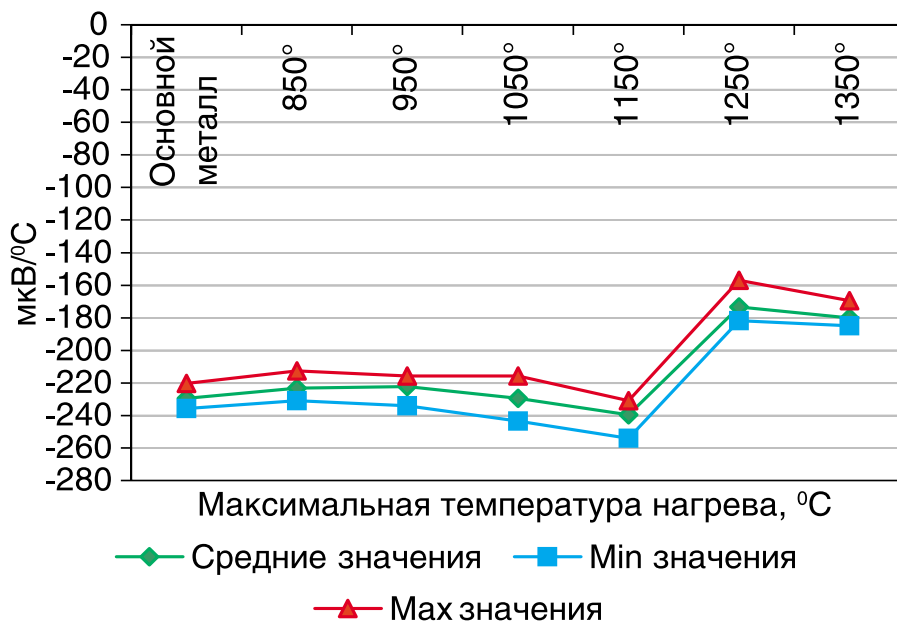


Рис.3. Зависимость термо-э.д.с. от  $T_{\max}$

Как видно из данных таблицы 1. и рис.2 метод чувствителен к изменению химического состава исследуемых сталей.

### ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА К ИЗМЕНЕНИЮ СТРУКТУРНОГО СОСТАВА

Исследования данного раздела работы выполнены на Ст 20 (табл.1). С помощью установки ТВЧ (по методике РГУ нефти и газа) на образцах из указанной стали были имитированы различные участки ЗТВ сварного соединения, максимальная температура которых изменялась от  $850^\circ\text{C}$  до  $1350^\circ\text{C}$ , а скорость охлаждения на участках  $T_{\max} W_{8-5}$  от  $0,5^\circ\text{C}/\text{с}$  до  $40^\circ\text{C}/\text{с}$ . Из образцов были подготовлены микрошлифы, травление которых осуществлялось в 4% спиртовом растворе  $\text{HNO}_3$ . Микроструктуры изучали при помощи оптического микроскопа марки МЕТАМ РВ-21. Структурный состав рассчитывали точечным методом Глаголева и методом секущих. В таблице 2. приведены количественные показатели структурного состава отдельных участков ЗТВ и значения твердости, измеренные на приборе

## ООО «ПромГруппПрибор»

**КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ  
ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО  
КОНТРОЛЯ**












- ультразвуковой контроль
- радиографический контроль
- дозиметрический контроль (ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1621, ДКС-AT1123, ДКС-AT2503)
- контроль изоляции трубопроводов (ИПИТ-2, ИПИТ-3M, ДКИ-3, УКТ-2, ИА-1)
- визуальный контроль
- магнитопорошковый и вихретоковый контроль
- капиллярная дефектоскопия
- твердометрия
- контроль герметичности резервуаров
- газоаналитическое оборудование (ИГ-6, ИГ-7, ИГ-9, МС-1, ИГ-5, ИГ-10, ИГД-1)

115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4, корп. 1  
тел./факс: (495) 981 37 28, 981 37 29  
www.pgpribor.ru, www.pgpribor.com, e-mail: pgp-2004@mail.ru



8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
ПО ОСВОЕНИЮ РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА РОССИЙСКОЙ  
АРКТИКИ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА СТРАН СНГ

# RAO / CIS OFFSHORE 2007

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

11-13 СЕНТЯБРЯ

- ◆ Геологическая оценка ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа
- ◆ Гидрометеорологические и инженерно-геологические условия
- ◆ Техника и технология освоения ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа
- ◆ Морские сооружения для обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений
- ◆ Плавучие и подводные технические средства, морские трубопроводы
- ◆ Спасательные системы и средства, системы связи и навигации
- ◆ Промышленно-экологическая безопасность, охрана окружающей природной среды
- ◆ Законодательная, нормативная, правовая база и экономика освоения Российской Арктики и континентального шельфа

## РЕГИОНЫ:

- ◆ Российская Арктика и шельф Баренцева моря
- ◆ Приамальский шельф, Обская и Тазовская губы
- ◆ Континентальный шельф о Сахалин и Дальневосточных морей
- ◆ Континентальный шельф Балтийского, Черного и Азовского морей

**ОРГАНИЗАТОРЫ:** Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Федеральное Агентство по недропользованию, ОАО «Газпром», ОАО «НК «Лукойл», ОАО «НК «Роснефть», Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий (ООО «ВНИИГаз»), ЗАО «Севморнефтегаз», Выставочное объединение «Рестэк»

## ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Комитета Совета Федерации по природным ресурсам и охране окружающей среды, Правительства Санкт-Петербурга, Морского собрания Санкт-Петербурга, Норвежской нефтегазовой ассоциации «ИНТСОК»

## ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ СПОНСОР:

**ExxonMobil**

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ:



HYDRO



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
СПОНСОР:

**Газовая  
промышленность**



## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

Тел./факс: (812) 320 9660, <http://www.rao-offshore.ru>



Виккерса. Показания термо-э. д.с., измеренные на приборе занесены в таблицу 3.

На рис.3. приведены значения термо-э.д.с. для различных участков ЗТВ.

Как видно из приведенных данных для участков ЗТВ с  $T_{max}$  850–1150°C ( $W_{8-5} = 4^\circ\text{C}/\text{с}$ ), с близким структурным составом (около 70% феррита и 30% перлита), значения термо-э.д.с. практически одинаковы и находятся на уровне 222-239 мкВ/°С. При появлении в структуре бейнитной составляющей (участки с  $T_{max}$  1250°C, 1350°C и  $W_{8-5}$  от 4°C/с до 40°C/с) значения термо-э.д.с. изменяются до 180 мкВ/°С (рис.3.)

Таким образом полученные данные свидетельствуют о чувствительности метода к структурному составу сварного соединения и подтверждаются литературными данными.

**ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА К НАЛИЧИЮ В МЕТАЛЛЕ ДЕФОРМАЦИЙ**

Исследование выполнено на серии об-



**Вихретоковый дефектоскоп портативный ГАЛС (ВД-103)**

Рабочая частота: до 6 МГц  
Мин. размеры трещин: глубина: 60 мкм  
длина 1.5 мм



**Вихретоковый дефектоскоп портативный ВД-2**

Рабочая частота: до 2МГц  
Мин. размеры трещин: ширина: 10 мкм  
глубина: 100 мкм  
длина: 0.6 мм



**Вихретоковый измеритель удельной электрической проводимости ВЭ-2002**

Диапазон измерения: твердые тела: 0.1...60 См/м  
жидкости: 0.01...10 См/м

**Измеритель влажности нефтепродуктов ИВН-2002**

Диапазон измерения: 0...20%



**Многоканальный измеритель диэлектрической проницаемости МИ-5**

Диапазон измерения: 1..100 отн. ед.  
Кол-во каналов: 256



**ГлавДиагностика**  
General Diagnostics  
Всё, что Вы хотели знать об объекте...

107023, г. Москва, ул. Буженинова, д. 2  
Тел./факс: +7 (495) 964-04-84 | e-mail: info@glavd.ru  
[www.glavd.ru](http://www.glavd.ru) | [www.defectoscope.ru](http://www.defectoscope.ru)

разцов из стали 09Г2С, предварительно деформированных при статическом растяжении. Деформация составила  $\delta = 1-8\%$ . Показания термо-э.д.с., измеренные на образцах из стали 09Г2С приведены в таблице 4. Данные термо-э.д.с. этих образцов приведены на рис.4. На рис.4. приведены значения термо-э.д.с. для образцов деформированных при статическом растяжении.

Из полученных результатов видно,

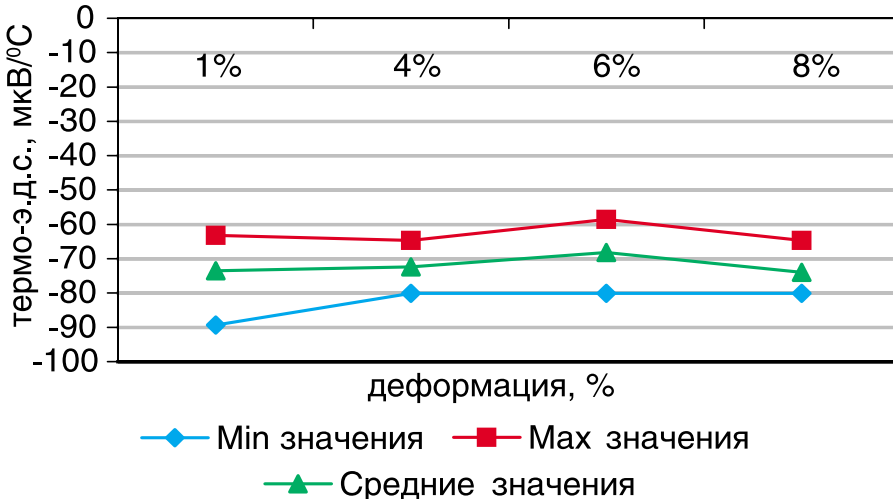
что средние значения термо-э.д.с. изменяются в небольших пределах (20мкВ/°С±10мкВ/°С).

Таким образом полученные данные свидетельствуют о том, что пластические деформации по сравнению с химическим составом и структурным фактором оказывают меньшее влияние на изменение термо-э.д.с.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработана методика оценки химического состава и структурного состояния металла сварных соединений методом термо-э.д.с. на базе прибора для определения микротвердости ПМТ-3. Проведенные исследования показали чувствительность метода термо-э.д.с. к химическому составу, структурному и напряженно-деформированному состоянию сталей и сварных соединений нефтегазового сортамента.

**Условные обозначения:** ТВЧ – ток высокой частоты; ЗТВ – зона термического влияния;  $T_{max}$  – максимальная температура нагрева, °С;  $W_{8-5}$  – скорость охлаждения, °С/с.



**Рис.4. Зависимость термо-э.д.с. от деформации**

**Таблица 4. Показания термо-э.д.с. для стали 09Г2С**

Образцы Ст09Г2С (3+0тп)	Показания прибора, мкВ/°С				Min значения	Max значения	Средние значения
	1	2	3	4			
1%	-63,14	-89,32	-77	-64,68	-89,32	-63,14	-73,53
4%	-72,38	-80,08	-72,38	-64,68	-80,08	-64,68	-72,38
6%	-58,52	-75,46	-80,08	-58,52	-80,08	-58,52	-68,14
8%	-64,68	-77	-80,08	-73,92	-80,08	-64,68	-73,92