

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

на изобретение
№ 2848683

СПОСОБ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ
ТРУБОПРОВОДНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ К
ЯЗВЕННОЙ КОРРОЗИИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Болобов Виктор Иванович (RU), Жуйков Илья Владиславович (RU), Попов Григорий Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2025107759

Приоритет изобретения **31 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **21 октября 2025 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **31 марта 2045 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





(51) МПК
G01N 17/00 (2006.01)
C23F 13/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 17/006 (2025.05)

(21)(22) Заявка: 2025107759, 31.03.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.03.2025

Дата регистрации:
21.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.03.2025

(45) Опубликовано: 21.10.2025 Бюл № 30

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
Санкт-Петербургский Горный Университет,
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Болобов Виктор Иванович (RU),
Жуйков Илья Владиславович (RU),
Попов Григорий Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2757634 C1, 19.10.2021. RU 2730102 C1, 17.08.2020. RU 2439537 C1, 10.01.2012. WO 2009157808 A2, 30.12.2009

(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ К ЯЗВЕННОЙ КОРРОЗИИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

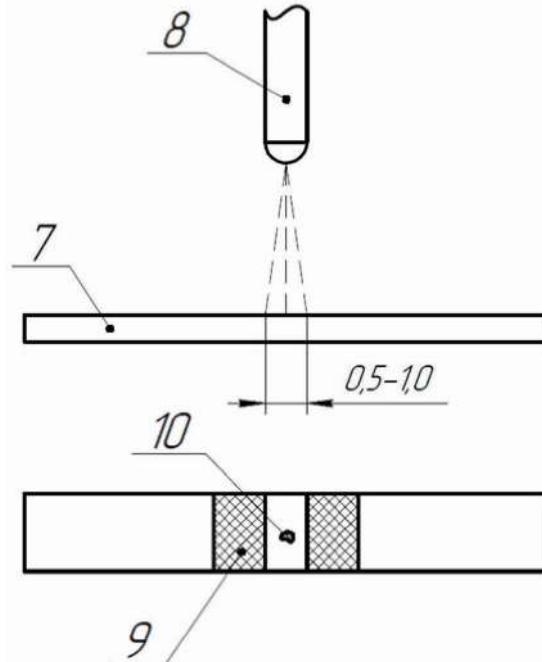
(57) Реферат:

Изобретение относится к коррозионным испытаниям, а именно к испытаниям углеродистых трубопроводных сталей на стойкость к язвенной коррозии под напряжением. Способ определения стойкости углеродистых трубопроводных сталей к язвенной коррозии под напряжением включает изготовление пластины из анализируемой углеродистой стали, изгиб пластины в скобе, покрытие поверхности пластины с каждой стороны от анализируемой зоны защитным лаком, изгиб пластины в скобе до необходимой стрелы прогиба, установку пластины в емкость с агрессивной средой с фиксацией времени выдержки пластины, которое составляет от 5 до 50 часов, периодический осмотр в процессе испытаний, после выдержки удаление защитного лака с пластины и размещение под оптическим микроскопом и проведение измерений тонкой фокусировкой расстояния, определение изменений глубины ΔH_1

в каждой точке как $\Delta H_i = H_i^* - H_i$, расчет скорости язвенной коррозии. При этом в центральной части каждой пластины по всей её ширине выделяют анализируемую зону шириной от 0,5 до 1,0 мм. Для исключения возможности возникновения контактной коррозии и обеспечения условия выполнения одноосного изгиба между нажимными болтами скоб и пластинами устанавливают полимерные вкладыши. Стрелу прогиба подбирают из условия возникновения уровня напряжений от 0,5 до 0,7 от предела текучести стали в анализируемой зоне, при этом значение стрелы прогиба определяется по формуле: $h = \frac{\sigma_p \cdot L^2}{6 \cdot E \cdot b}$, где L – расстояние между опорами, 120 мм, b – толщина образца, 3 мм, E – модуль Юнга, 200 ГПа. Производят установку скоб с пластинами на подставку, на которой выполнен вырез для подвода воздуха в емкость с агрессивной средой, в качестве которой

используют водный раствор NaCl концентрации от 2 до 4 %. По дну емкости проложен канал для подачи потока воздуха к анализируемым зонам пластина, один конец которого закрыт пробкой. Воздух в канал подают компрессором. После проведения выдержки и очистки пластины по всей поверхности анализируемой зоны фиксируют образовавшиеся коррозионные язвы. При этом определяют глубину каждой из них и расстояние от фиксированной точки на краю образца до

коррозионной язвы. По глубине самых крупных из образованных на поверхности анализируемой зоны пластины коррозионных язв в количестве n штук определяют среднее значение глубины язв как $\Delta H_{cp} = \sum \Delta H_i / n$. Техническим результатом является повышение точности оценки коррозионной стойкости трубопроводных сталей к язвенной коррозии под напряжением. 6 ил., 2 табл.



Фиг. 3



(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01N 17/006 (2025.05)

(21)(22) Application: 2025107759, 31.03.2025

(24) Effective date for property rights:
31.03.2025Registration date:
21.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: 31.03.2025

(45) Date of publication: 21.10.2025 Bull. № 30

Mail address:
199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, Sankt-Peterburgskij Gornij Universitet, Patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):

Bolobov Viktor Ivanovich (RU),
Zhuikov Ilia Vladislavovich (RU),
Popov Grigorii Gennadevich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gorniy universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)

C1
3
8
6
8
4
2
8
RUR
U
2
8
4
8
6
8
3C
1

(54) METHOD FOR EVALUATING THE RESISTANCE OF PIPE CARBON STEELS TO STRESS CORROSION CRACKING

(57) Abstract:

FIELD: corrosion testing.

SUBSTANCE: invention relates to the testing carbon pipeline steels for resistance to stress corrosion cracking. The method for determining the resistance of carbon pipeline steels to stress corrosion cracking involves manufacturing a plate from the carbon steel being analysed, bending the plate in a bracket, coating the surface of the plate on each side of the area being analysed with a protective varnish, bending the plate in a bracket to the required deflection, placing the plate in a container with an aggressive medium and fixing the exposure time of the plate, which is from 5 to 50 hours, periodic inspection during testing, after exposure, removal of the protective varnish from the plate and placement under an optical microscope and measurement with fine focus distance, determination of changes in depth ΔH_i at each point as $\Delta H_i = H_i$ $- H_i$, calculation of the rate of pitting corrosion. At the same time, in the central part of each plate, across its entire width, an analysed zone with a width of 0.5 to 1.0 mm is selected. To exclude the possibility of contact

corrosion and to ensure the conditions for uniaxial bending, polymer inserts are installed between the clamping bolts of the brackets and the plates. The deflection is selected based on the condition that the stress level is between 0.5 and 0.7 of the yield strength of steel in the analysed zone, with the deflection value determined by the formula:

$$h = \frac{\sigma_p \cdot L^2}{6 \cdot E \cdot b},$$

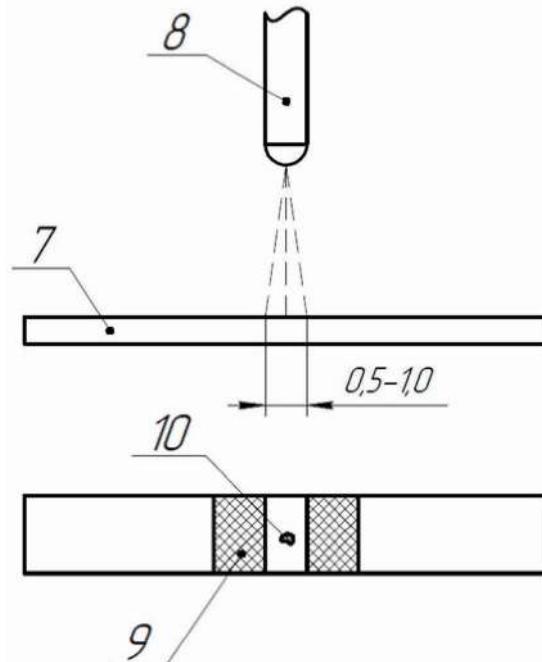
where L is the distance between the supports, 120 mm, b is the thickness of the sample, 3 mm, E is Young's modulus, 200 GPa. Brackets with plates are installed on a stand with a cut-out for supplying air to a container with an aggressive medium, which is a 2 to 4% NaCl aqueous solution. A channel is laid along the bottom of the container to supply air flow to the analysed areas of the plates, one end of which is closed with a plug. Air is supplied to the channel by a compressor. After exposure and cleaning of the plate, the corrosion pits formed over the entire surface of the analysed area are recorded. The depth of each pit and

the distance from a fixed point on the edge of the sample to the corrosion pit are determined. Based on the depth of the largest corrosion pits formed on the surface of the analysed area of the plate, n in number, the average

depth of the pits is determined as $\Delta H_{cp} = \Sigma \Delta H_i / n$

EFFECT: increase in the accuracy of assessing the corrosion resistance of pipeline steels to stress corrosion cracking.

1 cl, 6 dwg, 2 tbl



C 1

2 8 4 8 6 8 3

R U

R U 2 8 4 8 6 8 3 C 1

Изобретение относится к коррозионным испытаниям, а именно к испытаниям углеродистых трубопроводных сталей на стойкость к язвенной коррозии под напряжением.

Известен способ испытаний образцов металлических материалов под напряжением

5 (авторское свидетельство СССР №1777648, опубл. 23.11.1992 г.), по которому на образец испытуемого материала воздействуют растягивающей нагрузкой и коррозионной средой, при этом используют крестообразный образец, по крайней мере один луч которого выполнен из испытуемого материала, воздействие коррозионной средой осуществляют путем заполнения полостей между лучами различными жидкостями и/

10 или газами, а растягивающую нагрузку прикладывают к лучу из испытываемого материала по крайней мере по двум осям.

Недостатком данного способа является использование сложных в изготовлении крестообразного образца и устройства нагружения, а также трудность образования силового поля с равномерно распределенной нагрузкой.

15 Известен способ испытания тонкостенных образцов под напряжением (Патент РФ № 2439537, опубл. 10.01.2012), включающий операции воздействия нагрузкой, агрессивной средой и полем на образец испытуемого материала, а также последующую вырезку из образца фрагмента круглой формы, на одну сторону которого осуществляют давление газовой средой. Замеряя высоту подъема образуемого купола по мере

20 наращивания давления, определяют механические характеристики рассматриваемого фрагмента с составлением заключения о степени изменения характеристик образца.

Недостатком данного способа является использование тонкостенных образцов, изготовление которых из тела трубы представляет собой весьма трудоемкий процесс.

Известен способ испытания образцов на коррозию под напряжением в атмосфере

25 (ГОСТ 9.909-86. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – Введен 1987-07-01. – М.: Гос. Комитет СССР по стандартизации, 1986. – 22 с.), который заключается в экспонировании образцов в условиях, сочетающих воздействие климатических факторов и внешних растягивающих

30 напряжений). Образцы в виде пластин площадью 150×100 мм, толщиной 0,5-3,0 мм закрепляются в скобах, с помощью которых подвергаются изгибу до необходимой стрелы прогиба, соответствующей напряжению 0,9 предела текучести испытуемого металла. Образцы вместе со скобами размещаются на стенах и подвергаются воздействию атмосферной коррозии в условиях, соответствующих предполагаемым

35 условиям эксплуатации изделий, деталей или узлов, в которых будут использованы испытуемые материалы. При испытаниях образцы периодически осматривают и перегружают, образец полностью разгружают и вновь нагружают в соответствии с первоначальным расчетом величины деформации. Осмотр и перегрузку образцов проводят через 3, 6, 12 месяцев и в дальнейшем - 1 раз в год. Стойкость к коррозии под

40 напряжением оценивают по среднему арифметическому значению времени до появления трещин или до разрушения образцов.

Недостатком данного способа является то, что стойкость металла образца к коррозии под напряжением оценивается по значению времени выдержки образца в агрессивной среде до появления в нем трещин, но зачастую в процессе местной коррозии образуются

45 иные по форме коррозионные дефекты, в зависимости от условий испытаний это могут быть язвы или питтинги.

Известен способ оценки стойкости трубопроводных сталей к «канавочной» коррозии (Патент РФ № 2730102, опубл. 17.08.2020), который заключается в экспонировании

образцов в реакционной среде в условиях, моделирующих условия эксплуатации стенки промыслового трубопровода. Образцы в виде пластин из анализируемой стали, изгибаются до необходимой стрелы прогиба, обеспечивающей возникновение в средней точке пластиинуровня остаточных напряжений, имеющего место в трубопроводе. В

5 средней точке пластин наносится окружный надрез, служащий концентратором дополнительных напряжений. С использованием фотометрического способа определяется изменение радиуса надреза с 2 боковых сторон пластины в результате воздействия реакционной среды, по средне арифметическому значению которого, с учетом времени экспонирования образцов, оценивают глубинный показатель скорости

10 "канавочной" коррозии анализируемой стали.

Недостатком данного способа является то, что скорость коррозии материала пластины по данному методу рассчитывается, исходя из увеличения радиуса надреза со стороны боковых сторон пластины. При этом на надрез в этих местах агрессивная среда воздействует не только с лицевой (широкой) стороны пластин, но и с боковой, 15 что обуславливает размытость получаемого профиля надреза и приводит к возникновению значительной погрешности в определении его радиуса после воздействия среды и, как следствие, величины скорости коррозии.

Известен способ оценки стойкости трубопроводных сталей к «канавочной» коррозии (патент RU № 2757634, опубл. 19.10.2021 г.) принятый за прототип, который заключается 20 в выдержке изогнутых пластин с нанесенным окружным надрезом в агрессивной среде с измерением расстояния между дном надреза и поверхностью пластины рядом с надрезом в строго фиксированных точках до и после выдержки. В соответствии с данным способом изгиб пластины в скобе производится до необходимой остаточной стрелы прогиба. Окружный надрез радиусом и глубиной от 0,2 до 0,3 мм наносится в 25 средней точке пластины с внутренней стороны поперек длины. Выдержка пластины производится посредством установки извлеченной из скобы пластины в термостат с агрессивной средой в горизонтальном положении стороной с надрезом вниз, с последующим термостатированием при температуре от 55 до 65°C в течение от 5 до 50 30 часов с подачей потока воздуха к месту надреза и фиксацией времени выдержки пластины. Глубину надреза до H_i и после H_i^* воздействия среды определяют в фиксированных $n \geq 10$ точках по длине надреза, для чего пластины своей лицевой стороной надрезом вверх размещают под оптическим микроскопом и проводят измерение тонкой фокусировкой расстояния между дном надреза в соответствующей 35 точке и поверхностью пластины рядом с надрезом, затем определяют изменение глубины надреза ΔH_i в каждой фиксированной точке как $\Delta H_i = H_i^* - H_i$, в результате коррозионного воздействия среды, далее определяют среднее изменение глубины надреза ΔH_{cp} , как $\Delta H_{cp} = \sum \Delta H_i / n$, и рассчитывают скорость «канавочной» коррозии.

Недостатками способа являются необходимость пластической деформации пластин 40 при изгибе для формирования в них остаточных напряжений, что значительно уменьшает точность измерения фокусных расстояний до дна коррозионных язв и до неповрежденной поверхности металла из-за изогнутой формы поверхности пластины, необходимость нанесения окружного надреза, моделирующего след «канавочной» коррозии, из-за формы профиля которого невозможно точно оценить глубину 45 образовавшихся после выдержки коррозионных язв, а также то, что проведение измерений выполняется в строго фиксированных точках по центральной линии на поверхности дна надреза, что не позволяет корректно определить среднюю глубину сформированных в центральной зоне коррозионных язв, так как места зарождения язв

могут не совпадать с фиксированными точками.

Техническим результатом является повышение точности оценки коррозионной стойкости трубопроводных сталей к язвенной коррозии под напряжением.

Технический результат достигается тем, что в центральной части каждой пластины

5 по всей её ширине выделяют анализируемую зону шириной от 0,5 до 1,0 мм, для исключения возможности возникновения контактной коррозии и обеспечения условия выполнения одноосного изгиба между нажимными болтами скоб и пластинами устанавливают полимерные вкладыши, стрелу прогиба подбирают из условия возникновения уровня напряжений от 0,5 до 0,7 от предела текучести стали в

10 анализируемой зоне, при этом значение стрелы прогиба определяется по формуле

$$h = \frac{\sigma_p \cdot L^2}{6 \cdot E \cdot b}$$

где

L – расстояние между опорами, 120 мм,

15 b – толщина образца, 3 мм,

E – модуль Юнга, 200 ГПа,

далее производят установку скоб с пластинами на подставку, на которой выполнен вырез для подвода воздуха в емкость с агрессивной средой, в качестве которой используют водный раствор NaCl концентрации от 2 до 4 %, а по дну емкости проложен

20 канал для подачи потока воздуха к анализируемым зонам пластин, один конец которого закрыт пробкой, воздух в канал подают компрессором, после проведения выдержки и очистки пластины, по всей поверхности анализируемой зоны фиксируют образовавшиеся коррозионные язвы, при этом определяют глубину каждой из них и расстояние от 25 фиксированной точки на краю образца до коррозионной язвы, по глубине самых крупных из образованных на поверхности анализируемой зоны пластины коррозионных язв в количестве n определяют среднее значение глубины язв, как $\Delta H_{ср} = \Sigma \Delta H_i / n$.

Устройство поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – общий вид установки для проведения коррозионных испытаний;

30 фиг. 2 – вид сверху установки для проведения коррозионных испытаний;

фиг. 3 – схема определения фокусных расстояний;

фиг. 4 – фокусные расстояния до дна коррозионных язв и до неповрежденной поверхности металла;

фиг. 5 – поверхность пластины с защитным лаком;

35 фиг. 6 – пример зафиксированной коррозионной язвы на анализируемой зоне пластины после выдержки в агрессивной среде,

где:

1 – емкость;

2 – подставка под скобы с пластинами с вырезом для подвода воздуха;

40 3 – канал для подвода воздуха с перфорацией по всей длине;

4 – скоба;

5 – компрессор;

6 – полимерные вкладыши;

7 – пластины из анализируемых сталей;

45 8 – линза микроскопа;

9 – защитный лак;

10 – коррозионная язва;

11 – фокусное расстояние до неповрежденной поверхности металла;

12 – фокусное расстояние до дна коррозионной язвы;
 13 – пробка;
 14 – агрессивная среда.

Способ осуществляют следующим образом.

5 Из анализируемых углеродистых трубопроводных сталей изготавливают пластины размером 150×15×3 мм. Поверхность пластин, содержащую анализируемую зону подвергают шлифовке и полировке (фиг. 5). В центральной части каждой пластины по всей её ширине выделяют анализируемую зону шириной от 0,5 до 1,0 мм, поверхность пластины с каждой стороны от анализируемой зоны покрывают защитным лаком 9 10 (фиг. 3).

С помощью скобы 4 (фиг. 1) пластины из анализируемых сталей 7 (фиг. 2) изгибаются в их центральной части до необходимой стрелы прогиба, величину которой фиксируют при помощи индикатора часового типа. Стрела прогиба подбирается таким образом, что в анализируемой зоне пластины возникает уровень напряжений от 0,5 до 0,7 от 15 предела текучести стали. Значение стрелы прогиба определяется по формуле

$$h = \frac{\sigma_p \cdot L^2}{6 \cdot E \cdot b}, \quad (1)$$

где

20 L – расстояние между опорами, 120 мм,
 b – толщина образца, 3 мм,
 Е – модуль Юнга, 200 ГПа.

При этом для исключения возможности возникновения контактной коррозии и обеспечения условия выполнения одноосного изгиба между нажимными болтами скоб и пластинаами помещаются полимерные вкладыши 6.

25 Далее производят установку скоб на подставку под скобы с пластинаами с вырезом для подвода воздуха 2 в емкость 1 с агрессивной средой 14, в качестве которой используют водный раствор NaCl концентрации от 2 до 4 %. По дну емкости проложен канал 3 для подачи потока воздуха к анализируемым зонам пластин, изготовленный из полимерного материала. Воздух в канал подается с помощью компрессора 5, 30 противоположный от компрессора конец канала закрыт пробкой 13. Во время выдержки осуществляют фиксацию времени выдержки, которое составляет от 5 до 50 часов, а также проводят периодический осмотр.

После проведения выдержки скобы с пластинаами извлекают из емкости, а затем 35 извлекают пластины из скоб. Пластины промывают, просушивают, очищают от следов коррозии механическим путём, удаляют защитный лак и помещают на стол металлографического микроскопа.

По всей поверхности анализируемой зоны пластины фиксируют образовавшиеся 40 коррозионные язвы 10 с определением глубины каждой из них, а также устанавливают расстояние от фиксированной точки на краю образца до коррозионной язвы для возможности повторного измерения глубины язвы после очередного цикла коррозионных испытаний. Для определения глубины язвы с помощью тонкой 45 фокусировки линзы микроскопа 8 измеряют фокусное расстояние до дна образованной коррозионной язвы 12 (фиг. 4) – H_i^* , а также до неповрежденной поверхности металла 11 рядом с язвой H_i , который во время выдержки в агрессивной среде находился под защитным лаком, глубина язвы рассчитывают, как $\Delta H_i = H_i^* - H_i$.

По глубине самых крупных из образовавшихся на поверхности анализируемой зоны пластины коррозионных язв (фиг. 6) в количестве n штук определяют среднее значение

глубины язв, как $\Delta H_{cp} = \Sigma \Delta H_i / n$. Исходя из среднего значения глубины язв рассчитывают скорость язвенной коррозии под напряжением по формуле

$$K = (\Delta H_{cp} / t) 8760 \text{ [мм/год]}, \quad (2)$$

где

ΔH_{cp} , мм,

t - время выдержки пластины, час,

8760 - число часов в году.

Полученные значения скоростей язвенной коррозии под напряжением для образцов из разных марок сталей сравниваются между собой, и по результатам сравнения делается вывод о том, какая из рассматриваемых сталей является наиболее стойкой к указанному виду коррозии, а какая наименее стойкой.

Представленный способ позволяет увеличить точность измерения глубины язвенной коррозии углеродистых сталей под напряжением, за счет фиксации и последующего определения глубины каждой коррозионной язвы, сформировавшейся на поверхности анализируемой зоны пластины, что позволяет точнее определять скорость язвенной коррозии под напряжением для выбранной марки стали и, как следствие, способствует более эффективному подбору углеродистых сталей для сооружения трубопроводов, работающих в условиях повышенного уровня механических напряжений.

Способ поясняется следующим примерами.

Из проката сталей Ст3 и 08пс были изготовлены пластины 150×15×3 мм. Поверхность пластин перед испытаниями подвергалась шлифовке и полировке. Центральные части пластин, оставлялись незащищенными, в то время как вся остальная поверхность пластин покрывалась защитным лаком.

Для придания заданного напряженно-деформированного состояния, т.е. необходимой величины растягивающего напряжения σ_p , пластины помещались в скобы, где подвергались трехточечному статическому изгибу.

Исходя из прочностных характеристик испытываемых сталей, пластины с использованием индикатора часового типа ИЧ 0-10 0.01, изгибались в скобах до заданной стрелы прогиба h , рассчитываемой по формуле (1). Достигались стрелы прогиба, при которых металл приповерхностного слоя в рабочий наиболее выпуклых частях пластин находился под действием растягивающих напряжений $\sigma_p = 0,7 \sigma_T$: 146 МПа для 08пс и 219 МПа для Ст3, как заведомо превышающие напряжения, имеющие место в промысловых нефтепроводах. Для предотвращения протекания контактной коррозии в месте прилегания нажимного болта скобы к пластинам использовались полимерные вкладыши.

Находящиеся в напряженном состоянии пластины вместе со скобами в боковом положении погружались в емкость с коррозионной средой – 3,5% водным раствором NaCl, как модельной средой, наиболее часто используемой для имитации

минерализованной водонефтяной эмульсии, где выдерживались заданное время - 10 часов. На всем протяжении испытаний между образцами в районе их рабочих зон продувался воздух, что имитировало насыщение им водонефтяной эмульсии, контактирующей с корродируемым металлом трубы, при неполном заполнении промыслового нефтепровода эмульсией.

После необходимой выдержки пластины извлекались из агрессивной среды и скоб, промывались и высушивались. Их рабочие части и рядом лежащие поверхности очищались ластиком и тампоном, смоченным уксусной кислотой, от продуктов коррозии и защитного лака.

Далее пластины устанавливались на столик металлографического микроскопа, где, с помощью тонкой фокусировки определялась глубина h_i коррозионных язв, образовавшихся на поверхностях рабочих зон пластин, как разница между фокусным расстоянием до дна язвы и находящейся рядом реперной точкой, защищенной во время испытаний лаком. Для наиболее крупных 4 язв определялось среднее значение их глубины h_{cp} . Для оценки влияния напряженно-деформированного состояния на глубину язвенного поражения, испытания в аналогичных условиях проводились на ненапряженных пластинах.

Как показали результаты испытаний, на всех пластинах, находящихся, как в напряженно-деформированном, так и в ненапряженном состояниях, воздействие хлорсодержащей среды приводит к образованию коррозионных язв.

Результаты измерения глубины 4 наиболее крупных коррозионных дефектов для каждого случая представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Глубина коррозионных поражений в зависимости от напряженного состояния стальных пластин

Сталь Ст3		Сталь 08пс	
Ненапряженное состояние	Напряженное состояние	Ненапряженное состояние	Напряженное состояние
<u>7,5; 4,7; 5,6; 6,5</u> 6,1	<u>13,1; 16,8; 16,8; 9,3</u> 14,0	<u>1,9; 1,9; 2,8; 1,9</u> 2,1	<u>2,8; 1,9; 2,8; 1,9</u> 2,4

Примечание: числитель – глубина наиболее крупных 4 коррозионных язв;
знаменатель – средняя глубина коррозионных язв h_{cp} .

Анализируя полученные результаты, можно заключить, что, как для стали Ст3, так и стали 08пс, воздействие хлор-ион содержащей среды в присутствии кислорода в растворе приводит к образованию язв. При этом, как и ожидалось, приложение к образцам дополнительных растягивающих напряжений приводит для обеих марок исследованных материалов к увеличению средней глубины коррозионных язв.

В предположении о существовании линейной зависимости между глубиной язвы h_{cp} и временем выдержки t в коррозионной среде с использованием формулы (2) были определены значения скоростей язвенной коррозии для обеих марок сталей для случаев напряженных и ненапряженных образцов, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры язвенной коррозии исследованных трубных сталей

Марка стали	Ст3	08пс
Скорость коррозии в ненапряженном состоянии K_0 , мм/год	6,1	2,1
Скорость коррозии в напряженном состоянии K_{σ} , мм/год	14,0	2,4
Коэффициент увеличения скорости коррозии, v_{σ}/v_0	2,3	1,2

Как видно из данных таблицы 2, скорость роста глубины язв в условиях напряженно-деформированного состояния образца возросла для стали Ст3 в 2,3 раза и в 1,2 раза для стали 08пс.

За счет последующего анализа полученных значений скоростей язвенной коррозии под напряжением для разных марок углеродистых сталей становится возможным определить марку стали наиболее стойкую к представленному виду коррозии, что способствует более эффективному подбору углеродистых сталей для сооружения трубопроводов, работающих в условиях повышенного уровня механических напряжений.

(57) Формула изобретения

Способ определения стойкости углеродистых трубопроводных сталей к язвенной коррозии под напряжением, включающий изготовление пластины из анализируемой углеродистой стали, изгиб пластины в скобе, покрытие поверхности пластины с каждой стороны от анализируемой зоны защитным лаком, изгиб пластины в скобе до

5 необходимой стрелы прогиба, установку пластины в емкость с агрессивной средой с фиксацией времени выдержки пластины, которое составляет от 5 до 50 часов, периодический осмотр в процессе испытаний, после выдержки удаление защитного лака с пластины и размещение под оптическим микроскопом и проведение измерений 10 тонкой фокусировкой расстояния, определение изменений глубины ΔH_i в каждой точке как $\Delta H_i = H_i^* - H_i$, расчет скорость язвенной коррозии по формуле:

$$K = (\Delta H_{cp} / t) 8760 \text{ [мм/год]},$$

15 где ΔH_{cp} , мм, t - время выдержки пластины, час, 8760 - число часов в году,

отличающийся тем, что в центральной части каждой пластины по всей её ширине выделяют анализируемую зону шириной от 0,5 до 1,0 мм, для исключения возможности возникновения контактной коррозии и обеспечения условия выполнения одноосного изгиба между нажимными болтами скоб и пластинаами устанавливают полимерные 20 вкладыши, стрелу прогиба подбирают из условия возникновения уровня напряжений от 0,5 до 0,7 от предела текучести стали в анализируемой зоне, при этом значение стрелы прогиба определяется по формуле:

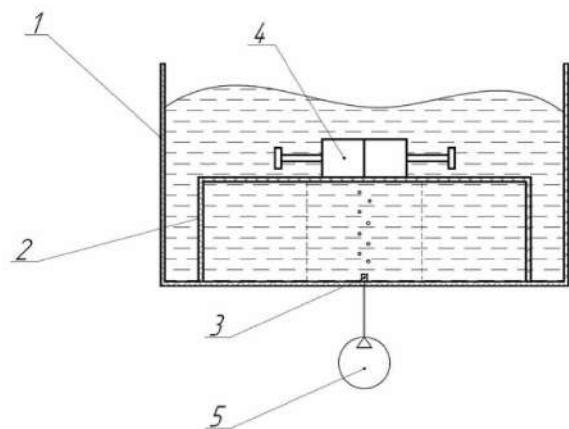
$$25 h = \frac{\sigma_p \cdot L^2}{6 \cdot E \cdot b},$$

где L – расстояние между опорами, 120 мм, b – толщина образца, 3 мм, E – модуль Юнга, 200 ГПа,

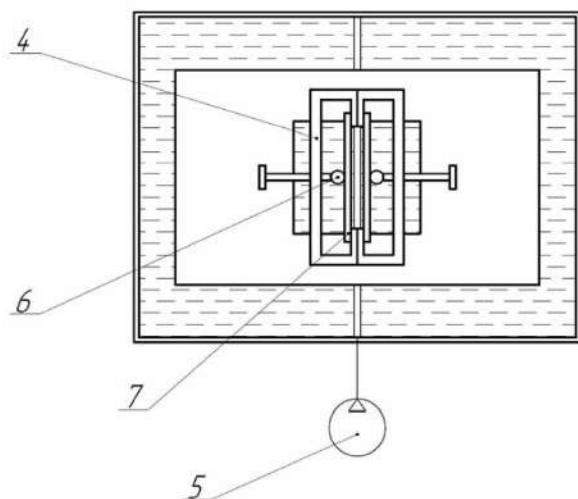
далее производят установку скоб с пластинаами на подставку, на которой выполнен 30 вырез для подвода воздуха в емкость с агрессивной средой, в качестве которой используют водный раствор NaCl концентрации от 2 до 4 %, а по дну емкости проложен канал для подачи потока воздуха к анализируемым зонам пластин, один конец которого закрыт пробкой, воздух в канал подают компрессором, после проведения выдержки и очистки пластины по всей поверхности анализируемой зоны фиксируют образовавшиеся 35 коррозионные язвы, при этом определяют глубину каждой из них и расстояние от фиксированной точки на краю образца до коррозионной язвы, по глубине самых крупных из образованных на поверхности анализируемой зоны пластины коррозионных язв в количестве n штук определяют среднее значение глубины язв как $\Delta H_{cp} = \Sigma \Delta H_i / n$.

40

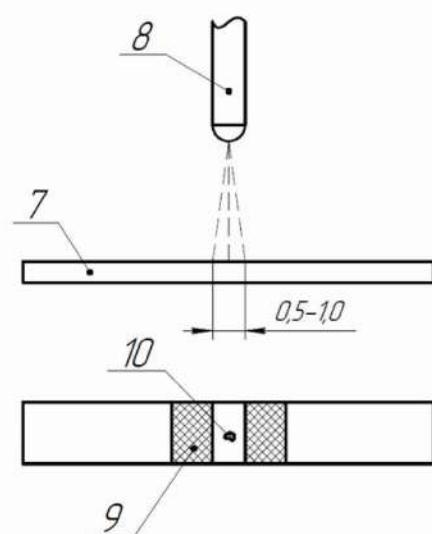
45



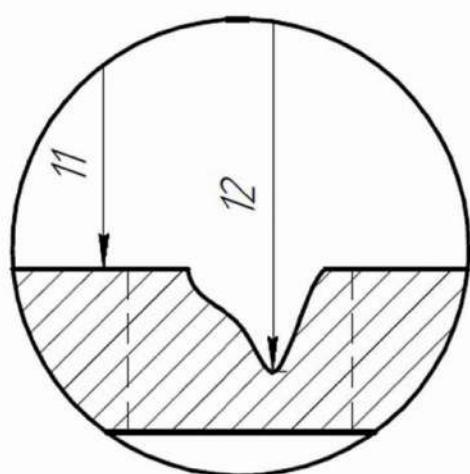
Фиг. 1



Фиг. 2



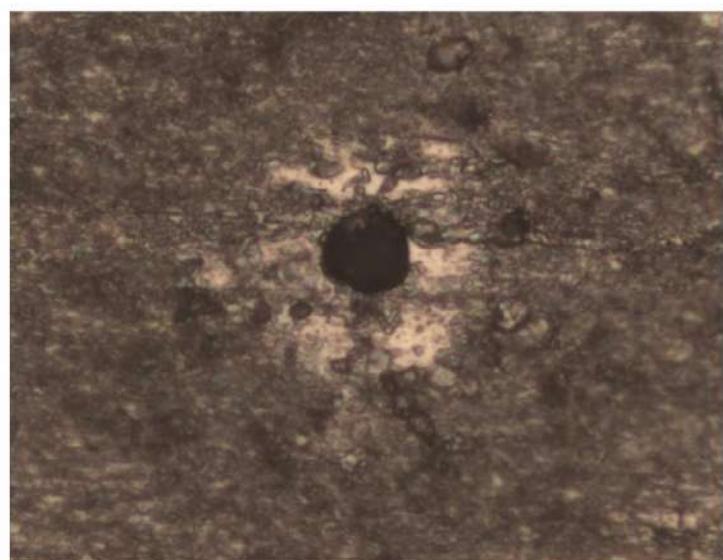
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6