

Исследование термических зон при ремонте коррозионных повреждений наружной поверхности нефтепроводов заваркой

С.И. Сенцов

д.т.н., профессор кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и хранилищ¹
srgnp@mail.ru

В.А. Рыбин

старший научный сотрудник лаборатории ведения отраслевых реестров²
vtec11@mail.ru

С.А. Никулин

к.т.н., инженер 1 категории³ s.nikulin@ggc.nnov.ru

¹Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

²ООО «НИИ Транснефть», Москва, Россия

³АО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

Исследование выполнено с целью изучения распределения градиента температур в поперечном сечении участка стенки нефтепровода при ремонте коррозионных повреждений наружной поверхности нефтепроводов методом заварки. В результате проведенных исследований было установлено, что в некотором диапазоне значений погонной энергии в нагретом участке стенки трубы возможно получение зоны гарантированных прочностных свойств, металл в которой обладает запасом по временному сопротивлению на разрыв. Также, получена зависимость описывающая изменение температуры внутренней поверхности стенки трубы при различных значениях погонной энергии и остаточной толщины на участке ремонта заваркой.

Материалы и методы

Аналитические исследования, численный и натурный эксперименты.

Ключевые слова

нефтепроводы, наплавка, погонная энергия, нагрев, ремонт

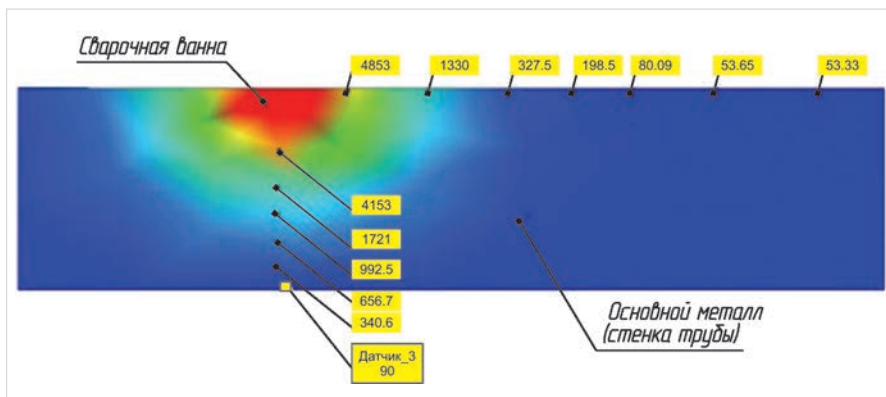


Рис. 1 — Пример распределения градиента температур на участке ремонта
Fig. 1 — example of temperature gradient distribution in the repair area

Магистральные трубопроводы являются основным видом транспорта углеводородов от мест добычи до потребителей и мест переработки.

Анализ возрастного состава современных магистральных нефтепроводов показал, что их большая часть эксплуатируется более 20 лет, что обусловило существенный физический износ их линейной части. Анализ дефектности линейной части магистральных нефтепроводов показал, что наиболее

распространенными дефектами являются дефекты типа потеря металла, в большинстве своем представленные локальными, коррозионными повреждениями наружной поверхности нефтепроводов.

Одним из наиболее прогрессивных методов ремонта коррозионных повреждений наружной поверхности магистральных нефтепроводов является метод заварки. Этот метод, позволяет выполнять ремонт без полной остановки перекачки продукта, что

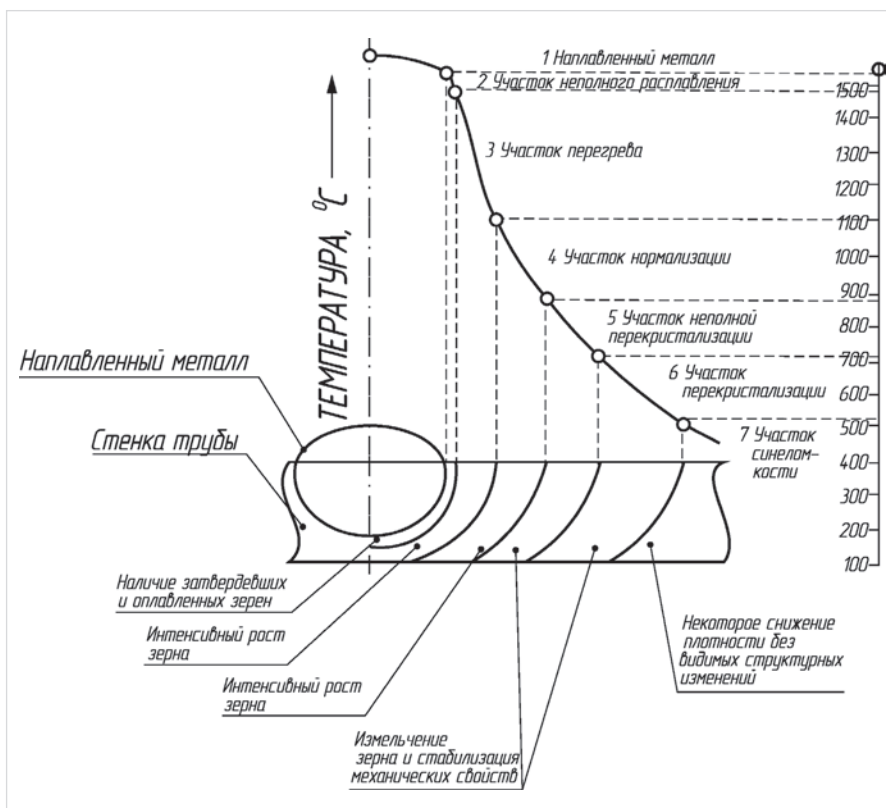


Рис. 2 — Структурная схема ЗТВ при ремонте наружных коррозионных повреждений заваркой
Fig. 2 — heat-affected Zone during repair of external corrosion damage by welding

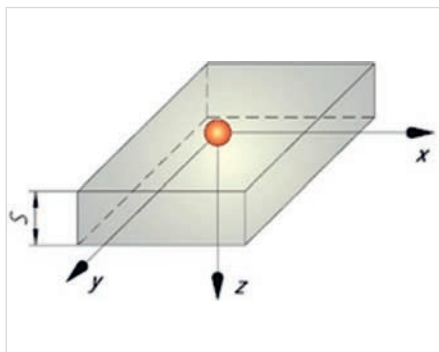


Рис. 3 — Схема подвижного точечного источника тепла, перемещающегося по поверхности плоского слоя
Fig. 3 — Diagram of a movable point source of heat moving along the surface of a flat layer

Температура стенки трубы, °С	Значение временного сопротивления разрыву σ_B , МПа	Допустимое давление в трубопроводе, МПа (уравнение 1)
25	510	3,17
100	500	3,11
200	480	2,98
300	460	2,86
400	440	2,73
500	340	2,11
600	230	1,43

Таблица — Изменение временного сопротивления разрыву стали 17Г1С и допустимого давления в трубопроводе при нагреве
Table — Change in the time resistance to rupture of steel 17Г1С and the permissible pressure in the pipeline when heated

обеспечивает более высокие (по сравнению с другими методами ремонта) экономические показатели ремонтных работ. Однако этот метод ремонта имеет существенный недостаток — высокотемпературное воздействие на металл ремонтируемого участка. Это приводит к разупрочнению металла трубы и частичной или полной потере несущей способности. Поэтому, для предупреждения развития аварийной ситуации, вызванной полным разупрочнением металла стенки трубы вследствие нагрева, при ремонте заваркой, должны выполняться следующие условия:

— допустимое давление при ремонте должно быть ниже рабочего и рассчитано по уравнению 1;

— остаточная толщина стенки трубы на участке ремонта, с учетом выборки коррозионного повреждения, должна быть не менее 6 мм.

$$P_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot \sigma_B \cdot m \cdot (\delta - h_{\text{потер}} - h_{\text{проп}} - 1)}{n \cdot k_1 \cdot k_H \cdot D}, \quad (1)$$

где σ_B — временное сопротивление разрыву материала трубы, МПа; m — коэффициент условий работы трубопровода, назначаемый в зависимости от категории нефтепровода; $h_{\text{потер}}$ — глубина потери металла, с учетом выборки, мм; $h_{\text{проп}}$ — глубина проплавления при выполнении первого наплавочного слоя, мм, которая определяется по

табличным данным; n — коэффициент надежности по нагрузке, назначаемый в зависимости от характера, вида нагрузки, способа прокладки трубопровода; k_1 — коэффициент надежности по материалу, назначаемый в зависимости от характеристики трубной стали и технологии изготовления трубы; k_H — коэффициент надежности по назначению трубопровода; D — наружный диаметр нефтепровода, мм. Значения указанных коэффициентов определяют в соответствии с нормативными документами.

Из уравнения (1) видно, что величина допустимого давления при ремонте во многом зависит от временного сопротивления разрыву металла трубы и ее остаточной толщины металла на участке ремонта.

Нагрев металла трубы при ремонте приводит к образованию градиента температур (рис. 1). При этом градиент температур неравномерно расположен по сечению стенки трубы, с явным смещением области максимальных температур в сторону наружной поверхности.

Таким образом, неравномерный нагрев стенки трубы при ремонте приводит к образованию зоны термического влияния (далее — ЗТВ), что приводит к неоднородности структуры трубной стали на участке ремонта (рис. 2).

Из данных представленных на рис. 2

видно, что по мере удаления от источника нагрева, металл ЗТВ приобретает различную структуру и механические свойства, что напрямую оказывает влияние на его прочностные характеристики.

Установлено, что с ростом температуры стенки трубы при нагреве, наблюдается уменьшение значения ее временного сопротивления разрыву.

В таблице представлены данные по изменению временного сопротивления разрыву трубной стали марки 17Г1С и допустимого давления в трубопроводе при различных температурах нагрева.

Анализ результатов проведенных расчетов показал, что с увеличением нагрева стенки трубы при ремонте, наблюдается уменьшение величины допустимого давления. При этом отметим, что температура 600°C, для стали 17Г1С является критической, после чего наступает полное разупрочнение и переход в пластичное состояние.

Для исследования распределения ЗТВ при ремонте заваркой, был проведен натурный эксперимент.

Эксперимента заключался в том, что на специально подготовленные экспериментальные образцы выполнялась ремонтная наплавка, имитирующая процесс ремонта на действующем нефтепроводе. При этом функцией отклика служила температура внутренней поверхности стенки трубы.

Значимыми факторами при проведении эксперимента были выбраны:

- скорость перемещения источника тепла;
- эффективная тепловая мощность источника тепла;
- остаточная толщина стенки трубы.

Погонную энергию рассчитывали используя уравнение (2):

$$q_{\text{п}} = \eta_u U_d I_{\text{св}} / v_n \quad (2)$$

где η_u — эффективный КПД, представляющий отношение количества тепла, введенного дугой в металл, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги; U_d — напряжение на дуге, В; $I_{\text{св}}$ — сила сварочного тока, А; v_n — скорость наплавки, мм/с.

В качестве расчетной, была выбрана схема подвижного точечного источника тепла, перемещающегося по поверхности плоского слоя (см. рис. 3).

В результате проведенных исследований

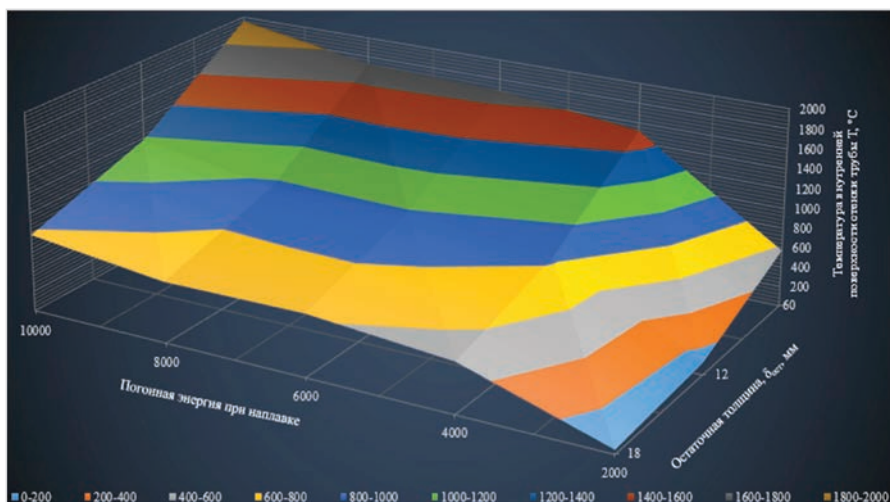


Рис. 4 — Зависимость температуры внутренней поверхности стенки трубы от погонной энергии и остаточной толщины стенки трубы на участке ремонта
Fig. 4 — Dependence of the temperature of the inner surface of the pipe wall on the running energy and the residual thickness of the pipe wall at the repair site

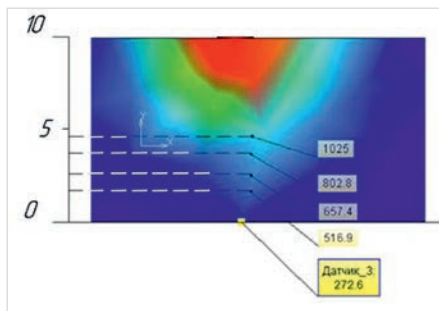


Рис. 5 — Распространение тепла в образце с толщиной $\sigma_{ост}=10$ мм
Fig. 5 — Distribution of heat in the sample with a thickness of $\sigma_{ост}=10$ mm

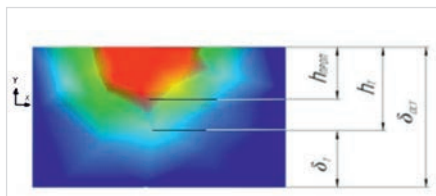


Рис. 6 — Термические зоны на участке ремонта коррозионных повреждений наружной поверхности труб наплавкой
Fig. 6 — Thermal zones in the area of repair of corrosion damage to the outer surface of the pipe surfacing

было установлено, что в интервале значений погонной энергии 2000–7000 Дж/см, даже при остаточной толщине стенки трубы 6 мм, температура внутренней поверхности стенки трубы не превышала 600°C (рис. 4).

Следующим этапом исследований было проведение численного эксперимента по изучению распределения градиента температур в поперечном сечении стенки ремонтируемого участка трубы. Для этого была разработана компьютерная модель имитирующая реальные условия ремонта и позволяющая визуализировать распределение градиента температур с учетом варьирования значений исследуемых параметров.

Данные, полученные в ходе проведения натурального эксперимента, были вводились в разработанную компьютерную модель, что позволило исследовать изменение градиента температур в установленном диапазоне значений варьируемых параметров

Пример результата компьютерного моделирования представлен на рис. 5.

Обработка результатов численного эксперимента показала, что уменьшение погонной энергии, при ремонте коррозионных повреждений наружной поверхности труб заваркой, сопровождается смещением градиента температур в поперечном сечении ремонтируемого участка в направлении наружной поверхности стенки трубы с одновременным уменьшением температуры ее внутренней поверхности.

При этом у внутренней поверхности стенки трубы, в направлении источника нагрева,

при некоторых значениях погонной энергии наблюдалось образование участка с максимальной температурой металла не более 600°C при температуре внутренней поверхности стенки трубы ниже 600°C. Этот участок предложено обозначить как зона гарантированных прочностных свойств.

Исследование данных проведенного эксперимента, с учетом данных представленных в таблице 1, показало, что временное сопротивление разрыву стали в зоне гарантированных свойств будет не менее 230 МПа, а безопасная величина допустимого давления в нефтепроводе при ремонте составит не менее 1,4 МПа.

С учетом проведенных исследований, структурно ЗТВ в поперечном сечении ремонтируемого участка можно разделить на три основные зоны (рис. 6):

h_T — участок температурного разупрочнения, м;

$h_{\text{прон}}$ — участок проплавления, м;

$\delta_T^{\text{прон}}$ — зона гарантированных прочностных свойств, м.

Как показал анализ экспериментальных данных, увеличение погонной энергии до значений более 7000 Дж/см приводит резко к уменьшению толщины зоны гарантированных прочностных свойств. При этом увеличение скорости наплавки и остаточной толщины металла на участке ремонта позволяет существенно увеличить толщину зоны гарантированных прочностных свойств.

Итого

Проведенные исследования показали, что применение режимов наплавки с величиной

погонной энергии до 7000 Дж/см позволяет существенно уменьшить нагрев металла стенки трубы при ремонте коррозионных повреждений наружной поверхности труб, что позволит получить зону гарантированных прочностных свойств. При этом толщина зоны гарантированных прочностных свойств прямо пропорциональна скорости перемещения точечного источника тепла и обратно пропорциональна эффективной тепловой мощности и погонной энергии в целом. Поэтому при ремонте коррозионных повреждений наружной поверхности труб следует применять менее теплонагруженные способы наплавки, позволяющие выполнять сварочные работы при величине погонной энергии не выше 7000 Дж/см.

Выводы

1. Обнаруженная в ходе исследований зона гарантированных прочностных свойств позволяет сохранить в нагретом металле запас по временному сопротивлению разрыву.
2. Для получения зоны гарантированных прочностных свойств, заварку необходимо выполнять при значениях погонной энергии до 7000 Дж/см.
3. Толщина зоны гарантированных прочностных свойств прямо пропорциональна скорости перемещения точечного источника тепла (скорости сварки) и обратно пропорциональна погонной энергии.

Литература

1. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 296 с.
2. Березин В.Л. Методика исследования температурных полей в металле при сварочных работах на действующих нефтепродуктопроводах // Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. Уфа: УНИ, 1969. Вып. 1. С. 60–65.
3. Бродский В.В. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. М.: Металлургия, 1982. 752 с.
4. Рыбин В.А. Исследование теплового воздействия от сварочной дуги на стенку трубопровода при ремонте дефекта типа «потеря металла» // Экспозиция Нефть Газ. 2015. №1. С. 52–53.

A study of the thermal zones in the repair of corrosion damage to the external surfaces of pipelines welding

UDC 622.692.4

Authors:

Sergey I. Sentsov — Sc.D., professor of the department of construction and repair of oil pipelines and storage facilities¹; srgnp@mail.ru

Vasily A. Rybin — senior scientific employee of the laboratory conducting trade registries²; vtec11@mail.ru

Sergei A. Nikulin — Ph.D., engineer of 1 category³; s.nikulin@ggc.nnov.ru

¹Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

²Pipeline Transport Institute LLC, Moscow, Russian Federation

³Giprogazcenter JSC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

The study was carried out to study the temperature gradient distribution in the cross section of the oil pipeline wall section during the repair of corrosion damage to the outer

surface of oil pipelines by welding.

As a result of the studies it was found that in a certain range of values of linear energy in the heated section of the pipe wall it is possible to obtain a zone of guaranteed strength

properties, the metal in which has a margin of temporary resistance to rupture.

Also, the dependence describing the temperature change of the inner surface of the pipe wall at different values of the linear

energy and the residual thickness in the repair area by welding is obtained.

Materials and methods

Analytical studies, numerical and field experiments.

Keywords

pipelines, welding, heat input, heat, repair

Results

Studies have shown that the use of deposition modes with a value of linear energy up to 7000 j/cm can significantly reduce the heating of the metal pipe wall in

the repair of corrosion damage to the outer surface of the pipe, which will provide a zone of guaranteed strength properties. At the same time, the thickness of the zone of guaranteed strength properties is directly proportional to the speed of movement of the point source of heat and is inversely proportional to the effective thermal power and running energy as a whole. Therefore the repair of corrosion damage to the external surfaces of the pipes it is necessary to apply less heat stressed methods of surfacing, which allows to perform welding operations when the value of heat input of no more than 7,000 joules/cm.

Conclusions

1. Discovered in the research area of guaranteed strength properties that can be stored in the heated metal stock according to the temporary tear resistance.
2. To obtain a zone of guaranteed strength properties, welding must be performed at values of linear energy up to 7000 j/cm.
3. The thickness of the zone of guaranteed strength properties is directly proportional to the speed of movement of the point heat source (welding speed) and inversely proportional to the running energy.

References

1. Rykalin H.H. *Raschety teplovykh protsessov pri svarke* [Calculations of thermal processes in welding]. Moscow: Mashgiz, 1951, 296 p.
2. Berezin V.L. *Metodika issledovaniya temperaturnykh poley v metalle pri svarochnykh rabotakh na deystvuyushchikh nefteproduktoprovodakh* // *Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya magistral'nykh gazonefteprovodov i neftebaz* [Methods of research of the temperature fields in the metal during welding on operating pipelines // Design, construction and operation of main oil pipelines and tank farms]. Ufa: UNI, 1969, issue 1, pp. 60–65.
3. Brodskiy V.V. *Tablitsy planov eksperimenta dlya faktornykh i polinomial'nykh modeley* [Table of experiment plans for factorial and polynomial models]. Moscow: Metallurgy, 1982, 752 p.
4. Rybin V.A. *Issledovanie teplovogo vozdeystviya ot svarochnoy dugi na stenku truboprovoda pri remonte defekta tipa «poterya metalla»* [Investigation of the thermal effect of the welding arc on the wall of the pipeline in the repair of the defect type "loss of metal"]. Exposition Oil Gas, 2015, issue 1, pp. 52–53.



производственное объединение
«ЭЛЕКТРОТЧПРИБОР»

Вам нужны взрывобезопасные светильники?
Вам нужны светильники разной мощности и крепления?
Вам нужна особая диаграмма светораспределения?
Вам нужна помощь в оптимизации размещения светильников по заданной освещенности?

Обращайтесь к нам!

- ◆ Более 50 лет опыта разработки и производства взрывобезопасных изделий.
- ◆ Отличная стабильность светового потока за время эксплуатации.
- ◆ Диапазон мощностей от 15 до 150 Вт.
- ◆ Диапазон температур от минус 60 до + 50 С.
- ◆ Сертификаты ТР ТС для I и II групп.
- ◆ Протоколы по светотехнике и ЭМС.

ЗАО ПО "Электроточприбор"
Россия, 644042, г.Омск, пр. К.Маркса, 18/13
Тел./ факс +7(3812) 39-69-11, 39-62-32
e-mail: sales@etpribor.ru
www.etpribor.ru