Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134). С. 83-92. ISSN 1998-8443 (print)
Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 6 (134). P. 83-92. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 620.178.74

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-6-83-92

О НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛА ТРУБ НА УДАРНЫЙ ИЗГИБ

Дмитрий Александрович Неганов¹, Александр Евгеньевич Зорин²

^{1, 2}Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта, Москва, Россия

¹NeganovDA@niitnn.transneft.ru

²ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Зорин,

ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Аннотация. Значения ударной вязкости являются одной из ключевых характеристик металла. Они используются в расчетах на прочность и долговечность труб с дефектами и влияют на принятие организационно-технических мер, направленных на поддержание работоспособности трубопроводов. При этом накопленный опыт показал, что испытания на ударный изгиб в соответствии с ГОСТ 9454-78 зачастую не позволяют получить достоверных данных о состоянии металла труб.

Использование методики испытаний металла труб на ударный изгиб в соответствии с ГОСТ 9454-78 приводит к возникновению ряда существенных недостатков и ограничений. Во-первых, ввиду криволинейности трубы изготовление из нее стандартных прямоугольных образцов приводит к удалению поверхностных слоев металла. Учитывая также наличие в образцах выточки глубиной от 2 до 5 мм, под которой сосредотачивается основная пластическая деформация при нанесении удара, применение

существующей методики испытаний позволяет оценить ударную вязкость только центральной (по толщине) части трубы. При этом известно, что активация различных повреждающих и деградационных процессов происходит, в первую очередь, в приповерхностных слоях труб. Во-вторых, стандартизированные образцы по ГОСТ 9454-78 не могут быть изготовлены из тонкостенных труб и труб малого диаметра. Как следствие, возникает необходимость создания адаптированной методики испытаний, лишенной указанных недостатков, при этом не повышающей их трудоемкость и стоимость и реализуемой на типовом оборудовании.

В основу методики предложено заложить использование специальной конструкции ударного образца. Образец представляет собой сегмент трубы, вырезаемый таким образом, что его длинные грани ориентированы перпендикулярно оси трубы, то есть имеют криволинейную поверхность. Посередине грани, соответствующей внутренней поверхности трубы, наносится широкая

выточка. Параметры выточки подбираются таким образом, чтобы обеспечить возможность испытания образцов на стандартных маятниковых копрах. В таком случае при приложении удара максимальная пластическая деформация концентрируется в зоне образца, соответствующей приповерхностным слоям труб. Это позволяет получить принципиально иную достоверность данных о состоянии металла труб в сравнении с испытаниями традиционной конструкции

образцов. Данное утверждение подтверждается проведенными сравнительными испытаниями металла труб на ударный изгиб с использованием предлагаемой и традиционной конструкций образцов.

Применение рассмотренной методики потребует ее стандартизации, в рамках которой необходимо разработать типоразмеры ударных образцов, технологию изготовления образцов, требования к качеству поверхности образцов и т. д.

Ключевые слова: нефтепроводы, ударный изгиб, ударная вязкость, испытания металла труб, оценка технического состояния труб

Для цитирования: Неганов Д. А., Зорин А. Е. О необходимости внедрения новой методики испытаний металла труб на ударный изгиб // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134), С. 83-92. <http://doi10.17122/ntj-oil-2021-6-83-92>.

Original article

ON THE INTRODUCTION OF A NEW METHOD OF METAL PIPES IMPACT BENDING TEST

Dmitry A. Neganov¹, Aleksandr E. Zorin²

^{1,2}Pipeline Transport Institute, Transneft R&D, Moscow, Russia

¹NeganovDA@niitnn.transneft.ru

²ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Corresponding author: **Aleksandr E. Zorin**, ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Abstract. The values of impact strength are one of the key characteristics of the metal. They are used in calculations for the strength and durability of pipes with defects and affect the adoption of organizational and technical measures aimed at maintaining the operability

of pipelines. At the same time, the accumulated experience has shown that impact bending tests in accordance with GOST 9454-78 often do not allow obtaining reliable data on the state of the metal of pipes.

The use of the method of testing the metal of pipes for impact bending in accordance with GOST 9454-78 leads to a number of significant disadvantages and limitations. Firstly, due to the curvilinearity of the pipe, the production of standard rectangular samples from it leads to the removal of surface layers of metal. And taking into account also the presence in the samples of a recess with a depth of 2 to 5 mm, under which the main plastic deformation is concentrated when striking, the application of the existing test methodology allows us to estimate the impact strength of only the central (thickness) part of the pipe. At the same time, it is known that the activation of various damaging and degradation processes occurs primarily in the near-surface layers of pipes. Secondly, standardized samples according to GOST 9454-78 cannot be made of thin-walled pipes and pipes of small diameter. As a consequence, there is a need to create an adapted test methodology devoid of these disadvantages, while not increasing their labor intensity and cost, and implemented on standard equipment.

The basis of such a technique is proposed to lay the use of a special design of the impact sample. The sample is a pipe segment cut out in such a way that its long faces are oriented perpendicular to the pipe axis, that is, they have a curved surface. In the middle of the face corresponding to the inner surface of the pipe, a wide recess is applied. The recess parameters are selected in such a way as to ensure the possibility of testing samples on standard impact pendulum. In this case, when an impact is applied, the maximum plastic deformation is concentrated in the sample zone corresponding to the near-surface layers of the pipes. This makes it possible to obtain a fundamentally different reliability of data on the state of the metal of the pipes, in comparison with the tests of the standard design of the samples. This statement is confirmed by comparative tests of pipe metal for impact bending using the proposed and standard design of samples.

The application of the considered methodology will require its standardization, within the framework of which it is necessary to develop the standard sizes of impact samples, sample manufacturing technology, requirements for the surface quality of samples, etc.

Keywords: oil pipelines, impact bending, impact toughness, pipe metal testing, evaluation of the technical condition of pipes

For citation: Neganov D. A., Zorin A. E. O neobkhodimosti vnedreniya novoy metodiki ispytaniy metalla trub na udarnyy izgib. [On the Introduction of a New Method of Metal Pipes Impact Bending Test]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, Issue 6 (134), pp. 83-92. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-83-92>.

Введение

Существующая система магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов характеризуется значительным средним возрастом и большой протяженностью, обуславливающей широкий спектр условий эксплуатации. В таком случае для поддержания тре-

буемого уровня надежности и безопасности нефтепроводов обоснованно применяется принцип обслуживания объектов по техническому состоянию, где немаловажная роль отводится оценке текущих характеристик металла труб.

ООО «НИИ Транснефть» на протяжении длительного времени возглавляет работы

по проведению комплексных испытаний, направленных на установление фактических механических свойств металла труб эксплуатируемых и строящихся трубопроводов организаций системы «Транснефть» [1]. На базе данных исследований разработаны методические подходы по планированию ремонтно-восстановительных и профилактических мероприятий на нефтепроводах, учитывающие установленные закономерности падения сопротивляемости разрушению у ряда марок сталей [2].

Накопленный опыт показал, что испытания в соответствии со стандартизированными методиками зачастую не позволяют получить достоверных данных о состоянии металла труб. Главным образом это касается значений ударной вязкости, которая является одной из ключевых характеристик металла. Она используется в расчетах на прочность и долговечность труб с дефектами и влияет на принятие организационно-технических мер, направленных на поддержание работоспособности анализируемых объектов.

Описание проблемы

Методика испытаний на ударный изгиб, регламентированная ГОСТ 9454-78 [3], изначально разрабатывалась для листового проката. Использование же ее для испытаний металла труб приводит к возникновению ряда существенных недостатков и ограничений.

На рисунке 1 представлена схема вырезки из трубы ударных образцов по ГОСТ 9454-78. Видно, что ввиду криволинейности трубы, изготовление из нее стандартных прямоугольных образцов неминуемо приводит к удалению поверхностных слоев металла. Принимая во внимание также наличие в образцах выточки глубиной от 2 до 5 мм, под которой сосредотачивается основная пластическая деформация при нанесении удара, применение существующей методики испытаний позволяет оценить ударную вязкость только центральной (по толщине) части трубы. В свою очередь известно, что при нагру-

жении внутренним давлением максимальные растягивающие напряжения концентрируются именно в приповерхностных слоях труб, поэтому активация различных повреждающих и деградационных процессов происходит в первую очередь там [4, 5].

Еще одно ограничение указанной методики также связано с конструкцией ударных образцов. В соответствии с ГОСТ 9454-78 допускается использование 19 их типоразмеров, однако некоторые параметры образцов находятся в очень узких пределах. К примеру, длина во всех случаях должна быть 55 мм, а высота может колебаться от 8 до 11 мм. В таком случае возникают существенные ограничения на возможность изготовления ударных образцов из труб, в силу конструктивных особенностей последних.

Речь идет о тонкостенных трубах или трубах малого диаметра и возможности вырезки из них образцов по схеме В на рисунке 1, позволяющей оценить сопротивляемость металла разрушению в направлении действия максимальных нагрузок от внутреннего давления, что делает такую схему вырезки наиболее приоритетной.

Проведение анализа, учитывающего технологию резки и обработки металлов, позволило получить данные о пороговых толщинах стенок труб различных диаметров, дающих возможность изготовить из них один из стандартных образцов для испытаний на ударный изгиб по схеме В из рисунка 1 (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, при диаметре ≤ 720 мм большинство труб, используемых при сооружении трубопроводов, не подходят для изготовления ударных образцов по схеме В из рисунка 1, так как имеют недостаточную толщину стенки.

Представленные данные получены для самой компактной из допустимых конструкции образца, поперечным сечением 2х8 мм. Использование наиболее распространенных конструкций с сечением 10 х 10 мм и 5 х 10 мм потребует увеличения указанных в таблице 1 минимальных толщин на 2 мм.

А - вдоль оси трубы;
Б - поперек оси трубы

A - along the pipe axis;
B - across the pipe axis

Рисунок 1. Схема вырезки из трубы стандартных образцов для испытания на ударный изгиб
Figure 1. Schematic of a cutout of standard specimens from a pipe for impact bending test

Таблица 1. Минимальные толщины стенок труб различных диаметров, позволяющие изготавливать из них ударные образцы по ГОСТ 9454-78

Table 1. Minimum wall thicknesses of pipes of various diameters, allowing to make impact specimens from them in accordance with GOST 9454-78

	Наружный диаметр трубы, мм							
	1220	1020	820	720	530	425	325	273
Минимальная толщина стенки трубы, мм	10,0	10,4	10,7	10,8	11,0	11,5	12,0	12,5

В результате, существующая методика проведения испытаний на ударный изгиб не позволяет учесть конструктивные и технологические особенности трубопроводов и с необходимой чувствительностью зафиксировать происходящие в металле труб изменения. Отсюда следует необходимость создания адаптированной методики испытаний, лишенной указанных недостатков, при этом не повышающей их трудоемкость и стоимо-

мость, и реализуемой на типовом оборудовании.

Предлагаемое решение

В основу такой методики предлагается заложить использование специальной конструкции ударного образца, приведенной на рисунке 2 [6]. Образец представляет собой сегмент трубы, вырезаемый таким образом,

что его длинные грани ориентированы перпендикулярно оси трубы, то есть имеют криволинейную поверхность. Посередине грани, соответствующей внутренней поверхности трубы, наносится широкая выточка.

a)

b)

- a) схема образца;
b) внешний вид изготовленных образцов
a) sample diagram;
b) the appearance of the manufactured samples

Рисунок 2. Специальная конструкция образца для испытаний металла труб на ударный изгиб

Figure 2. Special design of a sample for testing pipe metal for impact bending

Параметры выточки подбираются таким образом, чтобы обеспечить возможность испытания образцов на стандартных маятниковых копрах (рисунок 3).

Указанная конструкция применима для широкого спектра типоразмеров образцов, которые могут быть изготовлены из труб в значительно большем диапазоне диаметров и толщин стенок, чем это допускает ГОСТ 9454-78. Кроме того, из приведенной на рисунке 3 схемы нагружения видно, что при приложении удара максимальная пластическая деформация концентрируется в зоне образца, соответствующей приповерхностным слоям труб. Это, как было установлено в работе [6], позволяет получить принципиально иную достоверность данных о состоянии металла труб, в сравнении с испытаниями традиционной конструкции образцов.

Указанное утверждение было сделано на основании проведенных сравнительных испытаний металла труб на ударный изгиб с использованием предлагаемой и традиционной конструкций образцов. Их результаты показали, что значения ударной вязкости, полученные с использованием предлагаемой конструкции образцов, имели устойчивый тренд к падению, по мере увеличения степени и глубины проникновения искусственно моделируемой поверхностной поврежденности металла труб. Значения же, полученные с использованием конструкции образцов по ГОСТ 9454-78, оказались практически не чувствительными к вносимой поверхностной поврежденности (рисунок 4).

Несмотря на очевидные преимущества представленной конструкции, у нее есть и ряд ограничений. Во-первых, это отсутствие видимых дефектов на внешней поверхности трубы, соответствующей одной из граней ударного образца. Учитывая, что предлагаемая методика испытаний не предусматривает механическую обработку указанной грани (за исключением шлифовки), с соблюдением этого требования могут возникнуть сложности для бывших в эксплуатации труб, на которых иногда встречается питтинговая коррозия всей площади поверхности.

a)

b)

a) схема нагружения;
b) образцы после испытаний

a) loading scheme;
b) samples after testing

Рисунок 3. Нагружение образцов на стандартном маятниковом копре
Figure 3. Loading of samples on a standard pendulum tester

a)

b)

испытательный образец № 1 - образование поверхностных микротрещин металла при нагружении трубы внутренним давлением в упругой области;
испытательный образец № 2 - образование поверхностных микротрещин металла при нагружении трубы внутренним давлением до степени пластической деформации в 2 % с последующим циклическим нагружением в упругой области;
испытательный образец № 3 - образование поверхностных микротрещин металла при нагружении трубы внутренним давлением до степени пластической деформации в 9 %

test sample No. 1 - the formation of surface microcracks in the metal when the pipe is loaded with internal pressure in the elastic region;

test sample No. 2 - the formation of surface microcracks in the metal when the pipe is loaded with internal pressure to a degree of plastic deformation of 2 %, followed by cyclic loading in the elastic region;

test sample No. 3 - the formation of surface microcracks in the metal when the pipe is loaded with internal pressure to the degree of plastic deformation of 9 %

a) образцы разработанной конструкции с параметрами: длина 55 мм; ширина 10 мм; остаточная толщина в зоне выточки 8 мм; угол при вершине выточки 150°; радиус острия выточки 5 мм;
b) образцы по ГОСТ 9454-78, тип № 11

a) samples of the developed design with parameters: length 55 mm; width 10 mm; residual thickness in the groove area 8 mm; angle at the top of the undercut 150°; the radius of the point of the groove is 5 mm; b) samples according to GOST 9454-78, type No. 11

Рисунок 4. Результаты сравнительных испытаний на ударный изгиб при -20 °С металла трубы стали X70 с различным уровнем предварительно заданной поверхностной поврежденности
Figure 4. Results of comparative impact bending tests at -20 °C for the metal of X70 steel pipe with different levels of predetermined surface damage

В свою очередь, вопрос о необходимости соблюдения обозначенного требования для всей грани ударного образца или только для некоторой ее центральной части, в которой концентрируется пластическая деформация при ударе, нуждается в дополнительных исследованиях, также как и вопрос о допустимой шероховатости этой грани.

Во-вторых, испытания предлагаемой конструкции образца позволяют прикладывать ударную нагрузку только в одном направлении, хоть и самом главном.

И если для контроля состояния металла эксплуатируемых труб этого достаточно, то для оценки качества новых труб (при проведении приемо-сдаточных испытаний или специальных исследований) может потребоваться и другая ориентация нагрузки.

Таким образом, рациональным является использование на практике как традиционной, так и новой конструкции ударных образцов.

Выводы

Применение рассмотренной методики потребует ее стандартизации, в рамках которой необходимо разработать ряд положений, включающих: типоразмеры ударных образцов, в зависимости от диаметра и толщины стенки трубы; технологию изготовления образцов; требования к шероховатости и наличию повреждений на грани ударного образца, соответствующей внешней поверхности трубы; особенности проведения испытаний металла труб в зоне сварных соединений и т.д.

Как следствие, возникнет необходимость формирования новых нормативных требований к металлу труб для соблюдения их заводами-изготовителями трубной продукции и использования экспертными организациями. Однако затраченные усилия на проведение комплексных научно-исследовательских работ компенсируются практическим эффектом от внедрения новой адаптированной методики испытаний металла труб на ударный изгиб.

Список источников

1. Лисин Ю.В. Трубы держат давление // Трубопроводный транспорт нефти. 2015. № 8. С. 5-14.
2. Неганов Д.А., Зорин Н.Е., Зорин А.Е. Анализ и перспективы развития методических подходов к планированию работ по капитальному ремонту магистральных нефтегазопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т. 10. № 3. С. 263-275. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-3-263-275.
3. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. М.: Издательство стандартов, 1994. 12 с.
4. Харионовский В.В., Курганова И.Н. Надежность трубопроводных конструкций: теория и технические решения. М.: ИНЭИ РАН, Энергоцентр, 1995. 125 с.
5. Черняев В.Д., Черняев К.В., Березин В.Л. Системная надежность трубопроводного транспорта углеводородов. М.: Недра, 1997. 516 с.
6. Зорин А.Е. Разработка конструкции образца для проведения испытаний металла трубопроводов на ударную вязкость // Газовая промышленность. 2015. № 6. С. 69-71.

References

1. Lisin Yu.V. Truby derzhat davlenie [The Pipes Hold the Pressure]. *Truboprovodnyi transport nefiti - Oil Pipeline Transportation*, 2015, No. 8, pp. 5-14. [in Russian].
2. Neganov D.A., Zorin N.E., Zorin A.E. Analiz i perspektivy razvitiya metodicheskikh podkhodov k planirovaniyu rabot po kapital'nomu remontu magistral'nykh neftegazoprovodov [Analysis and Opportunities for Development of Methodical Approaches to Planning of Trunk Pipeline Overhaul]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov - Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2020, Vol. 10, No. 3, pp. 263-275. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-3-263-275. [in Russian].
3. GOST 9454-78. Metally. Metod ispytaniya na udarnyi izgib pri ponizhennoi, komnatnoi i povyshennoi temperaturakh [State Standard 9454-78. Metals. Method for Testing the Impact Strength at Low, Room and High Temperature]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1994. 12 p. [in Russian].
4. Kharionovskii V.V., Kurganova I.N. *Nadezhnost' truboprovodnykh konstrukttsii: teoriya i tekhnicheskie resheniya* [Reliability of Pipeline Structures: Theory and Technical Solutions]. Moscow, INEI RAN, Energotsentr Publ., 1995. 125 p. [in Russian].

5. Chernyaev V.D., Chernyaev K.V., Berezin V.L. *Sistemnaya nadezhnost' truboprovodnogo transporta uglevodorodov* [System Reliability of Pipeline Transportation of Hydrocarbons]. Moscow, Nedra Publ., 1997. 516 p. [in Russian].

6. Zorin A.E. Razrabotka konstruktssii obraztsa dlya provedeniya ispytaniy metalla truboprovodov na udarnuyu vyazkost' [Development of a Sample Design for Testing Pipe Metal for Impact Strength]. *Gazovaya promyshlennost' - GAS Industry of Russia*, 2015, No. 6, pp. 69-71. [in Russian].

Информация об авторах

• Неганов Дмитрий Александрович, д-р техн. наук
ООО «НИИ Транснефть»
Первый заместитель генерального директора
Россия, 117186, Москва, Севастопольский пр-т,
47а
e-mail: NeganovDA@niitnn.transneft.ru

• Зорин Александр Евгеньевич, д-р техн. наук
ООО «НИИ Транснефть»
Ведущий научный сотрудник лаборатории сварки
Россия, 117186, Москва, Севастопольский пр-т,
47а
e-mail: ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Information about the authors

• Neganov Dmitry A., Doctor of Engineering Sciences
Transneft Research Institute, LLC
First Deputy General Director
47a, Sevastopol ave., Moscow, 117186, Russia
e-mail: NeganovDA@niitnn.transneft.ru

• Zorin Aleksandr E., Doctor of Engineering
Sciences
Transneft Research Institute, LLC
Leading Researcher of Welding Laboratory
47a, Sevastopol ave., Moscow, 117186, Russia
e-mail: ZorinAE@niitnn.transneft.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2021; одобрена после рецензирования 30.09.2021; принята к публикации 01.09.2021.

The article was submitted 20.09.2021; approved after reviewing 30.09.2021; accepted for publication 01.09.2021.