

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Ю.И. Пашков, М.А. Иванов

Работа посвящена совершенствованию метода оценки трещиностойкости сварных труб большого диаметра. Приводится анализ существующих методов и развитие одного из них. Разработаны новая конструкция образца и испытательная машина.

Ключевые слова: трещиностойкость, трубы большого диаметра.

В топливно-энергетическом комплексе России интенсивно сооружаются и эксплуатируются магистральные трубопроводы, для передачи природного газа, протяжённостью до 2000–3500 км и более, диаметром до 1420 мм. При сверхвысоких рабочих давлениях до 25 МПа, температуре до -60 °С огромный запас энергии упругой деформации транспортируемого продукта способен разрушать трубопровод протяжённостью до нескольких сотен метров. В Канаде зарегистрировано разрушение магистрального газопровода длиной 13 км [1], а в России произошло разрушение двух магистральных газопроводов длиной 40 и 58 км. На рис. 1 представлено лавинное протяжённое разрушение магистрального газопровода.

В процессе разрушений трубопроводов может происходить возгорание или взрыв продукта, загрязнение окружающей среды, гибель людей и животных. От разрушений трубопроводов государство несёт огромные убытки. Согласно официальным статистическим данным [1] в стране ежегодно происходит около 100 аварий трубопроводов.

В 1950–60-х гг. магистральные сети в основном строились и эксплуатировались в южных регионах страны, а в последующие годы и в настоящее время эти техногенно опасные трубопроводы сооружаются и эксплуатируются в северных регионах страны с чрезвычайно сложными климатическими природными условиями. Это предопределяет повышенную опасность при эксплуатации данного промышленного объекта и обуславливает необходимость создания более совершенных технологий изготовления трубного проката и труб, целенаправленного формирования нормативных требований к трубам на принципиально новом научном подходе по созданию прогрессивных численных методов оценки прочности и трещиностойкости. Методы должны обеспечивать повышенную эффективность испытаний, гарантированную надёжность и безопасность трубопроводных систем, эксплуатирующихся в таких жестких условиях.

Проблема обеспечения повышенной безопасности и надёжности труб и трубопроводов является одной из важнейших научно-технических проблем на ближайший и перспективный период. При



Рис. 1. Лавинное разрушение газопровода: диаметр 1220 мм, рабочее давление 5,4 МПа, сталь 17Г1С, длина разрушения 350 м, Средняя Азия

этом следует заметить, что повышенный уровень работоспособности современных трубопроводов, в первую очередь, определяется трещиностойкостью конструкции.

Для оценки уровня трещиностойкости газонефтепроводных труб в исследовательской и заводской практике в основном используется ударная вязкость основного металла и зон сварного соединения при испытании стандартных образцов на ударный изгиб и процент волокна в изломе образца ДВТТ натурной толщины основного металла, испытанного на вертикальных копрах. Эти критерии трещиностойкости труб нормируются эмпирически и не могут быть использованы, как установлено многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных учёных, для количественной оценки прогнозирования безопасности и надёжности при эксплуатации магистральных трубопроводов. Эти заводские методы имеют многочисленные методические недостатки и являются малоэффективными техническими средствами в системе контроля качества надёжности сварных труб.

На базе современных достижений механики разрушения, накопленного многолетнего опыта исследований работоспособности сварных труб, результатов полигонных испытаний реальных труб, а также проведенного анализа многочисленных разрушений трубопроводов при их строительстве и эксплуатации предложены ряд расчётных схем и подходов для количественной оценки трещиностойкости труб и трубопроводов как в нашей стране, так и за рубежом [2–10].

Впервые расчётный метод оценки трещиностойкости трубопроводов на стадии распространения трещины предложен Л.С. Лившицем, А.С. Рахмановым и В.В. Рождественским [2, 3]. Метод базируется на энергетическом подходе при испытании стандартного образца на ударный изгиб. Однако метод не получил дальнейшего развития из-за серьёзных методических недостатков, но его физические основы были использованы другими авторами при создании расчётных подходов для оценки подверженности хрупким разрушениям трубопроводов.

В развитии этого метода А.Н. Моношковым [4] предложено учитывать влияние скорости трещины на величину энергии упругой деформации, участвующей в разрушении, и влияние скорости трещины и напряжённого состояния на вязкость материала. Предложена принципиальная схема расчётной оценки сопротивляемости разрушению газопровода на стадии распространения трещины (рис. 2, а).

Метод основан на сопоставлении потенциальной энергии или её эффективной части a_3 , накопленной в конструкции и расходуемой на продвижение трещины, с сопротивляемостью материала, оцениваемой величиной энергии распространения трещины на единицу длины трещины a_p .

Фактором, движущим трещину при самопроизвольном разрушении, является потенциальная энергия (энергия упругой деформации), накопленная в конструкции. Однако на разрушение расходуется не вся потенциальная энергия конструкции, а лишь её часть (эффективная энергия), уменьшающаяся с ростом скорости трещины. Уменьшение эффективной энергии с ростом скорости трещины объясняется тем, что энергия упругой деформации не может выделяться мгновенно.

В результате эффективная энергия и энергия распространения трещины с ростом скорости трещины уменьшаются, но по разным законам. При известных зависимостях $a_p(V_p)$ и $a_3(V_p)$, названных соответственно характеристикой материала и конструктивной характеристикой, представляется возможным решение вопроса о том, будет ли развиваться трещина в каждом конкретном случае.

Согласно методу, если во всём возможном диапазоне скоростей трещины характеристика материала (рис. 2, а, кривая 1) располагается выше конструктивной (кривая 3), то в такой конструкции трещина распространяться не будет.

На аналогичных научных позициях отечественными учёными В.А. Винокуровым и Г.И. Макаровым [6, 7] и английскими исследователями В.А. Пойнтоном, П.В. Шенноном и Г.Д. Фернхафом [7] рассматриваются подобные схемы количе-

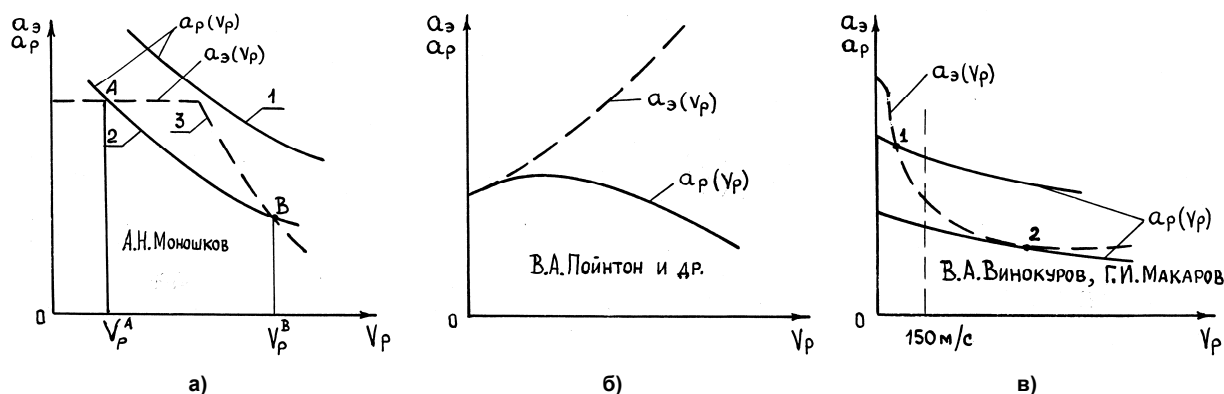


Рис. 2. Схемы расчетной оценки сопротивляемости газопроводов хрупкому разрушению: а – схема А.Н. Моношкова – 1970 г. [4]; б – схема В.А. Пойнтон и др.– 1972 г. [7]; в – схема В.А. Винокурова и др. – 1978 г. [6]

ственной оценки стадии распространения трещины в газопроводах, представленные соответственно на рис. 2, б, в.

Английскими учёными процесс разрушения газопровода (рис. 2, б) анализировался в диапазоне скоростей распространения трещины 60–250 м/с. Поэтому в качестве эффективной энергии a_3 рассматривается энергия сжатого газа. Энергия упругой деформации стенки ввиду её малости не учитывается в энергетическом балансе. Однако с увеличением скорости трещины доля эффективной энергии сжатого газа должна уменьшаться, а не увеличиваться. Общеизвестно, что при скорости трещины в газопроводе 400 м/с и более основным фактором,двигающим трещину, является энергия упругой деформации, накопленная в стенке трубы. Следовательно, процесс разрушения газопровода при скорости трещины до 250 м/с нельзя относить к лавинному, а следует рассматривать, как процесс локального вязкого разрушения. Другой недостаток метода – требуется определять характеристику материала в процессе испытания реального участка трубопровода газом до разрушения. В результате метод не доведен до массового применения.

Предложенная схема В.А. Винокурова и Г.И. Макарова (рис. 2, в) практически совпадает со схемой А.Н. Моношкова (рис. 2, а). Анализ процесса разрушения осуществляется с позиций сопоставления фактора,двигающего трещину (конструктивная характеристика $a_3(V_p)$), и фактора, сопротивляющегося распространению трещины (характеристика материала $a_p(V_p)$).

Для исключения лавинного разрушения газопровода необходимо обеспечить пересечение зависимостей $a_3(V_p)$ и $a_p(V_p)$ при скорости трещины меньше 150 м/с (точка 1, рис. 2, в). В случае пересечения данных зависимостей в точке 2 лавинное разрушение газопровода возможно. В целом данный метод обеспечивает процесс разрушения газопровода при скоростях трещины не более 400 м/с, когда в качестве основного источника энергии разрушения выступает энергия сжатого газа.

К сожалению, авторы данного метода не дают аргументированного пояснения по выбору скорости трещины, равной 150 м/с, в качестве базовой характеристики. Ссылка на имеющиеся сведения о многочисленных испытаниях натуральных газопроводов, при которых не было зарегистрировано скоростей трещины меньше 150 м/с, совершенно не убедительна. При полигонных испытаниях реальных трубопроводов газом или воздухом, как было показано выше, фиксировались скорости трещины от 50 до 300 м/с и выше. Кроме того, экспериментальный метод определения характеристики материала, базирующийся на испытании натурной обечайки падающим грузом, чрезвычайно сложно реализовать на практике, и он не доработан в той степени, чтобы его можно было использовать при массовых сдаточных испытаниях труб.

Таким образом, рассмотренные принципиальные схемы подхода количественной оценки трещиностойкости магистральных газопроводов на стадии распространения трещины базируются на достаточно сложных явлениях, связанных с газодинамикой, напряжённо-деформированным состоянием в стенке и в зоне трещины, волновыми и другими процессами в условиях высокоскоростного разрушения газопроводов. Однако эта сложность при использовании численных подходов по оценке уровня трещиностойкости газопроводов может быть вполне преодолима и разрешима.

Приходится констатировать, что схемы В.А. Пойнтонна и В.А. Винокурова пока не имеют завершённости по практическому применению и не могут рассматриваться из-за серьёзных недостатков на перспективу.

Схема А.Н. Моношкова на текущий момент имеет завершённый вид по практическому применению и может рассматриваться после устранения некоторых недостатков в испытательном оборудовании для использования в массовых испытаниях и исследованиях по научно-технической проблеме трещиностойкости труб и трубопроводов.

С учётом изложенного продолжим рассматривать схему А.Н. Моношкова [4]. Зависимость $a_p(V_p)$ характеризует сопротивляемость материала распространению трещины при заданных условиях эксплуатации (напряжённое состояние, толщина, температура). Поэтому эта зависимость используется в качестве критерия материала и именуется для удобства **характеристикой материала**.

Значение энергии упругой деформации, накопленной в стенке трубопровода и способной принять участие в разрушении, также зависит от кинетики разрушения, уменьшаясь с ростом скорости трещины.

Основная причина такого уменьшения заключается в том, что ЭУД не может выделяться мгновенно. Как известно, сток энергии упругой деформации в материале происходит со скоростью звука. Последнее приводит к тому, что с ростом скорости распространения трещины наступает момент, когда не весь периметр трубопровода успевает отдать свою энергию упругой деформации на разрушение. Начиная с этого момента эффективная энергия упругой деформации a_3 уменьшается с ростом скорости трещины. В целом характер зависимости a_3 от скорости трещины может быть представлен кривой 3 (рис. 2, а). Зависимость $a_3(V_p)$ в большей мере определяется конструктивными параметрами трубопровода (давление, диаметр) и мало зависит от свойств материала. Поэтому эта зависимость именуется **конструктивной характеристикой**.

Таким образом, эффективная энергия упругой деформации a_3 и энергия распространения трещины a_p с ростом скорости трещины уменьшаются, но по разным законам. При известных законах изменения $a_3(V_p)$ и $a_p(V_p)$ представляется возможным

решение вопроса о том, будет распространяться трещина или нет в каждом конкретном случае.

В сопоставлении этих характеристик и заключается сущность предлагаемого метода расчётной оценки трещиностойкости трубопровода.

Если характеристика материала (кривая 1, рис. 2, а) во всём возможном интервале изменения скорости трещины располагается выше конструктивной характеристики (кривая 3), то трещина в таком трубопроводе распространяться не будет. С понижением температуры и с ухудшением свойств материала кривая $a_p(V_p)$ будет смещаться в сторону уменьшения a_p и может занять положение кривой 2 (рис. 1, а). В этом случае сопоставляемые характеристики пересекаются между собой в двух точках А и В. В интервале скоростей трещин $V_p^a \leq V_p \leq V_p^b$ удовлетворяется энергетическое условие распространения трещины и трубопровод может разрушаться.

Такова физическая сущность количественного метода оценки сопротивляемости распространению трещины магистральных газопроводов, предложенного А.Н. Моношковым.

Для практического применения данного метода количественной оценки трещиностойкости сварных газонефтепроводных труб на стадии распространения трещины предложено определять конструктивную характеристику расчётным путём по двум зависимостям.

При малых скоростях трещины, когда весь запас энергии упругой деформации успевает реализоваться на разрушение ($a_3 = a_y$), величина эффективной энергии, отнесенной к единице длины трещины для газопровода выражается зависимостью

$$a_3 = \frac{\pi P^2 D^3 (1 - \mu)}{8Et}, \quad (1)$$

где P – рабочее давление; D – диаметр газопровода; E – модуль нормальной упругости; μ – коэффициент Пуассона; t – толщина стенки.

Для описания ниспадающей ветви зависимости $a_3(V_p)$ на основе анализа волновых процессов и использования элементов теории упругости получена следующая зависимость

$$a_3 = \frac{P^2 D^2 c p}{2EV_p t (1 - \mu^2)^{1/2}}, \quad (2)$$

где c – скорость звука в стенке газопровода; p – геометрический параметр, характеризующий протяжённость зоны позади устья трещины, которая принимает участие в разрушении.

В результате проведенных исследований установлено условие надёжности газопроводов против лавинных разрушений в виде следующей зависимости

$$a_{p(400)} = \frac{\pi P^2 D^3 (1 - \mu^2)}{8Et}, \quad (3)$$

где $a_{p(400)}$ – удельная величина работы распространения трещины, отнесенной к единице длины трещины при температуре эксплуатации газопровода и скорости трещины, равной 400 м/с.

Зависимость (3) используется для нормативных требований по трещиностойкости основного металла и сварного соединения труб, чтобы исключить лавинные разрушения газопроводов при эксплуатации.

Для исключения разрушений материалов труб на стадии зарождения трещины разработано следующее условие надёжности [7]

$$F_{\max} \geq 2,7 F_T t, \quad (4)$$

где F_{\max} – максимальная разрушающая нагрузка при испытании специального образца по схеме «изгиб с растяжением»; t – толщина стенки трубопровода; F_T – удельная нагрузка, действующая на единицу длины трубопровода, $F_T = RP$ (R и P – радиус и рабочее давление в трубопроводе соответственно); 2,7 – численный коэффициент, определённый на основании статистической оценки наименьшего значения в серии испытаний специального образца из труб размером 1220×12 мм, сталь 17Г1С.

Нормативные требования по трещиностойкости для сварных газонефтепроводных труб приведены в таблице.

Для определения характеристики материала труб $a_{p(400)}$ разработана конструкция специально-

Нормативные требования по трещиностойкости газонефтепроводных труб

Размер трубы		Нормативные требования при давлении					
Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	$P = 5,5$ МПа		$P = 7,5$ МПа		$P = 10$ МПа	
		F_{\max} , Н	$a_{p(400)}$, кгм/см	F_{\max} , Н	$a_{p(400)}$, кгм/см	F_{\max} , Н	$a_{p(400)}$, кгм/см
530	7	27 550	1,2	37 560	1,3	50 100	3,6
720	7	37 420	2,7	51 030	5,0	68 040	8,9
820	10	60 880	3,8	83 030	5,3	110 700	9,4
1020	10	75 740	5,6	103 280	10,2	137 700	18,0
1220	12	108 700	7,8	148 230	14,5	197 640	25,7
1420	21	221 410	7,4	301 920	13,3	402 570	23,2

Примечание. Данные нормативные требования по трещиностойкости установлены для любых марок сталей независимо от степени легирования и класса прочности.

го образца натурной толщины с реальным сварным соединением. Образец нагружается по схеме, совмещающей изгиб с растяжением (рис. 3). При такой схеме нагружения обеспечивается максимальное снижение разрушающей нагрузки (F) и исключение в образце пластических деформаций сжатия. Эти условия достигаются за счет оптимального расстояния (L) между опорными отверстиями в образце и расположению данных отверстий относительно тыльной грани образца (h).

Конструкция образца и его размеры представлены на рис. 4. Образец состоит из рабочей пластины 1, изготовленной из исследуемых труб и двух головок, привариваемых к данной пластине 1. Рекомендуется принимать следующие конструктивные размеры образца: $L = 545^{±0,05}$ мм; $50 ≤ H ≤ 80$ мм при толщине не более 25 мм, $h = 20$ мм.

Образец (пластина) вырезается из трубы в окружном направлении перпендикулярно продольной оси трубы. При изготовлении образца из труб диаметром 530 мм и более допускается их механическая правка. При вырезке образца со сварным соединением шов должен располагаться посередине него. В этом случае усиление шва не удаляется. Образец для испытаний устанавливается в специальном приспособлении.

При выбранной конструкции образца и соответствующего испытательного оборудования удалось максимально обеспечить имитации реального процесса разрушения трубопровода:

- напряжённо-деформированное состояние в устье трещины образца при разрушении практически одинаковое, что и в устье распространяющейся трещины при разрушении реального трубопровода;
- исключается пластическая деформация всего образца, за исключением зоны в устье распространяющейся трещины;
- параметры трещиностойкости испытанного материала не зависят от влияния масштабного эффекта (длины, толщины и высоты образца);
- испытывается образец натуральной толщины с реальным сварным соединением;

– образец может испытываться в условиях статического зарождения трещины и динамического распространения трещины, т. е. аналогично реальному процессу разрушения трубопровода.

Для испытания таких относительно крупногабаритных образцов и регистрации параметров трещиностойкости материалов труб разработана серия специального оборудования и система качественной регистрации и расшифровки рабочих процессов разрушения образца. Образцы испытываются на стандартных статических машинах, вертикальном копре и на специальном устройстве с гидравлическим аккумулятором энергии упругой деформации (рис. 5).

Метод прошёл длительную практическую проверку при проведении многочисленных исследований трещиностойкости трубного проката, сварных газонефтепроводных труб опытного и серийного производства, использовался при анализе аварий реальных газопроводов [5, 9–15]. Исследования проводились на трубном прокате и сварных трубах диаметром 530, 720, 820, 1020, 1220, 1420 мм из низколегированных сталей класса прочности до К60, толщиной до 25 мм.

В процессе этих работ наряду с проведением различных исследований осуществлялись работы по отладке технологии испытаний образцов, системы регистрации сигналов и обработки результатов испытаний, выявлению недостатков испытательного оборудования, достоверности и объективности получаемых результатов. Проводились исследования по совершенствованию технологии режимов сварки труб, отладки режимов термообработки сталей и труб, осваивались оптимальные марки трубных сталей, выбирались оптимальные виды сварки (дуговая, контактная ТВЧ) и др. Всё это проводилось на базе разработанного метода оценки трещиностойкости. Исследования проводились на трубных заводах (ЧТПЗ, ВТЗ, ВМЗ, ХТЗ) и металлургических предприятиях (ОХМК, ЧерМЗ, ММК, ЖМК).

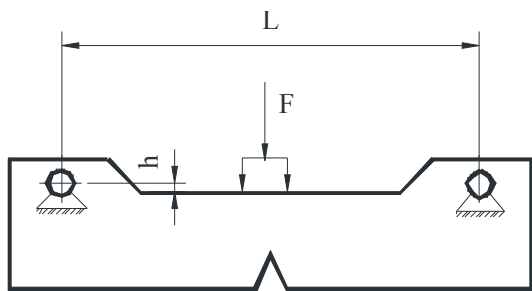


Рис. 3. Схема нагружения образца, совмещающая изгиб с растяжением

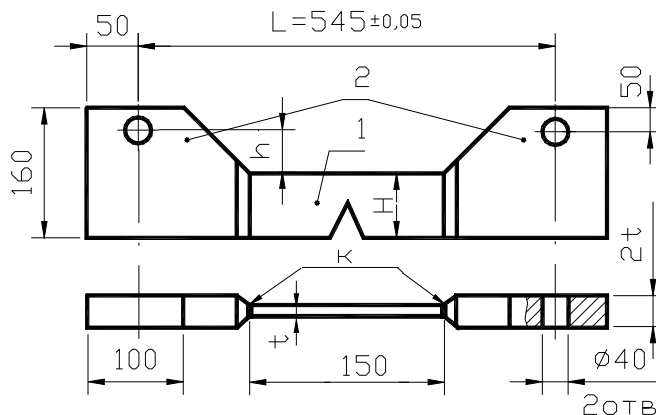


Рис. 4. Конструкция образца: 1 – испытываемая пластина (образец); 2 – привариваемые головки

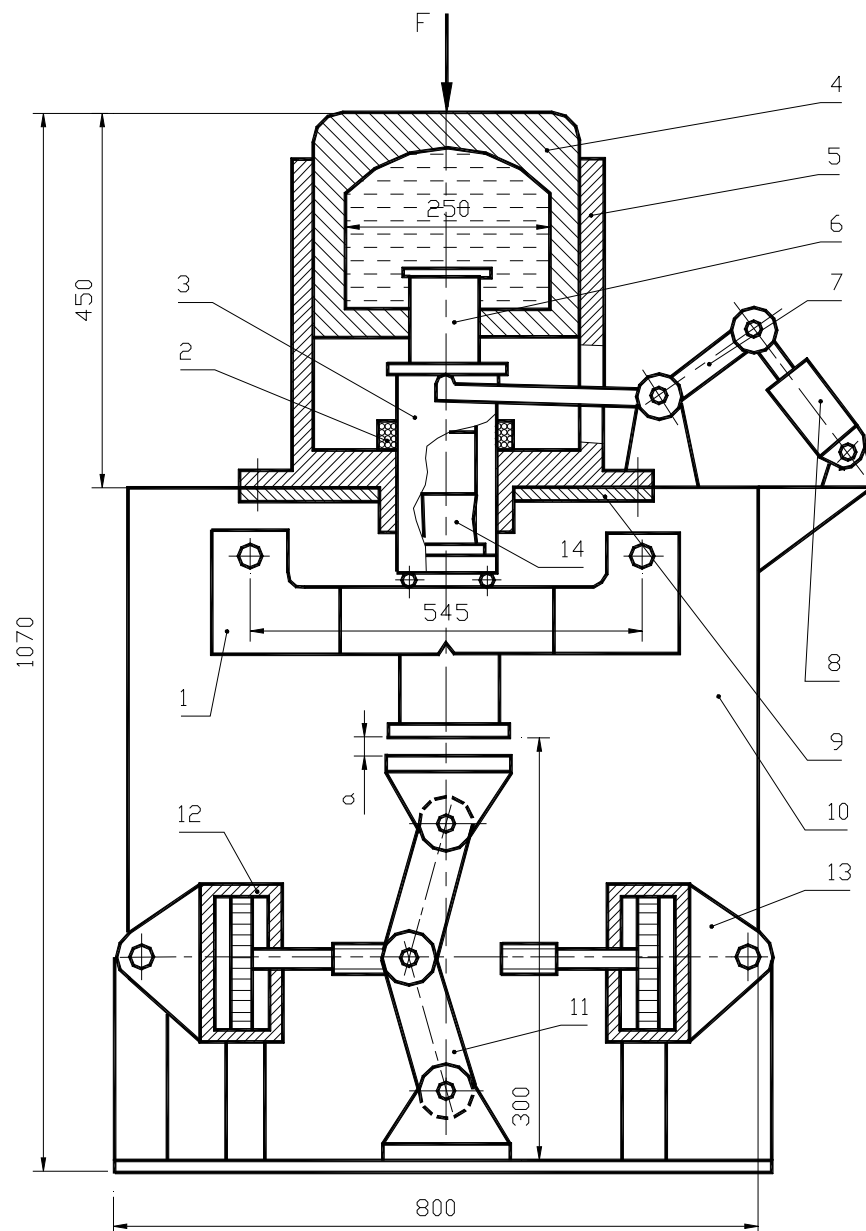


Рис. 5. Устройство с гидроаккумулятором энергии упругой деформации для испытания образца: 1 – образец; 2 – гаситель удара; 3 – пуансон; 4 – гидроцилиндр – накопитель энергии; 5 – корпус для установки гидроцилиндра; 6 – шток гидроцилиндра; 7 – шарнир; 8 – пневмоцилиндр; 9 – опорная плита; 10 – стойки; 11 – шарнир; 12 и 13 – пневмоцилиндры; 14 – динамометр

Метод прошел научно-техническую экспертизу и получил широкую поддержку в научных и исследовательских центрах страны (ВНИИГАЗ, ЦНИИЧермет, ИПТЭР, ИФТПС, ГИПРОНИИГАЗ, ИПП, ИМАШ, ЦНИИПСК).

Литература

1. Мазур, И.И. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ Елина, 2004. – 107 с.

2. Лившиц, Л.С. Устойчивость против хрупких разрушений сварных сосудов, работающих под давлением / Л.С. Лившиц, А.С. Рахманов, В.В. Рождественский // Сварочное производство. – 1970. – № 10.

3. Рождественский, В.В. Расчёт магистральных трубопроводов на сопротивляемость хрупким разрушениям лавинного характера / В.В. Рождественский // Строительство трубопроводов. – 1970. – № 5.

4. Моношков, А.Н. Метод расчётной оценки сопротивляемости магистральных газопроводов хрупким разрушением лавинного характера / А.Н. Моношков // Прогрессивные методы и средства повышения сопротивления элементов конструкций и машин хрупкому разрушению: сб. науч. тр. – М.: НТО Машипром, 1970. – 81 с.

5. Винокуров, В.А. Методические указания по использованию «Расчётно-экспериментального ме-

тогда оценки сопротивляемости сварных магистральных газопроводов протяжённостям разрушениям лавинного характера» / В.А. Винокуров, Г.И. Макаров. – М.: МВТУ, 1978. – 29 с.

6. Макаров, Г.И. Расчёт скорости возможного лавинного разрушения газопровода на основе приближённой модели деформирования трубы / Г.И. Макаров, В.А. Винокуров // Строительство трубопроводов. – 1981. – № 5. – С. 26–28.

7. Пойнтон, В.А. Теоретические и экспериментальные исследования процесса распространения разрушения срезом / В.А. Пойнтон, П.В. Шеннон, Г.Д. Фернхаф // Теоретические основы инженерных расчётов: труды американского общества инженеров-механиков. – 1974. – № 4. – С. 7–15.

8. Пашков, Ю.И. Трещиностойкость сварных соединений труб: моногр. / Ю.И. Пашков. – Челябинск: Издат. Центр ЮУрГУ. – 2010. – 84 с.

9. Прочность сварных труб большого диаметра, сваренных токами высокой частоты / Г.В. Будкин, Ю.А. Медников, А.Н. Моношников и др. // Сварочное производство. – 1975. – № 12. – С. 13–16.

10. Низкотемпературная прочность сварных труб малого диаметра / А.Н. Моношников, В.Г. Миндлин, Ю.И. Пашков и др. // Автоматическая сварка. – 1979. – № 9. – С. 42–51.

11. Миндлин, В.Г. Прочность при низких температурах сварных труб среднего диаметра для распределительных газопроводов / В.Г. Миндлин, А.Б. Каплан, А.И. Горбовицкий // Автоматическая сварка. – 1983. – № 2. – С. 55–57.

12. Свойства труб диаметром 530×7 мм из низколегированной стали, сваренных токами высокой частоты / Г.В. Будкин, Ю.И. Пашков, А.Н. Моношников и др. // Автоматическая сварка. – 1986. – №10. – С. 49–53.

13. Моношников, А.Н. Совершенствование метода оценки работы распространения трещины в листовых материалах / А.Н. Моношников, Ю.И. Пашков, А.Б. Каплан // Заводская лаборатория. – 1981. – № 12 – С. 62–65.

14. Пашков, Ю.И. Устройство с аккумулятором энергии упругой деформации для оценки трещиностойкости материалов / Ю.И. Пашков, С.В. Сериков, А.Н. Моношников // Заводская лаборатория. – 1987. – № 6. – С. 66–68.

15. Пашков, Ю.И. Регистрация параметров разрушения при испытании крупногабаритных образцов на вертикальном копре / Ю.И. Пашков, Л.В. Земская, О.А. Зажогина // Заводская лаборатория. – 1989. – № 2. – С. 77–80.

Пашков Юрий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); pashkovyi@susu.ac.ru.

Иванов Михаил Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); ivanovma@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 3 марта 2014 г.

Bulletin of the South Ural State University
Series "Metallurgy"
2014, vol. 14, no. 1, pp. 33–40

SOME WAYS OF THE EVALUATION METHOD EFFICIENCY INCREASE OF CRACK RESISTANCE OF LARGE DIAMETER WELDED PIPES FOR NATURAL GAS TRANSMISSION

Yu.I. Pashkov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
pashkovyi@susu.ac.ru,

M.A. Ivanov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
ivanovma@susu.ac.ru

The research is devoted to the improvement of the evaluation method of crack resistance in large diameter welded pipes. The analysis of existing methods and the development of one method are given. A new sample design and a test machine have been developed.

Keywords: crack resistance, large diameter pipes.

References

1. Mazur I.I., Ivantsov O.M. *Bezopasnost' truboprovodnykh sistem* [Safety of Pipeline Systems]. Moscow, ITS Elina Publ., 2004. 107 p.
2. Livshits L.S., Rakhmanov A.S., Rozhdestvenskiy V.V. [Resistance to Brittle Failure of Welded Vessels Working Under Pressure]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding], 1970, no. 10, pp. 24–28. (in Russ.)
3. Rozhdestvenskiy V.V. [Calculation of Resistance to Pipelines Brittle Fractures Avalanche]. *Stroitel'stvo truboprovodov* [Pipeline Construction], 1970, no. 5, pp. 43–47. (in Russ.)
4. Monoshkov A.N. [A Method of Estimating Resistivity of the Main Gas Pipelines of Brittle Destruction of Avalanche Character]. *Progressivnye metody i sredstva povysheniya soprotivleniya elementov konstruktsiy i mashin khрупkomu razrusheniyu* [Progressive Methods and Means to Increase the Resistance of Elements of Structures and Machines to Brittle Failure]. Moscow, NTO Mashprom Publ., 1970, pp. 77–81. (in Russ.)
5. Vinokurov V.A., Makarov G.I. *Metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu "Raschetno-eksperimental'nogo metoda otsenki soprotivlyaemosti svarnykh magistral'nykh gazoprovodov protyazhennym razrusheniyam lavinnogo kharaktera"* [Methodical Instructions on Using the "Calculation-Experimental Method to Evaluate the Resistance of a Welded Trunk Gas Pipelines to Extensive Destruction of Avalanche Character"]. Moscow, MVTU Publ., 1978. 29 p.
6. Makarov G.I., Vinokurov V.A. [Calculation of Speed of a Possible Avalanche of Destruction of the Gas Pipeline on the Basis of an Approximate Model of Deformation of Pipes]. *Stroitel'stvo truboprovodov* [Pipeline Construction], 1981, no. 5, pp. 26–28. (in Russ.)
7. Poynton W.A., Shannon R.W.E., Fearneough G.D. The Design and Application of Shear Fracture Propagation Studies. *J. Eng. Mater. Technol.*, 1974, vol. 96, no. 4, pp. 323–329. doi: 10.1115/1.3443248.
8. Pashkov Yu.I. *Treshchinostoykost' svarnykh soedineniy trub* [Fracture Toughness of Welded Joints]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2010. 84 p.
9. Budkin G.V., Mednikov Yu.A., Pashkov Yu.I. [Strength of Welded Large Diameter Pipes Welded by High Frequency Currents]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding], 1975, no. 12, pp. 13–16. (in Russ.)
10. Monoshkov A.N., Mindlin V.G., Pashkov Yu.I. [Low-Temperature Strength of Welded Pipes of Small Diameter]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automated Welding], 1979, no. 9, pp. 42–51. (in Russ.)
11. Mindlin V.G., Kaplan A.B., Gorbovitskiy A.I. [Low-Temperature Strength of Welded Pipes of Average Diameter for Gas Distribution Pipes]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automated Welding], 1983, no. 2, pp. 55–57. (in Russ.)
12. Budkin G.V., Pashkov Yu.I., Monoshkov A.N. [Properties of 530×7 mm Diameter Pipes of Alloy Steel Welded by High Frequency Currents]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automated Welding], 1986, no. 10, pp. 49–53. (in Russ.)
13. Monoshkov A.N., Pashkov Yu.I., Kaplan A.B. [Improvement of the Method of Evaluation of Work of Propagation of a Crack in Sheet Materials]. *Zavodskaya laboratoriya* [Industrial Laboratory], 1981, no. 12, pp. 62–65. (in Russ.)
14. Pashkov Yu.I., Serikov S.V., Monoshkov A.N. [Device with an Accumulator of the Elastic Deformation Energy for Evaluation of Crack Resistance of Materials]. *Zavodskaya laboratoriya* [Industrial Laboratory], 1987, no. 6, pp. 66–68. (in Russ.)
15. Pashkov Yu.I., Zemskaya L.V., Zazhogina O.A. [Registration of Parameters of Fracture During Large-Scale Tests on the Vertical Impact-Testing Machine]. *Zavodskaya laboratoriya* [Industrial Laboratory], 1989, no. 2, pp. 77–80. (in Russ.)

Received 3 March 2014