МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ВНИИСТ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА ЧПИ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПОВЫШЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Р 155 — 74

ЦНТИ ВНИИСТа

Москва 1974

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.791

Настоящие Рекомендации разработаны на основе теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния мягкой композитной прослойки с позиций теорий пластичности и контактного упрочнения. Для экспериментального определения полей напряжений и деформаций в мягкой композитной прослойке использовался метод муаровых полос и поляризационно-оптический метод.

Теоретические разработки подтверждены результатами испытаний образцов, сваренных по реальной технологии, в условиях статического и ударного растяжения и низких температур.

Данные, положенные в основу настоящих Рекомендаций, проверены на кольцевых сварных соединениях газопроводных труб диаметром 720 мм.

Рекомендации предназначены для конструкторов и технологов, занимающихся проектированием магистральных трубопроводов большого диаметра и технологией их сварки.

В разработке Рекомендаций принимали участие д-р техн.наук О.А. Бакши, канд.техн. наук А.С. Рахманов, Ю.И. Анисимов, В.Ф. Чабуркин и инженеры Р.С. Зайнуллин, В.Н. Голиков, А.В. Луйко и Н.Л. Зайцев.

Замечания и предложения по Рекомендациям просим направлять по адресам: Москва, 105058, Окружной проезд, 19, ВНИИСТ, лаборатория сварки и Челябинск, 454044, проспект Ленина,76, ЧПИ, кафедра Оборудование и технология сварочного производства, научно-исследовательская лаборатория сварных конструкций и сварочных процессов (НИЛСК и СП).

ВНИИСТ, ЧПИ	Рекомендации по повышению работоспособности сварных соединений магистральных трубопроводов	Р I55-74 Разработаны впервые

ВВЕДЕНИЕ

Освоение природных ресурсов Сибири и Крайнего Севера, в частности, месторождений нефти и природного газа, предусмотренное директивами Партии и Правительства в качестве одной из важнейших задач современного промышленного развития страны, связано с сооружением сети магистральных трубопроводов в сложных климатических условиях.

Одно из экономически перспективных решений основывается на использовании сварных труб большого диаметра из сталей повышенной прочности. Эти стали, обладая несомненными преимуществами, в частности, по относительным прочностным и весовым характеристикам, в то же время имеют ряд существенных особенностей, ограничивающих их широкое применение в сварных конструкциях.

Они отличаются повышенной чувствительностью к концентраторам напряжений, термическому циклу сварки и склонностью к горячим и холодным трещинам при сварке.

Использование сталей повышенной прочности, обладающих ограниченной свариваемостью, при одновременном увеличении рабочих параметров трубопроводов требует разработки специальных сварочно-технологических мероприятий с целью обеспечения надлежащей работоспособности кольцевых сварных соединений и системы в целом.

Внесены лабораторией сварки ВНИИСТа и научно-исследовательской лабораторией сварных конструкций и сварочных процессов ЧПИ	Утверждены ВНИИСТом 20 декабря I973 г. и ЧПИ I2 декабря I973 г.	Срок введения I марта I974 г. Срок действия I марта I977 г. Перепечатка воспрещена

Одним из путей повышения работоспособности сварных соединений может явиться сварка композитными швами, в которых корень шва, где наиболее вероятно исчерпание пластичности, заваривается металлом, обладающим повышенными пластическими и вязкостными свойствами.

Настоящие Рекомендации будут систематически дополняться и изменяться на основе дальнейшего совершенствования опыта проектирования, изготовления и эксплуатации сварных магистральных трубопроводов, а также научно-исследовательских работ по оценке работоспособности сварных соединений с композитными швами.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации могут быть использованы при проектировании и разработке технологии сварки кольцевых стыков магистральных трубопроводов диаметром 630-I420 мм с толщиной стенки не более 30 мм из сталей с нормативным пределом прочности до 70 кгс/мм^2.

I.2. Рекомендации разработаны в дополнение к существующим нормативным материалам по сварке магистральных трубопроводов. Они предусматривают возможность сознательного использования механической неоднородности (см. п.2.I Рекомендаций) в сварных соединениях магистральных трубопроводов в качестве конструкционного параметра, позволяющего целенаправленно регулировать технологическую прочность швов и механические свойства соединений.

I.3. Рекомендации регламентируют области целесообразного применения механической неоднородности, методику расчетной оценки ее влияния на прочность сварных соединений и распространяются на кольцевые стыковые, механически неоднородные по поперечному сечению швы тонкостенных труб, которые работают в условиях статического нагружения и подлежат расчету по их предельно-вязкому состоянию.

2 МЕХАНИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ И ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

2.I. МЕХАНИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ

2.I.I. Большинству сварных соединений присуща та или иная степень отличия механических свойств различных участков (механическая неоднородность).

Механическая неоднородность неразрывно связана с процессами, протекающими при сварке, и в некоторых случаях сознательно создается и используется в качестве конструктивного параметра для целенаправленного регулирования процессов возможных пластических деформаций с целью обеспечения надлежащей технологической прочности шва и несущей способности сварного соединения.

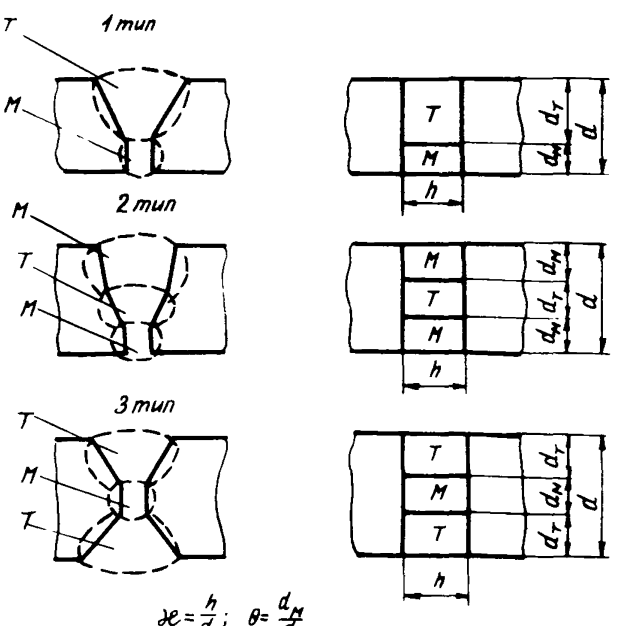

Рис.I. Моделирование реальных сварных швов с мягкой композитной прослойкой

2.I.2. Механически неоднородные швы с участками (слоями), отличающимися по своим свойствам, называются композитными (рис.I).

При этом соотношение пределов текучести основного (ОМ), твердого (Т) и мягкого (М) металлов может в частном случае удовлетворять условию:

$$\sigma_T^{OM} \geq \sigma_T^{T} > \sigma_T^{M} .$$

В сварных соединениях, где соблюдаются указанные неравенства, швы могут рассматриваться как мягкие композитные прослойки.

2.I.3. Сварные стыковые швы в настоящих Рекомендациях рассматриваются применительно к трем схемам (М-Т, М-Т-М и Т-М-Т), приведенным на рис.I.

2.2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С КОМПОЗИТНЫМИ ШВАМИ

2.2.I. Основные закономерности влияния механической неоднородности сварного соединения на его работоспособность базируются на эффекте контактного упрочнения мягкой прослойки.

Смысл контактного упрочнения заключается в следующем. При нагружении соединения свободное деформирование металла мягкой композитной прослойки, первой вступившей в пластическое состояние, сдерживается основным металлом. Последнее приводит к объемному напряженному состоянию мягкой композитной прослойки, что вызывает рост усилий, необходимых для ее деформирования. Эти усилия зависят от относительной толщины прослойки:

$$\varkappa = \frac{h}{d} , \qquad (I)$$

где h – ширина мягкой композитной прослойки;

d – толщина свариваемых элементов.

2.2.2. Во всей области возможного изменения относительной толщины прослойки ($\varkappa$) имеются два характерных диапазона (рис.2 и 3).

В первом диапазоне при относительно широких композитных прослойках ($\mathscr{H} > \mathscr{H}_к$) эффект контактного упрочнения практически не сказывается на механических свойствах сварного соединения, и последние в целом будут определяться свойствами (в частности, прочностью) композитного металла прослойки.

Примечание. Под прочностью композитного металла здесь понимается агрегатная прочность, выявляемая механическими испытаниями биметаллических или триметаллических образцов, в процессе которых растяжение ведется усилиями, параллельными плоскостям между слоями М и Т.

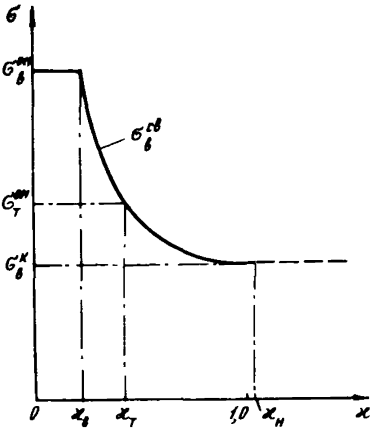

Рис.2. Общий характер зависимости прочности сварного соединения от относительной толщины мягкой композитной прослойки

2.2.3. Во втором интервале ($\mathscr{H} < \mathscr{H}_к$) сопротивление пластической деформации мягкой композитной прослойки увеличивается с уменьшением ее относительной толщины $\mathscr{H}$ (см.рис.2). Чем тоньше прослойка, тем выше ее прочность. При $\mathscr{H} = \mathscr{H}_т$ вязкая прочность металла композитной прослойки может достигнуть предела текучести основного металла. На этой стадии существенно увеличивается деформационная способность всего соединения, поскольку основной металл, имеющий большую базу деформирования, вовлекается в пластическую деформацию.

2.2.4. С уменьшением $\mathscr{H}$ при $\mathscr{H} = \mathscr{H}_в$ прочность композитной прослойки становится равной прочности основного металла, что соответствует достижению равнопрочности всего сварного соединения (см.рис.2).

2.2.5. Условие переноса места разрушения с прослойки на основной металл при испытании соединений зависит от характера распределения механической неоднородности в околошовной зоне и напряженного состояния основного металла. Если композитная прослойка подкреплена с обеих сторон твердыми участками, прочность металла которых выше прочности основного металла, то перенос места разрушения осуществим. В роли "подкрепляющих"

участков могут выступать подкаленные зоны термического влияния в основном металле. При отсутствии "подкрепляющих" участков по мере приближения прочности сварного соединения к прочности основного металла последний будет вовлекаться в пластическую деформацию, и перенос места разрушения с прослойки на основной металл не реализуется. Такая однозначная картина присуща линейному растяжению.

Для трубы с кольцевой композитной прослойкой характер разрушения зависит также от соотношения главных напряжений в основном металле.

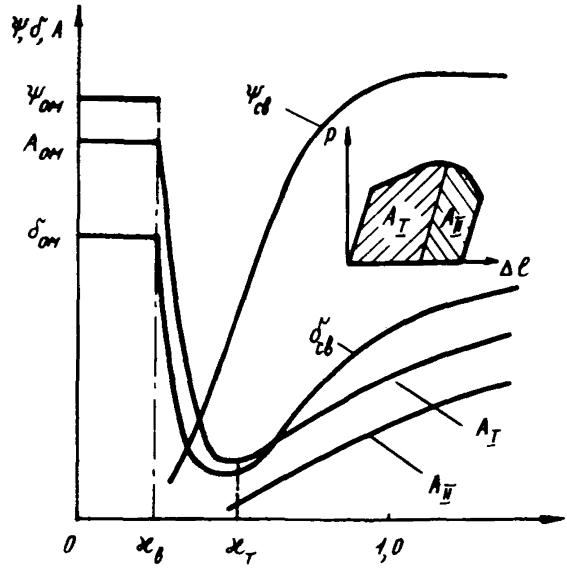

Рис.3. Схематизированная зависимость деформационных характеристик сварного соединения от относительной толщины мягкой композитной прослойки

2.2.6. Деформационная способность сварных соединений в зависимости от относительной толщины композитной прослойки $ж$ изменяется по сложному закону (см. рис.3). С уменьшением $ж$ пластичность и энергоемкость сварных соединений (A_I и $A_П$) понижаются, а затем, достигнув некоторых минимальных значений,

начинают возрастать. Характер разрушения композитной прослойки при достаточно малых $\varkappa$ может переходить с вязкого на хрупкий. При $\varkappa \leq \varkappa_T$ в стадию пластического деформирования подключается основной металл, и, как следствие, общая деформационная способность сварного агрегата возрастает. При $\varkappa \leq \varkappa_\beta$ в случае переноса места разрушения на основной металл деформационная способность сварного соединения определяется механическими свойствами основного металла.

2.2.7. В значительной мере на деформационную способность и характер разрушения сварного соединения с мягкой трехслойной композитной прослойкой оказывает влияние порядок расположения мягких и твердых слоев. Сварное соединение по схеме Т-М-Т имеет более высокую пластичность и вязкость по сравнению со схемой М-Т-М.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ИХ ВЯЗКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

3.1. Обозначение величин и их размерность (рис.4):

h – толщина композитной прослойки, мм;

d – толщина стенки свариваемой трубы, мм;

d_M – толщина слоя мягкого металла (М) прослойки, мм;

d_T – толщина слоя твердого металла (Т), мм;

D_H – наружный диаметр трубы, мм;

D_B – внутренний диаметр трубы, мм;

$\varkappa = \frac{h}{d}$ – относительная толщина мягкой композитной прослойки;

$\theta = \frac{d_M}{d}$ – доля мягкого слоя в композитной прослойке;

$1-\theta = \frac{d_T}{d}$ – доля твердого слоя в композитной прослойке;

$S = \frac{d}{D_H}$ – коэффициент тонкостенности трубы;

$\sigma_T^{св}, \sigma_T^{ом}, \sigma_T^{к}, \sigma_T^{т}, \sigma_T^{м}$ – пределы текучести соответственно сварного соединения, основного металла, композитного материала, прослойки, твердого и мягкого металлов, кг/мм^2;

$\sigma_B^{св}, \sigma_B^{ом}, \sigma_B^{к}, \sigma_B^{т}, \sigma_B^{м}$ – их временные сопротивления, кг/мм^2;

$K_C = \frac{\sigma_B}{\sigma_B^{м}}$ – коэффициент межслойной механической неоднородности;

$K_в = \frac{\sigma_в^{ом}}{\sigma_в^{к}}$ – коэффициент агрегатной механической неоднородности;

$K_т = \frac{\sigma_т^{ом}}{\sigma_т^{к}}$ – коэффициент агрегатной механической неоднородности по пределу текучести;

$F = hd$ – площадь сечения композитной прослойки, мм^2;

$\mathcal{Ж}_к$ – относительная толщина прослойки, отвечающая началу действия контактного упрочнения;

$\mathcal{Ж}_т$ – относительная толщина прослойки, соответствующая началу вовлечения основного металла в пластическую деформацию;

$\mathcal{Ж}_в$ – относительная толщина прослойки, при которой достигается равнопрочность сварного соединения и основного металла.

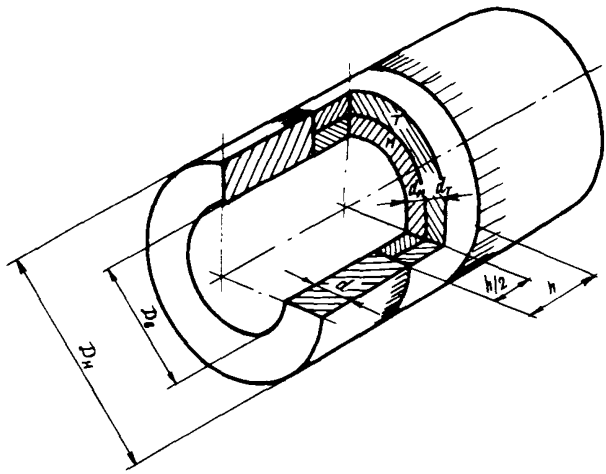

Рис.4. Схема сварного соединения трубы с кольцевой мягкой композитной прослойкой

3.I.I. Основными параметрами композитной прослойки являются ее относительная толщина $\mathcal{Ж}$, доля мягкого металла θ и коэффициент межслойной механической неоднородности K_c

3.2. Для сварных швов, имеющих сложную геометрическую форму (V, U, X и т.д.), следует применять приведение их к условной плоской прослойке, эквивалентной шву по площади поперечного сечения:

$$\mathcal{Ж}_э = \frac{F}{d^2} \qquad (2)$$

3.3. Расчетную оценку вязкой прочности и предела текучести сварных кольцевых композитных швов для всех схем чередования мягких и твердых слоев (М-Т, М-Т-М, Т-М-Т) следует определять по следующей зависимости:

$$\sigma_в^{св} = \sigma_в^{к} K_\varkappa , \tag{3}$$

где

$$\sigma_т^{св} = \sigma_т^{к} K_\varkappa , \tag{4}$$

$$\sigma_в^{к} = \sigma_в^{т}(1-\theta) + \sigma_в^{м}\theta , \tag{5}$$

$$\sigma_т^{к} = \sigma_т^{т}(1-\theta) + \sigma_т^{м}\theta , \tag{6}$$

$$K_\varkappa = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{3\sqrt{3}\varkappa\alpha} \tag{7}$$

Примечание. Под пределом текучести мягкого композитного шва понимаются средние напряжения, вызывающие появление в шве развитых пластических деформаций (например, с допуском 0,2%).

3.4. Коэффициент α в формуле (7) для различного расположения мягких и твердых слоев определяется из выражений:

а) двухслойная композитная прослойка (схема М-Т)

при $\theta < \frac{K_C}{1+K_C}$

$$\alpha = \frac{1-\left(1-\frac{1}{K_C}\right)\theta}{1+(1-\theta)^2-\left(1-\frac{1}{K_C}\theta\right)^2} , \tag{8}$$

при $\theta > \frac{K_C}{1+K_C}$

$$\alpha = \frac{1+(K_C-1)(1-\theta)}{1+\theta^2-[1-K_C(1-\theta)]^2} , \tag{9}$$

б) симметричная трехслойная композитная прослойка (М-Т-М)

$$\alpha = \frac{\frac{1}{K_C}+\left(1-\frac{1}{K_C}\right)(1-\theta)}{\frac{1}{K_C}+\left(1-\frac{1}{K_C}\right)(1-\theta)^2} , \tag{10}$$

в) симметричная трехслойная композитная прослойка (Т-М-Т)

$$\alpha = \frac{K_C-(K_C-1)\theta}{K_C-(K_C-1)\theta^2} . \tag{11}$$

3.5. Формулы (3) и (4) имеют смысл в интервале

$$\theta < \varkappa \le \frac{1}{\left(1-\frac{\pi}{4}\right)3\sqrt{3}\alpha} , \tag{12}$$

где действует эффект контактного упрочнения. В остальном интервале прослоек ($\varkappa > \varkappa_к$), когда по формуле (7) величина $K_\varkappa$ получается меньше единицы, следует брать значение $K_\varkappa$ = I, что указывает на свободное деформирование композитного материала прослойки, и ее прочностные свойства оцениваются по зависимостям (5) и (6).

3.6. Критические величины композитных прослоек, при которых с уменьшением $\varkappa$ начинается вовлечение основного металла в пластическую деформацию и достигается равнопрочность прослойки в составе соединения с основным металлом, определяются соответственно по формулам:

$$\varkappa_т = \frac{1}{\alpha\left(K_т - \frac{\pi}{4}\right)3\sqrt{3}}, \qquad (13)$$

$$\varkappa_в = \frac{1}{\alpha\left(K_в - \frac{\pi}{4}\right)3\sqrt{3}} \qquad (14)$$

3.7. Если какой-либо из металлов (М) или (Т) целиком занимает объем прослойки (θ = I, θ = 0), то из соотношений (8) - (II) α = I, и зависимости (3) - (7) совпадают с расчетной оценкой предела текучести и предела прочности мягких прослоек из однородного материала для осесимметричной деформации. При равенстве прочностных свойств металлов прослойки ($\sigma^т = \sigma^м$) α = I. Аналогично получается расчетная оценка однородной мягкой прослойки (случай осесимметричной деформации).

4. ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СВАРНЫХ СТЫКОВ С МЯГКИМИ КОМПОЗИТНЫМИ ШВАМИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

4.I. С целью повышения работоспособности сварных кольцевых соединений магистральных трубопроводов наряду с технологическими и экономическими соображениями необходимо учитывать действие эффекта контактного упрочнения.

4.2. В качестве одного из путей эффективного использования контактного упрочнения применительно к магистральным трубопроводам следует рекомендовать технологию сварки "композитными швами", где корневой слой шва выполняется "мягкими" электродами.

Основными параметрами, требующими учета при разработке вариантов сварки композитными швами, являются относительные геометрические размеры ($\mathcal{K}, \theta$) и коэффициенты механической неоднородности (K_c , $K_в$) характерных участков композитного соединения.

4.3. При заданной композиции наплавленного металла, агрегатные прочностные свойства которого ниже по сравнению с основным металлом, следует рекомендовать повышение прочности мягкого композитного шва путем уменьшения его эквивалентной относительной ширины $\mathcal{K}_э$.

В этом случае оценку прочности мягкого композитного шва и величину $\mathcal{K}_в$, при которой достигается равнопрочность шва и основного металла, следует производить согласно пп. 3.2-3.4 и 3.6. Такой способ повышения прочности мягкого композитного шва наиболее эффективен, если шов сохраняет достаточную пластичность (Ψ не менее 40-50%).

4.4. При назначении технологии сварки необходимо учитывать характер влияния степени механической неоднородности и контактного упрочнения в зависимости от формы разделок кромок основного металла.

При большом различии прочностных свойств мягкого корневого шва и основного металла рекомендуется применять 2-й и 3-й типы форм разделок кромок (см.рис.I), поскольку при одной и той же толщине стенки эквивалентная относительная ширина композитного шва $\mathcal{K}_э$ с U и Х-образной формой кромок меньше, и, как следствие, его прочность выше, чем у швов с V -образной разделкой кромок.

При необходимости сварки швами с V -образной формой кромок (например, при сварке трубопроводов с толщиной стенки I0 мм) следует заполняющие слои сваривать электродами, обеспечивающими прочность металла шва не ниже прочности основного металла.

4.5. Регулирование прочностных свойств композитного материала шва следует осуществлять за счет изменения доли мягкого металла и соотношения прочностных свойств металлов, входящих в мягкий и твердые слои.

Толщина мягкого корневого слоя шва в радиальном направлении должна быть минимально возможной и не должна превышать 40% от толщины стенки.

Для сварки заполняющих швов (твердых слоев) следует применять электроды, наплавленный металл которых по прочностным свойствам близок к основному металлу.

4.6. При проектировании сварных соединений с композитными швами необходимо учитывать степень механической неоднородности материалов, входящих в состав соединения, и способы их сварки.

При электродуговой сварке магистральных трубопроводов для обеспечения максимально возможной ширины корневого шва (мягкого слоя), при которой еще сохраняется равнопрочность сварного соединения с основным металлом, необходимо, чтобы разница в прочностных свойствах композитного и основного материалов не превышала 20%.

4.7. При большом различии прочностных свойств основного металла и композитного металла шва (при больших значениях коэффициента агрегатной механической неоднородности K_β) и заданной постоянной доле мягкого слоя θ относительная ширина шва $\varkappa_э$, обеспечивающая равнопрочность сварного соединения основному металлу, может оказаться настолько малой ($\varkappa_\beta < 0{,}3$), например для стенки трубопровода толщиной 10 мм, что возникнут технологические трудности при сварке. При этом возрастает опасность хрупкого разрушения по тонкому шву, особенно при недостаточно высокой пластичности его металла.

В этом случае для уменьшения коэффициента агрегатной механической неоднородности, позволяющего вести сварку широкими швами, равнопрочными основному металлу, следует идти по пути максимального увеличения доли твердого слоя с условием сохранения высокой технологической прочности при сварке корневого шва.

4.8. В условиях, когда равнопрочность композитного шва основному металлу технологически не осуществима (при их большой степени механической неоднородности), для повышения сопротивляемости хрупким разрушениям рекомендуется увеличивать относительную ширину шва за счет увеличения зазора между кромками в стыке и ограничивать верхний уровень прочности основного металла. Прочность сварного соединения при этом следует повышать путем увеличения рабочего сечения шва, обеспечивая при этом плавный переход усиления шва к основному металлу.

4.9. Для более полного проявления эффекта контактного упрочнения и реализации переноса места потенциально возможного разрушения с композитного шва на основной металл рекомендуется сохранять участки в околошовной зоне термического влияния с повышенной против основного металла (на 15–25%) твердостью и минимально необходимым запасом пластичности.

Это следует учитывать при разработке технологии сварки, назначении режимов возможной термообработки соединения, а также при планировании последующих технологических пределов (ремонтных работ, огневой резки и т.д.).

4.10. При сварке композитными швами магистральных трубопроводов из сталей повышенной прочности необходимо ужесточить требования к колебанию прочностных свойств основного металла. Разница между нижним и верхним уровнями предела прочности основного металла должна быть минимальной.

4.11. В тех случаях, когда для обеспечения равнопрочности соединения приходится применять достаточно тонкие мягкие композитные швы, у которых $\mathscr{l}_э \leq 0{,}4$, следует обращать особое внимание на предупреждение технологических дефектов в шве (несплавления, шлаковые включения, непровары и др.).

5. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ С КОМПОЗИТНЫМИ ШВАМИ

5.1. Общий порядок проведения механических испытаний контрольных стыков с композитными швами магистральных трубопроводов осуществляется в соответствии с инструкцией ВСН-2-39-72.

5.2. При проведении механических испытаний сварных образцов с композитными швами необходимо учитывать особенности влияния на их результаты контактного упрочнения и степени механической неоднородности.

Результаты испытаний образцов с композитным швом считаются сопоставимыми между собой только в том случае, если их относительные размеры $\mathscr{l}_э$ и коэффициенты механической неоднородности ($K_c, K_в$) одинаковы и подсчитываются по формулам (2) – (11) пп. 3.1–3.4.

5.3. При сравнении результатов испытаний различных по размерам образцов, вырезанных из сварных соединений с композитным

швом, абсолютные размеры характерных участков необходимо приводить к их относительным – $\varkappa_э\,\theta$. В случае вязкого разрушения сопоставление прочности композитных швов можно производить с учетом формул (2) – (I4) пп. 3.2–3.6.

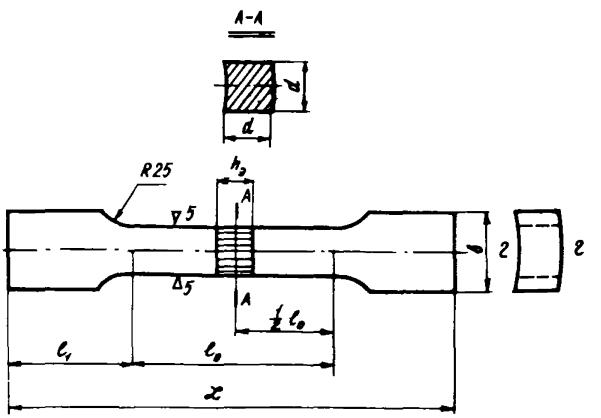

Рис.5. Чертеж образца с композитным швом для испытаний на разрыв

Таблица

Толщина основного металла (d), мм	Ширина рабочей части образца, мм	Базовая длина образца (ℓ_0), мм	Ширина захватной части образца (b), мм	Общая длина образца ($\varkappa$), мм
I0	I0	I00	I8	$\varkappa=\ell_0+2\ell_1$
20	20	200	30	ℓ_1 – длина захватной части образца, которая устанавливается в зависимости от конструкции испытательной машины
30	30	300	40	

5.4. Для экспериментальной оценки реальной прочности натурных сварных соединений с композитным швом необходимо испытывать образцы со снятым усилением. Размеры образцов должны соответствовать данным рис.5 и таблицы. По результатам испытаний образцов (компактное сечение) оценивают прочность сварного соединения.

5.5. Реальные размеры ширины шва и толщины мягкого слоя определяют при травлении поверхности шлифа-образца. Соотношение механических свойств в шве оценивают по распределению твердости в поперечном сечении шва. Реальные прочностные свойства в каждом слое могут быть определены одним из безобразцовых методов.

ПРИМЕР РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА ВЯЗКУЮ ПРОЧНОСТЬ КОЛЬЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Стык труб из легированной стали повышенной прочности с $\sigma_в^{ОМ}$ равной 70 кгс/мм^2 и толщиной стенки 20 мм сварен мягким композитным швом. Разделка U -образная (на рис.I 2-ой тип). Чередование мягких и твердых слоев в сварном шве выполнено по схеме М-Т. Корень шва заварен электродом УОНИ-I3/55, обеспечивающим предел прочности наплавленного металла на уровне 50 кгс/мм^2. Предел прочности металла заполняющих слоев равен 60 кгс/мм^2. В зонах термического влияния, окружающих шов, имеют место прослойки с повышенной твердостью.

С учетом технологических соображений согласно п. 4.5 примем толщину корневого шва (мягкого слоя) $d_м$ равной 5 мм.

Следует определить эквивалентную ширину шва, обеспечивающую равнопрочность сварного соединения основному металлу.

Расчет производим в следующей последовательности.

Доля мягкого слоя $\theta = \frac{d_м}{d} = \frac{5}{20} = 0{,}25.$

Временное сопротивление наплавленного композитного материала определяем по формуле (6) п. 3.3 :

$\sigma_в^к = \sigma_в^т(1-\theta) + \sigma_в^м\theta = 60(1-0{,}25)+50\cdot0{,}25 = 57{,}5$ кгс/мм^2.

Коэффициент межслойной механической неоднородности

$$K_c = \frac{\sigma_в^т}{\sigma_т^м} = \frac{60}{50} = 1{,}20.$$

Коэффициент агрегатной механической неоднородности

$$K_в = \frac{\sigma_в^{ОМ}}{\sigma_в^к} = \frac{70}{57{,}5} = 1{,}22.$$

При заданном соотношении механических свойств и размеров мягкого слоя (см. п. 3.4) выполняется неравенство:

$$\theta = 0{,}25 < \frac{K_c}{1+K_c} = 0{,}545.$$

Поэтому коэффициент d определяется по зависимости (8) п. 3.4:

$$\alpha = \frac{1-(1-\frac{1}{K_c})\theta}{1+(1-\theta)^2-(1-\frac{1}{K_c}\theta)^2} = \frac{I-(I-\frac{I}{I,20})\,0,25}{I+(I-0,25)^2-(I-\frac{I}{I,20}\cdot 0,25)^2} = I,025.$$

Эквивалентную ширину шва, с уменьшением которой достигается равнопрочность сварного соединения с основным металлом, определяем по формуле (I4) п. 3.6.

$$\mathcal{X}_в = \frac{1}{\alpha\,3\sqrt{3}\,(K_в - \frac{\pi}{4})} = \frac{I}{I,03\cdot 3\sqrt{3}\,(I,22-0,785)} = 0,43.$$

Абсолютная эквивалентная ширина композитного шва равна

$$h_э = \mathcal{X}_э\,\delta = 0,43\cdot 20 = 8,6 \text{ мм}.$$

Таким образом, равнопрочность основному металлу $\sigma_в^{ом}$ = 70 кгс/мм^2 сварного соединения с композитным швом обеспечивается при $h_э \leq 8,6$ мм.

Если заполняющие твердые слои заварены электродами, обеспечивающими прочность металла шва, равным временному сопротивлению основного металла ($\sigma_в^{т} = \sigma_в^{ом}$ = 70 кгс/мм^2, $K_в$ = I,075, α = I,04), то $\mathcal{X}_э = \frac{I}{I,04\cdot 3\sqrt{3}(I,075-0,785)} = 0,64$;

$h_э$ = 0,64·20 = I2,8 мм.

Если сварной шов выполнен только мягкими электродами (θ = I; α = I; $K_в$ = I,40), то

$$\mathcal{X}_э = \frac{I}{3\sqrt{3}\,(I,40-0,785)} = 0,3I; \qquad h_э = 0,3I\cdot 20 = 6,2 \text{ мм}.$$

ЗНАЧЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ШИРИНЫ СВАРНОГО КОМПОЗИТНОГО ШВА $h_э$ (мм) ДЛЯ НОРМАЛЬНОГО РЯДА НОРМАТИВНЫХ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕЙ И ТОЛЩИН СТЕНОК МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ (табл.I и 2)

($\sigma_в^{ом}$ = 50, 60 и 70 кгс/мм^2; δ = I0, 20 и 30 мм)

Таблица I

Величина $h_э$, мм

d , мм	$\sigma_в^{ом}$, кгс/мм^2		
	50	60	70
I0	∞	5,2	4,I
20	∞	I0,3	9,7
30	∞	I6,8	I5,4

Примечания. I. Предел прочности твердого металла заполняющих слоев $\sigma_в^{т} = 0{,}9\sigma_в^{ом}$
2. Предел прочности мягкого металла корневого шва $\sigma_в^{м} = 50$ кгс/мм^2.
3. Толщина мягкого корневого шва постоянна и равна $d_м = 5{,}0$ мм.
4. Знак ∞ указывает на отсутствие ограничений на ширину шва.

Таблица 2

Величина $h_э$, мм

d , мм	$\sigma_в^{ом}$, кгс/мм^2		
	50	60	70
I0	∞	6,I	5,0
20	∞	I4,5	II,4
30	∞	23,3	2I,0

Примечания: I. $\sigma_в^{т} = \sigma_в^{ом}$.
2. Пункты 2,3,4 те же, что и в примечании к табл.I.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Общие положения 4
2. Механическая неоднородность и общие закономерности ее влияния на поведение сварных соединений 5
3. Методика расчетной оценки влияния механической неоднородности сварных кольцевых соединений на их вязкую прочность при статическом нагружении 9
4. Основные рекомендации по применению сварных кольцевых стыков с мягкими композитными швами в магистральных трубопроводах I2
5. Особенности проведения механических испытаний образцов с композитными швами I5
Приложение I8

Р е к о м е н д а ц и и
по повышению работоспособности сварных соединений магистральных трубопроводов
Р I55-74

Издание ОНТИ ВНИИСТа
Редактор А.И. Зарецкая Корректор В.И. Кавкова
Технический редактор Т.В. Берешева
Л-74081 Подписано в печать 26.УП.1974 г. Формат 60х84/16
Печ.л. I,5 Уч.-изд.л. I,0 Усл.печ.л. I,3
Тираж 350 Цена I0 коп. Заказ 227
отапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru