РД 102-32-85

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
„ВНИИСТ"

МОСКВА

gost.e-ecolog.ru

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности

Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов

В НИИС Т

СОГЛАСОВАНО

Начальник Государственной инспекции по качеству строительства Миннефтегазстроя

А.С.Бояринов

"16" октября 1984 г.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Главного технического управления Миннефтегазстроя

О.М.Иванцов

"10" декабря 1984 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

РД 102-22-85

Директор ВНИИСТ

А.М.Зиневич

"10" 09 1984 г.

Москва 1984 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

1. Общие положения 4
2. Правила установления технологических допусков. 7
3. Классификация дефектов при производстве сварочно-монтажных работ 17
4. Показатели точности сварочно-монтажных работ 23
5. Требования к точности измерений контролируемых параметров 27
6. Достоверность производственного контроля качества сварочно-монтажных работ 30
7. Выбор методов и средств неразрушающего контроля качества при производстве сварочно-монтажных работ. 32
8. Приложения 35

А Н Н О Т А Ц И Я

Настоящие указания содержат общие принципы и методы нормирования технологической точности и метрологического обеспечения сварочно-монтажных работ. Рассмотрены количественные критерии качества и требуемой точности измерений на различных этапах производства сварочно-монтажных работ. Даны рекомендации по выбору методов и средств измерений с учетом регламентированных допусков на технологические параметры сборки стыка, процесса сварки, а также требований к качеству сварных соединений.

Методические указания предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой технологических требований в области сварки трубопроводов, специалистов по метрологии и производственному контролю сварочно-монтажных работ.

Указания разработаны сотрудниками НИИСТ С.И.Молдаванова, В.Н.Шишова, И.В.Бочковой, Р.Р.Хакимьянова.

Руководитель группы строительной метрологии		В.И. Молдаванов
Младший научный сотрудник		В.Н. Шишов
Аспирант	Бочкова	И.В. Бочкова
Зав. лабораторией		Р.Р. Хакимьянов

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Руководящий документ Методические указания по нормированию технологической точности и метрологического обеспечения производства сварочно-монтажных работ при сооружении магистральных трубопроводов	РД 102-32-85 Введен впервые Разработан впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящие методические указания распространяются на разработку нормативных требований к точности производства сварочно-монтажных работ.

I.I. Технологическая точность производства сварочно-монтажных работ есть такая характеристика технологического процесса, которая определяет количественную меру возможности обеспечения заданного нормативного допуска изделия методами и средствами. Количественно технологическая точность может быть задана:

интервальной оценкой соотношения нормативного допуска (в абсолютных или относительных единицах измерения);

количеством параметров, для которых нормативный допуск обеспечивается с требуемой степенью достоверности.

I.2. Нормативный допуск Δ_H – абсолютная величина алгебраической разности между верхним X_B и нижним X_H предельными отклонениями формируемого параметра, регламентированного соответствующим нормативным документом:

$$\left.\begin{aligned} \Delta_H &= |X_B - X_H| \\ X_B &= X_N + \Delta_{HB} \\ X_H &= X_N - \Delta_{HH} \end{aligned}\right\} \qquad (I)$$

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), отдел качества, метрологии и стандартизации	Утверждены Главнефтегазстроем "10" 12 1985	Срок введения сентября I января 1986 г.

где: X_N – номинальное значение параметра,

Δ_{HB}, Δ_{HH} – соответственно верхнее и нижнее допускаемые отклонения; $\Delta_H = \Delta_{HB} + \Delta_{HH}$

I.3. Нормативный допуск на любой параметр сварочно-монтажных работ является компромиссом, удовлетворяющим трем основным условиям: функциональному назначению, технологическому формированию, метрологическому обеспечению. В этой связи нормативный допуск может рассматриваться в виде интегральной оценки трех компонент

$$\Phi [f_\Phi, f_T, f_M] = 0 \qquad (1)$$

где: f_Φ, f_T, f_M – соответственно характеристики (или показатели) функционального назначения, технологического и метрологического обеспечения;

Φ – символ функционала.

I.4. Основное функциональное назначение сварного соединения – обеспечивать необходимую долговременную прочность и герметичность трубопроводной конструкции в процессе эксплуатации. Поэтому составляющие характеристики функционального назначения $f_{\Phi i}$ сварного соединения должны быть увязаны с допусками $\Delta_{\Phi i}$ на формирующие рабочие параметры $\sum_{j=1}^{n} X_j$, т.е.

$$\sum_{j=1}^{n} X_j [f_{\Phi i} (\Delta_{\Phi j})]$$

I.5. При обосновании функциональной составляющей нормативного допуска Δ_Φ следует прежде всего иметь ввиду, что наибольшее влияние на снижение механических значений пределов выносливости сварного шва оказывают дефекты типа пор, подрезов и непроваров. Такое снижение по указанным видам дефектов находится в пределах:

при наличии пор – до 23%;

при наличии подрезов (глубиной свыше ,5 мм) – до 42%;

при наличии непроваров (начиная с глубины I мм) – до 64%.

I.6. Для обоснования нормативного допуска по технологическим критериям формирования рабочих параметров на различных этапах сварочно-

но-сборочных работ необходимо учитывать взаимосвязь между характеристиками технологического обеспечения f_{Ti} этих работ с допусками Δ_{Tj} на формируемые параметры, т.е.

$$\sum_{j=1}^{n} x_j \left[f_{Ti} (\Delta_{Tj}) \right]$$

I. . На оценку фактического значения формируемого рабочего параметра сборочно-монтажных работ существенное влияние оказывает технология и организация измерений и контроля. Поэтому при регламентировании нормативного допуска необходимо также иметь зависимость, связывающие характеристики метрологического обеспечения f_{Mi} сборочно-монтажных работ с допусками на формируемые параметры Δ_{Mj} . т.е.

$$\sum_{j=1}^{n} x_j \left[f_{Mi} (\Delta_{Mj}) \right]$$

I.3 Условие оптимального нормирования параметров сборочно-монтажных работ заключается в том, чтобы обеспечить их гарантированное выполнение в пределах установленного нормативного допуска $\Delta_H (\Delta_{Hf}, \Delta_{HT}, \Delta_{HM})$. Критерием такой гарантии служит назначенный коэффициент запаса соответственно:

K_f – по функциональному назначению, зависящий от уровня дефектов, отбраковок, возвратов, влияющих на снижение функциональных свойств сварного соединения;

K_T – по технологическому обеспечению, зависящий от неоднородности сварочных материалов, конструктивных элементов сварочного оборудования, режимов и др.;

K_M – по метрологическому обеспечению, характеризующий возможность отступлений от расчетных метрологических свойств средств и методик измерения.

$$\left.\begin{aligned} \Delta_{Hf} &= \frac{\Delta_f}{K_f} \;, \quad K_f > 1 \\ \Delta_{HT} &= K_T \Delta_T \;, \quad K_T > 1 \\ \Delta_{HM} &= K_M \Delta_M \;, \quad K_M > 1 \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где $\Delta_{нф}, \Delta_{нт}, \Delta_{нм}$ – нормативные значения допуска $\Delta_н$, установленного соответственно по функциональному, технологическому и метрологическому критериям.

Частные допуски $\Delta_ф, \Delta_т, \Delta_м$ определяются в результате специальных исследований влияния основной характеристики вида $f_ф, f_т, f_м$ на фактические отклонения рабочих параметров.

Вид функциональной связи величины частных допусков и их нормативных значений может быть волнообразным и устанавливается путем специальных исследований.

I.9. Устанавливаемые в нормативно-технической документации показатели и нормы точности средств измерений и контроля параметров сварочно-монтажных работ, способы обработки данных измерений, формы представления результатов контроля и контрольные нормативы должны быть унифицированы и соответствовать установленным требованиям.

I.I0. Используемое технологическое и контрольно-измерительное оборудование должно быть аттестовано и обеспечивать воспроизведение необходимых режимов и условий производства работ.

I.II. Методы и средства метрологического обеспечения измерений рабочих параметров должны обеспечивать получение результатов на всех этапах производственного контроля с требуемой точностью и достоверностью.

I.I2. Предельные отклонения и допуски на параметры и показатели качества сварочно-монтажных работ должны назначаться с учетом возможности обеспечения требуемых точности и достоверности результатов контроля, нестабильности этих параметров и неоднородности формируемых конструкций.

2. ПОРЯДОК УСТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ

2.I. Технологические допуски на параметры сварочно-монтажных работ определяют с учетом общих требований по оптимальному подбору

ния (п.I.3) путем задания величин нормативного допуска и его корректирования в соответствии с найденными коэффициентами запаса:

по функциональному назначению:

$$K_f = \frac{P_f}{P_H} \; ; \quad K_f = \frac{\sigma_{e.ф}}{\sigma_{eн}} \; ; \quad K_f = \frac{\sigma_{-1ф}}{\sigma_{-1н}} \; ; \tag{4}$$

где: $P_ф, \sigma_{eф}, \sigma_{-1ф}$ – фактические показатели функционального назначения, выражающие соответственно вероятность безотказной работы (вероятность неразрушения), предел прочности и предел выносливости сварного соединения;

$P_н, \sigma_{e.н}, \sigma_{-1н}$ – нормативные значения показателей,

по технологическому обеспечению:

$$K_T = \frac{T_ф}{T_н} \tag{5}$$

где: $T_ф \; T_н$ – соответственно фактическое и нормативное время, затрачиваемое на выполнение конкретной технологической операции;

по метрологическому обеспечению:

$$K_м = \frac{\Delta_{пф}}{\Delta_{пн}} \tag{6}$$

где: $\Delta_{пн}, \Delta_{пф}$ – соответственно нормативное и фактическое значения суммарной погрешности измерения.

2.2. Нормативные значения частных допусков $\Delta_{нf} \cdot \Delta_{нT} \cdot \Delta_{нм}$, как правило находятся в противоречивых соотношениях. При нахождении общего нормативного допуска $\Delta_н$ на конкретный параметр можно определить его приближенное значение по выражению

$$\Delta_н \approx opt\,(\Delta_{нf}, \Delta_{нT}, \Delta_{нм}) \tag{7}$$

где: $opt\,(\Delta_{нf}, \Delta_{нT}, \Delta_{нм})$ – среднее взвешенное значение допуска по трем составляющим.

Геометрическая интерпретация равенства (7) представлена на рис.I (а,б).

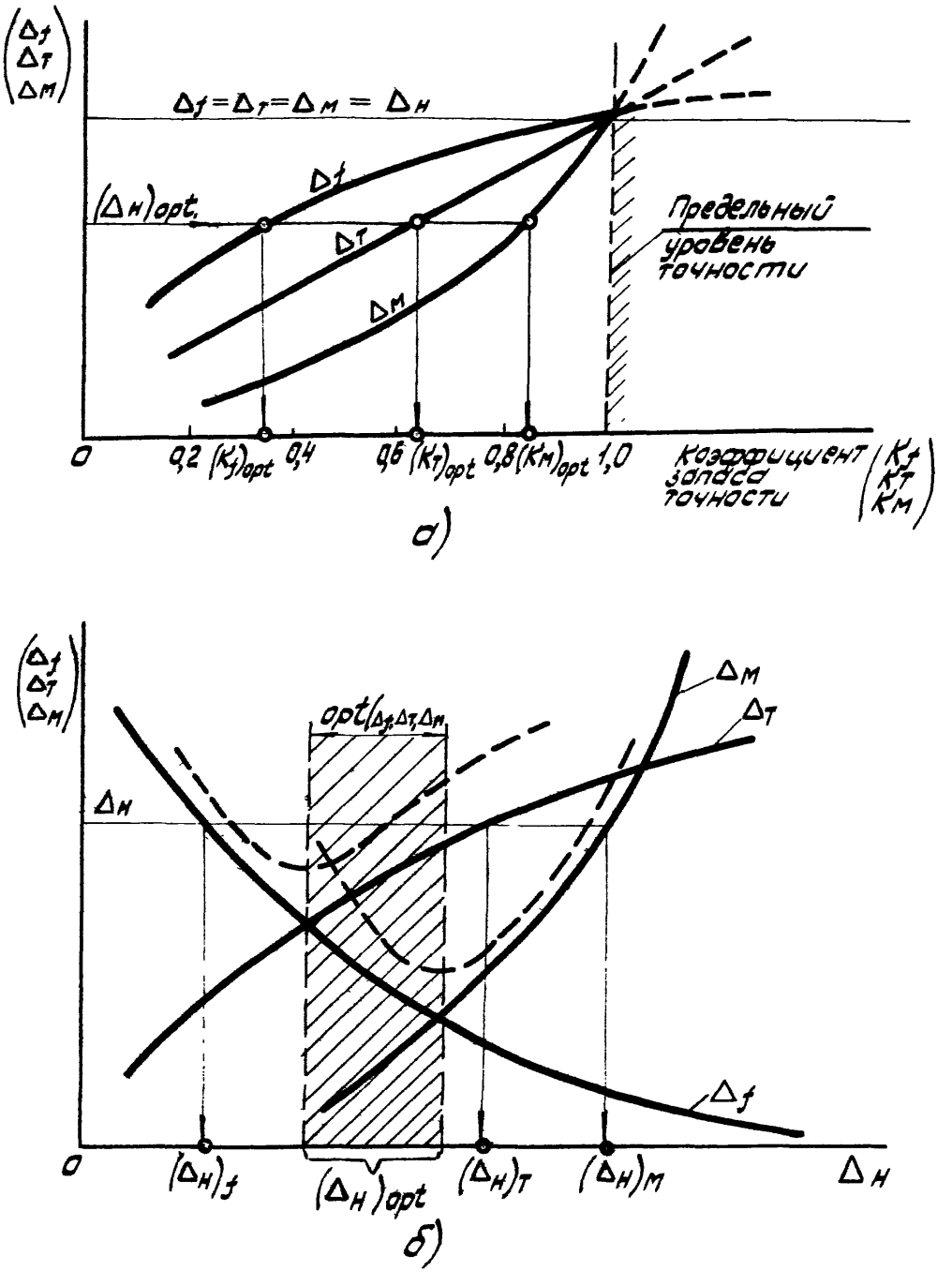


Рис. Геометрическое представление нормативного допуска:

а) по функциональному изменению запаса точности;

б) по соотношению частных составляющих допуска

2.3. Определение допуска по функциональному назначению производится с позиции допустимой изменчивости основных свойств, составляющих качество сварного соединения,

– прочности, герметичности, надежности и т.п. Регламентируемые свойства сварного соединения характеризуются:

–показателями физико-механических свойств, определяемых при испытаниях образцов или натурных испытаниях трубопроводных конструкций (пределы текучести, прочности, вязкости и т.д.);

– показателями несплошности и неоднородности структуры шва (количество, размеры, ориентация и т.д.).

2.4. Мерой надежности сварных соединений является вероятностная оценка средней доли соединений, выдерживающих заданную эксплуатационную нагрузку Q_i в течение интервала времени Δt. Для случая статического нагружения такая оценка имеет вид

$$P(Q_k > Q_i) = \int_{Q_i}^{\infty} f(Q)\,dQ \qquad (8)$$

где: $f(Q)$ – плотность вероятностей показателя прочности сварного соединения,

Q_k – показатель нормативной прочности.

В тех случаях, когда распределения прочности и нагрузки не противоречат нормальному закону, уравнение /8/ приводится к расчетной зависимости

$$P(Q_k > Q_i) = 1 - \Phi\left(\frac{\bar{Q}_i - \bar{Q}_k}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_k^2}}\right) = \Phi\left(\frac{\bar{Q}_k - \bar{Q}_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_k^2}}\right), \qquad (9)$$

где $\bar{Q}_k = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} Q_j$ – средняя величина прочности генеральной совокупности сварных соединений;

$\sigma_k^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(Q_j - \bar{Q}_k)^2$ дисперсия прочности.

2.5. В тех случаях, когда имеет место значительный (более 10%) разброс показателей физико-механических свойств сварных соединений (определяется при контроле допускаемых отпусков при аттестации сварщи-

ков), а также при наличии динамических нагрузок сосредоточенного и распределенного вида, среднее значение числового критерия прочности Q_k имеет порядок среднеквадратических отклонений σ_k, т.е.

$$\sigma_k \approx \bar{Q}_k \qquad (10)$$

а надежность сварных соединений определяется как

$$P(Q_k > Q_c) = \Phi(K_f \cdot 1) \qquad (11)$$

где: $K_f = 1 + \frac{\bar{Q}_k - \bar{Q}_c}{\sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_k^2}}$ – коэффициент запаса по функциональному назначению, характеризующий в данном случае статистический запас прочности.

Значения вероятности неразрушения сварного соединения P для заданных коэффициентов запаса K_f приведены в таблице I.

Таблица I

K_f	I,0	I,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
P	0,50	0,69I	0,84I	0,933	0,977	0,994	0,999

Определение коэффициента запаса по функциональному назначению в соответствии с пп.2.4, 2.5, 2.6 справедливо только в том случае, когда можно пренебречь наличием возможных дефектов сварного шва.

2.6. Основным принципом оценки надежности сварных соединений при наличии дефектов является выполнение условия неприступности предельного состояния, которому отвечают дефекты шва с критическими размерами

$$R(z_1, z_2, \ldots z_n) - S(S_1, S_2, \ldots S_n) \geq 0 \qquad (12)$$

где: $S(S_1, S_2, \ldots S_n)$ – величина, характеризующая напряженное состояние сварного соединения, имеющего дефекты;

$R(z_1, z_2, \ldots z_n)$ – величина, характеризующая несущую способность сварного соединения (измеряется в тех же еди-

ниях, что и S).

Нормы допустимости дефектов сварных соединений (практические значения дефектов) по СНиП I-42-80.

Параметры r_i , S_i являются случайными величинами, закон распределения которых может быть выражен или некоторой совместной плотностью распределения $f(r_i, S_i)$, или, в случае независимости параметров, произведением плотностей распределения отдельных параметров $f(r_i)$, $f(S_i)$, полученных теоретическим или опытно-статистическим путем с учетом условий применимости законов распределения (Приложение 3).

2.7. Определение допуска по технологическому обеспечению производства сварочно-монтажных работ осуществляется с учетом показателей точности технологического процесса, обуславливающего близость действительных и номинальных значений формируемых параметров.

Показателями точности являются величины, количественно характеризующие точность технологического процесса: допуски на геометрические параметры подготовки стыка под сварку, параметры процессов сварки и др.

2.8. Показатели точности технологического процесса сварочно-монтажных работ должны обеспечивать постоянство распределений вероятностей параметров процесса в течение заданного интервала времени (периода строительства).

2.9. Фактические показатели точности по каждой из технологических операций производства сварочно-монтажных работ функционально зависимы от ранга формирования рабочего параметра. В дискретном ранге формирования фактические значения показателей точности технологического процесса являются случайными величинами, а в непрерывном - (включая автоматизированные и автоматические процессы) - случайными функциями. Для автоматических процессов сварки понятия стабильности процесса (постоянство распределений вероятностей его параметров на заданном временном интервале) и стохастичности (относительной одно-

рядности) совпадают. При этом технологический процесс считается удовлетворяющим требованию точности, если фактические значения формируемых параметров не выходят за пределы установленного допуска $\Delta_{нт}$.

2.10. Допуск по технологическому обеспечению $\Delta_т$ геометрических параметров сварочно-монтажных работ вычисляется по формуле

$$\Delta_т = K \cdot i \qquad (13)$$

где: i – единица допуска, характеризующая зависимость допуска от величины нормируемого размера (12);

K – коэффициент точности, равный количеству единиц допуска, устанавливаемому для каждого класса точности.

Величина единицы допуска для линейных размеров (зазор, смещение кромок, притупление и т.д.) определяется по формуле

$$i = (0{,}8 + 0{,}001\sqrt[3]{L^2}) / (\sqrt[3]{L} + 0{,}01\sqrt[3]{L^2}), \qquad (14)$$

где: L – номинальный размер параметра, мм.

Значения коэффициента K для классов точности по ГОСТ 21779-76 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Интервалы номинальных размеров L, мм	Классы точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	величина допуска								
до 20	0,2	0,4	0,6	1,0	1,6	2,6	–	–	
20-60	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	–	
60-120	0,4	0,6	1,0	1,6	2,6	4,0	6,0	10	
120-200	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	
Значения	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,0	1,6	2,5	

2.11. При сборке стыка под сварку допуск по технологическому обеспечению должен определяться вероятностным методом расчета, обеспечивающим при соблюдении условия полной собираемости по ГОСТ 21780-76 не менее 99,73%.

2.I2. Определение допуска по метрологическому обеспечению Δ_M осуществляется с учетом возможного риска изготовителя и заказчика, определяющих соответственно вероятности ложного и пропущенного (в процессе контроля) брака. Величина допуска Δ_M численно равна суммарной погрешности, обусловленной методической погрешностью измерения и собственно инструментальной погрешностью используемого средства измерения.

2.I3. При регламентированных значениях общего нормативного допуска его составляющая по метрологическому обеспечению определяется по формуле

$$\Delta_M = K_M \Delta_{II} \qquad (16)$$

где: K_M – коэффициент запаса по метрологическому обеспечению (выбирается из таблицы 3 с учетом заданной вероятности необнаруженного брака – риска заказчика).

Таблица 3

Вероятность необнаруженного брака P_B, %	Коэффициент запаса по метрологическому обеспечению K_M
1	2
0,45	0,05
0,50	0,10
1,00	0,20
2,25	0,25
2,75	0,30
3,4	0,35
3,85	0,40
4,3	0,45
4,75	0,50

Область нормативных значений в поле общего допуска может быть оценена по значениям:

– предельных отклонений измеряемой величины

$$\Delta_{н} = \delta_{в} - \delta_{н} \qquad (17)$$

где: $\delta_{в}, \delta_{н}$ – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения;

– пределов изменения измеряемой величины

$$\Delta_{н} = X_{в} - X_{н} \qquad (18)$$

Формула (15) справедлива только при регламентированных отклонениях по (16).

2.14. Для регламентированных пределов изменения измеряемой величины допуск по метрологическому обеспечению определяется по формуле

$$\Delta_{м} = K_{м} \cdot \frac{X_{н}}{X_{в}} \, 100\% \qquad (19)$$

Значения метрологических характеристик приборов, в частности, значения пределов измерений контролируемых параметров, которые в среднем на 30% превышают значения пределов изменения ($X_{н}$ и $X_{в}$) измеряемых величин в процессе сварочно-монтажных работ, приведены в таблице 4.

Таблица 4.

№ пп	Контролируемый параметр	Пределы измерения: минимальный	Пределы измерения: максимальный	Суммарная погрешность измерения, %	Средства измерений
1	2	3	4	5	6
1.	Температура сушки сварочных материалов, °С	80	500	10	Термометры, термопары
2.	Эксцентричность покрытия электродов, мм	0,12	0,25	10	Тангенциркульмеры
3.	Дефекты покрытия электродов, мм	0	10	5	Тангенциркули, тангенциркульмеры, линейки
4.	Дефекты поверхности	0	5	10	Шаблоны, тангенциркульмеры

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6
	стенки трубы,мм				линейка,ультразвуковой толщиномер.
5.	Овальность трубы по любому сечению,%	0	5	5	Шаблон,рейка,нивелирные,рулетки,линейки
6.	Угол скоса кромок под сварку, град.	10	60	5	Шаблон сварочный
7.	Зазор между кромками свариваемых труб,мм	0	4	5	Шаблон сварочный, линейка,щуп
8.	Разностенность свариваемых труб, мм	0	7	10	Штангенциркули, штангенрейсмасы,и
9.	Притупление кромок,мм	0,5	5	5	Шаблон сварочный, штангенциркуль,линейки
10.	Превышение кромок,мм	0	3	10	Шаблон сварочный, штангенрейсмасы,и
11.	Температура подогрева труб,	100	200	5	Термокарандаши, термометры
12.	Ширина торцов свариваемых труб,град.	0	5	10	Шаблон специальный, угломеры,транспортир
13.	Сила сварочного тока,А	50	1000	3	Амперметры
14.	Напряжение на дуге,В	20	30	3	Вольтметры
15.	Скорость сварки,м/ч	10	70	5	Линейка,секундомер, рулетки
16.	Угол наклона электрода в процессе,град	0	30	3	Шаблон сварочный, угломер,транспортир
17.	Вылет электрода,мм	25	65	10	Штангенциркуль,линейка
18.	Смещение электрода с оси, мм	0	200	5	То же
19.	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	100	600	5	Секундомер,рулетки, линейки
20.	Толщина корневого валика,мм	0	70	5	Шаблон сварочный, линейка
21.	Ширина шва,мм	5	30	4	Шаблон сварочный, штангенциркуль,линейка

Окончание таблицы 4.

I	2	3	4	5	6
22.	Высота усиления шва, мм	I	5	I0	Шаблон сварочный штангенглубиномер
23.	Смещение кромок после сварки, мм	0	5	I0	Шаблон специальный, линейка
24.	Наружные дефекты шва (глубина), мм	0	I	I0	Шаблон сварочный штангенглубиномер щупы
25.	Длина непровара, мм	0	750	3	Штангенциркуль, линейка
26.	Ширина внутреннего дефекта, мм	0	5	5	Линейка, лупа измерительная
27.	Экспозиционная доза рентгеновского излучения ($2{,}58 \cdot 10^{-4}$ $\frac{Кл}{кг}$)	0	I0	5	Радиометры
28.	Напряжение на ускоряющем аноде рентгеновской трубки, кВ	I00	300	I0	Киловольтметры
29.	Мощность экспозиционной дозы излучения на расстоянии 1м рентген/с ($2{,}58 \cdot 10^{-4}$ $\frac{Кл}{кг}$)	$I{,}0 \times I0^{-2}$	$4{,}0 \times I0^{-2}$	5	Радиометры, дозиметры, секундомер
30.	Период полураспада (ПЛП), годы	0,2	30	-	-
31.	Предельно допустимая сменная (Ом) доза облучения, Р или бер	0	0,02	5,0	Дозиметры

2.I5. Измерения следует производить измерительными средствами с ценой деления шкалы, не превышающей значения среднего квадратического отклонения контролируемого параметра. В тех случаях, когда среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра неизвестно, можно пользоваться его ожидаемым значением.

2.I6. Мерой обусловленности технологического брака с нормированной степенью возможности P = 0,9 является соотношение

$$P\left(\frac{\Delta_{нф}}{\Delta_{н}} \leq \frac{\Delta_{нм}}{\Delta_{нф}}\right) \leq 0{,}9 \qquad (20)$$

$$P\left(\frac{\Delta_{нф}}{\Delta_{н}} \leq \frac{\Delta_{нт}}{\Delta_{нф}}\right) \leq 0{,}9$$

Соответственно отсутствие технологического брака с нормированной

степенью гарантии $P = 0,9$ определяются условиями:

$$\left.\begin{aligned} P\left(\frac{\Delta_{нф}}{\Delta_н} \le \frac{\Delta_{нм}}{\Delta_{нф}}\right) &\ge 0,9 \\ P\left(\frac{\Delta_{нф}}{\Delta_н} \le \frac{\Delta_н}{\Delta_{нф}}\right) &\ge 0,9 \end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

Общее требование правильной организации технологического процесса сварочно-монтажных работ должно отвечать условию

$$\Delta_м < (\Delta_т \ge \Delta_ф) \qquad (22)$$

или с заданной нормативной вероятностью P^*

$$P(\Delta_м < (\Delta_т \ge \Delta_ф)) \ge P^* \qquad (23)$$

2.17. Соотношения между составляющими допуска $\Delta_{нм}$, $\Delta_н$, $\Delta_{нф}$ должны обеспечивать минимум ошибок I-го и 2-го рода.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

3.1. В соответствии с ГОСТ 19467-79 под дефектом подразумевается каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Применительно к сварочно-монтажным работам в широком смысле под дефектом следует понимать выход любого регламентированного параметра (показателя) за пределы допустимого значения.

Несоответствия требованиям технического задания (или технических условий) на сварочные материалы, оборудование, инструмент приравниваются к конструктивным дефектам. Несоответствия требованиям нормативной документации на сборку стыка, сварку, качество шва – относятся к производственным дефектам.

Если размер регламентированного параметра (показателя) не выходит за границы, установленные полем, то факт наличия дефекта не произошел (например, смещение кромок труб перед сваркой до 20% толщины стенки трубы, но не более 3 мм при ручных методах сварки или до 2 мм при стыковой сварке оплавлением не является дефектом).

3.2. Основными параметрами, характеризующими условия и режимы сварки

за пределы регламентированных норм является дефектами технологических режимов и брачовочными признаками, обусловливающими появление дефектов сварных соединений (например, выполнение сварочных работ при температуре воздуха ниже минус 50°С или при скорости ветра свыше 10 м/сек значительно повышает вероятность появления производственных дефектов).

3.3. Наличие конструктивных дефектов сварочных материалов обусловливает определенную вероятность P_K формирования дефектного сварного соединения (соединения, не отвечающего поставленному требованию хотя бы по одному из регламентированных показателей качества).

Если учесть, что каждый вид сварочных материалов, имеющий конструктивные дефекты, в принципе может стать причиной (источником) формирования дефектного сварного соединения ($Дс$), то вероятность P_K ($Дс$) будет зависеть от количества n_c номенклатурных единиц сварочных материалов.

С некоторой степенью допущения можно считать, что события формирования дефекта сварного соединения в результате наличия конструктивных дефектов по каждой из номенклатурных единиц сварочных материалов равновозможны. В этом случае можно воспользоваться следующей расчетной формулой для $P_K(Дс)$:

$$P_K(Д_c) = \sum_{i=1}^{n_c} P(K_i)\, P(Д_c/K_i), \quad \ldots \qquad (24)$$

где: $P(K_i) = \frac{1}{m}$ – вероятность формирования дефектного сварного соединения по любой из j-ой номенклатурной единицы сварочных материалов, имеющих конструктивный дефект ($j = 1, 2, 3 \ldots, n$);

$P(Д_c/K_i) = \frac{K}{c_i}$ – вероятность формирования дефектного сварного соединения по причине выхода за пределы установленной нормы K регламентированных параметров из общей их совокупности c по каждой i-ой номенклатурной единице сварочных материалов (количество конструктивных дефектов $K < c_i$). Для расчета величины $P_K(Дс)$ по формуле (24) общее количество номенклатурных единиц сварочных материалов может быть принято равным $m = 4$, значения c_i устанавливаются подготовленными доку-

монтаж на сварочные материалы, а значение K оценивается в процессе входного инструментального контроля лабораторией строительных организаций или выборочного инспекционного контроля службой Госнадзора по качеству.

При известных (нормированных) значениях вероятности $P_{\Pi}(\Delta c)$ по (23) могут быть скорректированы существующие допуски на регламентированные параметры сварочных материалов.

3.4. Возможность формирования дефектного сварного соединения по причинам производственного характера (сборка, собственно процесс сварки) только может быть оценена на вероятностной основе. Однако, в этом случае, допущение о равновозможности причин, формирующих дефектное соединение, и равновероятном влиянии отдельных параметров технологического процесса сварочно-монтажных работ на конечный результат неправомерно. Необходима оценка показателей и характеристик распределений регламентированных параметров для реальных процессов сварочно-монтажных работ.

Для линейных (одномерных) величин, к которым могут быть отнесены многие геометрические параметры сборки стыка и сварного шва, вероятность формирования дефектного сварного соединения может быть определена формулой

$$P_{\Pi} = P\left(\begin{matrix} x > x_N + \Delta_B \\ x < x_N - \Delta_H \end{matrix}\right) = 1 - \int_{x_N - \Delta_H}^{x_N + \Delta_B} f_x\, dx \;, \ldots \qquad (25)$$

где: x_N – номинальное значение измеряемой величины x,

Δ_H, Δ_B – соответственно нижнее и верхнее предельные отклонения измеряемой величины;

$f(x)$ – плотность распределения измеряемой величины, устанавливаемая по результатам последующей закономерностей распределения фактических значений формируемых параметров.

При двухпараметрическом задании технологического допуска ве-

ровность $P_п$ описывается двумерной функцией распределения

$$P_п = P[(x_1, x_2) \subset \Delta_T] = 1 - \iint_{\Delta x_1 \Delta x_2} f(x_1, x_2)\, dx_1\, dx_2 \qquad (26)$$

где: x_1, x_2 – случайные величины;

Δ_T – технологический допуск, определяемый допускаемыми отклонениями величин x_1 и x_2 следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} &(\Delta x_1, \Delta x_2) \subset \Delta_T \\ &\Delta x_1 = x_{1в} - x_{1н} \\ &\Delta x_2 = x_{2в} - x_{2н} \end{aligned}\right\} \qquad (27)$$

3.5. Оценка вероятности $P_с$ в общем случае, когда возможно формирование дефектного сварного соединения по причине наличия конструктивных и производственных дефектов, являющихся, как правило, взаимозависимыми, производится по формуле

$$P_{дс} = P_к \cdot P_п \qquad (28)$$

3.6. По своим последствиям дефектные сварные швы группируются на три: годные (полностью удовлетворяющие нормы), условно годные (подлежащие ремонту), негодные (подлежащие вырезке). В соответствии с классификацией дефектов по ГОСТ 15467-79 к вышеназванным группам сварных швов могут быть отнесены следующие дефекты:

<u>годные швы</u> – без дефектов, незначительные отклонения параметров шва;

<u>условно годные швы</u> – устранимые дефекты, значительные отклонения параметров шва;

<u>негодные швы</u> – неустранимые дефекты, критические отклонения параметров шва.

3.7. Процесс распознавания дефектов, осуществляемый по результатам контроля сварных соединений физическими методами, составляет главное содержание диагностики сварки. Частота появления дефектов конкретного вида в сварном шве зависит от характера причин формирования дефектов и тесноты связи факторов, порождающих их появление

в развитие.

Нормирование размеров дефектов сварного шва должно осуществляться на статистико-вероятностной основе, учитывающей возможные частоты появления дефектов. С достаточной для практических расчетов точностью можно отнести такие дефекты сварки, как "поры", "неметаллические включения," к категории равновозможных дефектов, т.е.

$$P_{п} \approx P_{нв} \qquad (29)$$

Соотношение (29) определяет условие равновозможности появления дефектов известными физическими методами контроля: радиографическим, магнитографическим, ультразвуковой.

К категории равновозможных дефектов могут быть отнесены дефекты типа "трещин" и "наружные дефекты", т.е.

$$P_{тр} \approx P_{нд} \qquad (30)$$

Однако абсолютные значения $P_{тр}$, $P_{нд}$ отличаются от вышеуказанных $P_{п}$, $P_{нв}$. Удельный вес дефектов, соответствующих (26), превышает уровень дефектности по 29, т.е.

$$(P_{п}, P_{нв}) > (P_{тр}, P_{нд}) \qquad (31)$$

В таблице 6 приведены рекомендуемые значения вышеназванных вероятностей появления дефектов с различной степенью опасности, рассчитанные на основании частной статистики.

Таблица 6

Категории дефектов	Значения вероятностей появления дефектов (для одиночных видов дефектов)			
	$P_{н.в.}$	$P_{п}$	$P_{п.д.}$	$P_{тр}$
Устранимые Значительные	0,5	0,20	0,06	0,04
Неустранимые Критические	0,1	0,05	0,02	0,01

Дефекты рассмотренных категорий, формирующих условно-годные и негодные швы, образуют в общем случае полную группу событий.

3.8. Интегральная оценка качества сварного соединения по уровню его дефектности может быть произведена по формуле

$$S_d = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{di} P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \qquad (32)$$

где: S_{di} – текущий размер дефекта (оцениваемый по результатам измерений и контроля);

P_i – единичная вероятность появления дефекта конкретного вида.

Условие допустимости дефектного шва в этом случае примет вид:

$$\left.\begin{aligned} [S_\ell] &\le \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{\ell i} P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \\ [S_b] &\le \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{bi} P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \\ [S_n] &\le \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{ni} P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \end{aligned}\right\} \qquad (33)$$

где: $S_{\ell i}, S_{bi}, S_{ni}$ – фактические значения размеров дефекта (соответственно длины, ширины и глубины); определяемые путем измерений (инструментального контроля);

$[S_\ell], [S_b], [S_n]$ – допустимые значения вышеназванных размеров дефектов, регламентированные нормативными документами.

В случае задания нормативного значения дефектности сварного соединения в виде комплексного показателя наряду с формулой (31) может быть использовано выражение

$$[S] \le \sqrt{S_\ell^2 + S_b^2 + S_n^2}, \qquad (34)$$

являющееся средней геометрической оценкой уровня дефектности.

3.9. По степени опасности (с точки зрения влияния на прочность герметичность) дефекты сварных соединений образуют, при условии их количественной равнозначности, следующий ряд в порядке убывания):

Трещины – наиболее опасный дефект сварного соединения в виде узкого разрыва металла, направленного под углом примерно 90° к поверхности стенки трубы (трещины могут образовываться в шве, зоне термического влияния и по границе сплавления).

Непровар – дефект сварного шва, заключающийся в отсутствии сплавления между металлом шва и основным металлом или (при многослойной сварке) между отдельными слоями шва.

Поры – дефект сварного соединения, представляющий собой углубление в основном металле, расположенное вдоль границы шва.

Пора – дефект металла сварного шва обычно в виде округлой полости (пустоты).

Плотное включение – дефект металла сварного шва в виде заполненной газом полости металла различной формы.

Смещение кромок – непреднамеренное положение кромок относительно друг друга, когда плоскости, касательные к поверхности стыкуемых частей, не совпадают.

Для нормирования размеров перечисленных дефектов могут быть назначены экспериментально обоснованные коэффициенты весомости, корригирующие значения коэффициента запаса по функциональному назначению

$$K_f = \frac{\xi_i \delta d_i}{[\delta d_i]} \qquad (35)$$

где: ξ_i – коэффициент весомости дефекта i-го типа.

Допускаемые значения дефектов типа $\Delta a, \Delta в, \Delta д, \Delta с, \Delta в$ используемые в расчетных формулах (31,32,33,34), выбирают из действующих нормативных документов.

Примеры расчета нормативных показателей точности сварочно-монтажных работ приведены в приложении I.

4. ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ.

4.I. Формирование сварного соединения, отвечающего нормативным требованиям его качества, происходит только при условии обеспечения необходимой точности технологических операций и процессов на всех

стадиях сварочно-монтажных работ.

Показателями точности выполнения производственных функций на всех стадиях сварочно-монтажных работ, являются:

4.I.I. величина отклонения Δ действительного значения рабочего (измеряемого) параметра $X_д$ от номинального (заданного) значения $X_н$ этого параметра, выраженная в единицах измеряемой величины

$$\Delta = X_д - X_н \qquad (36)$$

Определение действительного значения измеряемого параметра осуществляется в соответствии с ГОСТ 16263-70.

При несимметричном расположении поля допуска вместо номинального значения параметра принимают величину, равную его значению, расположенному в центре этого допуска.

4.I.2. Коэффициент точности относительно номинального значения параметра $K_{т.н.}$, выражающий относительную погрешность параметра Δ к номинальному значению параметра $X_н$, т.е.

$$K_{т.н.} = \frac{\Delta}{X_н}, \quad K_{т.н.} = \frac{\Delta}{X_н} 100\% \qquad (37)$$

4.I.3. Коэффициент точности относительно поля допуска $K_{т.д.}$, установленного для номинального значения параметра, выражающий отношение погрешности параметра к величине его поля допуска $\Delta_п$, т.е.

$$K_{т.д.} = \frac{\Delta}{\Delta_п}; \quad K_{т.д.} = \frac{\Delta}{\Delta_п} 100\% \qquad (38)$$

4.I.4. Коэффициент технологической точности $K_{т.тех}$, выражающий отношение среднего квадратического отклонения параметра (показателя), характеризующего состояние технологического процесса (стабильность, надежность, однородность и др.), $\sigma_{тех}$ к величине его поля допуска $\Delta_п$

$$K_{т.тех} = \frac{\sigma_{тех}}{\Delta_п} \qquad (39)$$

4.I.5. Коэффициент вариации $K_в$, выражающий отношение среднего квадратического отклонения параметра технологического процесса $\sigma_{тех}$ к его среднему значению $\bar{X}$

$$K_в = \frac{\sigma_{тех.}}{\bar{X}} \qquad (40)$$

4.I.6. Для косвенной оценки точности технологического процесса сварки в соответствии с ГОСТ 27.202-83 допускается применять следующие показатели:

процент сдачи работ заказчику с первого предъявления;

процент забракованных сварных соединений, подлежащих ремонту и вырезке.

4.I.7. Показатели точности, приведенные в п.4.I., являются по всей номенклатуре контролируемых параметров для используемых видов и объектов сварки.

4.2. Характеристику точности технологического процесса сварки следует считать полностью определенной, если установлены:

величины случайных и систематических погрешностей контролируемых параметров;

функции распределения случайных и систематических погрешностей;

зависимости между погрешностями сборки стыка и сварки.

4.3. Оценку точности конкретной технологической операции допускается производить по:

полученному показателю точности одного из параметров из общей их совокупности;

усредненному показателю точности, определяемому отношением суммы показателей точности, выраженных в процентах, к их числу т.е.

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{n} \qquad (41)$$

показателю точности одного из параметров, которые в наибольшей степени влияют на эксплуатационные характеристики сварных соединений

4.4. Оценка точности технологического процесса сборки стыка под сварку осуществляется при использовании предельных средств инструментального контроля (калибров, шаблонов, штриховых и концевых мер длины) по количеству дефектных стыков.

При проведении инспекционных проверок допускается оценку точности проводить по количеству дефектных стыков (по категориям исправимого и неисправимого брака) в регламентированной выборке.

4.5. Точность выполнения технологических операций в процессе производства сварочно-монтажных работ определяет погрешность формирования параметров при заданном уровне вероятности выполнения задачи.

В общем случае, когда заданы верхнее $X_в$ и нижнее $X_н$ предельные отклонения (границы допуска), вероятность выполнения задания по i-му параметру определяется по формуле

$$P_i(t) = P(X_н \le x_i(t) \le X_в) = \int_{X_н}^{X_в} f(x)dx , \qquad (42)$$

где: $x_i(t)$ – значение i-го показателя качества в некоторый момент времени t;

$f(x)$ – функция плотности вероятности рассматриваемого показателя в момент времени t;

Вид функции $f(x)$ зависит от характера образования погрешностей формируемого параметра x и выбирается в соответствии с рекомендациями из приложения 2.

При подтверждении технологической точности путем задания только односторонних границ допуска ($X_н$, $X_в$) вероятность $P(t)$ вычисляют по формулам

$$\left.\begin{aligned} P(x_i \le X_в) &= 0{,}5 + \Phi\left(\frac{6K_{нв}}{K_т}\right) \\ P(x_i \ge X_н) &= 0{,}5 + \Phi\left(\frac{6K_{нн}}{K_т}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (43)$$

где: $K_т$ – показатель точности, определяемый по ГОСТ 16.304–74;

$K_н$ – показатель уровня настройки (для автоматической сварки), рассчитываемый по ГОСТ 16467–70 относительно верхней ($K_{нв}$) и нижней ($K_{нн}$) границ поля допуска.

Формула (42) справедлива только при условии нормальности закона распределения контролируемого показателя.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

5.1. В процессе входного контроля качества сварочных материалов, а также приемочного контроля качества сварных соединений оценку точности следует выполнять с использованием традиционных статистико-вероятностных методов. Порядок формирования выборки для обеспечения ее представительности и случайности определяют в соответствии с ГОСТ 18321–73.

5.2. Корреляционные веры точности измерений контролируемых параметров необходимо выполнять по действительным отклонениям значений параметров в представительной объединенной выборке, состоящей не менее чем из 240 объектов контроля. Расчет статистических характеристик точности производится в соответствии с требованиями ГОСТ 2.615–70.

5.3. В процессе контроли концевых участков труб под сварку и измерения наружного диаметра (или определения овальности) и косины реза (для оценки качества подготовки кромок труб) требования к точности измерений задаются коэффициентом метрологического запаса $Z_и$ или величиной допускаемой суммарной погрешности измерения $\Delta_и$. Значения $\Delta_и$ для различных диаметров труб при измерении наружного диаметра и косины реза концов труб приведены соответственно в таблицах 6,7 (ГОСТ 20295–74).

Таблица 6

Наружный диаметр трубы, $D_н$, мм	Предельные отклонения $\Delta_{пр}$, мм	Допускаемая погрешность измерения, $\Delta_и$, мм
159–168	±1,5	0,5 $\Delta_{пр}$
219–325	±2,0	0,5 $\Delta_{пр}$
351–426	±2,2	0,5 $\Delta_{пр}$
530–630	±3,0	0,4 $\Delta_{пр}$
720–820	±4,0	0,3 $\Delta_{пр}$
820–1020	по ТУ	
1020–1420		

Таблица 7

Наружный диаметр трубы, $D_н$, мм	Предельное отклонение $\Delta_{пр}$, мм	Допускаемая погрешность измерения $\Delta_и$, мм
159–325	1,0	0,3
351–426	1,5	0,3
530–820	2,0	0,2
820–1220	по ТУ	
1220–1420		

5.4. В процессе промежуточного контроля качества сварных соединений физическими методами точность определения размеров дефектов существенным образом зависит от чувствительности используемых методов и средств. В таблице 8 приведены значения требуемой чувствительности (в мм) радиографического контроля в зависимости от толщины стенки труб в месте соединения.

Таблица 8

Толщина стенки трубы, мм	Кольцевой стык			Монтажный стык		
	место спирального соединения					
	1	1–3	4–6	7	1	2–5	6–7
5,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
5–9	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
9–12	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
12–20	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5

При использовании проволочных эталонов чувствительности значение 0,3 увеличивают до 0,32.

5.5. Точность технологического процесса сварки должна отвечать нормированному классу, исходя из условия

$$\Delta \geq 2tS_N \qquad (44)$$

где: Δ – ближайшее большее к значению $2tS_N$ значение допуска для данного интервала номинального размера в соответствующих таблицах ГОСТ 21779-82;

S_N – выборочная оценка среднего квадратического отклонения (для объединенной выборки $N \geq 240$);

t – коэффициент, принимаемый по таблице 9 в зависимости от значения приемочного уровня дефектности q, принятого при контроле точности по ГОСТ 23616-79.

Таблица 9

q	0,25	0,65	1,5	4,0	10
t	3,0	2,7	2,4	2,1	1,6

5.6. Для анализа динамики точности технологического процесса сварки на различных временных интервалах следует использовать показатель уровня точности h (по ГОСТ 23615-79), характеризующий запас точности по отношению к допуску Δ_f (или Δ_{uf})

$$h = \frac{\Delta_u - 2tS}{\Delta_u} \qquad (45)$$

где: S – выборочная оценка среднего квадратического отклонения, определяемая по случайной выборке $n \geq 50$.

Критерием точности технологического процесса сварки следует считать условие

$$|h| = 0,14$$

Если $|h| < 0{,}14$, то необходимый запас точности отсутствует, если $|h| > 0{,}14$ (и $h < 0$), то процесс переходит в более низкий класс точности.

При $h = 0{,}5$ может быть рассмотрен вопрос об отнесении технологического процесса к более высокому классу точности.

6. ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Достоверность контроля определяется вероятностью того, что результат контроля будет соответствовать действительности. С этой точки зрения возможны:

вероятность истинно-положительной интерпретации результатов контроля (вероятность истинно-положительного диагноза)

$$P(R_{u.n}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}{n} \qquad (46)$$

вероятность ложно-положительной интерпретации (вероятность ложно-положительного диагноза)

$$P(R_{l.n}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \beta_i}{n} \qquad (47)$$

где: α_i – калуцкая вероятность наличия истинно-положительного сигнала (выявленного дефекта);

β_i – калуцкая вероятность наличия ложно-положительного сигнала (невыявленного дефекта).;

Результаты измерений (или наблюдений) целесообразно разбить на пять групп, выражая вероятность в %:

α_i = 100 – сигнал положительный наверняка есть;

α_i = 75 – вероятно есть;

α_i = 50 – неопределенно;

α_i = 25 – вероятно нет;

α_i = 0 – наверняка нет.

Аналогично сформируем ряд для β_i = 0; 25; 50; 75; 100.

Вероятность правильного заключения о качестве (или вероятности правильного выявления дефектов), характеризующая достоверность

контроля, определяется по формуле

$$P_{П.Д.} = 0{,}5 + 10^{-3}\left(\sum_{i=1}^{n}\alpha_i - \sum_{i=1}^{n}\beta_i\right) \qquad (42)$$

6.2. Поскольку в основе распознавания дефектов по радиографическим снимкам лежит принцип визуального сопоставления геометрических образов, формируемых эталоном чувствительности и реальным дефектом, то вероятность правильной интерпретации результатов контроля зависит от плотности потемнения (отвечающей определенной глубине дефекта), на которую в свою очередь влияют следующие факторы:

разность толщины эталона чувствительности и толщины металла в местах дислокации дефектов, Δh_1;

смещение источника ионизирующего излучения при просвечивании от геометрической оси шва δ_c;

эллиптичность труб, $e_т$;

несовпадение кромок труб при сборке их под сварку, $\Delta\ell_к$;

разностенность стенок труб $\Delta\delta_т$.

В таблице 10 приведены возможные предельные значения перечисленных факторов, а также даны ориентировочные сведения о степени влияния этих факторов на величину разности потемнений (в %) сопоставляемых участков радиографического снимка

Таблица 10.

Предельные значения факторов	Δh_1, мм	δ_c, %	$e_т$, %	$\Delta\ell_к$, мм	$\Delta\delta_т$, мм
	2-3	5,0	6	10	3,0
Относительная разность потемнений сопоставляемых участков ("эталон-дефект") на радиографическом снимке, %	10-15	20	5-7	7-9	10

6.3. Достоверность инструментального контроля сварочно-монтажных работ оценивается в общем случае ошибками 1-го и 2-го рода (P_α, P_β). Причем для тех случаев, когда распределение вероятностей по конкретным параметрам не противоречит нормальному закону $P_\alpha > P_\beta$.

При наличии условия

$$\Delta_н \gg 6\sigma_т \qquad (49)$$

или

$$\Delta_{ср} \gg 6\sigma_т \qquad (50)$$

где: $\sigma_т$ – среднее квадратическое отклонение нормально распределенных параметров технологического процесса сварки, $P_\alpha \approx 0$ и $P_\beta \approx 0$.

7. НАБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

7.1. При выборе методов и средств контроля необходимо учитывать совокупность их метрологических, эксплуатационных, экономических показателей, причем точность средств измерений должна быть достаточно высокой по сравнению с требуемой точностью формируемого параметра. Погрешность измерения, выполняемого с помощью приборов, должна быть в несколько раз (2÷5) меньше допуска Δ н.

7.2. После установления предельно допускаемых погрешностей измерений в зависимости от поля допуска на контролируемый параметр по соотношениям ($\frac{I}{3} \div \frac{I}{I0}$) или по ГОСТ 8.051-81 выбирают средства измерений. При этом необходимо учитывать, что их погрешность является одной из составляющих предельной погрешности измерений, указанной в таблице 4.

7.3. Назначение средств измерений, отвечающих требованиям точности технологического процесса, осуществляют специалисты-метрологи, которые разрешаются нормативные документы по выбору приборов, рекомендации по оснащению или предприятий и организаций, техническое задание на разработку новых средств измерений. При этом метролог обязан установить: в какой мере условия проведения измерений сказываются на суммарной погрешности измерений, выполняемых с помощью рекомендуемых средств; какова доля погрешности средств измерений в погрешности измерения; каковы погрешности измерений при изменении

условий их проведения.

Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений регламентированы ГОСТ 8.050-73.

7.4. Выбор средств измерений наряду с обеспечением требуемой точности измерений (предельно допустимой погрешности измерений) должен обеспечить минимальную себестоимость контроля. Для решения этой задачи из имеющихся средств измерений одинаковой точности выбирают наиболее производительные.

7.5. В целях повышения точности и достоверности контроля качества сварных соединений целесообразно осуществлять комбинированный контроль, используя для этой цели обоснованное сочетание методов дефектоскопии.

Радиографический метод обладает высокой чувствительностью (около 1-2% от толщины просвечиваемой стали) и позволяет с высокой достоверностью определять тип и размеры дефектов в больших интервале контролируемых толщин. В то же время радиографическим методом затруднено выявление дефектов плоскостного типа (несплавления и т.п. имеющих малое раскрытие, плоскость которых не совпадает с направлением рентгеновских или гамма-лучей.

Магнитографический метод контроля, обеспечивая достаточно надежное выявление наиболее опасных плоскостных дефектов при низкой чувствительности к обнаружению округлых включений типа пор и шлаков обладает очень высокой производительностью. Чувствительность метода составляет 3-6% для плоскостных дефектов и 15-20% для округлых включений. К недостаткам можно также отнести снижение чувствительности контроля при увеличении толщины контролируемых изделий (метод применим для толщин стали до 25мм) и изменение величины сигнала при изменении места расположения дефекта по сечению шва.

Ультразвуковой метод контроля очень чувствителен к выявлению плоскостных дефектов практически с нулевым раскрытием (трещин,

беспламенная), позволяет надежно контролировать изделия большой толщины. К основным недостаткам относится невозможность определения реальных размеров дефектов и отсутствие наглядного документа о качестве контролируемого изделия. Метод во многом субъективен и требует высокой квалификации операторов, осуществляющих контроль изделий.

Наилучшие результаты достигаются при совместном применении ультразвукового контроля и одного из видов контроля проникающим излучением.

7.6. Цена наименьшего деления шкалы (или отсчетного устройства) средств измерений должна быть не более 0,15 от допуска контролируемого параметра, т.е.

$$Ц \leq 0{,}15\,\Delta_H \qquad (51).$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Измерение параметров дефектов сварных соединений по радиографическим снимкам с помощью дефектоскопической линейки

Определение недопустимых размеров обнаруженных дефектов в соответствии с требованиями СНиП Ш-42-80, ВСН 2-146-82 (Миннефтегазстрой), ВСН 2-120-[illegible] (Миннефтегазстрой), ВСН 2-124-80 (Миннефтегазстрой) и другими нормативными документами по радиографическим снимкам производится с помощью дефектоскопической линейки.

Дефектоскопическая линейка выполнена в виде гибкой прозрачной лавсановой пластины размером 70х200 мм с нанесенными на ней миллиметровыми шкалами для измерения продольных и поперечных размеров дефектов, эталонным измерителем для определения максимального размера отдельного дефекта (поры, шлаковые включения и др.). На линейке представлены варианты изображений отдельных пор и шлаковых включений, цепочки пор и скопления пор. Отдельно, в левой части приведено изображение отдельных пор различного диаметра (данное изображение показывает плотность распределения пор, относящихся в соответствии с нормативными документами к отдельным дефектам). Общий вид линейки представлен на рис. I.

При расшифровке радиографического снимка последний помещают на просмотровое окно негатоскопа горизонтально и рассматривают через прозрачную часть дефектоскопической линейки, постепенно перемещая ее вдоль изображения сварного шва.

Сравнением с эталонным дефектом, изображенным в нижней части дефектоскопической линейки, определяют вид дефекта на снимке (поры, шлаковые включения, скопления пор, цепочка пор) и по измерительной шкале линейки оценивают допустимость размеров этого дефекта, а также расстояние между отдельными дефектами.

Путем сравнения с примером изображения пор в левой части линейки определяют группу отдельных пор (в отличие от скопления пор), т.е. такую группу, расстояние между тремя любыми порами

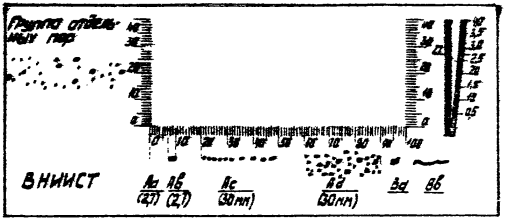


Рис. I. Общий вид дефектоскопической линейки.

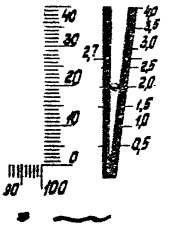


Рис. 2. Определение диаметра сферической поры (размер дефекта 2,0 мм).

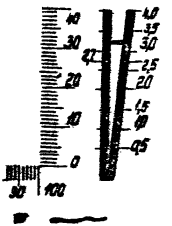


Рис. 3. Определение длины удлиненной поры (размер дефекта 3,2 мм).

в которой превышает трехкратный диаметр (длину) наибольшей из них.

Диаметр и длину отдельного дефекта определяют с помощью измерителя, помещенного в правой части дефектоскопической линейки. При этом линейку накладывают на снимок таким образом, чтобы дефект оказался в длинообразном окне измерителя, а края дефекта касались границ окна, как показано на рис.2 и 3. Против точек касания считывают (приближенно определяют) размер дефекта. Так, в примере на рис.2 диаметр дефекта равен 2,0 мм, в примере на рис.3 длина дефекта равна 6,2 мм. Ошибка в определении размера отдельного дефекта с помощью данного измерителя не превышает 0,1–0,2 мм.

Такие образом, применение дефектоскопической линейки при расшифровке радиографических снимков сварных швов способствует более точному и быстрому измерению обнаруженных дефектов и упрощает процесс оценки качества всего стыка в целом, делает более объективным радиографический контроль при визуальной расшифровке снимков.

Приложение 2

Расчет нормативного допуска с учетом требований к надежности сварного соединения, возможностей технологии изготовления и контроля

Пример I. Расчет нормативного допуска на глубину вмятин на торцах труб.

Постановка задачи и исходные данные.

Выполняется расчет нормативного допуска на глубину вмятин на торцах труб диаметром $D_н$ =1020 мм. Вероятность безотказной работы трубопровода P = 0,996 (назначается заказчиком с учетом требований надежности). Вероятность необнаруженного брака $P_д$ =3% (должна не отвечать требованиям норм выборочности труб на этапе их входного контроля).

Последовательность расчета.

I. Определяем нормативный допуск, соответствующий требованиям характеристик функционального назначения сварного соединения. Для вероятности безотказной работы P = 0,996 в соответствии с таблицей I коэффициент запаса по функциональному назначению K_f = 3,9.

При $K_f \geq$ I из формулы (3) получаем:

$$\Delta_{нf} = \frac{\Delta_f}{K_f}, \quad \Delta_{нf} = \frac{\Delta_f}{3,9}, \quad \Delta_{нf} = 0,26\,\Delta_f$$

Таким образом, нормативный допуск на глубину торцевой вмятины не должен превышать $0,26\,\Delta_f$, т.е.

$$\Delta_{н} \leq 0,26\,\Delta_f \text{ (мм)}$$

Допуск на формируемый рабочий параметр Δ_f должен быть увязан с характеристиками функционального назначения сварных соединений (см.п.I.4.) и определяться с учетом вероятности безотказной работы по результатам специальных исследований.

Примем Δ_f=3,5 мм, тогда $\Delta_н \leq 0,91$ мм.

2. Определяем нормативный допуск с учетом технологических возможностей формирования рабочего параметра.

Из таблицы 2 при исполнительном размере $L \leq 20$мм и принятом классе точности 4 величина допуска $\Delta_T = 1{,}0$ мм.

По формуле (3) получаем:

$$\Delta_{HT} = K_T \cdot \Delta_T = 1{,}0 K_T \text{ (мм)}$$

Таким образом, нормативный допуск на глубину торцевой канавки не должен быть менее 1,0 Кт.

$$\Delta_H \geq 1{,}0 K_T$$

Допуск на формируемый рабочий параметр должен быть увязан с характеристиками технологического обеспечения работ (см.п.I.6) и определяется исходя из возможностей технологического процесса на данном этапе.

Коэффициент Кт находим по формуле (5)

$$K_T = \frac{T_\phi}{T_H}$$

Принимая T_H =I час, T_ϕ =I,3 часа, получаем

$$K_T = \frac{1{,}3}{1} = 1{,}3$$

тогда

$$\Delta_H \geq 1{,}3 \text{мм}$$

3. Определяем нормативный допуск, соответствующий уровню метрологического обеспечения сварочно-монтажных работ.

В соответствии с таблицей 3 с учетом заданной вероятности необнаруженного брака P_β =3% коэффициент запаса по метрологическому обеспечению K_M =0,32.

Допуск на формируемый рабочий параметр Δ_M увязан с характеристиками метрологического обеспечения работ и принимается равным (в соответствии с ВСН 2-I4I-82 Миннефтегазстрой) суммарной погрешности измерения. Согласно таблице 4 для дефектов поверхности стенки трубы

$$\Delta_M \approx \Delta_{I/\Sigma} = 2{,}5 \; 0{,}I = 0{,}25 \text{ (мм)}$$

Тогда при $K_M < I$ из формулы (3) получаем

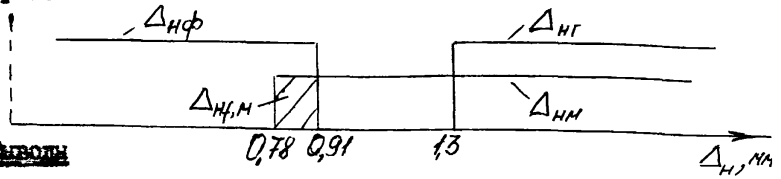
$$\Delta_{HM} = \frac{\Delta_M}{K_M}, \quad \Delta_{HM} = \frac{0{,}25}{0{,}32} = 0{,}78 \text{ (мм)}$$

Таким образом, допуск на глубину торцовой выточки должен быть не менее 0,78 мм.

4. Нормативный допуск на глубину выточки на торцах труб находим, сопоставляя полученные неравенства:

$$\begin{cases} \Delta_{Hf} \leq 0{,}91 \text{ мм} \\ \Delta_{HT} \geqslant 1{,}3 \text{ мм} \\ \Delta_{HM} \geqslant 0{,}78 \text{ мм} \end{cases}$$

Для анализа удобна графическая интерпретация полученной системы неравенств



Значения нормативного допуска Δ_H по функциональному назначению и метрологическому обеспечению имеют общую область. Это означает, что требования к надежности (Р) метрологически обеспечены.

Значения нормативного допуска по технологическому обеспечению (Δ_{HT}) выходят за пределы совместной области значений $\Delta_{H(M}$. Это означает, что требование к технологической точности не отвечает заданному уровню надежности. Поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по улучшению технологического обеспечения работ.

Пример 2. Расчет нормативного допуска на величину зазора между кромками стыкуемых труб.

Исходные данные.

Вероятность безотказной работы трубопровода $P = 0{,}977$.

Вероятность необнаруженного брака $P_B = 3{,}85$

I. Определим нормативный допуск, соответствующий требованиям характеристик функционального назначения сварного соединения Δ_{Hf}

В соответствии с таблицей I для вероятности безотказной рабо-

ты $P = 0,977$ коэффициент запаса по функциональному назначению $K_f = 3,0$

На формулы (3) получаем

$$\Delta_{нf} = \frac{\Delta_f}{K_f} = \frac{\Delta_f}{3,0} = \frac{1}{3}\Delta_f$$

Таким образом, нормативный допуск на величину зазора между кромками стыкуемых труб не должен быть более $\frac{1}{3}\Delta_f$, т.е.

$$\Delta_н \leq \frac{1}{3}\Delta_f \qquad (мм)$$

Допуск на формируемый рабочий параметр Δ_f определяется по результатам специальных исследований

Примем $\Delta_f = 2,7$ мм, тогда

$$\Delta_н \leq 0,9 \text{ мм.}$$

2. Определим нормативный допуск на величину зазора между кромками стыкуемых труб с учетом технологических возможностей формирования рабочего параметра $\Delta_{нТ}$.

По таблице 2 при номинальном размере $\lambda = 20$ мм и принятом классе точности 3 величина допуска $\Delta_Т = 0,6$мм

Коэффициент $K_Т$ находим по формуле (5)

$$K_Т = \frac{T_ф}{T_н}$$

Принимая $T_н = 0,6$ часа, $T_ф = 0,8$ часа, получим

$$K_Т = 1,\overline{3}$$

По формуле (3) определяем величину технологического нормативного допуска:

$$\Delta_{нТ} = 1,\overline{3}\ 0,6 = 0,8 (мм)$$

Таким образом, нормативный допуск на величину зазора между кромками стыкуемых труб не должен быть менее 0,8 мм:

$$\Delta_н \geq 0,8 \text{ мм.}$$

3. Определим нормативный допуск, соответствующий уровню метрологического обеспечения сварочно-монтажных работ.

Заданной вероятности необнаруженного брака $P_з = 3,8\%$ соответствует коэффициент запаса по метрологическому обеспечению $K_м = 0,4$

Допуск на формируемый рабочий параметр Δ_M принимается равным (ЗОН 2-141-82) суммарной погрешности измерения. Согласно таблице 4 для зазора между кромками отпущенных труб:

$$\Delta_M \approx \Delta_{\Pi\Sigma} = 4{,}0 \cdot 0{,}05 = 0{,}2 \text{ (мм)}$$

По формуле (3) подсчитываем величину метрологического нормативного допуска

$$\Delta_{HT} = \frac{\Delta_M}{K_M} \; ; \qquad \Delta_{HM} = \frac{0{,}2}{0{,}4} = 0{,}5 \text{ (мм)}.$$

Таким образом, допуск на величину зазора между кромками отпущенных труб должен быть не менее 0,5 мм.

4. Нормативный допуск на величину зазора между кромками отпущенных труб находим, сопоставляя полученные неравенства:

$$\begin{cases} \Delta_{H} \leq 0{,}9 \text{ мм} \\ \Delta_{HT} \geqslant 0{,}8 \text{ мм} \\ \Delta_{HT} \geqslant 0{,}5 \text{ мм} \end{cases} \qquad 0{,}8 \text{мм} \leq \Delta_{H} \leq 0{,}9 \text{мм}$$

Выводы

Если нормативный допуск на величину зазора между кромками отпущенных труб находится в границах полученного интервала, то это означает, что требования к надежности технологической и метрологически обеспечены.

Приложение 3
(рекомендуемое)

УСЛОВИЯ ПРИЕМЛЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Наименование рабочих параметров	Закон распределения
Геометрические размеры кромок труб, фактические результаты многократных измерений параметров (подготовки кромок, подогрева, сборки и сварки труб) при условии $\Delta_M \leq (0{,}1 + 0{,}2)\,\Delta_f$	Нормальный
Непараллельность осей стыкуемых труб, разностенность стенки, овальность труб, абсолютная погрешность измерения рабочих параметров; фактические отклонения контролируемых параметров от номинальных значений	Модули разности
Смещение кромок, превышение, зазор между кромками, несоосность стыкуемых труб, разность периметров труб, разность толщин стенки стыкуемых труб.	Релея, Максвелла

gost.e-ecolog.ru