

Сосуды криогенные - Невакуумные транспортируемые сосуды большой емкости с изоляцией. Часть 2: Проектирование, изготовление, проверка и испытания КОНСОЛИДИРОВАННЫЙ ТЕКСТ

Содержание

Введение	8
1 Предмет	9
2 Нормативные документы.....	9
3 Термины, определения и символы	11
3.1 Термины и определения	11
3.2 Символы.....	12
4 Конструкция	13
4.1 Конструктивные варианты.....	13
4.1.1 Общие сведения	13
4.1.2 Расчет конструкций	13
4.1.3 Расчет конструкций. Расчет усиления в зависимости от давления.....	13
4.1.4 Конструирование на основе расчетов, дополненных экспериментальными методами...	13
4.2 Общие требования к конструированию	14
4.2.1 Общие сведения	14
4.2.2 Требования к проекту	14
4.2.3 Расчетные нагрузки	15
4.2.4 Усталость.....	18
4.2.5 Допуск на коррозию	18
4.2.6 Инспекционные отверстия.....	18
4.2.7 Сброс избыточного давления	18
4.2.8 Клапаны.....	19
4.2.9 Изоляция	19
4.2.10 Степень заполнения.....	19
4.2.11 Бесперебойность электропитания.....	19
4.3 Конструкторские расчеты	20
4.3.1 Общие сведения	20
4.3.2 Сосуд.....	20
4.3.3 Прикрепленное оборудование	22
4.3.4 Трубопроводы и арматура.....	22
4.3.5 Расчетные формулы.....	22
4.3.6 Расчеты для рабочих нагрузок.....	33

5 Изготовление	59
5.1 Общие сведения	59
5.2 Резка.....	59
5.3 Холодная штамповка	59
5.3.1 Аустенитные нержавеющие стали	59
5.3.2 Ферритные стали.....	60
5.4 Горячая штамповка	60
5.4.1 Общая информация	60
5.4.2 Аустенитные нержавеющие стали	60
5.4.3 Ферритная сталь	61
5.5 Допуски изготовления	61
5.5.1 Точность расположения пластин.....	61
5.5.2 Толщина.....	63
5.5.3 Вогнутые днища	63
5.5.4 Цилиндры.....	63
5.6 Сварка.....	66
5.6.1 Общие сведения	66
5.6.2 Квалификация.....	66
5.6.3 Временные крепления	66
5.6.4 Сварные соединения	67
5.7 Несварные соединения	67
6 Проверка и тестирование.....	68
6.1 План контроля качества	68
6.1.1 Этапы проверки при изготовлении сосуда.....	68
6.1.2 Дополнительные этапы контроля при изготовлении транспортируемого криогенного сосуда большой емкости	68
6.2 Опытные пластины для производственного контроля	68
6.2.1 Требования.....	68
6.2.2 Объем испытаний	69
6.3 Испытания методами неразрушающего контроля.....	70
6.3.1 Общая информация	70
6.3.2 Степень осмотра на предмет поверхностных дефектов	70
6.3.3 Степень осмотра объемных дефектов	70
6.3.4 Приемочные уровни	70
6.4 Устранение дефектов	73
6.5 Испытания под давлением	73
Приложение А (справочное) Упругопластический анализ напряжений	74
A.1 Общие сведения	74
A.2 Терминология.....	74
A.2.1 Интенсивность напряжений	74
A.2.2 Грубая структурная неоднородность.....	75
A.2.3 Локальная структурная неоднородность	75

A.2.4 Нормальное напряжение	75
A.2.5 Напряжение сдвига.....	75
A.2.6 Мембранные напряжения	75
A.2.7 Первичные напряжения	75
A.2.8 Первичное локальное мембранные напряжения	76
A.2.9 Вторичные напряжения	76
A.2.10 Пиковые напряжения	76
A.3 Предел продольного общего мембранных напряжений сжатия	76
A.4 Категории напряжений и пределы напряжений для общего применения	77
A.4.1 Общие сведения.....	77
A.4.2 Категория общего первичного мембранных напряжения	77
A.4.3 Категория локального первичного мембранных напряжения.....	77
A.4.4 Категория общих локальных первичных напряжений плюс категория первичных изгибающих напряжений.....	77
A.4.5 Категория первичного плюс вторичного напряжения	77
A.4.6 Термическое напряжение	77
A.5 Особые критерии, категории напряжения и пределы напряжения для ограниченного применения	78
A.5.1 Общие сведения.....	78
A.5.2 Приспособления и опоры.....	78
A.5.3 Горловины и отверстия	78
A.5.4 Пределы дополнительных напряжений	79
Приложение В (нормативное) Дополнительные требования к сталям с содержанием 9% никеля	83
B.1 Введение.....	83
B.2 Особые требования.....	83
Приложение С (нормативное) Упрочнение для эксплуатации под давлением сосудов из аустенитных нержавеющих сталей	85
C.1 Введение.....	85
C.2 Предмет.....	85
C.3 Определения и единицы измерения	85
C.4 Материалы.....	86
C.5 Конструкция	87
C.5.1 Общие сведения.....	87
C.5.2 Конструирование сосудов высокого давления.....	87
C.6 Производство и проверка	90
C.6.1 Упрочнение	90
C.6.2 Регистрация операции	90
C.6.3 Сварка	90
C.6.4 Чертеж сосуда под давлением.....	91
C.6.5 Табличка с данными	91
C.7 Комментарии	91
C.7.1 Теория упрочнения	91

C.7.2 Закаленный материал	92
C.7.3 Вывод формул.....	93
C.7.4 Деформации при упрочнении	94
Приложение D (справочное) Специальные приварные детали.....	96
D.1 Область применения	96
D.2 Приварные детали.....	96
D.2.1 Швы внахлест	96
D.2.2 Промежуточные торцы	96
D.2.3 Подкладная полоса	96
D.2.4 Обварка торцевых пластин	96
D.2.5 Вварка горловин с неполным проплавлением.....	96
D.2.6 Непрерывный угловой шов на приспособлениях.....	97
D.3 Требования к кислородному снабжению	97
Приложение E (нормативное) Повышенные свойства аустенитных нержавеющих сталей....	101
Нормативная литература	102



ПТИА-АВТО

Введение

Настоящий документ (EN 14398-2: 2003 + A2: 2008) подготовлен Техническим комитетом CEN / TC 268 «Криогенные сосуды», секретариат которого администрируется «AFNOR».

Данному Европейскому стандарту должен быть присвоен статус национального стандарта, либо путем публикации идентичного текста, либо путем одобрения не позднее сентября 2008 года, а противоречащие национальные стандарты должны быть отменены не позднее сентября 2008 года.

Настоящий документ включает поправку 1, утвержденную CEN 2006-10-06, поправку 2, утвержденную CEN 2008-02-07, и исправление 1, выпущенное CEN 2006-08-08.

Настоящий документ заменяет EN 14398-2: 2003.

Начало и конец текста, введенного или измененного поправкой, указывается в тексте тегами **A₁** **A₁** и **A₂** **A₂**.

Изменения соответствующего исправления CEN были внесены в соответствующие места в тексте и обозначены тегами **AC** **AC**.

Этот документ был подготовлен в соответствии с мандатом, предоставленным CEN Европейской комиссией и Европейской ассоциацией свободной торговли, и поддерживает цели рамочных директив по перевозке опасных грузов.

Стандарт был представлен для создания ссылки в МПОГ и/или в технических приложениях к ДОПОГ. **A₂** удаленный текст **A₂**

EN 14398 состоит из следующих частей под общим названием *Криогенные сосуды - Транспортируемые сосуды большой ёмкости без вакуумной изоляции*:

- *Часть 1. Основные требования*
- *Часть 2. Проектирование, изготовление, проверка и испытания*
- *Часть 3. Эксплуатационные требования*

A₂ Приложения B, C и E являются нормативными. Приложения A и D являются нормативными.
A₂

Этот документ включает перечень применяемых нормативных документов.

В соответствии с Внутренним регламентом CEN / CENELEC, национальные стандарты организаций следующих стран обязаны применять настоящий европейский стандарт: Австрия, Бельгия, Болгария, Кипр, Чешская Республика, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Испания, Ирландия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария и Великобритания.

1 Предмет

Настоящий европейский стандарт устанавливает требования к проектированию, изготовлению, проверке и испытаниям больших перевозимых криогенных сосудов с вакуумной изоляцией объемом более 1000 л, которые постоянно (встроенные цистерны) или непостоянно (съемные цистерны) прикреплены к транспортному средству для перевозки по дороге. Тем не менее, он может быть использован для другого вида транспорта при условии соблюдения конкретных правил / требований.

Настоящий европейский стандарт применяется к большим транспортируемым криогенным сосудам без вакуумной изоляции для жидкостей, указанных в стандарте EN 14398-1, и не распространяется на сосуды, предназначенные для токсичных жидкостей.

Настоящий европейский стандарт не включает общие требования к транспортному средству, например, ходовая часть, тормоза, освещение и т. д. должны соответствовать действующим нормам / правилам.

2 Нормативные документы

Настоящий европейский стандарт включает датированные или недатированные ссылки, положения из других публикаций. Эти нормативные ссылки цитируются в соответствующих местах текста, а публикации перечислены ниже. Для датированных ссылок последующие изменения или пересмотры любой из этих публикаций применяются к настоящему Европейскому стандарту только в том случае, если они включены в него путем изменения или пересмотра. В отношении недатированных ссылок применимо последнее издание публикации, на которую имеется ссылка (включая поправки).

EN 287-1, Сертификационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали.

 удаленный текст 

EN 473. Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю. Общие принципы.

EN 875, Разрушающие испытания на сварных швах в металлических материалах. Ударные испытания. Расположение образца для испытаний, ориентация надреза и проверка.

EN 895, Разрушающие испытания сварных швов в металлических материалах. Испытание на поперечное растяжение.

EN 910, Разрушающие испытания сварных швов в металлических материалах. Испытания на изгиб.

EN 1252-1: 1998, Криогенные сосуды. Материалы. Часть 1. Требования к вязкости при температурах ниже - 80 °C.

EN 1252-2, Криогенные сосуды. Материалы. Часть 2. Требования к вязкости при температурах от -80 °C до -20 °C.

EN 141B, Сварочный персонал - Одобренные процедуры тестирования операторов сварки для сварки плавлением и сварочных аппаратов для контактной сварки для полностью механизированной и автоматической сварки металлических материалов.

EN 1435. Неразрушающий контроль сварных швов. Радиографический контроль сварных соединений.

EN 1626, Криогенные сосуды. Клапаны для криогенной эксплуатации.

EN 1797, Криогенные сосуды - совместимость газ / материал.

EN 10028-4, Плоские изделия из стали для работы под давлением. Часть 4. Стали из никелевого сплава с заданными низкотемпературными свойствами.

EN 10028-7: 2000, Прокат плоский из стали для работы под давлением. Часть 7. Нержавеющие стали.

EN 13068-3, Неразрушающий контроль. Радиоскопический контроль. Часть 3. Общие принципы радиоскопического контроля металлических материалов с помощью рентгеновского и гамма-излучения.

EN 13445-3, Сосуды под давлением без огневого подвода теплоты. Часть 3. Конструкция.

EN 13648-3, Криогенные сосуды. Предохранительные устройства для защиты от избыточного давления. Часть 3. Определение требуемой производительности слива/налива - емкость и размер.

EN 14398-1: 2003, Сосуды криогенные. Транспортируемые сосуды большой емкости без вакуумной изоляции. Часть 1. Основные требования.

EN 14398-3, Криогенные сосуды. Транспортируемые сосуды большой емкости без вакуумной изоляции. Часть 3. Эксплуатационные требования.

EN ISO 6520-1, Сварка и родственные процессы. Классификация геометрических дефектов в металлических материалах.

Часть 1. Сварка плавлением (ISO 6520-1: 2007).

EN ISO 9606-2, Квалификационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 2. Алюминий и алюминиевые сплавы (ISO 9606-2: 2004).

EN ISO 15613, Спецификация и аттестация процедур сварки металлических материалов. Квалификация, основанная на предварительных испытаниях на сварку (ISO 15613: 2004).

EN ISO 15614-1, Спецификация и аттестация процедур сварки металлических материалов. Испытание процедуры сварки. Часть 1. дуговая и газовая сварка сталей и дуговая сварка никеля и никелевых сплавов (ISO 15614-1: 2004).

EN ISO 15614-2, Спецификация и аттестация процедур сварки металлических материалов. Испытание процедуры сварки. Часть 2. Дуговая сварка алюминия и его сплавов (ISO 15614-2: 2005). 

ISO 1106-1, Рекомендованная практика радиографического исследования сварных соединений плавлением. Часть 1. Сварные стыковые соединения в стальных пластинах толщиной до 50 мм.

3 Термины, определения и символы

Для соответствия Европейскому стандарту применяются следующие термины, определения и символы.

3.1 Термины и определения

Для целей настоящего Европейского стандарта применяются термины и определения, приведенные в EN 14398-1: 2003, и следующие.

3.1.1

большой транспортируемый сосуд без вакуумной изоляции

сосуд объемом более 1000 л, предназначенный для одной или нескольких криогенных жидкостей, состоящий из внутреннего сосуда, изоляции, всех клапанов и принадлежностей и дополнительного каркаса

3.1.2

встроенная цистерна (автоцистерна)

большое транспортируемый сосуд, постоянно закрепленное на транспортном средстве или на узлах ходовой части, используемых вместо него

3.1.3

съемная цистерна

большая транспортируемая емкость, не закрепленная на транспортном средстве. При присоединении к транспортному средству съемный резервуар соответствует требованиям, предписанным для встроенного резервуара. Он предназначен для подъема только тогда, когда он пуст

3.1.4

внутренний сосуд

собственно сосуд под давлением, предназначенный для содержания криогенной жидкости

3.1.5

изоляция

для защиты сосуда от теплопередачи от температуры наружного воздуха матическая

3.1.6**автоматическая сварка**

Сварка, при которой параметры автоматически контролируются. Некоторые из этих параметров могут быть отрегулированы в ограниченной степени, вручную или автоматически, во время сварки для поддержания заданных условий сварки.

3.1.7**предельно допустимое давление, p_s**

максимальное давление, на которое рассчитано оборудование, как определено изготовителем, определенное в месте, указанном изготовителем, являющимся местом подключения защитных или ограниченных устройств или верхней части оборудования

3.1.8**разгрузочная пластина / заглушка**

пластина или заглушка, которая удерживается в закрытом состоянии только атмосферным давлением, что позволяет сбросить избыточное внутреннее давление

3.1.9**устройство с разрывной мембраной**

не предусмотренное для повторного использования устройство сброса давления, разрываемое перепадом давления. Это комплект установленных компонентов, включая, при необходимости, держатель разрывного диска

3.2 Символы

Для целей настоящего Европейского стандарта применяются следующие символы.

<i>c</i>	припуск на коррозию	мм
<i>d</i>	диаметр отверстия	мм
<i>d_a</i>	наружный диаметр трубы или горловины	мм
<i>f</i>	узкая сторона прямоугольной или эллиптической пластины	мм
<i>l_b, l'_b</i>	длина штампованного ребра	мм
<i>n</i>	количество секторных пластин	-
<i>p</i>	расчетное давление согласно 4.3.22	бар
<i>p_e</i>	предельно допустимое наружное давление, ограничиваемое упругой деформацией	бар
<i>p_k</i>	упрочняющее давление	бар
<i>p_p</i>	допустимое наружное давление, ограничиваемое пластической деформацией	бар
<i>p_r</i>	испытание под давлением (см. 4.2.3.2)	бар
<i>r</i>	радиус, т.е. внутренний радиус выпуклого днища и конусов	бар
<i>s</i>	минимальная толщина	бар
<i>s_e</i>	фактическая толщина стенки	мм
<i>v</i>	коэффициент использования допустимой проектной нагрузки на соединения или коэффициент допуска ослабления	-
<i>x</i>	(зона затухания) расстояние, на котором предполагается влияние напряжений	мм

<i>A</i>	площадь сечения усиливающего элемента	мм ²
<i>C, β</i>	конструктивные коэффициенты	-
<i>D</i>	диаметр оболочки	мм
<i>D_a</i>	наружный диаметр, например, цилиндрической оболочки	мм
<i>D_i</i>	внутренний диаметр, например, цилиндрической оболочки	мм
<i>E</i>	модуль Юнга	Нмм ²
<i>I</i>	момент инерции усиливающего элемента	мм ⁴
<i>R_e</i>	кажущийся предел текучести или 0,2% условного предела текучести (для аустенитных сталей 1% условного предела текучести)	Нмм ²
<i>R_m</i>	предел прочности при растяжении (фактический или гарантируемый)	Нмм ²
<i>K</i>	свойство конструкционного материала	Нмм ²
<i>R</i>	радиус изгиба, например, внутренний радиус выпуклого днища	мм
<i>s</i>	запас прочности при расчетном давлении в зависимости от <i>R_e</i>	-
<i>S_k</i>	запас прочности при упругом прогибе при расчетном давлении	-
<i>S_p</i>	запас прочности при пластической деформации	-
<i>z</i>	вспомогательное значение	-
<i>v</i>	отношение Пуассона	-
<i>u</i>	некруглость	-

4 Конструкция

4.1 Конструктивные варианты

4.1.1 Общие сведения

Проектирование должно выполняться в соответствии с одним из вариантов, указанных в 4.1.2, 4.1.3 или 4.1.4.

Металлические материалы, используемые при криогенных температурах, должны соответствовать требованиям соответствующих разделов EN 1252-1 или EN 1252-2.

В случае 9% никелевой стали должны быть выполнены дополнительные требования приложения В.

Для углеродистых и низколегированных сталей должны соблюдаться требования EN 1252-2.

4.1.2 Расчет конструкций.

Должен быть выполнен расчет всех компонентов давления и нагрузки. Частичные давление толщина емкости не должно быть меньше, чем требуется 4.3. Могут потребоваться дополнительные расчеты, чтобы убедиться, что конструкция удовлетворительная для условий эксплуатации, включая учет динамических нагрузок.

4.1.3 Расчет конструкций. Расчет усиления в зависимости от давления

Способность сосудов, изготовленных из аустенитной нержавеющей стали, выдерживать увеличение давления, , рассчитывается в соответствии с приложением С.

4.1.4 Конструирование на основе расчетов, дополненных экспериментальными методами.

Там, где невозможно спроектировать одним расчетом, могут использоваться запланированные и контролируемые экспериментальные средства, при условии, что результаты подтверждают факторы безопасности, требуемые в 4.3. Примером может служить применение тензодатчиков для оценки уровней напряжения.

4.2 Общие требования к конструированию

4.2.1 Общие сведения

Требования 4.2.2–4.2.7 применяются ко всем сосудам независимо от используемого варианта конструкции. В случае увеличения хотя бы одного из следующих параметров:

- максимально допустимое давление;
 - удельная масса (плотность) самого плотного газа, для которого предназначен сосуд;
 - максимальный вес тары внутреннего сосуда;
 - номинальная длина и / или диаметр внутренней оболочки;
- или, в случае любого изменения относительно:
- типа материала или марки (например, от нержавеющей стали до алюминия);
 - фундаментальной формы;
 - уменьшения минимальных механических свойств используемого материала;
 - модификации способа сборки, касающейся любой части, находящейся под напряжением, особенно в том, что касается опорных систем между внутренним сосудом и изоляцией или самого сосуда или защитной рамы, если таковая имеется;

первоначальная программа проектирования должна быть повторена с учетом этих изменений.

4.2.2 Требования к проекту

Для обеспечения возможности разработки проекта должна быть доступна следующая информация, определяющая тип сосуда:

- максимально допустимое давление;
- жидкости, предназначенные для использования;
- вместимость;
- габариты и допустимый вес с учетом характеристик автомобиля; расположение точек крепления и допустимых нагрузок на эти точки;
- скорость наполнения и опорожнения;
- диапазон температуры окружающей среды, если он отличается от 7.2 стандарта EN 14398-1: 2003.

Должен быть подготовлен проектный документ в форме чертежей с текстом, если таковой имеется, он должен содержать информацию, приведенную выше, а также следующее, где это применимо:

- определение того, какие компоненты рассчитаны путем расчета, усиления давления, эксперимента и чертежи с размерами и толщинами несущих компонентов;
- спецификация всех несущих материалов, включая сорт, класс, характер, испытания и т. д. в зависимости от ситуации;
- сертификаты соответствия на типы используемых материалов;
- расположение и детали сварных швов и других соединений, сварка и другие процедуры соединения, наполнитель, материалы соединения и т. д. в зависимости от ситуации;
- расчеты для проверки соответствия этому стандарту;
- программа испытаний дизайна;
- требования к испытаниям методами неразрушающего контроля;
- требования к гидравлическим испытаниям ;
- конфигурация трубопровода, включая тип, размер и расположение всех клапанов и предохранительных устройств;
- детали креплений.

4.2.3 Расчетные нагрузки

4.2.3.1 Общие сведения

Транспортируемый криогенный сосуд большой ёмкости должен быть в состоянии выдерживать механические и термические нагрузки, возникающие во время испытания под давлением и нормальной эксплуатации.

При рассмотрении расчетных нагрузок при транспортировке статические нагрузки должны заменяться статическими и динамическими нагрузками. Используемые статические нагрузки должны быть следующими:

- в направлении движения: удвоенная общая масса;
- под прямым углом к направлению движения: общая масса;
- вертикально вверх: общая масса;
- вертикально вниз: вдвое больше общей массы.

Каждая из этих нагрузок считается изолированной и включает массу рассматриваемого компонента.

4.2.3.2 Сосуд

За исключением (а) следующие нагрузки должны рассматриваться как действующие в комбинации, где это необходимо:

а) испытательное давление: значение, используемое для целей проверки, должно быть:

$$p_T \geq 1,3 p_S \text{ бар}$$

(1)

учитывается для каждого элемента емкости, например оболочки, ходы, голова и т.д ..

p_s - максимально допустимое давление в барах.

Сосуд должен выдерживать испытание под давлением без пластической деформации.

b) давление при работе, p_c , где

$$p_c = p_s + p_L \quad (2)$$

p_L - давление в барах, оказываемое массой жидкого содержимого, когда емкость заполнена до предела и зависит от каждой нагрузки, определенной в 4.2.3.1, либо:

- 1) кипящая жидкость при минимально допустимой температуре
- 2) криогенная жидкость в ее равновесной тройной точке или температуре плавления;
- c) реакция в опорных точках емкости из-за массы емкости и его содержимого при воздействии каждой из нагрузок, определенных в 4.2.3.1;
- d) нагрузка, создаваемая трубопроводом из-за дифференциального теплового движения сосуда, трубопровода и изоляции. Следующие случаи должны быть рассмотрены:
 - время перезарядки (теплообменник - холодный трубопровод);
 - наполнение и отвод (сосуд холодный - трубопровод холодный); и
 - транспортировка и хранение (сосуд холодный - трубопровод теплый);
- e) нагрузка на емкость в его опорных точках при охлаждении от температуры окружающей среды до рабочей температуры и во время эксплуатации.

4.2.3.3 Самонесущие емкости

В случае транспортных средств, в которых емкость представляет собой напряженные самонесущие элементы транспортного средства, они должны быть рассчитаны на то, чтобы выдерживать нагрузки, возникающие таким образом, в дополнение к напряжениям из других источников (см. 4.2.3.2 c).

4.2.3.4 Опоры сосуда

Опоры емкости должны подходить для каждой нагрузки, определенной в пункте 4.2.3.2 c), а также для нагрузок, обусловленных дифференциальными тепловыми движениями.

4.2.3.5 Пластины-ограничители

Для обеспечения устойчивости и ограничения динамических нагрузок в соответствии с требованиями 4.2.3 сосуд должен быть разделен ограничителями объема, если он не может быть заполнен объемом, равным или превышающим 80% его вместимости или номинально порожним. Площадь поперечного сечения пластины-ограничителя должна составлять не менее 70% от площади поперечного сечения сосуда.

Нынешний опыт работы с пластинами-ограничителями, ограничивающими емкость до 7 500 л, как показало, отвечает этим требованиям.

Пластины для защиты от перенапряжений и их крепления к корпусу должны проектироваться таким образом, чтобы выдерживать нагрузки, вызванные давлением, равномерно распределенным по площади пластины для защиты от перенапряжений. Давление рассчитывается с учетом массы жидкости между пластинаами, замедляющейся до 2g (4.2.3).

4.2.3.6 Точки крепления

Точки крепления должны быть пригодны для крепления большого транспортируемого криогенного сосуда к транспортному средству, когда он заполнен до предела и подвержен каждой из нагрузок, определенных в 4.2.3.

4.2.3.7 Защита верхней арматуры

Арматура и принадлежности, установленные на верхней части сосуда, должны быть защищены таким образом, чтобы повреждение, вызванное опрокидыванием, не могло нарушить эксплуатационную целостность. Эта защита может быть в виде упрочняющих колец, защитных навесов или поперечных или продольных элементов, имеющих такую форму, чтобы обеспечивалась эффективная защита.

4.2.3.8 Устойчивость

Общая ширина опорной поверхности на уровень земли (расстояние между наружными точками контакта с грунтом правой шины и левой шины одной оси) должна быть, по меньшей мере, равна 90% от высоты центра тяжести полностью загруженной автоцистерны. В соченном транспортном средстве масса на осях несущей конструкции груженого полуприцепа не должна превышать 60% от номинальной общей загруженной массы всего соченного транспортного средства.

4.2.3.9 Трубопроводы и клапаны

Трубопроводы, включая клапаны, фитинги и опоры, должны выдерживать следующие нагрузки. За исключением (а), нагрузки считаются действующими в комбинации, где это уместно.

- а) пневматическое испытание под давлением: не менее допустимого рабочего давления p.;
- б) давление во время работы: не менее установленного давления устройства сброса давления в системе;
- с) тепловые нагрузки, определенные в 4.2.3.2
- д) динамические нагрузки;
- е) установленное давление устройств для снятия термических напряжений, где это применимо;
- ф) нагрузки, возникающие при сбросе давления.

Это оборудование должно быть защищено или расположено таким образом, чтобы исключить риск быть вырванным или поврежденным во время транспортировки.

Герметичность этого оборудования должна быть обеспечена в случае опрокидывания транспортного средства. Прокладки должны быть изготовлены из материала, совместимого с перевозимой жидкостью, в соответствии с EN 1797.

Каждое отверстие для наполнения снизу или сверху должно быть снабжено, по меньшей мере, двумя независимыми запорными устройствами последовательно, причем первым является запорный клапан, снабженный защитой от механического повреждения.

Для предотвращения утечек легковоспламеняющихся жидкостей первый запорный клапан должен быть предохранительным устройством с мгновенным закрытием, которое автоматически закрывается в случае непреднамеренного движения транспортного средства или пожара во время операции наполнения/опорожнения. Также должно быть, возможно, управлять закрывающим устройством с помощью дистанционного управления. Все вентиляционные трубы, включая устройства для сброса давления и продувочные клапаны, должны быть подсоединенены к вентиляционной трубе, обеспечивающей безопасный сброс. Шкаф управления должен вентилироваться таким образом, чтобы в нем не накапливался горючий газ.

4.2.4 Усталость материалов

Конструкция должна учитывать влияние циклических напряжений на внутренний сосуд, наружную рубашку и их крепления при нормальных условиях эксплуатации.

При рассмотрении случая усталости материалов общее требование к размерам с нагрузками в соответствии с 4.2.3 будет таким, чтобы учитывать влияние усталости материалов. Особое внимание может быть необходимо к конкретным деталям в опорах и системах трубопроводов, чтобы избежать повышения напряжения.

4.2.5 Допуск на коррозию

Коррозия на поверхностях, контактирующих с рабочей жидкостью недопустима. Допуск на коррозию не требуется на других поверхностях, если они надлежащим образом защищены от коррозии.

4.2.6 Инспекционные отверстия

Инспекционные отверстия на сосуде не требуются при условии соблюдения требований EN 14398-3.

ПРИМЕЧАНИЕ. Из-за сочетания материалов конструкции и рабочих жидкостей внутренняя коррозия не может возникнуть.

4.2.7 Сброс избыточного давления

Системы сброса избыточного давления должны быть спроектированы так, чтобы они отвечали требованиям, изложенным в 4.2.7.1 and 4.2.7.2.

4.2.7.1 Сосуд

Сосуд должен быть снабжен не менее чем двумя независимыми устройствами для сброса давления, по крайней мере, одно из которых должно быть предохранительным клапаном и этот клапан должен открываться при максимально допустимом давлении p_s . Устройства могут устанавливаться на общей линии.

Устройство должно защищать сосуд от избыточного давления вследствие:

- а) нормальная утечка тепла, и устройства, действующие вместе, должны защищать сосуд от избыточного давления, вызванного;
- б) утечка тепла с потерей изоляции
- с) утечка тепла без потери изоляции, а система повышения давления находится в открытом положении.
- д) утилизация любой возможной комбинации насосов

Избыточное давление означает давление, превышающее 110% максимально допустимого давления для условия а) + д) и превышающее испытательное давление для условия б) и превышающее испытательное давление для условия с).

Разгрузочные устройства для емкости должны соответствовать EN 13648-3 для расчета размеров.

Система сброса давления должна иметь такие размеры, чтобы падение давления во время сброса не приводило к мгновенному повторному закрытию клапана.

4.2.7.2 Трубопроводы

Любой участок трубопровода, содержащий криогенную жидкость, которая может быть изолирована, должен быть защищен клапаном сброса давления или иным устройством сброса избыточного давления.

4.2.8 Клапаны

Клапаны должны соответствовать EN 1626.

4.2.9 Изоляция

Для защиты сосуда от передачи температуры наружного воздуха используется изоляция. Изоляция состоит из материала определенной толщины с низкой теплопроводностью, который защищает холодное жидкое содержимое сосуда от быстрого повышения давления.

Изоляция должна быть покрыта наружной оболочкой, защищающей изоляцию от проникновения в нее влаги и от повреждений.

Изоляционный материал может быть пенополиуретаном (инъецированным или в виде формованных пластин) и т.д.

4.2.10 Степень заполнения

Степень наполнения больших транспортируемых сосудов с вакуумной изоляцией, предназначенных для перевозки легковоспламеняющихся газов, должна оставаться ниже уровня, при котором, если содержимое поднималось до температуры, при которой давление пара равнялось давлению открытия предохранительного клапана, объем жидкости достигнет 95% емкости сосуда при этой температуре. Большие транспортируемые сосуды без вакуумной изоляции могут быть заполнены невоспламеняющимися газами до 98% от общего объема при температуре загрузки и давлении загрузки.

Должны быть предусмотрены средства для обеспечения того, чтобы вышеуказанные пределы не превышались.

4.2.11 Бесперебойность электропитания

Все металлические компоненты больших перевозимых сосудов с вакуумной изоляцией, предназначенных для перевозки легковоспламеняющихся газов, должны быть электрически заземлены. Транспортируемые сосуды большой емкости с вакуумной изоляцией должны быть снабжены средствами крепления к заземляющим устройствам, чтобы сопротивление заземляющего соединения было менее 5 Ом. Следует избегать контакта с любым металлом, способного вызвать электрохимическую коррозию.

4.3 Конструкторские расчеты

4.3.1 Общие сведения

Размеры емкости не должны быть меньше размеров, определенных в соответствии с настоящим подпунктом.

4.3.2 Сосуд

4.3.2.1 Общие сведения

Информация, содержащаяся в 4.3.2.2 до 4.3.2.6, должна быть использована для определения толщины деталей, подвергающихся давлению, в сочетании с формулами расчета 4.3.5. ^{A1} Однако минимальная толщина не должна быть меньше минимальной толщины стенки, рассчитанной в соответствии с формулами и положениями главы 6.8 технических приложений ДОПОГ / МПОГ. ^{A2} ^{A3}
удаленный текст A2 A3

^{A1} удаленный текст ^{A1}

4.3.2.2. Расчетное давление p

Внутреннее расчетное давление p должно превышать P_r согласно 4.2.3.2 а) или P_C согласно 4.2.3.2 б) исправлено по условиям эксплуатации (т.е. times $\frac{K_{20}}{K_1}$) для того, чтобы учитывались термические свойства хранимого сырья. Следует, что в следующей формуле должно использоваться K_{20} где p - расчетное давление.

Сосуд должен выдерживать без постоянной деформации внешнее давление не менее чем на 40 кПа (0,4 бар) выше внутреннего давления..

4.3.2.3 Свойства материала K

4.3.2.3.1 Общая информация

Свойство материала K , которое должно использоваться в расчетах, должно быть следующим:

- для аустенитных нержавеющих сталей, $R_e = 1\%$ допустимого сопротивления;
- для углеродистых сталей, алюминия и алюминиевых сплавов, $R_e =$ предел текучести и, если нет, 0,2% предела прочности;
- для углеродистых сталей можно использовать верхний предел текучести.

Для целей расчета свойство материала К внутреннего сосуда должно быть ограничено до 2/3 от R_m минимальной гарантированной прочности на растяжение.

4.3.2.3.2 K_{20}

R_e и R_m должны быть минимальными гарантированными значениями при 20 ° С, взятыми из стандарта на материал (см. приложение Е).

Соотношения R_e/R_m , превышающие 0,85, не допускаются для сталей при изготовлении сварных резервуаров. При определении отношения R_e/R_m должно использоваться минимальное указанное значение и R_e и R_m в сертификате проверки материала.

4.3.2.3.3 K_t

Допустимые значения и R_e и R_m должны быть определены для материала при рабочей температуре, , не ниже температуры насыщения жидкости при давлении $p \bullet$. Значения R_e , R_m и E должны определяться из соответствующего стандарта на материал (см. EN 10028-7: 2000, приложение F для аустенитных нержавеющих сталей) или должны быть гарантированы изготовителем материала.

4.3.2.3.4 Хрупкость

Материал не должен подвергаться хрупкому разрушению при его минимальной рабочей температуре, см. EN 1252-1 и EN 1252-2.

4.3.2.3.5 Удлинение

Для стали относительное удлинение при разрушении в % должно быть не менее

$$\frac{10\ 000}{\text{найденное значение предела прочности на разрыв в Н/мм}^2} \text{ при } 20^\circ\text{C}$$

(4)

но в любом случае оно должно составлять не менее 16% для мелкозернистых сталей и не менее 20% для других сталей. Для алюминия и алюминиевых сплавов относительное удлинение при разрушении должно быть не менее 12%..

Удлинение и определенная прочность на растяжение являются фактическими значениями, указанными в сертификатах материалов.

4.3.2.4 Запасы прочности S , S_p и S_k

Запасы прочности представляют собой отношение свойства материала К предельно допустимому напряжению.

$$S = 1,33$$

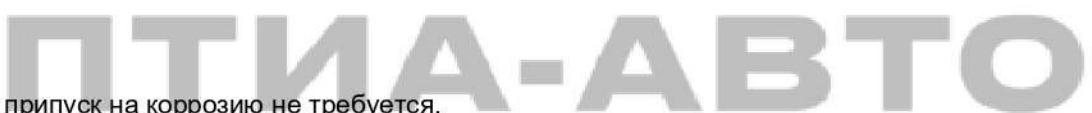
4.3.2.5 Коэффициент сварного соединения v

Во всех случаях $v = 1$ должен использоваться в том числе окружных швов с постоянной полосой и опорной окружности потряхивание сустава.

4.3.2.6 Припуски на коррозию c

$$c = 0$$

Какой-либо припуск на коррозию не требуется.



4.3.3 Прикрепленное оборудование

Для тех предметов, которые прикреплены к сосуду, допустимое напряжение не должно превышать нижнего значения $0,75 R_e$ или $0,5 R_m$.

8

При проектировании систем резервуаров температура и соответствующие механические свойства, которые должны использоваться, могут быть такими же, как у рассматриваемого компонента, когда резервуар заполнен до криогенной текучей среды при температуре не ниже температуры насыщения под давлением. p_s

4.3.4 Трубопроводы и арматура

Трубопровод должен быть спроектирован для нагрузок, определенных в 4.2.3.9, с использованием установленных методов проектирования трубопроводов и факторов безопасности.

4.3.5 Расчетные формулы

4.3.5.1 Цилиндрические оболочки и сферы, на которые воздействует внутреннее давление (давление на вогнутую поверхность)

4.3.5.1.1 Область применения

Цилиндрические и сферические оболочки, у которых

$$D_a/D_i \geq 1,2$$

4.3.5.1.2 Отверстия

Усиление отверстий – см. 4.3.5.5.

4.3.5.1.3 Расчет

Требуемая минимальная толщина стенки s :

- для цилиндрических оболочек:

$$s = \frac{D_a p}{20 \frac{K_{20}}{S} v + p} + c$$

(5)

- для сферических оболочек:

ПТИА-АВТО

$$s = \frac{D_a p}{40 \frac{K_{20}}{S} v + p} + c$$

(6)

4.3.5.2 Выпуклые днища, работающие под давлением

4.3.5.2.1 Область применения

По итогам расчетов толщина выпуклых днищ не должна быть меньше толщины цилиндрической оболочки.

Полусферические днища, где

$$D_a/D_i \geq 1,2$$

10 % торосферические днища, где

$$R = D_a, \text{ а } r = 0,154 D_a$$

и

2:1 торосферические днища, где

$$R = 0,8 D_a, \text{ а } r = 0,154 D_a$$

В этом случае торосферические днища

$$0,001 \leq (s - c) / D_a \leq 0,1$$

ПРИМЕЧАНИЕ При условии выполнения соответствующих расчетов могут применяться днища других форм.

4.3.5.2.2 Расчет внутреннего давления (на вогнутую поверхность)

4.3.5.2.2.1 Толщина стенки чашеобразной выемки и полусферы

Толщина стенки области короны выпуклых днищ и полусферических концов определяется с использованием

4.3.5.1.3 для сферических оболочек с $D_a = 2(R + s)$.

-
Отверстие в области короны 0,6 D_a торосферических концов и в полусферических концах должно быть усилено в соответствии с 4.3.5.5. При использовании усиления типа колодки край колодки не должен выходить за пределы 0,8 D_a для 10% торосферических концов или 0,7 D_a для 2:1 торосферических концов.

4.3.5.2.2.2 Толщина шарнирного кулака торосферического днища и толщина полусферического днища в направлении соединения оболочки

Требуемая толщина области кулака и соединения полусферического днища должна быть:

- для сосуда:

$$s = \frac{D_a p \beta}{40 \frac{K_{20}}{S} v}$$

ИТИА-АВТО

β взято из рисунка 5 для 10% торосферических днищ и из рисунка 6 для 2:1 торосферических концов как функция

$(s-c)/D_a$ Итерация необходима.

Для полусферических концов значение β 1,1 должно применяться в пределах расстояния x от касательной, соединяющей конец с цилиндром, независимо от соотношения $(s-c)/D_a$, где

$$x = 0,5\sqrt{R(s - c)}$$

D_a – диаметр днища, как показано на рис. 4 а) и 4 б).

Когда есть отверстия за пределами области 0,6 D_a , требуемая толщина найдена на рисунках 5 и 6 с использованием соответствующей кривой для соответствующего значения d/D_a

Нижние кривые на рисунках 5 и 6 применяются, когда за пределами области 0,6 D_a нет отверстий

4.3.5.2.2.3 Если вогнутое днище сваривается вместе с компонентами чашеобразной выемки и деталей шарнирного кулака, соединение должно находиться на достаточном расстоянии x от шарнирного кулака. Расстояние, которое считается достаточным, является следующим, но с минимумом, по меньшей мере, 100 мм (см. Рис. 4 с)):

Чашеобразная выемка и шарнирный кулак имеют разную толщину стенок:

$$x = 0,5\sqrt{R(s - c)}$$

где s является требуемой толщиной стенки шарнирного кулака:

- чашеобразная выемка и шарнирный кулак имеют одинаковую толщину стенок:

для 10% торосферических днищ $x = 3,5 s$;

для торосферических днищ 2:1 $x = 3,0 s$.

$v = 1,0$ может применяться, если объем испытаний соответствует указанному для расчетного значения напряжения, равного допустимому расчетному значению напряжения, или в случае цельных днищ.

$v = 1,0$ может также применяться в случае сварных концов с куполообразными поверхностями - за исключением полусферических концов - независимо от объема испытаний, при условии, что сварной шов пересекает область коронки $0,6 D$, см. рисунки 4 e) и 4 f) (левая сторона)).

4.3.5.2.2.4 Если связка на соединительной линии между соседними отверстиями не полностью находится в пределах $0,6 D_8$, то область связки должна составлять не менее половины суммы диаметров отверстия. Смотрите также 4.3.5.5.9.

4.3.5.3 Конусы, воспринимающие внутреннее давление

4.3.5.3.1 Символы и единицы

Для целей 4.3.5.3, следующие символы применяются дополнительно к тем, что представлены в п. 3.2 :

A	площадь усиливающего кольца	мм^2
D_{a1}	наружный диаметр присоединенного цилиндра (см. Рис. 7)	мм
D_{a2}	наружный диаметр при действительном повышении жесткости (см. Рис. 9)	мм
D_k	расчетный диаметр (см. рис. 7) действительное повышение жесткости	мм
D_s	диаметр оболочки возле горловины (см. рис. 8)	мм
I	момент инерции по оси, параллельной оболочке	мм^4
l	длина конуса между действительными упрочнениями	мм
s_g	требуемая толщина стенки за пределами конической части	мм
s_l	требуемая толщина стенки конической части	мм
x_i	определяющие линейные размеры ($i = 1, 2, 3$) для определения области угла (Рис. 7а) и 7б) и 4.3.5.3.5	мм
φ	угол конуса	град.
r	внутренний радиус изгиба	мм

4.3.5.3.2 Область применения

Конуса в соответствии с рис.7, где:

$$0,001 \leq \frac{s_g - c}{D_{al}} \leq 0,1$$

и

$$0,001 \leq \frac{s_1 - c}{D_{al}} \leq 0,1$$

Малые днища с шарнирным кулаком могут быть надежно оценены и проверены как малые днища с угловым соединением. Для наружного давления $|\varphi| \leq 70^\circ$.

Углы прочих конусов могут использоваться в случае, если производятся необходимые расчеты.

4.3.5.3.3 Отверстия

Отверстия за пределами угловой зоны (рис. 8) могут конструироваться следующим образом:

- если $|\varphi| \leq 70^\circ$, то следует выбирать конструкцию согласно 4.3.5.5, используя диаметр эквивалентного цилиндра:

$$D_i = \frac{D_s + d_i |\sin \varphi|}{\cos \varphi}$$

(9)

- если $|\varphi| > 70^\circ$, то следует выбирать конструкцию в соответствии с 4.3.5.4.

4.3.5.3.4 Испытания методами неразрушающего контроля

Все угловые соединения должны подвергаться исследованиям, требуемым для коэффициента сварного соединения 1,0, см. Таблицу 6.

4.3.5.3.5 Угловая зона

Угловая зона является частью конуса, в которой преобладающие усилия являются сгибающими усилиями в продольном направлении.

Угловая зона определена на рис. 7a) и 7b) значениями x_1, x_2, x_3 , получаемыми из следующих уравнений:

$$x_1 = \sqrt{D_{al}(s_1 - c)}$$

$$x_2 = 0,7 \sqrt{\frac{D_{a1}(s_1 - c)}{\cos \varphi}}$$

$$x_3 = 0,5 x_1$$

4.3.5.3.6 Расчет внутреннего давления (давления на вогнутую поверхность) |φ| ≤ 70°

а) в угловой зоне

Требуемая толщина стенки (s_1) в угловой зоне рассчитывается по рис. с 10.1 по 10.7 для большого днища и по рис. 10.8 для малого днища конуса с помощью следующих переменных:

$$\varphi, \quad \frac{P_s}{15Kv} \quad \text{и} \quad \frac{r}{D_{a1}}$$

Для углового стыка следует использовать кривую для $\frac{r}{D_{a1}} = \theta$.

Для промежуточных углов конуса следует использовать линейную интерполяцию.

ПТИА-АВТО

Толщина стенки s_1 конической части должна быть не меньшей, чем требуемая толщина требуемая толщина s_g за пределами конической части

б) за пределами угловой зоны

Требуемая толщина стенки, s_g , за пределами угловой зоны рассчитывается по формуле:

$$s_g = \frac{D_k p}{20 \frac{K}{S} v - p} \times \frac{1}{\cos \varphi} + c \quad (13)$$

где

для большого днища $D_k = D_{a1} - 2 [s_1 + r(1 - \cos f) + x_2 \sin \varphi]$.

для малого днища D_k наибольший диаметр конуса, где толщина конуса s_g .

4.3.5.3.7 Расчет внутреннего давления (давление на вогнутую поверхность) |φ| ≤ 70°

Если $r \geq 0,01 D_{a1}$ то требуемая толщина стенки:

$$s_l = s_g = 0,3(D_{al} - r) \times \frac{|\varphi|}{90} \times \sqrt{\frac{p}{10\left(\frac{K}{S}\right)v}} + c \quad (14)$$

4.3.5.4 Плоские днища

4.3.5.4.1 Символы и единицы

Для целей 4.3.5.4, в дополнение к символам, данным в 3.2, применяются следующие символы:

d_1, d_2 и др. диаметры отверстий в мм;

D_1 , диаметры плоских днищ в мм. Как показано на рис. 12.

4.3.5.4.2 Область применения

Сварные или цельнотянутые плоские днища, где отношение Пуассона приблизительно равно 0,3, и

$$\frac{(s_e - c)}{D_1} \geq \sqrt[4]{\frac{0,0087p}{E}}$$

— ТИА-АВТО

и

$$3 \frac{(s_e - c)}{D_1} \leq 1$$

4.3.5.4.3 Отверстия

Отверстия рассчитываются в соответствии с в 4.3.5.4.4, но с умножением коэффициента с на СА. Значение СА дано на рис. 11.

4.3.5.4.4 Расчеты

Требуемая минимальная толщина стенки круглого плоского днища:

$$s = CD_1 \sqrt{\frac{0,1pS}{K}} + c \quad (15)$$

С и D_1 берутся из рис. 12.

Требуемая минимальная толщина стенки прямоугольного плоского днища:

$$s = Ce \sqrt{\frac{0.1pS}{K}} + c$$

где значение СЕ берется из рис. 13.

4.3.5.5 Отверстия в цилиндрах, сферах и конусах

4.3.5.5.1 Символы и единицы

Для целей 4.3.5.5, в дополнение к символам, приведенным в 3.2, применяются следующие символы:

<i>b</i>	ширина пластинчатого, кольцевого или оболочного усиления	мм
<i>h</i>	толщина усиливающей пластины	мм
<i>l</i>	связь (сетка) между двумя горловинами	мм
<i>l_s</i>	длина выступающих частей усиления горловин	мм
<i>s</i>	длина усиления горловины «instand»	мм
<i>s_A</i>	требуемая толщина стенки на краю отверстия	мм
<i>s_s</i>	толщина стенки горловины	мм
<i>t</i>	в данном контексте: расстояние от центра до центра между двумя горловинами	мм

4.3.5.5.2 Область применения

Круглые отверстия и усиление круглых отверстий в цилиндрах, сферах и конусах в следующих пределах:

$$0,002 \leq \frac{(s-c)}{D_a} \leq 0,1$$

$$\frac{(s-c)}{D_a} < 0,002 \text{ is acceptable if } \frac{d_i}{D_a} \leq \frac{1}{3}$$

Эти правила применяются только к конусам, если толщина стенки определяется окружным напряжением.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Дополнительные внешние силы и моменты не охватываются этим подпунктом и должны рассматриваться отдельно, если это необходимо.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Эти правила проектирования предусматривают использование пластиковых покрытий до 1% в локальных зонах с высокой нагрузкой во время испытания под давлением. Поэтому отверстия должны быть тщательно спроектированы, чтобы избежать резких изменений геометрии.

Правила расчета неперпендикулярных горловин должны основываться на перпендикулярной горловине с использованием размера большой эллиптической оси или должны быть рассчитаны в соответствии с EN 13445-3.

4.3.5.5.3 Способы усиления

Отверстия могут быть усилены одним или несколькими из следующих типичных, но не исключительных методов:

- увеличение толщины оболочки, см. рисунки 14 и 15;
- установка накладного или вставного усиливающего кольца, см. рисунки 16 и 17;
- усиление колодки, см. рисунок 18;
- увеличение толщины горловины, см. рисунки 19 и 20;
- усиление колодки и горловины, см. рисунок 21.

Если используется армирование кольцом или прокладкой, пространство между двумя угловыми сварными швами должно вентилироваться снаружи сосуда.

4.3.5.5.4 Конструкции отверстий

Угловой шов на усиливающем фланце должен иметь минимальную толщину горловины, равную половине толщины прокладки.

Толщина сквозного углового шва каждой горловины и сварного шва оболочки должна быть не меньше требуемой толщины более тонкой части.

Если прочность усиливающего материала ниже прочности материала оболочки, то в конструкторских расчетах следует учитывать припуск в соответствии с 4.3.5.5.5. Если прочность усиливающего материала выше, чем прочность материала оболочки, то допуск на увеличение прочности не разрешается.

4.3.5.5 Расчеты

Там, где свойство материала армирования К ниже, чем у оболочки, поперечное сечение усиливающего фланца и толщина усиления горловины должны быть уменьшены на отношение значений К до определения коэффициента v_A . В случае оболочки, подвергаемой только к внутреннему давлению, с рядом горловин, соединенных с оболочкой, полностью проникая в сварные швы, нет необходимости рассчитывать индивидуальное усиление, требуемое для каждого горловины. Однако толщина оболочки, способной противостоять внутреннему давлению, должна рассчитываться с использованием наименьшего значения коэффициента ослабления либо v_A , полученного из уравнения (34), либо v .

Отверстия также должны быть усилены в соответствии со следующим соотношением:

$$\frac{p}{10} \left(\frac{A_p}{A\sigma} + \frac{1}{2} \right) \leq \frac{K}{S} \quad (17)$$

которое основана на равновесии между областью A_p давления под давлением и площадью поперечного сечения несущей нагрузки $A\sigma$. Толщина стенки, полученная из этого соотношения, должна быть не меньше, чем толщина непористой оболочки.

Зона давления A_p и площадь поперечного сечения несущей нагрузки $A\sigma$, равная $A\sigma_0 + A\sigma_1 + A\sigma_2$, получены из рисунков 22-25.

Максимальная протяженность несущей нагрузки поперечного сечения должна составлять не более b , как определено в формуле (20) для оболочек, и l_s , как определено в формулах (22) или (23) для горловин, в зависимости от случая.

Выступ горловин l_s может быть включен в качестве несущей площади поперечного сечения до максимальной длины

$$l'_s = 0,5 l_s \quad (18)$$

Должны соблюдаться ограничения 4.3.5.5.7 и 4.3.5.5.8.

Если свойство материала K_1 , K_2 и т. д. усиления ниже, чем у оболочки, размеры должны соответствовать:

$$\left(\frac{K}{S} - \frac{p}{20} \right) A_{\sigma 0} + \left(\frac{K_1}{S} - \frac{p}{20} \right) A_{\sigma 1} + \left(\frac{K_2}{S} - \frac{p}{20} \right) A_{\sigma 2} \geq \frac{p}{10} A_p \quad (19)$$

4.3.5.5. Кольцевое или пластинчатое усиление либо увеличенная толщина оболочки

Если фактическая толщина стенки цилиндра или сферы меньше, чем требуемая толщина s_A в отверстии, отверстие адекватно усиливается, если толщина стенки s_A доступна вокруг отверстия на ширине:

$$b = \sqrt{(D_i + s_A - c)(s_A - c)} \quad (20)$$

с минимумом 3 s_A (см. рисунки 16, 17 и 18).

Для целей расчета значение s_A должно быть ограничено фактической толщиной стенки не более чем в два раза.

Толщина усиления прокладки в соответствии с рисунком 18 предпочтительно должна быть не больше фактической толщины стенки, к которой прикреплена прокладка.

Усиление внутренней прокладки не допускается.

Ширина усиления подушки может быть уменьшена до b_1 , при условии что толщина подушки увеличивается до h_1 в соответствии с:

$$b_1 \times h_1 \geq b \times h \\ (21)$$

и пределы, указанные выше, соблюдаются.

4.3.5.5.7 Усиление за счет увеличения толщины горловины

Для целей расчета s_s должно быть не более чем в два раза больше s_A .

Толщина горловины s_s должна быть не более чем вдвое s_A .

Толщина стенки s_A в отверстии должна превышать ширину b в соответствии с формулой (20) с минимумом 3 s_A

Пределы нормали усиления к колодцу сосуда:

- для цилиндров и конусов, $I_s = 1,25 \sqrt{(d_i + s_s - c)(s_s - c)}$
 (22)

- для сферических, $I_s = \sqrt{(d_i + s_s - c)(s_s - c)}$
 (23)

Длина I_s может быть уменьшена до I_{s1} при условии, что толщина s_s увеличена до s_{s1} согласно следующему:

$$I_{s1} \times s_{s1} \geq I_s \times s_s \\ (24)$$

и должны соблюдаться вышеуказанные пределы.

4.3.5.5.8 Усиление путем увеличения толщин оболочки и горловины

Толщина оболочки и горловины может быть увеличена в сочетании для усиления отверстий (Рисунок 21). Для расчета арматуры 4.3.5.5.6 и 4.3.5.5.7 должны применяться вместе. Увеличение толщины оболочки может быть достигнуто за счет фактического увеличения толщины оболочки или добавления прокладки..

4.3.5.5.9 Множественные отверстия

Множественные отверстия рассматриваются как одиночные при условии, что расстояние I между двумя смежными отверстиями, рисунки 24 и 26, соответствует:

$$I \geq 2\sqrt{(D_i + s_A - c)(s_A - c)} \quad (25)$$

Если I меньше, чем требуется по формуле (25), должна быть сделана проверка, чтобы определить, способно ли поперечное сечение между отверстиями выдерживать нагрузку, действующую на него. Адекватное усиление доступно, если требование формулы (17) или (19), в зависимости от случая.

Если соседние отверстия в цилиндре расположены посередине между продольным и круговым направлениями, должна применяться схема расчета для продольного направления (рисунок 24), но часть нагруженная область, соответствующая непористому цилиндуру $\left(\frac{ID_i}{2}\right)$ может быть сокращена с использованием конструктивного фактора $-0.5(1 + \cos^2 \varphi)$.

Смотри рисунок 25 для угла φ .

Горловины, соединенные с корпусом в линию сварными швами с полным проплавлением, толщина стенки которых рассчитана только для внутреннего давления, могут быть рассчитаны с ослабляющим коэффициентом

$$v_A = \frac{(t - d_i)}{2} \quad (26)$$

Если горловины не прикреплены сварными швами с полным проплавлением, в формуле (26) следует использовать d_a .

4.3.6 Расчеты для рабочих нагрузок

Конструкция была подтверждена экспериментально, в дополнение к расчетам, приведенным в 4.3.5, могут потребоваться расчеты для обеспечения того, чтобы напряжения, вызванные рабочими нагрузками, находились в допустимых пределах. Все условия нагрузки, ожидаемые во время эксплуатации, должны быть учтены (см. 4.2.3). В этих расчетах статические нагрузки должны заменяться статическими и динамическими нагрузками.

Анализ должен учитывать грубые структурные неоднородности, но не должен учитывать локальные концентрации напряжений. Приложение А предоставляет терминологию и допустимые пределы напряжений при проведении анализа упругих напряжений.

Приемлемые методы расчета включают:

- конечный элемент;
- конечная разность;
- граничный элемент;
- признанные руководства, опубликованные статьи, кодексы и стандарты.

Запланированные и контролируемые экспериментальные средства могут быть использованы для подтверждения этих расчетов, например, путем применения тензодатчиков для проверки уровней напряжения.

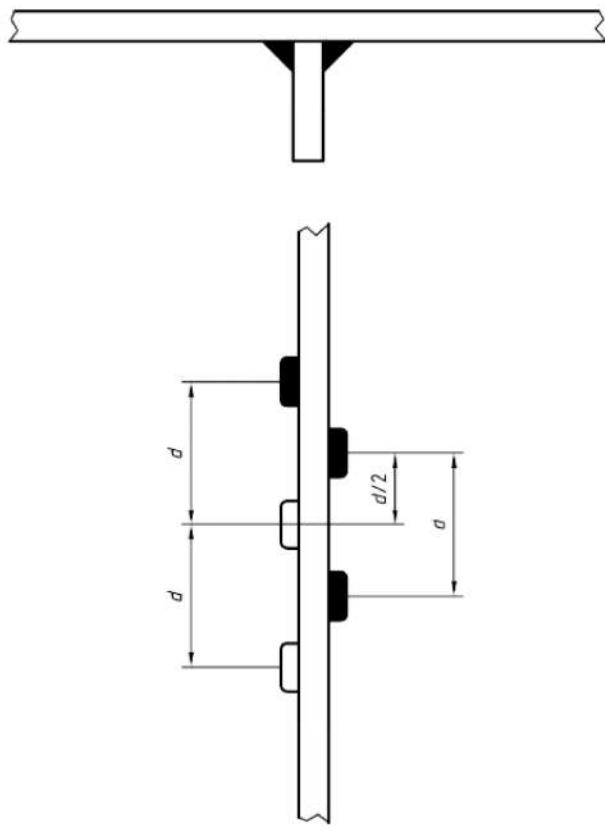
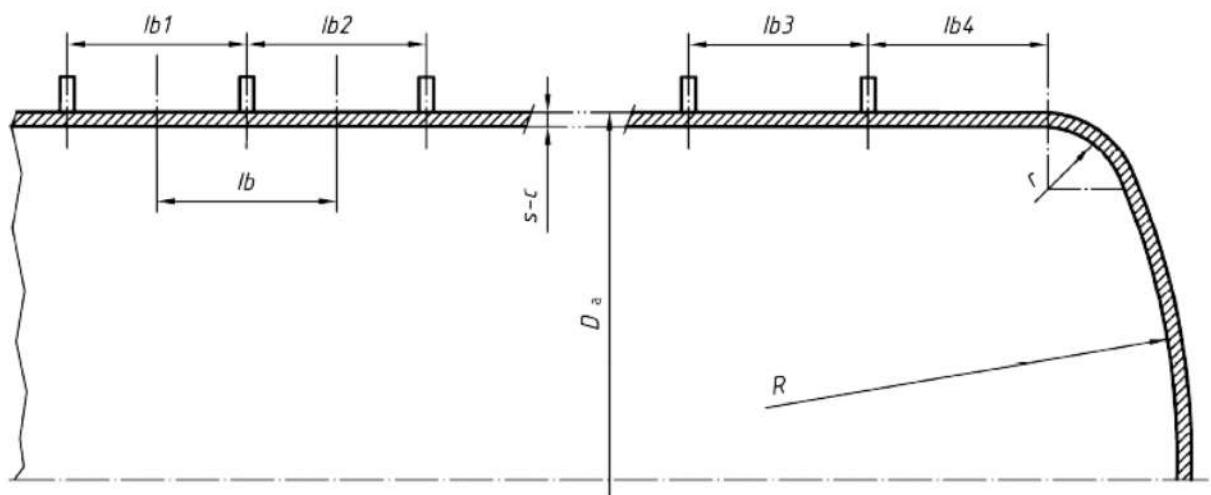


Рисунок 1 Соединение кольца жесткости с оболочкой



Для расчета цилиндрической оболочки :

$I_b = \max(l_{b1}, l_{b2}, l_{b3}, b_{b4})$

Для расчета элементов усиления:

$$l'_{b} = \frac{l_{b1} + l_{b2}}{2}$$

Рисунок 2 - Определение длины выпучивания

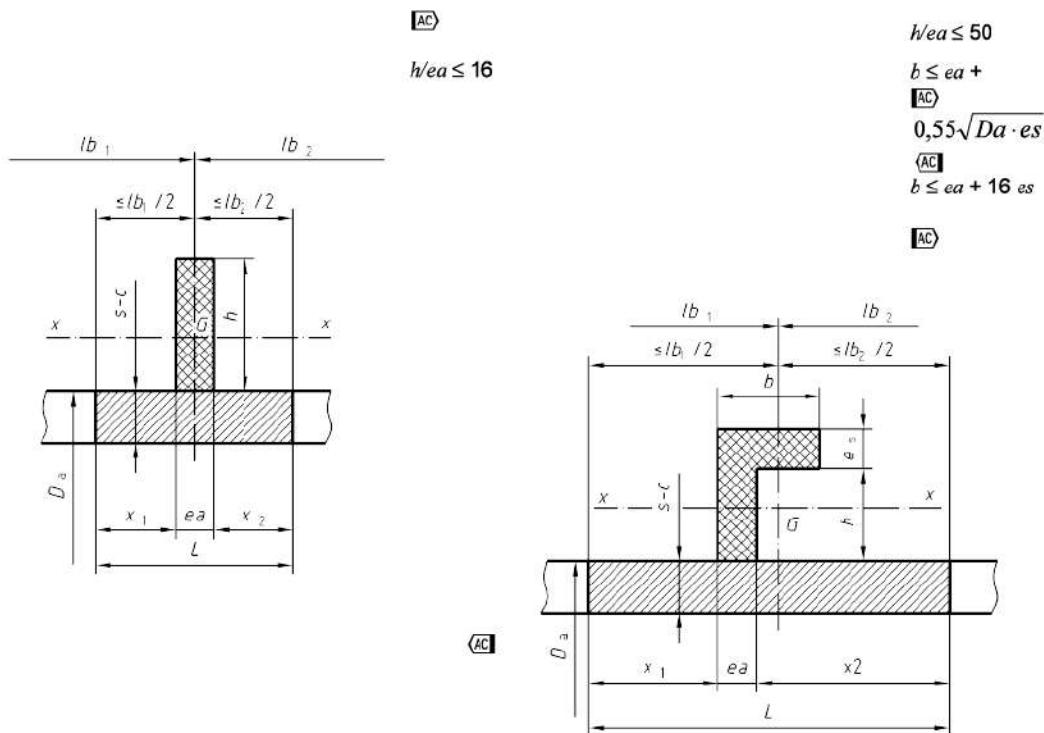
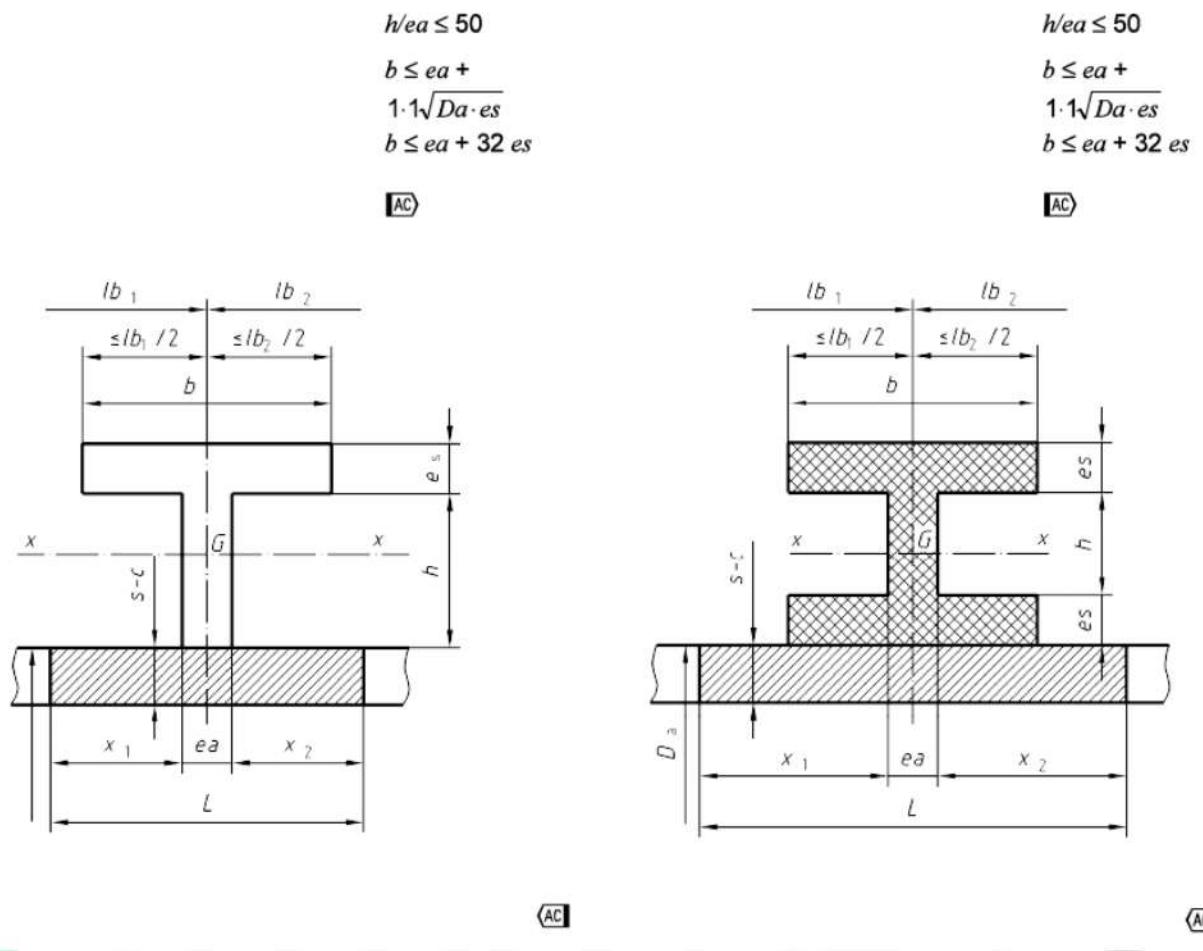


Рисунок 3a

Рисунок 3b



$$\text{AC} h/e_a \leq 50 \text{ AC}$$

$$b \leq 1 \cdot 1 \sqrt{D_a \cdot e_s}$$

$$b \leq 1 \cdot 1 \sqrt{D_a (s - c)}$$

AC

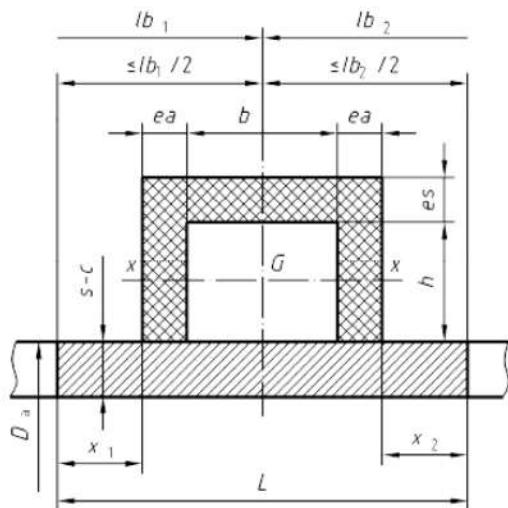


Рисунок 3е

$$\text{AC} x_1 \leq \min \left\{ 0,55 \sqrt{D_a (s - c)} ; \frac{l_{b1}}{2} \right\} \text{AC}$$

$$\text{AC} x_2 \leq \min \left\{ 0,55 \sqrt{D_a (s - c)} ; \frac{l_{b2}}{2} \right\} \text{AC}$$

L - часть оболочки, которая работает как часть усиливающего элемента и увеличивает его эффективный момент инерции.

Рисунок 3 –Определение усиливающих элементов

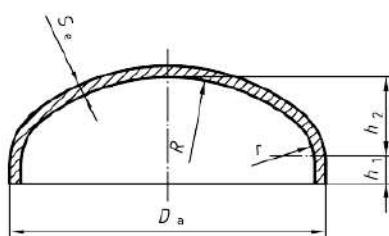
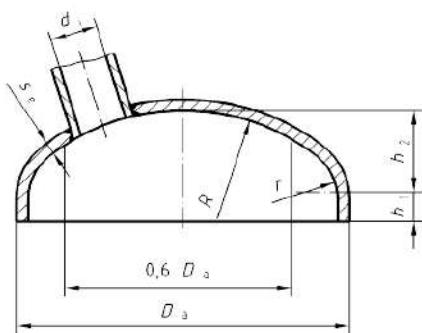


Рисунок 4а) –Выпуклые днища без отверстия

AC



AC

Рисунок 4б) –Выпуклое днище с горловиной

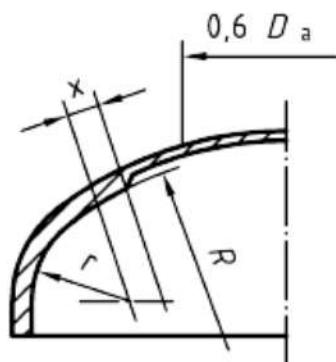
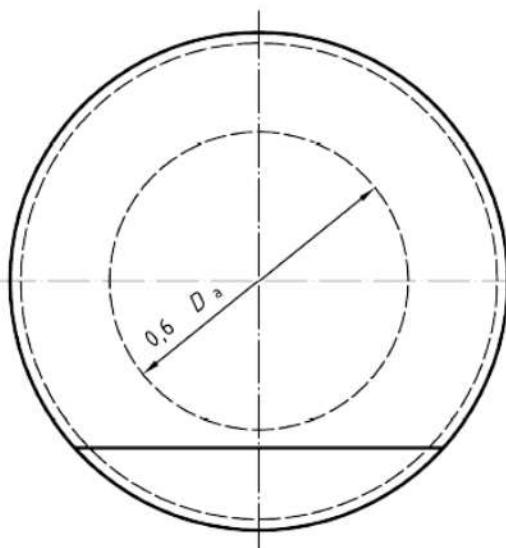
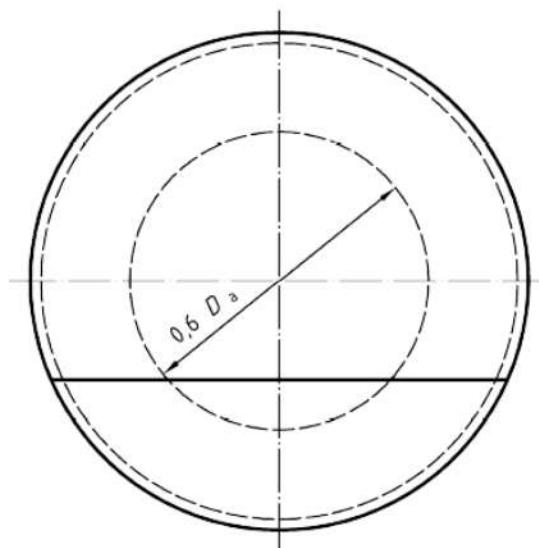


Рисунок 4с) –Днище с шарнирным кулаком и чашеобразной выемкой с утончением стенки



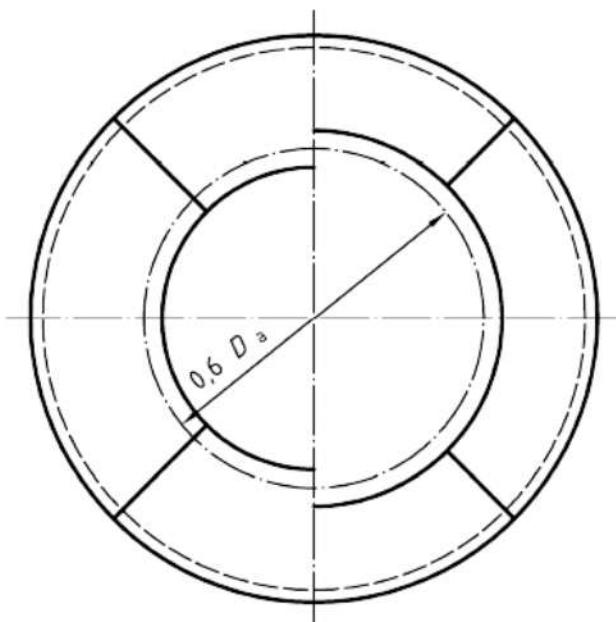
v = 0,85 or 1,0



v = 1,0

Рисунок 4д Наружный сварной шов

Рисунок 4е Внутренний сварной шов



$v = 1,0$

$v = 0,85 \text{ or } 1,0$

Рисунок 4f) Конец, сваренный из круглых пластин и сегментов

Рисунок 4

AC

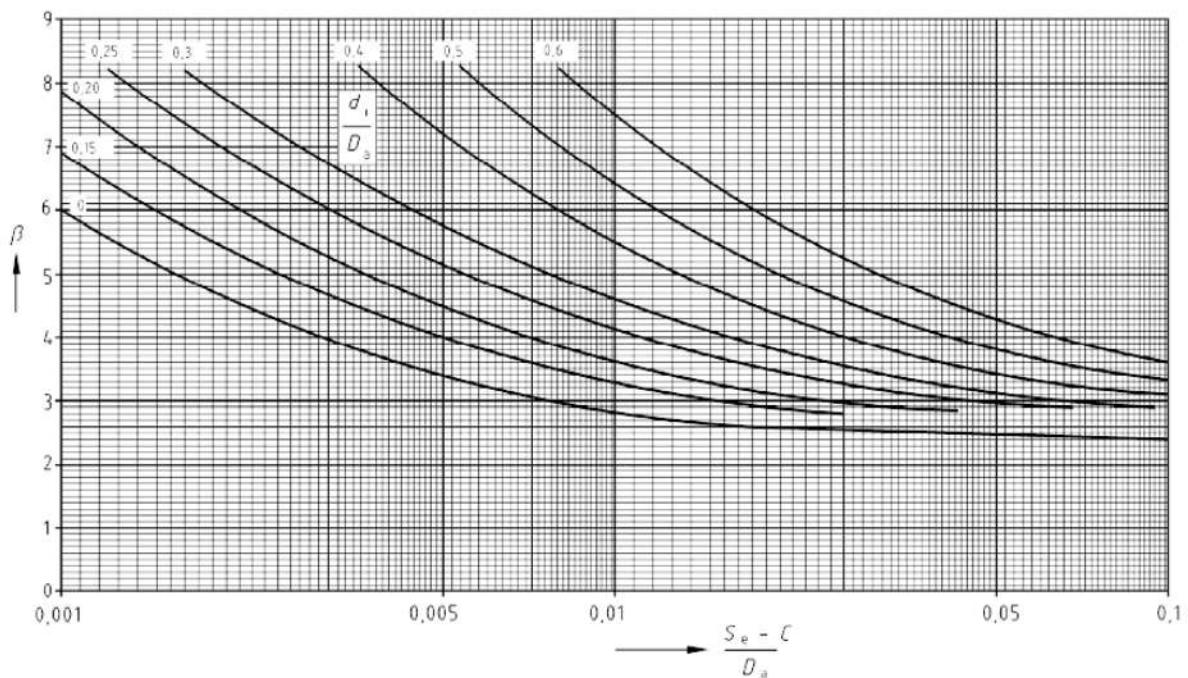


Рисунок 5 – Расчетные коэффициенты P для торосферических выпуклых днищ 10%

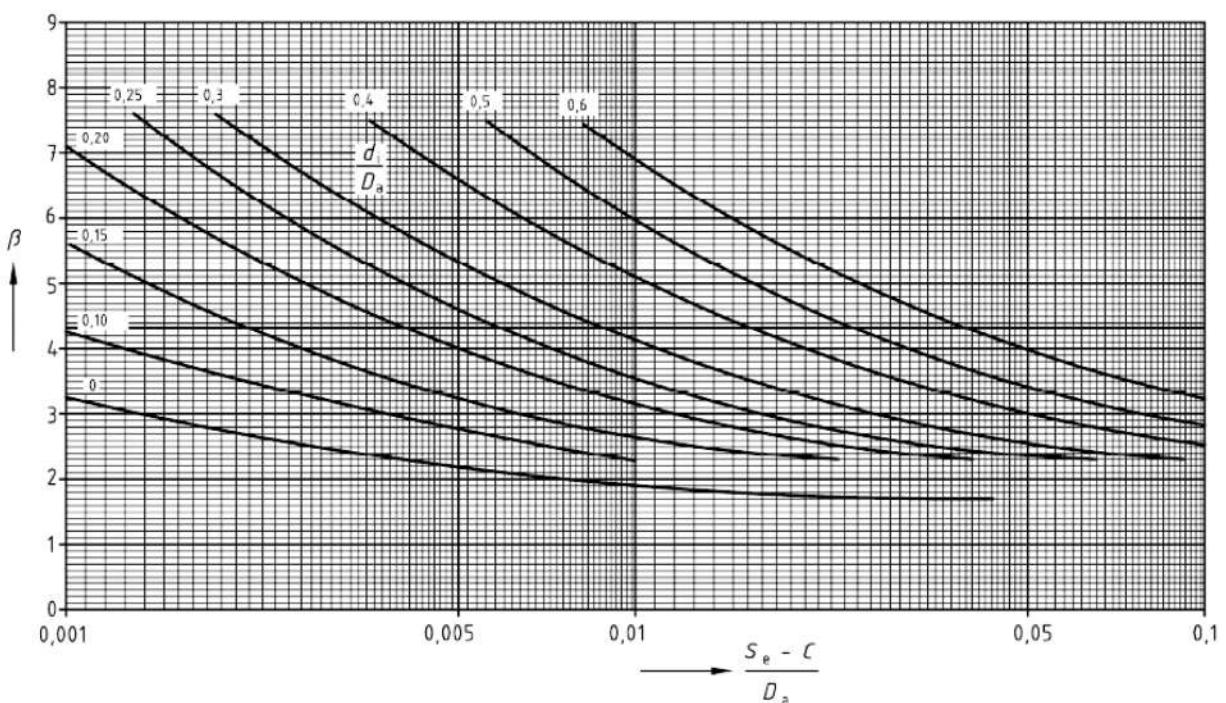
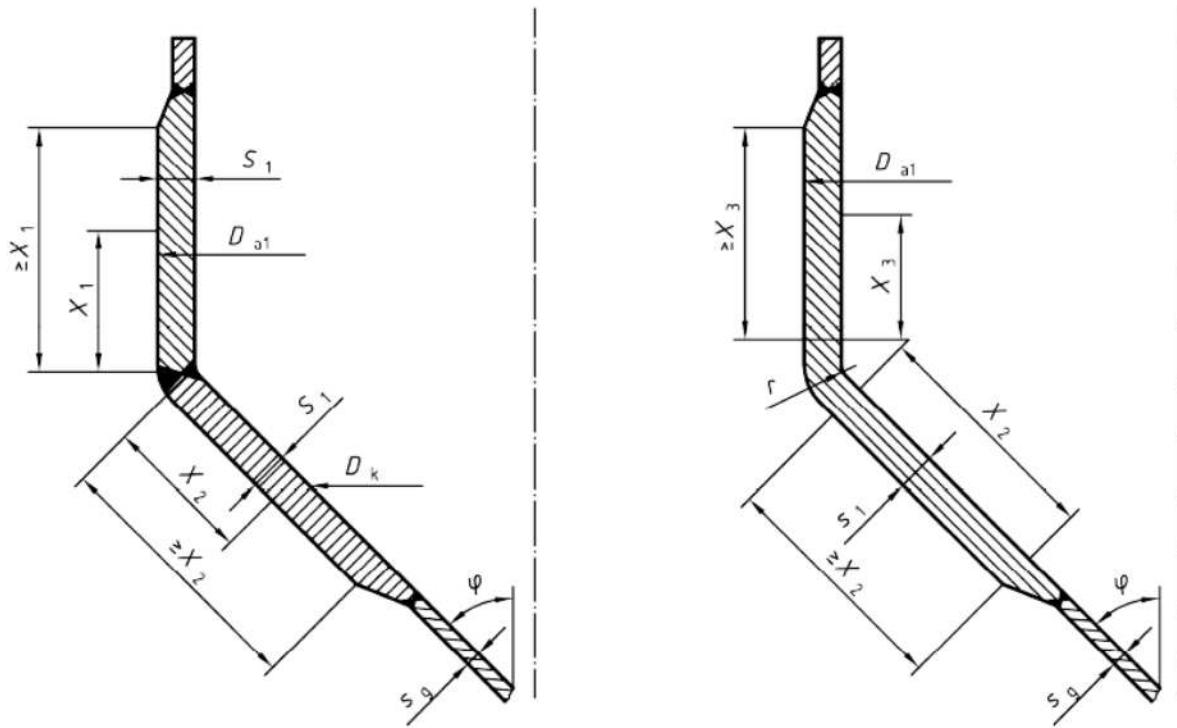


Рисунок 6 – Расчетные коэффициенты P для торосферических выпуклых днищ 2:1



ПТИА-АВТО

Рисунок 7а) –Геометрия сходящейся конической оболочки

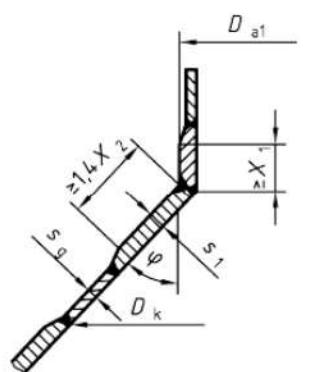


Рисунок 7б) –Геометрия расходящейся конической оболочки

Рисунок 7

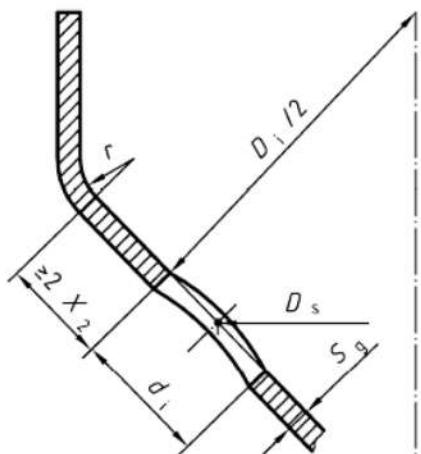


Рисунок 8 –Геометрия конического отверстия

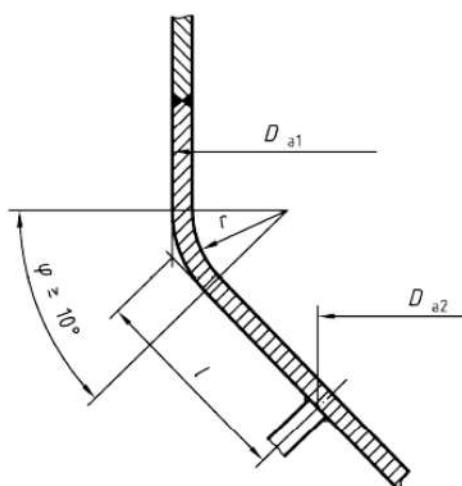


Рисунок 9 Геометрическое количество в случае нагрузки внешним давлением

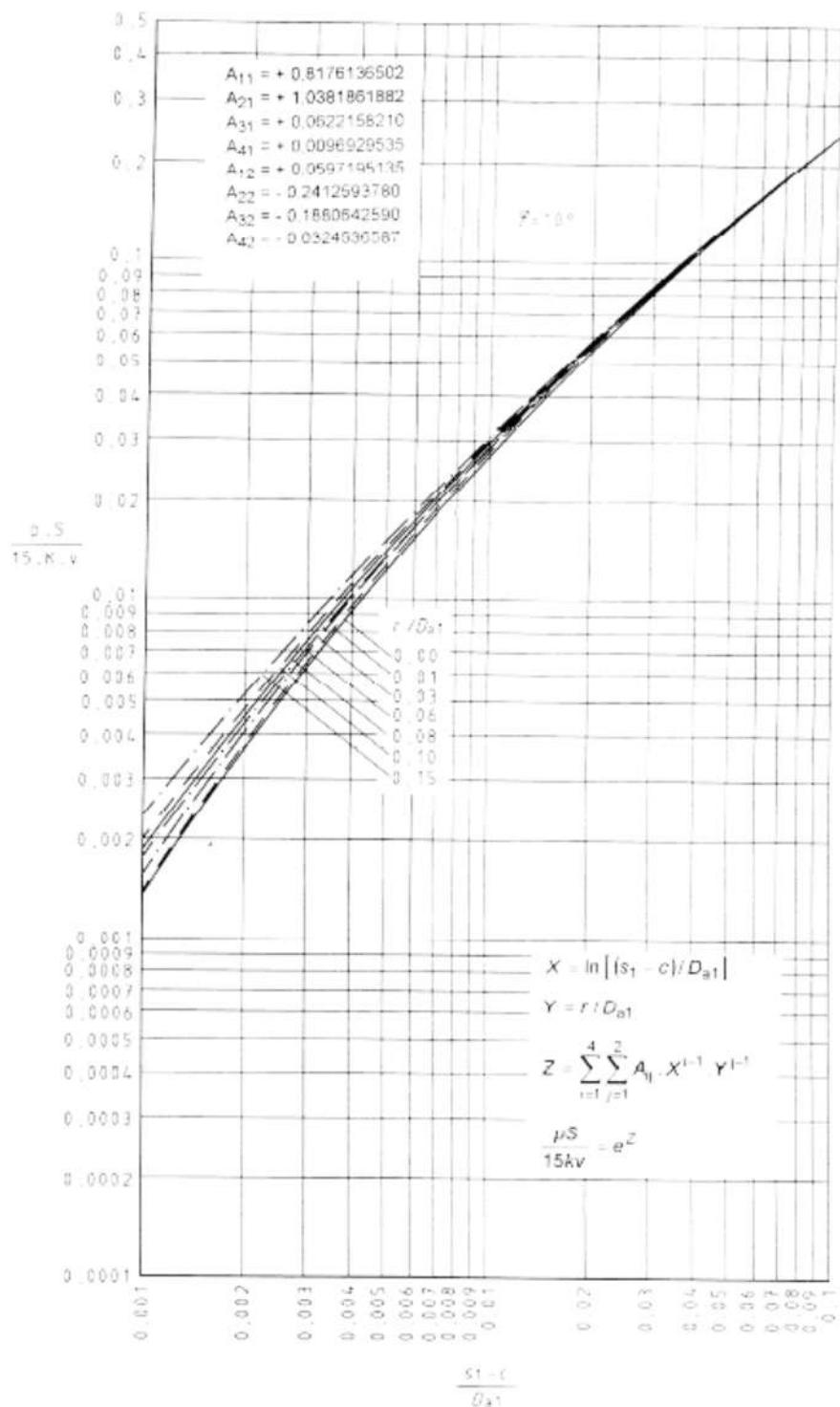


Рисунок 10.1 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 10^\circ$

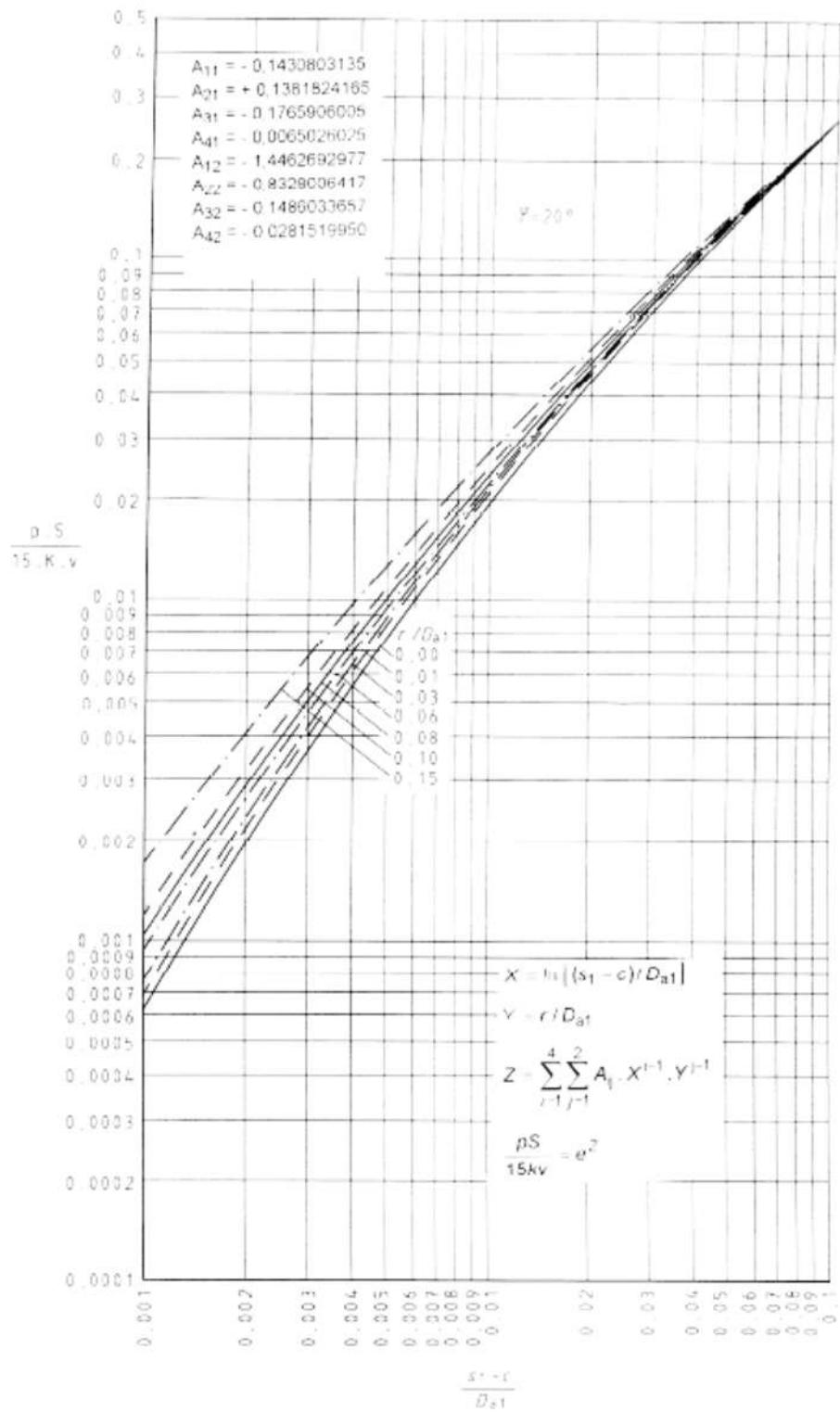


Рисунок 10.2 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 20^\circ$

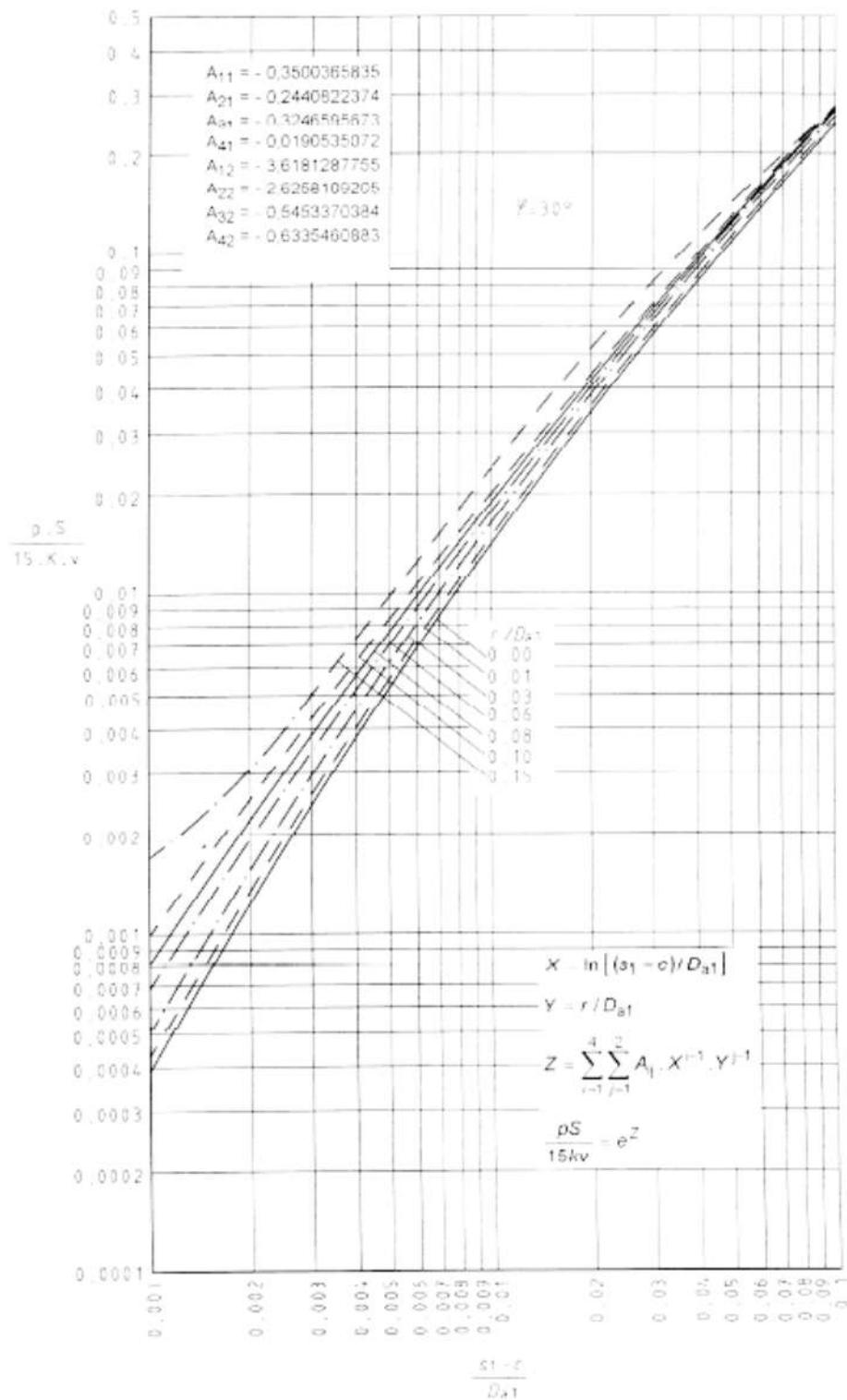


Рисунок 10.3 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 30^\circ$

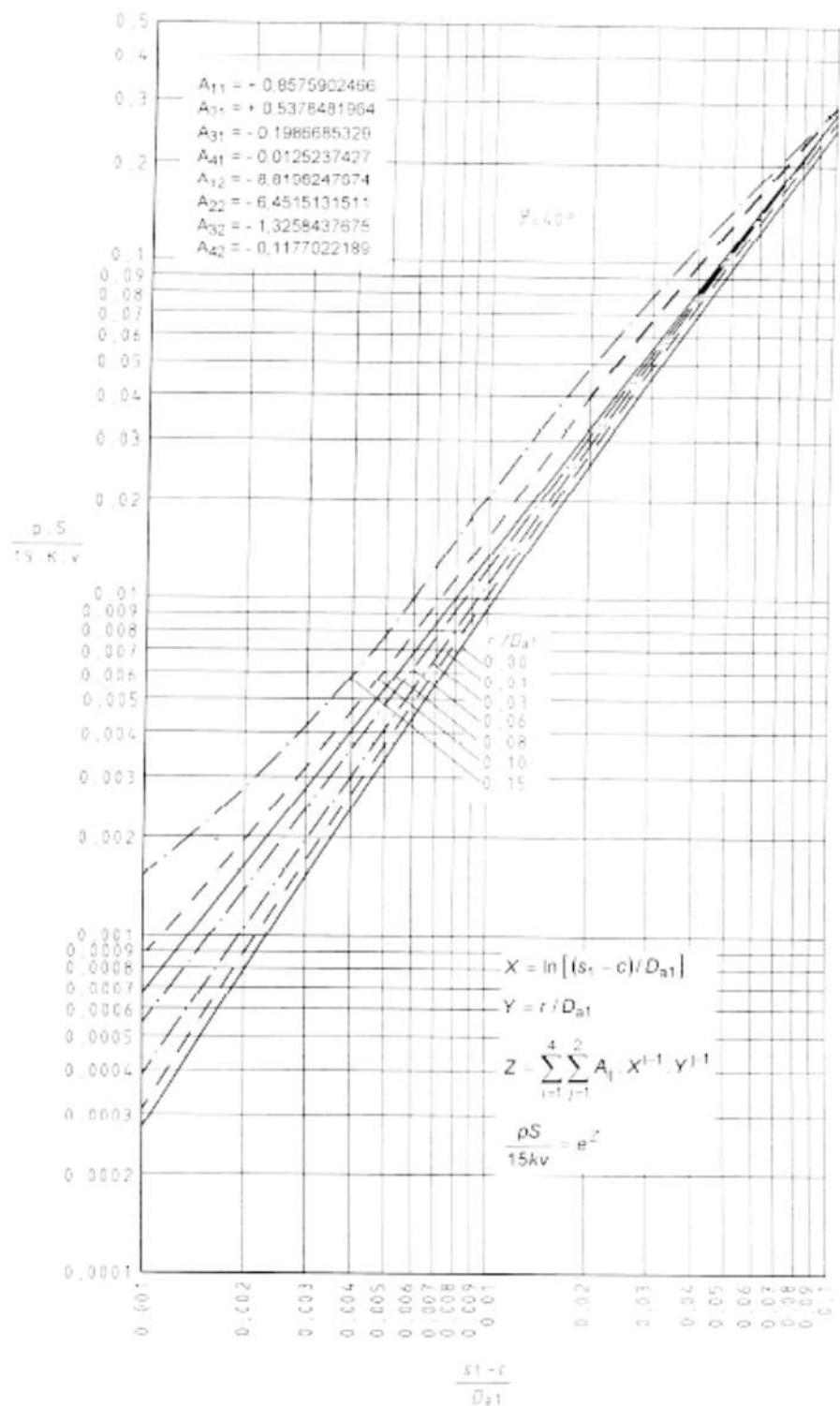


Рисунок 10.4 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 40^\circ$

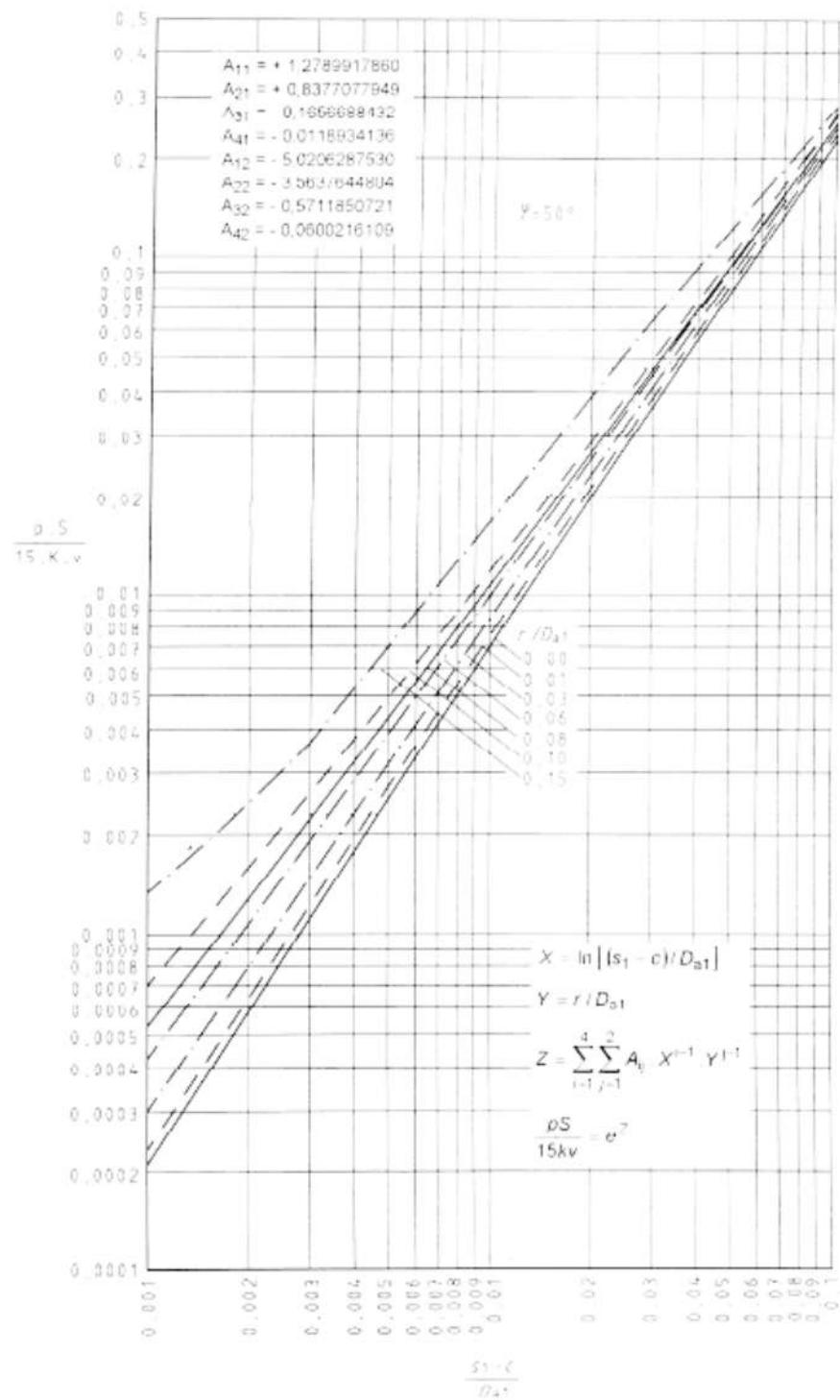


Рисунок 10.5 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 50^\circ$

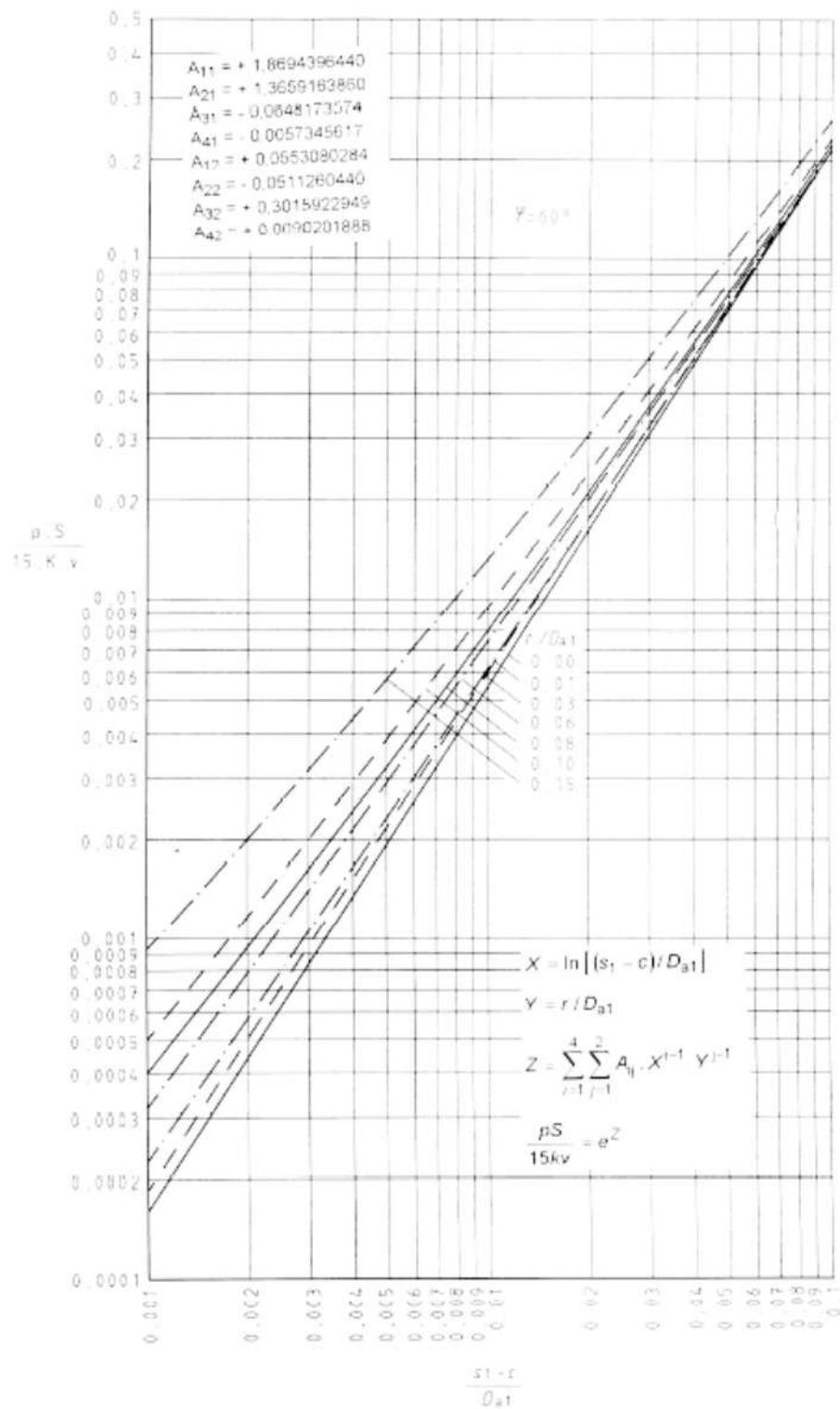


Рисунок 10.6 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\phi = 60^\circ$

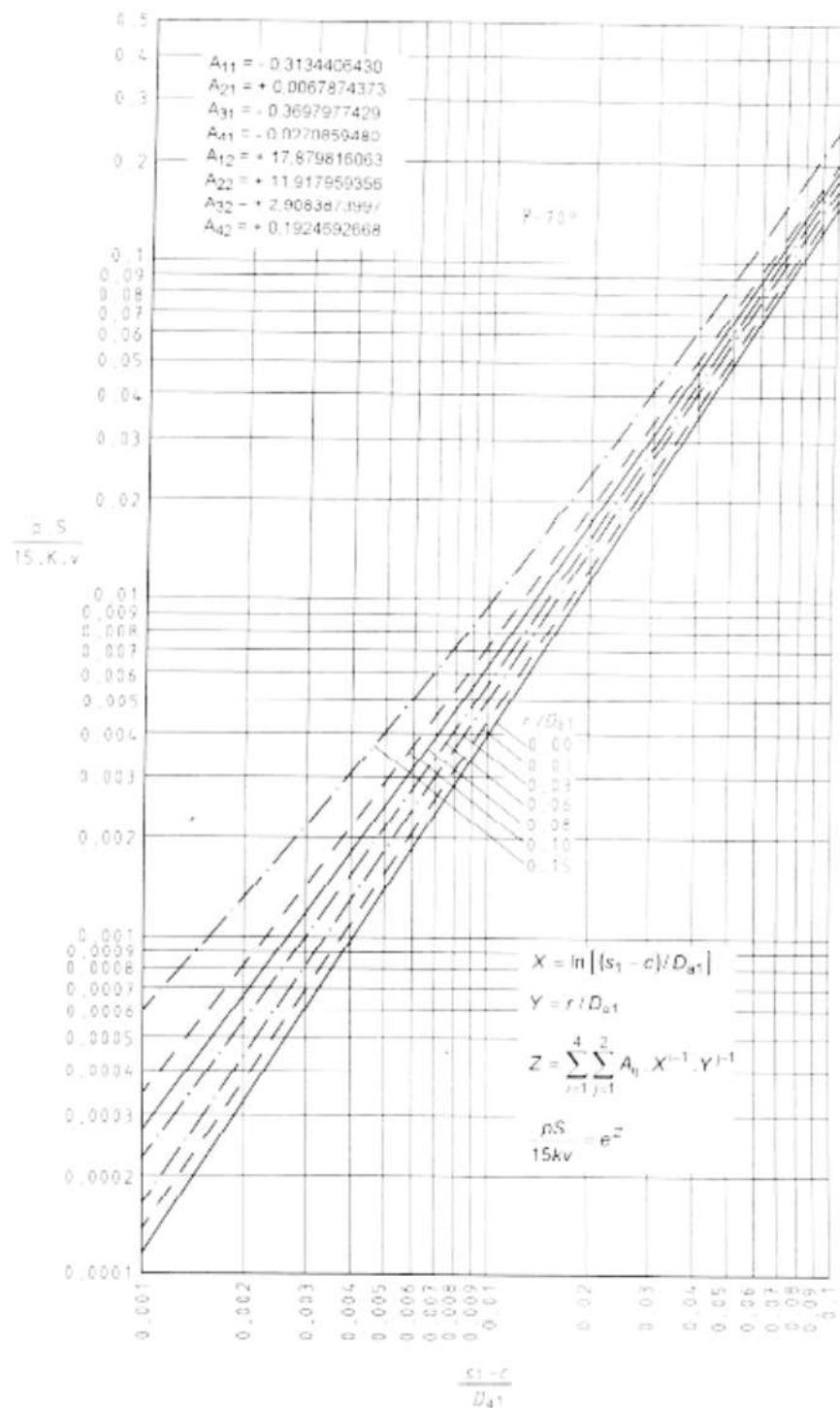


Рисунок 10.7 - Допустимое значение $\frac{pS}{15 \text{ kV}}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия $\varphi = 70^\circ$

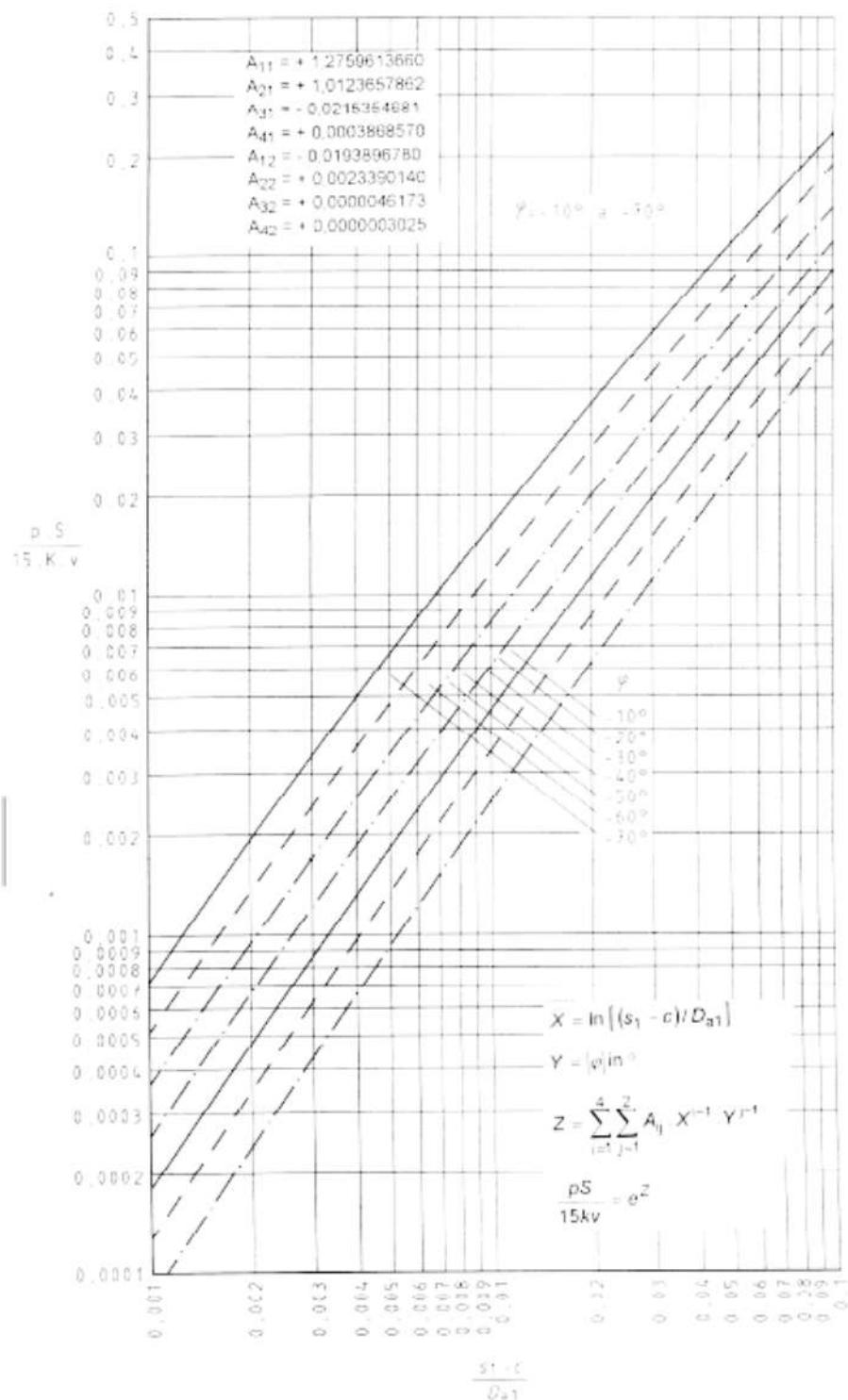
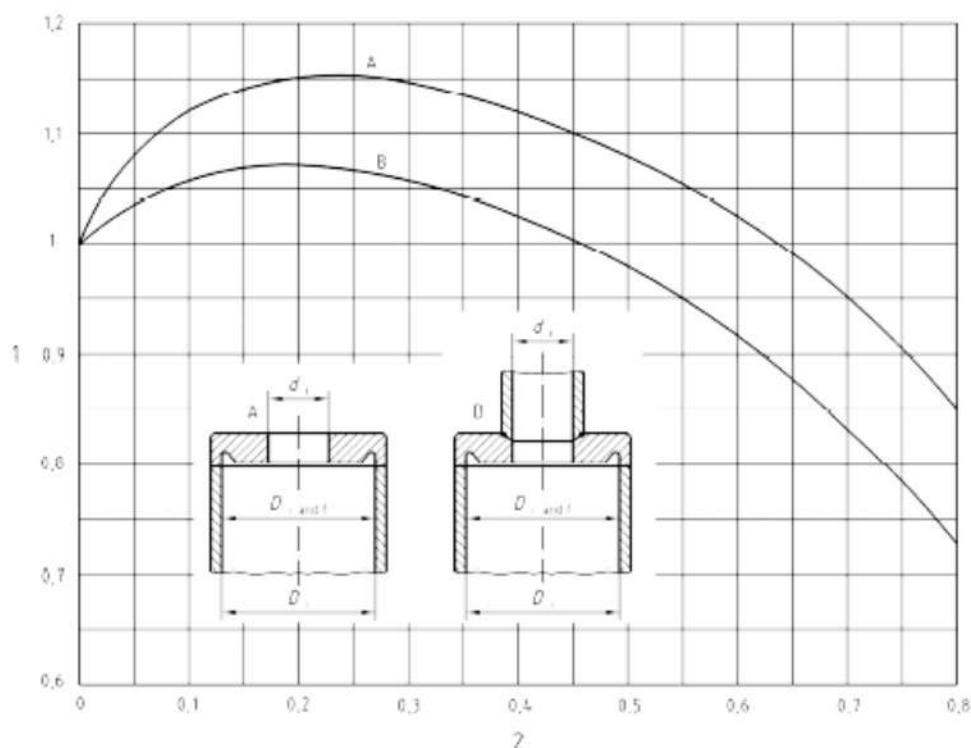


Рисунок 10.8 - Допустимое значение $\frac{pS}{15kV}$ для сходящегося конуса с углом раскрытия φ от 10° до 70°

AC

**Обозначения**

- 1 Фактор открытия C_A
2 Коэффициент d_i/D_t соотв. Dt/f

Тип А

d_i = внутренний диаметр открытия
 D_i = проектный диаметр
 f = короткая сторона эллиптического конца

Тип В

d_i = внутренний диаметр открытия
 D_i = проектный диаметр
 f = короткая сторона эллиптического конца

$$C_A = \begin{cases} \sum_{i=1}^6 A_i \left(\frac{d}{D_i} \right)^{i-1} & \left| 0 < \left(\frac{d}{D_i} \right) \leq 0,8 \right. \\ \sum_{i=1}^6 A_i \left(\frac{d}{f} \right)^{i-1} & \left| 0 < \left(\frac{d}{f} \right) \leq 0,8 \right. \end{cases}$$

$$A_1 = 0,999\,034\,20$$

$$A_2 = 1,980\,626\,00$$

$$A_3 = 9,018\,554\,00$$

$$A_4 = 18,632\,830\,00$$

$$A_5 = 19,497\,590\,00$$

$$A_6 = 7,612\,568\,00$$

$$C_A = \begin{cases} \sum_{i=1}^6 A_i \left(\frac{d}{D_i} \right)^{i-1} & \left| 0 < \left(\frac{d}{D_i} \right) \leq 0,8 \right. \\ \sum_{i=1}^6 A_i \left(\frac{d}{f} \right)^{i-1} & \left| 0 < \left(\frac{d}{f} \right) \leq 0,8 \right. \end{cases}$$

$$A_1 = 1,001\,003\,44$$

$$A_2 = 0,944\,284\,68$$

$$A_3 = 4,312\,102\,00$$

$$A_4 = 8,389\,435\,00$$

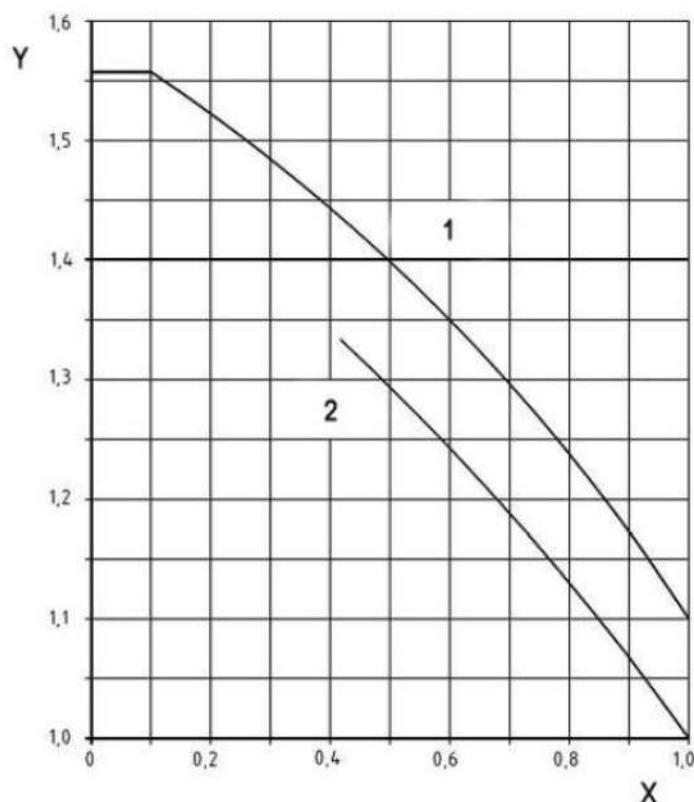
$$A_5 = 9,206\,283\,84$$

$$A_6 = 3,694\,941\,96$$

Рисунок 11 - Коэффициент раскрытия СА для плоских днищ и пластин без дополнительного краевого момента

Тип конструкции плоского днища	Условия	Расчетный коэффициент С												
a) плоское днище	<p>1. Радиус изгиба</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D_a</th> <th>r_{min}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>up to 500</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>over 500 up to 1400</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>over 1400 up to 1600</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>over 1600 up to 1900</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>over 1900</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>и $r \geq 1,3 s$</p> <p>2. цилиндрическая часть: $h \geq 3,5 \times s$</p>	D_a	r_{min}	up to 500	30	over 500 up to 1400	35	over 1400 up to 1600	40	over 1600 up to 1900	45	over 1900	50	0,30
D_a	r_{min}													
up to 500	30													
over 500 up to 1400	35													
over 1400 up to 1600	40													
over 1600 up to 1900	45													
over 1900	50													
b) штампованное или тянутое плоское днище	<p>1. Радиус изгиба</p> <p>$r \geq \frac{s}{3}$ однако, как минимум, 8 мм</p> <p>цилиндрическая часть: $h \geq s$</p>	0,35												
c) плоская пластина, приваренная к оболочке только с одной стороны	<p>толщина пластины:</p> <p>$s \leq 3 s_1$</p> <p>$s > 3 s_1$</p>	 0,45 0,50 												
d) пластина приварена к оболочке на обеих сторонах оболочки	<p>толщина пластины:</p> <p>$s \leq 3 s_1$</p> <p>$s > 3 s_1$</p> <p>Допускается применение только спокойной стали. При использовании материала пластины на площади не менее $3 s_1$ в зоне сварки не должно быть признаков существенной несплошности в пластине.</p>	0,40 0,45												
e) плоское днище вварено в оболочку с обеих сторон	<p>толщина пластины:</p> <p>$s \leq 3 s_1$</p> <p>$s > 3 s_1$</p>	 0,35 0,40 												

Рисунок 12 –Расчетные коэффициенты для незакрепленных круглых днищ и пластин



Обозначения

- 1 Прямоугольник
 2 Эллипс
 Y проектный коэффициент
 X Коэффициент f/e

Прямоугольные пластины

f = короткая сторона прямоугольной пластины
 y = длинная сторона прямоугольной пластины

Эллиптические пластины

f = короткая сторона эллиптической пластины
 y = длинная сторона эллиптической пластины

$$C_e = \begin{cases} \sum_{i=1}^4 A_i \left(\frac{f}{e}\right)^{i-1} & \left| 0,1 < \left(\frac{f}{e}\right) \leq 1,0 \right. \\ 1,562 & \left| 0 < \left(\frac{f}{e}\right) \leq 0,1 \right. \end{cases}$$

$$A_1 = 1,589\ 146\ 00$$

$$A_2 = -0,239\ 349\ 90$$

$$A_3 = -0,335\ 179\ 80$$

$$A_4 = 0,085\ 211\ 76$$

$$C_e = \begin{cases} \sum_{i=1}^4 A_i \left(\frac{f}{e}\right)^{i-1} & \left| 0,43 < \left(\frac{f}{e}\right) \leq 1,0 \right. \end{cases}$$

$$A_1 = 1,489\ 146\ 00$$

$$A_2 = -0,239\ 349\ 90$$

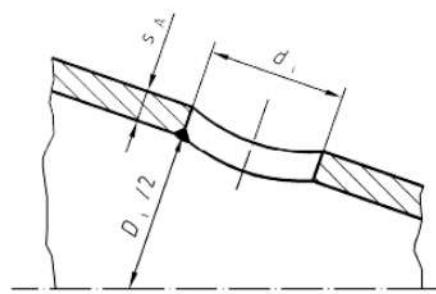
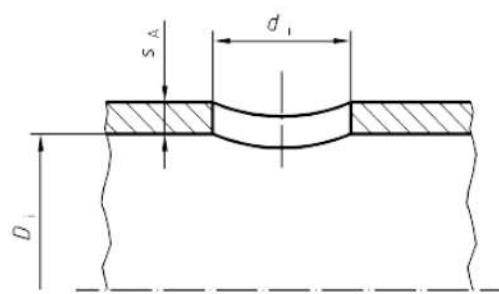
$$A_3 = -0,335\ 179\ 80$$

$$A_4 = 0,085\ 211\ 76$$

Рисунок 13 - Расчетный коэффициент C_e для прямоугольных и эллиптических ребер

AC

AC



AC

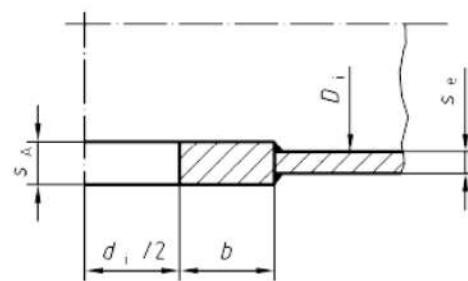
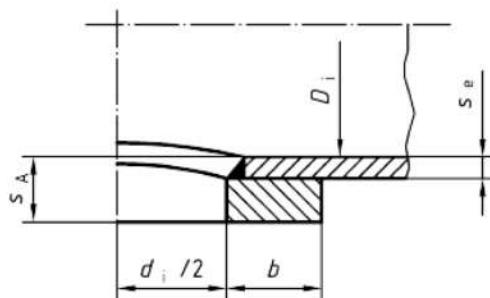
AC

Рисунок 14 – Увеличенная толщина цилиндрической оболочки

Рисунок 15 – Увеличенная толщина конической оболочки



AC



AC

Рисунок 16 – Накладное усиливающее кольцо

Рисунок 17 – Вставное усиливающее кольцо

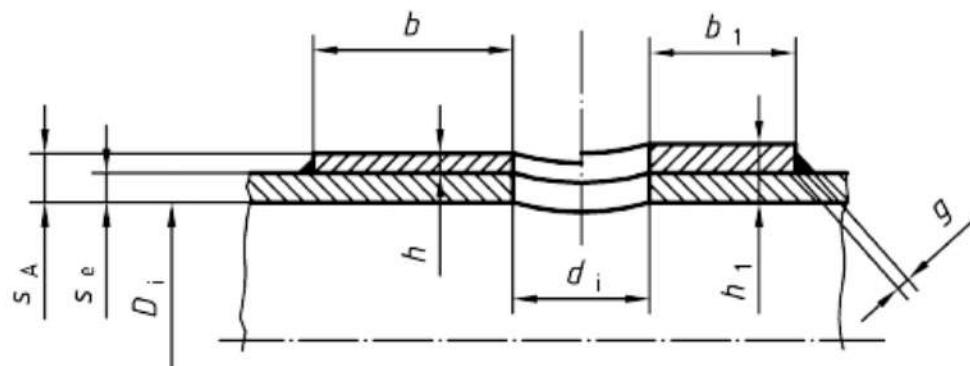
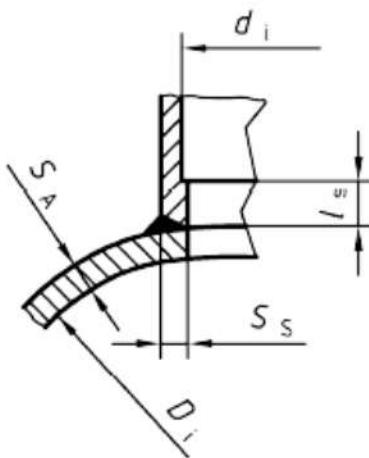
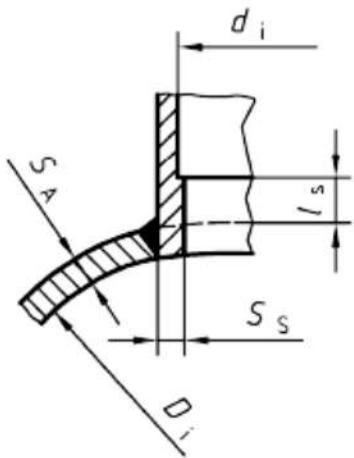


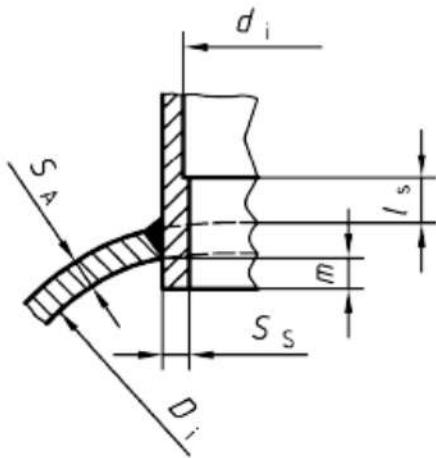
Рисунок 18 – Ребро жесткости



Тип а)

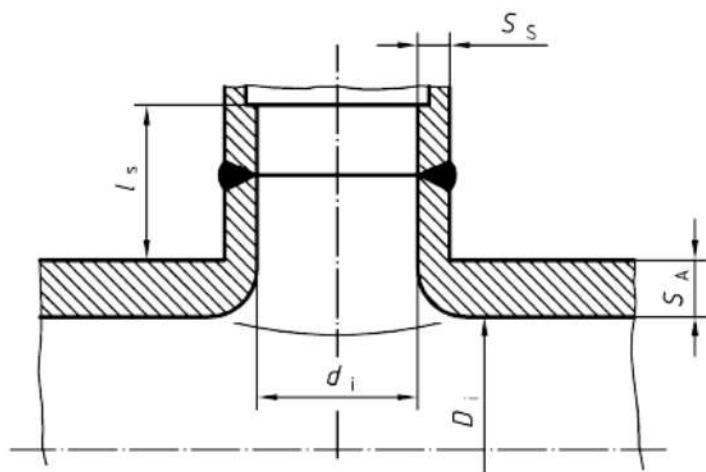


Тип б)



Тип с)

Рисунок 19 –Усиление горловины



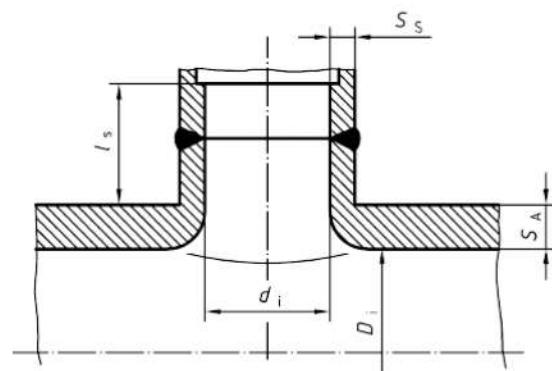
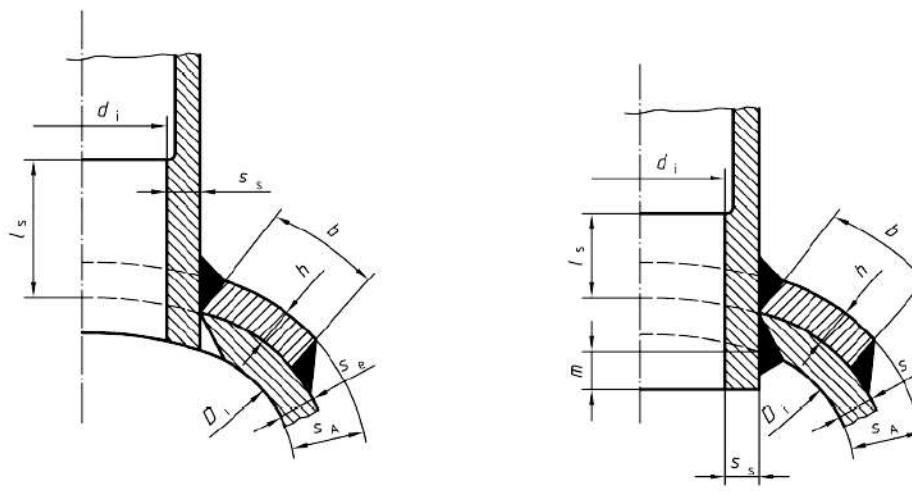


Рисунок 20 –Отверстие горловины

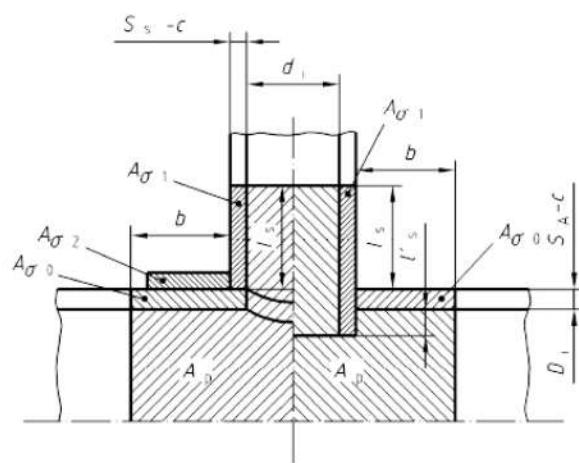


Тип а)

Тип б)

Рис. 21 – Накладка

AC



AC

Рис. 22 – Расчетная схема для цилиндрических оболочек

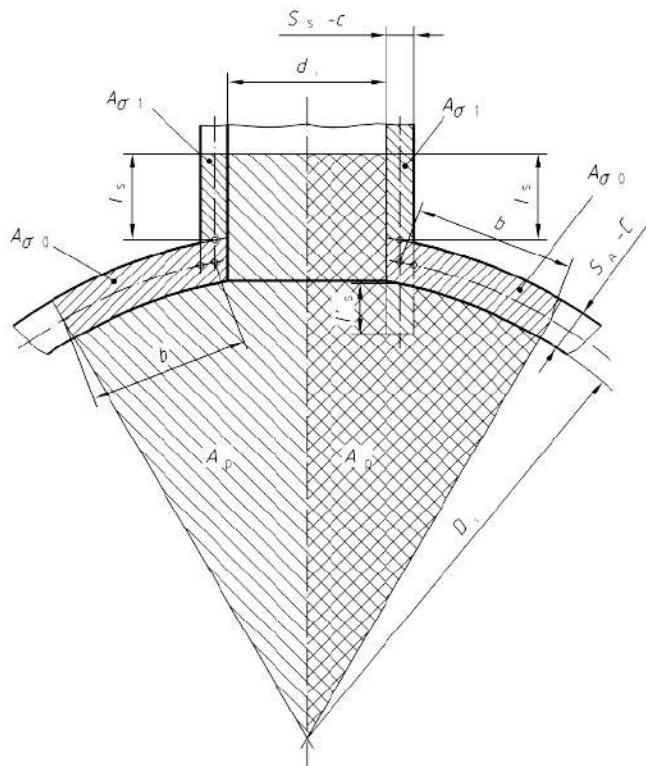


Рисунок 23 – Расчетная схема для сферических оболочек

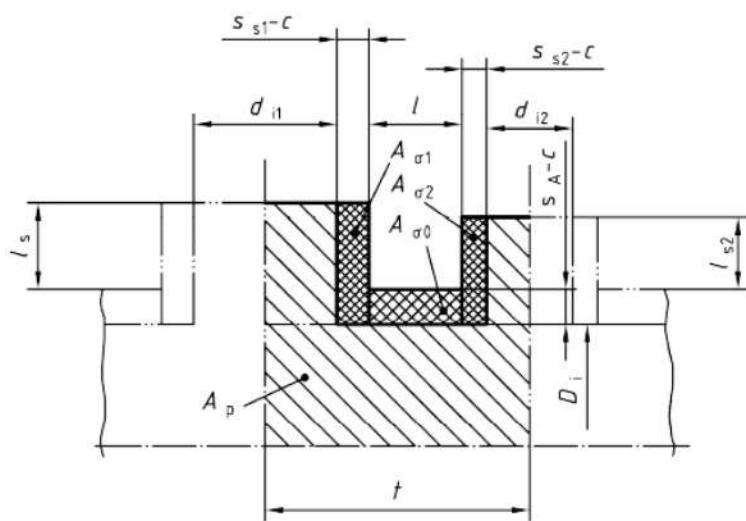
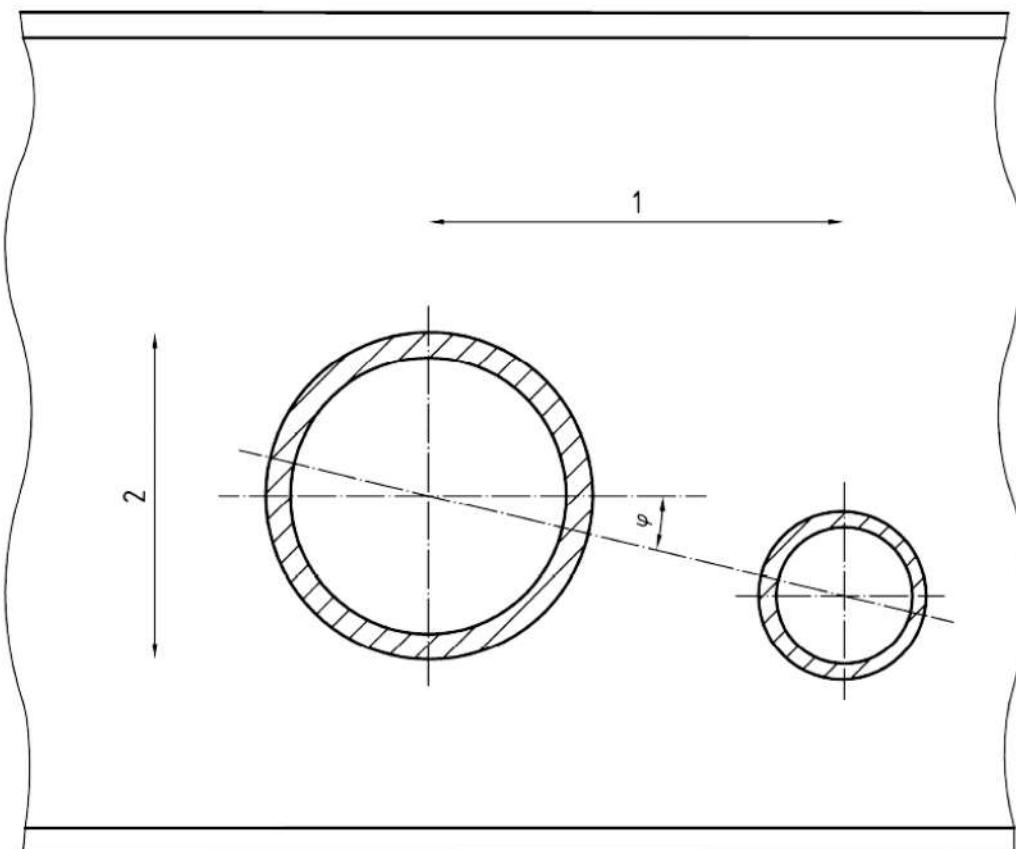


Рисунок 24 – Расчетная схема для прилегающих горловин в продольном направлении и направлении по окружности или сосуда



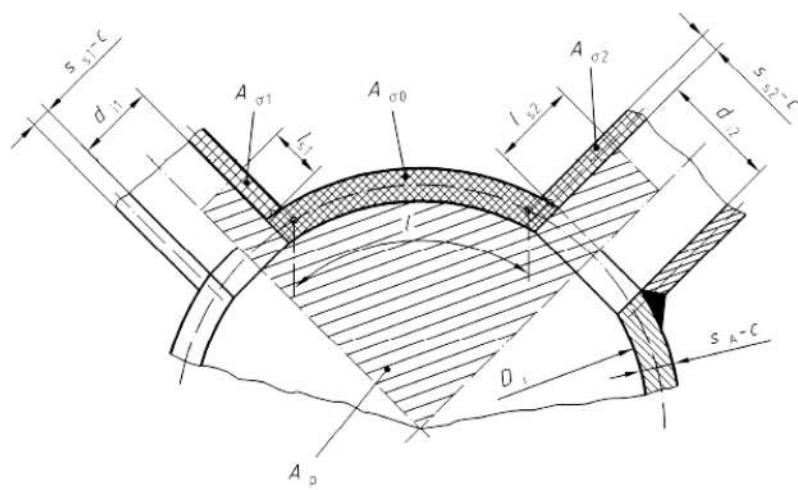
Обозначения

1 Продольное направление

2 Направление по окружности

Рисунок 25 – Отверстия между продольным направлением и направлением по окружности

AC



AC

Рисунок 26 – Расчетная схема для прилегающих горловин в продольном направлении и направлении по окружности сосуда

5 Изготовление

5.1 Общие сведения

5.1.1 Изготовитель или его субподрядчик должны располагать оборудованием для обеспечения производства и испытаний в соответствии с проектом.

5.1.2 Изготовитель должен поддерживать:

- систему прослеживаемости материала деталей, работающих под давлением, используемых в конструкции внутреннего сосуда;
- расчетные размеры в пределах установленных допусков;
- необходимую чистоту сосуда, соответствующих трубопроводов и другого оборудования, которое может вступить в контакт с криогенной жидкостью

5.2 Резка

Материал может быть нарезан по размеру и форме термической резкой, механической обработкой, холодной резкой или другим подходящим способом. Материал, раскроенный термическими способами, должен быть подвергнут механической обработке или шлифования.

5.3 Холодная штамповка

5.3.1 Аустенитные нержавеющие стали

Термическая обработка после холодной штамповки не требуется ни в одном из случаев:

- a) для рабочих температур до - 196 °C: в сертификате испытаний для основного материала показано относительное удлинение при разрыве A5 не менее 30% и деформация при холодной штамповке не более 15%, или можно продемонстрировать, что остаточное удлинение не менее 15%;
- b) для рабочих температур ниже - 196 °C: деформация при холодной штамповке больше или равна 15%, и показано, что остаточное удлинение составляет не менее 15%;
- c) для штампованных головок в сертификате испытаний для основного материала показано удлинение при разрушении A5:
 - не менее 40% при толщине стенки более 15 мм при расчетных температурах до - 196 °C;
 - не менее 45% при толщине стенки более 15 мм при расчетных температурах до - 196 °C;
 - не менее 50% при расчетных температурах ниже - 196 °C.

В случаях, когда требуется термообработка, она должна производиться в соответствии со стандартом на материал. Деформация при холодной штамповке может быть рассчитана в соответствии с EN 13445-4.

5.3.2 Ферритные стали

Требования к последующей термообработке:

- a) Стали с 9% Ni требуют последующей термообработки, когда холодная деформация превышает 5%. Полностью сертифицированная закаленная и отпущеная или дважды нормализованная и отпущеная 9-процентная никельсодержащая сталь должна пройти снятие напряжений при температуре от 560°C до 580°C. Штамповка и снятие напряжений могут производиться в несколько этапов. Испытательный образец, взятый из исходного материала, который сопровождает штампованную деталь на всех этапах термообработки, должен быть испытан после завершения всей термообработки, чтобы доказать, что механические свойства материала соответствуют требованиям стандарта на материал;
- b) для следующих ферритных сталей, используемых для внутреннего сосуда, последующая термообработка не требуется, если штамповочная деформация не превышает 5%:

1) легированные никелем стали, пригодные для использования при низких температурах;

2) углеродистые и углеродисто-марганцевые стали:

- где $R_m \leq 530 \text{ Н / мм}^2$
- или где $530 \leq R_m \leq 650 \text{ Н / мм}^2$ и $R_{0.002} \leq 360 \text{ Н/мм}^2$

Целесообразно после холодной штамповки производить одну из следующих операций: нормализацию, двухэтапную нормализацию плюс отпуск, закалку путем резкого охлаждения плюс отпуск или аустенизирующий отжиг.

Параметры, указанные производителем основного материала в сертификате об испытании, должны приниматься в качестве указания или рекомендации для термообработки, за исключением того, что могут применяться другие термообработки, если технологическая карта является аттестованной, а изделие или испытательный образец, представляющий изделие, после штамповки и термообработки испытывается.

5.4 Горячая штамповка

5.4.1 Общая информация

Штамповка должна осуществляться в соответствии с аттестованной технологической картой. В технологической карте штамповки должны указываться: скорость нагрева, температура выдержки, температурный диапазон и время, в течение которого происходит штамповка, и должна содержать подробную информацию о любой термической обработке, которая должна быть подвергнута штампованная деталь.

5.4.2 Аустенитные нержавеющие стали

Материал должен равномерно нагреваться в соответствующей атмосфере без воздействия пламени до температуры, не превышающей рекомендованную температуру горячей штамповки материала. Если штамповка проводится после того, как температура материала упала ниже 900° С, должны соблюдаться требования 5.3.1.

5.4.3 Ферритная сталь

Требования к последующей термообработке:

- a) сталь с содержанием никеля 9%, предназначенная для горячей штамповки, должна проходить двухэтапную нормализацию или закалку и отпуск в соответствии со стандартом на материал для установления свойств материала, указанных в нем. Испытательный образец (образцы) должен быть предоставлен и испытан в соответствии со стандартом на материал;
- b) ферритная сталь, предназначенная для горячей штамповки, должна подвергаться термической обработке в соответствии со стандартом на материал для определения свойств материала, указанных в нем:
 - стали, прошедшие закалку на воздухе, должны быть затем отпущены;
 - образцы для испытаний должны быть предоставлены и испытаны в соответствии со стандартом на материал;
 - для нормализованных сталей последующая термическая обработка не требуется, если горячая штамповка выполняется в пределах указанного диапазона температур, указанного в стандартах на материалы; дальнейшие образцы не требуются.



ПТИА-АВТО

5.5 Допуски изготовления

5.5.1 Точность расположения пластин

За исключением случаев, когда предусмотрен переход со скосом, погрешность взаимного расположения поверхностей соседних плит на сварных швах должно быть:

- для продольных швов - не более 15% толщины более тонкой пластины до максимума 3 мм;
- для кольцевых швов - не более 25% толщины более тонкой пластины до максимума 5 мм.

Если между поверхностями предусмотрен скос, он должен иметь уклон не более 30°. Скос может включать в себя ширину сварного шва, при этом нижняя поверхность при необходимости может быть наплавлена добавленным металлом сварного шва. Если для обеспечения скоса с плиты удаляется слой материала, то толщина каждой плиты не должна уменьшаться до толщины, меньшей, чем та, которая требуется для конструкции.

Расстояние между любой поверхностью более толстой пластины и осевой линией более тонкой

пластины скошенных швов должно быть:

- для продольных швов - не менее 35% толщины более тонкой пластины;
- для кольцевых швов - не менее 25% толщины более тонкой пластины.

Ни в коем случае поверхность любой пластины не должна находиться между осевыми линиями двух плит.

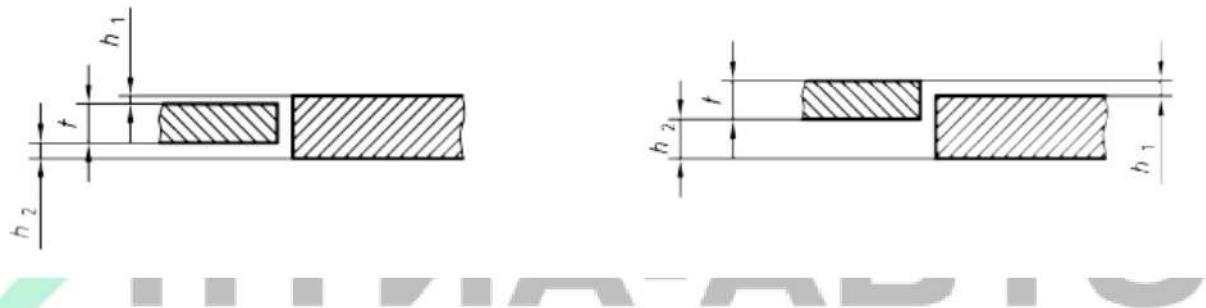
Эти требования показаны на рисунке 27.

Номенклатура

h, h_1, h_2 = величины несоответствия уровней лицевой поверхности пластин

t = толщина более тонкой пластины

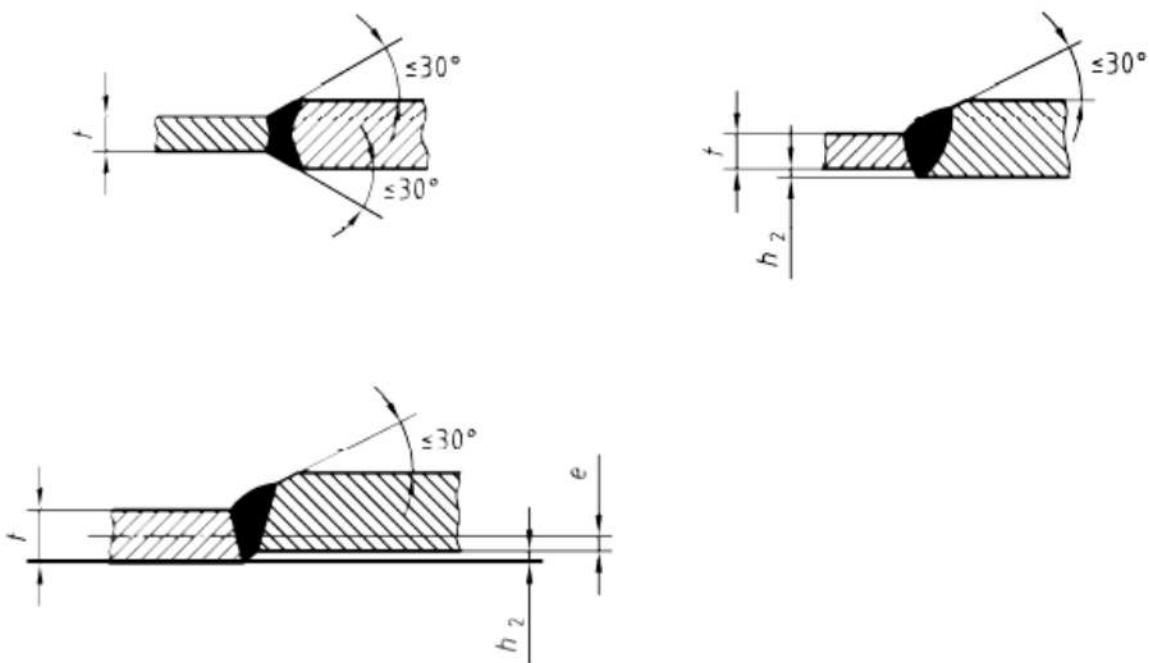
e = расстояние от поверхности более толстой пластины до средней линии более тонкой пластины



Для продольных швов : $h_1 \leq 0,15 t$ и $h_2 \leq 0,15 t$

Для кольцевых швов : $h_1 \leq 0,25 t$ и $h_2 \leq 0,25 t$

Рисунок 27а) – Шов, не требующий скоса



Для продольных швов :

$$h \leq 0,15 t \text{ and}$$

$$e = \frac{t}{2} - h \geq 0,35 t$$

ГТИА-АВТО

Для кольцевых швов :

$$h \leq 0,25 t \text{ and}$$

$$e = \frac{t}{2} - h \geq 0,25 t$$

Рисунок 27б) –Швы, не требующие скоса

Рисунок 27 –Подгонка пластины

5.5.2 Толщина

Толщина стенок сосуда не должна быть меньше расчетной толщины. Она должна быть принята за толщину стенок сосуда после изготовления, а любые изменения толщины должны быть плавными.

5.5.3 Вогнутые днища

Глубина вогнутости, исключая прямой фланец, должна быть не меньше расчетной глубины. Радиус поворотного кулака должен быть не меньше указанного, а радиус чашеобразной выемки не должен превышать указанного. Любое изменение профиля не должно быть резким, но должно постепенно переходить в другую форму.

5.5.4 Цилиндры

5.5.4.1 Фактическая окружность не должна отклоняться от окружности, рассчитанной по указанному диаметру, более чем на 1-1,5%.

$$\text{Некруглость} \quad u = \frac{200(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \% \quad (27)$$

не должна превышать значений, указанных в таблице 2.

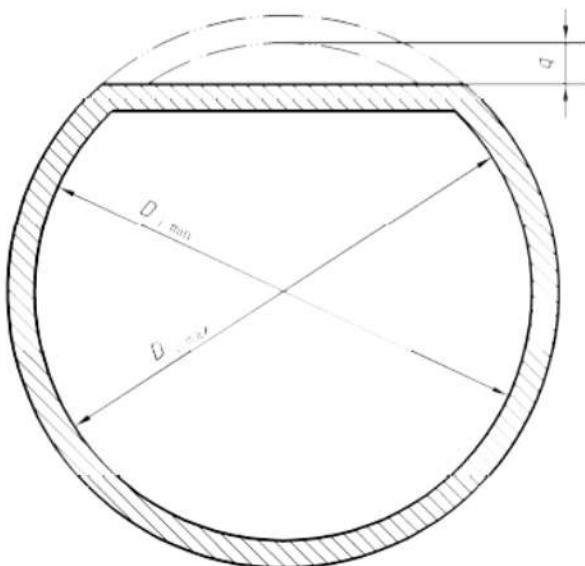
Таблица 1- Допуски некруглости

Отношение толщины стенки к диаметру	Допуски некруглости для	
	внутреннего давления	внешнего давления
$s/D = 0,01$	2,0 %	1,5 %
$s/D > 0,01$	1,5 %	1,5 %

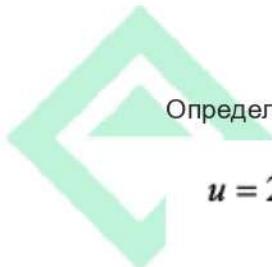
При определении некруглости не нужно учитывать упругую деформацию из-за собственного веса сосуда под давлением. В местах горловин может быть разрешено большее скругление, если оно оправдано расчетом или измерением тензометрического датчика. Одиночные вогнутости или кулаки шарниров должны быть в пределах допусков. Вогнутости должны быть плавными, и их глубина от поверхности оболочки не должна превышать 1% их длины или 2% ширины соответственно. Допускаются большие вогнутости или кулаки шарниров, если они найдены допустимыми путем расчета или измерений деформации.

Неровности профиля (проверяемые датчиком 20°) не должны превышать 2% длины датчика. Это максимальное значение может быть увеличено на 25%, если длина неровностей не превышает четверти длины части оболочки между двумя кольцевыми швами с максимумом 1 м. Большие неровности требуют подтверждения допустимости с помощью расчета или тензометрических измерений.

[AC]



[AC]



Определение:

$$u = 2 \times \frac{(D_{\text{imax}} - D_{\text{imin}})}{D_{\text{imax}} + D_{\text{imin}}} \times 100$$

ПТИ А-АВТО

$$\frac{4}{D_a} \times q \times 100$$

и приравнивается к

Ограничения:

$$u \leq 15 \%$$

$$q \leq 0,00375 D_a$$

Рисунок 28 –Допустимые геометрические погрешности

Кроме того, если неровность профиля возникает у сварного шва и связана с «плоскими поверхностями», прилегающими к сварному шву, неровность профиля или «заострение» не должна превышать значений, приведенных в таблице 3.

Обычный замер (охватывающий пик и овальность) выполняется с помощью 20-градусного калибра (или шаблона).

Использование такого шаблона показано на рисунке 29. Необходимо взять два показания, P_1 и P_2 на каждой стороне шва, в любом конкретном месте, максимальный пик принимается равным 0,25 ($P_1 + P_2$).

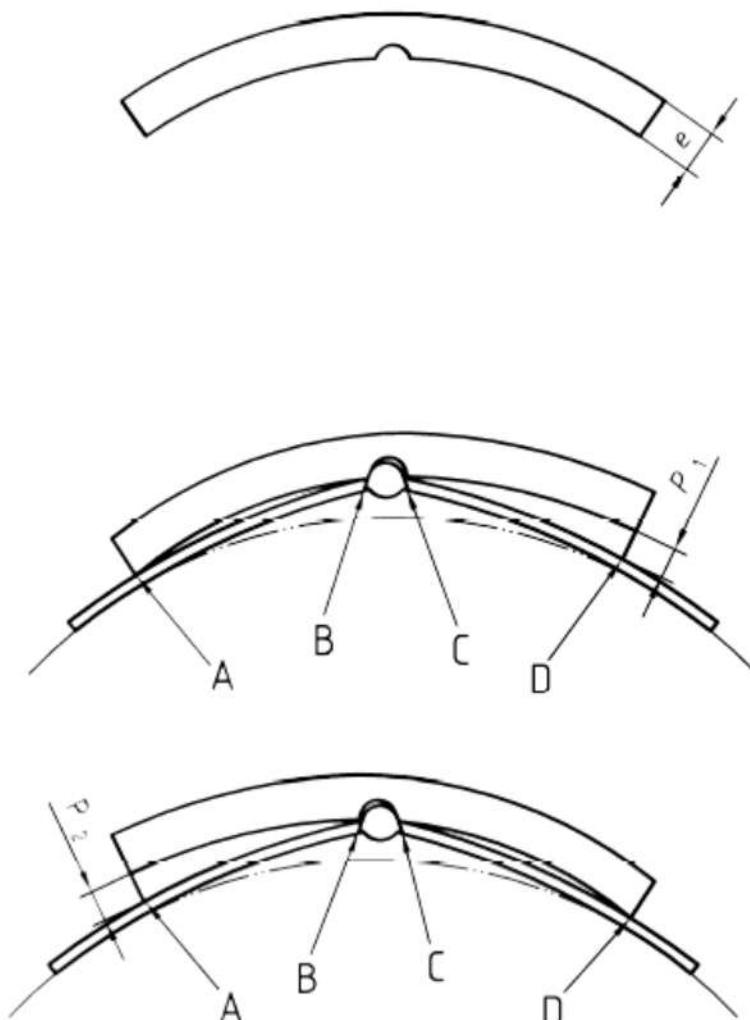


Рисунок 29 –Применение поверочного шаблона

Измерения должны проводиться с интервалами приблизительно 250 мм по продольным швам, чтобы определить местоположение с максимальной величиной пика. Использование других типов датчиков, таких как мостовые датчики или игольчатые датчики, не запрещено. Максимально допустимое пиковое значение приведено в таблице 3.

Таблица 2 - Максимально допустимый пик

Отношение толщины сосуда s/e к диаметру D	Максимально допустимый пик
$s/D \leq 0,025$	5
$s/D > 0,025$	10

Для всех соотношений максимально допустимый пик - e .

5.5.4.3 Отклонение оси цилиндра от прямой должно составлять не более 0,5% от длины образующей цилиндра, кроме случаев, предусмотренных проектом..

5.6 Сварка

5.6.1 Общие сведения

Настоящий стандарт требует, чтобы метод сварки был соответствующим и сварка проводилась аттестованными сварщиками и / или операторами, чтобы материалы были совместимыми и чтобы была проведена проверка технологии сварки испытанием.

5.6.2 Квалификация

Технологии сварки должны быть одобрены в соответствии с EN ISO 15614-2, EN ISO 15613 или EN 1418, в зависимости от обстоятельств.

Сварщики и операторы сварочных работ должны иметь квалификацию в соответствии с EN 287-1 или EN ISO 9606-2 или EN 1418 в зависимости от ситуации.

5.6.3 Временные крепления

ПТИА-АВТО

Временные крепления, приваренные к конструкциям, нагружаемым давлением, должны быть сведены к минимуму.

Временные соединения, приваренные непосредственно к конструкциям, нагружаемым давлением, должны быть совместимы с непосредственно прилегающим материалом.

Допускается сварка разнородных металлических соединений с промежуточными компонентами, такими как прокладки, которые постоянно соединены с конструкциями, нагружаемыми давлением. Для разнородных металлических соединений должны использоваться совместимые сварочные материалы.

Временные навесные приспособления должны быть сняты с сосуда до первого повышения давления. Способ их удаления должен исключать нарушение целостности сосуда и удаление должно производиться путем дробления или измельчения. Любое исправление, необходимое путем сварки поврежденных участков, должно проводиться в соответствии с утвержденной технологией сварки.

Участок сосуда, с которого были сняты временные навесные приспособления, должен быть гладким и должна быть проведена его проверка методами неразрушающего контроля..

5.6.4 Сварные соединения

5.6.4.1 Некоторые элементы сварного шва, подходящие для сосудов, соответствующих стандарту EN 14398, приведены в приложении D. Эти примеры представляют обоснованную и принятую в

настоящее время практику. При этом не подразумевается, что они являются обязательными и не должны каким-либо образом ограничивать развитие технологии сварки.

Изготовитель при выборе подходящего сварного элемента должен учитывать:

- способ изготовления;
- условия эксплуатации;
- способность производить испытания методами неразрушающего контроля.

Сварные элементы могут использоваться при условии, что их пригодность подтверждена утвержденной технологией в соответствии с ^{A2} EN ISO 15614-1, EN ISO 15614-2 или EN ISO 15613 ^{A1}, в зависимости от обстоятельств.

5.6.4.2 Если какая-либо часть сосуда выполнена в два или более слоев, продольные сварные швы соседних участков не должны располагаться друг под другом. Рекомендуется минимальный интервал 100 мм. Швы внахлест и подкладные полосы можно использовать при сварке кольцевыми швами только при толщине пластины до 8 мм.

5.6.4.3 Поскольку механические характеристики закаленных аустенитных нержавеющих сталей могут ухудшаться, если материал не сварен должным образом, должны применяться следующие дополнительные требования:

- подвод тепла при сварке должен составлять не более 1,5 кДж / мм на шов, что должно быть проверено в ходе квалификационного испытания технологии;
- материал должен охлаждаться до температуры не более 200 °C между проходами;
- материал не должен подвергаться термической обработке после сварки.

Также см. B.2.7, B.2.8, B.2.10 и B.2.11.

5.7 Несварные соединения

Если между металлическими материалами и / или неметаллическими материалами выполнены несварные соединения, технологии должны выбираться так же, как и при назначении технологий сварки, и такие технологии должны соблюдаться для всех соединений. Аналогичным образом, операторы должны быть аттестованы для таких работ, и к таким работам должен допускаться только аттестованный персонал.

6 Проверка и тестирование

6.1 План контроля качества

План контроля качества, являющийся частью системы контроля качества, упомянутой в 5.1.1, должен включать, как минимум, этапы проверки и испытаний, перечисленные в 6.1.1.

6.1.1 Этапы проверки при изготовлении сосуда

При изготовлении внутреннего сосуда должны проводиться следующие проверки:

- проверка сертификатов испытаний материалов и их соответствие материалам;
- утверждение документации по аттестации технологии сварки;
- утверждение аттестационных документов сварщиков;
- осмотр материала срезаемых кромок;
- проверка наладки швов для сварки, включая проверку размеров;
- проверка подготовки сварных швов, kleевых швов;
- визуальный осмотр сварных швов;
- проверка методами неразрушающего контроля;
- испытания контрольных пластин для контроля качества сварных швов и, при необходимости, штампованных деталей после термообработки;
- проверка очистки внутренней поверхности сосуда;
- осмотр заполненного сосуда, включая проверку размеров;
- испытание под давлением и, при необходимости, запись постоянного набора.

6.1.2 Дополнительные этапы контроля при изготовлении транспортируемого криогенного сосуда большой емкости

При изготовлении транспортабельного криогенного сосуда большой емкости должны проводиться следующие проверки:

- проверка чистоты и сухости криогенного сосуда (см. EN 12300);
- визуальный осмотр сварных швов, не охватываемых п. 6.1.1;
- проверка заводской таблички и иных маркировок;
- осмотр заполненного сосуда, включая проверку размеров.

6.2 Опытные пластины для производственного контроля

6.2.1 Требования

Контрольные пластины для производства должны быть изготовлены и испытаны для внутреннего сосуда следующим образом:

- a) по одной испытательной пластине на сосуд для каждой операции сварки продольных соединений;
- b) после того, как 10 опытных пластин успешно последовательно пройдут испытания по той же технологии, испытания могут быть сокращены до одной испытательной пластины на 50 м продольного стыка для сталей с 9% Ni ферритных сталей и до одной испытательной пластины на 100 м для других металлов.

Контрольные пластины для контроля производства для внешней оболочки не требуются.

Результаты испытаний должны быть следующими:

- испытание на растяжение сварного шва (T): R_{et} , R_m и A_5 образцов для испытаний обычно не должно быть меньше соответствующих указанных минимальных значений для основного металла или согласованных значений утвержденной технологии сварки;
- испытание на удар (IW, IH): это испытание должно проводиться в соответствии с EN 1252-1 или EN 1252-2;
- испытание на изгиб (BF, BR, BS): требования к испытаниям и испытаниям должны соответствовать 7.4.2 стандарта EN ISO 15614-1: 2004 для сталей;
- макротравление (Ma): макротравление должно показывать качественное наложение швов и качественное проплавление.

6.2.2 Объем испытаний

Количество и тип опытных образцов, которые следует изготовить из опытной пластины, зависит от материала и толщины и должно соответствовать требованиям в таблицах 5 и 6 для конкретного применяемого материала и толщины.

ПРИМЕЧАНИЕ. Символы для таблицы 5 приведены в таблице 4.

Тестовая табличка должна быть достаточного размера, чтобы можно было брать необходимые образцы, включая допуск для повторных испытаний.

Перед разрезанием образца для испытаний может быть применен неразрушающий контроль испытательной пластины для того, чтобы образцы для испытаний были взяты из надежных участков.

Таблица 3 –Опытные образцы

Вид испытания	Символ
Испытание на изгиб поверхностного слоя по EN 910	BF
Испытание на изгиб под корень по EN 910	BR
Испытание на боковой изгиб по EN 910	BS
Испытание на растяжение по EN 895	T
Испытание на удар, наплавка согласно EN 875	IW
Испытание на удар; HAZ по EN 875	IH
Макротравление	Ma

Таблица 4 –Производственные испытания стальных пластин

Группа	e в мм	Опытные образцы
Мелкозернистые стали нормализованные или обработанные термомеханически	$e \leq 12$	1BF, 1 BR, 1 T,1 Ma

	$12 < e \leq 35$	3 IW, 3 IH, 1T, 1 Ma
Стали с содержанием никеля до 9%	$e \leq 12$	1BF, 1 BR, 1 T, 1 Ma
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1T, 1 Ma
Аустенитные нержавеющие стали	$e \leq 12$	1BF, 1 BR, 1 T, 1 Ma
	$12 < e$	3 IW, 1T, 1 Ma

6.3 Испытания методами неразрушающего контроля

6.3.1 Общая информация

Специалисты, выполняющие испытания методами неразрушающего контроля, должны быть аттестованы для выполнения работ в соответствии с EN 473.

Рентгенографическое исследование должно проводиться в соответствии с EN 1435 или ISO 1106-1. Также может использоваться радиоскопия, она должна проводиться в соответствии с EN 13068-3..

6.3.2 Степень осмотра на предмет поверхностных дефектов

Визуальный осмотр (при необходимости с помощью лупы x5) должен проводиться на всех сварных отложениях. Приемочные уровни см. в Таблице 8. Если возникают какие-либо сомнения, это исследование должно быть дополнено обнаружением поверхностных трещин.

Точки соприкосновения дуги и области, где были удалены временные приспособления, должны зачищаться до гладкой поверхности и подвергаться проверке на наличие поверхностных трещин.

6.3.3 Степень осмотра объемных дефектов

Исследование сосуда на предмет объемных дефектов проводится радиографическим способом, если не имеется оснований для назначения исследования ультразвуковыми или другими методами. Степень осмотра основных швов на внутренних поверхностях сосуда должна соответствовать Таблице 6. Приемочные уровни см. в Таблице 8.

Когда полусферические днища без прямого фланца свариваются вместе или привариваются к цилиндрической оболочке, сварной шов должен испытываться как продольный. Любые сварные швы на полусферическом днище также должны испытываться как продольные сварные швы.

Таблица 5 –Объем радиографического исследования сварных швов внутреннего сосуда

Продольные швы	Т-образные швы	Кольцевые швы
100%	100%	100%
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Дополнительные требования к стали с содержанием 9% никеля см. в Приложении В.		
ПРИМЕЧАНИЕ 2 При использовании контрольных испытаний сжатым воздухом могут потребоваться дополнительные испытания		

6.3.4 Приемочные уровни

6.3.4.1 Приемочные уровни для дефектов поверхности

Таблица 7 показывает приемочные критерии для дефектов поверхности.

Таблица 7 - Приемочные уровни дефектов поверхности

Дефект	Ссылка ENISO 6520-1	Ограничения для приемлемых дефектов
Недостаточная глубина проплавления	402	Не допускается
Подрез в глубину	5011	Если толщина составляет менее 3 мм, видимые подрезы не допускаются. Если толщина составляет не менее 3 мм, допускается легкое и прерывистое подрезание, при условии, что оно не является острым и составляет не более 0,5 мм.
Усадочная канавка	5013	Как подрез
Вогнутость корня	515	Как подрез
Чрезмерное проплавление в глубину	504	Если толщина менее 5 мм, чрезмерное проплавление должно составлять не более 2 мм. Если толщина не менее 5 мм, чрезмерное проплавление не должно превышать 3 мм.
Избыток наплавленного материала	502	Если толщина менее 5 мм, избыточный металл шва не должен превышать 2 мм, и сварной шов должен плавно смешиваться. Если толщина 5 мм или более, максимальный избыток металла сварного шва не должен превышать 3 мм, и сварной шов должен плавно смешиваться.
Неровная поверхность	514	Упрочнение должно быть сплошным и иметь правильную форму и полное заполнение канавки
Провисание	509	
Неполное заполнение	511	
Невыдержанность ширины	513	
Некачественное возобновление	517	
Нахлест	506	Не допускается
Осевое несовмещение	507	См. 5.5.1
Прожоги электродом	601	Шлифование гладкое, приемлемое с учетом толщины и поверхности
Брызги	602	Исследование на наличие трещин

Брызги вольфрама	6021	
Рваная поверхность	603	
Следы зачистки	604	
Сколы	605	
Поверхностные трещины		Не допускаются

6.3.4.2 Приемочные уровни для внутренних объемных дефектов

В таблице 8 приведены критерии приемочных внутренних объемных дефектов, обнаруженных при рентгенографическом исследовании..

Таблица 8 - Приемочные уровни внутренних объемных дефектов

Дефект	Ссылка EN ISO 6520-1	Предел допустимого дефекта
Трещины и непроплавление боковых стенок	4011	Не допускаются
Неполный корневой проплавление	4013	Не допускаются
Вогнутость плоского корня		Приемлемо, если полная глубина сварного шва, по крайней мере, равна толщине стенки, а глубина вогнутости составляет менее 10% толщины стенки.
Включения (включая оксид в алюминиевых сварных швах). Нитчатые поры, вытянутые отверстия, параллельные поверхности, и нити вольфрама.	303 304 2014 2015	30% толщины Максимальная длина должна быть более 7 мм или 2/3 т.
Внутренние дефекты проплавления и корневые дефекты в многослойном сварном шве	4012	Как включения
Несколько внутришовных включений		В совокупности общая длина не должна превышать толщину в 6 раз. Интервал между включениями должен быть более двух длин наиболее крупного включения.
Область общей пористости, видимая на пленке		Допустимо, если менее 2% проектируемой площади сварного шва
Отдельные поры	2011	Приемлемо, если диаметр составляет менее 25% толщины, максимум 4 мм.

Отверстия «wonn» перпендикулярны поверхности	2021	Там, где толщина меньше 10 мм, отверстия «wonn» не допускаются. Если толщина составляет не менее 10 мм, отдельные примеры приемлемы при условии, что глубина составляет не более 30% толщины.
Включения вольфрама	3041	Если толщина менее 12 мм, вольфрамовые включения приемлемы при условии, что длина не более 3 мм. Там, где толщина не менее 12 мм, вольфрамовые включения приемлемы при условии, что их длина не более 25% толщины.

6.3.4.3 Степень осмотра несварных соединений

Если между металлическими материалами и / или неметаллическими материалами используются несварные соединения, план управления качеством, упомянутый в 6.1, должен включать ссылку на соответствующую техническую спецификацию.

Эта техническая спецификация должна включать описание требований к проверке и испытаниям, а также критерии, необходимые для устранения любых дефектов..

6.4 Устранение дефектов

Хотя недопустимые объемные или поверхностные дефекты могут быть устраниены путем устранения дефектов и повторной сварки, 100% всех отремонтированных сварных швов должны быть проверены в соответствии с первоначальными приемочными стандартами.

6.5 Испытания под давлением

6.5.1 Каждый сосуд должен быть подвергнут испытанию под давлением, и его герметичность должна быть доказана. Эта герметичность может быть доказана при создании вакуума или путем отдельного испытания на герметичность при давлении до значения расчетного давления.

Испытательное давление не должно быть меньше, чем самое большое:

1,3 (p_s) бар

для каждого элемента сосуда, например, оболочки, головки и т.д.

Если испытание проводится гидравлически, давление должно постепенно повышаться до испытательного давления, которое будет поддерживаться в течение 30 минут. Затем давление должно быть снижено до расчетного, чтобы можно было провести визуальный осмотр всех поверхностей и соединений. На сосуде не должно быть никаких признаков крупной пластической деформации или утечки. Испытание может быть проведено сжатым воздухом на аналогичной основе. Поскольку при пневматическом испытании расходуется значительно больше накопленной энергии, чем при гидравлическом испытании, оно обычно проводится только в тех случаях, когда используются надлежащие средства и порядок обеспечения безопасности инспекторов, работников и населения.

6.5.2 Сосуды, которые были отремонтированы после испытания под давлением, должны быть повторно подвергнуты указанному испытанию под давлением после завершения ремонта.

6.5.3 Если аустенитная нержавеющая сталь вступает в контакт с водой, содержание хлора в воде и время воздействия должно контролироваться во избежание коррозионного растрескивания под напряжением.

EN 14398-2

6.5.4 Система трубопроводов должна быть подвергнута испытанию под давлением в соответствии с 4.2.3.9. Нет необходимости проводить испытания на прочность механических соединений и фитингов, которые продемонстрировали удовлетворительный опыт эксплуатации.



Приложение А (справочное)

Упругопластический анализ напряжений

A.1 Общие сведения

В настоящем приложении изложены правила, которым необходимо следовать, если анализ упругих напряжений используется для оценки компонентов транспортируемого криогенного сосуда большой емкости с вакуумной изоляцией применительно к условиям эксплуатации. Рассматриваемые нагрузки соответствуют определенным в 4.2.3.

А.4 и А.5 дают альтернативные критерии для демонстрации годности конструкции на основе анализа упругих деформаций. Критерии в А.5 применяются только к локальным напряжениям в непосредственной близости от креплений, опор, горловин и т.д.

Рассчитанные напряжения в рассматриваемой области сгруппированы по следующим категориям напряжений:

- общее первичное мембранные напряжение;
- местное первичное мембранные напряжение;
- первичное изгибающее напряжение;
- вторичный напряжение.

Интенсивности напряжений f_m , f_L , f_b и f_g могут быть определены из основных напряжений f_1 , f_2 и f_3 в каждой категории с использованием теории максимального напряжения сдвига, см. А.2. 1.

Определенные таким образом уровни интенсивности напряжений должны быть меньше допустимых значений, указанных в А.3 и А.4 или А.5.

Пиковье напряжения не должны учитываться, поскольку они имеют значение только при оценке проектов для циклической работы. Транспортируемый криогенный сосуд большой емкости с вакуумной изоляцией в рамках настоящего стандарта не считается эксплуатирующимся в циклическом режиме.

Рисунок А.1 и Таблица А.1 были включены в качестве руководства, где А.4 используется для оценки при определении категорий напряжений для некоторых типичных случаев и пределов интенсивности напряжений для комбинаций категорий напряжений. Есть случаи, в которых ссылки на определения напряжений будут необходимы для классификации конкретного напряженного состояния в категорию напряжений. В п. А.4.5 разъясняется причина разделения их на две категории - «общие» и «вторичные» в случае тепловых напряжений.

A.2 Терминология

A.2.1 Интенсивность напряжений

Интенсивность напряжений в два раза превышает максимальное напряжение сдвига, то есть разницу между алгебраически наибольшим главным напряжением и алгебраически наименьшим главным напряжением в данной точке. Напряжения растяжения считаются положительными, а напряжения сжатия - отрицательными.

Главные напряжения f_1 и f_2 , действующие тангенциально к поверхности в рассматриваемой точке, должны выводиться из следующих уравнений

$$f_1 = 0,5 \times \left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 4 \times \tau^2} \right)$$

$$f_2 = 0,5 \times \left(\sigma_1 + \sigma_2 - \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 4 \times \tau^2} \right)$$

где:

σ_1 - окружное напряжение

σ_2 - меридиональное напряжение (продольное в цилиндрической оболочке)

τ - напряжение сдвига

A.2.2 Грубая структурная неоднородность

Грубая структурная неоднородность является источником напряжений или интенсификации деформаций, которые влияют на значительную часть конструкции и на общий характер напряжений или деформаций или на конструкцию в целом.

Примерами грубой структурной неоднородности являются:

ПРИМЕР 1. Соединения оболочки с днищем.

ПРИМЕР 2. Соединения оболочек разных диаметров или толщин.

ПРИМЕР 3. Горловины.

A.2.3 Локальная структурная неоднородность

Локальная структурная неоднородность является источником напряжения или интенсификации деформации, который влияет на относительно небольшой объем материала и не оказывает существенного влияния на общее напряжение или характер деформации или на структуру в целом.

ПРИМЕР 1. Малые радиуса скругления.

ПРИМЕР 2 Небольшие приварки.

ПРИМЕР 3. Сварные швы с неполным проплавлением.



A.2.4 Нормальное напряжение

Нормальное напряжение - это проекция вектора напряжения на нормаль к поверхности, проходящей через рассматриваемую точку; также упоминается как «прямое напряжение».

Обычно распределение нормального напряжения неравномерно по толщине детали, поэтому это напряжение считается состоящим из двух компонентов, один из которых равномерно распределен и равен среднему значению напряжения по толщине рассматриваемого сечения, а другой зависит от местоположения по толщине.

A.2.5 Напряжение сдвига

Напряжение сдвига является компонентом напряжения, действующего в опорной плоскости.

A.2.6 Мембранные напряжения

Мембранные напряжения - это составляющая напряжения, которая равномерно распределена и равна средней величине напряжения по толщине рассматриваемого сечения.

A.2.7 Первичное напряжение

Первичное напряжение - это напряжение, создаваемое только механическими нагрузками и распределяемое в конструкции таким образом, что в результате уступа не происходит перераспределения нагрузки. Нормальное напряжение или напряжение сдвига, создаваемое приложенной нагрузкой, необходимо для подчинения простым законам равновесия внешних и внутренних сил и моментов. Основной характеристикой этого напряжения является то, что оно не является самоограничивающимся. Первичные напряжения, которые значительно превышают предел текучести, приведут к разрушению или, по крайней мере, к значительным искажениям. Термическое напряжение не классифицируется как первичное напряжение. Первичные напряжения

делятся на категории «общие» и «локальные». Локальное первичное напряжение определено в А.2.8.

Примеры общего первичного напряжения:

ПРИМЕР 1. Напряжение в цилиндрической или сферической оболочке, вызванное внутренним давлением или распределенными нагрузками.

ПРИМЕР 2. Изгибающее напряжение в центральной части плоской головки из-за давления.

A.2.8 Первичное локальное мембранные напряжение

Возникают ситуации, когда напряжение в мембране, создаваемое давлением или другой механической нагрузкой и связанное с первичным и / или прерывистым эффектом, вызывает чрезмерное искажение при передаче нагрузки другим частям конструкции.

Консерватизм требует, чтобы такое напряжение классифицировалось как первичное локальное мембранные напряжение, даже если оно имеет некоторые характеристики вторичного напряжения. Область напряжений может рассматриваться как локальная, если расстояние, на котором интенсивность напряжения превышает 110% от допустимого общего основного напряжения мембранны, не распространяется в меридиональном направлении более чем на $0,5 \sqrt{Rs}$, и если оно не ближе в меридиональном направлении, чем $2,5 \sqrt{Rs}$ в другой области, где превышен пределы общего первичного мембранных напряжения, где R и s - соответственно радиус и толщина1 компонента.

Примером первичного локального напряжения является мембранные напряжение в оболочке, создаваемое внешней нагрузкой и моментом на постоянной опоре или в соединении с горловиной.

A.2.9 Вторичное напряжение

Вторичное напряжение - это ненулевое напряжение или напряжение сдвига, создаваемое ограничением соседних частей или самоограничением конструкции. Основной характеристикой вторичного напряжения является то, что оно является самоограничивающимся. Местные деформации и незначительные искажения могут удовлетворить условиям, которые вызывают воспламенение напряжения, и не следует ожидать потери прочности от одного приложения напряжения.

Примером вторичного напряжения является изгибающее напряжение при грубой структурной неоднородности.

A.2.10 Пиковое напряжение

Основной характеристикой пикового напряжения является то, что оно не вызывает заметных искажений и нежелательно только как возможный источник усталостной трещины. Напряжение, который не сильно локализовано, попадает в эту категорию, если относится к типу, который не может вызвать заметного искажения.

ПРИМЕР 1. Поверхностные напряжения в стенке сосуда или трубы, вызванные тепловым ударом.

ПРИМЕР 2. Напряжение при локальной структурной неоднородности.

A.3 Предел продольного общего мембранных напряжения сжатия

Продольное напряжение сжатия не должно превышать $0,93 \Delta K$ для ферритных сталей и $0,73 \Delta K$ для аустенитных нержавеющих сталей и алюминиевых сплавов, где Δ получено из рисунка А.2 в десятках p_e/p_{yss} и где:

$$p_e = \frac{1,21Es^2}{R^2}$$

и

$$P_{yss} = \frac{1,86Ks}{R}$$

для ферритных сталей

и

$$P_{yss} = \frac{1,46Ks}{R}$$

для аустенитных нержавеющих сталей и алюминиевых сплавов

A.4 Категории напряжений и пределы напряжений для общего применения

A.4.1 Общие сведения

Расчетное напряжение в зависимости от типа нагрузки и / или распределения такого напряжения будет попадать в одну из пяти основных категорий напряжений, определенных в А.4.2-А.4.6. Для каждой категории значение интенсивности напряжения выводится для конкретного условия проектирования. Для соответствия анализу эта интенсивность напряжения должна находиться в пределах, конкретизированных для каждой категории.

A.4.2 Категория общего первичного мембранных напряжения

Напряжения, попадающие в категорию общих первичных мембранных напряжений, определяются как общие первичные напряжения в А.2.7 и создаются под давлением и другими механическими нагрузками, но исключая все вторичные и пиковые напряжения. Значение интенсивности напряжений мембранны получают путем усреднения этих напряжений по толщине рассматриваемого сечения. Предельным значением этой интенсивности напряжения f_m является допустимое значение напряжения 2 К/З.

A.4.3 Категория локального первичного мембранных напряжения

Напряжения, попадающие в категорию первичных локальных мембранных напряжений, определены в п. А.2.8 и возникают под давлением и другими механическими нагрузками, но исключая все термические и пиковые напряжения. Интенсивность напряжения f_L - это среднее значение этих напряжений по толщине рассматриваемого сечения, ограниченное значением К.

A.4.4 Категория общих локальных первичных напряжений плюс категория первичных изгибающих напряжений

Напряжения, попадающие в категорию общих или локальных первичных мембранных напряжений и в категорию первичных изгибающих напряжений, определены в А.2.7, но значение интенсивности напряжений f_b ($f_m + f_b$) или ($f_L + f_b$) является наибольшим значением из тех напряжений, которые действуют в данном сечении, исключая вторичные и пиковые напряжения. f_b является интенсивностью первичного изгибающего напряжения, представляющим собой компонент первичного напряжения, пропорциональный расстоянию от центра тяжести сплошного сечения. Интенсивность напряжения f_b ($f_m + f_b$) или ($f_L + f_b$) не должна превышать К.

A.4.5 Категория первичного плюс вторичного напряжения

Напряжения, попадающие в категорию первичных и вторичных напряжений, определены в А.2.7 плюс напряжения в А.2.9, вызванные давлением, другими механическими нагрузками и общими тепловыми воздействиями. Следует учитывать влияние грубой структурной неоднородности, но не локальных структурной неоднородности (концентрации напряжений). Значение интенсивности напряжений ($f_m + f_b + f_g$) или ($f_L + f_b + f_g$) является наибольшим значением этих напряжений, действующих в данном сечении, и должно быть ограничено 2К.

A.4.6 Тепловое напряжение

Тепловое напряжение - это самобалансирующееся напряжение, возникающее из-за неравномерного распределения температуры или различных тепловых коэффициентов расширения. Тепловое напряжение развивается в твердом теле всякий раз, когда объем материала не позволяют принять размер и форму, которые обычно должны происходить при изменении температуры.

В целях установления допустимых напряжений распознаются следующие два типа тепловых напряжений в зависимости от объема или области, в которой имеет место искажение.

Общее тепловое напряжение связано с искажением структуры, в которой оно возникает. Если напряжение этого типа, пренебрегающее концентрациями напряжений, превышает 2 К, упругопластический анализ напряжений может быть недействительным, а последовательные тепловые циклы могут вызывать постепенное искажение. Поэтому этот тип классифицируется как вторичное напряжение в таблице А.1 и на рисунке А.1.

Примеры общего теплового напряжения:

ПРИМЕР 1. Напряжение, создаваемое осевым тепловым градиентом в цилиндрической оболочке.

ПРИМЕР 2. Напряжение, создаваемое разницей температур между горловиной и оболочкой¹, к которой оно прикреплено;

местное тепловое напряжение связано с почти полным подавлением дифференциального расширения и, следовательно, не вызывает значительных искажений. Такие напряжения рассматриваются только с точки зрения усталости

ПРИМЕР - небольшое холодное пятно на стенке сосуда.

A.5 Особые критерии, категории напряжения и пределы напряжения для ограниченного применения

A.5.1 Общие сведения

Критерии и пределы напряжений для определенных категорий напряжений для упруго рассчитанных напряжений, примыкающих к креплениям и опорам, а также к горловинным и отверстиям, которые подвержены совместному воздействию давления и нагрузок, приложенных извне, указаны в пунктах А.5.2 – А.5.4.

Минимальное расстояние между соседними нагруженными насадками, прокладками, горловинами или отверстиями или другими элементами концентрации напряжений должно быть не менее $2,5 \sqrt{R_s s}$.

R и s - соответственно радиус и толщина компонента. Критерии А.2.8 неприменимы к этому разделу.

Если А.5 подтверждает приемлемость проекта, то использование А.4 не требуется.

A.5.2 Приспособления и опоры

Размер в направлении по окружности нагруженного участка не должен превышать одной трети окружности оболочки. Напряжения, прилегающие к нагруженной зоне из-за давления, действующего в оболочке, могут приниматься как напряжения давления в оболочке без каких-либо концентрирующих воздействий из-за крепления.

При расчетной комбинированной нагрузке применяются следующие пределы напряжений:

интенсивность напряжений первичной мембранны не должна превышать 0,8 K;

интенсивность напряжений, обусловленная суммой первичных мембранных и первичных изгибающих напряжений, не должна превышать 4 K/3;

интенсивность напряжений, обусловленная суммой первичных мембранных напряжений, первичных изгибающих напряжений и тепловых напряжений, не должна превышать 2 K.

A.5.3 Горловины и отверстия

Горловина или отверстие должны быть усилены в соответствии с 4.3.5.5.

Под расчетной комбинированной нагрузкой применяются следующие пределы напряжений:

- интенсивность напряжения первичной мембранны не должна превышать $0,8 K$
- интенсивность напряжений, обусловленная суммой первичных мембранных напряжений и первичных изгибающих напряжений, не должна превышать $1,5 K$;
- интенсивность напряжений, обусловленная суммой первичных мембранных напряжений, первичных изгибающих напряжений и тепловых напряжений, не должна превышать $2 K$.

A.5.4 Пределы дополнительных напряжений

Там, где присутствуют значительное мембранные напряжение сжатия, следует исследовать возможность потери устойчивости и, при необходимости, изменить конструкцию (см. А.3). В случаях, когда внешняя нагрузка является высококонцентрированной, будет целесообразным ограничение суммы мембранных и изгибающих напряжений (общего напряжения сжатия) в любом направлении в точке до $0,9 K$.

Если присутствует только напряжение сдвига, оно не должно превышать $K / 3$. Максимально допустимые напряжения не должны превышать K .



Таблица А.1-Классификация некоторых типичных напряжений

Части сосуда	Расположение	Источник напряжений	Виды напряжений	Обозначение
Цилиндрическая или сферическая оболочка	Пластина оболочки, удаленная от зон неоднородности	Внутреннее давление	Общее мембранные с градиентом по пластине	f_m f_g
		Осевой температурный градиент	Мембранные напряжение сжатия	f_g f_g
	Соединение с головкой	Внутреннее давление	Мембранные напряжение сжатия	f_L f_g
Любая оболочка или днище	Любое поперечное сечение сосуда	Внешняя нагрузка или момент, либо внутреннее давление	Общее мембранные усредненное по всему сечению. Составляющая напряжения перпендикулярна полному сечению.	f_m
		Внешняя нагрузка или момент	Изгибающее по всему сечению. Составляющая напряжения перпендикулярна поперечному сечению	f_m
	Рядом с горловиной или иным отверстием	Внешняя нагрузка или момент или внутреннее давление	Локальное мембранные изгибающее напряжение	f_L f_g
	В любом месте	Разность температур между оболочкой и днищем	Мембранные изгибающее напряжение	f_g f_g
Выпуклое или коническое днище	Чашеобразная выемка	Внутреннее давление	Мембранные изгибающее напряжение	f_m f_b
	Кулак шарнира или место соединения с оболочкой	Внутреннее давление	Мембранные изгибающее напряжение	f_L^a f_g
Плоское днище	Центральная зона	Внутреннее давление	Мембранные изгибающее напряжение	f_m f_b
	Присоединение к оболочке	Внутреннее давление	Мембранные изгибающее напряжение	f_L f_g
Днище или оболочка с отверстиями	Типовая связь однородного характера	Давление	Мембранные (среднее по поперечному сечению) Изгибающее (среднее по ширине связки, но с градиентом по пластине)	f_m f_b
	Отдельная или нетиповая связь	Давление	Мембранные напряжение изгиба	f_g f_g

Горловина	Поперечное сечение, перпендикулярное оси или момент горловины	Внутреннее давление	Общее мембранные (среднее по всему сечению). Вектор составляющей по нормали к сечению	f_m
		Внешняя нагрузка или момент	Изгибающее поперек сечения горловины	f_m
	Стенка горловины	Внутреннее давление	Общее мембранные Локальное мембранные Изгибающее	f_m f_L f_g
		Дифференцированное расширение	Мембранные напряжения изгиба	f_g f_g

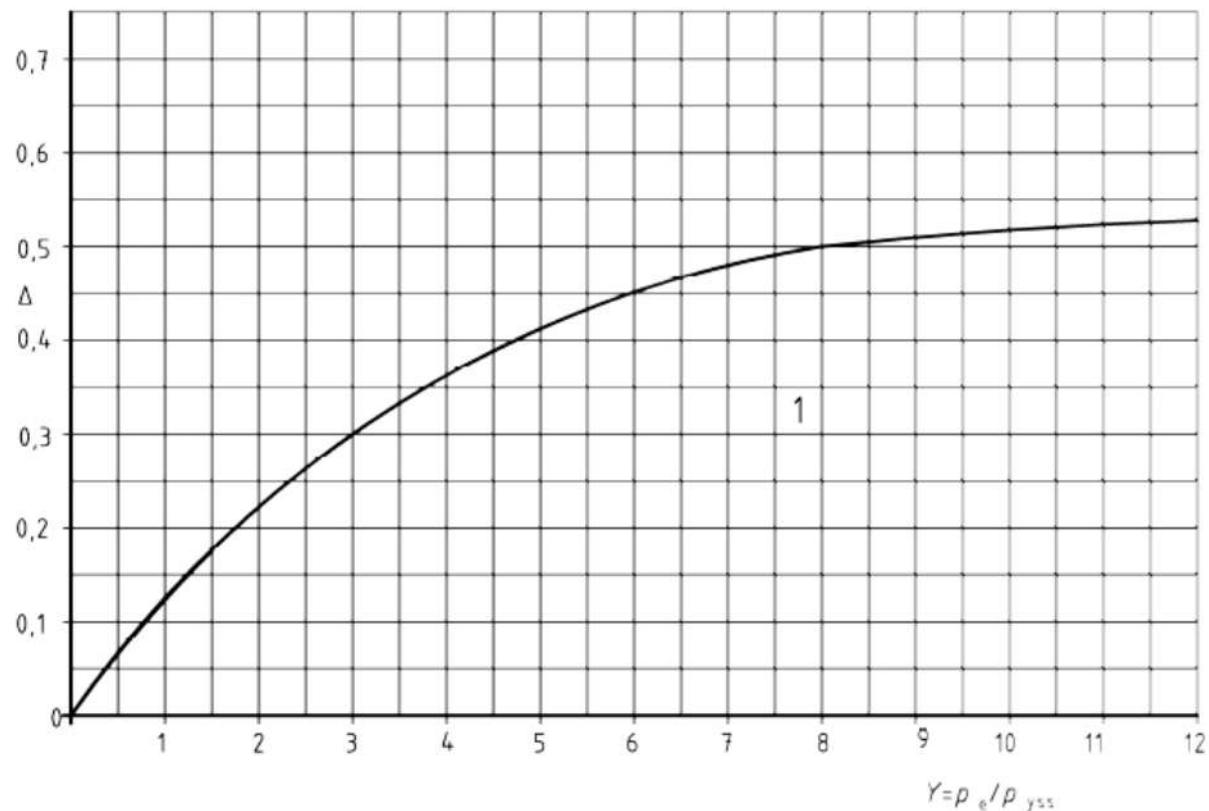
а Следует также учитывать возможность прогиба и чрезмерной деформации в сосудах с большим отношением диаметра к толщине..

Вид напряжения	Первичное			Вторичное
	Общие сведения	Локальное	Изгибающее	
Описание (примеры см. в таблице А.1)	Среднее первичное напряжение по сплошному сечению. Исключает зоны неоднородности и концентрации. Создается только механическими нагрузками	Среднее напряжение на любом сплошном участке, учитывает зоны неоднородности, но не концентрации. Создается только механическими нагрузками	Составляющая первичного напряжения, пропорциональный расстоянию от центра тяжести сплошного сечения. Исключает зоны неоднородности и концентрации. Производится только механическими нагрузками	Самоуравновешивающее напряжение, необходимое для обеспечения непрерывности структуры, возникает в зонах структурной неоднородности. Может быть вызвано механической нагрузкой или дифференциальным внутренним расширением. Исключает локальные концентрации напряжения.
Условное обозначение (см. ПРИМЕЧАНИЕ 2)	f_m	f_L	f_b	f_g
Сочетание компонентов напряжения допустимых пределов интенсивности напряжений	и			

ПРИМЕЧАНИЕ 1 - Напряжения в категории f_g являются теми частями общего напряжения, которые создаются температурными градиентами, структурными неоднородностями и т. д., и не включают в себя первичные напряжения, которые могут также существовать в той же точке. Следует, однако, отметить, что подробный анализ напряжений часто дает непосредственную комбинацию первичных и вторичных напряжений, и, когда это уместно, это расчетное значение представляет собой сумму f_m (или f_L) + f_b + f_g , а не только f_g .

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Символы f_m , f_L , f_b и f_g представляют собой не отдельные величины, а наборы из шести величин, представляющих шесть компонентов напряжения.

Рисунок А.1 - Категории напряжений и пределы интенсивности напряжений



Условные обозначения

$\boxed{A_2}$

$$Y \leq 8 \quad \Delta = 0,5 [1 - (1 - 0,125 Y)^2]$$

$$24 \geq Y \geq 8 \quad \Delta = 0,45 + 0,006 \cdot 25 Y$$

$$Y \geq 24 \quad \Delta = 0,6$$

$\boxed{\bar{A}_2}$

Рисунок А.2 - Для сосудов, не подверженных внешнему давлению

Приложение В (нормативное)

Дополнительные требования к стальям с содержанием 9% никеля

B.1 Введение

Сосуды, изготовленные из сталей с 9% никеля, обычно свариваются с использованием аустенитных или модифицированных аустенитных наплавляемых материалов. Предел прочности 1% или 0,2% металла исходной пластины обычно выше, чем у всего образца сварного металла. Указанные стали демонстрируют отличные характеристики пластичности и упрочнения при эксплуатации. После закалки повышенная прочность металла шва сохраняется в полностью упругом режиме.

Значение K, которое должно быть принято в формуле расчета 4.3.6, соответствует исходному металлу оболочки с 9% Ni.

Во время первого контрольного испытания под давлением после изготовления сварные швы пластически деформируются на небольшую, но достаточную величину, так что их прочность увеличивается, чтобы создать равновесие с приложенными нагрузками. После этого сосуд, подвергаясь максимально допустимому рабочему давлению, работает эластично.

B.2 Особые требования

B.2.1 Минимальная расчетная температура сосудов, изготовленных из сталей с 9% никеля, должна быть не менее -196 °C.

B.2.2 Максимальная расчетная температура при размораживании или сушке сосуда под низким давлением, не должна превышать 50°C

B.2.3 Максимальная толщина стенки сосуда при подготовке кромки шва не должна превышать 30 мм. Если толщина сосуда при подготовке кромки сварного шва превышает 20 мм, должна использоваться аустенитная сварочная проволока с высоким содержанием никеля.

B.2.4 Полная длина всех сварных соединений ответвления должна быть проверена с помощью проникающего красителя перед первым испытанием под давлением.

B.2.5 Недостатки, которые являются неприемлемыми для этого стандарта, должны быть устранены и повторно исследованы, чтобы продемонстрировать соответствие.

B.2.6 Сосуд и все сварные швы должны быть проверены визуально после контрольного испытания под давлением, чтобы убедиться в отсутствии признаков значительной деформации.

¹B.2.7 Аттестация технологии сварки и производственный контроль образцов для испытаний на поперечное растяжение должны :

- демонстрировать отсутствие значительных деформаций при воздействии растягивающего напряжения, равного минимальному значению заданного свойства материала K исходной пластины. Допускается небольшое уменьшение площади из-за ожидаемой пластической деформации, связанной с деформационным упрочнением. Измеренный предел прочности при испытании на поперечное растяжение, равный 1%, при использовании калибровочной длины 50 мм должен быть не меньше, чем минимальное заданное свойство материала "K" исходной пластины;
- демонстрировать прочность на разрыв не менее минимальной указанной предельной прочности исходной пластины.

¹B.2.8 Испытания на продольный изгиб должны использоваться вместо испытаний на боковой изгиб, как это разрешено EN ISO 15613, EN ISO 15614-1 и EN ISO 15614-2 при аттестации технологий сварки или при испытаниях контрольных пластин производственного контроля.

¹ Данные пункты относятся также к аустенитным нержавеющим сталим

B.2.9 Во время аттестации технологии сварки и испытания контрольной пластины необходимо доказать, что зона термического влияния на границе плавления сварного шва достигает ударной вязкости с V-образным надрезом ISO 50 Дж при -196° С, используя для испытаний в среднем 3 образца. Эти испытания должны быть выполнены в соответствии с EN 1252-1.

²⁾ **B.2.10** Отверстия не должны располагаться так, чтобы их центральные линии были ближе к основным швам, чем их диаметр в два раза.

²⁾ **B.2.11** Стыковые сварные швы не должны размещаться там, где они подвергаются высоким напряжениям изгиба, которые могут привести к циклическому пластическому пласту и постепенному разрушению.

B.2.12 Сосуды из стали с 9% никеля могут быть оснащены насадками из нержавеющей стали. Если наружный диаметр горловины превышает 75 мм, то напряжения в корпусе и горловине, вызванные давлением, механическими нагрузками и тепловым расширением, оцениваются и показываются в соответствии с приложением А и обеспечивают достаточный усталостный срок службы для предполагаемого применения сосуда.

B.2.13 Наполнители должны быть выбраны из аустенитных, модифицированных аустенитных или высоконикелевых аустенитных материалов.

B.2.14 Материал с 9% Ni, соответствующий EN 10028-4, подходит для изготовления криогенных сосудов, соответствующих этому стандарту. другие материалы могут быть подходящими.



² Данные пункты относятся также к аустенитным нержавеющим сталям

Приложение С

(нормативное)

Упрочнение для эксплуатации под давлением сосудов из аустенитных нержавеющих сталей

C.1 Введение

Аустенитные нержавеющие стали демонстрируют характеристики напряжения / деформации (рисунок С.2), отличные от характеристик углеродистой стали (рисунок С.1), которые позволяют стали воспринимать деформацию как способ повышения ее прочности на разрыв. Пластическая деформация в пределах 10% возможна для сталей, имеющих относительное удлинение при разрушении, по меньшей мере, 35% в термически обработанном растворе.

Аустеническая нержавеющая сталь, которая была подвергнута деформации с более высокой прочностью на разрыв, сохраняет и даже увеличивает ее преимущество в прочности при криогенных температурах.

Например, когда аустенитная нержавеющая сталь нагружается до напряжения σ_k , превышающего ее предел прочности, а затем разгружается, образуется постоянное пластическое удлинение. Когда эта сталь будет нагружена снова, она будет оставаться эластичной вплоть до этого более высокого напряжения, которое будет тогда новой прочностью на разрыв, и только когда напряжение превысит σ_k , деформация будет пластичной, и тогда она будет следовать исходной кривой напряжения / деформации.

При назначении усиливающего напряжения σ_k : минимальная толщина стенки частей сосуда может быть рассчитана из расчетного напряжения, равного или меньшего, чем три четверти σ_k , равного новой прочности на разрыв. На практике упрочнение производится путем повышения давления в готовом сосуде до давления P_k , которое, как известно, создает требуемое напряжение, которое, в свою очередь, дает требуемую величину пластической деформации, противостоящей давлению.

Эта технология в первую очередь применяется для сосудов (или их частей) несложной конструкции «баллонного типа», то есть структур, в которых преобладают вызываемые давлением мембранные напряжения. Другие части сосуда, как правило, проектируются на основе обычных расчетных значений напряжения, следующих за пунктом 4 и соответствующими приложениями к настоящему стандарту.

ПРИМЕЧАНИЕ. Этот метод также известен как *холодное растяжение*. Однако использование слова «холод» применительно к криогенным сосудам может вводить в заблуждение, поскольку усиливающее давление применяется при температуре окружающей среды. Кроме того, растяжение будет незначительным, если таковое имеется, при использовании материала оболочки в закаленном состоянии. С другой стороны, применение давления, превышающего нормальное испытательное давление, эффективно демонстрирует прочность и способность выдерживать давление всех частей всего сосуда.

C.2 Предмет

Настоящее приложение касается криогенных резервуаров, эксплуатирующихся под давлением, изготовленных из аустенитной нержавеющей стали с толщиной стенки не более 30 мм, усиленных давлением при температуре окружающего воздуха после завершения изготовления и рассчитанных на эксплуатацию при максимальной рабочей температуре не более 50°C.

C.3 Определения и единицы измерения

Определения, символы и единицы измерения, приведенные в 3.1, применяются к настоящему приложению со следующим дополнением:

сосуд под давлением

сосуд под давлением, который после завершения был подвергнут расчетному и контролируемому внутреннему давлению (упрочнению давлением). Толщина стенки такого сосуда рассчитывается на основе напряжения при усиливающем давлении, а не на основе стандартного расчетного значения напряжения используемого материала.

ПРИМЕЧАНИЕ. Сосуды под давлением, изготовленные с закалкой твердого раствора, будут подвергаться контролируемой пластической деформации во время операции упрочнения при повышении предела текучести. Сосуды под давлением, изготовленные с закалкой, будут подвергаться незначительной пластической деформации или не будут подвергаться таковой.

C.4 Материалы

C.4.1 Конструкционными материалами, хорошо показывающими себя под давлением и при рабочих температурах не ниже -196° С, являются аустенитные нержавеющие стали, указанные в таблице C.1. Требования к этим стальям приведены в EN 10028-7.

Когда материал поставляется в упрочненном состоянии, он должен иметь относительное удлинение при разрыве A₅ не менее 35%.

Таблица C.1-Аустенитные нержавеющие стали, принятые для упрочнения криогенных сосудов для эксплуатации под давлением при рабочих температурах не менее -196 ° С

Наименование стали		Материал, закаленный в твердом растворе		Сосуд высокого давления
Марка	Код	R _p 0.2 Н/мм ² min	R _p 1.0 Н/мм ² min	R _k Н/мм ² max
X5CrNi18-10	1.4301	210	250	410
X2CrNi19-11	1.4306	200	240	400
X2CrNiN18-10	1.4311	270	310	470
X6CrNiTi18-10	1.4541	200	240	400
X6CrNiNb18-10	1.4550	200	240	400
X5CrNiN19-09	1.4315	270	310	470

C.4.2 В случае, если стабильные или метастабильные аустенитные стали в соответствии с пунктом 8 EN 14398-1: 2003, отличные от перечисленных в таблице C.1, должны быть аттестованы для высокого давления, или рабочая температура сосуда будет ниже -196° С, качество стали и технология сварки должна быть подтверждена испытаниями для официального утверждения данного типа, приведенными ниже. Это испытание должно проводиться в дополнение к испытаниям, требуемым в соответствии с 8.1 стандарта EN 14398-1: 2003 и пунктом 5.6.1 настоящего стандарта.

Сваренная испытательная пластина должна подвергаться растягивающему напряжению по сварному шву, равному ожидаемому значению σ_k .

Образцы из этой пластины должны быть испытаны следующим образом:

- для испытания основного материала: два испытания на растяжение вдоль направления приложенного напряжения и один набор испытаний на удар по направлению приложенного напряжения;

- для испытания сварного шва: два испытания на растяжение поперек сварного шва и один набор ударных испытаний металла шва в соответствии с 3.4 стандарта EN 1252-1: 1998.

Одно испытание на растяжение и ударные испытания должны проводиться при самой низкой рабочей температуре, другое испытание на растяжение должно проводиться при 20 ° С.

Базовый материал и сварной шов должны соответствовать:

$$R_{p0,2} \geq \sigma_k; \quad A_5 \geq 25\%; \quad a_k \text{ ISO-V} \geq 50 \text{ J/cm}^2$$

C.5 Конструкция

C.5.1 Общие сведения

C.5.1.1 Толщины стенок, рассчитанные в соответствии с C.5.2, являются толщинами до упрочнения.

C.5.1.2 Номинальные диаметры могут быть использованы в расчетных расчетах. Нет необходимости в допуске для возможного увеличения диаметра из-за упрочнения.

C.5.1.3 Максимальное расчетное значение напряжения ограничено значением 200 Н/мм² выше R_{p0,2} для материала, закаленного в виде твердого раствора.

C.5.1.4 Коэффициент сварного соединения 1,0 может использоваться для расчета всех усиленных давлением частей сосуда (продольных сварных швов в цилиндре, конусе или днище).

C.5.1.5 Упрочнение распространяется на сосуды (или часть сосудов), где мембранные напряжения, вызванные давлением, являются доминирующими. Другие части сосуда должны быть спроектированы в соответствии с пунктом 4 и соответствующими приложениями к настоящему стандарту. Это требование не должно препятствовать использованию технологии упрочнения, при условии, что производитель может доказать, что она не вызывает деформаций, нарушающих целостность сосуда.

C.5.2 Конструирование сосудов высокого давления

C.5.2.1 Расчетные значения напряжений

Расчетное значение напряжения σ_k при 20°C может быть свободно выбрано до максимально допустимого расчетного значения напряжения

топор в соответствии с таблицей C.1. Это максимально допустимое значение расчетного напряжения одинаково, независимо от того, используется ли материал в термически обработанном или закаленном состоянии.

C.5.2.2 Расчет упрочняющего давления

Требуемое усиливающее давление P_k рассчитывается по формуле:

$$P_k = 1,33p \quad (\text{C.1})$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Известно также, что деформированный материал увеличивает свою прочность при охлаждении до криогенных температур. Однако влияние на усиливающее давление (аналогично влиянию на испытательное давление, как указано в 4.3.2.3 настоящего документа) в этом приложении не учитывается.

C.5.2.3 Расчет толщины стенок

C.5.2.3.1 Общие

Толщина стенок различных частей сосуда под давлением должна рассчитываться в соответствии с применимыми подпунктами настоящего стандарта с изменениями, приведенными в таблице C.2.

Таблица C.2 - Модификация формул для расчета сосудов, усиливаемых для эксплуатации под давлением

Подпункт этого стандарта		Модификация, см. подпункт в этом приложении
4.3.5.1	Цилиндры и сферы, подверженные внутреннему давлению	C.5.2.3.3
4.3.5.2	Выпуклые днища, подверженные внутреннему давлению 4.3.5; 2; 2 Расчет внутреннего давления (давление на вогнутую поверхность)	C.5.2.3.4
4.3.5;3	Конусы, подверженные внутреннему давлению 4.3.5.3.6 Расчет внутреннего давления (давление на вогнутой поверхности) $ \phi \leq 70^\circ$ 4.3.5.3.7 Расчет внутреннего давления (давление на вогнутой поверхности) $ \phi > 70^\circ$	C.5.2.3.4 C.5.2.3.2
4.3.5.4	Плоские днища	C.5.2.3.2
4.3.5;5	Отверстия в цилиндрах, сферах и конусах	C.5.2.3.5

C.5.2.3.2 Части, где изгибающие напряжения являются доминирующими, и большие деформации не могут быть приняты, как плоские конусы в соответствии с 4.3.5.3.7 и плоские днища в соответствии с 4.3.5.3, должны рассчитываться обычным способом с использованием расчетного давления r и расчетные значения напряжений в соответствии с 4.3.2.3, то есть, эффект упрочнения не может быть использован в таких конструкциях.

Кроме того, способность проходить упрочнение без пластической деформации должна проверяться путем повторения расчетов с использованием упрочняющего давления (с учетом массы содержимого) для испытательного давления P_r и расчетного значения напряжения при $20^\circ C$ из пункта 4.3.2.3.

C.5.2.3.3 При проектировании деталей в соответствии с 4.3.5.1 включить в соответствующие формулы следующее:

- расчетное значение напряжения σ_k ;
- коэффициент сварного соединения 1,0.

C.5.2.3.4 Части в соответствии с 4.3.5.2.2.2 и 4.3.5.2.2.3 настоящего стандарта должны быть сконструированы с теми же модификациями, что и в C.5.2.3.3. Кроме того, коэффициент формы 6 для выпуклых днищ может быть уменьшен до:

- для 10% торисферических днищ - 2,93;
- для 2:1 торисферических днищ 1,91.

Однако расчетом или экспериментом должно быть продемонстрировано, что деформация во время упрочнения не вызовет чрезмерной деформации в областях, подверженных изгибающим напряжениям. В тех случаях, когда деформация приведет к лучшей форме (например, глубокие выпуклые днища становятся полусферическими), этот метод может использоваться даже при больших изгибающих напряжениях.

Кроме того, риск потери устойчивости в областях, где возникают сжимающие напряжения (то есть поворот кулаков и угловых участков конусов), должен уделяться особое внимание. Но, поскольку изгиб сильно зависит от первоначальных дефектов и упрочнения материала перед повышением давления, опыт не заменит его. Однако процесс растяжения сам по себе выявит любые такие тенденции (см. С.6.1).

C.5.2.3.5 Для упрочнения отверстий следует учитывать жесткость крепления, чтобы избежать избыточного упрочнения. Предпочтительно использовать отверстия без усиливющих элементов. Неусиленные отверстия в этом контексте включают отверстия, имеющие усиление, не соответствующее 4.3.5.5.5 настоящего стандарта.

Для отверстий, в которых диаметр отверстия превышает указанный ниже, расчет упрочнения должен производиться в соответствии с 4.3.5.5 настоящего стандарта с теми же модификациями, что и в пункте C.5.2.3.3.

При использовании внешней арматуры пластины или других видов арматуры, которые не приварены с полным проплавлением, будет возникать наблюдаться риск *перегрузки сварных швов* во время упрочнения.

Когда *эффективность связки* меньше 1, напряжения, вызванные упрочнением, должны анализироваться в соответствии с 4.3.5.5 настоящего стандарта.

Максимально допустимое открытие неусиленных одиночных отверстий

В случае отверстий, соединяющих горловины и т.д. с корпусом, внутренний диаметр горловины не должен превышать d_{\max} .

d_{\max} = диаметр максимально допустимого отверстия (большая ось для овальных отверстий), мм

D_y = наружный диаметр оболочки, мм;

R = внутренний радиус коронки днища, мм;

s_0 = толщина стенки непористой оболочки, мм;

s = истинная толщина стенки оболочки, мм;

$\mu = \text{srf } s$;

$C = 60 \cdot 2 (1-\mu)$ с максимумом 60 мм.

$$d_{\max} = 0,4 \sqrt{D_y} s + C \quad (\text{C.2})$$

Значение d_{\max} , рассчитанное по формуле (C.2), может быть округлено до ближайшего большего, даже на 10 мм.

Однако d_{\max} должно соответствовать условиям:

$$d_{\max} \leq 150 \text{ mm} \quad (\text{C.3})$$

$$d_{\max} \leq 0,2 D_y \quad (\text{C.4})$$

Толщина стенки цилиндра без отверстий рассчитывается по формуле:

$$s_0 = \frac{pD_y}{20 \frac{\sigma_k}{1,33} + 2p} \quad (\text{C.5})$$

Толщина стенки чашеобразного обнажения выпуклого днища без отверстий рассчитывается по формуле:

$$s_0 = \frac{pR}{20 \frac{\sigma_k}{1,33}} \quad (\text{C.6})$$

C.6 Производство и проверка

C.6.1 Упрочнение

C.6.1.1 Операция по упрочнению, являющаяся этапом производства готового сосуда, должна выполняться в соответствии с письменными инструкциями. Эти инструкции должны включать этапы, описанные в C.6.1.2 - C.6.1.6.

Когда сосуды, находящиеся под давлением, требуют осмотра и измерения, должны применяться надлежащие средства и порядка обеспечения безопасности инспекторов, работников и населения.

C.6.1.2 Сосуд заполняется жидкостью. Перед закрытием сосуда необходимо подождать не менее 15 минут, чтобы воздух, растворенный в жидкости, вышел. Затем сосуд доливают и герметизируют.

C.6.1.3 Измеряется окружность всех слоев (например, стальными лентами) там, где ожидается наибольшее увеличение поперечного сечения. Скорость деформации при упрочнении рассчитывается по всей окружности.

C.6.1.4 Упрочнение должно выполняться следующим образом: давление повышается до давления упрочнения и поддерживается до тех пор, пока скорость деформации не упадет до уровня менее 0,1% / ч. Время под давлением должно быть не менее одного часа (см., Однако, C.6.1.5). Скорость деформации должна проверяться путем повторных измерений окружности в соответствии с C.6.1.2. В течение последних 30 минут должно соблюдаться требование 0,1%/ч.

ПРИМЕЧАНИЕ Общее время под давлением может быть длительным. Это может быть уменьшено, если в течение первых 0,5 ч до 1 ч работы будет применено более высокое давление на 5%.

C.6.1.5 Для сосудов под давлением, имеющих диаметр не более 2000 мм, время под давлением может быть сокращено до 30 минут, и в течение последних 15 минут должно выполняться требование 0,1%/ч.

C.6.1.6 Операция по упрочнению заменяет первоначальное испытание сосуда под давлением. Если последующие испытания под давлением потребуются, то должно использоваться только нормальное давление. Если сосуд необходимо отремонтировать, этот ремонт и испытание под давлением или, возможно, новое упрочнение должны проводиться в соответствии с C.6.3.4.

C.6.2 Регистрация операции

Должна производиться письменная регистрация операции, содержащая, по меньшей мере, следующую информацию:

- последовательность изменения давления с указанием показаний давления и времени;
- измерения окружности до, во время и после повышения давления;
- расчеты скорости деформации по измерениям окружности;
- любые существенные изменения формы и размера, имеющие отношение к функционированию сосуда
- любое требование для возобновления укрепления (в соответствии с C.6.1.6 и C.6.3.4)

C.6.3 Сварка

C.6.3.1 Метод упрочнения предполагает высокое качество сварки. Применяются те же правила, что и для условно изготовленных криогенных сосудов, за исключением того, что контрольные пластины для контроля производства не требуются.

C.6.3.2 Неразрушающий контроль должен проводиться до упрочнения в объеме, указанном в 6.3. Если во время операции упрочнения можно ожидать высоких локальных концентраций напряжений и деформаций, следует также провести исследование с использованием жидкого проникающего красителя при изменении толщины стенки или при сварных горловинах.

C.6.3.3 После операции упрочнения и снижения давления до расчетного давления сварные швы должны быть визуально проверены снаружи на их полную длину. Места, которые были

исследованы с помощью жидкого проникающего красителя в соответствии с С.6.3.2, также должны, если это возможно, проверяться случайным образом с использованием объемного метода (предпочтительно радиографическим исследованием).

C.6.3.4 Повторное упрочнение должно быть выполнено, если усиленные давлением части сосуда были значительно затронуты сваркой после упрочнения. Исключения допускаются для прихваточной сварки навесного оборудования, несущего только низкие нагрузки (например, опоры изоляции), и для сварки горловин не более 10% внутреннего диаметра сосуда (не более 100 мм) или незначительного ремонта сварного шва с сопоставимым влиянием на конструкцию. Такие сварные швы должны быть проверены в соответствии с С.6.3.2 и С.6.3.3.

Если не проводится повторное упрочнение давления, должно быть нормальное испытание под давлением, как это требуется после всех сварочных работ на опорных деталях.

C.6.4 Чертеж сосуда под давлением

C.6.4.1 В дополнение к информации, требуемой в 4.2.2, на чертеже должен быть следующий текст:

- сосуд изготовлено в соответствии с приложением С;
- упрочнение для эксплуатации под давлением, с указанием значения в барах;
- указанные значения толщины и диаметра применяются перед упрочнением.

C.6.4.2 Детали, подлежащие приварке на месте после упрочнения, должны быть отмечены на чертеже.

C.6.6 Табличка с данными

На табличке с техническими данными в дополнение к информации в соответствии с пунктом 10 EN 14398-1: 2003 должна быть нанесена надпись «УСИЛЕН ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ».

C.7 Комментарии

C.7.1 Теория упрочнения

Аустенитные нержавеющие стали проявляют значительное упрочнение при деформации при сохранении характеристик материала. Напряжение, необходимое для дальнейшей деформации, непрерывно увеличивается с увеличением деформации. Таким образом, кривая напряжения / деформации для аустенитной стали не имеет области потока, типичной для углеродистых и низколегированных сталей. Сравните кривые напряжения / деформации на рисунке C.1 и C.2.

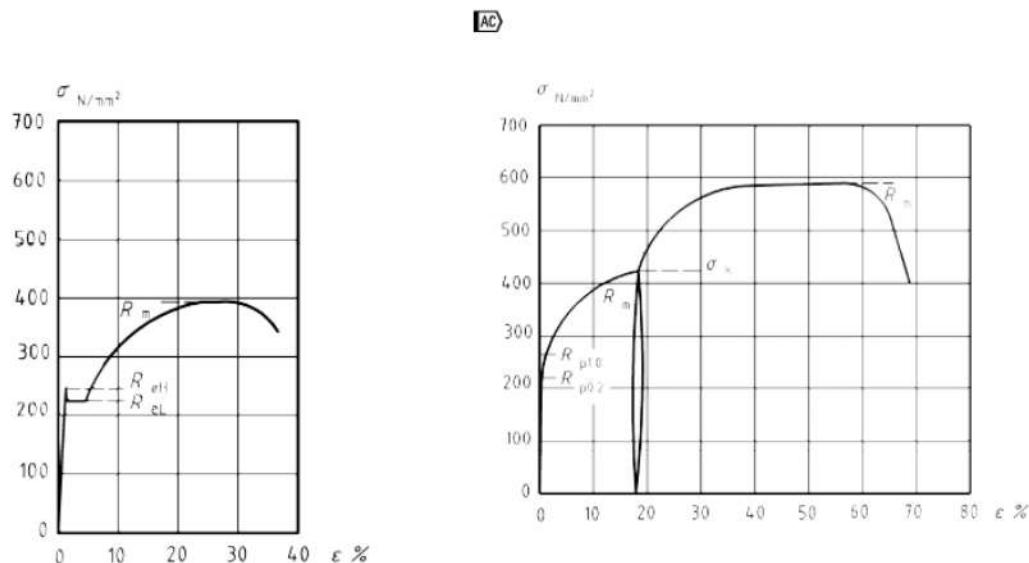


Рисунок С.1 - Кривая напряжения / деформации для углеродистой стали**Рисунок С.2 - Кривая напряжения / деформации для аустенитной нержавеющей стали**

Если образец для испытания на растяжение из аустенитной нержавеющей стали, подвергнутый закалке твердого раствора без полиморфного превращения, нагружают до упрочняющего напряжения σ_k' и затем выгружается, постоянное пластическое удлинение будет найдено. При повторной загрузке того же испытательного образца деформация будет оставаться эластичной до более высокого уровня напряжения, чем раньше. Только при превышении напряжения σ_k' пластическая деформация будет продолжаться вдоль исходной кривой. Опытный образец, который был нагружен до упрочняющего напряжения σ_k , можно рассматривать как новый опытный образец с

$$R_{p0,2} = \sigma_k \quad (C.7)$$

Аустенитная нержавеющая сталь, которая была растянута при температуре окружающего воздуха до более высокой прочности на разрыв, также демонстрирует более высокое предел прочности на разрыв при всех других температурах.

Ударная вязкость материала после растяжения до 10% (номинальная деформация) все еще будет удовлетворительной, поскольку аустенитные стали в закаленном твердом растворе имеют относительное удлинение при разрушении не менее 35%.

Требуемая пластическая деформация достигается путем воздействия на готовую камеру высокого давления усиливающего давления P_k . Это давление рассчитывается таким образом, чтобы в отношении пластика имелся достаточный запас прочности деформация от напряжений, вызванных давлением, равным расчетному давлению p .

Минимальные толщины стенок для различных частей сосуда рассчитываются после установления подходящего расчетного значения напряжения σ_k' .

При упрочнении готового сосуда материал достигает упрочняющего напряжения (σ_k) , которое по меньшей мере в 1,33 раза превышает расчетное напряжение, p , и в 1,73 раза больше напряжения при максимально допустимом давлении, P_s .

C.7.2 Закаленный материал

C.7.2.1 Термин "закаленный материал" должен применяться к материалу, у которого прочность на разрыв повышена посредством холодной прокатки, правки валками, одноосного растяжения в натяжной машине или других видов холодной обработки.

C.7.2.2 Закаленный материал может использоваться для уменьшения или устранения деформации, вызванной упрочнением сосуда под давлением. В основном используется в баллонах для внутреннего давления.

C.7.2.3 Увеличение прочности при испытании из закаленного материала примерно одинаково во всех направлениях. Предел прочности закаленного листа определяется на образцах, отобранных поперек направления прокатки или растяжения соответственно.

C.7.2.4 Структура закаленного материала отличается от термически обработанного материала только тем, что количество дислокаций выше. Материал, который подвергся однородной деформации, свободен от остаточных напряжений. Закалка не оказывает существенного влияния на устойчивость к общей коррозии.

При сварке закаленного материала образуется зона термического влияния (ЗТВ), ширина которой зависит от метода сварки. При дуговой сварке покрытыми электродами ширина зоны примерно равна толщине материала.

Предел прочности в зоне может быть уменьшен, но последующее упрочнение восстанавливает его примерно до того же уровня, что и у окружающего материала.

Ударная вязкость и коррозионная стойкость в зоне зависят главным образом от исходного состояния материала (анализ, хорошо отожженная структура) и метода сварки (степень нагрева), но лишь незначительно от степени упрочнения.

Упрочнение сосуда под давлением обычно уменьшает локальные остаточные напряжения, которые создаются в сосуде во время процесса изготовления.

C.7.3 Вывод формул

C.7.3.1 Рассмотрим цилиндр со средним диаметром D и расчетным давлением p , который был повышен до расчетного значения напряжения σ_k . Толщина его стенки должна соответствовать формуле для цилиндров в пункте 4.3.5.1.3 настоящего стандарта:

$$s = \frac{pDs_F}{20\sigma_k z} \quad (\text{C.8})$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Для упрощения уравнения используется средний диаметр, а возможный припуск (на коррозию) отбрасывается.

Упрочнение должно быть выполнено таким образом, чтобы оболочка подверглась воздействию напряжения. Напряжение в цилиндре

$$\sigma = \frac{pD}{20s} \quad (\text{C.9})$$

усиливающее давление, следовательно

$$p_k = \frac{20s\sigma_k}{D} \quad (\text{C.10})$$

Если s в соответствии с формулой (C.8) замещен:

$$p_k = p \frac{s_F}{z} \quad (\text{C.11}),$$

поскольку $S_F = 1,33$ и $z = 1,0$, это соответствует формуле (C.1). Очевидно, что цилиндры могут быть рассчитаны по формуле в 4.3.5.1.3, если q_- введено в качестве расчетного значения напряжения, а 1,0 - в качестве коэффициента сварного соединения.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если коэффициент сварного шва z менее 1,0 применяется к какому-либо одному основному шву, требуется повышение упрочняющего давления в соответствии с формулой (C.5). Чтобы выдержать это более высокое давление, необходимо было бы увеличить толщину всех частей сосуда.

C.7.3.2 Если оболочка состоит из нескольких слоев, и один из них сделан более толстым, чем другие, то после упрочнения он будет иметь более низкое значение σ_k , чем другие.

Более толстый слой требует более высокого усиливающего давления, чем другие. Поскольку это невозможно, этот слой не будет удовлетворять формуле (C.8) (недостаточно «усилен»), так как ожидаемая стойкость доказательства σ_k' не будет достигнута.

Чтобы достичь теоретически полного эффекта по всему сосуду, необходимо уменьшить толщину толстого слоя. Поскольку это вряд ли повысит безопасность сосуда, разрешается использовать большую толщину в некоторых частях, например, где требуется от внешних нагрузок, даже если это не является теоретически правильным.

Соответственно, постоянная толщина стенки допускается в конических днищах, даже если теория упрочнения, строго говоря, требует уменьшения толщины пропорционально радиусу. Аналогично, сферическая часть выпуклого днища в некоторых случаях будет "недостаточно усиlena давлением".

C.7.3.3 Вывод формул в C.7.3.1 применяется к деталям, свободным от изгибающих напряжений, то есть цилиндрам, сферам и полусферическим днищам.

Использование усиливающего эффекта, как правило, не допускается для деталей, подверженных первичным напряжениям изгиба. Для таких деталей необходимо исследовать напряжения во время упрочнения (см. С.5.2.3.2) и нормальной работы.

Некоторые детали сосуда под давлением, такие как выпуклые и конические днища, содержат так называемые вторичные изгибающие напряжения (см. Приложение А). Допускается использование эффекта упрочнения в таких деталях, но величина вторичных изгибающих напряжений должна быть исследована и обычно не должна превышать σ_k .

Исключением из этого является необходимость исследования торисферических днищ с отношением 2:1, где опыт показывает, что изгибающие напряжения являются умеренными.

C.7.3.4 Опыт показал, что можно использовать расчетные значения напряжения для материала, усиленного давлением, при определении размеров упрочняющих прокладок в соответствии с 4.3.5.5.

C.7.3.5 Настоящее приложение не исключает использования усиливающего эффекта при условии, что изготовитель может показать, что он не вызывает вредной деформации или других проблем.

C.7.4 Деформации при упрочнении

C.7.4.1 Максимально допустимое расчетное значение напряжения $O_{\text{ипах}}$ для различных сталей постоянно устанавливается на $200 \text{ Н}/\text{мм}^2$ выше $R_{p0,2}$ для термообработанного раствора.

При обычном испытании на растяжение это максимальное напряжение вызывает удлинение менее 10%.

C.7.4.2 Процесс упрочнения можно смоделировать при испытании на растяжение, предоставив дополнительное время под нагрузкой. Это увеличивает удлинение при максимальном напряжении еще на 1% до 2%

После имитации упрочнения предел прочности $R_{p0,2}$ материала (рассчитанный на основе площади поперечного сечения до упрочнения) примерно на $30 \text{ Н}\cdot\text{мм}^2$ выше, чем используемое усилие упрочнения σ_k .

C.7.4.3 Многоосное-напряженное состояние приводит к другим значениям удлинения, отличным от результатов испытания на растяжение. Эти значения удлинения могут быть оценены в соответствии с графиком деформационного упрочнения материала применительно к действительным значениям напряжений σ и относительного удлинения.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2}{9}[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2]}$$

Если установлено действительное значение 1, то главные напряжения и удлинения, полученные для простейших условий напряжения, приведены в таблице С.3.

Таблица С.3 – Величины напряжения и удлинения при различных нагрузках

	Истинное напряжение				Истинное удлинение			
	σ_1	σ_2	σ_3	σ	ε_1	ε_2	ε_3	$\underline{\varepsilon}$
Испытания на растяжение	1	0	0	1	1	-0,5	-0,5	1
Цилиндр	1,15	0,58	0	1	0,87	0	-0,87	1
Сфера	1	1	0	1	0,5	0,5	-1	1

Среди прочего, в таблице С.3 выражается тот факт, что образец для испытания на растяжение сжимается в двух измерениях, в то время как цилиндр уменьшается только по толщине на величину, соответствующую увеличенной окружности.

Таблица С.3 показывает, что определенное эффективное напряжение вызывает различное удлинение в главном направлении напряжения ε_1 для разных вариантов нагрузки. Такое же эффективное напряжение, которое вызывает деформацию 10% при испытании на растяжение ($\varepsilon_1 = 1,0$) приводит к деформации по окружности 8,7 % ($\varepsilon_1 = 0,87$) в гильзе цилиндра и 5 % ($\varepsilon_1 = 0,5$) в сфере.

Истинные напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 и σ рассчитываются на основе площади поперечного сечения материала после деформации. Если вместо этого используются номинальные напряжения, рассчитанные на основе исходной площади поперечного сечения материала, сравнение напряжений будет другим.

Следующий пример демонстрирует разницу.

ПРИМЕР. Используются значения из типичной кривой деформационного упрочнения аустенитной нержавеющей стали, то есть 0,2% / 280 Н / мм² и 10% / 420 Н / мм². Если к этому материалу приложены равные номинальные главные напряжения σ_1 ^{ном}, основная деформация ε_1 для цилиндра изменяется от 0,87 до 0,66 и для сферы от 0,5 до 0,58.

Деформация при разрывном давлении составляет половину максимальной однородной деформации при испытании на растяжение для цилиндра и одну треть для сферы.

C.7.4.4 На практике максимальная окружная деформация цилиндров обычно составляет от 3% до 5% при использовании пластины, обработанной раствором, меньше, в сферической части днищ. Следующие факторы способствуют тому, что измеренные значения ниже теоретически рассчитанного максимального значения:

- предел прочности $R_{p0,2}$ выше, чем указанный минимум для материала;
- толщина пластины больше номинальной;
- имеется усиливающее воздействие на днища, насадки и т.д.

C.7.4.5 Следует отметить, что упрочнение сосудов под давлением в виде закалки твердого раствора может влиять на положение, направление и закругление горловин. Это не влечет за собой снижения безопасности сосуда, но в некоторых случаях может создавать неудобства для пользователя.

ПРИМЕЧАНИЕ. Одним из способов минимизации этих изменений является приварка горловин на месте после упрочнения, после чего сосуду может потребоваться новое упрочнение (см. С.6.3.4). Это второе упрочнение обычно приводит к гораздо меньшим деформациям.

C.7.4.6 Когда для горловин в цилиндре (конусе) используется сварная труба, продольный сварной шов трубы должен быть расположен в направлении, где напряжения самые низкие, то есть в плоскости, перпендикулярной продольной оси цилиндра (конуса).

Приложение D (справочное)

Специальные приварные детали

D.1 Область применения

Специальные сварные детали, приведенные в D.2, в настоящее время широко используются в криогенных сосудах и подходят для этой службы. Хотя EN 1708-1:1999 конкретно не рассматривает применение сварных деталей для криогенных сосудов, производитель может руководствоваться указанным стандартом.

D.2 Приварные детали

В целом, сварные швы должны быть достаточными для выдерживания ожидаемых нагрузок и не должны рассчитываться на основе толщины стенки стыка.

D.2.1 Швы внахлест

См. рис. D.1.

Такое соединение может использоваться для соединения цилиндра с цилиндром и днища с цилиндром (кроме конуса с цилиндром) при условии, что:

а) когда фланцевая часть выпуклого днища толкается, толчок достаточно свободен от радиуса кулака, чтобы гарантировать, что край окружного шва находится на расстоянии не менее 12 мм от кулака (размеры см. в 4.3.5.2.2);

б) при движении цилиндра с продольным швом:

1) сварные швы шлифуют внутри и снаружи на расстоянии приблизительно 50 мм до толчкового режима без уменьшения толщины пластины ниже требуемого минимума; а также

2) по завершении пробежки участок сварного шва подвергается проверке на проницаемость красителя и не имеет трещин;

с) смещенный участок, который образует основу для сварки, плотно прилегает к его сопряженному участку у сварного шва по всей окружности;

д) профиль смещения представляет собой гладкий радиус без острых углов;

е) по окончании сварки шов плавно заполняет паз до полной толщины соединяемых кромок пластины;

ф) стыки продольных и окружных швов исследуются рентгенологически и не имеют значительных дефектов.

D.2.2 Промежуточные торцы

См. рис. D.2.

D.2.3 Подкладная полоса

См. рис. D.3.

Может использоваться только для кольцевых швов в цилиндрах, торцах, горловинных и межпространственных трубах, когда вторая сторона недоступна для сварки и при условии, что неразрушающий контроль может быть проведен удовлетворительно, где это применимо.

D.2.4 Обварка торцевых пластин

На рисунке D.4 приведены два примера множества способов обварки плоских пластин. См. также рисунок 12.

D.2.5 Вварка горловин с неполным проплавлением

См. рисунок D.5.

Может использоваться для вварки горловин в днища и цилиндрические оболочки при условии, что можно доказать, что прочность сварных швов ввариваемого элемента достаточна для того, чтобы выдержать расчетные нагрузки на горловины.

D.2.6 Непрерывный угловой шов на приспособлениях

Может использоваться для всех креплений к основным деталям, воспринимающим давление, при условии соблюдения следующих критериев:

- прочность достаточна для расчетных нагрузок;
- может быть продемонстрировано, что наличие щелей между присоединенным узлом и главной оболочкой, воспринимающей давление, не нарушает D.3.

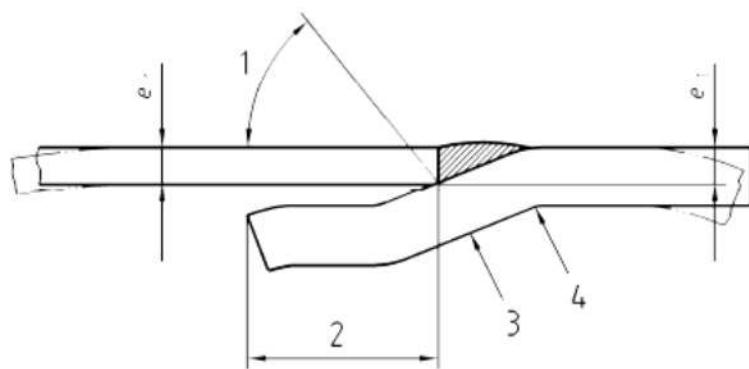
D.3 Требования к кислородному снабжению

Необходимость в чистоте оборудования при работе с жидким кислородом и другими окислительными жидкостями описана в EN 1797 и EN 12300.

Детали внутреннего сварного шва должны быть такими, чтобы мусор, загрязняющие вещества, углеводороды или обезжирающие вещества не могли накапливаться и таким образом вызывать риск пожара при эксплуатации.



AC



AC

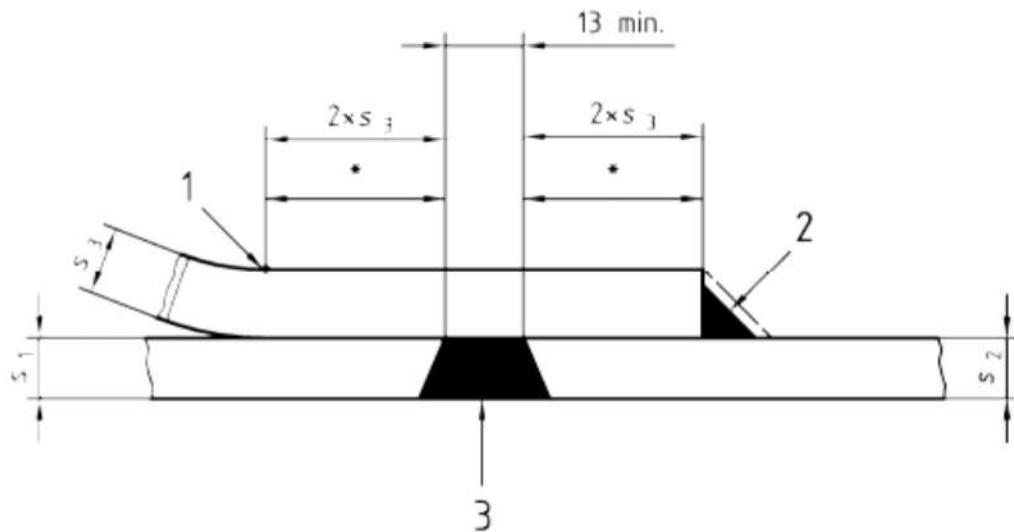
Обозначения

- 1 Фаска на усмотрение изготовителя
- 2 На усмотрение изготовителя
- 3 Глубина смещения = e_1
- 4 Избегайте резких прерываний

Рисунок D.1 – Шов внахлест



ПТИА-АВТО



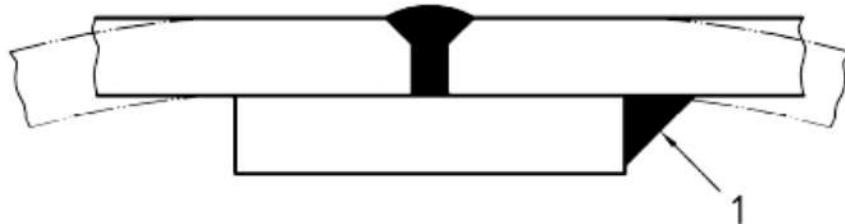
Обозначения

- 1 Точка касания
- 2 Непрерывный угловой шов
- 3 стыковой шов
- s_1 Толщина цилиндра
- s_2 Толщина цилиндра
- s_3 Конечная толщина
- * Не должен превышать 25 мм

ПРИМЕЧАНИЕ

Толщина цилиндров s_1 и s_2 может варьироваться

Рисунок D.2 – Промежуточное завершение



Обозначения

- Прерывистый или непрерывный угловой шов

Рисунок D.3 – Подкладная полоса

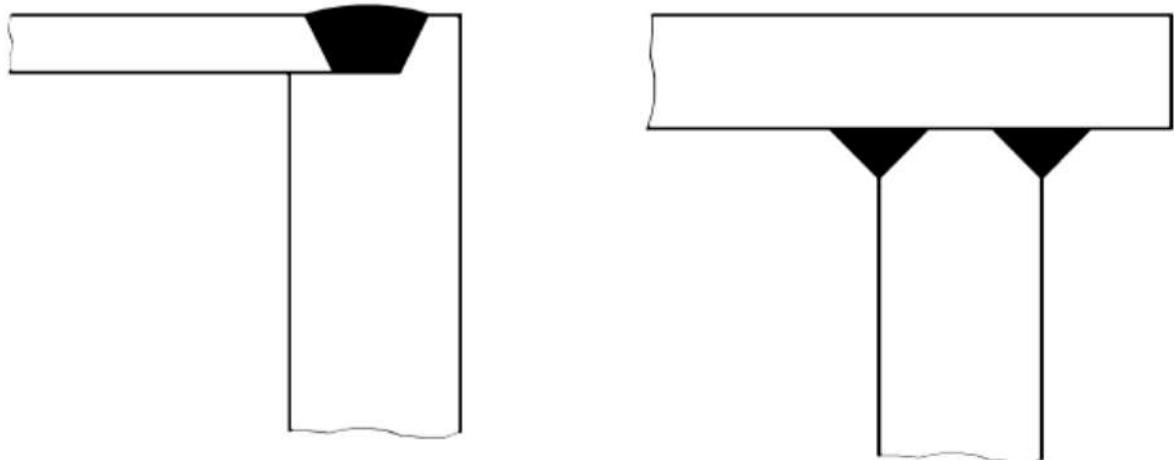


Рисунок D4 – Закрытие торцевой пластины (примеры)

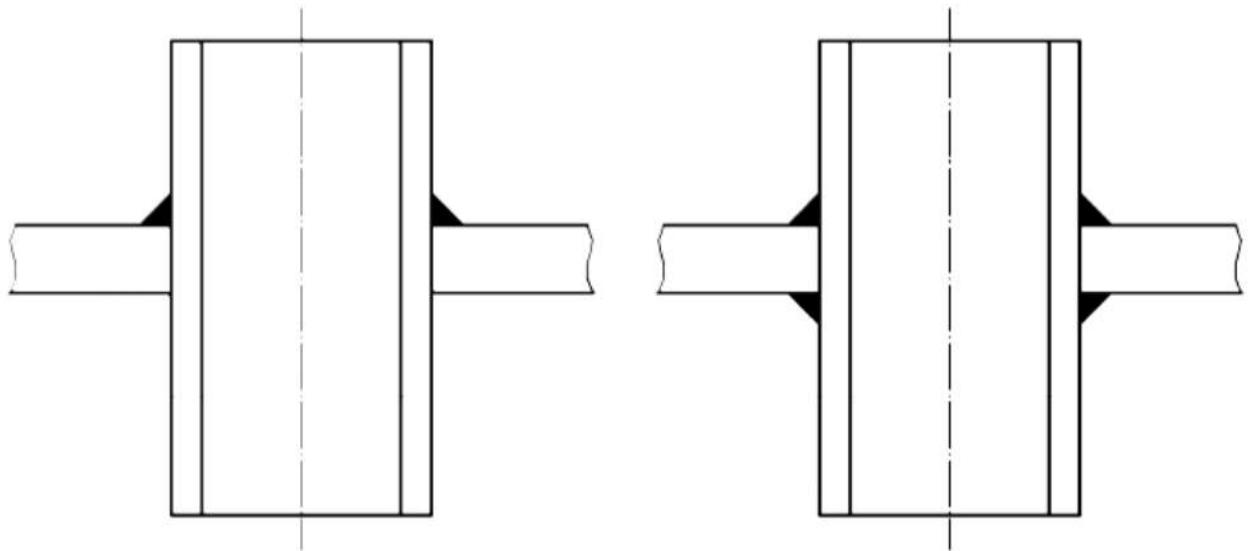


Рисунок D5 – Сварные сопла с неполным проникновением

Приложение Е (нормативное)

Повышенные свойства аустенитных нержавеющих сталей

Директива ЕС для оборудования, работающего под давлением (PED) предусматривает три способа обеспечения пригодности материала для изготовления оборудования, работающего под давлением. Однако с учетом допустимой скорости ухудшения характеристик для аустенитных сталей указанные минимальные значения в соответствии со стандартом на материалы могут быть превышены на 15%, если эти более высокие значения подтверждены в акте проверки. Этот метод был успешным в течение ряда лет. Однако для расчета минимальной толщины стенки в соответствии с формулой, приведенной в таблице 1 пункта 4.3.2.1, должны использоваться минимальные значения, указанные в стандартах на материалы.

К - минимальное значение при 20 ° С, взятое из стандарта на материал.

Более высокие значения К можно использовать при условии соблюдения следующих условий:

- производитель материала должен гарантировать соответствие этой более высокой стоимости в письменном виде при принятии заказа;
- повышенные свойства проверяются путем испытания каждой катаной пластины или рулона материала, подлежащего доставке;
- повышенные свойства отмечаются в акте проверки.

В случае аустенитных нержавеющих сталей указанное минимальное значение может быть превышено до 15% при условии, что это более высокое значение засвидетельствовано в акте проверки.

Кроме того, для аустенитной нержавеющей стали в конструкции может использоваться значение прочности, полученное в результате упрочнения материала, при условии, что это значение и требование 5.3.1 соблюдаются в готовом изделии. Требования к сварке рабочих закаленных аустенитных нержавеющих сталей приведены в 5.6.4.3.

В расчете следует использовать значение Е (модуль Юнга) при 20°C.

Нормативная литература

EN 288-1, *Технические условия и аттестация технологий сварки металлов. Часть 1. Общие сведения о назначении сварки плавлением.*

EN 288-2, *Технические условия и утверждение технологий сварки металлов. Часть 2. Технические условия дуговой сварки.*

EN 970, *Неразрушающий контроль сварных соединений. Визуальный контроль.*

EN 1708-1: 1999, *Сварка. Основные элементы сварных швов стальных конструкций. Часть 1. Герметизированные компоненты.*

EN 12300, *Криогенные сосуды - Чистота для криогенной эксплуатации.*

EN 13133, *Пайка – Аттестация паяльщиков.*

EN 13134, *Пайка – Утверждение технологии.*

EN 13445-4, *Сосуды под давлением без огневого подвода теплоты. Часть 4. Изготовление.*

EN 13458-3, *Криогенные сосуды. Статические сосуды с вакуумной изоляцией. Часть 3. Эксплуатационные требования*

