

ПРОЕКТ «G». (GCM_Project-G).

Испытания баллонов. (Топик).

В ИЭС им. Е. О. Патона планируется проведение испытаний/исследований новых баллонов в соответствии с ISO 9809-3:2010, п. 9.2 – испытания типа. Испытания будут проходить для сертификации баллонов.

Работы проводятся с целью проверки новой конструкции баллона на соответствие выдвигаемым требованиям к баллонам. После успешного прохождения испытаний, баллоны могут запускаться в серийное производство.

Таблица. Баллоны стальные GCM, (7 типоразмеров).

№	Объем, л	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина, мм	
1	2	108	4	300	Материал: сталь 37Мп. Рабочее давление (Р) - 15 МПа. Пробное давление (П) - 25 МПа. П=(5/3)×Р
2	3,2	120	4	370	
3	5	140	4	450	
4	10	140	4	820	
5	10	159	4	650	
6	20	180	5,3	970	
7	40	219	5,7	1310	

Баллоны изготовлены по ISO 9809-3:2010.

По НД испытаниям подвергаются все типы баллонов (7 типов), по 7 шт. каждого типа.

Испытания типа включают в себя: (ISO 9809-3:2010 и ГОСТ 949 - 20).

1. Испытания циклическим пробным давлением.

3 баллона каждого типа. (21 шт). Баллоны не должны дать течи.

Количество циклов - 12000. Частота менее 0,25 Гц, (< 15 ц/мин, $T_{ц} > 4$ с).

Нижний порог: 2,5^{-2,5} МПа. Верхний порог: 25^{+2,5} МПа.

2. Испытания внутренним гидростатическим давлением до разрушения.

2 баллона каждого типа, (14 шт).

3. Механические испытания. (Программа как в периодическом контроле).

2 баллона каждого типа. (14 шт).

- Испытания на растяжение, в продольном направлении, пятикратная база. (ДСТУ EN ISO 6892-1:2019). 1 шт/баллон - 14 шт.

- Испытания на загиб в кольцевом направлении. (ДСТУ ISO 7438:2005). 2 шт/баллон - 28 шт. (Либо 1 испытание на сплющивание баллона, либо 1 испытание на сплющивание кольца.)

- Испытания на удар. (ISO 148-1:2016). 3 шт/баллон - 42 шт. Образцы вырезаются в поперечном либо продольном направлениях, в зависимости от наружного диаметра баллона (D140). Толщина образцов не менее 3 мм. Испытания на образцах Шарпи, при минус 20 либо при минус 50 °С, в зависимости от климатических условий эксплуатации;

- Испытания на сплющивание. 1 шт/баллон - 14 шт. (факультативно).

- Контроль качества днища. Днище разрезается в осевом сечении, делаются макро и микро шлифы для изучения структуры металла, качество сплошности металла в самом центре днища. Поскольку баллоны делаются из труб, то в самом центре днища могут быть некие несплошности и дефекты.

После успешных испытаний типа, в процессе последующего серийного производства баллонов, проводится периодический контроль - испытаниям подвергается только один баллон из новой партии и только по п. 3, см. выше.

Таблица. Предлагаемая схема испытаний для одного типоразмера, (читается слева направо).

№	Исп. циклическим давлением	Исп. внутренним давлением до разрушения	Механические исп.	Примечания
1	V	+	+	
2	V		+	
3	V			*
4		V	+	
5		V		
6			V	
7			V	
N	3	2	2	

Примечания:

V - испытания для сертификации.

+ - возможные дополнительные испытания для исследования изменения свойств металла.

* - возможные дальнейшие испытания на циклическую долговечность.

Планируется, что дополнительно будут исследоваться вопросы влияния циклических нагрузений на изменения механических свойств, упругого расширения и давления разрушения баллонов. Исследования будут производиться с целью обоснования уменьшения количества образцов баллонов для испытаний в дальнейшем.

Предполагается:

- толщинометрия стенок - с целью определения разнотолщинности.
- исследования ударной вязкости на образцах Шарпи, вырезанных как в продольном, так и в поперечном направлении. Определение влияния циклических нагрузений, и пластических деформаций на изменения удельной работы удара.
- исследования зоны перехода цилиндрической части в вогнутое днище, а так же центр днища - зоны возможного образования трещин от изгибных напряжений.
- и т.п., например ультразвук, измерение коэрцитивной силы металлография фрактальные числа и ...



Рис. Принципиальная конструкция баллонов.

Контактное лицо в ИЭС им. Е. О. Патона (<https://paton.kiev.ua/en>).

Ведущий инженер-технолог Дмитриенко Роман,

(e-mail: dri1@ukr.net тел.: +38 044 205-23-79, +380688579600).

Лаборатория испытаний сосудов давлением (ЛИСД): www.dri1.cc.ua.

Предварительная детализовка плана испытаний.

Проанализировать сертификаты на баллоны, и на партии, к которым они принадлежат.

Обработать информацию, зафиксированную при проведенных гидравлических испытаниях пробным давлением после производства баллонов, (полное расширение, остаточное расширение, упругое расширение, объем, вес). Проанализировать информацию об имеющемся «К-факторе» на типоразмеры этих баллонов, (при наличии таковой).

- Идентифицировать баллоны.
- Визуальный осмотр баллонов.
- Измерить вес и внутренний объем баллонов.
- На цилиндрической части баллонов, в трех сечениях (одно посередине, два ближе к краям) измерить периметры. Измерить периметры в месте перехода цилиндра к горловине и днищу.
- Измерить овальность баллонов.
- Определить отклонения по вертикали.
- Измерить ультразвуковым толщиномером толщины стенок. Точки распределены равномерно по цилиндрической части баллона, см. табл.

Таблица. Распределение точек по цилиндрической поверхности баллона.

№	W ном, л	D, мм	H, мм	Шаг ~, мм	T по окр.	T по L	Точек
1	2	108	300	42	8	5	40
2	3,2	120	370	47	8	6	48
3	5	140	450	44	10	8	80
4	10	140	820	44	10	16	160
5	10	159	650	41	12	12	144
6	20	180	970	35	16	23	368
7	40	219	1310	43	16	26	416
T - точки, L - длина цилиндрической части							

Также измерить толщины на горловине и на днище: T1, T2.

- Измерить размеры: H, H1, H2, H3, D neck (d).
- Измерить внутренний выходной диаметр резьбы на горловине.
- В водяной рубашке нагрузить рабочим (1 раз) и пробным (3 раза) давлениями.
- Вычислить «К-фактор».
- Поэтапными нагружениями довести баллоны до разрушения. (Первые этапы производить в водяной рубашке. После нагружений, вне водяной рубашке, определять изменения: периметров и внутренних объемов).
- После разрушений, разрезать баллоны вдоль оси, проверить подварки на днище, измерить размеры R1.
- Производить фотографировании, видеосъемку и протоколирование.
- Из имеющихся остатков таких же баллонов вырезать образцы на растяжение (по 3 шт. в продольном и по 3 шт. в поперечном направлениях баллонов) и образцы на ударную вязкость KCV (по 6 шт. в продольном и по 6 шт. в поперечном направлениях баллонов. Из 6-ти образцов 3 испытываются при температуре минус 20, а 3 - при минус 50 °C).
- Дополнительно, по возможности, снять диаграммы растяжения в осевом и поперечном направлениях.
- Испытания на загиб (по 2 образца) и сплющивание кольца (по 1 образцу).
- Определение твердости по Бринеллю (по 5 уколов).
- В центральной части стенки, в шлифе перпендикулярном оси, определить химический состав, бал зерна и структуру металла.

- Протоколы на соответствие ГОСТ и ISO и новым ТУ.
- По данным предоставленных замеров внутреннего объема и веса таких же баллонов, рассчитать отклонения, и определить допуски на внутренний объем и вес, ($\pm 3\sigma$).
- Отчет об исследованиях.
- По возможности написать статью об исследованиях. (Соответствие баллонов НД. Зависимость между K_{op} и n_b , «К-фактор»).

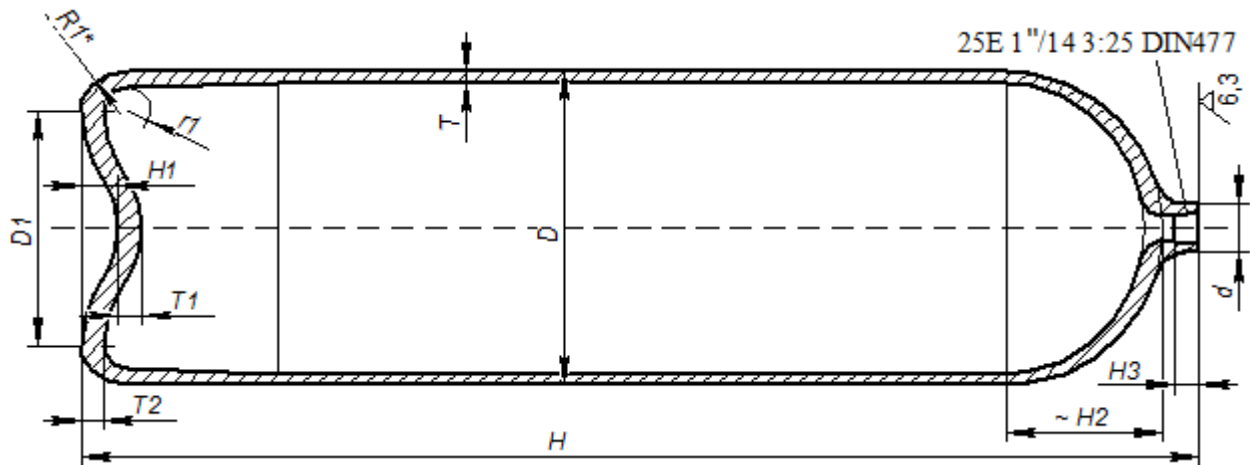


Рис. Принципиальная конструкция баллонов.

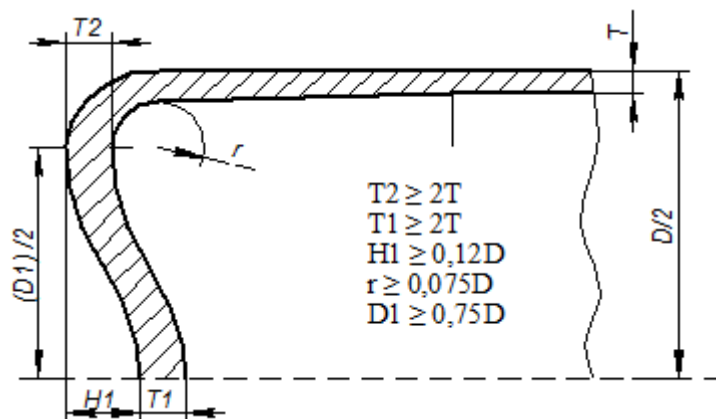


Рис. Принципиальная конструкция вогнутых дниц по ISO 9809-3:2010 и ГОСТ 949-20.
По ГОСТ 949-20 дополнительное требование, а по ISO рекомендация: $D1 \geq 0,75D$.

На проектом чертеже согласно ISO 9809-3:2010 должны быть указаны размеры: $T1$, $T2$, $H1$ и r . Для распределения напряжений в месте перехода цилиндрической части к глухим вогнутым дницам, выполняется постепенное увеличение толщины стенки. Конструкция дниц должна выдерживать циклические испытания.

После проведения запланированных исследований будут известны фактически реализуемые размеры с их отклонениями и сама геометрия баллонов, включая дница и горловины.

«К-фактор»: <http://dri1.cc.ua/RZ/RZ-DRI-030816.pdf>.

Зависимость между K_{op} и n_b : [http://dri1.cc.ua/Stati/RD_NDT-Days_2019_\(ru\).pdf](http://dri1.cc.ua/Stati/RD_NDT-Days_2019_(ru).pdf).

Отбор баллонов для испытаний/исследований.

Для испытаний желательно выбирать баллоны, принадлежащие разным плавкам (плавка - баллоны, вылитые с одного ковша). Если такое не представляется возможным, то разным партиям, желательно не следующих одна за другой, в таком случае вероятность, что они принадлежат разным плавкам увеличивается. Самое главное чтобы конструкция баллонов и способ из производства при этом не менялись. Это связано с тем, что мы исследуем баллоны в целом, а не одну плавку. В принципе даже две разные плавки лучше характеризуют баллон в целом, нежели одна.

Внизу в таблице условно А, Б, С, - плавки (партии) с какими-то номерами.

Таблица. Предполагаемый отбор баллонов для одного типоразмера.

	Испытания	Плавка (партия)			Сумма
		А	Б	С	
1	Испытания циклическим пробным давлением, (Ц).	А	Б	С	3
2	Испытания внутренним гидростатическим давлением до разрушения, (Г).	А	Б	-	2
3	Механические испытания, (М).	А	Б	-	2
	Сумма	3	3	1	7

Примечания: Если нет С, то вместо нее можно взять баллон из плавки (партии) А или Б.

Для испытаний внутренним гидростатическим давлением до разрушения и для механических испытаний берутся баллоны из тех же плавков (партий) как и баллоны для испытаний циклическим пробным давлением, Это делается для сравнения.

Таблица. Нумерация и распределение баллонов семи типоразмеров по испытаниям.

Тип	Литр	Ц			Г		М		
1	2	1.1 / А	1.2 / Б	1.3 / С	1.4 / А	1.5 / Б	1.6 / А	1.7 / Б	
2	3,2	1.1 / А	2.2	2.3	2.4 / А	2.5	2.6 / А	2.7	
3	5	3.1 / А	3.2	3.3	3.4 / А	3.5	3.6 / А	3.7	
4	10	4.1 / А	4.2	4.3	4.4 / А	4.5	4.6 / А	4.7	
5	10	5.1 / А	5.2	5.3	5.4 / А	5.5	5.6 / А	5.7	
6	20	6.1 / А	6.2	6.3	6.4 / А	6.5	6.6 / А	6.7	
7	40	7.1 / А	7.2	7.3	7.4 / А	7.5	7.6 / А	7.7	

Примечание: Баллоны х.1, х.4 и х.6 из одной плавки (партии), остальные из каких-то других.

ПРИЛОЖЕНИЕ

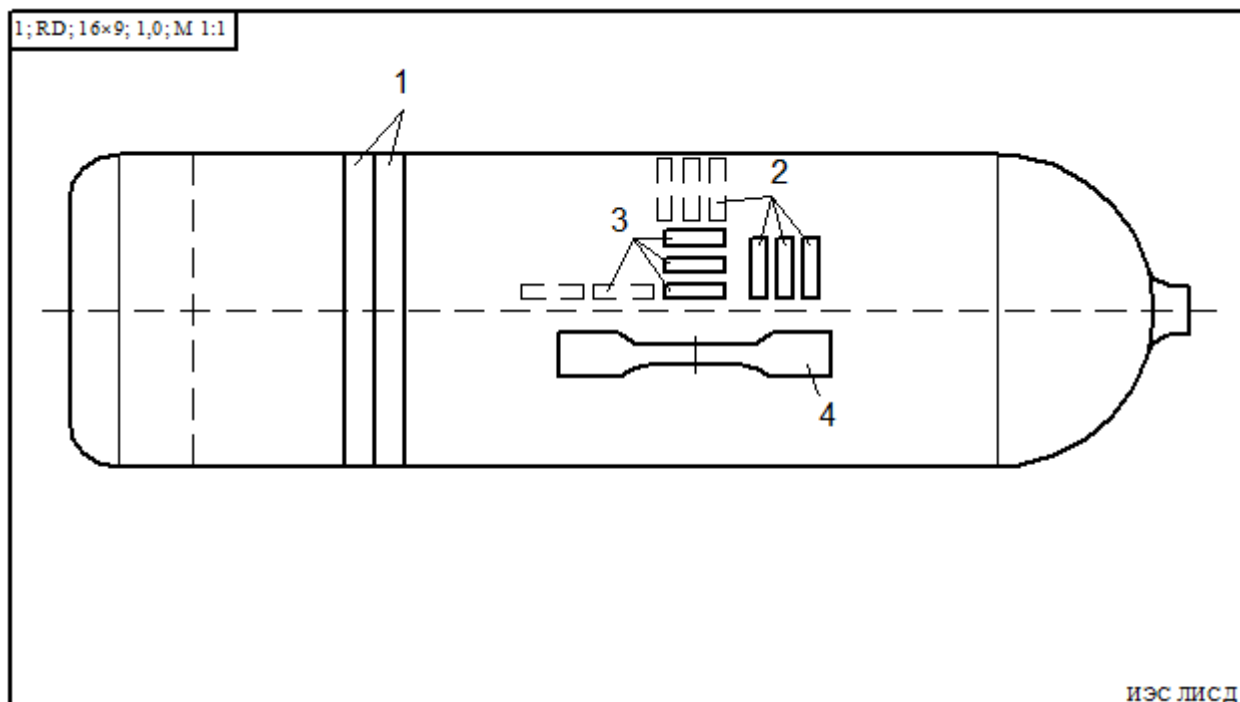


Рис. Расположение заготовок образцов в баллоне.

Пояснение к рисунку.

1 - на загиб и на сплющивание кольца; 2 - для поперечных образцов для удара, (альтернативные позиции показаны пунктиром); 3 - для продольных образцов для удара, (альтернативные позиции показаны пунктиром); 4 - для образца на растяжение.

Заготовки для образцов по возможности вырезаются в средней части баллона.

Испытания на растяжение. (ISO 9809-3:2010, п. 10.2.1а).

Испытание на растяжение проводят на одном образце с прямоугольным поперечным сечением, вырезанном из цилиндрической части баллона в продольном направлении. Две стороны образца, представляющие внутреннюю и внешнюю поверхности баллона механической обработке не подвергаются.

Используется пятикратная база: $l_o = 5,65 \sqrt{A_o}$. Удлинение δ_5 должно удовлетворять условиям приведенным ниже:

$$\delta_5 > \frac{25000}{2 \cdot \sigma_{B \text{ факт}}}$$

При этом всегда должно выполняться условие: $\delta_5 > 20\%$.

Испытание на растяжение должно проводиться в соответствии с ISO 6892-1. При этом нужно обращать внимание на расчет относительного удлинения, если разрыв происходит вблизи от захватов.

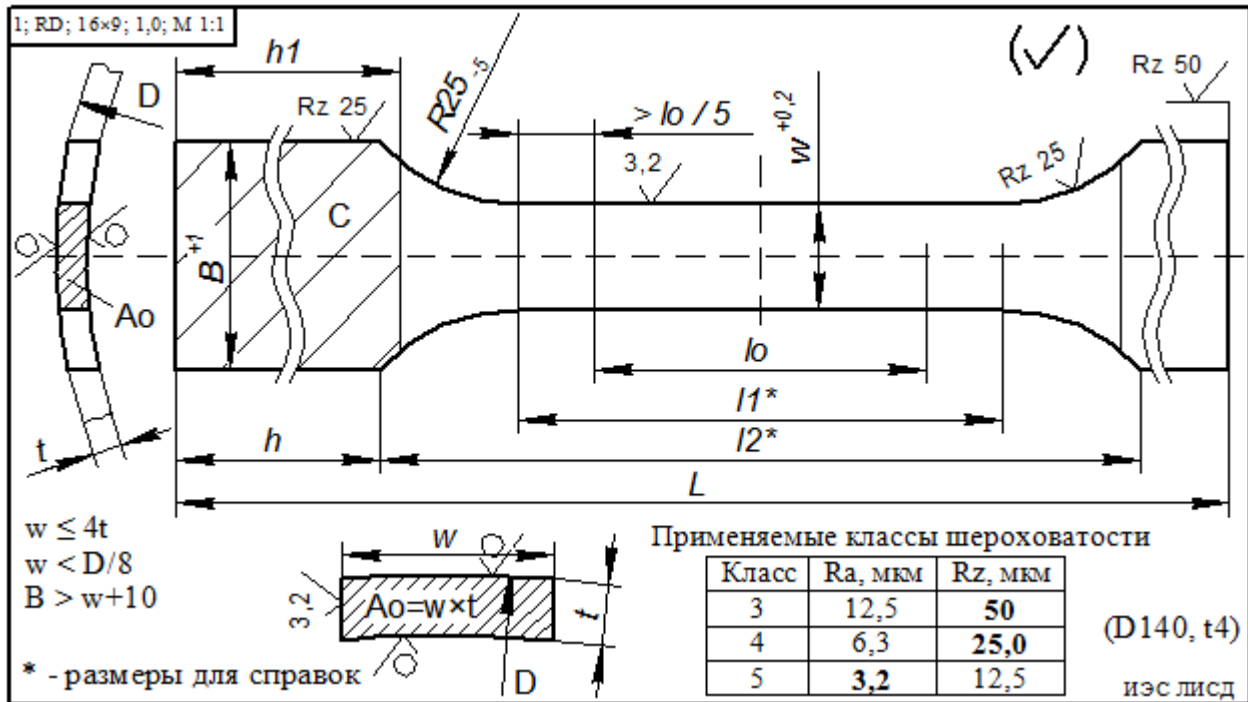


Рис. Образец на растяжение при комнатных температурах.

Примечание:

- Размер «h» берется в зависимости от захватов испытательной машины, 50 - 80 мм, с допуском ± 1 мм. (Согласуется с механической лабораторией).
- Вырезка образцов производится на фрезерных станках. Фрезеруются только боковые поверхности, перпендикулярные поверхностям, представляющим внутреннюю и внешнюю поверхности баллона.
- Не допускается нагрев и наклеп образцов.
- Колебание размера «w» на длине «l1» - $\pm 0,05$ мм.
- Острые грани притупить вдоль образцов $R \pm 0,5$ мм.
- Захватные части образцов (см. поверхность А) выпрямляются на прессе, (размер немногим больше чем размер h_1). Обе захватные части образца выпрямляются с одного установа, при этом рабочая часть ни в коем случае не должна быть деформирована.
- В зависимости от насечки на захватных кулачках испытательной машины может потребоваться незначительная шлифовка захватных частей (см. поверхность А, размер немногим меньше чем размер h_1 , рис. а). Поскольку поверхность захватов, после выпрямления в прессе не плоская, шлифовка должна покрывать более 50 % поверхности А, но при этом не должна быть чрезмерной чтобы не утонять захватную часть. Шлифование выполнять по возможности с одного установа, чтобы плоскости захватов лежали в одной плоскости. (Согласуется с механической лабораторией).
- Для того, чтобы формирование шейки происходило посередине рабочей длины, в этом месте допускается незначительная доработка плоской частью напильника, см. рис. б.



Рис. Фото образца.

а - захватная часть; б - рабочая длина.

Таблица. Геометрические размеры образцов вырезаемых из баллонов в продольном направлении.

№	Модель	V, л	D, мм	t, мм	w, мм	A ₀ , мм ²	B, мм	l ₀ , мм	l ₁ [*] , мм	l ₂ [*] , мм
1	GCM 2-15	2	108	4	12	48	24	39,1	56	88
2	GCM 3,2-15	3,2	120	4	14	56	28	42,3	60	94
3	GCM 5-15	5	140	4	14	56	28	42,3	60	94
4	GCM 10-15	10	140	4	14	56	28	42,3	60	94
5	GCM 10-15	10	159	4	14	56	28	42,3	60	94
6	GCM 20-15	20	180	5,3	20	106	38	58,2	82	120
7	GCM 40-15	40	219	5,7	20	114	38	60,3	86	124

Примечание: t - минимальная гарантированная толщина стенки баллона (T_{min}); A₀ = t × w;

* - размеры для справок.

Испытания на загиб и испытание на сплющивание кольца. (ISO 9809-3:2010, п. 10.3).

Таблица 4 - Параметры испытаний на загиб и на сплющивание кольца. (Для баллонов, подвергаемых нормализации или нормализации и отпуску).

Фактическое значение временного сопротивления $\sigma_{B \text{ факт}}$ (R _m), МПа	Испытания на загиб	Испытания на сплющивание кольца
	n	u
$\sigma_{B \text{ факт}} \leq 500$	2	4
$500 < \sigma_{B \text{ факт}} \leq 670$	3	5
$670 < \sigma_{B \text{ факт}} \leq 800$	4	6
$800 < \sigma_{B \text{ факт}} \leq 950$	6	8

Расстояние между плитами равно произведению $u \times t$, где t - средняя толщина кольца.

Испытание на загиб. (ISO 9809-3:2010, п. 10.3.1).

Испытание на загиб проводят по ISO 7438 на двух образцах, полученных разрезая одно или два кольца, на равные части. Ширина кольца 25 мм или $4 \times t$, в зависимости от того что больше, где t - толщина кольца. (Для баллонов GCM - 25 мм).

Диаметр оправки D_f , должен быть установлен из таблицы 4. $D_f \leq n \times t$, где t - средняя толщина образца.

Образец загибается вокруг оправки до тех пор, пока расстояние между внутренними сторонами станет меньше диаметра оправки D_f . Образование трещин в зоне А, как на стороне образца, представляющую внешнюю поверхность баллона, так и на двух боковых поверхностях не допускается.

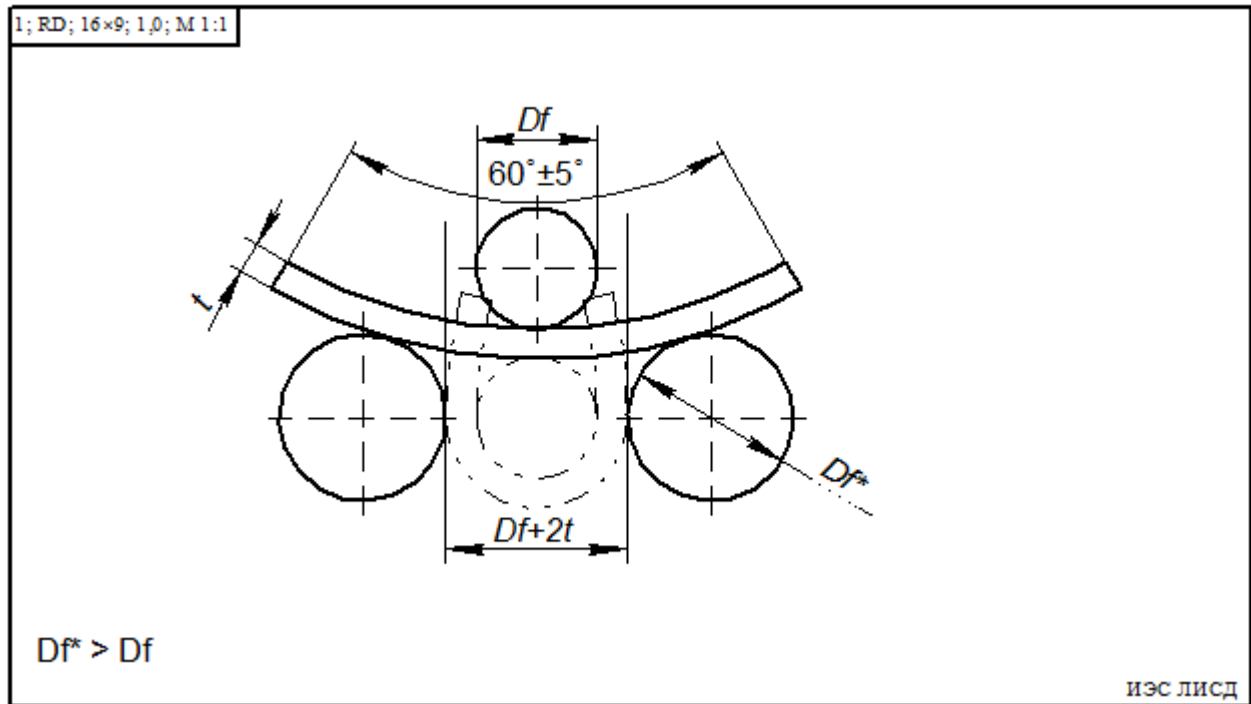


Рис. Испытание на загиб. (D 140, t4).

Примечание:

- Две стороны образца, представляющие внутреннюю и внешнюю поверхности баллона механической обработке не подвергаются.
- Плоскости образца параллельные плоскости чертежа, подвергается механической обработке с параметром шероховатости Rz50.
- Острые кромки граней притупить вдоль образцов $R \pm 1$ мм.
- При испытании, для увеличения диаметров контактных поверхностей оснастки, допускается использование стальных пластин, см. рис.

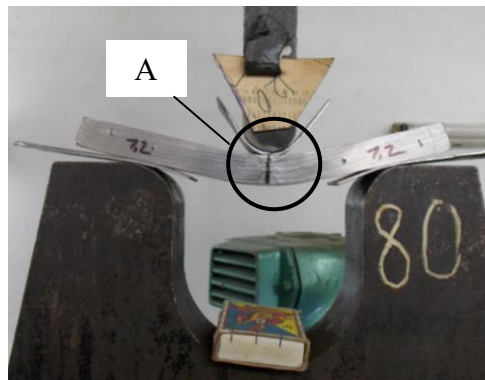


Рис. Фото испытания на загиб, (пример).

Испытания на сплющивание кольца. (П. 10.3.3 ISO 9809-3:2010).

Выполняется на одном кольце, вырезанном из цилиндрической стенки баллона.

Ширина кольца 25 мм или $4 \times t$, в зависимости от того что больше, где t - толщина кольца. (Для баллонов GCM - 25 мм).

Механической обработке могут быть подвергнуты только боковые плоскости кольца.

Кольцо сплющивают до расстояния между плитами, по таблице 4. На сплюсненном кольце видимые трещины на наружной поверхности в зоне А, см. рис. не допускаются.

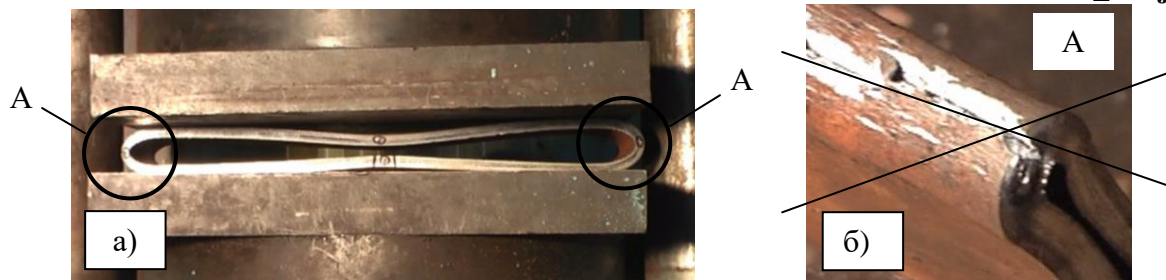


Рис. Сплюснутое кольцо, (пример).

Испытания на ударный изгиб. (ISO 9809-3:2010, п. 10.4).

За исключением требований, изложенных в этом подпункте, испытание должно проводиться в соответствии с ISO 148-1. Образцы на удар должны быть вырезаны из цилиндрической части баллона в направлении, указанном в таблице 5. Надрез должен быть перпендикулярен к наружной/внутренней поверхности баллона (см. рис. 9). Образцы, вырезанные в продольном направлении, обрабатываются с шести сторон. Если толщина стенки не позволяет получить окончательную толщину образца 10 мм, то толщина образца должна быть как можно ближе к толщине стенки баллона. Образцы, вырезанные в поперечном направлении, обрабатываются только с четырех сторон, причем внешняя поверхность стенки баллона является необработанной, а внутренняя поверхность, частично обработанная, как показано на рис. ____.

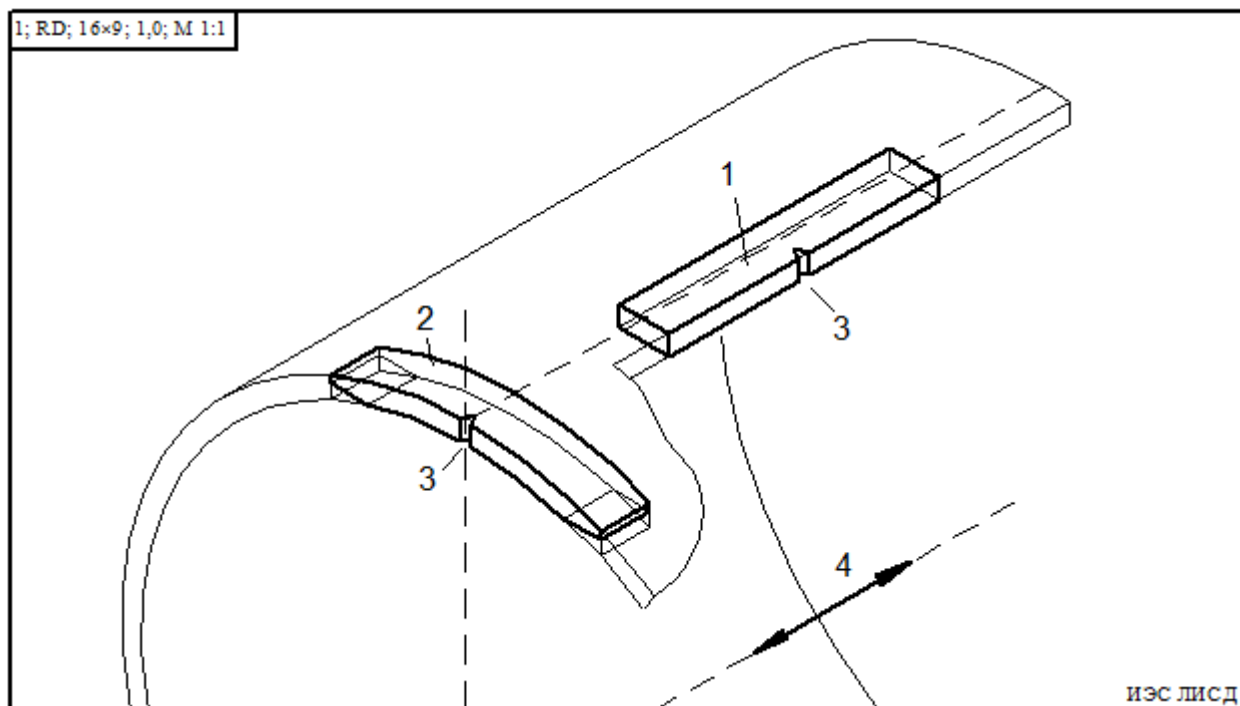


Рис. Расположение продольных и поперечных образцов на ударный изгиб. (D 140, t4). M0,75

Пояснение к рисунку.

1 - продольный образец; 2 - поперечный образец; 3 - V-образный надрез, (Шарпи), перпендикулярный к поверхности стенки; 4 - ось баллона.

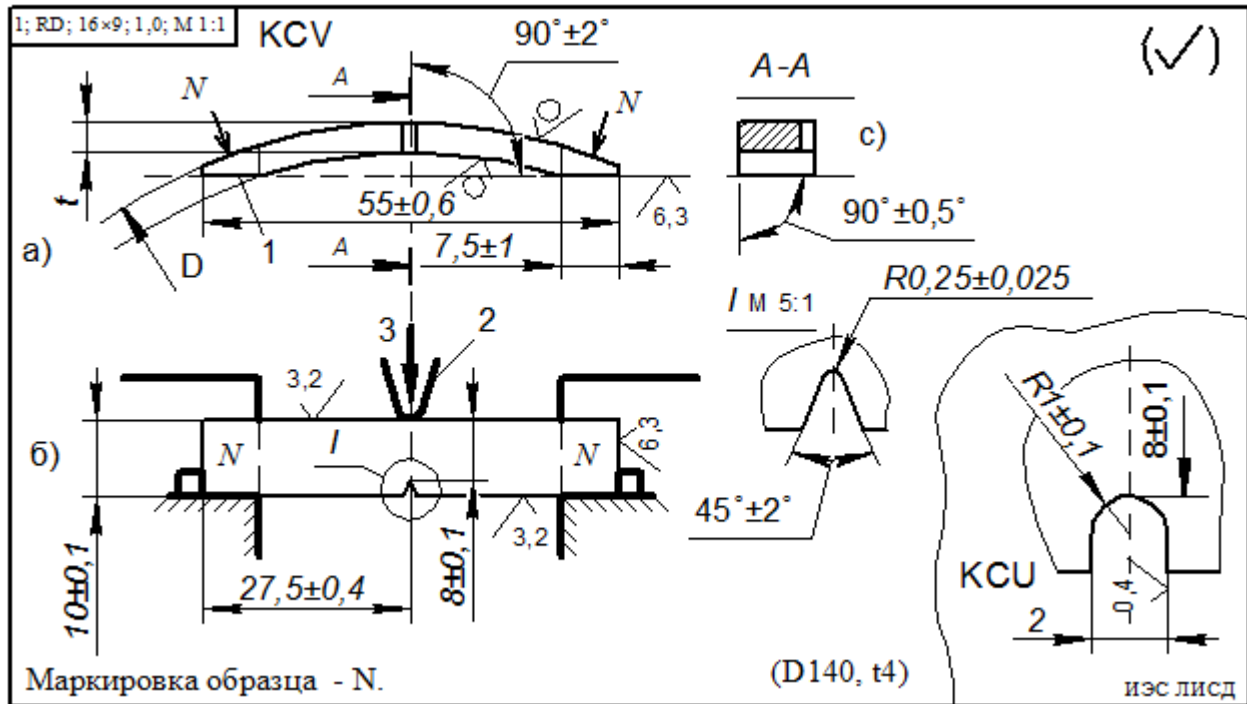


Рис. - Образец на ударный изгиб, вырезанный в поперечном направлении баллона.
 а - вид спереди; б - вид сверху образца в испытательном стенде; в - рабочее сечение образца.

Пояснение к рис.

1 - дополнительная механическая обработка; 2 - боек (маятник); 3 - направление удара.

Примечание:

- Вырезка образцов производится на металлорежущих станках.
- формирование надреза осуществляется специальной фрезой на последней операции. Одновременно с надрезом происходит образование торцов, см. рис.
- Маркировка образца производится ударным методом.
- Риски на поверхности концентраторов, видимые без применения увеличительных средств, не допускаются.
- На ребрах не допускаются заусенцы и закалочные трещины.

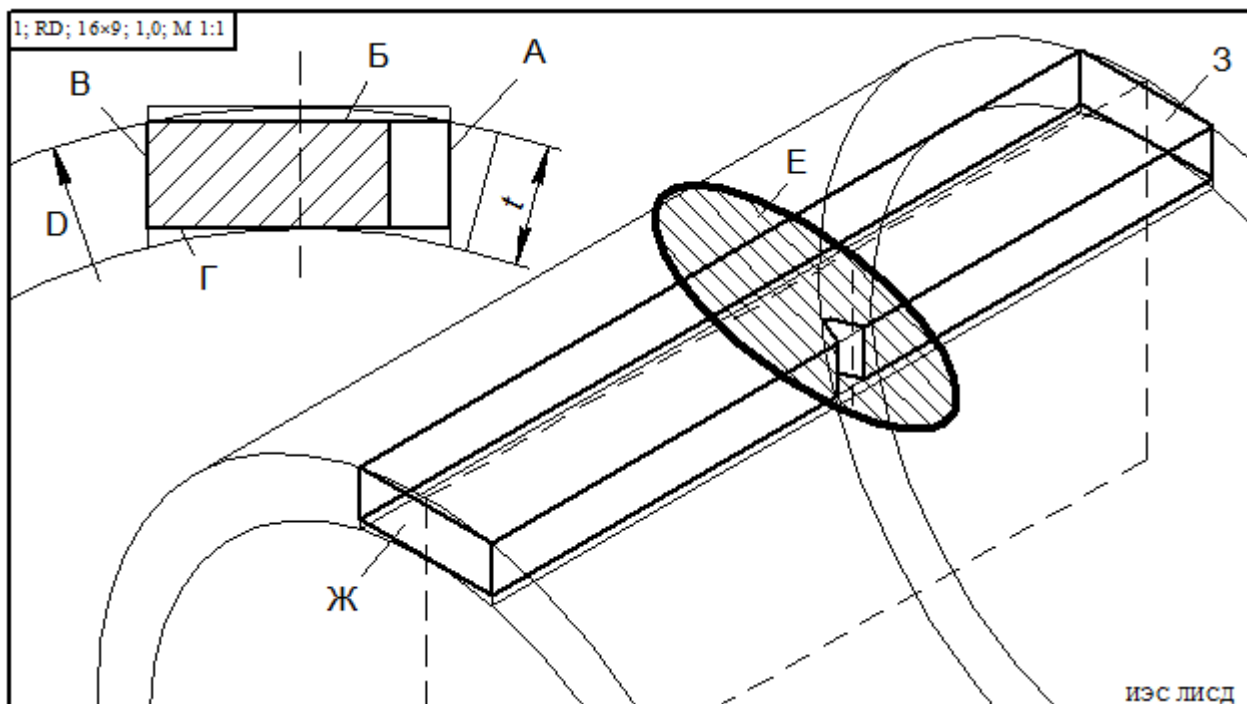


Рисунок - Образец на ударный изгиб, вырезанный в продольном направлении баллона.

Примечание:

В зоне Е не допускается чернота.

Шероховатость боковых поверхностей А, Б, В, Г - Ra 3,2, торцов Ж, З - Ra 6,3.



Рисунок - фрезерование надреза образцов на ударный изгиб.

Таблица 5 - Минимально допустимые значения ударной вязкости для баллонов с временным сопротивлением ≤ 800 МПа.

Наружный диаметр баллона D, мм		> 140	≤ 140
Ориентация образца		Поперечный	Продольный
Температура испытания, °С		- 20 или - 50	- 20 или - 50
KCV, Дж/см ²	Среднее значение из 3-х образцов	20	40
	Индивидуальный выпад	16	32

Температура испытания указывается изготовителем и считается минимально допустимой температурой эксплуатации баллона.

KCV - удельная работа разрушения (ударная вязкость), на образцах Шарпи. Рассчитывается путем деления энергии удара (Дж) на фактическую (живую) площадь поперечного сечения (см²).

Значения ударной вязкости для баллонов с максимальной прочностью на растяжение выше 800 МПа должны соответствовать требованиям ISO 9809-1 (см. 6.1.1 ISO 9809-3:2010).

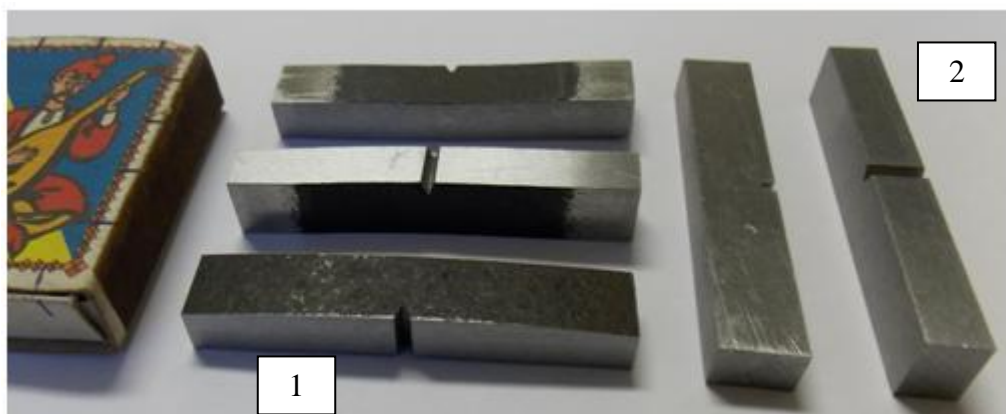


Рис. Фото образцов на ударный изгиб.

Пояснение к рисунку.

Образцы, вырезанные в направлении: 1 - поперечном; 2 - продольном.

Днище. Нагружение пробным давлением (25 МПа) 3D модели.
Чисто упругое нагружение.

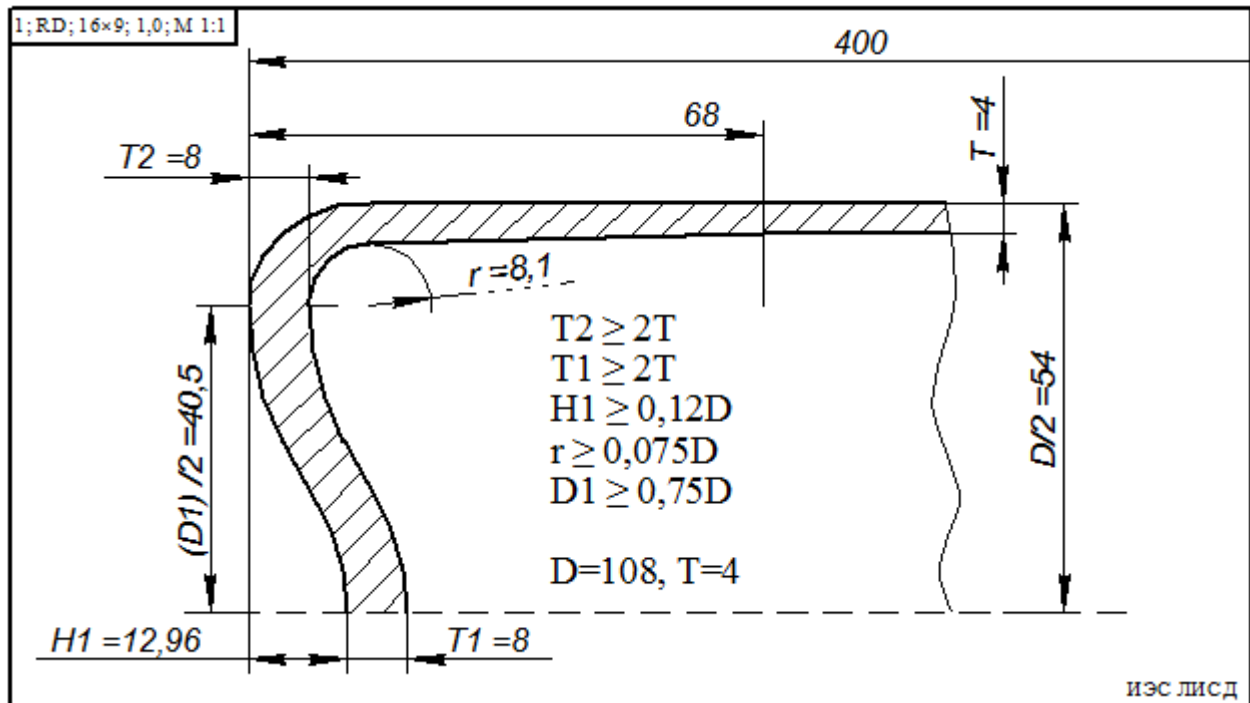


Рис. Размеры 3D модели днища.

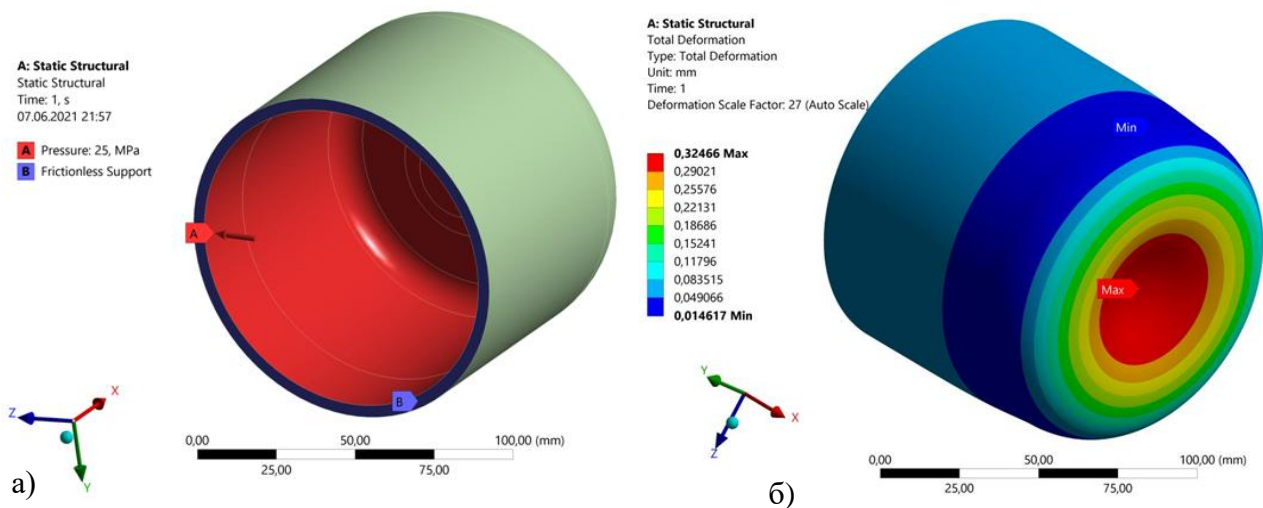
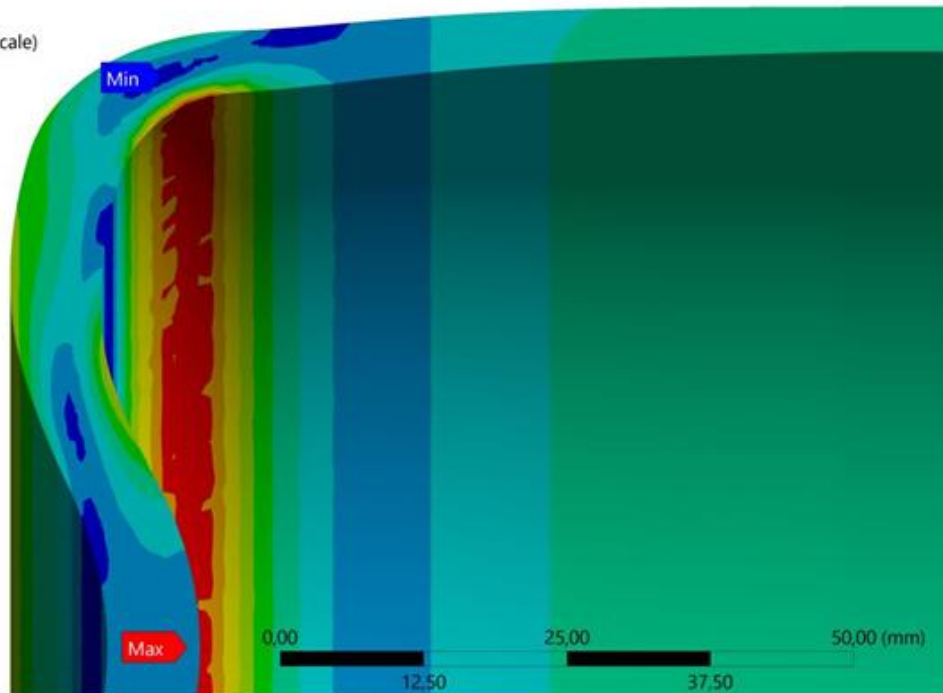
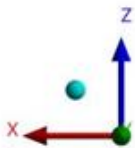
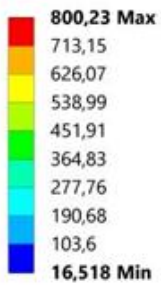


Рис. Схема нагружения а) и полные деформации б).

A: Static Structural

Stress Intensity
 Type: Stress Intensity
 Unit: MPa
 Time: 1
 Deformation Scale Factor: 27 (Auto Scale)
 07.06.2021 22:00



A: Static Structural

Stress Intensity
 Type: Stress Intensity
 Unit: MPa
 Time: 1
 Deformation Scale Factor: 27 (Auto Scale)

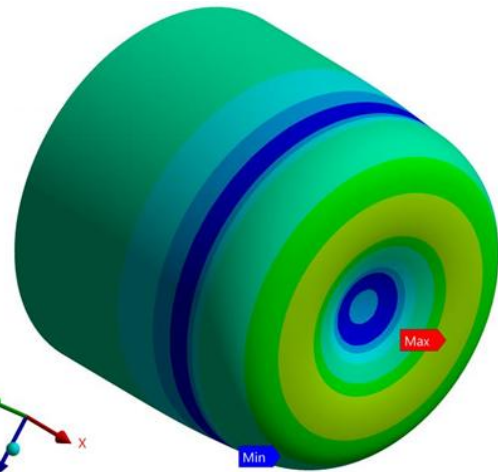
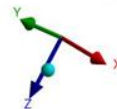
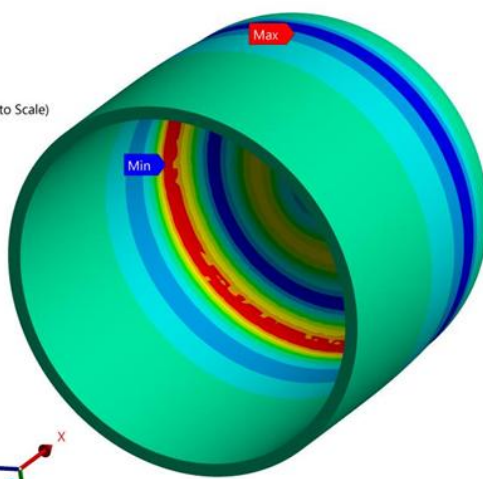
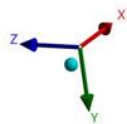
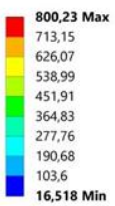


Рис. Интенсивность деформаций от пробного давления.

Таблица. Перечень номеров баллонов для испытаний.

	№	2 л, D108	3,2 л, D120	5 л, D140	10 л, D140	10 л, D159	20 л, D180	40 л, D219
	G	1	2	3	4	5	6	7
Ц	1	СТ 1719	TS 1222	XB 1633	XX 4309	XC 3725	XF 413	BC 3519
Ц	2	СТ 1733	TS 1224	XB 1638	XX 4318	XC 3738	XF 428	BC 3523
Ц	3	СТ 1749	TS 1244	XB 1663	XX 4386	XC 3779	XF 430	BC 3540
Г	4	СТ 1722	TS 1211	XB 1620	XX 4311	XC 3757	XF 420	BC 3533
Г	5	СТ 1737	TS 1237	XB 1652	XX 4341	XC 3771	XF 456	BC 3561
М	6	СТ 1714	TS 1200	XB 1614	XX 4272	XC 3750	XF 405	BC 3503
М	7	СТ 1740	TS 1286	XB 1632	XX 4379	XC 3794	XF 445	BC 3573