ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ EN 13445-4-2009

СОСУДЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Часть 4

Изготовление

ПАСУДЗІНЫ, ЯКІЯ ПРАЦУЮЦЬ ПАД ЦІСКАМ

Частка 4

Выраб

(EN 13445-4:2009, IDT)

Издание официальное

БЗ 11-2009



Госстандарт

Минск

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.642-98(083.74)(476) МКС 23.020.30 КП 03 IDT

Ключевые слова: сосуды, работающие под давлением, изготовление

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН ПО УСКОРЕННОЙ ПРОЦЕДУРЕ научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)

ВНЕСЕН Госстандартом Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 27 ноября 2009 г. № 61

3 Настоящий стандарт идентичен европейскому стандарту EN 13445-4:2009 Unfired pressure vessels – Part 4: Fabrication (Сосуды, работающие под давлением. Часть 4. Изготовление).

Европейский стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 54 «Сосуды, работающие под давлением» Европейского комитета по стандартизации (CEN).

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры европейского стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и европейских стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Госстандарт, 2010

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Введение

Настоящий стандарт содержит текст европейского стандарта EN 13445-4:2009 на языке оригинала и его перевод на русский язык (справочное приложение Д.А).

Введен в действие как стандарт, на который есть ссылка в Еврокоде EN 1993-1-8:2005.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СОСУДЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
Часть 4
Изготовление

ПАСУДЗІНЫ, ЯКІЯ ПРАЦУЮЦЬ ПАД ЦІСКАМ
Частка 4
Выраб

Unfired pressure vessels
Part 4
Fabrication

Дата введения 2010-01-01

1 Scope

This document specifies requirements for the manufacture of unfired pressure vessels and their parts, made of steels, including their connections to non-pressure parts. It specifies requirements for material traceability, manufacturing tolerances, welding requirements, production tests, forming requirements, heat treatment, repairs and finishing operations.

2 Normative references

This Europe Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this Europe Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 287-1:2004, EN 287-1:2004/A2:2006, *Approval testing of welders — Fusion welding — Part 1: Steels.*

EN 875:1995, *Destructive tests on welds in metallic materials — Impact tests — Test specimen location, notch orientation and examination.*

EN 876:1995, *Destructive tests on welds in metallic materials — Longitudinal tensile test on weld metal in fusion welded joints.*

EN 895:1995, *Destructive tests on welds in metallic materials — Transverse tensile test.*

EN 910:1996, *Destructive tests on welds in metallic materials — Bend tests.*

EN 1043-1:1995, *Destructive tests on welds in metallic materials — Hardness testing — Part 1: Hardness test on arc welded joints.*

EN 1321:1996, *Destructive tests on welds in metallic materials — Macroscopic and microscopic examination of welds.*

EN 1418:1997, *Welding personnel — Approval testing of welding operators for fusion welding and resistance weld setters for fully mechanized and automatic welding of metallic materials.*

EN 10028-2:2003, *Flat products made of steels for pressure purposes — Part 2: Non-alloy and alloy steels with specified elevated temperature properties.*

EN 10028-3:2003, *Flat products made of steels for pressure purposes — Part 3: Weldable fine grain steels, normalized.*

EN 10028-4:2003, *Flat products made of steels for pressure purposes — Part 4: Nickel alloy steels with specified low temperature properties.*

EN 10216-1:2002, EN 10216-1:2002/A1:2004, *Seamless steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 1: Non-alloy steel tubes with specified room temperature properties.*

EN 10216-2:2002+A2:2007, *Seamless steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties.*

EN 10216-3:2002, EN 10216-3:2002/A1:2004, *Seamless steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 3: Alloy fine grain steel tubes.*

EN 10216-4:2002, EN 10216-4:2002/A1:2004, *Seamless steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 4: Non-alloy and alloy steel tubes with specified low temperature properties.*

EN 10217-1:2002, EN 10217-1:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 1: Non-alloy steel tubes with specified room temperature properties.*

EN 10217-2:2002, EN 10217-2:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 2: Electric welded non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties.*

EN 10217-3:2002, EN 10217-3:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 3: Alloy fine grain steel tubes.*

EN 10217-4:2002, EN 10217-4:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 4: Electric welded non-alloy and alloy steel tubes with specified low temperature properties.*

EN 10217-5:2002, EN 10217-5:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 5: Submerged arc welded non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties.*

EN 10217-6:2002, EN 10217-6:2002/A1:2005, *Welded steel tubes for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 6: Submerged arc welded non-alloy and alloy steel tubes with specified low temperature properties.*

EN 10222-2:1999 *Steel forgings for pressure purposes — Part 2: Ferritic and martensitic steels with specified elevated temperature properties.*

EN 10222-3:1998 *Steel forgings for pressure purposes — Part 3: Nickel steels with specified low temperatures properties.*

EN 10222-4:1998, EN 10222-4:1998/A1:2002, *Steel forgings for pressure purposes — Part 4: Weldable fine grain steels with high proof strength.*

EN 13445-1:2009, *Unfired pressure vessels — Part 1: General.*

EN 13445-2:2009, *Unfired pressure vessels — Part 2: Materials.*

EN 13445-3: 2009 *Unfired pressure vessels — Part 3: Design.*

EN 13445-5:2009, *Unfired pressure vessels — Part 5: Inspection and testing.*

EN ISO 3834-2:2005, *Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements.*

EN ISO 3834-3:2005, *Quality requirements for fusion welding of metallic materials - Part 3: Standard quality requirements.*

EN ISO 15609-1:2004, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding (ISO 15609-1:2004).*

EN ISO 15611:2003, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Qualification based on previous welding experience (ISO 15611:2003).*

EN ISO 15612:2004, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Qualification by adoption of a standard welding procedure (ISO 15612:2004).*

EN ISO 15613:2004, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Qualification based on pre-production welding test (ISO 15613:2004).*

EN ISO 15614-1:2004, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys (ISO 15614-1:2004).*

3 Requirements for manufacturing and subcontracting

3.1 Manufacturing

The general responsibilities of the pressure vessel manufacturer are stated in EN 13445-1:2009. Additionally to those requirements, the manufacturer shall ensure that:

a) the organisation for the control of manufacturing operations which includes special processes such as welding, forming and heat treatment shall be clearly defined by the manufacturer;

b) the manufacturing procedures such as welding, forming and heat treatment are adequate for the purpose and the pressure vessel meets the requirements of this standard. Where specific requirements are associated with materials these shall be taken into account, e.g. EAMs;

c) the manufacturing equipment is adequate for fabrication;

d) the staff is adequate for the assigned tasks;

NOTE As far as welding co-ordination is concerned, the qualifications, tasks and responsibilities can be defined by the manufacturer in accordance with EN ISO 14731:2007 [1] in the job assignment.

e) the quality requirements for welding defined in EN ISO 3834-3:2005 are met as a minimum.

3.2 Subcontracting

The manufacturer may subcontract work, but shall ensure that the subcontractor carries out the work in accordance with the requirements of this European Standard. The manufacturer is responsible for the adequate definition of the subcontracted task and the need for any associated records.

On all occasions that the subcontractor work includes

a) welding;

b) forming including associated heat treatment;

c) post weld heat treatment;

d) non-destructive testing of welds (see EN 13445-5:2009),

the manufacturer shall obtain a subcontractor form (see Annex B).

Where welding operations are subcontracted, the manufacturer shall also either obtain copies of the welding procedure and welding operator qualification records or take other action to ensure that they comply with this standard.

In discharging his responsibility to ensure that the subcontractor carries out the work in accordance with this standard the manufacturer shall ensure that surveillance of the subcontracted work is performed.

Where a manufacturer is producing equipment that requires the intervention of a responsible authority, the manufacturer should inform the responsible authority of his intention to subcontract so that the responsible authority has the opportunity to take part in the subcontractor surveillance.

NOTE 1 See also EN 764-3:2002, 2.11 [2] and CR 13445-7.

NOTE 2 When the manufacturer is producing equipment based on quality assurance, the controls a manufacturer applies over subcontractors should be described in his approved quality system.

4 Materials

4.1 General

Materials for pressure vessels and the grouping of materials for pressure vessels shall be in accordance with EN 13445-2:2009.

The grouping applies regardless of product form, i.e. plate, forging, piping.

4.2 Material traceability

4.2.1 General

The vessel manufacturer shall have and maintain an identification system for materials used in fabrication, so that all material subject to stress due to pressure and those welded thereto in the completed work can be traced to its origin. This includes the use of welding consumables.

4.2.2 Identification system

4.2.2.1 The vessel manufacturer's identification system shall assure that all materials to be used in the vessel have been subjected to and satisfactorily passed the following:

a) examination of material before fabrication for the purpose of detecting, as far as possible, imperfections which would affect the safety of the work;

b) check of material to determine that it has the required thickness;

c) check of the material to assure that the materials are permitted by this European Standard, fully traceable to the correct material certification and as specified in the design documentation;

d) check of the welding consumables to assure the correct markings and that correct conditions are maintained to prevent deterioration.

4.2.2.2 Material traceability to the original identification markings shall be by one or more of the following methods:

a) accurate transfer of the original identification markings to a location where the markings will be visible on the completed vessel;

b) identification by a coded marking traceable to the original required marking;

c) recording the identification markings using material lists or as built sketches which assure identification of each piece of material during fabrication and subsequent identification in the completed vessel;

d) the batch numbers of welding consumables shall be recorded.

4.2.3 Visibility

Materials which cannot be stamped or which will not be visible after the vessel is completed or for small multiple parts or non pressure parts the manufacturer may operate a documented system which ensures material traceability for all materials in the completed vessel.

4.2.4 Review of material certification and material identification

All material certification shall be reviewed upon receipt. The review shall cover the completeness and adequacy of the reports against the following:

a) mechanical and chemical properties required to be reported by the material specification;

b) assuring that the reported results meet the requirements of the specification;

c) all markings required by the material specification are satisfied and that there is traceability between the actual markings and those recorded on the material certification.

All materials certification shall be made readily available throughout manufacture.

4.2.5 Transfer of markings

In case the original identification markings are unavoidably cut out or the material is divided into two or more pieces the markings shall be accurately transferred by the manufacturer's nominated personnel prior to cutting.

The actual material marking shall be by methods which are not harmful to the material in subsequent use/operation.

The transfer of markings shall take place before partitioning of the product and after verification of the marks present with the corresponding certification.

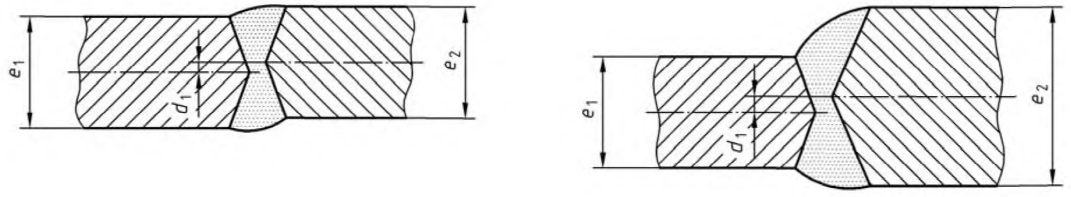
5 Manufacturing tolerances

5.1 Surface geometry of welds

The surface geometry of welded butt and fillet joints shall meet the requirements of EN 13445-5:2009 unless the drawing specifies more stringent requirements.

5.2 Middle line alignment

The misalignment tolerances of middle lines shall be as specified in Tables 5.2-1, 5.2-2, 5.2-3 and Figure 5.2-1.



a) Middle line alignment d_1 at equal thickness $e_1 = e_2$ b) Middle line alignment d_1 at different thickness $e_1 \leq e_2$

Figure 5.2-1 — Middle line alignment d_1

For longitudinal welds in cylinders, cones and rectangular/prismatic structures the middle lines of adjacent components (whether of equal or different thickness) shall be aligned within the tolerances specified in Table 5.2-1.

Table 5.2-1 — Offset of middle lines for longitudinal welds in cylinders, cones and rectangular/prismatic structures

Dimensions in millimetres

Thinner part thickness e_1	Maximum misalignment d_1
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 60$	$e_1/30 + 2$
$60 < e_1$	4

For longitudinal welds in dished ends and welds in spherical components the middle lines of adjacent parts (whether of equal or different thickness) shall be aligned within the tolerances specified in Table 5.2-2.

Table 5.2-2 — Offset of middle lines for longitudinal welds in dished ends and in spherical components of adjacent parts

Dimensions in millimetres

Thinner part thickness e_1	Maximum misalignment d_1
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 120$	$e_1/30 + 2$
$120 < e_1$	6

For circumferential welds the middle lines of adjacent parts (whether of equal or different thickness) shall be aligned within the tolerances specified in Table 5.2-3.

Table 5.2-3 — Offset of middle lines of circumferential welds of adjacent parts

Dimensions in millimetres

Thinner part thickness e_1	Maximum misalignment d_1
$e_1 \leq 30$	$e_1/10 + 1$
$30 < e_1 \leq 150$	$e_1/30 + 3$
$150 < e_1$	8

5.3 Surface alignment

5.3.1 Surface misalignment between parts

Where there is misalignment at the surface between parts of the same nominal thickness the transition across the weld shall be smooth and gradual with a slope of 1 in 4 over the width of the weld. If this taper cannot be accommodated within the weld width it is permissible to either:

a) grind the higher plate surface, where this will not reduce the joint thickness at any point below the nominal specified plate thickness minus the plate thickness tolerance;

b) build up the lower plate surface with added weld metal

5.3.2 Joining of parts of different thickness

Where different thickness are being joined a taper shall be produced in accordance with EN 13445-3:2009 by either:

a) taper the thicker plate in accordance with the design drawing and then applying the requirements above for the same nominal thickness parts; or

b) obtain the required slope across the width of the welds, or by a combination of weld build up on the lower surface with added weld metal and thereafter obtain the required slope across the weld width.

5.4 Tolerances for vessels subjected to internal pressure

5.4.1 External diameter

For cylindrical and spherical pressure vessels the mean external diameter derived from the circumference shall not deviate by more than 1,5 % from the specified external diameter.

For rectangular vessels and/or prismatic structures each external dimension shall not deviate by more than 1,5 % from the specified external dimension.

5.4.2 Out of roundness

Out of roundness (O) shall be calculated in accordance with the following equation (5.4-1):

$$O\,[\%] = \frac{2 \cdot (D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \cdot 100 \qquad (5.4\text{-}1)$$

It shall not exceed the following values:

a) 1,5 % for the ratio of $e/D < 0{,}01$;

b) 1,0 % for the ratio of $e/D \geq 0,01$.

NOTE The determination of the out of roundness need not consider the elastic deformation due to the deadweight of the pressure vessel.

Irregularities in vessel profile (e.g. dents, buckling, flats on nozzle positions) shall be also within the tolerances in a) and b). A greater out of roundness may be acceptable provided they have been proven admissible by calculation or strain gauge measurements.

5.4.3 Deviation from the longitudinal axis

The deviation from the longitudinal axis over the length of the cylindrical portion of the pressure vessel shall not exceed 0,5 % of the length of the shell.

5.4.4 Irregularities in profile

a) Local irregularities in vessel profile

Irregularities in profile (e.g. dents, buckling, flats on nozzle positions) shall be smooth and the depth shall be checked by a 20° gauge and shall not exceed the following values:

1) 2 % of the gauge length; or

2) 2,5 % of the gauge length provided that the length of the irregularities does not exceed one quarter of the length (with a maximum of 1 m) of the shell part between two circumferential joints.

Greater irregularities require proof by calculation or strain gauge measurement that the stresses are permissible.

b) Peaking on longitudinal butt welds

When irregularity in the profile occurs at the welded joint and is associated with "flats" adjacent to the weld, the irregularity in profile or (peaking) shall not exceed the values given in Tables 5.4-1 and 5.4-2.

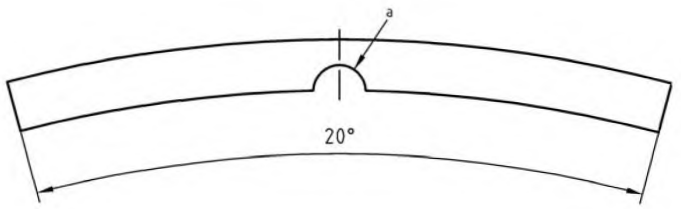
Measurement for peaking shall be made by means of a 20° profile gauge (or template), see Figure 5.4-1, or other types of gauge such as a bridge gauges or needle gauges.

For outwards peaking two readings shall be taken, P_1 and P_2 on each side of the joint, at any particular location, the maximum peaking is determent using equation (5.4-2)

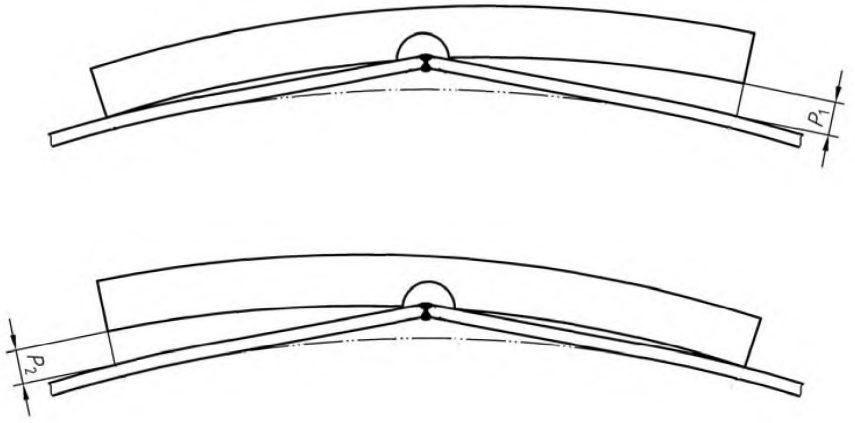
$$P = 0,25.(P_1 + P_2) \qquad (5.4\text{-}2)$$

The inwards peaking P shall be measured.

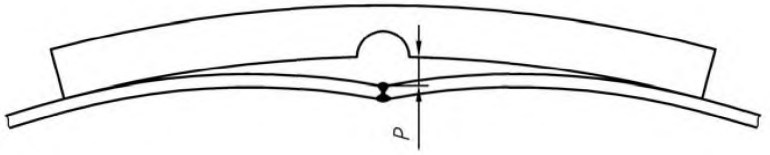
The inside radius of the gauge shall be equal to the nominal outside radius of the vessel.



a) sufficient cut-out to adequately keep clear off the weld reinforcement



b) For outwards peaking two readings P_1 and P_2 shall be taken



c) For inwards peaking P shall be measured

Figure 5.4-1 — Gauge details, measurement of peaking

Measurements shall be taken at approximately 250 mm intervals on longitudinal seams to determine the location with the maximum peaking value. The maximum peaking value for dynamic and cyclic loads shall be in accordance with Table 5.4-1 and for static loads in accordance with Table 5.4-2.

Table 5.4-1 — Maximum permitted peaking *P* in longitudinal welds for dynamic and cyclic loads

Dimensions in millimetres

Vessel wall thickness e	Maximum permitted peaking P
$e \leq 3$	1,5
$3 \leq e < 6$	2,5
$6 \leq e < 9$	3,0
$9 \leq e$	the lesser of $e/3$, or 10 mm

For cyclic loaded pressure vessels see also EN 13445-3:2009 and EN 13445-5:2009, Annex G in respect of peaking requirements. Peaking values in excess of the above are only permitted when supported by special analysis but in any case must not exceed the values in Table 5.4-2.

Table 5.4-2 — Maximum permitted peaking *P* at longitudinal welds for vessels subject to predominantly non cyclic loads

Dimensions in millimetres

Vessel ratio wall thickness e to diameter D	Maximum permitted peaking P
$e/D \leq 0{,}025$	5
$e/D > 0{,}025$	10

See also EN 13445-5:2009 for testing group 4 vessels for additional limits on peaking.

5.4.5 Local thinning

5.4.5.1 Local areas of thickness below the values (e+c) where e is the required thickness and c is the corrosion allowance shall be permissible without further calculation provided all of the following conditions are fulfilled:

a) the wall thickness difference does not exceed the smaller of the two values 0,05 e or 5 mm;

b) the area of the thickness below the minimum design thickness shall be inscribed by a circle the diameter of which shall not exceed the smaller of the two values e or 60 mm;

c) the distance between two areas from edge to edge of wall thickness below the minimum design thickness shall be at least the width

$$\sqrt{D \cdot e}$$

where

D is equal to the external diameter of the pressure part;

e is the required thickness of the plate;

d) the total area of thickness below the minimum design thickness shall not exceed 2 % of the total surface;

e) the area is not in the knuckle region of a dished end.

5.4.5.2 Furthermore, local areas of wall thickness smaller than the minimum design wall thickness shall be permissible provided:

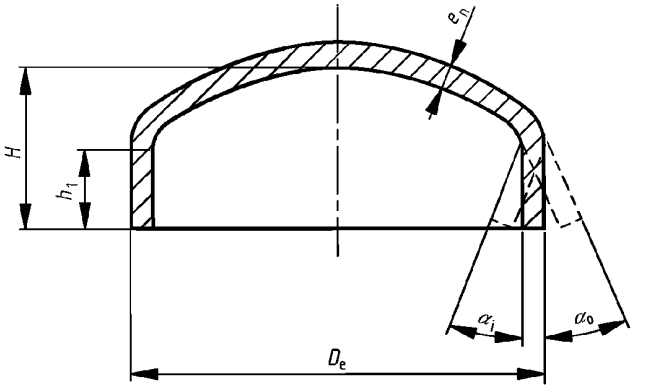
a) the diameter of a circumscribed circle of the area with a wall thickness below the minimum design wall thickness has no larger dimension than that of a calculated permissible unreinforced opening according to EN 13445-3:2009 with a maximum of 200 mm;

b) the residual wall thickness is greater than the thickness of a flat end of the same diameter and calculated with a C-factor of 0,35;

c) the areas of reduced wall thickness are recorded.

5.4.6 Dished ends

Dished ends (see Figure 5.4-2) shall be aligned with the tolerances specified in Table 5.4-3 except that the crown radius shall not be greater than that specified in the design and the knuckle radius shall not be less than the values specified in the design.



Symbol	Quantity	Unit
D_e	Outside diameter	mm
H	Inner high	mm
h_1	Straight flange	mm
e_n[a]	Nominal wall thickness	mm
α_i	Deviation of straight flange from cylindrical shape inner side angle	degree
α_o	Deviation of straight flange from cylindrical shape outer side angle	degree
C	Circumference	mm
O	Out of roundness $O = \frac{2 \cdot (D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100$	%

[a] In place of the nominal wall thickness e_n, dished ends can be ordered with minimum wall thickness: $e_{min} = e_n - \delta_e$. For e_n and δ_e refer to EN 13445-3:2009, 5.2.3

Figure 5.4-2 — Tolerances for dished ends

Table 5.4-3 — Dished end tolerances

<table>
<tr><th>Symbol</th><th>Range of application</th><th>Limit deviations</th><th colspan="2">Notes</th></tr>
<tr><td rowspan="8">C</td><td>$D_e \leq 300$ mm</td><td>± 4 mm</td><td colspan="2" rowspan="9"></td></tr>
<tr><td>Ferritic materials:</td><td></td></tr>
<tr><td>300 mm < $D_e \leq$ 1 000 mm</td><td>± 0,4 %</td></tr>
<tr><td>1 000 mm < D_e</td><td>± 0,3 %</td></tr>
<tr><td>Austenitic materials:</td><td></td></tr>
<tr><td>D_e > 300 mm</td><td>+ 0,5 % / - 0,7 %</td></tr>
<tr><td>Clad materials:</td><td></td></tr>
<tr><td>D_e > 300 mm</td><td>± 1 %</td></tr>
<tr><td>O</td><td>all</td><td>≤ 1 %</td></tr>
<tr><td>H</td><td>all</td><td>the greater of
+ 0,015 · D_e
or + 10 mm</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">e_n</td><td>$e_n \leq$ 10 mm</td><td>- 0,3 mm</td><td colspan="2" rowspan="4">If minimum wall thickness e_{min} for the dished end is specified no negative tolerance (δ_e) in thickness is permissible.</td></tr>
<tr><td>10 mm < $e_n \leq$ 30 mm</td><td>- 0,5 mm</td></tr>
<tr><td>30 mm < $e_n \leq$ 50 mm</td><td>- 0,8 mm</td></tr>
<tr><td>e_n > 50 mm</td><td>- 1,0 mm</td></tr>
<tr><td>α_i
α_o</td><td>all</td><td>≤ 2°
≤ 5°</td><td colspan="2">In case of dished ends where the outer side angle is influenced by an upsetting due to the forming process the deviation of the straight flange from the cylindrical shape shall be measured only on the inside of the dished end.</td></tr>
<tr><td colspan="5">If not otherwise specified in the drawing the length of the straight flange h_1 shall be as following:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">h_1</td><td rowspan="5">all</td><td rowspan="5">$h_1 = 3 \cdot e_n$
or
$h_1 = 3 \cdot e_{min}$</td><td colspan="2">The length of the straight flange need, however, not be more than:</td></tr>
<tr><td>Wall thickness e_n or e_{min}
mm</td><td>Length of the straight flange
mm</td></tr>
<tr><td>50 < $e_n \leq$ 80</td><td>120</td></tr>
<tr><td>80 < $e_n \leq$ 100</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100 < $e_n \leq$ 120</td><td>75</td></tr>
<tr><td>120 < e_n</td><td>50</td></tr>
</table>

5.5 Tolerances for vessels subjected to external pressure

Tolerances shall be in accordance with EN 13445-3:2009, but in no case shall they exceed the tolerances specified in 5.4.

5.6 Structural tolerances

Structural tolerances, other than those specified in 5.4 and 5.5 should not exceed the values recommended in Annex A.

6 Weld details

6.1 General

The manufacturer in selecting an appropriate weld detail should give consideration to:

a) the method of manufacture;

b) the service conditions (e.g. corrosion);

c) the ability to carry out the necessary non-destructive testing required in accordance with EN 13445-5:2009;

d) the design requirements given in 5.7 and in Annex A of EN 13445-3:2009 for welds.

Other weld details may be used.

NOTE 1 Annex A of EN 13345-3:2009 gives figures of the joints in finished condition, design requirements mainly on geometry, a list of applicable testing groups, recommendations for prevention of lamellar tearing and corrosion.

NOTE 2 Basic weld details are given in EN 1708-1 [5]. These details show sound and commonly accepted practice. It is not intended that these are considered mandatory or should restrict development of welding technology any way and as a result other suitable weld details may be used.

6.2 Vessels or parts made of more than one course

Where a vessel or vessel part is made of two or more courses the longitudinal weld joints of adjacent courses shall be staggered by $4 \cdot e$ with 10 mm minimum, or 30 mm minimum when the vessel or vessel part is either working in the creep range or designed by Design by Analysis – Direct Route (Annex B of EN 13445-3:2009) or designed using 6.3 of EN 13445-3:2009.

6.3 Lapped joints, joggle joints, permanent backing strips

Design and weld details shall be in accordance with EN 13445-3:2009.

7 Welding

7.1 General

Welding of the component parts of a pressure vessel shall only be undertaken if the following conditions are satisfied:

a) a welding procedure specification is held by the manufacturer;

b) the welding procedures selected by the manufacturer are qualified for the field of application;

c) the welders and welding operators are qualified for the work allocated to them and their approval is valid.

7.2 Welding procedure specification (WPS)

The manufacturer shall compile welding procedure specifications, in accordance with EN ISO 15609-1:2004 for all welds.

7.3 Qualification of welding procedure specifications (WPAR)

Welding procedure specifications to be used in production shall be qualified by reference to an appropriate WPAR.

For the pressure retaining welds of a pressure vessel this shall be achieved by performing welding procedure approval tests in accordance with EN ISO 15614-1:2004 or by preproduction tests in accordance with EN ISO 15613:2004.

In addition to the requirements of EN ISO 15614-1:2004 the following tests shall apply:

a) For test plates on butt joints equal to or over 20 mm thickness a longitudinal weld tensile test having a minimum diameter equal to or over 6 mm shall be performed in accordance with EN 876:1995 and $R_{e/T}$, R_m and A_5 shall satisfy the specified minimum requirements of the base material or for weld consumables requirements in EN 13445-2:2002, clause 4.3.5 or other relevant values specifically taken into account in the design (e.g. austenitic filler metal in combination with 9 % Nickel steel).

   Where the design temperature is higher than 300 °C then the test shall be done at the design temperature.

NOTE 1 It is important that special consideration is given where the mechanical properties of the weld are below the base materials by design, e.g. 9 % Ni steels welded with austenitic filler metal."

b) a micro examination shall be performed for material groups 8.2 and 10 in accordance with EN 13445-2:2009, Table A-1.

   — requirements on welds, material group 8.2: the micro examination shall show adequate microstructure

   NOTE 2 Occasional isolated micro fissures with a length of ≤ 1,5 mm may be acceptable, but should be reported.

   — requirements on welds, material group 10: the micro examination shall show adequate microstructure

   — the ferrite content in the heat affected zone (HAZ) shall be between min. 30 % and max. 70 %. In the high temperature HAZ, a distance of about two times the grain size from the fusion line, the ferrite content shall be equal to or less than 85 %. Where the welding consumable used are of an austenitic-ferritic matching type the ferrite content in the weld metal shall also be between 30 % and 70 %. The ferrite content shall be measured by metallographic methods. If the welding consumables are of non-matching type (i.e. austenitic) the requirement for ferrite content in the weld metal does not apply.

NOTE 3 The limit deviation on metallographic measurements frequently are of the order of ± 5 %.

c) Impact test: The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004; in addition, tl impact test requirements in accordance with EN 13445-2:2009, Annex B shall apply.

For austenitic steels see also Clause 8.2 a) 2) of this part of the standard.

For welds other than pressure retaining welds directly attached to the pressure vessels e.g. tray rings, support fe etc. welding procedure specifications may be acceptable by holding welding procedure approval records carried c in accordance with EN ISO 15611:2003 and EN ISO 15612:2004.

If required, the welding procedure approval records shall be approved by a competent third party, who sh perform examination and tests (or have them carried out) as specified in EN ISO 15614-1:2004 and this clause.

NOTE 4 For all test coupons it is permissible for a manufacturer to subcontract preparation of test pieces and their testi but not the welding of the test pieces.

7.4 Qualification of welders and welding operators

Welders and welding operators shall be approved to EN 287-1:2004 or EN 1418:1997 respectively.

NOTE 1 The training, supervision and control of welders and welding operators is the responsibility of the manufacturer.

An up-to-date list of welders and welding operators together with records of their approval test shall be maintain by the manufacturer.

The prolongation (every 6 months) and re-approval (every 2 years) shall be carried out in accordance with EN 28 1:2004.

The evidence in support of the prolongation and re-approval shall be maintained for at least 2 years.

NOTE 2 Any welders not in the employ of the manufacturer may be used provided they are under the full technical control the manufacturer and work to the manufacturer's requirements.

7.5 Filler metals and auxiliary materials

The technical delivery conditions for welding consumables shall be in accordance with EN 13445-2:2009. The fill metals and auxiliary materials shall be documented, and shall be suitable for use with the parent metals, tl welding processes and the fabricating conditions.

All welding consumables shall be stored and handled with care and used in accordance with the conditio specified by the welding consumable manufacturer.

NOTE This is particularly important where baking and drying are specified.

Electrodes, filler wires and rods and fluxes that show signs of damage or deterioration, such as cracked or flak coating, rusting or dirty electrode wire, shall not be used.

7.6 Joint preparation

Material shall be cut to size and shape by any mechanical or thermal cutting process or by combination of both.

NOTE 1 This may be carried out before or after forming operations.

Where thermal cutting is employed precautions shall be taken to ensure that the edges are not adversely influenced by hardening.

NOTE 2 For some materials this will involve preheating prior to cutting.

The cut edges of ferritic steel which are cut by the thermal process, shall be dressed back by grinding or machining if required by the WPS.

The surface to be welded shall be thoroughly cleaned of oxide, scale, oil grease or other foreign substance and shall be free of defects such as inclusions, cracks and laminations to avoid any detrimental effect on weld quality.

The edges to be welded shall be kept in position, either by mechanical means, temporary attachments or by tack welds or by a combination. The tack welds shall be removed or fused again in the weld bead (see Note 3). In both cases, the manufacturer shall take all precautions so that the tack welding or temporary attachment or a combination of these does not generate metallurgical or homogeneity defects.

NOTE 3 It is permissible to use tack welds and incorporate them into the final weld provided they have been made to an approved welding procedure by approved welders.

Where single sided welds are being used, the manufacturer shall ensure that the alignment and the gap of the edges to be welded will be adequate to assure the required penetration at the weld root.

During the whole welding operation, the edges to be welded shall be held so that the alignment tolerances defined in 5.2 are satisfied.

7.7 Execution of welded joints

The welder shall have available the applicable WPS or detailed work instructions based on the approved WPS and defining all essential variables under direct control by the welder.

Depending on the weld process, after each weld run, the slag shall be removed and the weld cleaned and the surface defects removed to obtain the proper quality of weld metal.

Unless the welding process used provides effective and sound penetration, the second side of a welded joint shall be removed back to sound metal using a mechanical or thermal process or by grinding.

Arc strikes on pressure vessel parts outside the weld preparation shall be avoided. Where arc strikes occurs accidentally the affected area (including the heat affected area) shall be repaired in accordance with 11.1.

A record shall be maintained of which welder or welding operator has carried out each weld.

NOTE This may be by marking each weld with a welder identification mark or alternatively by means of records which assure traceability of the welder to his work throughout the construction of the pressure vessel.

7.8 Attachments, supports and stiffeners

Attachments, whether temporary or not, supports and stiffeners shall be welded to a part subject to pressure by qualified welders using a qualified procedure.

Temporary attachments shall be removed using a technique which does not affect the properties of the metal of the pressure part to which they are welded. Care shall to be taken that the area of the removed attachment is free of surface cracks. Repair shall be carried out in a accordance with 11.2.

Cold formed dished ends of ferritic steels without subsequent heat treatment shall not be welded or heated up locally to temperatures between 550 °C and 750 °C in the knuckle area.

7.9 Preheat

The manufacturer shall include in the WPS the preheating temperatures and, where relevant, the inter-pass temperatures required for the welding. The preheating temperature shall be determined by taking into consideration the composition, and thickness of the metal being welded, the welding process being used and the arc parameters.

NOTE Recommendations for preheating for ferritic steels are given in EN 1011-2 [4], recommendations for preheat control are given in EN ISO 13916 [6].

The preheating temperature specified in the WPS shall be adhered to when tack welding and during the entire welding operation. Adherence to the preheating temperature shall be continuously monitored with suitable measuring instruments or temperature indicating crayons.

No welding shall be carried out when the temperature of the parent metal near the joint is less than +5 °C.

8 Manufacture and testing of welds — Production test

8.1 General

In order to control the continuing quality of the manufacture and the compliance of the mechanical properties of the welds with the specification, production test plates shall be welded and tested in accordance with 8.2 and 8.3.

Production test plates apply only to governing shell-longitudinal and –circumferential welds (see EN 13445-3:2009).

Specific requirements apply to vessels and vessel parts made of thermo-mechanically rolled steels (group 2.1) and quenched and tempered steels (group 3.1). See 8.2 f).

NOTE When a vessel includes one or more longitudinal welds the test plates should wherever practicable be attached to the shell plate on one end of the weld so that the edges to be welded in the test plate are a continuation and duplication of the corresponding edges of the longitudinal welds. The weld metal should be deposited in the test plates continuously with the welding of the corresponding longitudinal weld so that the welding process, procedure and technique are the same. When it is necessary to weld the test plates separately, the procedure used should duplicate that used in the construction of the vessel.

Where difficulties are encountered with electro slag welds in transferring from welds with different curvatures (e.g. from a cylinder to a flat coupon plate) the test plate may be welded separately either immediately before or immediately after the welds of the vessel, using the same welding parameters.

When the test plates are required for circumferential welds they shall be welded separately from the vessel providing the technique used in their preparation duplicates as far as possible the procedure used in the welding of the appropriate welds of the vessel.

8.2 Reference criteria

The criteria for the determination the number of production test plates is given below. This is dependent upon the material, the length of welded joints, the thickness, post weld heat treatment (PWHT) and the joint coefficient for each qualified weld procedure. Special provisions are given for testing group 4. The actual testing of production test plates is dependent on the material and the thickness. Additional specific impact testing requirements are also addressed below.

a) In addition to the requirements in c) to f) below impact tests (in accordance with EN 13445-2:2009, B 3.) shall be carried out on a production test plate in the following situations.

1) For ferritic and austenitic-ferritic steels:

— When the material thickness is greater than 12 mm and the required impact temperature T_{KV} is below - 10 °C and the impact test temperature of the welding procedure qualification test qualifying the weld to achieve the required impact energy is not more than 15 °C below the T_{KV}.

— When the material thickness is greater than 6 mm, but less than or equal to 12 mm, and the required impact temperature T_{KV} is below –30 °C and the impact test temperature of the welding procedure qualification test qualifying the weld to achieve the required impact energy is not more than 15 °C below T_{KV}. These requirements are summarised in table 8.2.

Where a test plate is required by c) to f) below then the impact specimens may be cut from the test plate along with the other required test specimens. Where a test plate is not required by c) to e) then a short test plate sufficient in length only to obtain the required impact tests plus any allowance for retests shall be produced at a frequency of one test plate per vessel welded to the same procedure as the longitudinal welds. Where a number of similar vessels are welded at the same time, to the same welding procedure using the same batch of welding consumables, they may be represented by one production test for impact tests up to a maximum of 25 m of longitudinal weld by agreement of the responsible parties, as appropriate.

Table 8.2 Required production control test plate for impact tests

Thickness of weld seam	$T_{KV} \geq -10$ °C	$T_{KV} < -10$ °C ≥ -30 °C		$T_{KV} < -30$ °C	
		$T_{PQR} \leq T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} > T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} \leq T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} > T_{KV} - 15$ °C
≤ 6 mm	no	no	no	no	no
> 6 ≤ 12 mm	no	no	no	no	yes
> 12 mm	no	no	yes	no	yes
T_{PQR} = the impact test temperature used on the relevant Welding Procedure Qualification test to achieve the required impact energy. T_{KV} = the required impact test temperature taken from EN 13445-2:2009, Annex B.					

NOTE 1 For carbon steels in groups 1.1 and 1.2: When PQR data is at a different test temperature from the required impact test temperature, it may be converted to a common temperature base on the basis of 1,5 J per °C. Such conversion shall be permitted only in the range of 18 J to 55 J of Charpy V impact energy. Values in excess of 55 J shall be taken as 55 J. The 1,5 J per °C relationship may also be utilised to determine the temperature adjustment when seeking to compare data at common impact energy levels, however, this may not exceed 15 °C reduction.

EXAMPLE 1 Conversion of 33 J at a T_{PQR} of – 20 °C towards 40 J:

33 J at –20 °C may be regarded as equivalent to 40 J at –15 °C.

EXAMPLE 2 Conversion of 100 J at a T_{PQR} of – 20 °C towards 40 J (restriction to max. 55 J):

100 J at –20 °C may be regarded as equivalent to 40 J at –30 °C.

EXAMPLE 3 Conversion of 100 J at a T_{PQR} of – 20 °C towards 27 J (restriction to max. 55 J and reduction of max. 15 °C)

With 100 J at –20 °C one can use an equivalent of 27 J at a temperature not lower than –35 °C.

2) For austenitic steels:

When the minimum design temperature T_M of the vessel is less than -105 °C the weld and heat-affected zones shall meet a minimum of 40 J when tested at -196 °C.

NOTE 2 For practical reasons, the test temperature of -196 °C is standardised for all austenitic steel testing of any design temperature below -105 °C.

For filler metals of type 19 9 L, 19 9 Nb, 19 12 3 L, 19 12 3 L Si, 19 13 4 N L, 25 20 L, 25 22 2 N L, 27 31 4 Cu L and nickel based filler metals this may be demonstrated on procedure qualification tests, and further production test plates are not required.

For other weld metal composition and where the weld metal ferrite content exceeds 12 FN, each batch of weld metal shall demonstrate the required impact properties, or a production test plate for impact properties shall be carried out per vessel at -196 °C.

NOTE 3 For filler metal designation see EN ISO 14343.

b) For the welds in vessels in testing group 4 (see EN 13445-5:2009) no production test plates shall be required.

c) There is a strict relationship between the WPS and the mechanical properties obtained in the procedure approval test for material group 1.1. Because of the tolerance of material group 1.1 to weld procedural variables, production tests are not required if all the following conditions are met:

1) the quality requirements for welding according to EN ISO 3834-2:2005 or EN ISO 3834-3:2005 are fulfilled;

2) the welding process is fully mechanised (see ISO 857-1 [3]) ensuring that the welding procedure is applied consistently

3) there is no requirement in the WPS for preheating or post weld heat treatment (PWHT);

4) the wall thickness $e_n \leq 30$ mm.

d) For vessels made of materials in material groups 1.1, 1.2 and 8.1, the following shall apply:

1) for longitudinal welds, one test plate per vessel in the case of joint coefficient 1,0;

2) one test plate per 200 m of longitudinal welds in the case of joint coefficient 0,85 or of welds in heads except of hemispherical heads in the case of joint coefficient 1,0;

3) one test plate per year, where the circumferential welds are welded to a procedure involving joggle joints or permanent backing strips (see 6.3).

After 10 consecutive test plates have successfully passed the tests, testing may be reduced to the following:

4) one test plate per 200 m of longitudinal welds in the case joint coefficient of 1,0;

5) one test plate per 1 500 m of longitudinal welds in the case of joint coefficient 0,85 or of welds in heads except of hemispherical heads in the case of joint coefficient 1,0;

6) one test plate per year, where the circumferential welds are welded to a procedure involving joggle joints or permanent backing strips (see 6.3).

e) For vessels made of material in material groups other than those covered in d) the following shall apply:

1) for longitudinal welds, one test plate per vessel in the case of joint coefficient 1,0;

2) one test plate per 100 m of longitudinal welds in the case of joint coefficient 0,85 or of welds in heads except of hemispherical heads in the case of joint coefficient 1,0;

3) where the circumferential welds are welded to a procedure different to the longitudinal joints, two test plates per year or one test plate per vessel which ever is less.

After 50 consecutive test plates have successfully past the tests, testing may be reduced to the following:

4) one test plate per 50 m of longitudinal welds in the case of joint coefficient 1,0;

5) one test plate per 500 m of longitudinal welds in the case of joint coefficient 0,85 or of welds in heads except of hemispherical heads in the case of joint coefficient 1,0;

6) where the circumferential welds are welded to a procedure different to the longitudinal joints, two test plates per year or one test plate per vessel which ever is less.

f) For vessels made of thermo-mechanically rolled steels (group 2.1) and quenched and tempered steels (group 3.1), independent of the joint coefficient, the following shall apply:

1) for vessels not subjected to post-weld heat treatment, d) shall apply;

2) for longitudinal welds, made by an automatic welding process, one test plate per vessel, WPS, cast and post-weld heat treatment furnace load;

3) for circumferential welds, made by an automatic welding process, if welded using the same WPS as for longitudinal welds, no further test plates are required. If welded by a different WPS to that used for longitudinal welds, one test plate per vessel, WPS, cast and post-weld heat treatment furnace load;

4) for welds made by manual welding process, one test plate per vessel, WPS, welding position, cast and post-weld heat treatment furnace load;

After 10 consecutive test plates have successfully passed the tests, testing may be reduced to the following:

5) for automatic welded longitudinal welds, one test plate per vessel;

6) for manual welds, one test plate per vessel in the most difficult welding position.

The testing of the production test plate shall consider the parameters for the post-weld heat treatment(s) of the pressure vessel.

8.3 Extent of testing

The type and number of specimens to be taken from the test plate after final heat treatment shall be in accordance with Table 8.3-1 for the particular material and thickness applicable.

NOTE The number and type of test specimens to be taken from the test plate are dependent on material group and thickness.

The test plate shall be of sufficient size to allow for the required specimens including an allowance for retests.

Prior to cutting the test pieces, the test plate shall be non-destructively tested in order to ensure that the test specimens are taken from sound areas.

Table 8.3-1 — Testing of production test plates

Material group	Thickness of test plates e [a] mm	Test specimens [b, c, d]
1.1 1.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1Ma
	$12 < e \leq 35$	3 IW, 1 Ma
	$35 < e$	3 IW, 1 TT, 1 LT, 1 Ma
1.3 2.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
3.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
4	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
5	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e \leq 30$	3 IW, 3 IH (> 3 % Cr), 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
	$30 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
6	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
7.1 7.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 Ma, HT
8.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma
	$12 < e$	3 IW, 1 TT, 1 Ma
8.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Mi
	$12 < e$	3 IW, 1 TT, 1 Mi
9	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
10	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Mi, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Mi, HT

[a] Thinner plate thickness.

[b] When impact test requirements in accordance with EN 13445-2:2009, Annex B apply:
— for impact test temperature $T_{kv} \geq -30$ °C impact tests IW and IH are required for $e > 12$ mm;
— for impact test temperature $T_{kv} < -30$ °C impact tests IW and IH are required for $e > 6$ mm.

[c] For LT see 8.4.3 for thickness limitation.

[d] The symbols for Table 8.3-1 are given in Table 8.3-2.

Table 8.3-2 — Test specimens

Designation	Abbreviation
Face bend test to EN 910:1996	FB
Root bend test to EN 910:1996	RB
Transverse tensile test to EN 895:1995	TT
Longitudinal weld tensile test to EN 876:1995	LT
Impact test; weld deposit to EN 875:1995	IW
Impact test, HAZ to EN 875:1995	IH
Macro examination to EN 1321:1996	Ma
Micro examination to EN 1321:1996	Mi
Hardness test to EN 1043:1995-1	HT

8.4 Performance of tests and acceptance criteria

8.4.1 General

The individual test pieces shall be manufactured, tested and shall meet the acceptance criteria defined.

8.4.2 Transverse tensile test

The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004.

NOTE Special consideration should be given where the mechanical properties of the weld are below the base materials by design, e.g. 9 % Ni steels welded with austenitic filler metal.

8.4.3 Longitudinal weld tensile test

For test plates on butt joints equal to and over 20 mm thickness a longitudinal weld tensile test having a minimum diameter equal to and over 6 mm shall be performed in accordance with EN 876:1995 and $R_{e/T}$, R_m and A_5 shall satisfy specified requirements of the base material or other relevant values specifically taken into account in the design (e.g. austenitic filler metal in 9 % Nickel steel). Where the design temperature is higher than 300 °C then the test shall be done at the design temperature.

NOTE Special consideration should be given where the mechanical properties of the weld are below the base materials by design, e.g. 9 % Ni steels welded with austenitic filler metal.

8.4.4 Impact test

The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004; in addition, if applicable, the impact test requirements according to EN 13445-2:2009, Annex B shall apply.

8.4.5 Bend test

The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004.

8.4.6 Macro examination

The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004.

The macro examination shall show sound build-up of beads and sound penetration.

8.4.7 Micro examination

— requirements on welds, material group 8.2: the micro examination shall show adequate microstructure

NOTE Occasional isolated micro fissures with a length of ≤ 1,5 mm may be acceptable, but should be reported.

— requirements on welds, material group 10: the micro examination shall show adequate microstructure

The ferrite content in the heat affected zone (HAZ) shall be between min. 30 % and max. 70 %. In the high temperature HAZ, a distance of about two grain size from the fusion line, a ferrite content shall be equal or less than 85 %. Where the welding consumable used are of an austenitic-ferritic matching type the ferrite content in the weld metal shall also be between 30 % and 70 %. If the welding consumables are of non-matching type (i.e. austenitic) the requirement for ferrite content in the weld metal does not apply.

NOTE The limit deviations on metallographic measurements frequently are of the order of ± 5 %.

8.4.8 Hardness test

The testing and the acceptance criteria shall conform to EN ISO 15614-1:2004.

8.4.9 Retests

Where individual tests do not conform to the requirements specified in this standard and the reasons shall be investigated. Where the unsatisfactory test result is due to poor testing technique or to a locally limited imperfection the following retests shall be made:

a) tensile test: the test shall be repeated on two tensile test specimens taken from the same test plate, both results shall meet the requirements;

b) bend test: the test shall be repeated on two bend test specimens taken from the same test plate; both results shall meet the requirements;

c) impact test: the test shall be repeated on three Charpy-V-notch specimens taken from the same test plate;

   1) the mean value obtained from all six individual specimens shall be equal to or greater than the specified minimum value;

   2) not more than two of the six individual values shall be less than the specified minimum value;

   3) not more than one of the six individual values shall be less than 70 % of the specified minimum value.

Should any of the retests fail to comply with the requirements then the joints/vessels represented by the test plate shall be deemed not in compliance with this Part of this European Standard.

NOTE Production factors may result in a scatter of mechanical test results which may occasionally fall below the agreed specification level.

8.4.10 Test report

A test report shall be prepared indicating compliance of the test results and the as found values meeting the specified requirements.

9 Forming of pressure parts

9.1 General

Manufacturers of formed pressure parts shall maintain records of the forming procedure and the subsequent heat treatment.

NOTE Formed pressure parts can be cold or hot formed. Formed pressure parts can comprise dished ends, segments, cylinders and other formed parts. Formed pressure parts may consist of individual parts which are welded together and formed subsequently.

9.2 Ratio of deformation

9.2.1 Dished circular products

The following equation (9.2-1) shall be used for the calculation of deformation F for all dished circular products (e.g. elliptical or torispherical heads, spherical caps) and shall be used for all types of forming processes (see also Figure 9.2-1):

$$F = 100 \ln \frac{D_{b(x)}}{D_e - 2e} [\%] \qquad (9.2\text{-}1)$$

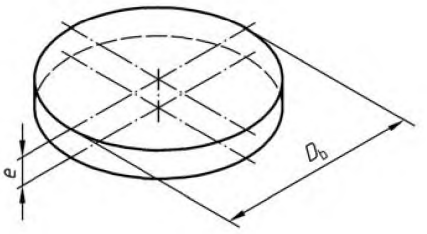
where

e is the thickness of the initial or intermediate product;

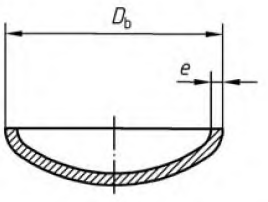
$D_{b(x)}$ is the diameter of the blank or diameter of intermediate product;

D_e is the external diameter of the finished product;

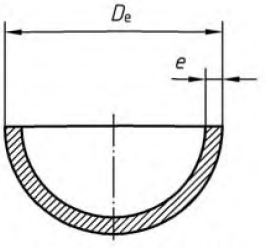
ln is the natural logarithm.



a) Initial product [a]



b) Intermediate product [a]



c) Final product

[a] In case of different forming steps without intermediate heat treatment (see 9.4.2), the deformation is the total amount of deformation of the individual forming steps. In case of intermediate heat treatment, the deformation is that deformation achieved after the last previous heat treatment.

Figure 9.2-1 — Forming of dished circular products

9.2.2 Cylinders and cones made by rolling

The following equation (9.2-2) shall be used for the calculation of deformation F for cylinders and cones made by rolling (see also Figure 9.2-2).

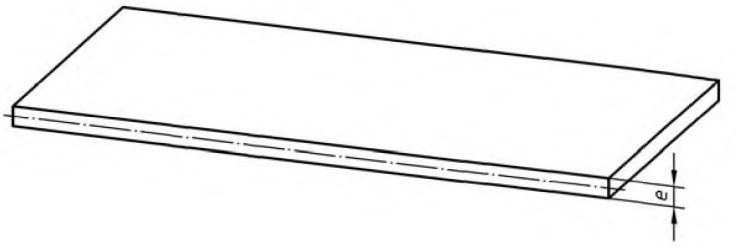
$$F = \frac{50e}{R_m} \cdot \left(1 - \frac{R_m}{R_{mo}}\right) [\%] \qquad (9.2\text{-}2)$$

where

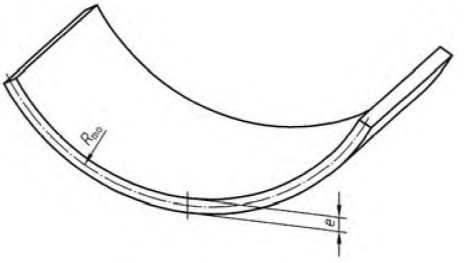
e is the thickness of the initial or intermediate product;

R_{mo} is the mean radius of the intermediate product (in case of a unformed initial product is $R_{mo} = \infty$);

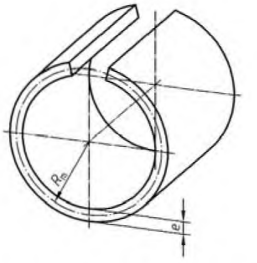
R_m is the mean radius of the finished product (for cones, the mean radius of the smaller diameter shall be used).



a) Initial product [a]



b) Intermediate product [a]



c) Finished product

[a] In case of different forming steps without intermediate heat treatment (see 9.4.2), the ratio of deformation is the total amount of the ratio of deformation of the individual forming steps. In case of intermediate heat treatment, the deformation is that deformation achieved after the last previous heat treatment.

Figure 9.2-2 — Forming of cylinders and cones

9.2.3 Other product types

The following equation (9.2-3) shall be used for the calculation of deformation (F) of all other types of formed products (see also Figure 9.2-3):

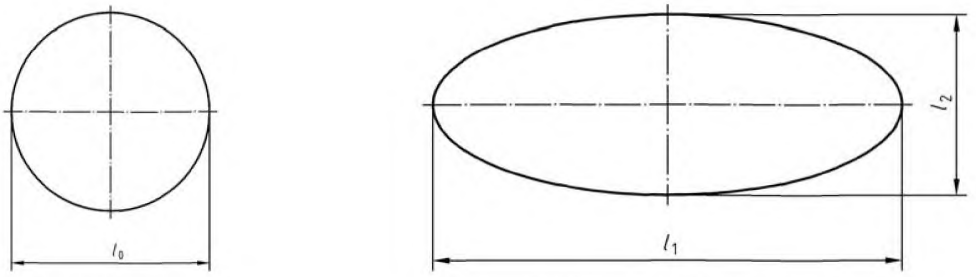
$$F = \frac{200}{\sqrt{3}} \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_1 F_2} \ [\%] \qquad (9.2\text{-}3)$$

where

$$F_1 = \ln \frac{l_1}{l_0}, \ F_2 = \ln \frac{l_2}{l_0}$$

ln is the natural logarithm;

l_0 is the diameter of a circle marked on the plate prior to forming in the area which shall be deformed with a maximum deformation. After forming, the circle of diameter l_0 is transformed into an ellipse with a large axis l_1 and a small axis l_2.



a) Marked circle l_0 on the initial product

b) Measured axies l_1 and l_2 on the formed product

Figure 9.2-3 — Forming of products others than cylinders, cones and dished circular products

9.2.4 Tube bends

The following equation (9.2-4) shall be used for the calculation of deformation F of tube bends (see also Figure 9.2-4):

$$F = 100 \frac{D_e}{2R} [\%] \qquad (9.2\text{-}4)$$

where

R is the radius of curvature for tube

D_e is the external diameter of the tube

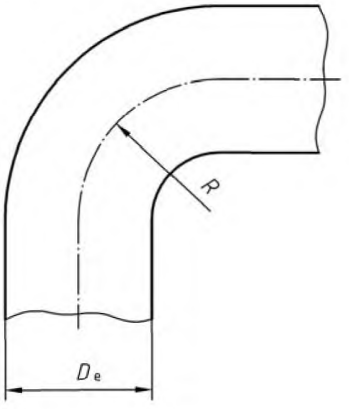


Figure 9.2-4 — Tube bending

9.2.5 Forming of Segments

The following equation (9.2-5) shall be used for the calculation of deformation F of segments e.g. of multi-sectional torispherical heads or spheres (see also Figure 9.2-5):

$$F = \frac{100e}{R} [\%] \qquad (9.2\text{-}5)$$

where

e is the thickness of the initial product;

R is the smallest mean radius of the segment (mean radius of spherical segment, mean knuckle radius of knuckle segment of a torispherical head).

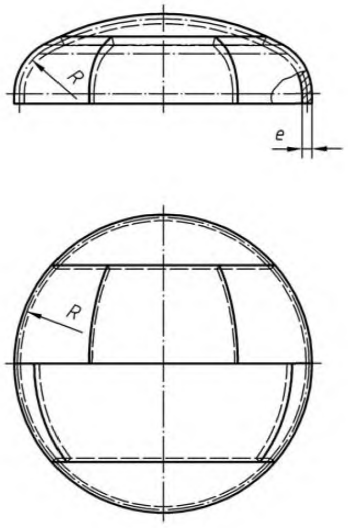


Figure 9.2-5 — Forming of Segments

9.3 Forming procedures

9.3.1 Cold forming

Cold forming of material group 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 3.1, 4, 5, 6 and 9 shall be carried out at temperatures at least 30 °C below the maximum permissible temperature for stress relieving, see Table 10.1-1.

In the case of TMCP steels, the maximum permissible temperature shall be 580 °C.

NOTE Ductile problems may however be encountered at intermediate temperatures in the range 200 °C to 350 °C due to dynamic strain ageing in this temperature range.

Cold forming of material group 8.1, 8.2 and 10 shall be carried out at temperatures below 300 °C.

For other types of materials the cold forming temperatures shall be taken from appropriate European Standards, data sheets or other specifications.

9.3.2 Hot forming

9.3.2.1 General

Hot forming of material group 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 4, 5, 6 and 9 shall be carried out at temperatures above the maximum permissible temperature for stress relieving, usually in the temperature range of normalising, in accordance with the material specifications.

Hot forming of thermo-mechanically treated steel grades is not permitted.

Hot forming of material group 8.1, 8.2 and 10 shall be carried out at a temperature of 300 °C or above usually in the temperature range according to Table 9.3-1.

For other types of materials the hot forming temperatures shall be in accordance with appropriate European Standards, data sheets or other specifications.

The forming procedure shall define the rate of heating, the holding temperature and the holding time given to the formed part.

NOTE 1 Hot forming is a process which is performed at temperatures above the stress relief temperature and will usually be carried out in the austenite region.

In view of danger of excessive grain growth, the product shall be austenitised above Ac3, but not higher than 1 050 °C.

NOTE 2 After reaching the temperature in the product it should be kept at temperature not longer than 10 min. For the same reason, the heating rate should be defined.

After the hot forming the product shall be cooled in still air, unless otherwise specified in Table 9.3-1.

As every heat treatment above the normalising temperature leads to a grain growth which adversely affects the impact values, the hot forming for normalised steels shall be divided into two groups as per 9.3.2.2 and 9.3.2.3.

9.3.2.2 Normalised steels with specified impact values at temperatures above and including - 20 °C

For normalised steels which are hot formed only in a single operation the maximum temperature of the product shall not be above 980 °C.

For hot forming operations in more than a single operation the maximum temperature of the product shall not be above 1 050 °C. Before the last operation the product shall be cooled down below 500 °C. For the last operation the maximum temperature of the product shall be below 980 °C for steels with a minimum yield strength $\leq$ 360 MPa, or 940 °C for steels with a minimum yield strength > 360 MPa.

A subsequent heat treatment may be waived, if the forming process of the last operation has been completed at a temperature above 750 °C or above 700 °C where the degree of deformation does not exceed 5 %.

If the conditions of 9.3.2.2, especially regarding the maximum and minimum temperatures in the last operation can not be achieved, normalising as specified by the steel manufacturer shall be carried out after the forming process.

NOTE For steels which have to be tempered after normalising, the prescribed tempering treatment may be performed when the hot forming has been carried out according to 9.3.2.2.

9.3.2.3 Normalised steels with specified impact values at temperatures below - 20 °C

For normalised steels which are hot formed only in a single operation the maximum temperature of the product shall not be above 940 °C when the steels with minimum yield strength $\leq$ 360 MPa, or 925 °C for steels with a minimum yield strength > 360 MPa.

For hot forming operations in more than a single operation the maximum temperature of the product shall not be above 1 050 °C. Between the different operations the product shall be cooled down below 500 °C. For the last operation the maximum temperature of the product shall be below 940 °C for steels with a minimum yield strength ≤ 360 MPa, or 925 °C for steels with a minimum yield strength > 360 MPa.

A subsequent heat treatment may be waived, if the forming process of the last operation has been completed at a temperature above 750 °C, or above 700 °C if the degree of deformation does not exceed 2 %.

If the conditions of 9.3.2.3, especially regarding the maximum and minimum temperatures in the last operation can not be achieved, normalising as specified by the steel manufacturer shall be carried out after the hot forming process.

NOTE For steels which have to be tempered after the normalising, the prescribed tempering treatment may be performed when the hot forming has been carried out according to 9.3.2.3.

9.3.2.4 Quenched and tempered steels

For quenched and tempered steels, it is absolutely necessary to perform a total new quenching plus tempering operation after hot forming. For the hot forming process itself, the conditions specified in 9.3.2.1 and 9.3.2.2 shall apply.

9.3.2.5 Austenitic and austenitic-ferritic steels

Austenitic and austenitic-ferritic steels, material groups 8.1, 8.2 and 10, shall be hot formed in accordance with Table 9.3-1.

Table 9.3-1 — Forming conditions of material groups 8.1, 8.2 and 10

Product type	Maximum temperature	Minimum temperature	Cooling Conditions [b]
Low carbon [a] Stabilised	1 150 °C	850 °C	still air for $e \leq 25$ mm water for $e > 25$ mm
Not stabilised			still air for $e \leq 6$ mm water for $e > 6$ mm

[a] Content of C ≤ 0,03 %.

[b] Cooling conditions defined in the material specifications shall be govern.

9.3.2.6 Clad steels

The temperature and procedure for hot forming of clad steels shall be based on the material of the backing steel, however consideration shall be given on the effect of this treatment on the clad material, particularly its corrosion resistance. Where this treatment will adversely effect the properties of the clad material, consideration shall be given to either using a different material for cladding or adding the cladding after the forming and heat treatment (e.g. weld overlay) or the adequacy of an alternative heat treatment shall be demonstrated by tests to comply with the requirements of the material specification or the design.

9.4 Heat treatment after forming

9.4.1 General

Heat treatments after cold or hot forming, shall be carried out in accordance with the appropriate standards or data sheets or other specifications and shall include normalising, normalising plus tempering, quenching plus tempering, annealing, solution annealing.

NOTE 1 These treatments are recognised as removing the effects of the forming processes.

NOTE 2 The parameters given by the base materials manufacturer in the inspection documents should be taken as an indication or recommendation for heat treatments. Other parameters may be applied if the procedure is defined and the product or a formed test piece representing the product is tested after forming and heat treatment to comply with the requirements of the material specifications or the design.

NOTE 3 In the case of cold–formed TMCP steels, the parameters defined should be suitable for a post–forming heat treatment.

9.4.2 Heat treatment of flat products after cold forming

Postforming heat treatments of flat products after cold forming of flat products shall be carried out in accordance with 9.4.1 and Table 9.4-1.

Table 9.4-1 gives the rules for the necessary heat treatment as a function of the deformation under the assumption that the plates fulfil the requirements of EN 13445-2:2009, Annex B.

Table 9.4-1 — Heat treatment of flat product after cold forming

Material groups	Ratio of deformation F	Heat treatment
1.1 [c], 1.2 [a], 1.3 2.1[a, b] 3.1 4 5 6 9 10	$F \leq 5$ %	no
	$F > 5$ %	yes
8.1, 8.2	d	d

[a] Thermo mechanically treated steel shall not be heat treated after forming, consequently the deformation (F) shall be limited to ≤ 5 %.

[b] For material group 2.1 tests shall be performed when the deformation is between 2 % and 5 % to verify the adequacy of the formed material with the design.

[c] 1) Torispherical dished ends (flange radius ≥ 0,1 D_e and crown radius ≤ D_e) do not require heat treatment if the following conditions are fulfilled:

- material group is 1.1;
- thickness $e \leq 8$ mm;
- $h_1 \leq 40$ mm (see Figure 5.4-2);
- the design temperature is between - 10 °C and + 120 °C.

2) Jackets on vessels used only for heating or cooling of pressure vessels, see EN 13445-3:2009, do not require heat treatment if the following conditions are fulfilled:

- material group is 1.1, and steel shall be fully killed;
- the material test certificate shows elongation after fracture $A_5 \geq 31$ %;
- thickness $e \leq 8$ mm;
- used for cylinders and cones when the maximum deformation F is such that mean radius $R_m \geq 3e$ nominal thickness;
- the design temperature is between - 10 °C and + 150 °C;
- fluid shall be water and/or steam.

[d] Austenitic steel in a heat treatment condition solution annealed and quenched or stabilised do not require heat treatment after cold forming in any of the following cases 1), 2), 3), and 4), provided the risk for stress corrosion related is neglectable:

1) Austenitic steel with required minimum values for elongation after fracture $A_5 \geq 30$ % or if the material test certificate shows an elongation after fracture $A_5 \geq 30$ % the deformation shall be $F \leq 15$ %. Or if evidence is supplied that there is a minimum elongation after fracture $A_5 \geq 15$ % after cold forming.

2) For deformation $F > 15$ %, proof can be furnished in individual cases that there is a minimum elongation after fracture $A_5 \geq 15$ % after cold forming.

3) For dished ends, the material test certificate for the base material shows the following values for elongation at elongation after fracture A_5:

- $A_5 \geq 40$ % in the case of wall thickness $e \leq 15$ mm at design temperatures down to - 196 °C;
- $A_5 \geq 45$ % in the case of wall thickness $e > 15$ mm at design temperatures down to - 196 °C;
- $A_5 \geq 50$ % if design temperature is below - 196 °C.

4) Deformation does not exceed 10 % in case of pressure vessel parts (excluding ends) if the design temperature is below –196 °C.

NOTE For material groups 1.3, 2 and 3 a drop of ductility/shift of transition temperature of 5 °C per % deformation may occur and should be considered.

9.4.3 Heat treatment of tubular products after cold forming

Postforming heat treatments of tubular products after cold forming of tubular products shall be carried out in accordance with 9.4.1 and Table 9.4-2.

The Table 9.4-2 gives the rules for heat treatment necessity as a function of the deformation under the assumption that the tubes fulfil the requirements of EN 13445-2:2009, Annex B.

Table 9.4-2 — Heat treatment of tubular products after cold forming

Material groups	Radius of curvature for the tube R	External diameter of the tube D_e	Heat treatment
1.1, 1.2, 1.3	$\leq 1{,}3\ D_e$	all diameters	yes
3.1 4 5 6 8.1, 8.2	$> 1{,}3\ D_e$	≤ 142 mm	no
		> 142 mm	yes[a]
9 10	$\geq 2{,}5\ D_e$	all diameters	no

[a] For material groups 8.1 and 8.2 at design temperature above - 196° C heat treatment is not required.

9.4.4 Heat treatment of clad steels after cold forming

Postforming heat treatments of clad steels after cold forming shall be carried out in accordance with 9.4.1 and Table 9.4-1. For calculation of the ratio of deformation the total thickness of the clad material shall be considered. The influence of this heat treatment to the cladding shall be considered, particularly regarding the corrosion resistance.

9.4.5 Heat treatment after hot forming

Heat treatment after hot forming shall be carried out in accordance with 9.4.1 and Table 9.4-3.

Table 9.4-3 — Heat treatments after hot forming

Material groups	Hot forming conditions	Heat treatment
1.1, 1.2, 1.3, 9.1	see 9.3.2	no
3.1 4 5 6 7.1 9.2, 9.3	all	quenching and tempering or normalising and tempering or double normalising and tempering[a]
8.1, 8.2	according to Table 9.3-1	no
	other conditions than those stated in Table 9.3-1	solution annealing and quenching
10	all	solution annealing and quenching

[a] Other heat treatments are available if their validity has been demonstrated by tests to comply with the requirements of the material specifications or the design.

9.4.6 Heat treatment of clad steels after hot forming

The conditions for heat treatment of clad steels after hot forming shall be carried out in accordance with Table 9.4-3 based on the material backing steel. The influence of this heat treatment on the cladding shall be considered, particularly regarding the corrosion resistance.

9.5 Sampling of formed test coupons

9.5.1 Cold formed products without heat treatment

If heat treatment is not required by Tables 9.4-1 and 9.4-2 after cold forming of plates or tubes, then no mechanical tests are required in respect of forming.

9.5.2 Hot formed or cold formed products with heat treatment

Compliance with the material specifications shall be verified by means of test coupons taken from excess of length of the formed product. Where this is not possible separate test coupons shall be taken from the original material, formed and heat treated if appropriate in the same way as the formed product and tested.

Where the formed products consist of individual parts of different casts, one test coupon per cast and of the welded joint shall be taken.

Formed products shall be individually tested until the manufacturer has successfully passed 30 test coupons of formed products within the appropriate material group. Thereafter the tests are performed per batch. A batch is defined by products of the same cast and the same final heat treatment.

The batch testing shall be performed as follows:

a) Material groups 1.1, 1.2, 8.1.

Where delivered formed products are in same heat treatment condition as the original material then compliance with material specification shall be covered by the original material test certificate. Where this is not the case one test coupon from each batch shall either be taken from the material to be formed or from the heat treated formed product. It shall be subjected to heat treatment together with the formed products or subjected to a simulated heat treatment separately.

Material groups 1.1 and 1.2 subject to specific impact energy values at temperatures below - 20 °C shall be sampled according to b) below, this shall be for impact test only.

b) Material groups 1.3, 3.1, 4, 5, 6, 8.2, 9 and 10.

Compliance with material specifications shall be verified by means of one of the following:

— test coupons taken from excess length of formed part;

— alternatively separately formed test coupons heat treated together with the formed parts;

— if this is not possible separately formed test coupons simulated heat treated.

The following number of test coupons shall be taken:

— one test coupon from a batch of up to 10 parts;

— two test coupons from a batch of up to 25 parts;

— three test coupons from a batch up to 100 parts;

— one test coupon for every further 100 parts.

9.6 Tests

9.6.1 Base material

One tensile test and three impact test specimens shall be taken from each test coupon required in 9.5.2. The test specimens shall be taken transverse to the rolling direction with a deviation not greater than 20°.

NOTE For structural mild steels of material group 1.1 and 1.2 the impact test specimens may be taken longitudinal to the rolling direction.

In the case of pressure parts made of quenched and tempered steels with batch testing, 10 % of the formed parts, but not less than 3 formed parts, in addition shall be subjected to hardness testing by the manufacturer.

9.6.2 Butt welds

Where formed products are welded together from several individual parts before forming, one longitudinal tensile test and three impact test specimens shall be taken from the weld metal. For 8.2 and 10 material, one micro examination shall be carried out in addition.

9.6.3 Acceptance criteria for formed test coupons

For base material the test specimens required in 9.6.1 shall meet the requirements of base materials.

For butt welds the test specimens required in 9.6.2 shall meet the requirements of 8.4.

The hardness values shall have a variation of not more than 50 HV 10 within one formed part.

9.6.4 Retests of formed coupons

9.6.4.1 If the test results fail to comply with the requirements, the following shall apply:

a) where the unsatisfactory test result is due to poor testing technique or to a locally limited defect of a single specimen, the test result may be neglected and the individual test shall be repeated;

b) where the unsatisfactory test result is due to inadequate heat treatment, all parts of the batch and relevant test coupons shall be heat treated again and the full extent of testing shall be repeated.

9.6.4.2 Where the results obtained from test specimens which where correctly taken and tested do not comply with the requirements, the following retests shall be made:

a) tensile test: the test shall be repeated on two tensile test specimens taken from the same test plate; both results shall meet the requirements;

b) bend test: the test shall be repeated on two bend test specimens taken from the same test plate; both results shall meet the requirements;

c) impact test: the test shall be repeated on three Charpy-V-notch specimens taken from the same test plate;

1) the mean value obtained from all six individual specimens shall be equal to or greater than the specified minimum value;

2) not more than two of the six individual values shall be less than the specified minimum value;

3) not more than one of the six individual values shall be less than 70 % of the specified minimum value.

In case of batch testing where the test results failed to comply with the specification. The testing shall be repeated on two other formed parts of the same batch where the test results shall comply with the specification.

Should any of the retests fail to comply with the requirements then the joints/parts represented by the test plate shall be deemed not in compliance with this Part of this standard.

9.7 Visual inspection and control of dimension

Formed pressure parts shall be subject to visual examination and dimensional check in the delivery condition by the producer of the formed product. The results of the visual inspection and the dimensional check shall be documented.

9.8 Marking

Formed products which form part of a pressure vessel shall be marked according to the relevant material specification. In this case the mark of the base material manufacturer may be waived. Traceability to the base material shall be ensured. In addition, the mark of the producer of the formed product shall be added. In the case of batch testing the relationship to the batch shall be evident. Identification shall be maintained between the test coupon and the formed product from which they were taken.

For small formed products (less than 220 mm nominal size) marking according to 4.2.2.2 b) is permissible.

9.9 Documentation

Formed products which form part of a pressure vessel require the following documentation:

a) a sub-contractor form (when forming is not carried out by pressure vessel manufacturer);

b) the original material certification;

c) type and record of heat treatment, if applicable;

d) formed product test coupon results, if applicable;

e) description of the formed part with main nominal dimensions and extent of deformation in the case of cold forming without heat treatment;

f) markings.

10 Post weld heat treatment (PWHT)

10.1 General

PWHT shall be performed in accordance with a written procedure which describe the parameters critical for the heat treatment process.

Equipment used for the heat treatment shall be suitable for the heat treatment in question. It shall permit the temperature control in the pressure part with adequate accuracy and uniformity especially for materials having a small permissible temperature range for that heat treatment.

The heat treatment of pressure vessels or pressure parts shall be recorded and certified by the manufacturer indicating the holding temperature, the heating- and cooling-rate and the holding time.

NOTE 1 CR ISO 17663 [7] gives useful information concerning quality control of post weld heat treatment.

NOTE 2 Heat treatment as per Table 10.1-1 particularity in the upper range of holding temperature and/or holding time may unduly impair the physical properties (e.g. yield, tensile strength and toughness of the material) the additional effect of multiple heating cycles should be considered. This effect is explained and published as Hollomon-Jaffe Parameter P as given in equation (10.1-1):

$$P = T_s\,(20 + \lg t)10^{-3} \qquad (10.1\text{-}1)$$

where

T_s is the holding temperature, in Kelvin;

t is the holding time, in hours.

lg = $\log_{10}$

Without prior agreement between the manufacturer of the pressure vessel/part and the material manufacturer the actual tempering temperature of NT or QT material shall not be lower than the admissible temperature as per Table 10.1-1. A higher PWHT temperature than tempering temperature would impair the mechanical properties of the material.

10.2 Heat treatment conditions

10.2.1 Post weld heat treatment, with the exception of those materials covered in 10.6 and 10.7, shall be applied to steels in accordance with Table 10.1-1 on completion of welding.

NOTE PWHT may be carried out on steels of thickness lower than specified by Table 10.1-1. Such instances will include vessels intended for service with media liable to cause stress corrosion cracking or prevention of brittle fracture in accordance with EN 13445-2:2009, Annex B.

Where the cladding of the clad plate is decisive for the type and procedure of the PWHT then such data shall be documented and taken into consideration when assessing the base material properties.

10.2.2 Where the vessel contains welded joints connecting parts which differ in thickness, the thickness to be used in applying the requirements for post weld heat treatment shall be:

a) the thinner of the two parts butt welded together;

b) the thickness of the shell in connection to flanges, tube plates or similar connections;

c) the weld throat thickness of the shell or end plate to nozzle weld in nozzle attachment welds;

d) the base material thickness in material integrally clad with an austenitic or nickel base corrosion resistant material (clad plate);

e) the base material thickness divided by 4 in material weld overlay clad with an austenitic or nickel based corrosion resistant material.

10.2.3 When additional welds or welds repairs have been made to a vessel after post weld heat treatment, a further heat treatment shall be carried out in accordance with 10.3. The thickness to be used in defining the time required at temperature shall be the thickness of the weld applied after the PWHT.

Table 10.1-1 — Post weld heat treatment

Material group	Steel: Grade or type	Steel: According to	Heat treatment condition [a] of base material	Post weld heat treatment: Nominal thickness e_n [b] mm	Holding time min	Holding temperature °C
1.1	Unalloyed steels	EN 10028-2:2003 EN 10216-1:2002, EN 10216-2:2002, EN 10216-4:2002 EN 10217-1:2002, EN 10217-2:2002, EN 10217-4:2002 to EN 10217–6:2002 EN 10222-2:1999	N or NT	≤ 35[c]	30	550 to 600
1.2	normalised fine grain steels	EN 10028-3:2003 EN 10216-3:2002 EN 10217-3:2002 EN 10222-4:1998		> 35 ≤ 90	e_n – 5	
1.3				> 90	40 + 0,5 e_n	
1.2	16Mo3	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10217-2:2002, EN 10217-5:2002 EN 10222-2:1999	N or NT or QT	≤ 35[c]	30	550 to 620
				> 35 ≤ 90	e_n – 5	
				> 90	40 + 0,5 e_n	
5.1	13CrMo4-5[d]	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	N or QT	≤ 15	30	630 to 680
				> 15 ≤ 60	2 e_n	
				> 60	60 + e_n	
5.2	10CrMo9-10[e] 11CrMo9-10[e]	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	NT or QT	As specified for steel 13CrMo4-5		670 to 720
5.3	X16CrMo5-1	EN 10222-2:1999	NT or A			700 to 750
5.4	X11CrMo9-1	EN 10216-2:2002	NT or A	≤ 12	30	740 to 780
				> 12 ≤ 60	2,5 e_n	
				> 60	90 + e_n	
6.4	X20CrMoNiV11-1	EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	NT or QT	As specified for steel 11CrMo9-1		730 to 770
9.1 9.2	MnNi and Ni steels except X8Ni9	EN 10028-4:2003 EN 10216-4:2002 EN 10222-3:1998	N or NT or QT	≤ 35 [c]	30	530 to 580
				> 35 ≤ 90	e_n – 5	
				> 90	40 + 0,5 e_n	
9.3	X8Ni9	EN 10028-4:2003 EN 10216-4 :2002 EN 10222-3:1998	see material standard	Normally welded with austenitic filler metal. In view of possible carbon diffusion post weld heat treatment should be avoided.		

[a] Heat treatment conditions of base material:
A = annealed; N = normalised; NT = normalised and tempered; QT = quenched and tempered

[b] Nominal thickness e_n is that required by 10.2.2

[c] For thickness < 35 mm post weld heat treatment is only necessary in special cases (e.g. to reduce the danger of stress corrosion cracking or hydrogen cracking (sour gas)).

[d] No post weld heat treatment is required if all the following conditions are fulfilled:
— tubes with nominal diameter < 120 mm and nominal wall thickness < 13 mm

[e] No post weld heat treatment required if all the following conditions are fulfilled:
— tubes with nominal diameter < 120 mm and nominal wall thickness < 13 mm and design temperature > 480 °C

NOTE 1 Heat treatment conditions of materials groups 2.1 and 3.1 will be covered later.
NOTE 2 For mechanical properties after heat treatment see 10.5

10.3 Method of PWHT

10.3.1 Wherever possible, the vessel shall be heat treated by heating in a single operation in an enclosed furnace.

NOTE Where it is impracticable to heat treat the whole vessel in a furnace it is permissible to adopt the methods described in 10.3.2 to 10.3.6, but it should be noted that they may not ensure the same degree of immunity from susceptibility to stress corrosion cracking.

10.3.2 It is permissible to heat treat the completed vessel in sections in an enclosed furnace, in which case the overlap of the vessel being heated shall be at least 1 500 mm or $5\sqrt{Re_n}$, whichever is the greater. The additional temperature cycle in the overlapping area shall thereby be taken into account for determination of the mechanical properties.

NOTE R = internal radius, e_n = nominal thickness required by 10.2.2.

Where this method is used the portion outside the furnace shall be shielded by thermal insulation so that the longitudinal temperature gradient of the part to be heated is such that between a measuring point "0" on the component directly outside the furnace with temperature T_0 and a measuring point at a distance of $2{,}5\sqrt{Re_n}$ outside the furnace there is a temperature difference of $\Delta T \leq 0{,}5\ T_0$.

The influence of attachments e.g. nozzles, partition walls etc. on the temperature gradient and temperature balance shall be considered.

10.3.3 It is permissible to heat treat circumferential welds in shells locally by heating a shielded band around the entire circumference, in which case the width of the heated band shall be not less than $5\sqrt{Re_n}$ with the weld in the centre.

Where the circumferential welds to be post weld heat treated is between a shell course and a dished or hemispherical head, the whole dished end shall be included in the heated band. The width of the heated band on the shell course side shall be $2{,}5\sqrt{Re_n}$.

Sufficient thermal insulation shall be fitted to ensure that the temperature of the weld and its heat affected zone is not less than that specified and that the temperature at the edge of the heated band is not less than half the peak temperature. In addition, the adjacent portion of the vessel outside the heated zone shall be thermally insulated such that the temperature gradient is not harmful. The influence of attachments e.g. nozzles, partition walls etc. on the temperature gradient and temperature balance shall be considered.

NOTE For thermal insulation a minimum insulated band width of $10\sqrt{Re_n}$ with the weld in the centre is recommended.

10.3.4 It is permissible to heat treat branches nozzles or other welded attachments or local repairs in shells locally by heating a shielded band in accordance with 10.3.3, the width of the heated band shall cover a minimum distance of $2{,}5\sqrt{Re_n}$ in each direction from the edge of the welds to be heat treated.

10.3.5 It is permissible to heat treat the vessel internally, for which purpose it shall be fully encased with thermal insulating material. During heat treatment care shall be taken that no internal pressure is building up which can impair the stress reduction.

10.3.6 Vessels of different thickness, which are subject to post weld heat treatment in the same furnace, shall be treated in accordance with the heat treatment requirements of the greater thickness of the vessels in the furnace.

When this results in a time at temperature greater than 3 h the requirements of 10.5 shall be satisfied for all the vessels in the furnace.

10.4 PWHT procedure

10.4.1 The PWHT temperatures and times shall be in accordance with Table 10.1-1.

Materials other than those listed in Table 10.1-1 shall be heat treated according to the specification of the material manufacturer.

10.4.2 During the heating and cooling periods, for temperatures up to 500 °C variation in temperature throughout the vessel or component shall not exceed 150 °C within 4 500 mm and the temperature gradient shall be gradual. Above 500 °C, this variation shall not exceed 100 °C.

During the heating and holding periods, the furnace atmosphere shall be controlled so as to avoid excessive oxidation of the surface of the vessel or component. There shall be no direct impingement of flame on the vessel or component.

When the vessel or component has attained a uniform holding temperature (see Table 10.1-1) this temperature shall be held for the period specified in Table 10.1-1.

10.4.3 In the case of furnace PWHT, the temperature of the furnace at the time when the vessel or component is placed in or taken out of the furnace shall not exceed:

— 400 °C for vessels or components of not complicated shape or e_n < 60 mm thickness;

— 300 °C for vessels or components of complicated shape or $e_n \geq 60$ mm thickness.

The rate for heating or cooling of the vessel or component shall not exceed the following:

— for thickness $e_n \leq 25$ mm: 220 °C/h;

— for thickness $e_n > 25$ mm and ≤ 100 mm: $(5\,500/e_n)$ °C/h;

— for thickness $e_n > 100$: 55 °C/h;

where: e_n is the nominal thickness in mm, required by 10.2.2.

10.4.4 The temperature specified shall be the actual temperature of any part of the vessel or zone being heat treated and shall be determined by thermocouples in effective contact with the vessel.

10.4.5 A sufficient number of temperatures shall be recorded continuously and automatically. Several thermocouples shall be applied to ensure that the whole vessel or zone being heat treated is within the range specified and that undesirable thermal gradients do not occur.

The number and location of thermocouples shall be sufficient to demonstrate that the requirements of 10.3 and 10.4 have been satisfied.

10.5 Mechanical properties after heat treatment

10.5.1 The PWHT shall be considered with respect to its effect on the mechanical properties of the base material, plate, forgings, pipe etc. and any welds, including heat affected zones.

NOTE For materials in groups 1.1 and 1.2 (except 16Mo3) it is considered that the beneficial effect of the PWHT is such that its effect on strength of the base materials needs not be considered for times below 3 h at temperature.

10.5.2 Where the time at temperature exceeds 3 h for material in groups 1.1 and 1.2 (except 16Mo3), the effect of this time at temperature shall be allowed for by demonstrating that either:

a) in case the actual yield and tensile strength as per the relevant material test certification is ≥ 15 % above the specified minimum value prior to the PWHT and the transition temperature of the A_V-T-curve or the minimum impact test is shown to be at test temperature 30 °C below the specified test temperature, then verification shall be considered as acceptable;

or

b) the material properties after welding and heat treatment verified as described below meet the minimum specification requirements. This can be done either:

— on test materials heat treated with the vessels; or

— on test coupons subjected to a simulated PWHT by the material supplier; or

— on test coupons subjected to a simulated PWHT by the vessel manufacturer.

10.5.3 For all other materials except those covered in 10.5.2 the PWHT temperature shall be at least 30 °C below the maximum tempering temperature and the time at the PWHT temperature shall not exceed 3 h.

When the maximum PWHT temperature is not at least 30 °C below the tempering temperature or the time at PWHT exceeds 3 h (including when Table 10.1-1 requires a longer time), then the effect of the PWHT on the properties of such material shall be demonstrated by one of the following:

— on test materials heat treated with the vessels; or

— on test coupons subjected to a simulated PWHT by the material supplier; or

— on test coupons subjected to a simulated PWHT by the vessel manufacturer.

NOTE When simulating the effect of longer times at temperature, it is permissible to cover multiple heat treatment of the agreed time. Alternatively, slightly different temperature (± 40 °C) and times by reference to the Hollmon-Jaffe time/temperature parameter may be used.

10.6 Dissimilar ferritic joints

10.6.1 Where a vessel is manufactured from dissimilar ferritic steels special consideration with respect to the influence on the mechanical properties shall be given to the post weld heat treatment.

10.6.2 If the maximum temperature in Table 10.1-1 required of one material in the dissimilar combination is equal to or greater than the minimum of the second, e.g. 16Mo3 to 13CrMo4-5, then PWHT for the material with the highest temperature in Table 10.1-1 shall be carried out, but as close to the minimum temperature as practical. In this respect the time shall be measured when the lowest reading thermocouple reaches a temperature 10 °C below the minimum specified in Table 10.1-1 (without the need for requalification of the welding procedure). Consideration shall be given to the effect of this higher temperature and possibly longer time on the mechanical properties of the second material in accordance with the requirements of 10.5.2 and 10.5.3.

10.6.3 When the maximum temperature allowed in Table 10.1-1 of one material in the dissimilar combination is lower than the minimum temperature allowed for the second, e.g. 13CrMo4-5 to X11CrMo9-1 then one of the following routes shall be followed:

a) PWHT the combination in accordance with the requirements for the material requiring the highest temperature according to Table 10.1-1 and carry out a simulated treatment on the other material to determine suitable mechanical properties for design. This shall include the effect of PWHT on impact values and microstructure in addition to strength;

b) redesign the combination to include a transition material that overlaps the temperature range.

EXAMPLE First weld X11CrMo9-1 to 10CrMo9-10 and PWHT at (730 to 750) °C, then later weld 10CrMo9-10 to 13CrMo4-5 and PWHT at (670 to 690) °C.

c) Weld overlay the joint preparations with stainless steel or high nickel weld metal;

PWHT each component separately after welding at the appropriate time and temperature for each material in the combination.

Weld the component/material combination of the weld overlaid joints using stainless/high nickel weld and do not carry out further PWHT.

10.6.4 Where a weld is between a structural part and a pressure part the PWHT should be as for the pressure part.

10.7 Special materials

For PWHT of vessels fabricated from metals in the material groups 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 6 and 9.3 using matching filler metal, but when the grade of material is not specifically listed in Table 10.1-1 then any temperature above 600 °C may be selected as long as it is fully documented and the mechanical properties after heat treatment shall be demonstrated by one of the alternatives in 10.5.3.

When a material has special properties that have been used in the design of the vessel and these properties can only be developed by a specific heat treatment, this shall be documented and applied to the vessel. The mechanical properties after heat treatment shall be demonstrated by one of the alternatives specified in 10.5.3.

11 Repairs

This clause covers the requirements in respect of surface and weld repairs.

11.1 Repairs of surface defects in the parent metal

If surface defects which are not very deep are involved, such as accidental arc strikes, tool marks, or oxyacetylene cutting marks, the defects shall be removed by grinding, and the ground area shall have a smooth transition with the adjoining surfaces. The grinding shall be followed by visual inspection for surface defects. Ground accidental arc strikes on parental materials other than from material groups 1.1 and 8.1 shall be tested by MT or PT as per EN 13445-5:2009.

The depth of the repair shall be checked to ensure that tolerance limits of the remaining material are fulfilled.

In case of build-up welds or if grinding reduces the thickness of the wall below the permissible value and repair by welding is necessary, the manufacturer shall carry out this repair in accordance with a qualified procedure and by qualified welders and operators. The affected area shall be inspected as per EN 13445-5:2009, Table 6.6.2-1, Figure 24.

NOTE General cosmetic grinding or dressing (i.e. removal of excess weld metal) are not considered to be repairs.

11.2 Repair of weld defects

All unacceptable imperfections shall be removed, either by mechanical means (such as grinding or machining) or by thermal means (such as arc air gouging or thermal gouging) or by a combination of thermal and mechanical means. It is the responsibility of the manufacturer to decide how unacceptable imperfections shall be removed. This may be by local means or by removal of the weld from the joint followed by rewelding.

When thermal gouging/arc air gouging is used on austenitic steels, care shall be taken to remove any contamination of the remaining weld or material. Similarly when gouging with carbon electrodes is used on ferritic steels, the affected surface shall be removed by mechanical means to a minimum depth of 0,3 mm.

When unacceptable imperfections are removed and are not followed by welding, all the remaining thickness shall be greater than the minimum thickness necessary to satisfy the design unless the local area satisfies the conditions of 5.4.5. The area shall have a taper with the adjoining surfaces, and blend smoothly.

Repairs by welding shall be carried out in accordance with a WPS which has been qualified in accordance with 7.3.

NOTE This may be the same WPS as the one used for making the joint originally or a specific qualified repair procedure.

Repairs shall be carried out by qualified welders or operators in accordance with 7.4. Weld repaired areas shall be non destructively examined in accordance with EN 13445-5:2009.

When repair welding is carried out after post weld heat treatment or hydraulic test these operations shall be repeated. Any further post weld heat treatment carried out in accordance with 10.2.2, shall be considered in terms of its effect on material and weld properties.

12 Finishing operations

Finishing operations shall be carried out after the vessel has been pressure tested and before shipment/transport.

NOTE 1 Their aim is to protect the vessel from impacts and pollution during transportation, installation and its connection to its equipment.

If any thermal or mechanical operations are strictly necessary following the pressure and leak tests, then the treatment, the pressure and leak tests and the surface treatment shall be carried out again.

NOTE 2 However, this provision does not apply to components which do not contribute to the mechanical strength of the vessel.

The following finishing operations shall be carried out:

a) complete examination of inner and outer surface;

b) cleaning of inner surfaces and complete drying of the vessel;

c) protection of all flanges and nozzles against impacts and oxidation;

d) protection of inner surface against corrosion from the atmosphere and against any introduction of foreign matters.

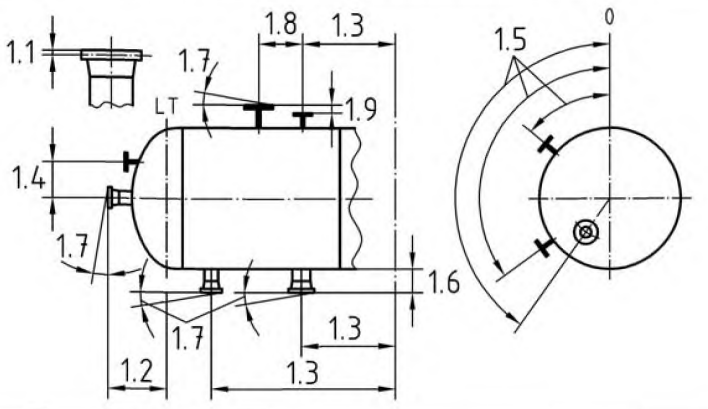
NOTE 3 Further finishing operations (e.g. sand blasting, painting, picking, passivating) are generally agreed by the contracting parties.

Annex A
(informative)

Structural tolerances

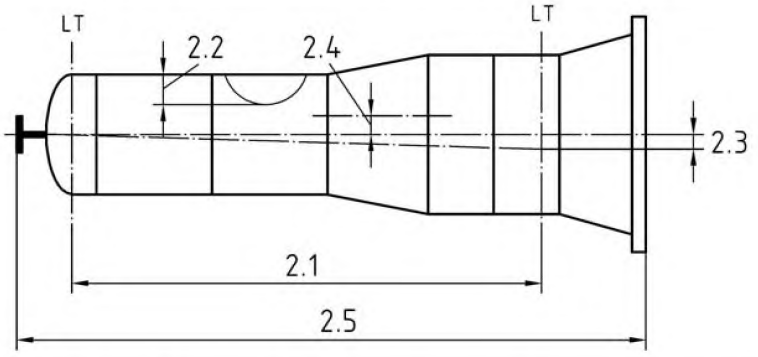
Structural tolerances others than specified in 5.4 and 5.5 should not exceed the values in Tables A.1 to A.4. These values are considered as reasonable values that the manufacturer may apply to his manufactured items.

Table A.1 — Tolerances on nozzles



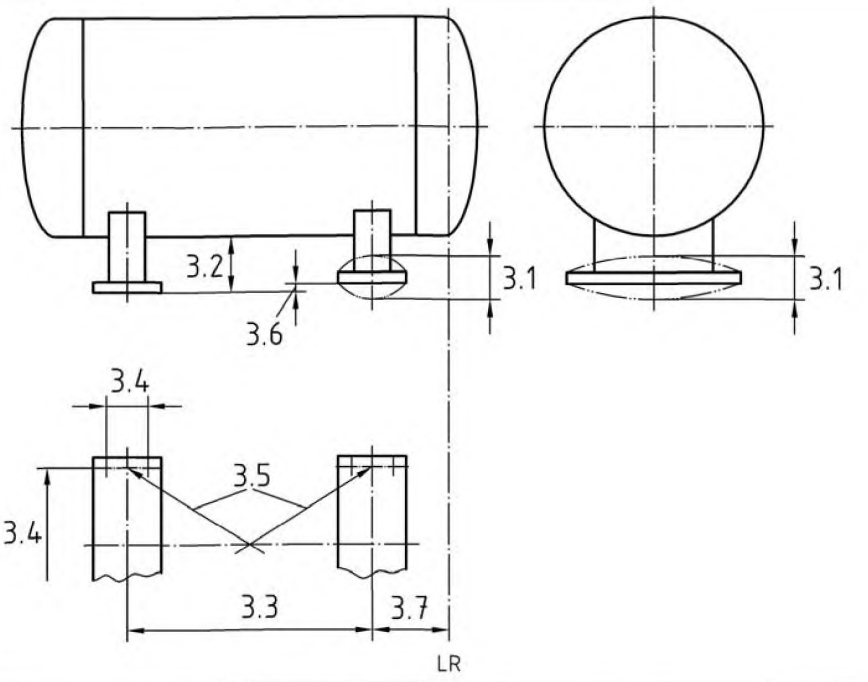
Item no	Type of deviations and elements considered		Limit deviations
1.1	Levelness of flat joint span expressed as a function of joint thickness		0,2 e
1.2	Deviation between the surface of a flange and the tangential line (LT) of an end or the reference line (LR)		± 5 mm
1.3	Deviation between axis of a nozzle and the reference line (LR)	Connection nozzle ≤ 100 mm	± 5 mm
		Other nozzles and manholes	± 10 mm
1.4	Deviation between the axis of a nozzle with an axis parallel to that of the vessel		± 5 mm
1.5	Deviation in relation to the theoretical orientation measured by the circumferential deviation between the reference generating lines and the nozzle	Connection nozzle	± 5 mm
		Manhole	± 10 mm
1.6	Deviation between flange facing and vessel wall	Connection nozzle	± 5 mm
		Manhole	± 10 mm
1.7	Slope of the flange facing in relation to theoretical plane	Connection nozzle	± 0,5°
		Manhole	± 1°
		For measurement apparatus	± 0,25°
1.8	Deviation between nozzle axes for measurement apparatus		± 1,5 mm
1.9	Difference in level between the two flange facing for measuring device		± 1 mm

Table A.2 — Tolerances after erection of a vertical vessel



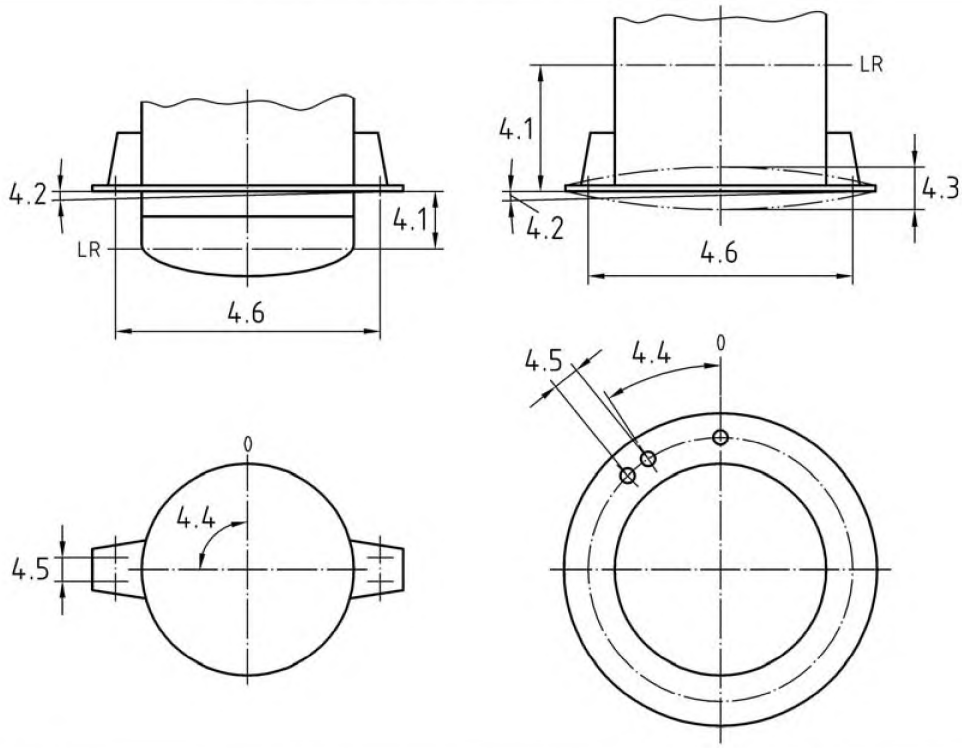
Item no	Type of deviations and elements considered		Limit deviations
2.1	Difference in length over distance L of extreme tangential lines (LT)	$L \leq 30\,000$ mm	± 15 mm
		$L > 30\,000$ mm	± 20 mm
2.2	Wall straightness deviation	Local defect measured on generating line	± 6 mm
2.3	Deviation between main axis of vessel and the vertical L (2.1) of vessel		± min. (0,001 L; 30 mm)
2.4	Concentricity deviation of two sections with different diameters, expressed as a function of the greater diameter D		± min. (0,003 D; 20 mm)
2.5	Deviation over total height or overall length of the vessel		cumulated tolerances

Table A.3 — Tolerances on saddles and supports



Item no	Type of deviations and elements considered		Limit deviations
3.1	Flatness deviation of the bearing surface of a support	Transversal direction	± 2 mm
		Longitudinal direction	± 4 mm
3.2	Deviation between bearing sole plate and lower generation line of vessel		± 3 mm
3.3	Deviation between axes of extreme supports		± 5 mm
3.4	Deviation between axes of bolt holes		± 3 mm
3.5	Deviation between diagonals of end saddles		± 6 mm
3.6	Deviation between levels of end bearing sole plates		0/+ 5 mm
3.7	Deviation between saddle axis and vessel tangential or reference line (LR)		± 5 mm

Table A.4 — Tolerances on saddles and supports



Item no	Type of deviations and elements considered		Limit deviations
4.1	Difference in the distance between the lower surface of supports or the base ring and the reference line (LR)		± 6 mm
4.2	Perpendicularity defect of supports or base ring in relation to vessel axis or skirt		± 6 mm
4.3	Flatness defect		± 4 mm
4.4	Orientation deviation of axis of hole supports or skin reference	$D \leq 3\,000$ mm	± 4 mm
		3 000 mm < $D \leq 6\,000$ mm	± 8 mm
		$D > 6\,000$ mm	± 12 mm
4.5	Deviation between two bolt holes		± 3mm
4.6	Anchoring diameter deviation, expressed as a function of theoretical diameter D		± min. (0,002 D, 10)

Annex B
(informative)

Example of a sub-contractors form

Declaration
for sub-contracted works for pressure vessel parts or components

GENERAL

Sub-contractor: .....
Name and address of sub-contractor

Manufactured for: .....
Name and address of manufacturer

Drawing details: .....
Drawing No, revision data

In accordance with EN 13445-.... : .....
Part No, Edition

Design:

Principal design conditions of the pressure vessel

Design pressure bar	Design temperature °C	Testing group	Hazard category	Corrosion allowance	joint coefficient	Conformity assessment module

SUB-CONTRACTED WORKS

Description of sub-contracted pressure part or component:

.....
General product name for part or component and quantity

Sub-contracted works:

☐ Design: .....

☐ Forming: .....

☐ Welding: .....

☐ Heat treatment: .....

☐ NDT: .....

☐ Proof test: .....

Name of responsible authority, if appropriate: .....

The undersigned declares that the subcontracted works has been carried out according to the contract and the requirements above mentioned

Date, Location ..... Sub-contractor

.....

Position/Signature .....

Annex Y
(informative)

Differences between EN 13445-4:2002 and EN 13445-4:2009

The 2009 edition of EN 13445-4 contains the 2002 edition of the standard and all Amendments and corrections issued in the meantime.

The most important changes include:

— Additional requirements for DBA.

— Adjustments for creep.

— Reduction of the amount of production test plates.

Annex ZA
(informative)

Relationship between this European Standard and the Essential Requirements of the EU Pressure Equipment Directive 97/23/EC

This European Standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association to provide a means of conforming to Essential Requirements of the New Approach Pressure Equipment Directive 97/23/EC.

Once this standard is cited in the Official Journal of the European Union under that Directive and has been implemented as a national standard in at least one Member State, compliance with the clauses of this standard given in Table ZA.1 confers, within the limits of the scope of this standard, a presumption of conformity with the corresponding Essential Requirements of that Directive and associated EFTA regulations.

Table ZA.1 — Correspondence between this European Standard and Pressure Equipment Directive 97/23/EC

Clause(s)/subclause(s) of this EN	Essential Requirements (ERs) of Pressure Equipment Directive 97/23/EC	Qualifying remarks/Notes
3, 5	3.1	Appropriate techniques and procedure
9.2, 9.3	3.1.1	Manufacturing procedures, forming
7.6	3.1.1	Preparation of component parts
7.3, 8	3.1.2, 7.2	Properties of permanent joints
7.4	3.1.2	Qualified personnel to carry out permanent joints
7.3, 7.7, 7.8 7.9, 11	3.1.2	Operating procedure to carry out permanent joints
9.4, 10	3.1.4	Heat treatment
4.2	3.1.5	Traceability
12	3.2.1	Final inspection

WARNING — Other requirements and other EU Directives may be applicable to the product(s) falling within the scope of this standard.

Bibliography

[1] EN ISO 14731:2007, *Welding coordination - Tasks and responsibilities.*

[2] EN 764-3:2002, *Pressure equipment — Part 3: Definition of parties involved.*

[3] ISO 857-1:1998, *Welding and allied processes — Vocabulary — Part 1: Metal welding processes.*

[4] EN 1011-2:2001, *Welding — Recommendations for welding of metallic materials — Part 2: Arc welding of ferritic steels.*

[5] EN 1708-1:1999, *Welding — Basic weld joint details in steel — Part 1: Pressurized components.*

[6] EN ISO 13916:1996, *Welding — Guidance on the measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature (ISO 13916:1996).*

[7] CR ISO 17663:2001, *Welding — Guidelines for quality requirements for heat treatment in connection with welding and allied processes (ISO/TR 17663:2001).*

Приложение Д.А
(справочное)

Перевод европейского стандарта EN 13445-4:2009 на русский язык

1 Область применения

В настоящем документе определены требования по изготовлению сосудов, работающих под давлением, без огневого подвода теплоты и их частей, произведенных из сталей, а также по их соединению с частями, работающими без давления. В нем определены требования к прослеживаемости материалов, допустимым отклонениям при изготовлении, сварке, производственным испытаниям, формовке, термической обработке, ремонту и отделочным процедурам.

2 Нормативные ссылки

Настоящий европейский стандарт включает в себя положения других публикаций в виде датированных или недатированных ссылок. Эти нормативные ссылки располагаются в соответствующих местах текста, а перечень публикаций приводится ниже. Для датированных ссылок последующие поправки или редакции любых таких публикаций применимы к данному европейскому стандарту, только если они включены в него с поправкой или редакцией. Для недатированных ссылок применимо последнее издание публикации, на которую дается ссылка (с учетом поправок).

EN 287-1:2004, EN 287-1:2004/A2:2006 Квалификационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали

EN 875:1995 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Ударные испытания. Расположение испытательных образцов, ориентация надреза и контроль

EN 876:1995 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Испытание на растяжение продольных образцов в наплавочных сварных соединениях

EN 895:1995 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Поперечное испытание на растяжение

EN 910:1996 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Испытания на изгиб

EN 1043-1:1995 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Определение твердости. Часть 1. Определение твердости соединений, выполненных дуговой электросваркой

EN 1321:1996 Контроль разрушающий сварных швов металлических материалов. Микроскопические и макроскопические испытания сварных швов

EN 1418:1997 Персонал для сварочных работ. Квалификация операторов установок сварки плавлением и наладчиков установок контактной сварки

EN 10028-2:2003 Изделия плоские из сталей, предназначенные для сосудов, работающих под давлением. Часть 2. Нелегированные и легированные жаропрочные стали

EN 10028-3:2003 Изделия плоские из сталей, предназначенные для сосудов, работающих под давлением. Часть 3. Свариваемые мелкозернистые конструкционные стали, нормализованные

EN 10028-4:2003 Изделия плоские из сталей, предназначенные для сосудов, работающих под давлением. Часть 4. Стали, легированные никелем, предназначенные для работы при низких температурах

EN 10216-1:2002, EN 10216-1:2002/A1:2004 Трубы стальные бесшовные, предназначенные для работы под давлением. Технические условия поставки. Часть 1. Трубы из нелегированных сталей, предназначенные для работы при комнатных температурах

EN 10216-2:2002+A2:2007 Трубы стальные бесшовные, предназначенные для работы под давлением. Технические условия поставки. Часть 2. Трубы из нелегированных и легированных сталей со специальными свойствами при повышенных температурах

EN 10216-3:2002, EN 10216-3:2002/A1:2004 Трубы стальные бесшовные, предназначенные для работы под давлением. Технические условия поставки. Часть 3. Трубы из легированных мелкозернистых сталей

EN 10216-4:2002, EN 10216-4:2002/A1:2004 Трубы стальные бесшовные, предназначенные для работы под давлением. Технические условия поставки. Часть 4. Трубы из нелегированных и легированных сталей, со специальными свойствами при низких температурах

EN 10217-1:2002, EN 10217-1:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 1: Трубы из нелегированных сталей со специальными свойствами при комнатных температурах

EN 10217-2:2002, EN 10217-2:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 2. Трубы из нелегированных и легированных сталей, свариваемые электросваркой, со специальными свойствами при повышенных температурах

EN 10217-3:2002, EN 10217-3:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 3. Трубы из легированных мелкозернистых сталей

EN 10217-4:2002, EN 10217-4:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 4. Трубы из нелегированных и легированных сталей, свариваемые электросваркой, со специальными свойствами при низких температурах

EN 10217-5:2002, EN 10217-5:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 5. Трубы из нелегированных и легированных сталей, свариваемые дуговой сваркой под флюсом, со специальными свойствами при повышенных температурах

EN 10217-6:2002, EN 10217-6:2002/A1:2005 Трубы стальные сварные, работающие под давлением. Технические условия поставки. Часть 6. Трубы из нелегированных и легированных сталей, свариваемые дуговой сваркой под флюсом, со специальными свойствами при низких температурах

EN 10222-2:1999 Поковки стальные для сосудов, работающих под давлением. Часть 2. Ферритные и мартенситные стали со специальными свойствами при повышенных температурах

EN 10222-3:1998 Поковки стальные для сосудов, работающих под давлением. Часть 3. Никелевые стали со специальными свойствами при пониженных температурах

EN 10222-4:1998, EN 10222-4:1998/A1:2002 Поковки стальные для сосудов, работающих под давлением. Часть 4. Свариваемые мелкозернистые стали с повышенным пределом текучести

EN 13445-1:2009 Сосуды, работающие под давлением, без огневого подвода теплоты. Часть 1. Общие положения

EN 13445-2:2009 Сосуды, работающие под давлением, без огневого подвода теплоты. Часть 2. Материалы

EN 13445-3:2009 Сосуды, работающие под давлением, без огневого подвода теплоты. Часть 3. Проектирование

EN 13445-5:2009 Сосуды, работающие под давлением, без огневого подвода теплоты. Часть 5. Контроль и испытания

EN ISO 3834-2:2005 Требования к качеству сварки металлов плавлением. Часть 2. Подробные требования к качеству

EN ISO 3834-3:2005 Требования к качеству сварки металлов плавлением. Часть 3. Стандартные требования к качеству

EN ISO 15609-1:2004 Технические требования и квалификация технологии сварки металлических материалов. Технические требования к процессу сварки. Часть 1. Дуговая сварка (ISO 15609-1:2004)

EN ISO 15611:2003 Технические требования и квалификация технологии сварки металлических материалов. Квалификация на основе предыдущего опыта сварки (ISO 15611:2003)

EN ISO 15612:2004 Технические требования и квалификация технологии сварки металлических материалов. Оценка посредством подтверждения стандартной процедуры сварки (ISO 15612:2004)

EN ISO 15613:2004 Технические требования и квалификация технологии сварки металлических материалов. Оценка на основе испытания опытных образцов сварки (ISO 15613:2004)

EN ISO 15614-1:2004 Технические требования и квалификация технологии сварки металлических материалов. Контроль процесса сварки. Часть 1. Дуговая и газовая сварка сталей и дуговая сварка никеля и никелевых сплавов (ISO 15614-1:2005)

3 Требования по изготовлению и по заключению контракта с субподрядчиком

3.1 Изготовление

Основные обязанности производителя сосудов, работающих под давлением, определены в 13445-1:2009. В дополнение к этим требованиям производитель должен обеспечить следующее:

a) Организация контроля производственных операций, включающих в себя специальные процедуры, такие как сварка, формовка и термическая обработка, должна быть четко определена производителем.

b) Производственные процедуры, такие как сварка, формовка и термическая обработка, должны соответствовать назначению, и сосуд для работы под давлением должен соответствовать требова-

ниям настоящего стандарта. Необходимо принимать в расчет специальные требования, связанные с материалами, например, европейские разрешения на материалы (EAM).

c) Производственное оборудование должно соответствовать требованиям по изготовлению.

d) Штат должен соответствовать выполнению назначенных задач.

Примечание – Что касается координирования сварки, квалификационные испытания, задачи и обязанности могут быть определены производителем в соответствии с EN ISO 14731:2007 [1] в распределении рабочих заданий.

e) Требования к качеству сварки должны соответствовать по крайней мере требованиям, определенным в EN ISO 3834-3:2005.

3.2 Заключение контракта с субподрядчиком

Производитель может заключать на работы контракт с субподрядчиком, но он должен убедиться, что субподрядчик выполняет работы в соответствии с требованиями настоящего европейского стандарта. Производитель несет ответственность за надлежащее определение субподрядных заданий и необходимость соответствующей документации.

По всем мероприятиям, к которым относятся следующие работы субподрядчика:

a) сварка;

b) формовка, включая соответствующую термическую обработку;

c) термическая обработка после сварки;

d) неразрушающие испытания сварных швов (см. 13445-5:2009),

производитель должен получать от субподрядчика бланк документа (см. приложение B).

Если сварочные процессы выполняются по субподряду, производитель должен также получать копии документов о технологии сварки и о квалификации операторов сварки или предпринимать другие действия для обеспечения соответствия требованиям настоящего стандарта.

С целью выполнения обязательства по обеспечению выполнения субподрядчиком работ в соответствии с требованиями настоящего стандарта, производитель должен обеспечить выполнение надзора за выполнением работ субподрядчиком.

При изготовлении производителем оборудования, требующего посредничества ответственных органов, производитель должен информировать ответственные органы о своем намерении заключить контракт на субподряд, чтобы ответственные органы имели возможность участвовать в контроле работ субподрядчика.

Примечание 1 – См. также EN 764-3:2002, 2.11 [2] и CR 13445-7.

Примечание 2 – При изготовлении производителем оборудования на основе гарантии качества, в системе приемки качества производителя должны быть описаны способы контроля, применяемые к выполняемым субподрядчиком работам.

4 Материалы

4.1 Общие положения

Материалы для изготовления сосудов, работающих под давлением, и классификация материалов для изготовления сосудов, работающих под давлением, должны соответствовать требованиям EN 13445-2:2009.

Классификация применяется независимо от формы изделий, т. е., листовой материал, поковки, труба.

4.2 Прослеживаемость материалов

4.2.1 Общие положения

Производитель сосудов должен иметь в наличии и поддерживать систему обозначений материалов, используемых в изготовлении для того, чтобы все материалы, подвергающиеся нагрузке в результате давления, и в дополнение к этому свариваемые, можно было отслеживать во время всех выполняемых работ по их происхождению. К этому относится применение расходных материалов для сварки.

4.2.2 Система обозначения

4.2.2.1 Система обозначения производителя сосудов должна гарантировать, что все материалы, используемые в изготовлении сосудов, подверглись и успешно прошли следующий контроль:

a) обследование материала перед изготовлением с целью выявления, насколько это возможно, недостатков, которые могут неблагоприятно повлиять на безопасность работ;

b) проверку материала для определения того, что он имеет требуемую толщину;

c) проверку материала для подтверждения того, что материалы разрешены настоящим европейским стандартом, полностью прослеживаются в соответствии с надлежащей сертификацией материала и соответствуют указаниям проектной документации;

d) проверку расходных материалов для сварки для подтверждения правильных маркировок и поддержания надлежащих условий с целью предотвращения повреждения.

4.2.2.2 Прослеживаемость материала по оригинальным идентифицирующим маркировкам происхождения должна соответствовать одному или нескольким следующим способам:

a) аккуратный перенос оригинальных маркировок идентификации в те места, где маркировки будут видны на законченном сосуде;

b) обозначение с помощью кодированных маркировок, отслеживаемых в соответствии с оригинальной обязательной маркировкой;

c) регистрация маркировок обозначения с помощью списков материалов или в качестве схематических изображений, обеспечивающих идентификацию каждой части материала во время изготовления и последующую идентификацию в законченном сосуде;

d) необходимо регистрировать номера партий расходных материалов для сварки.

4.2.3 Видимость

Материалы, на которые невозможно нанести клеймо, или которые не будут видны после завершения сосуда, или для множественных деталей малого размера, или части, не работающие под давлением, производитель может регистрировать в системе документации, обеспечивающей прослеживаемость материалов в законченном сосуде.

4.2.4 Изучение сертификатов материалов и обозначения материалов

Сертификаты на все материалы следует изучить при приемке. Проверка должна включать в себя полноту и соответствие отчетов по следующим пунктам:

a) механические и химические характеристики, которые должны быть указаны в спецификации материала;

b) подтверждение того, что указанные результаты соответствуют условиям спецификации;

c) все маркировки, требуемые согласно спецификации материала, соблюдены, а также обеспечена прослеживаемость между фактическими маркировками и маркировками, указанными в сертификате на материал.

Все сертификаты на материалы должны быть доступны в течение всего производственного процесса.

4.2.5 Перенос маркировок

В случае, если оригинальные маркировки обозначения будут неизбежно обрезаны или если материал разделяется на две или более части, назначенный производителем персонал перед резкой должен аккуратно перенести маркировки.

Фактическая маркировка материала должна выполняться способами, которые не повредят материал при последующем использовании/функционировании.

Перенос маркировок должен выполняться перед распределением изделия, и после проверки обозначений, представленных соответствующим сертификатом.

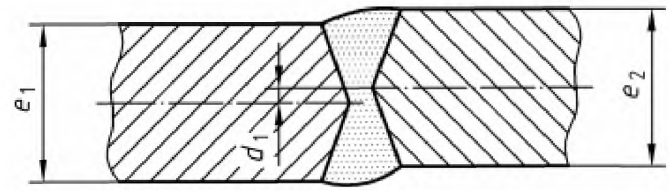
5 Допуски на изготовление

5.1 Геометрия поверхности сварных швов

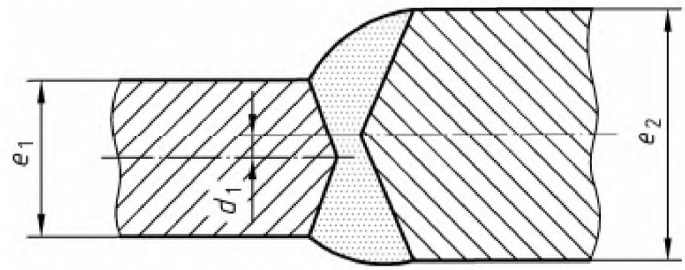
Геометрия поверхности свариваемых стыковых и угловых соединений должна соответствовать требованиям EN 13445-5:2009, если на чертеже не указаны более строгие требования.

5.2 Выравнивание средней линии

Допуски на смещение средних линий должны соответствовать указаниям таблиц 5.2-1, 5.2-2, 5.2-3 и рисунка 5.2-1.



a) Выравнивание средней линии d_1 при равной толщине $e_1 = e_2$



b) Выравнивание средней линии d_1 при разной толщине $e_1 \leq e_2$

Рисунок 5.2-1 – Выравнивание средней линии d_1

Для продольных сварных швов в цилиндрических, конусных и прямоугольных/призматических конструкциях средние линии смежных компонентов (с одинаковой или разной толщиной) должны выравниваться в пределах допустимых отклонений, указанных в таблице 5.2-1.

Таблица 5.2-1 – Смещение средних линий для продольных сварных швов в цилиндрах, конусах и прямоугольных/призматических конструкциях

Размеры в миллиметрах

Толщина наиболее тонкой части e_1	Максимальное смещение d_1
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 60$	$e_1/30 + 2$
$60 < e_1$	4

Для продольных сварных швов в выпуклых торцевых частях и сварных швов в сферических компонентах средние линии смежных деталей (и с равной, и с различной толщиной) должны выравниваться в пределах допустимых отклонений, указанных в таблице 5.2-2.

Таблица 5.2-2 – Смещение средних линий для продольных сварных швов в выпуклых торцевых частях и в сферических компонентах смежных деталей

Размеры в миллиметрах

Толщина наиболее тонкой части e_1	Максимальное смещение d_1
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 120$	$e_1/30 + 2$
$120 < e_1$	6

Для кольцевых сварных швов средние линии смежных частей (и с равной, и с различной толщиной) должны выравниваться в пределах допустимых отклонений, указанных в таблице 5.2-3.

Таблица 5.2-3 – Смещение средних линий кольцевых сварных швов смежных частей

Размеры в миллиметрах

Толщина наиболее тонкой части e_1	Максимальное смещение d_1
$e_1 \leq 30$	$e_1/10 + 1$
$30 < e_1 \leq 150$	$e_1/30 + 3$
$150 < e_1$	8

5.3 Выравнивание поверхности

5.3.1 Смещение поверхностей между частями

Если возникает смещение на поверхности между частями с одинаковой номинальной толщиной, переход через сварной шов должен быть плавным и постепенным с наклоном 1 к 4 по ширине сварного шва. Если такой уклон невозможно согласовать в пределах ширины сварного шва, допускается:

a) либо шлифовка наиболее высокой поверхности листа, если это не уменьшит толщину шва в какой-либо точке ниже номинальной указанной толщины листа минус допустимое отклонение толщины листа;

b) либо наращивание наиболее низкой поверхности листа дополнительным металлом сварного шва.

5.3.2 Соединение частей различной толщины

Если выполняется соединение частей различной толщины, уклон следует формировать в соответствии с требованиями EN 13445-3:2009:

a) либо с помощью уклона наиболее тонкого листа согласно проектному чертежу и затем с помощью применения требований, указанных выше для частей с одинаковой номинальной толщиной;

b) либо с помощью получения необходимого наклона по ширине сварных швов или комбинации наращивания сварного шва наиболее низкой поверхности дополнительным металлом сварного шва, и после этого – получения необходимого наклона по ширине сварного шва.

5.4 Допустимые отклонения для сосудов, подвергающихся внутреннему давлению

5.4.1 Наружный диаметр

Для цилиндрических и сферических сосудов, предназначенных для работы под давлением, средний наружный диаметр, получаемый на основе длины окружности, не должен отклоняться более чем на 1,5 % от указанного наружного диаметра.

Для прямоугольных сосудов и/или призматических конструкций любой наружный размер не должен отклоняться более чем на 1,5 % от указанного наружного размера.

5.4.2 Нарушение закругленности

Отклонение закругленности (*O*) должно рассчитываться с помощью следующего уравнения (5.4-1):

$$O\,[\%] = \frac{2 \cdot (D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100. \qquad (5.4\text{-}1)$$

Это отклонение не должно превышать следующие значения:

a) 1,5 % для соотношения $e / D < 0{,}01$;

b) 1,0 % для соотношения $e / D \geq 0{,}01$.

Примечание – При определении отклонения закругленности не следует учитывать упругую деформацию в результате полной грузоподъемности сосуда, работающего под давлением.

Неровности в профиле сосуда (например, вмятины, изгибание, плоские грани в местах установки форсунок) также должны находиться в пределах допустимых отклонений, указанных в предыдущих пунктах a) и b). Превышающие отклонения закругленности могут быть приемлемы при условии, что они были признаны допустимыми с помощью расчетов или тензометрических измерений.

5.4.3 Отклонение от продольной оси

Отклонение от продольной оси по длине цилиндрической части сосуда, предназначенного для работы под давлением, не должно превышать 0,5 % длины корпуса.

5.4.4 Неровности в профиле

a) Локальные неровности в профиле сосуда.

Неровности в профиле (например, вмятины, изгибание, плоские грани в местах установки форсунок) должны быть плавными, глубину необходимо проверять с помощью 20° – измерительного шаблона, и она не должна превышать следующие значения:

1) 2 % длины измерительного прибора; или

2) 2,5 % длины измерительного шаблона, если длина неровностей не превышает одной четверти длины (макс. 1 м) части корпуса между кольцевыми соединениями.

Превышающие эти значения неровности требуют подтверждения с помощью расчета или тензометрического измерения того, что нагрузки являются допустимыми.

b) Выступы в продольных стыковых сварных швах.

Если неровность в профиле возникает в сварном соединении и связана с плоскими гранями, смежными со сварным швом, неровность в профиле или выступ, не должны превышать значений, указанных в таблицах 5.4-1 и 5.4-2.

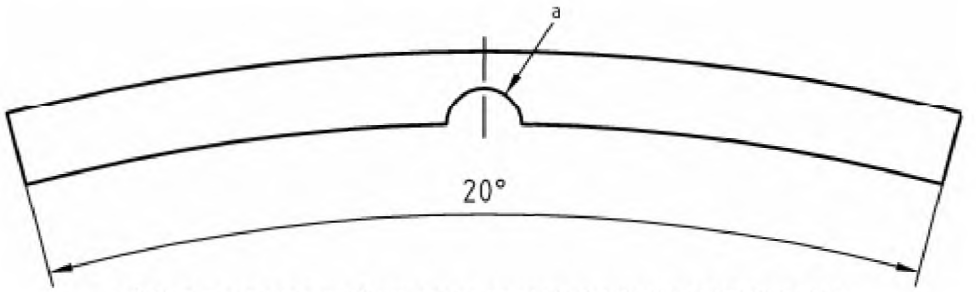
Измерение выступов следует выполнять с помощью 20° – измерительного шаблона (или лекала), см. рисунок 5.4-1, или же с использованием других типов измерительный устройств, таких как мостовое или игольчатое измерительное устройство.

Для выпуклых выступов необходимо снять два показания P_1 и P_2 с каждой стороны соединения в определенной точке, максимальный выступ определяется с помощью уравнения (5.4-2):

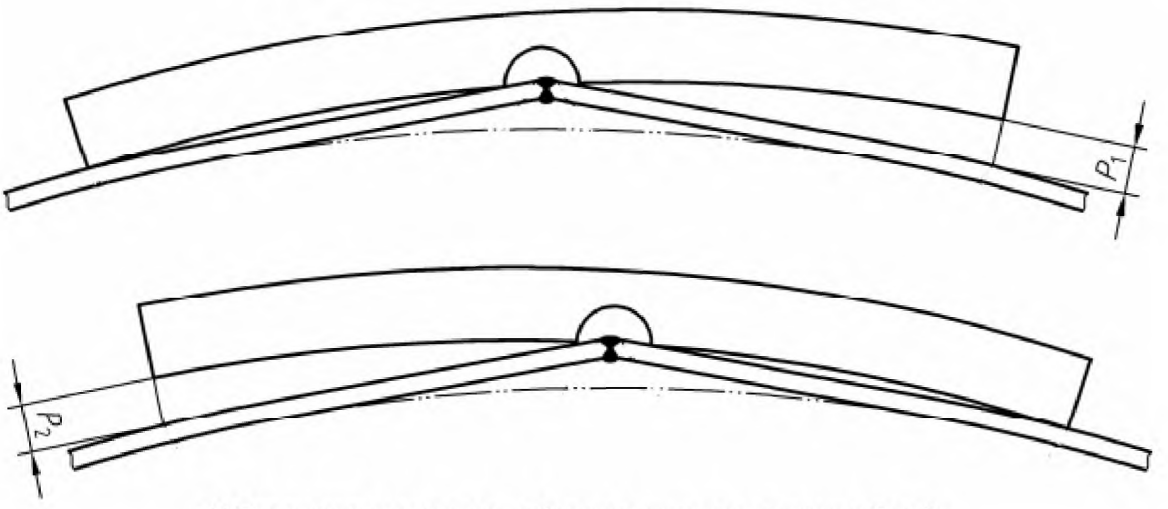
$$P = 0.25.(P_1 + P_2). \qquad (5.4\text{-}2)$$

Для вогнутых выступов следует измерить величину P.

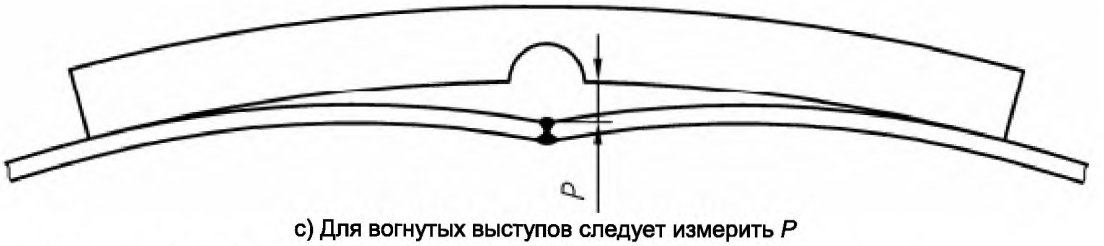
Внутренний радиус измерительного устройства должен быть равен номинальному наружному радиусу сосуда.



a) Вырез, достаточный для надлежащего очищения усиления шва



b) Для выпуклых выступов необходимо снять два показания P_1 и P_2



c) Для вогнутых выступов следует измерить P

Рисунок 5.4-1 – Детальный чертеж измерительного устройства, измерение выступов

Измерения следует выполнять с интервалами приблизительно 250 мм в продольных швах для определения точки максимальной величины выступа. Максимальная величина выступа для динамических и циклических нагрузок должна соответствовать указаниям таблицы 5.4-1, для статических нагрузок – указаниям таблицы 5.4-2.

Таблица 5.4-1 – Максимально допустимый выступ P в продольных сварных швах для динамических и циклических нагрузок

Размеры в миллиметрах

Толщина стенки сосуда e	Максимально допустимый выступ P
$e \leq 3$	1,5
$3 < e \leq 6$	2.5
$6 < e \leq 9$	3.0
$9 \leq e$	Наименьшее из значений e/3 или 10 мм

Требования к выступам для сосудов, работающих под давлением, с циклическими нагрузками см. также в EN 13445-3:2009 и EN 13445-5:2009, приложение G. Величина выступов, превышающая выше указанные требования, допускается только на основании специального анализа, но в любом случае не должна превышать значений, указанных в таблице 5.4-2.

Таблица 5.4-2 – Максимально допустимый выступ *P* в продольных сварных швах для сосудов, подвергающихся преимущественно нециклическим нагрузкам

Размеры в миллиметрах

Толщина стенки сосуда *e*	Максимально допустимый выступ *P*
$e / D \leq 0{,}025$	5
$e / D > 0{,}025$	10

Информацию о дополнительных ограничениях по выступам см. также в EN 13445-5:2009, в испытаниях сосудов группы 4.

5.4.5 Локальное утончение

5.4.5.1 Ограниченная площадь с толщиной менее значений ($e + c$), где e – необходимая толщина, и c – допущение на коррозию, должны допускаться без дополнительного расчета при условии, что соблюдены все следующие условия:

a) разница толщины стенок не должна превышать наименьшее значение из двух значений 0,05 e или 5 мм;

b) площадь с толщиной ниже минимальной расчетной толщины должна вписываться в окружность, диаметр которой не превышает наименьшее значение из двух значений e или 60 мм;

c) расстояние между двумя зонами от края до края с толщиной стенки ниже минимальной расчетной толщины должно быть как минимум равно ширине:

$$\sqrt{D \cdot e}\ ,$$

где D – равно наружному диаметру части, работающей под давлением;

e – необходимая толщина листа;

d) общая площадь с толщиной ниже минимальной расчетной толщины не должна превышать 2 % общей площади;

e) площадь не должна находиться на стыковом участке перегиба выпуклого торца.

5.4.5.2 Кроме этого, ограниченные площади с толщиной стенки ниже минимальной расчетной толщины стенок должны допускаться при условии, что:

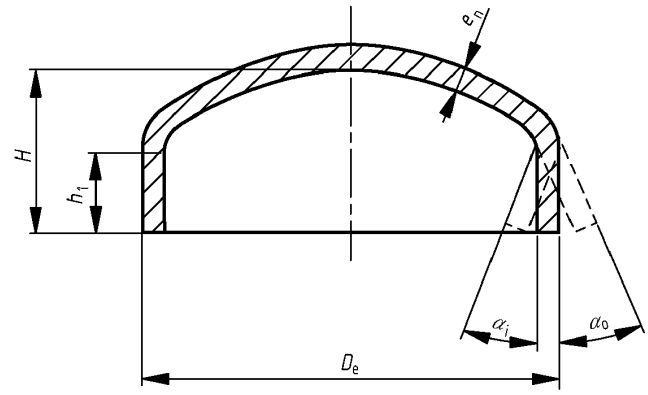
a) диаметр окружности, описывающей площадь с толщиной стенок ниже минимальной расчетной толщины стенок, не превышает диаметр рассчитанного приемлемого не усиленного зазора в соответствии с EN 13445-3:2009, с максимумом 200 мм;

b) остальная толщина стенки больше толщины плоского торца с таким же диаметром, и рассчитана с помощью C-коэффициента 0,35;

c) площади с пониженной толщиной стенок отмечены.

5.4.6 Выпуклые торцы

Выпуклые торцы (см. рисунок 5.4-2) должны быть приведены в соответствии с допустимыми отклонениями, указанными в таблице 5.4-3, за исключением того, что радиус купола не должен превышать радиус, определенный в проекте, а радиус перегиба не должен быть меньше значений, определенных в проекте.



Символ	Параметр	Единица измерения
D_e	Наружный диаметр	мм
H	Внутренняя высота	мм
h_1	Прямой край	мм
e_n [a]	Номинальная толщина стенки	мм
α_i	Отклонение прямого края от внутреннего бокового угла цилиндрической формы	градус
α_o	Отклонение прямого края от наружного бокового угла цилиндрической формы	градус
C	Длина окружности	мм
O	Отклонение закругленности $O = \frac{2 \cdot (D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100$	%

[a] Вместо номинальной толщины стенки выпуклые торцы можно регулировать с помощью минимальной толщины стенки $e_{мин} = e_n - \delta_e$. Информацию о значениях e_n и δ_e см. в EN 13445-3:2009, 5.2.3.

Рисунок 5.4-2 – Допустимые отклонения для выпуклых торцов

Таблица 5.4-3 – Допустимые отклонения для выпуклых торцов

<table>
<tr><th>Символ</th><th>Область применения</th><th>Предельные отклонения</th><th>Примечания</th></tr>
<tr><td rowspan="4">C</td><td>$D_e \le 300$ мм</td><td>±4 мм</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>Ферритные материалы:
300 мм < $D_e \le 1000$ мм
1000 мм < D_e</td><td>
±0,4 %
±0,3 %</td></tr>
<tr><td>Аустенитные материалы:
$D_e > 300$ мм</td><td>
+0,5 % / –0,7 %</td></tr>
<tr><td>Плакированные материалы:
$D_e > 300$ мм</td><td>±1 %</td></tr>
<tr><td>O</td><td>Для всех</td><td>≤ 1 %</td></tr>
<tr><td>H</td><td>Для всех</td><td>Большее значение:
либо +0,015 D_e,
либо +10 мм</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">e_n</td><td>$e_n \le 10$ мм</td><td>–0,3 мм</td><td rowspan="4">Если для выпуклого торца указана минимальная толщина стенки $e_{мин}$, отрицательный допуск (δ_e) на толщину не разрешается</td></tr>
<tr><td>10 мм < $e_n \le 30$ мм</td><td>–0,5 мм</td></tr>
<tr><td>30 мм < $e_n \le 50$ мм</td><td>–0,8 мм</td></tr>
<tr><td>$e_n > 50$ мм</td><td>–1,0 мм</td></tr>
<tr><td>α_i
α_o</td><td>Для всех</td><td>≤ 2°
≤ 5°</td><td>Для выпуклого торца, где на внешний боковой угол влияет осадка в результате процесса штамповки, отклонение прямого края от цилиндрической формы следует измерять только изнутри выпуклого днища</td></tr>
<tr><td colspan="4">Если не указано иначе на чертеже, длина прямого края h_1 должна соответствовать следующим условиям:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">h_1</td><td rowspan="5">Для всех</td><td rowspan="5">$h_1 = 3 \cdot e_n$
или
$h_1 = 3 \cdot e_{мин}$</td><td colspan="2">Тем не менее, длина прямого края не должна превышать:</td></tr>
<tr><td>Толщина стенки e_n или $e_{мин}$, мм</td><td>Длина прямого края, мм</td></tr>
<tr><td>50 < $e_n \le 80$</td><td>120</td></tr>
<tr><td>80 < $e_n \le 100$</td><td>100</td></tr>
<tr><td>100 < $e_n \le 120$</td><td>75</td></tr>
<tr><td>120 < e_n</td><td>50</td></tr>
</table>

5.5 Допустимые отклонения для сосудов, подвергающихся внешнему давлению

Допустимые отклонения должны соответствовать условиям EN 13445-3:2009, но ни в коем случае не должны превышать допустимые отклонения, определенные в 5.4.

5.6 Конструкционные допуски

Конструкционные допуски кроме допустимых отклонений, определенных в 5.4 и 5.5, не должны превышать значения, указанные в приложении А.

6 Детализация сварных швов

6.1 Общие положения

При выборе соответствующей детализации сварного шва производитель должен учитывать следующие моменты:

a) способ производства;

b) условия эксплуатации (например, коррозия);

c) возможность выполнения обязательных неразрушающих испытаний, необходимых в соответствии с EN 13445-5:2009;

d) проектные требования, определенные в 5.7 и в приложении A EN 13445-3:2009 для сварных швов.

Можно применять другую детализацию сварных швов.

Примечание 1 – В EN 13345-3:2009, приложение A, предоставлены чертежи соединений в законченном состоянии, проектные требования главным образом по геометрии, список применимых испытываемых групп, рекомендации по предотвращению образования продольных трещин и коррозии.

Примечание 2 – Основные детали сварных швов определены в EN 1708-1 [5]. Эта детализация представляет собой стабильную и распространенную практику. Не предусматривается, что она является обязательной или должна ограничивать разработку технологии сварки каким-либо способом, поэтому можно использовать другие применимые детали сварных швов.

6.2 Сосуды или части, состоящие более чем из одного слоя

Если сосуд или часть сосуда состоит из двух или более слоев, продольные сварные соединения смежных слоев должны располагаться в шахматном порядке на расстоянии $4 \cdot e$, минимум 10 мм или минимум 30 мм, если сосуд или часть сосуда либо работает в интервале ползучести, либо разработан с помощью проектирования на основе анализа – Прямое направление (приложение B, EN 13445-3:2009), либо разработан на основе положений, определенных в 6.3 EN 13445-3:2009.

6.3 Соединения внахлестку, шпунтовые соединения, постоянные подкладные ленты

Проектирование и детализация таких сварных швов должны соответствовать требованиям, определенным в EN 13445-3:2009.

7 Сварка

7.1 Общие положения

Сварка составных частей сосуда, предназначенного для работы под давлением, может выполняться, только если соблюдены следующие условия:

a) производитель придерживается спецификации технологии сварки;

b) технология сварки, выбранная производителем, аттестована для данной области применения;

c) сварщики и операторы сварки прошли квалификационные испытания для работы, порученной им, и их квалификация действительна.

7.2 Спецификация технологии сварки (WPS)

Производитель должен составить спецификации технологии сварки в соответствии с требованиями EN ISO 15609-1:2004 для всех сварных швов.

7.3 Аттестация спецификаций технологии сварки (WPAR)

Спецификации технологии сварки, используемые в производстве, должны быть оценены относительно соответствующей аттестации спецификации технологии сварки (WPAR).

Для подвергающихся давлению сварных швов в сосуде, предназначенном для работы под давлением, это достигается с помощью проведения приемочных испытаний технологии сварки в соответствии с EN ISO 15614-1:2004 или с помощью испытаний опытного образца в соответствии с EN ISO 15613:2004.

В дополнение к требованиям EN ISO 15614-1:2004 должны проводиться следующие испытания:

a) Для испытываемых листов в стыковых соединениях толщиной, равной или более 20 мм, согласно EN 876:1995 следует выполнять продольное испытание на растяжение для сварных швов, имеющих минимальный диаметр, равный или более 6 мм, и значения R_{eT}, R_m и A_5 должны соответствовать указанным минимальным требованиям по основному материалу или требованиям по расходным материалам для сварки, определенным в EN 13445-2:2002, 4.3.5, или же другим применимым значениям, специально учитываемым в проекте (например, аустенитный присадочный металл в сочетании с 9%-ной никелевой сталью).

Если расчетная температура превышает 300 °C, испытание следует проводить при расчетной температуре.

Примечание 1 – Очень важно, чтобы было указано, где механические характеристики сварного шва ниже характеристик основных материалов по проекту, например, сварка 9%-ной никелевой стали выполняется с использованием аустенитного присадочного металла.

b) Необходимо выполнять микроскопическое испытание для материала групп 8.2 и 10 согласно EN 13445-2:2009, таблица A-1.

– Требования по сварным швам, материал группы 8.2: микроскопическое испытание должно продемонстрировать приемлемую микроструктуру.

Примечание 2 – Редкие изолированные микротрещины длиной ≤ 1,5 мм могут быть допустимы, но должны быть указаны в отчете.

– Требования по сварным швам, материал группы 10: микроскопическое испытание должно продемонстрировать приемлемую микроструктуру.

– Содержание феррита в зоне термического влияния (HAZ) должно быть между 30 % минимум и 70 % максимум. В зоне термического влияния высоких температур на расстоянии около двукратного размера зерна от линии оплавления, содержание феррита должно быть равно или менее 85 %. Если используемые расходные материалы для сварки относятся к типу аустенитно-ферритного согласования, содержание феррита в металле сварного шва также должен быть между 30 % и 70 %. Содержание феррита следует измерять металлографическим способом. Если расходные материалы для сварки имеют несогласованный тип (например, аустенитный), требование по содержанию феррита в металле сварного шва не применяется.

Примечание 3 – Предельное отклонение металлографических измерениий часто составляет ±5 %.

c) Испытание на удар: испытания и критерии приемки должны соответствовать требованиям EN ISO 15614-1:2004; кроме этого должны применяться требования по испытанию на удар согласно EN 13445-2:2009, приложение B.

Требования для аустенитных сталей см. также в 8.2a)2) данной части стандарта.

Для сварных швов, кроме швов, подвергающихся давлению, напрямую примыкающих к сосудам, предназначенным для работы под давлением, например, сборные ободы, опорные стойки и т. д., спецификации технологии сварки можно принимать с помощью документов об утверждении технологии сварки, выполняемых в соответствии с EN ISO 15611:2003 и EN ISO 15612:2004.

Если необходимо, документы об утверждении технологии сварки должны быть одобрены компетентной третьей стороной, которая должна выполнить проверки и испытания согласно указаниям стандарта EN ISO 15614-1:2004 и данного пункта.

Примечание 4 – Для всех контрольных отрезков для испытаний допускается заключение производителем контракта с субподрядчиком на подготовку образцов для испытаний и на их испытание, но не на сварку образцов для испытаний.

7.4 Квалификация сварщиков и операторов сварки

Сварщики и операторы сварки должны получить разрешение в соответствии с EN 287-1:2004 или EN 1418:1997 соответственно.

Примечание 1 – Обучение, наблюдение и контроль сварщиков и операторов сварки относится к обязанностям производителя.

Производитель должен поддерживать обновляемый список сварщиков и операторов сварки, а также регистрацию их квалификационных испытаний.

В соответствии с условиями 287-1:2004 необходимо проводить продление (каждые 6 мес) и повторные квалификационные испытания (каждые два года).

Свидетельство, разрешающее проведение продления и повторных квалификационных испытаний, необходимо утверждать как минимум каждые два года.

Примечание 2 – Могут привлекаться сварщики, не входящие в штат производителя, при условии, что находятся под полным техническим контролем производителя и выполняют работы в соответствии с требованиями производителя.

7.5 Присадочные металлы и вспомогательные материалы

Технические условия поставки расходных материалов для сварки должны соответствовать требованиям EN 13445-2:2009. Присадочные металлы и вспомогательные материалы необходимо регистрировать и они должны быть пригодны для использования с основными металлами для способов сварки и условий изготовления.

Хранение и обращение с любыми расходными материалами для сварки должно осуществляться аккуратно и использовать их следует в соответствии с условиями, определенными производителем расходных материалов для сварки.

Примечание – Это особенно важно, если указано прокаливание и высушивание.

Электроды, присадочную проволоку и прутки и флюсы, имеющие признаки повреждения или ухудшения состояния, такие как трещины или отслоение покрытия, ржавая или загрязненная электродная проволока, нельзя использовать.

7.6 Подготовка соединений под сварку

Материалы следует разрезать по размеру и форме с помощью процесса механической или термической резки или комбинации этих видов резки.

Примечание 1 – Резку можно выполнять перед операциями или после операций штамповки.

Если применяется термическая резка, необходимо принимать меры, обеспечивающие, что кромки не будут подвергаться отрицательному воздействию отверждения.

Примечание 2 – Для некоторых материалов это требует предварительного нагревания перед резкой.

Края ферритных сталей, которые обрезаются с помощью термической процедуры, необходимо зачищать с помощью шлифования или обработки на станке, если это требуется согласно спецификации технологии сварки.

Свариваемые поверхности необходимо тщательно очищать от оксида, нагара, масляных смазочных материалов и от других посторонних веществ, они не должны иметь дефектов, таких как вкрапления, трещины и расслоения, которые могут оказать отрицательное воздействие на качество сварного шва.

Свариваемые края следует удерживать в неподвижном положении либо механически, с помощью временных креплений, либо с помощью прихваточных сварных швов, либо с помощью комбинации этих способов. Прихваточные сварные швы должны удаляться или снова оплавляться в наплавленном валике сварного шва (см. примечание 3). В обоих случаях производитель должен обеспечить все меры предосторожности для того, чтобы прихваточные сварные швы или временные крепления, или комбинация этих способов, не создавали металлургических дефектов или нарушение однородности.

Примечание 3 – Допускается применение прихваточных сварных швов и их включение в завершенный сварной шов, если они были выполнены в соответствии с утвержденной технологией сварки прошедшими квалификацию сварщиками.

Если используются односторонние сварные швы, производитель должен обеспечить соответствие выравнивания и зазора между свариваемыми краями для необходимой глубины проплавления в вершине разделки кромок сварного шва.

В течение всей процедуры сварки, свариваемые края должны удерживаться так, чтобы были соблюдены допустимые отклонения на выравнивание, определенные в 5.2.

7.7 Выполнение сварных соединений

Сварщик должен иметь применяемую спецификацию технологии сварки или подробные рабочие инструкции на основе утвержденной спецификации технологии сварки, определяющие все существенные переменные величины, регулируемые непосредственно сварщиком.

В зависимости от способа сварки после выполнения каждого сварного шва необходимо удалять окалину, очищать сварной шов, а также устранять поверхностные дефекты, чтобы добиться надлежащего качества металла сварного шва.

Если способ сварки не обеспечивает эффективного и полного проплавления, необходимо удалить вторую сторону сварного соединения до глубокого металла с помощью механической или термической обработки или с помощью шлифовки.

Следует избегать кратеров в результате касания электродом на частях сосуда, предназначенного для работы под давлением, по краям подготовки под сварку. Если случайно возникают кратеры, необходимо выполнять ремонт поврежденной зоны (включая зону, поврежденную накаливанием) в соответствии с 11.1.

Необходимо регистрировать документально, кто из сварщиков или из операторов сварки выполнял каждый сварной шов.

Примечание – Регистрацию можно выполнять с помощью маркировки каждого сварного шва идентификационной отметкой сварщика или же с помощью записи, обеспечивающей отслеживание работы сварщика в течение всего строительства сосуда, работающего под давлением.

7.8 Крепления, опоры и элементы жесткости

Крепления, временные или постоянные, опоры и элементы жесткости должны привариваться к части, подвергающейся давлению, квалифицированными сварщиками с использованием аттестованной технологии.

Временные крепления должны удаляться способом, который не влияет отрицательно на характеристики металла части, работающей под давлением, к которой они привариваются. Необходимо следить, чтобы в зоне удаляемого крепления не было поверхностных трещин. Ремонт должен выполняться в соответствии с пунктом 11.2.

Холодно штампованные выпуклые торцы из ферритных сталей без последующей термической обработки нельзя сваривать или локально нагревать до температур от 550 °С до 750 °С на стыковом участке перегиба.

7.9 Предварительное нагревание

Производитель в спецификации технологии сварки должен указать температуры предварительного нагревания и, если это важно, промежуточные температуры, необходимые для сварки. Температуру предварительного нагревания следует определять с учетом состава и толщины свариваемого металла, используемого способа сварки и параметров дуги.

Примечание – Указания по предварительному нагреванию ферритных сталей даны в EN 1011-2 [4], рекомендации по контролю предварительного нагревания приводятся в EN ISO 13916 [6].

Температуру предварительного нагревания, указанную в спецификации технологии сварки, необходимо поддерживать во время выполнения прихваточного сварного шва и в течение всей процедуры сварки. Соблюдение температуры предварительного нагревания следует постоянно контролировать с помощью подходящих измерительных инструментов или градусников.

Если температура основного металла вблизи соединения ниже +5 °С, сварку выполнять нельзя.

8 Изготовление и контроль сварных швов. Производственные испытания

8.1 Общие положения

Для осуществления контроля фактического качества изготовления и соответствия механических характеристик сварных швов спецификации необходимо выполнять сварку и проверку листов для производственного испытания в соответствии с 8.2 и 8.3.

Листы производственного испытания применяются для контроля продольных корпусу и кольцевых сварных швов (см. EN 13445-3:2009).

Особые требования применяются к сосудам и к частям сосудов, изготовленным из сталей термомеханического проката (группа 2.1) и из закаленных и отпущенных сталей (группа 3.1). См. 8.2f).

Примечание – Если в сосуде имеется один или несколько продольных швов, испытательные листы там, где это приемлемо, следует закреплять к листу корпуса с одного конца сварного шва так, чтобы свариваемые кромки на испытательном листе являлись продолжением и повторением соответствующих кромок продольных швов. Металл сварного шва должен быть размещен на испытательных листах вдоль выполнения соответствующего продольного сварного шва так, чтобы процесс, способ и технология сварки совпадали. Если требуется сваривать испытательные листы по отдельности, используемая технология должна повторять технологию, используемую в изготовлении сосуда.

Если возникают сложности с электрошлаковыми сварными швами в перемещении от сварных швов с разными изгибами (например, от цилиндра к плоскому листу контрольного отрезка), испытательный лист можно сваривать отдельно либо непосредственно перед выполнением или сразу после выполнения сварных швов сосуда, с помощью одинаковых параметров сварки.

Когда испытательные листы требуются для кольцевых сварных швов, их следует сваривать отдельно от сосуда при условии, что способ, используемый в их выполнении, дублирует, насколько это возможно, технологию, используемую при выполнении соответствующих сварных швов сосуда.

8.2 Контрольные критерии

Далее приводятся критерии определения количества листов для производственного испытания. Они зависят от материала, длины сварных соединений, толщины, термической обработки после сварки (PWHT) и коэффициента соединения для каждой аттестованной технологии сварки. Особые положения указаны для испытательной группы 4. Эксплуатационные испытания листов для производ-

ственного испытания зависят от материала и толщины. Кроме того, далее приводятся также дополнительные специальные требования к испытаниям на удар.

a) В дополнение к требованиям, определенным в c) – f), лист для производственного испытания должен пройти также испытания на удар (в соответствии с требованиями EN 13445-2:2009, B.3) в следующих ситуациях.

1) Для ферритных и аустенитно-ферритных сталей:

– Если толщина материала превышает 12 мм, а необходимая температура удара T_{KV} ниже –10 °C, то температура испытания на удар для аттестационного испытания технологии сварки для сварного шва, обеспечивающая достижение необходимой энергетики удара, должна быть не более чем на 15 °C ниже температуры T_{KV}.

– Если толщина материала больше 6 мм, но менее или равна 12 мм, а необходимая температура удара T_{KV} ниже –30 °C, температура испытания на удар для аттестационного испытания технологии сварки для сварного шва, обеспечивающая достижение необходимой энергетики удара, должна быть не более чем на 15 °C ниже температуры T_{KV}. Эти требования приводятся в таблице 8.2.

Если испытательный лист требуется согласно c) – f), то образцы для испытания на удар можно отрезать от испытательного листа вместе с образцами для других необходимых испытаний. Если испытательный лист не требуется согласно c) – e), то короткий испытательный лист длиной, достаточной только для проведения необходимых испытаний на удар плюс допущение для повторных испытаний следует подготавливать с периодичностью один испытательный лист на каждый сосуд, свариваемый таким же способом, как продольные сварные швы. Если одновременно сваривается несколько одинаковых сосудов одинаковым способом сварки с использованием одной партии расходных материалов для сварки, они могут быть представлены одним производственным испытанием для испытаний на удар максимум до 25 м продольного сварного шва по соглашению ответственных сторон, если это необходимо.

Таблица 8.2 – Испытательный лист для обязательного производственного контроля для испытаний на удар

Толщина сварного шва	$T_{KV} \geq -10$ °C	$T_{KV} < -10$ °C ≥ –30 °C		$T_{KV} < -30$ °C	
		$T_{PQR} \leq T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} > T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} \leq T_{KV} - 15$ °C	$T_{PQR} > T_{KV} - 15$ °C
≤ 6 мм	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
> 6 ≤ 12 мм	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
> 12 мм	Нет	Нет	Да	Нет	Да
T_{PQR} – температура испытания на удар, применяемая в соответствующем испытании на аттестацию технологии сварки для достижения необходимой энергетики удара. T_{KV} – необходимая температура испытания на удар согласно EN 13445-2:2009, приложение B.					

Примечание 1 – Для углеродистых сталей в группах 1.1 и 1.2: Когда данные PQR получены при температуре испытания, отличающейся от необходимой температуры испытания на удар, можно выполнить преобразование в температуру общей основы по принципу 1,5 Дж на °C. Такое преобразование допускается только в интервале от 18 Дж до 55 Дж ударной вязкости по Шарпи, определяемой на образцах с V-образным надрезом. Значения, превышающие 55 Дж, должны рассматриваться как 55 Дж. Соотношение 1,5 Дж на °C можно использовать также для определения регулировки температуры при попытке сравнить данные при общих уровнях энергетики удара, однако оно не может превышать понижения на 15 °C.

Пример 1 – Преобразование 33 Дж при T_{PQR} –20 °C по отношению к 40 Дж:
33 Дж при –20 °C можно рассматривать как эквивалент 40 Дж при –15 °C.
Пример 2 – Преобразование 100 Дж при T_{PQR} –20 °C по отношению к 40 Дж (ограничение максимум до 55 Дж):
100 Дж при –20 °C можно рассматривать как эквивалент 40 Дж при –30 °C.
Пример 3 – Преобразование 100 Дж при T_{PQR} –20 °C по отношению к 27 Дж (ограничение максимум до 55 Дж и понижение максимум на 15 °C):
Для 100 Дж при –20 °C можно использовать эквивалент 27 Дж при температуре не ниже –35 °C.

2) Для аустенитных сталей:

Когда минимальная расчетная температура ТМ сосуда ниже –105 °C, сварной шов и зоны термического влияния должны соответствовать минимум 40 Дж во время испытания при температуре –196 °C.

Примечание 2 – В практических целях температура испытания –196 °C стандартизируется для испытания аустенитных сталей на основе какой-либо расчетной температуры ниже –105 °C.

Для присадочных металлов типа 19 9 L, 19 9 Nb, 19 12 3 L, 19 12 3 L Si, 19 13 4 N L, 25 20 L, 25 22 2 N L, 27 31 4 Cu L и присадочных металлов на основе никеля это можно продемонстрировать в аттестационных испытаниях технологии, и дополнительные листы для производственного испытания не требуются.

Для металлов сварных швов с другим составом и там, где содержание ферритов в металлах сварных швов превышает 12 FN, каждая партия металлов сварных швов должна показывать необходимые характеристики ударной вязкости, или для каждого сосуда должны проводиться производственные испытания листа на характеристику ударной вязкости при температуре –196 °C.

Примечание 3 – Обозначения присадочных металлов см. в EN ISO 14343.

b) Для сварных швов в сосудах испытательной группы 4 (см. EN 13445-5:2009) не требуются листы для производственных испытаний.

c) Существует строгая взаимосвязь между спецификацией технологии сварки и механическими характеристиками, полученными в аттестационном испытании технологии для группы материалов 1.1. Благодаря допустимым отклонениям для группы материалов 1.1 на переменные величины способа сварки, производственные испытания не требуются, если соблюдены все следующие условия:

1) Выполнены требования по качеству сварки согласно EN ISO 3834-2:2005 или EN ISO 3834-3:2005.

2) Процесс сварки полностью механизирован (см. ISO 857-1 [3]), что обеспечивает то, что надлежащим образом применяется технология сварки.

3) В спецификации технологии сварки не имеется требований к предварительному нагреванию или к термической обработке после сварки (PWHT).

4) Толщина стенок $e_n \leq 30$ мм.

d) Для сосудов, изготавливаемых из материалов групп 1.1, 1.2 и 8.1, должны применяться следующие положения:

1) Для продольных сварных швов один испытательный лист на каждый сосуд, если коэффициент соединения составляет 1,0.

2) Один испытательный лист на каждые 200 м продольных сварных швов, если коэффициент соединения составляет 0,85, или сварных швов в днище, за исключением полусферического днища, если коэффициент соединения составляет 1,0.

3) Один испытательный лист в год, если кольцевые швы выполняются с применением технологии, включающей в себя шпунтовые соединения или постоянные подкладные полосы (см. 6.3).

После того, как испытания успешно прошли 10 последовательных испытательных листов, испытания можно сокращать следующим образом:

4) Один испытательный лист на каждые 200 м продольных швов, если коэффициент соединения составляет 1,0.

5) Один испытательный лист на каждые 1500 м продольных швов, если коэффициент соединения составляет 0,85, или сварных швов в днище, за исключением полусферического днища, если коэффициент соединения составляет 1,0.

6) Один испытательный лист в год, если кольцевые сварные швы выполняются с применением технологии, включающей в себя шпунтовые соединения или постоянные подкладные полосы (см. 6.3).

e) Для сосудов, изготовленных из материалов других групп, кроме материалов, указанных в d), должны применяться следующие положения:

1) Для продольных сварных швов – один испытательный лист на каждый сосуд, если коэффициент соединения составляет 1,0.

2) Один испытательный лист на каждые 100 м продольных сварных швов, если коэффициент соединения составляет 0,85, или сварных швов в днище за исключением полусферического днища, если коэффициент соединения составляет 1,0.

3) Если кольцевые сварные швы выполняются с применением технологии, отличающейся от технологии для продольных соединений, используются два испытательных листа в год или один испытательный лист на каждый сосуд в зависимости от меньшего объема испытаний.

После того, как испытания успешно прошли 50 последовательных испытательных листов, испытания можно сокращать следующим образом:

4) Один испытательный лист на каждые 50 м продольных сварных швов, если коэффициент соединения составляет 1,0.

5) Один испытательный лист на каждые 500 м продольных сварных швов, если коэффициент соединения составляет 0,85, или сварных швов в днище, за исключением полусферического днища, если коэффициент соединения составляет 1,0.

6) Если кольцевые сварные швы выполняются с применением технологии, отличающейся от технологии для продольных соединений, используются два испытательных листа в год или один испытательный лист на каждый сосуд в зависимости от меньшего объема испытаний.

f) Для сосудов, изготовленных из сталей термомеханического проката (группа 2.1), и из закаленных и отпущенных сталей (группа 3.1), независимо от коэффициента соединения, должны применяться следующие положения:

1) Для сосудов, не подвергающихся термической обработке после сварки, должны применяться положения, определенные в d).

2) Для продольных швов, выполняемых методом автоматической сварки, используется один испытательный лист на каждый сосуд, на каждую спецификацию технологии сварки, на каждую загрузку в печь для литья и термической обработки после сварки.

3) Для кольцевых сварных швов, выполняемых методом автоматической сварки, если они свариваются с помощью такой же спецификацию технологии сварки, как и продольные сварные швы, дополнительные испытательные листы не требуются. Если они свариваются с помощью спецификации технологии сварки, отличной от спецификации, используемой для продольных сварных швов, требуется один испытательный лист на каждый сосуд, на каждую спецификацию технологии сварки, на каждую загрузку в печь для литья и термической обработки после сварки.

4) Для сварных швов, выполняемых с помощью сварки вручную, требуется один испытательный лист на каждый сосуд, на каждую спецификацию технологии сварки, на каждое местоположение сварки, на загрузку в печь для литья и термической обработки после сварки.

После того, как испытания успешно прошли 10 последовательных испытательных листов, испытания можно сокращать следующим образом:

5) Для продольных сварных швов, выполняемых автоматической сваркой – один испытательный лист на каждый сосуд.

6) Для сварных швов, выполняемых сваркой вручную – один испытательный лист на каждый сосуд в месте наиболее сложной сварки.

В производственном испытании листа должны учитываться параметры для термической обработки (термических обработок) после сварки сосудов, предназначенных для работы под давлением.

8.3 Объем испытаний

Тип и количество испытательных образцов, взятых из испытательного листа после завершающей термической обработки, должны соответствовать таблице 8.3-1 в отношении конкретного материала и применяемой толщины.

Примечание – Количество и тип испытательных образцов, взятых из испытательного листа, зависят от группы материала и толщины.

Испытательный лист должен иметь достаточный размер, позволяющий отбирать необходимые образцы, включая допуски на повторные испытания.

Перед резкой образцов для испытания, испытательный лист не должен подвергаться неразрушающим испытаниям для того, чтобы обеспечить взятие испытательных образцов из качественных участков.

Таблица 8.3-1 Производственное испытание испытательных листов

Группа материалов	Толщина испытательных листов e [a], мм	Образцы для испытания [b, c, d]
1.1 1.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1Ma
	$12 < e \leq 35$	3 IW, 1 Ma
	$35 < e$	3 IW, 1 TT, 1 LT, 1 Ma
1.3 2.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
3.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
4	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
5	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e \leq 30$	3 IW, 3 IH (> 3 % Cr), 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
	$30 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
6	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
7.1 7.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 Ma, HT
8.1	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma
	$12 < e$	3 IW, 1 TT, 1 Ma
8.2	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Mi
	$12 < e$	3 IW, 1 TT, 1 Mi
9	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Ma, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Ma, HT
10	$e \leq 12$	1 FB, 1 RB, 1 TT, 1 Mi, HT
	$12 < e$	3 IW, 3 IH, 1 TT, 1 LT, 1 Mi, HT

[a] Толщина наиболее тонкого листа.
[b] Если требования к испытанию на удар соответствуют указаниям EN 13445-2:2009, применяется приложение B:
– при температуре испытания на удар $T_{kv} \geq -30$ °C испытания на удар IW и IH требуются для толщины $e > 12$ мм;
– при температуре испытания на удар $T_{kv} < -30$ °C испытания на удар IW и IH требуются для толщины $e > 6$ мм.
[c] Информацию об ограничениях толщины для испытаний LT см. в 8.4.3.
[d] Расшифровка обозначений таблицы 8.3-1 приводится в таблице 8.3-2.

Таблица 8.3-2 – Образцы для испытаний

Описание	Сокращение
Испытание на изгиб лицевой поверхности шва наружу согласно EN 910:1996	FB
Испытание на изгиб кромки шва наружу согласно EN 910:1996	RB
Поперечное испытание на растяжение согласно EN 895:1995	TT
Испытание продольного сварного шва на растяжение согласно EN 876:1995	LT
Испытание на удар; покрытие, полученное наплавкой с помощью дуговой сварки согласно EN 875:1995	IW
Испытание на удар; зона термического влияния (HAZ) согласно EN 875:1995	IH
Макроскопическое испытание согласно EN 1321:1996	Ma
Микроскопическое испытание согласно EN 1321:1996	Mi
Испытание на твердость согласно 1043:1995-1	HT

8.4 Проведение испытаний и критерии приемки

8.4.1 Общие положения

Необходимо изготовить отдельные испытательные образцы, выполнить их испытания, и они должны соответствовать определенным критериям приемки.

8.4.2 Поперечное испытание на растяжение

Испытания и критерии приемки должны соответствовать положениям, приведенным в EN ISO 15614-1:2004.

Примечание – Особое внимание следует уделить ситуации, когда механические характеристики сварного шва ниже характеристик основных материалов по проекту, например, 9%-ные никелевые стали, свариваемые с аустенитным присадочным металлом.

8.4.3 Испытание на растяжение продольного сварного шва

Для испытательных листов в стыковых соединениях толщиной, равной и более 20 мм, испытание на растяжение продольного сварного шва с минимальным диаметром, равным и более 6 мм, должно проводиться согласно EN 876:1995, и значения R_{eT}, R_m и A_5 должны соответствовать указанным требованиям по основному материалу или по другим важным значениям, учитываемым при проектировании (например, аустенитный присадочный металл в 9%-ной никелевой стали). Если температура проектирования выше 300 °C, то испытание должно проводиться при температуре проектирования.

Примечание – Особое внимание следует уделить ситуации, когда механические характеристики сварного шва ниже характеристик основных материалов по проекту, например, 9%-ные никелевые стали, свариваемые с аустенитным присадочным металлом.

8.4.4 Испытание на удар

Испытания и критерии приемки должны соответствовать EN ISO 15614-1:2004; кроме этого, там, где это приемлемо, должны соблюдаться требования к испытаниям на удар согласно EN 13445-2:2009, приложение B.

8.4.5 Испытание на изгиб

Испытания и критерии приемки должны соответствовать EN ISO 15614-1:2004.

8.4.6 Макроскопическое испытание

Испытания и критерии приемки должны соответствовать EN ISO 15614-1:2004.

Макроскопическое испытание должно продемонстрировать прочные образования наплавленных валиков и глубокое проплавление.

8.4.7 Микроскопическое испытание

– Требования по сварным швам, материал группы 8.2: микроскопическое испытание должно продемонстрировать надлежащую микроструктуру.

Примечание – Допускаются редкие изолированные микротрещины длиной ≤ 1,5 мм, но должны быть указаны в отчете.

– Требования по сварным швам, материал группы 10: микроскопическое испытание должно продемонстрировать надлежащую микроструктуру.

Содержание феррита в зоне термического влияния (HAZ) должно быть от 30 % минимум до 70 % максимум. В зоне термического влияния высоких температур на расстоянии приблизительно двух размеров зерна от линии проплавления содержание феррита должно быть равно или более 85 %. Когда используемые расходные материалы для сварки относятся к типу аустенитно-ферритного согласования, содержание феррита в металле сварного шва также должно быть между 30 % минимум и 70 % максимум. Если расходные материалы для сварки относятся к несогласованному типу (например, аустенитный металл), требование по содержанию феррита в металле сварного шва не применяется.

Примечание – Предельные допустимые отклонения металлографических измерений часто составляют порядка ±5 %.

8.4.8 Испытание на твердость

Испытания и критерии приемки должны соответствовать EN ISO 15614-1:2004.

8.4.9 Повторные испытания

Если отдельные испытания не соответствуют требованиям, указанным в настоящем стандарте, и необходимо изучить причины, или если неудовлетворительный результат получен на основе неправильного метода испытания или вследствие локально ограниченного дефекта, необходимо выполнить следующие повторные испытания:

a) Испытание на растяжение: испытание следует провести для двух образцов для испытания на растяжение, взятых из одного испытательного листа, требованиям должны соответствовать результаты обоих испытаний.

b) Испытание на изгиб: испытание следует провести для двух образцов для испытания на изгиб, взятых из одного испытательного листа; требованиям должны соответствовать результаты обоих испытаний.

c) Испытание на удар: испытание следует провести для трех образцов с V-образным надрезом по Шарпи, взятых из одного испытательного листа.

1) Среднее значение, полученное на основе всех шести отдельных образцов, должно быть равно или более указанного минимального значения.

2) Не более чем два из шести отдельных значений должны быть меньше указанного минимального значения.

3) Не более одного из шести отдельных значений должно быть меньше 70 % указанного минимального значения.

Если какое-либо из повторных испытаний оказывается неудачным и не удовлетворяет требованиям, то соединения/сосуды, представленные испытательным листом, должны быть признаны несоответствующими данной части настоящего европейского стандарта.

Примечание – Причиной разброса результатов механических испытаний, которые случайно оказываются ниже уровня согласованных технических условий, могут быть факторы производства.

8.4.10 Протокол испытаний

Должны составляться отчеты об испытаниях, подтверждающие соответствие результатов испытаний и удовлетворение полученных значений указанным требованиям.

9 Формовка частей, предназначенных для работы под давлением

9.1 Общие положения

Производители формованных частей, предназначенных для работы под давлением, должны вести и хранить документацию по процедурам формовки и последующей термической обработки.

Примечание – Формованные части, предназначенные для работы под давлением, могут изготавливаться с помощью холодной или горячей штамповки. К формованным частям, предназначенным для работы под давлением, могут относиться выпуклые торцы, сегменты, цилиндры и другие формованные части. Формованные части, предназначенные для работы под давлением, могут состоять из отдельных деталей, которые свариваются вместе и после этого проходят процедуру формовки.

9.2 Коэффициент деформации

9.2.1 Выпуклые округлые изделия

Для расчета деформации F для всех выпуклых округлых изделий (например, эллиптические или коробовые днища, сферические крышки) и для всех типов формовочных процессов должно использоваться следующее уравнение (9.2-1):

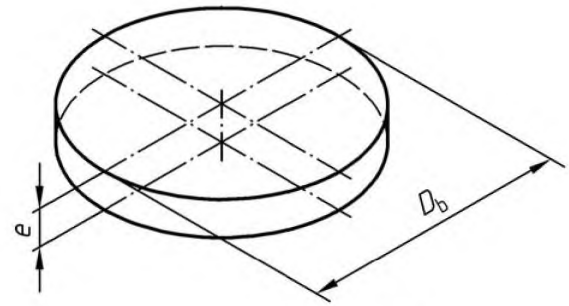
$$F = 100 \ln \frac{D_{b(x)}}{D_e - 2e} [\%], \qquad (9.2\text{-}1)$$

где e – толщина начального или промежуточного продукта;

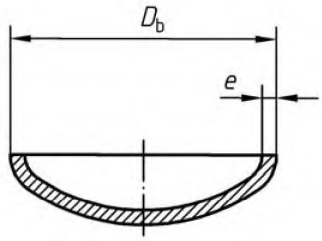
$D_{b(x)}$ – диаметр заготовки или диаметр промежуточного продукта;

D_e – наружный диаметр готового изделия;

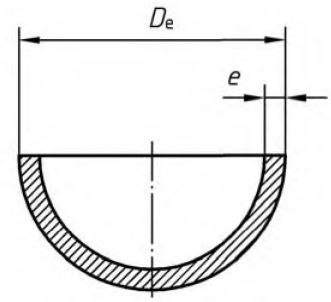
ln – натуральный логарифм.



a) Начальный продукт [a]



b) Промежуточный продукт [a]



c) Готовое изделие

[a] Что касается различных этапов формовки без промежуточной термической обработки (см. 9.4.2), деформация представляет собой общий объем деформации отдельных этапов формовки. Что касается промежуточной термической обработки, деформация представляет собой деформацию, получающуюся после последней предшествующей обработки.

Рисунок 9.2-1 – Формовка выпуклых округлых изделий

9.2.2 Цилиндры и конусы, изготавливаемые с помощью прокатки

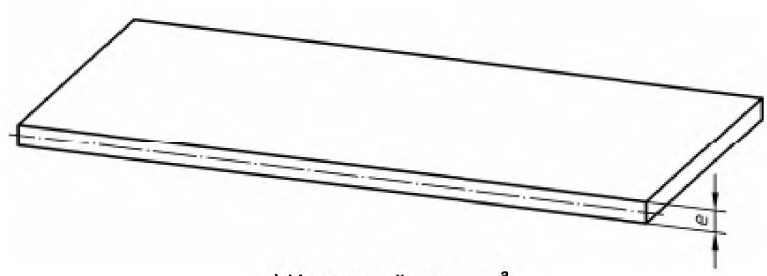
Для расчета деформации F для цилиндров и конусов, изготавливаемых с помощью прокатки, должно использоваться следующее уравнение (9.2-2):

$$F = \frac{50e}{R_m} \cdot \left(1 - \frac{R_m}{R_{mo}}\right)[\%], \qquad (9.2\text{-}2)$$

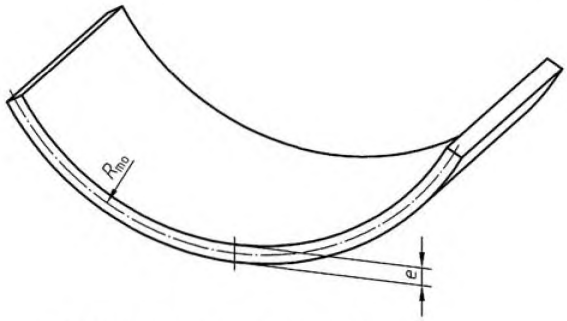
где e – толщина начального или промежуточного продукта;

R_{mo} – средний радиус промежуточного продукта (если радиус неформованного начального продукта $R_{mo} = \infty$);

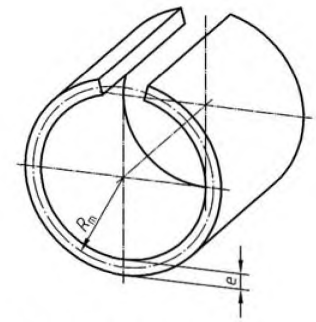
R_m – средний радиус готового изделия; для конусов следует использовать средний радиус наименьшего диаметра.



a) Начальный продукт [a]



b) Промежуточный продукт [a]



c) Готовое изделие

[a] Что касается различных этапов формовки без промежуточной термической обработки (см. 9.4.2), коэффициент деформации представляет собой общую сумму коэффициентов деформации отдельных этапов формовки. Что касается промежуточной термической обработки, деформация представляет собой деформацию, получающуюся после последней предшествующей обработки.

Рисунок 9.2-2 – Формовка цилиндров и конусов

9.2.3 Другие типы изделий

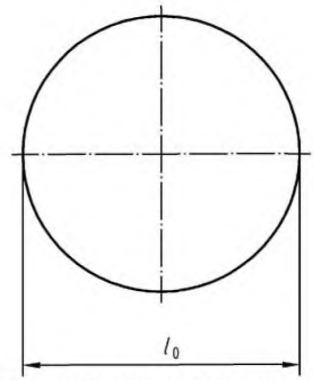
Для расчета деформации (F) всех остальных типов формованных изделий должно использоваться следующее уравнение (9.2-3) (см. также рисунок 9.2-3):

$$F = \frac{200}{\sqrt{3}}\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_1F_2}\,[\%], \qquad (9.2\text{-}3)$$

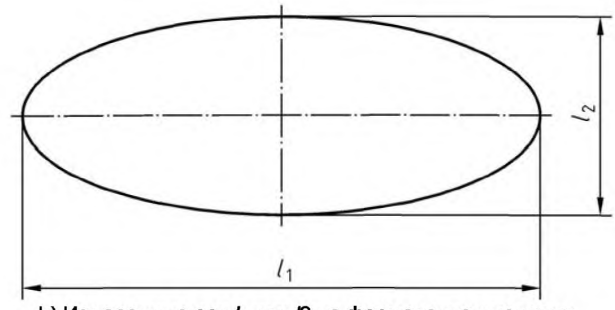
где $F_1 = \ln\frac{l_1}{l_0}$, $F_1 = \ln\frac{l_2}{l_0}$;

ln – натуральный логарифм;

l_0 – диаметр окружности, обозначенной на листе перед формовкой на участке, форма которого будет изменяться с максимальной деформацией. После формовки окружность диаметром l_0 трансформируется в эллипс с большой осью l_1 и малой осью l_2.



a) Окружность l_0, обозначенная на начальном продукте



b) Измеренные оси l_1 или $l2$ на формованном изделии

Рисунок 9.2-3 – Формовка других изделий, кроме цилиндров, конусов и выпуклых округлых изделий

9.2.4 Гибка труб

Для расчета деформации F изгибов труб должно использоваться следующее уравнение (9.2-4) (см. также рисунок 9.2-4):

$$F = 100\frac{D_e}{2R}[\%], \tag{9.2-4}$$

где R – радиус изгиба для трубы;

D_e – наружный диаметр трубы.

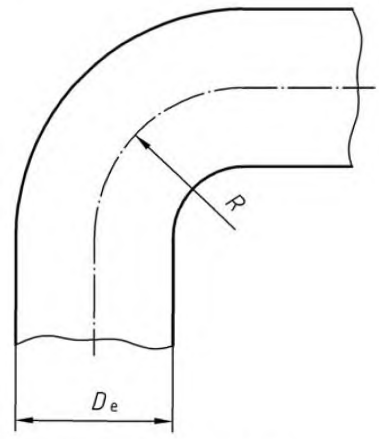


Рисунок 9.2-4 – Гибка трубы

9.2.5 Формовка сегментов

Для расчета деформации F сегментов, например, многосекционные коробовые днища или сферы должно использоваться следующее уравнение (9.2-5) (см. также рисунок 9.2-5):

$$F = \frac{100e}{R}[\%], \tag{9.2-5}$$

где e – толщина начального продукта;

R – наименьший средний радиус сегмента (средний радиус сферического сегмента, средний радиус перегиба стыкового сегмента коробового днища).

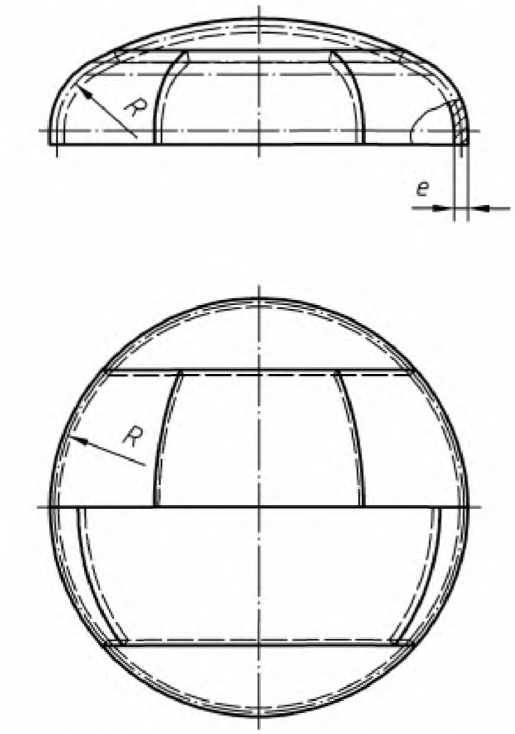


Рисунок 9.2-5 – Формовка сегментов

9.3 Методы формовки

9.3.1 Холодная штамповка

Холодную штамповку материалов групп 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 3.1, 4, 5, 6 и 9 следует выполнять при температурах минимум на 30 °С ниже максимально допустимой температуры для снятия упругих деформаций, см. таблицу 10.1-1.

Для сталей TMCP максимально допустимая температура должна быть 580 °С.

Примечание – Тем не менее, при промежуточных температурах в интервале от 200 °С до 350 °С могут возникать проблемы вязкого разрушения в результате динамического деформационного старения в данном температурном интервале.

Холодную штамповку материалов групп 8.1, 8.2 и 10 следует выполнять при температурах ниже 300 °С.

Для других типов материалов температуры холодной штамповки необходимо смотреть в соответствующих европейских стандартах, в листках технических данных изделия или в других спецификациях.

9.3.2 Горячая штамповка

9.3.2.1 Общие положения

Горячую штамповку материалов групп 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 4, 5, 6 и 9 следует выполнять при температурах выше максимально допустимой температуры для снятия упругих деформаций, как правило, в температурном интервале нормализации, в соответствии со спецификациями материалов.

Горячая штамповка сортов сталей с термомеханической обработкой не разрешается.

Горячую штамповку материалов групп 8.1, 8.2 и 10 следует выполнять при температуре 300 °С или выше, как правило, в интервале температур согласно таблице 9.3-1.

Для других типов материалов температуры горячей штамповки должны удовлетворять требованиям соответствующих европейских стандартов, листков технических данных или других спецификаций.

Способ штамповки должен определять скорость прогревания, температуру выдержки и время выдержки для формуемой части.

Примечание 1 – Горячая штамповка представляет собой процесс обработки, выполняемой при температурах выше температуры снятия упругих деформаций, и, как правило, выполняемой в зоне аустенита.

Принимая во внимание риск чрезмерного роста зерен, аустенизация продукта должна быть более Ac3, но не выше чем 1050 °С.

Примечание 2 – После достижения температуры продукта, его следует поддерживать при этой температуре не более 10 мин. По этой же причине следует определять скорость прогревания.

После горячей штамповки изделие следует охлаждать в неподвижном воздухе, если не указано иначе в таблице 9.3-1.

Поскольку каждая термическая обработка при температуре выше температуры нормализации приводит к росту зерен, который неблагоприятно влияет на значения ударной нагрузки, горячая штамповка для нормализованных сталей должна разделяться на две группы, согласно 9.3.2.2 и 9.3.2.3.

9.3.2.2 Нормализованные стали с указанными значениями ударной нагрузки при температуре равной и выше –20 °С

Для нормализованных сталей, подвергающихся только единичному циклу горячей штамповки, максимальная температура изделия не должна превышать 980 °С.

Для более чем одного цикла горячей штамповки максимальная температура изделия не должна превышать 1050 °С. Перед последним циклом изделие следует охладить до температуры ниже 500 °С. Для последнего цикла максимальная температура изделия должна быть ниже 980 °С для сталей с минимальным пределом текучести ≤ 360 МПа или 940 °С для сталей с минимальным пределом текучести > 360 МПа.

Последующую термическую обработку можно отменить, если процесс штамповки последнего цикла выполнялся при температуре выше 750 °С или выше 700 °С, когда степень деформации не превышает 5 %.

Если невозможно добиться условий, определенных в 9.3.2.2, особенно в отношении максимальных и минимальных температур в последнем цикле, после процесса штамповки должна выполняться нормализация согласно указаниям производителя стали.

Примечание – Для сталей, которые должны быть отпущены после нормализации, предписанный отпуск термообработкой можно выполнять, если штамповка проводилась в соответствии с указаниями 9.3.2.2

9.3.2.3 Нормализованные стали с указанными значениями ударной нагрузки при температуре ниже –20 °С

Для нормализованных сталей, подвергающихся только единичному циклу горячей штамповки, максимальная температура изделия не должна превышать 940 °С для сталей с минимальным пределом текучести ≤ 360 МПа или 925 °С для сталей с минимальным пределом текучести > 360 МПа.

Для более одного цикла горячей штамповки максимальная температура изделия не должна превышать 1050 °С. Между различными циклами изделие необходимо охлаждать до температуры ниже 500 °С. Для последнего цикла максимальная температура изделия должна быть ниже 940 °С для сталей с минимальным пределом текучести ≤ 360 МПа или 925 °С для сталей с минимальным пределом текучести > 360 МПа.

Последующую термическую обработку можно отменить, если процесс штамповки последнего цикла выполнялся при температуре выше 750 °С или выше 700 °С, когда степень деформации не превышает 2 %.

Если невозможно добиться условий, определенных в 9.3.2.2, особенно в отношении максимальных и минимальных температур в последнем цикле, после процесса штамповки должна выполняться нормализация согласно указаниям производителя стали.

Примечание – Для сталей, которые должны быть отпущены после нормализации, предписанный отпуск термообработкой можно выполнять, если штамповка проводилась в соответствии с указаниями 9.3.2.2

9.3.2.4 Закаленные и отпущенные стали

Для закаленных и отпущенных сталей совершенно необходимо выполнять полностью новую операцию закалки и отпуска после горячей штамповки. Для самого процесса горячей штамповки следует применять положения, определенные в 9.3.2.1 и 9.3.2.2.

9.3.2.5 Аустенитные и аустенитно-ферритные стали

Горячую штамповку аустенитных и аустенитно-ферритных сталей, группы материалов 8.1, 8.2 и 10, следует выполнять в соответствии с таблицей 9.3-1.

Таблица 9.3-1 – Условия штамповки материалов групп 8.1, 8.2 и 10

Тип продукта	Максимальная температура	Минимальная температура	Условия охлаждения [b]
Низкоуглеродистый [a] Стабилизированный	1150 °C	850 °C	Неподвижный воздух для $e \leq 25$ мм Вода для $e > 25$ мм
Нестабилизированный			Неподвижный воздух для $e \leq 6$ мм, вода для $e > 6$ мм

[a] Содержание углерода C ≤ 0,03 %.
[b] Следует руководствоваться условиями охлаждения, определенными в спецификации материала.

9.3.2.6 Плакированные стали

Температура и процедура горячей штамповки плакированных сталей должна быть основана на материале стальной подложки, тем не менее следует принимать в расчет воздействие такой обработки на плакированный материал, особенно на его коррозионную стойкость. Если такая обработка неблагоприятно влияет на характеристики плакированного материала, необходимо предусмотреть либо использование другого материала для плакирования, либо включение плакирования после штамповки и термической обработки (например, перекрытие сварного шва), или же необходимо с помощью испытаний продемонстрировать приемлемость альтернативной термической обработки для соответствия требованиям спецификации материала или проекта.

9.4 Термическая обработка после штамповки

9.4.1 Общие положения

Термические обработки после холодной или горячей штамповки следует выполнять согласно соответствующим стандартам, техническим условиям или другим спецификациям, и они должны включать в себя нормализацию, нормализацию плюс отпуск, закалку плюс отпуск, отжиг, термическую обработку на твердый раствор.

Примечание 1 – Такие виды обработки считаются процедурами, устраняющими воздействия процессов штамповки.

Примечание 2 – В качестве указания или рекомендации по термическим обработкам должны приниматься параметры, определенные производителем основных материалов в актах приемочного контроля. Другие параметры можно применять, если процедура определена, и изделие или формованный испытательный образец, представляющий изделие, проходит испытание после штамповки и термической обработки на соответствие требованиям спецификации на материал или проект.

Примечание 3 – Для сталей TMCP, подвергающихся холодной штамповке, определяемые параметры должны быть приемлемы для термической обработки после штамповки.

9.4.2 Термическая обработка плоских изделий после холодной штамповки

Термическая обработка плоских изделий после холодной штамповки должна выполняться в соответствии с указаниями 9.4.1 и таблицы 9.4-1.

В таблице 9.4-1 определены правила для необходимой термической обработки в качестве функции деформации при условии, что листы соответствуют требованиям EN 13445-2:2009, приложение B.

Таблица 9.4.1 – Термическая обработка плоских изделий после холодной штамповки

Группы материала	Коэффициент деформации F	Термическая обработка
1.1 [c], 1.2 [a], 1.3 2.1 [a, b] 3.1 4 5 6 9 10	$F \leq 5$ %	Нет
	$F > 5$ %	Да
8.1, 8.2	[d]	[d]

[a] Термическую обработку сталей, подвергающихся термомеханической обработке, после штамповки выполнять не следует, следовательно, деформация (F) должна быть ограничена до ≤ 5 %.

[b] Для материалов группы 2.1 необходимо проводить испытания, если деформация составляет от 2 % до 5 %, для подтверждения соответствия формованного материала проекту.

[c] 1) Термическая обработка коробовых выпуклых торцов (поясной радиус ≥ 0,1 D_e и радиус купола ≤ D_e) не требуется, если соблюдены следующие условия:

– материал относится к группе материалов 1.1;

– толщина составляет $e \leq 8$ мм;

– $h_1 \leq 40$ мм (см. рисунок 5.4-2);

– расчетная температура составляет от –10 °С до +120 °С.

2) Термическая обработка обшивок, используемых только для нагрева или охлаждения сосудов, предназначенных для работы под давлением (см. EN 13445-3:2009), не требуется, если соблюдены следующие условия:

– материал относится к группе материалов 1.1, и сталь должна быть полностью успокоенная;

– в свидетельстве об испытании материала указано удлинение после растяжения $A_5 \geq 31$ %;

– толщина составляет $e \leq 8$ мм;

– используется для цилиндров и конусов, если максимальная деформация F такова, что средний радиус $R_m \geq 3e$ номинальной толщины;

– расчетная температура составляет от –10 °С до +150 °С;

– текучей средой должна быть вода и (или) пар.

[d] Термическая обработка аустенитной стали, прошедшей термическую обработку на твердый раствор и закаленной или стабилизированной, не требуется после холодной штамповки в любом из следующих случаев 1), 2), 3), и 4) при условии, что риск связанной с этим коррозии под напряжением ничтожен:

1) Аустенитная сталь с требуемыми минимальными значениями для удлинения после растяжения $A_5 \geq 30$ %, или если в свидетельстве об испытании материала указано удлинение после растяжения $A_5 \geq 30$ %, деформация должна составлять $F \leq 15$ %. Или если представлен факт того, что существует минимальное удлинение после растяжения $A_5 \geq 15$ % после холодной штамповки.

2) Что касается деформации $F \leq 15$ %, в отдельных случаях может быть подтверждено, что после холодной штамповки существует минимальное удлинение после растяжения $A_5 \geq 15$ %.

3) Для выпуклых торцов в свидетельстве об испытании основного материала указаны следующие значения удлинения после растяжения A_5:

– $A_5 \geq 40$ %, если толщина стенки $e \leq 15$ при расчетных температурах до –196 °С;

– $A_5 \geq 45$ %, если толщина стенки $e > 15$ при расчетных температурах до –196 °С;

– $A_5 \geq 50$ %, если расчетная температура ниже –196 °С.

4) Деформация не превышает 10 % для частей сосуда, предназначенного для работы под давлением (исключая торцы), если расчетная температура ниже –196 °С.

Примечание – Что касается материалов групп 1.3, 2 и 3, может возникать понижение пластичности / сдвиг температуры перехода на 5° на каждый процент деформации, и его следует учитывать.

9.4.3 Термическая обработка трубчатых изделий после холодной штамповки

Термические обработки трубчатых изделий после холодной штамповки должны выполняться в соответствии с указаниями 9.4.1 и таблицы 9.4-2.

В таблице 9.4-2 определены правила для необходимости термической обработки в качестве функции деформации с учетом того, что трубы соответствуют требованиям EN 13445-2:2009, приложение B.

Таблица 9.4-2 – Термическая обработка трубчатых изделий после холодной штамповки

Группы материалов	Радиус изгиба трубы R	Наружный диаметр трубы D_e	Термическая обработка
1.1, 1.2, 1.3	≤ 1,3 D_e	Все диаметры	Да
3.1 4 5 6 8.1, 8.2	> 1,3 D_e	≤ 142 мм	Нет
		> 142 мм	Да [a]
9 10	≥ 2,5 D_e	Все диаметры	Нет
[a] Для материалов групп 8.1 и 8.2 при расчетной температуре выше –196 °С термическая обработка не требуется.			

9.4.4 Термическая обработка плакированных сталей после холодной штамповки

Термическая обработка плакированных сталей после холодной штамповки должна выполняться в соответствии с указаниями 9.4.1 и таблицы 9.4-1. При расчете коэффициента деформации следует учитывать общую толщину плакированного материала. Необходимо принимать во внимание влияние такой термической обработки на плакирование особенно в отношении коррозионной стойкости.

9.4.5 Термическая обработка после горячей штамповки

Термическая обработка после горячей штамповки должна выполняться в соответствии с указаниями 9.4.1 и таблицы 9.4-3.

Таблица 9.4-3 – Термическая обработка после горячей штамповки

Группы материалов	Условия горячей обработки	Термическая обработка
1.1, 1.2, 1.3, 9.1	См. 9.3.2	Нет
3.1 4 5 6 7.1 9.2, 9.3	Все	Закалка и отпуск или нормализация и отпуск или двойная нормализация и отпуск [a]
8.1, 8.2	В соответствии с таблицей 9.3-1	Нет
	Условия, отличные от условий, указанных в таблице 9.3-1	Термическая обработка на твердый раствор
10	Все	Термическая обработка на твердый раствор
[a] Возможны другие термические обработки, если их применимость подтверждается испытаниями на соответствие требованиям спецификации материала или проекта.		

9.4.6 Термическая обработка плакированных сталей после горячей штамповки

Условия термической обработки плакированных сталей должны соответствовать указаниям таблицы 9.4-3 на основе стальной подложки материала. Необходимо принимать в расчет влияние такой термической обработки, особенно в отношении коррозионной стойкости.

9.5 Отбор формованных контрольных отрезков для испытаний

9.5.1 Изделия холодной штамповки без термической обработки

Если после холодной штамповки листов или труб термическая обработка не требуется согласно таблицам 9.4-1 и 9.4-2, то необходимости проводить механические испытания в отношении штамповки не имеется.

9.5.2 Изделия холодной или горячей штамповки с термической обработкой

Соответствие спецификации материала следует подтверждать с использованием контрольных отрезков, взятых на излишней длине штампованного продукта. Если это невозможно, необходимо отдельные контрольные отрезки отбирать из исходного материала, прошедшего штамповку и термиче-

скую обработку, если возможно таким же способом, как и штампованный продукт, и испытание проводить с их использованием.

Если штампованные изделия состоят из отдельных деталей из различных отливок, необходимо отбирать один контрольный отрезок на каждую отливку и из каждого сварного соединения.

Штампованные изделия должны проходить отдельные испытания, пока производитель не выполнит успешные испытания 30 контрольных отрезков штампованных изделий в пределах соответствующей группы материала. После этого испытания выполняются для каждой партии. Партия определяется изделиями одного литья и одинаковой завершающей термообработки.

Испытание партии должно проводиться следующим образом:

a) Материалы групп 1.1, 1.2, 8.1.

Если поставленные формованные изделия находятся в одинаковых условиях термической обработки как и исходный материал, то соответствие спецификации материала должно быть охвачено свидетельством об испытании исходного материала.

Если это не так, следует отбирать один контрольный отрезок из каждой партии либо из материала, подлежащего штамповке, либо из термически обрабатываемого штампованного изделия. Он должен подвергаться термической обработке вместе со штампованными изделиями или проходить смоделированную термическую обработку отдельно.

Для материалов групп 1.1 и 1.2 в зависимости от определенных значений энергетики удара при температуре ниже –20 °C, образцы должны отбираться в соответствии с b), это должно относиться только к испытанию на удар.

b) Материалы групп 1.3, 3.1, 4, 5, 6, 8.2, 9 и 10.

Соответствие спецификации материала должно подтверждаться с помощью одного из следующих условий:

– контрольные отрезки взяты из излишней длины штампованной детали;

– в качестве альтернативы отдельно штампованные контрольные отрезки прошли термическую обработку вместе со штампованными деталями;

– если это невозможно, отдельно штампованные контрольные отрезки прошли смоделированную термическую обработку.

Необходимо отбирать следующее количество контрольных отрезков для испытаний:

– один контрольный отрезок из партии объемом до 10 деталей;
– два контрольных отрезка из партии объемом до 25 деталей;
– три контрольных отрезка из партии объемом до 100 деталей;
– один контрольный отрезок для каждых последующих 100 деталей.

9.6 Испытания

9.6.1 Основной материал

Один образец для испытания на растяжение и три образца для испытания на удар следует взять из каждого контрольного отрезка согласно требованиям, определенным в 9.5.2. Испытательные образцы следует отбирать перпендикулярно направлению прокатки с отклонением не более чем на 20°.

Примечание – Для конструкционных мягких сталей, относящихся к группам материалов 1.1 и 1.2, образцы для испытания на удар можно отбирать вдоль направления прокатки.

Если части, предназначенные для работы под давлением, изготовлены из закаленных и отпущенных сталей с испытанием партии, то для 10 % формованных частей, но не менее чем для 3 формованных частей, производителем дополнительно должны проводиться испытания на твердость.

9.6.2 Стыковые сварные швы

Если перед штамповкой свариваются друг с другом формованные изделия из отдельных частей, то из металла сварного шва необходимо взять один образец для продольного испытания на растяжение и три образца для испытания на удар. Для материалов 8.2 и 10 кроме этого должно быть выполнено микроскопическое испытание.

9.6.3 Критерии приемки для формованных контрольных отрезков

Что касается основного материала, испытательные образцы, необходимые согласно 9.6.1, должны соответствовать требованиям к основным материалам.

Для стыковых сварных швов испытательные образцы, необходимые согласно 9.6.2, должны соответствовать требованиям, определенным в 8.4.

Значения твердости должны иметь отклонение не более чем 50 HV 10 (твердость по Виккерсу) в пределах одной формованной части.

9.6.4 Повторные испытания формованных контрольных отрезков

9.6.4.1 Если результаты испытания показывают несоответствие требованиям, необходимо применять следующие положения:

a) если причиной неудовлетворительного результата испытания является неправильный метод испытания или локально ограниченный дефект отдельного образца, результатом такого испытания можно пренебречь, и следует провести повторное отдельное испытание;

b) если причиной неудовлетворительного результата испытания является не отвечающая требованиям термическая обработка, все части из партии и соответствующие контрольные отрезки должны снова пройти термическую обработку, и следует повторно провести все испытания в полном объеме.

9.6.4.2 Если результаты получены на основе испытательных образцов, которые при условии, что они правильно отобраны и испытаны, не соответствуют требованиям, необходимо выполнить следующие повторные испытания:

a) испытание на растяжение: испытание следует выполнить повторно для двух образцов для испытания на растяжение, взятых из одного испытательного листа; результаты обоих испытаний должны соответствовать требованиям;

b) испытание на изгиб: испытание следует выполнить повторно для двух образцов для испытания на изгиб, взятых из одного испытательного листа; результаты обоих испытаний должны соответствовать требованиям;

c) испытание на удар: испытание следует выполнить повторно для трех образцов с V-образными надрезами по Шарпи, взятых из одного испытательного листа.

1) Среднее значение, полученное на основе всех шести отдельных образцов, должно быть равно или больше указанного минимального значения.

2) Не более двух из шести отдельных значений должны быть меньше указанного минимального значения.

3) Не более одного из шести отдельных значений должно быть меньше 70 % указанного минимального значения.

В случае испытаний партии, результаты которых не соответствуют спецификации, испытания следует выполнить повторно на двух других формованных частях из одной партии, результаты испытаний должны соответствовать спецификации.

Если результаты каких-либо повторных испытаний не отвечают требованиям, то соединения/части, представленные испытательным листом, должны быть признаны несоответствующими данной части настоящего стандарта.

9.7 Визуальный контроль и проверка размеров

Формованные части, предназначенные для работы под давлением, должны проходить визуальный контроль и проверку размеров в условиях поставки изготовителем штампованного изделия. Результаты визуального контроля и проверки размеров следует документировать.

9.8 Маркировка

Формованные изделия, составляющие часть сосуда, предназначенного для работы под давлением, должны быть маркированы в соответствии со спецификацией материала. В этом случае от маркировки производителя основного материала можно отказаться. Необходимо обеспечить прослеживаемость для основного материала. Кроме того, следует добавить маркировку изготовителя формованного изделия. В случае испытаний партии должна быть очевидна принадлежность к партии. Обозначение следует поддерживать от контрольных отрезков до формованных изделий, из которых они взяты.

Для формованных изделий небольшого размера (номинальный размер менее 220 мм) разрешается маркировка согласно 4.2.2.2b).

9.9 Документация

Для формованных изделий, составляющих часть сосуда, предназначенного для работы под давлением, требуется следующая документация:

a) бланк контракта с субподрядчиком (если формовка выполняется не производителем сосуда, предназначенного для работы под давлением);

b) сертификат на исходный материал;

c) тип термической обработки и запись о ее проведении, если требуется;

d) результаты испытания контрольного отрезка формованного изделия, если требуется;

e) описание формованной части с основными номинальными размерами и степень деформации в случае холодной штамповки без термической обработки;

f) маркировки.

10 Термическая обработка после сварки (PWHT)

10.1 Общие положения

Термическая обработка после сварки должна выполняться согласно письменной процедуре, в которой указаны параметры, являющиеся решающими для процесса термической обработки.

Оборудование, используемое для термической обработки, должно соответствовать данной термической обработке. Оно должно обеспечивать температурный контроль в части, предназначенной для работы под давлением, с надлежащей точностью и постоянством, особенно для материалов, имеющих малый допустимый температурный интервал для термической обработки.

Производитель должен документировать и сертифицировать процесс термической обработки сосудов или частей, предназначенных для работы под давлением, с указанием температуры выдержки, скорости прогревания и охлаждения и времени выдержки.

Примечание 1 – В CR ISO 17663 [7] предоставлена полезная информация, касающаяся контроля качества термической обработки после сварки.

Примечание 2 – Термическая обработка согласно таблице 10.1-1, особенно в верхнем интервале температуры выдержки и/или времени выдержки, может серьезно понизить физические характеристики (например, предел текучести, предел прочности на растяжение и ударную вязкость материала), следует учитывать дополнительное воздействие нескольких циклов прогревания. Это воздействие описано и опубликовано как параметр *P* Холломона – Джаффе, согласно уравнению (10.1-1):

$$P = T_s(20 + \lg t)10^{-3}, \qquad (10.1\text{-}1)$$

где T_s – температура выдержки, K;

t – время выдержки;

$\lg = \log_{10}$.

Без предварительного соглашения между производителем сосудов/частей, предназначенных для работы под давлением, и производителем материалов фактическая температура отпуска материала NT (нормализованного и отпущенного) или QT (закаленного и отпущенного) не должна быть ниже допустимой температуры согласно таблице 10.1-1. Температура термической обработки после сварки, превышающая температуру отпуска может ухудшить механические характеристики материала.

10.2 Условия термической обработки

10.2.1 Термическая обработка после сварки, за исключением материалов, относящихся к группам 10.6 и 10.7, должна применяться к сталям в соответствии с таблицей 10.1-1 по завершении сварки.

Примечание – Термическую обработку после сварки можно выполнять для сталей толщиной меньше значений, указанных в таблице 10.1-1. К таким случаям будут относиться сосуды, предназначенные для эксплуатации с использованием средств, которые могут вызывать растрескивание в результате коррозии под напряжением, или предотвращение хрупкого излома в соответствии с EN 13445-2:2009, приложение B.

Если для типа и процедуры термической обработки после сварки решающее значение имеет плакирование плакированного листа, то такие данные должны документироваться и приниматься в расчет при оценке характеристик основного материала.

10.2.2 Если в сосуде имеются сварные швы, соединяющие части, различные по толщине, толщина, используемая в применимых требованиях для термической обработки после сварки, должна быть следующая:

a) наименьшая толщина из толщины двух частей, свариваемых друг с другом встык;

b) толщина оболочки в соединении с кромками, стенками труб или в аналогичных соединениях;

c) толщина сварного шва оболочки или торцевого листа с приваренной форсункой в сварных швах крепления форсунки;

d) толщина основного материала, полностью плакированного с использованием стойкого к коррозии материала (плакированный лист);

e) толщина основного материала, разделенная на четыре в перекрытии сварного шва материала, плакированного с использованием стойкого к коррозии материала, аустенитного или на основе никеля.

10.2.3 Если после термической обработки после сварки выполняются добавочные сварные швы или ремонт сварных швов, необходимо выполнять дополнительную термическую обработку в соответствии с 10.3. Толщина, используемая для определения требуемого времени выдержки при температуре, должна быть равна толщине сварного шва, выполняемого после термической обработки после сварки.

Таблица 10.1-1 – Термическая обработка после сварки

Группа материалов	Сталь		Условия термообработки [a] основного материала	Термообработка после сварки		
	Сорт или тип	Согласно		Номинальная толщина e_n [b], мм	Время выдержки, мин	Температура выдержки, °C
1.1	Нелегированные стали	EN 10028-2:2003 EN 10216-1:2002 EN 10216-2:2002 EN 10216-4:2002 EN 10217-1:2002 EN 10217-2:2002 EN 10217-4:2002 – EN 10217-6:2002 EN 10222-2:1999	N или NT	≤ 35 [c]	30	550 – 600
				> 35 ≤ 90	e_n – 5	
1.2 1.3	Нормализованные мелкозернистые стали	EN 10028-3:2003 EN 10216-3:2002 EN 10217-3:2002 EN 10222-4:1998		> 90	40 + 0,5 e_n	
1.2	16Mo3	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10217-2:2002 EN 10217-5:2002 EN 10222-2:1999	N или NT или QT	≤ 35 [c]	30	550 – 620
				> 35 ≤ 90	e_n – 5	
				> 90	40 + 0,5 e_n	
5.1	13CrMo4-5 [d]	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	N или QT	≤ 15	30	630 – 680
				> 15 ≤ 60	2 e_n	
				> 60	60 + e_n	
5.2	10CrMo9-10 [e] 11CrMo9-10 [e]	EN 10028-2:2003 EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	NT или QT	Согласно указаниям для стали 13CrMo4-5		670 – 720
5.3	X16CrMo5-1	EN 10222-2:1999	NT или A			700 – 750
5.4	X11CrMo9-1	EN 10216-2:2002	NT или A	≤ 12	30	740 – 780
				> 12 ≤ 60	2,5 e_n	
				> 60	90 + e_n	
6.4	X20CrMoNiV11-1	EN 10216-2:2002 EN 10222-2:1999	NT или QT	Согласно указаниям для стали 11CrMo9-1		730 – 770
9.1 9.2	Стали MnNi и Ni, кроме X8Ni9	EN 10028-4:2003 EN 10216-4:2002 EN 10222-3:1998	N или NT или QT	≤ 35 [c]	30	530 – 580
				> 35 ≤ 90	e_n – 5	
				> 90	40 + 0,5 e_n	
9.3	X8Ni9	EN 10028-4:2003 EN 10216-4:2002 EN 10222-3:1998	См. стандарт на материал	Как правило, свариваются с использованием аустенитного присадочного металла. По причине возможной диффузии углерода термообработку после сварки следует исключать		

Окончание таблицы 10.1-1

[a] Условия термической обработки основного материала: A – отожженный; N – нормализованный; NT – нормализованный и отпущенный; QT – закаленный и отпущенный [b] Номинальная толщина e_n представляет собой толщину, требуемую согласно 10.2.2. [c] Для толщины менее 35 мм термическая обработка после сварки требуется только в особых случаях (например, для снижения риска растрескивания в результате коррозии под напряжением или гидрокрекинга (высокосернистый газ)). [d] Термическая обработка после сварки не требуется при следующих условиях: – трубы с номинальным диаметром < 120 мм и номинальной толщиной стенок < 13 мм. [e] Термическая обработка после сварки не требуется при следующих условиях: – трубы с номинальным диаметром < 120 мм и номинальной толщиной стенок < 13 мм, расчетная температура > 480 °C.
Примечание 1 – Условия термической обработки материалов групп 2.1 и 3.1 будут описаны далее. Примечание 2 – Сведения о механических характеристиках после термической обработки см. в 10.5.

10.3 Способ термической обработки после сварки

10.3.1 Там, где это возможно, термическая обработка сосуда должна выполняться с помощью прогревания единичного цикла в закрытой печи.

Примечание – Если на практике невозможно выполнить термическую обработку в печи сосуда целиком, разрешается использовать способы, описанные в 10.3.2 – 10.3.6, но следует отметить, что эти способы не могут обеспечить такую же степень невосприимчивости к растрескиванию в результате коррозии под напряжением.

10.3.2 Допускается термическая обработка законченного сосуда по секциям в закрытой печи, в этом случае наложение нагреваемого сосуда должно составлять минимум 1500 мм или $5\sqrt{Re_n}$, в зависимости от того, какое значение больше. При этом для определения механических характеристик необходимо принимать в расчет дополнительный температурный цикл в зоне наложения.

Примечание – R – внутренний радиус, e_n – номинальная толщина, требуемая согласно 10.2.2.

Если используется такой способ, часть за пределами печи необходимо защищать теплоизоляционным материалом, чтобы осевой температурный градиент нагреваемой части обуславливался тем, что между точкой измерения «0» в компоненте сразу за пределами печи с температурой T_0 и точкой измерения на расстоянии $2{,}5\sqrt{Re_n}$ за пределами печи разница температур составляла $\Delta T \leq 0{,}5\ T_0$.

Необходимо учитывать влияние соединений, например, форсунок, перегородок и т. д., на температурный градиент и температурный баланс.

10.3.3 Допускается термическая обработка кольцевых сварных швов в оболочках локально с помощью прогревания защитной ленты по всей длине окружности, в таком случае ширина нагреваемой полосы должна быть не менее $5\sqrt{Re_n}$ со сварным швом посередине.

Если кольцевые сварные швы, проходящие термическую обработку после сварки, находятся между оболочкой и выпуклым или полусферическим днищем, нагреваемая полоса должна покрывать весь выпуклый торец. Ширина нагреваемой полосы на стороне оболочки должна составлять $2{,}5\sqrt{Re_n}$.

Необходимо установить достаточную теплозащиту, обеспечивающую, чтобы температура сварного шва и его зон термического влияния была не меньше заданной температуры, и чтобы температура по краям нагреваемой полосы была не меньше половины максимальной температуры. Кроме этого, следует обеспечить теплоизоляцию смежной части сосуда за пределами зоны прогревания, чтобы температурный градиент не имел отрицательного воздействия. Необходимо учитывать влияние соединений, например, форсунок, перегородок и т. д., на температурный градиент и температурный баланс.

Примечание – Для теплоизоляции рекомендуется минимальная ширина изоляционной полосы $10\sqrt{Re_n}$ со сварным швом посередине.

10.3.4 Разрешается локально выполнять термическую обработку патрубков, форсунок или других сварных соединений или частичных ремонтов в оболочках с помощью прогревания защитной полосы

согласно указаниям 10.3.3, ширина нагреваемой полосы должна охватывать минимальный отрезок $2{,}5\sqrt{Re_n}$ в каждом направлении от границы сварных швов, проходящих термическую обработку.

10.3.5 Допускается термическая обработка сосуда изнутри, для этого сосуд следует полностью покрыть теплоизоляционным материалом. Во время термической обработки необходимо следить, чтобы не возникало внутреннее давление, которое может ухудшить снижение напряжения.

10.3.6 Термическая обработка после сварки сосудов с разной толщиной в одной печи должна выполняться в соответствии с требованиями по термической обработке, относящимися к сосудам с наибольшей толщиной, находящимся в печи.

Если это требует времени в зависимости от температуры более 3 ч, должны соблюдаться требования 10.5 для всех сосудов в печи.

10.4 Процедура термической обработки после сварки

10.4.1 Температура и время термической обработки после сварки должны соответствовать указаниями таблицы 10.1-1.

Термическая обработка остальных материалов, не приведенных в таблице 10.1-1, должна соответствовать спецификации изготовителя материала.

10.4.2 Во время прогревания и охлаждения для температуры до 500 °С колебание температур по всему сосуду или компоненту не должно превышать 150 °С в пределах 4500 мм, и температурный градиент должен быть постепенным. Для температуры выше 500 °С такое колебание не должно превышать 100 °С.

Во время прогревания и выдержки необходимо регулировать атмосферу печи так, чтобы предотвращать чрезмерное окисление поверхности сосуда или компонента. Не должно возникать прямого отражения пламени на сосуд или компонент.

Когда сосуд или компонент достиг равномерной температуры выдержки (см. таблицу 10.1-1), эта температура должна поддерживаться в течение времени, указанного в таблице 10.1-1.

10.4.3 В случае термической обработки после сварки в печи температура в печи в то время, когда сосуд или компонент помещается в печь или извлекается из печи, не должна превышать следующие значения:

– 400 °С для сосудов или компонентов несложной формы или с толщиной $e_n < 60$ мм;

– 300 °С для сосудов и компонентов сложной формы или с толщиной $e_n \geq 60$ мм.

Скорость прогревания или охлаждения сосуда или компонента не должна превышать следующие значения:

– для толщины $e_n \leq 25$ мм: 220 °С/ч,

– для толщины $e_n > 25$ мм и ≤ 100 мм: $(5500/e_n)$ °С/ч,

– для толщины $e_n > 100$ мм: 55 °С/ч,

где e_n – номинальная толщина в миллиметрах, требуемая согласно 10.2.2.

10.4.4 Заданная температура должна быть фактической температурой какой-либо части сосуда или зоны, проходящей термическую обработку, и должна определяться с помощью термоэлементов в эффективном контакте с сосудом.

10.4.5 Непрерывно и автоматически должно записываться достаточное количество замеров температуры. Необходимо использовать несколько термоэлементов, чтобы обеспечить то, что температура всего сосуда или всей зоны, подвергающихся термической обработке, находится в указанных пределах, и что не возникают нежелательные температурные градиенты.

Количество и размещение термоэлементов должно быть достаточным для подтверждения того, что удовлетворяются требования 10.3 и 10.4.

10.5 Механические характеристики после термической обработки

10.5.1 Термическая обработка после сварки должна планироваться с учетом ее влияния на механические характеристики основного материала, листа, поковок, труб и т. д. и всех сварных швов, включая зоны термического влияния.

Примечание – Считается, что для материалов групп 1.1 и 1.2 (за исключением 16Mo3) благоприятное воздействие термической обработки после сварки таково, что ее влияние на прочность основных материалов не требуется учитывать для времени менее 3 ч в зависимости от температуры.

10.5.2 Если время в зависимости от температуры превышает 3 ч для материалов групп 1.1 и 1.2 (за исключением 16Mo3), влияние времени, зависящее от температуры, необходимо принимать в расчет с помощью указания того, что:

a) либо если фактический предел текучести и предел прочности на растяжение согласно свидетельству об испытаниях соответствующего материала на ≥ 15 % выше указанного минимального значения перед термообработкой после сварки, и температура перехода A_V-/T-кривой или минимального испытания на удар продемонстрирована при температуре испытания на 30 °C ниже указанной температуры испытания, то проверка должна считаться приемлемой;

b) либо характеристики материала после сварки и термической обработки соответствуют минимальным требованиям спецификации, что показала одна из следующих проверок:

– испытываемых материалов, прошедших термическую обработку с сосудами;

– испытательных отрезков, подвергшихся смоделированной термической обработке после сварки поставщиком материала;

– испытательных отрезков, подвергшихся смоделированной термической обработке изготовителя сосуда.

10.5.3 Для всех остальных материалов, за исключением материалов, указанных в 10.5.2, температура термической обработки после сварки должна быть минимум на 30 °C ниже максимальной температуры отпуска, и время при температуре термообработки после сварки не должно быть более 3 ч.

Когда максимальная температура термической обработки после сварки не соответствует условию температуры минимум на 30 °C ниже температуры отпуска, или время термической обработки после сварки превышает 3 ч (включая ситуации, когда согласно таблице 10.1-1 требуется большее время), то влияние термической обработки после сварки на характеристики такого материала должно быть продемонстрировано одним из следующих пунктов:

– на испытываемых материалах, прошедших термическую обработку, с сосудами;

– на испытательных отрезках, подвергшихся смоделированной термической обработке после сварки поставщиком материала;

– на испытательных отрезках, подвергшихся смоделированной термической обработке изготовителя сосуда.

Примечание – При моделировании влияния долгих периодов времени в зависимости от температуры допускается включать несколько термических обработок согласованного времени. В качестве альтернативы можно использовать незначительно отличающуюся температуру (±40 °C) и время по ссылке на температурно-временной параметр по Холлмону – Джаффе.

10.6 Неоднородные ферритные соединения

10.6.1 Если сосуд изготовлен из ферритных сталей различных сортов, термической обработке после сварки необходимо уделять особое внимание в отношении влияния на механические характеристики.

10.6.2 Если максимальная температура, требуемая согласно таблице 10.1-1, для одного материала в неоднородном соединении равна или больше минимальной температуры второго материала, например, в соединении материала 16Mo3 с 13CrMo4-5, то термическая обработка после сварки должна выполняться для материала с наиболее высокой температурой согласно таблице 10.1-1, но насколько это возможно практически, должна быть приближена к минимальной температуре. В этом отношении время должно измеряться, когда термоэлемент с наименьшим показанием достигает температуры на 10 °C ниже минимальной температуры, указанной в таблице 10.1-1 (без необходимости повторной аттестации технологии сварки). Следует учитывать влияние этой более высокой температуры и, возможно, большего времени на механические характеристики второго материала в соответствии с требованиями 10.5.2 и 10.5.3.

10.6.3 Если максимальная температура, допустимая согласно таблице 10.1-1, одного материала в неоднородном соединении ниже, чем минимальная допустимая температура для второго материала, например, в соединении 13CrMo4-5 с X11CrMo9-1, то необходимо придерживаться одного из следующих направлений.

a) Термическая обработка соединения в соответствии с условиями для материала, требующего более высокую температуру согласно таблице 10.1-1, и выполнение смоделированной обработки другого материала для определения приемлемых механических характеристик для проекта. Сюда необходимо включать воздействие термической обработки после сварки на значения удара и микроструктуру в дополнение к прочности.

b) Реконструкция соединения для включения переходного материала, который перекрывает температурный интервал.

Пример – Первый сварной шов материала X11CrMo9-1 с материалом 10CrMo9-10 и термическая обработка после сварки при температуре (730 – 750) °C, затем следующий сварной шов материала 10CrMo9-10 с материалом 13CrMo4-5 и термическая обработка после сварки при температуре (670 – 690) °C.

c) Перекрытие сварного шва в подготовках соединений нержавеющей сталью или металлом сварного шва с высоким содержанием никеля.

Термическая обработка после сварки каждого компонента по отдельности при температуре и времени, которые соответствуют для каждого материала в соединении.

Сварка компонента/сочетания материалов сварных перекрывающих соединений с использованием нержавеющей стали/металла с высоким содержанием никеля, после этого дополнительная термическая обработка сварного шва не выполняется.

10.6.4 Если сварной шов находится между конструкционной частью и частью, предназначенной для работы под давлением, термическая обработка после сварки должна выполняться как для части, предназначенной для работы под давлением.

10.7 Специальные материалы

Для термической обработки после сварки сосудов, изготовленных из металлов, относящихся к группам материалов 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 6 и 9.3, с использованием согласованного присадочного металла, но если марка материала отдельно не указана в таблице 10.1-1, можно выбирать любую температуру выше 600 °C, когда это в полной мере оформляется документально. При этом механические характеристики после термообработки должны быть подтверждены с помощью одного из вариантов, описанных в 10.5.3.

Если материал обладает особыми характеристиками, использовавшимися в проектировании сосуда, и эти характеристики можно сформировать только с помощью специальной термической обработки, это следует документировать и применять к сосуду. Механические характеристики после термической обработки должны быть подтверждены с помощью одного из вариантов, описанных в 10.5.3.

11 Ремонт

В этом разделе определены требования в отношении ремонта поверхности и сварного шва.

11.1 Ремонт дефектов поверхности основного металла

Если возникают не очень глубокие дефекты поверхности, например, случайные кратеры в результате касания электродом, следы резца или следы автогенной резки, дефекты следует устранять с помощью шлифовки, и участок основания должен иметь плавный переход с примыкающими поверхностями. Шлифовка должна сопровождаться визуальным обследованием дефектов поверхности. Случайные кратеры в результате касания электродом на основании в исходных материалах, кроме материалов групп 1.1 и 8.1, должны проходить испытания MT или PT согласно EN 13445-5:2009.

Необходимо контролировать глубину устранения дефекта с целью соблюдения допустимых пределов для оставшегося материала.

В случае наращивания сварных швов или если шлифовка уменьшает толщину стенки ниже допустимого значения, и требуется ремонт с помощью сварки, изготовитель должен выполнять такой ремонт в соответствии с аттестованной технологией сварки и квалифицированными сварщиками и операторами. Подвергающийся обработке участок следует обследовать согласно EN 13445-5:2009, таблица 6.6.2-1, рисунок 24.

Примечание – Общая косметическая шлифовка или зачистка (например, удаление излишнего металла сварного шва) не считается ремонтом.

11.2 Ремонт дефектов сварных швов

Все неприемлемые недостатки должны устраняться либо механическими средствами (такими как шлифовка или обработка на станке), либо термическими способами (такими как воздушно-дуговая строжка или термическая строжка), либо с помощью комбинации механических средств и термических способов. Решение о том, как следует устранять неприемлемые дефекты, относится к ответственности изготовителя. Ремонт можно выполнять локально или с помощью удаления сварного шва из соединения, и затем повторной сварки.

Если термическая или воздушно-дуговая строжка используется на аустенитных сталях, необходимо проследить за удалением загрязнений остаточного сварного шва или материала. Аналогично при строжке угольными электродами, используемой на ферритных сталях, поврежденную поверхность необходимо удалять механическими способами на минимальную глубину 0,3 мм.

Если устраняются неприемлемые недостатки и не сопровождаются сваркой, вся оставшаяся толщина должны быть больше, чем минимальная толщина, необходимая для соответствия проекту, если ограниченный участок не удовлетворяет условиям 5.4.5. Участок должен иметь плавный переход с примыкающими поверхностями.

Ремонты с помощью сварки должны выполняться в соответствии со спецификацией технологии сварки, которая была аттестована согласно требованиям, определенным в 7.3.

Примечание – Это может быть та же спецификация технологии сварки, которая использовалась для выполнения соединения первоначально, или специально аттестованная процедура ремонта.

Ремонт должен выполняться квалифицированными сварщиками или операторами в соответствии с требованиями, определенными в 7.4. Для участков с отремонтированными сварными швами следует провести неразрушающие испытания в соответствии с требованиями EN 13445-5:2009.

Когда ремонтная сварка выполняется после термической обработки после сварки или гидравлического испытания, эти операции следует провести повторно. Любая дополнительная термическая обработка, выполняемая в соответствии с 10.2.2, должна рассматриваться в показателях ее воздействия на характеристики материала и свойства сварного шва.

12 Завершающие процедуры

Завершающие процедуры должны проводиться после того, как сосуд прошел испытание под давлением, и перед отгрузкой/поставкой.

Примечание 1 – Целью завершающих процедур является защита сосуда от ударов и загрязнения во время транспортировки, монтажа и подсоединения к оборудованию.

Если после испытаний под давлением и на герметичность необходимо выполнение термических или механических операций, то обработку, испытания под давлением и на герметичность и обработку поверхности необходимо выполнить снова.

Примечание 2 – Однако это условие не применяется к компонентам, которые не способствуют механической прочности сосуда.

Необходимо выполнение следующих завершающих процедур:

a) полная проверка внутренней и внешней поверхности;

b) очищение внутренних поверхностей и полное просушивание сосуда;

c) защита всех фланцев и форсунок против ударов и окисления;

d) защита внутренней поверхности против коррозии в результате воздействия атмосферы и против попадания посторонних веществ.

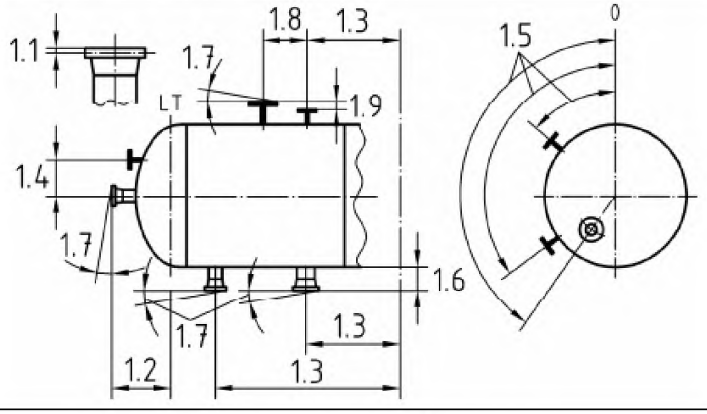
Примечание 3 – Дополнительные завершающие процедуры, например, пескоструйная обработка, окрашивание, протравливание, пассивирование, как правило, согласовываются сторонами, заключающими контракт.

Приложение А
(справочное)

Конструкционные допуски

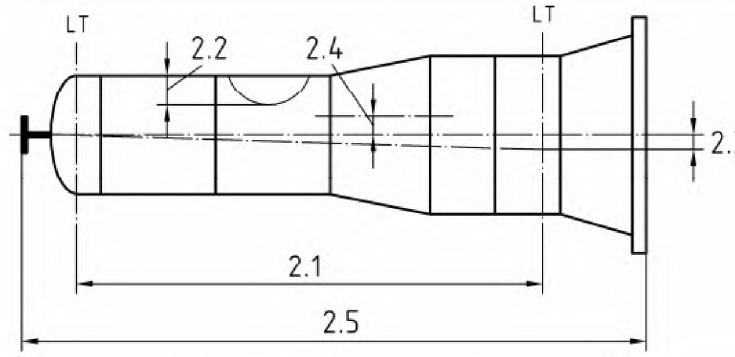
Конструкционные допуски кроме допустимых отклонений, определенных в 5.4 и 5.5, не должны превышать значения, указанные в таблицах А.1 – А.4. Эти значения считаются рациональными значениями, которые изготовитель может применять к изготавливаемым им элементам.

Таблица А.1 – Допустимые отклонения для форсунок



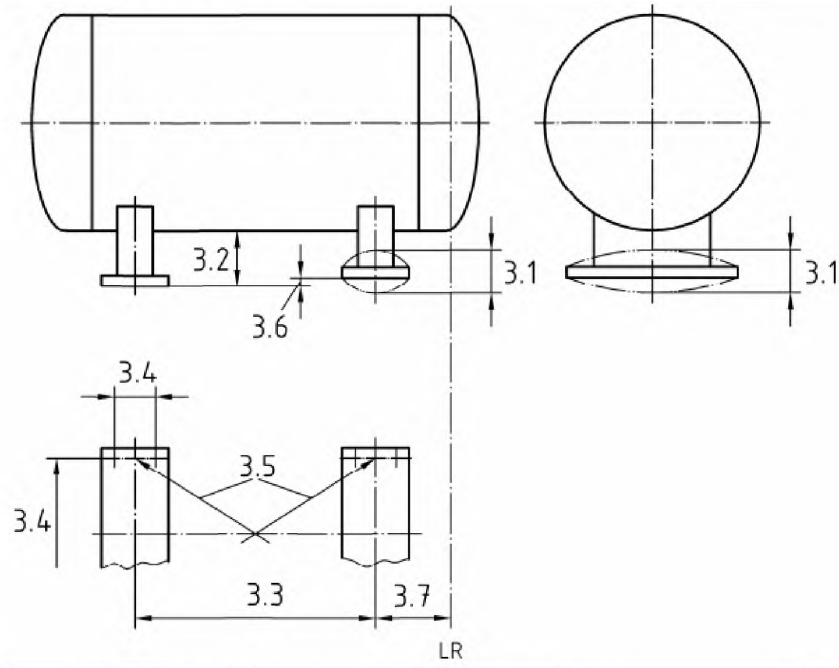
Элемент №	Тип рассматриваемых отклонений и элементов		Предельные отклонения
1.1	Выравнивание пролета плоского соединения, выраженное в виде функции толщины соединения		0,2 *e*
1.2	Отклонение между поверхностью фланца и касательной линии (LT) торца или опорной линией (LR)		±5 мм
1.3	Отклонение между осью форсунки и опорной линией (LR)	Соединительная форсунка ≤ 100 мм	±5 мм
		Другие форсунки и люки	±10 мм
1.4	Отклонение между осью форсунки и осью, параллельной оси сосуда		±5 мм
1.5	Отклонение относительно теоретического направления, измеряемое по кольцевому отклонению между линиями, формирующими опору, и форсункой	Соединительная форсунка	±5 мм
		Люк	±10 мм
1.6	Отклонение между внешним слоем фланца и стенкой сосуда	Соединительная форсунка	±5 мм
		Люк	±10 мм
1.7	Наклон внешнего слоя фланца относительно теоретической плоскости	Соединительная форсунка	±0,5°
		Люк	±1°
		Для измерительных приборов	±0,25°
1.8	Отклонение между осями форсунки для измерительных приборов		±1,5 мм
1.9	Разница в уровне между двумя внешними поверхностями фланца для измерительного устройства		±1 мм

Таблица А.2 – Допустимые отклонения после установки вертикального сосуда



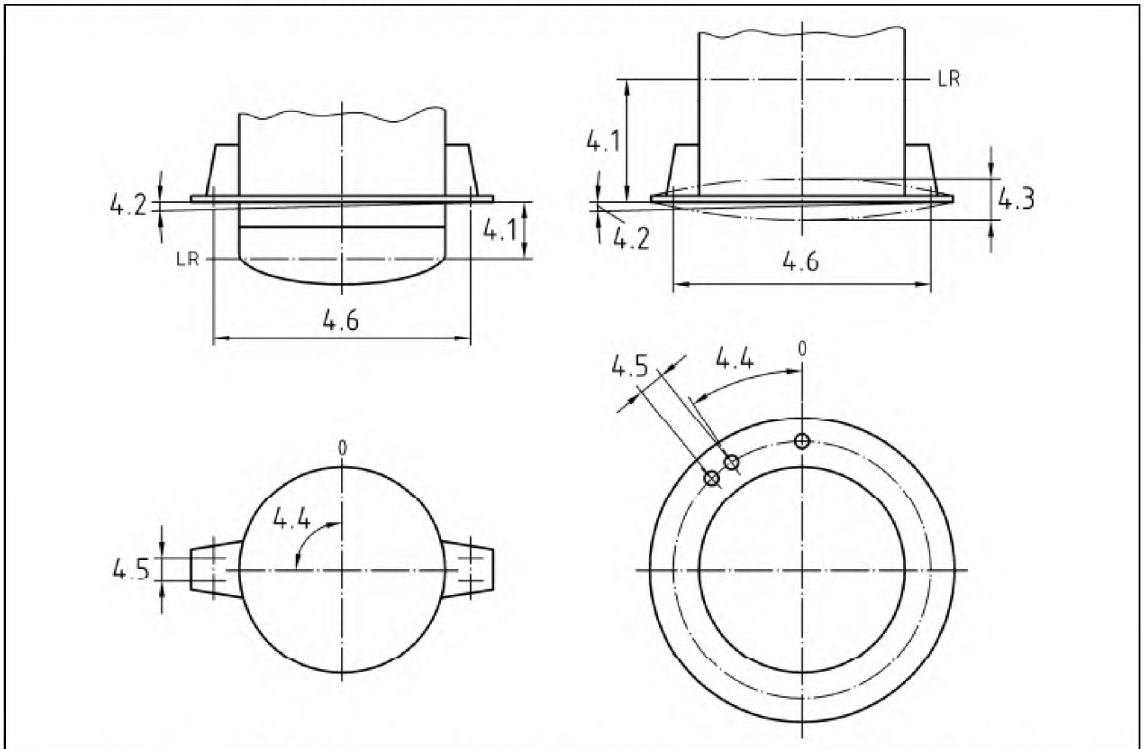
Элемент №	Тип рассматриваемых отклонений и элементов		Предельные отклонения
2.1	Разница в длине по отрезку *L* предельных касательных линий (LT)	*L* ≤ 30000 мм	±15 мм
		L > 30000 мм	±20 мм
2.2	Отклонение прямолинейности стенки	Локальный дефект, измеряемый на формирующей линии	±6 мм
2.3	Отклонение между основной осью сосуда и вертикалью L (2.1) сосуда		± мин. (0,001 *L*; 30 мм)
2.4	Допуск на несоосность двух секций с разными диаметрами, выраженный в виде функции наибольшего диаметра D		± мин. (0,003 *D*; 20 мм)
2.5	Отклонение по общей высоте или общей длине сосуда		Совокупные допустимые отклонения

Таблица А.3 – Допустимые отклонения в седлах и опорах



Элемент №	Тип рассматриваемых отклонений и элементов		Предельные отклонения
3.1	Отклонение плоскостности несущей поверхности опоры	Поперечное направление	±2 мм
		Продольное направление	±4 мм
3.2	Отклонение между несущей опорной плитой и нижней формирующей линией сосуда		±3 мм
3.3	Отклонение между осями крайних опор		±5 мм
3.4	Отклонение между осями отверстий под болты		±3 мм
3.5	Отклонение между диагоналями торцевых седел		±6 мм
3.6	Отклонение между уровнями торцовых несущих опорных плит		0/+5 мм
3.7	Отклонение между осью седла и касательной или опорной линией сосуда (LR)		±5 мм

Таблица А.4 – Допустимые отклонения в седлах и опорах



Элемент №	Тип рассматриваемых отклонений и элементов		Предельные отклонения
4.1	Разница в расстоянии между нижней поверхностью опор или кольцом основания и опорной линией (LR)		±6 мм
4.2	Недостаток перпендикулярности опор или кольца основания относительно осей или юбки сосуда		±6 мм
4.3	Недостаток плоскостности		±4 мм
4.4	Отклонение ориентации от осей опор ствола или опоры обшивки	$D \leq 3000$ мм	±4 мм
		3000 мм < D ≤ 6000 мм	±8 мм
		$D > 6000$ мм	±12 мм
4.5	Отклонение между двумя отверстиями под болты		± 3 мм
4.6	Отклонение диаметра анкеровки, выраженное в виде функции теоретического диаметра D		± мин. (0,002 D, 10)

Приложение B
(справочное)

Образец бланка соглашения с субподрядчиком

Декларация на работы по субподряду для частей или компонентов сосудов, работающих под давлением

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Субподрядчик: _____
Имя и адрес субподрядчика

Изготовление для: _____
Имя и адрес изготовителя

Детальные чертежи: _____
Чертеж №, исправления

В соответствии с EN 13445-___: _____
Часть №, Редакция

Проект:

Основные условия проекта сосуда, работающего под давлением

Расчетное давление, бар	Расчетная температура, °C	Группа испытаний	Категория опасности	Допуск на коррозию	Коэффициент соединения	Модуль оценки соответствия

РАБОТЫ ПО СУБПОДРЯДУ

Описание части или компонента, работающего под давлением, по субподряду:

_____
Общее название изделия для части и компонента и количество

Работы, выполняемые по субподряду:

☐ Проектирование: _____

☐ Формовка: _____

☐ Сварка: _____

☐ Термическая обработка: _____

☐ Неразрушающие испытания: _____

☐ Контрольное испытание: _____

Название ответственного органа, если необходимо: _____

Нижеподписавшийся подтверждает, что работы по субподряду были выполнены в соответствии с контрактом и требованиями, определенными выше.

Дата, место: _____ Субподрядчик

_____

Должность/подпись _____

Приложение Y
(справочное)

Отличия между EN 13445:2002 и EN 13445:2009

Редакция 2009 года EN 13445 включает в себя редакцию 2002 года, а также все поправки и исправления, внесенные за этот срок.

К наиболее важным изменениям относятся следующие положения:

– дополнительные требования к проектированию на основе расчетов (DBA);

– поправки, касающиеся ползучести;

– сокращение количества испытательных листов для производственного испытания.

Приложение ZA
(справочное)

Взаимосвязь между настоящим европейским стандартом и основными требованиями Директивы ЕС 97/23/ЕС по оборудованию, работающему под давлением

Настоящий европейский стандарт подготовлен в соответствии с поручением, выданным Европейскому комитету по стандартизации (CEN) Европейской Комиссией и Европейской ассоциацией свободной торговли для обеспечения соответствия основными требованиям Директивы 97/23/ЕС по новому подходу к оборудованию, работающему под давлением.

Поскольку настоящий европейский стандарт приводится в официальном журнале Европейского союза под данной директивой, и внедрен в качестве национального стандарта по крайней мере в одном государстве-члене, соответствие пунктам данного стандарта, приведенным в таблице ZA.1, подразумевает в рамках области действия настоящего стандарта возможность соответствия основным требованиям данной Директивы и связанными с ними норм Европейской ассоциации свободной торговли (EFTA).

Таблица ZA.1 – Соответствие между настоящим европейским стандартом и Директивой 97/23/ЕС по оборудованию, работающему под давлением

Раздел (разделы)/ подраздел (подразделы) настоящего европейского стандарта	Основные требования Директивы 97/23/ЕС по оборудованию, работающему под давлением	Уточняющие комментарии / Примечания
3, 5	3.1	Соответствующие способы и технология
9.2, 9.3	3.1.1	Технология производства, формовка
7.6	3.1.1	Подготовка комплектующих частей
7.3, 8	3.1.2, 7.2	Характеристики постоянных соединений
7.4	3.1.2	Квалифицированный персонал для выполнения постоянных соединений
7.3, 7.7, 7.8 7.9, 11	3.1.2	Рабочая процедура для выполнения постоянных соединений
9.4, 10	3.1.4	Термическая обработка
4.2	3.1.5	Прослеживаемость
12	3.2.1	Заключительный контроль

ВНИМАНИЕ – К изделиям, относящимся к области применения настоящего стандарта, могут применяться иные требования и иные Директивы ЕС.

Библиография

[1] EN ISO 14731:2007 Координирование сварочных работ. Задачи и обязанности

[2] EN 764-3:2002 Оборудование, работающее под давлением. Часть 3. Определение участвующих сторон

[3] ISO 857-1:1998 Сварка и связанные с ней процессы. Словарь. Часть 1. Процессы сварки металлов

[4] EN 1011-2:2001 Сварка. Рекомендации по сварке металлических материалов. Часть 2. Дуговая сварка ферритных сталей

[5] EN 1708-1:1999 Сварка. Соединения сварные стальных деталей. Часть 1. Компоненты оборудования и сосудов, работающих под давлением

[6] EN ISO 13916:1996 Сварка. Руководство по измерению температуры предварительного подогрева, температуры перехода и температуры сопутствующего подогрева при сварке (ISO 13916:1996)

[7] CR ISO 17663:2001 Сварка. Требования к качеству по термической обработке в связи со сваркой и родственными процессами (ISO/TR 17663:2001)

Ответственный за выпуск *В. Л. Гуревич*

Сдано в набор 22.03.2010. Подписано в печать 21.04.2010. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 12,09 Уч.- изд. л. 6,85 Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)
ЛИ № 02330/0552843 от 08.04.2009.
ул. Мележа, 3, комн. 406, 220113, Минск.

gost.e-ecolog.ru