



中华人民共和国国家标准

GB/T 29168.1—2021

代替 GB/T 29168.1—2012

石油天然气工业 管道输送系统用 感应加热弯管、管件和法兰 第 1 部分：感应加热弯管

Petroleum and natural gas industries—Induction bends, fittings and flanges for
pipeline transportation systems—Part 1: Induction bends

(ISO 15590-1:2018, MOD)

2021-08-20 发布

2022-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 符号和缩略语	5
4.1 符号	5
4.2 缩略语	6
5 标识	6
6 设计	7
6.1 荷载	7
6.2 判别标准	7
6.3 弯管壁厚	7
6.4 不等强度连接设计	7
7 购方提供的信息	7
7.1 一般信息	7
7.2 附加信息	7
7.3 母管信息	8
8 材料	8
9 制造	9
9.1 通则	9
9.2 制造工艺确认	10
9.3 评定试验用弯管	10
9.4 弯制后热处理	12
9.5 弯制后成形和定径	12
9.6 管端	12
10 弯管性能要求	12
10.1 拉伸性能	12
10.2 夏比冲击韧性	13
10.3 硬度	15
10.4 埋弧焊缝弯管焊缝导向弯曲性能	17
10.5 压扁试验	17
10.6 金相组织及晶粒度检查	17
10.7 HIC 试验	17
10.8 SSC 试验	17

10.9	尺寸、几何形状和允许偏差	17
11	试验和检验	18
11.1	通则	18
11.2	试验和检验范围	19
11.3	化学成分	22
11.4	力学性能检验	22
11.5	无损检测	26
11.6	尺寸	28
11.7	测量	30
11.8	静水压试验	30
12	检查文件	30
13	标志	31
14	包装和运输	31
附录 A (资料性)	本文件与 ISO 15590-1:2018 相比的结构变化情况	32
附录 B (资料性)	本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因	35
附录 C (规范性)	非酸性弯管母管材料	38
附录 D (规范性)	制造工艺规范	40
附录 E (规范性)	酸性介质下的 PSL 2S 弯管	41
参考文献	45

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 29168《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰》的第1部分。GB/T 29168 已经发布了以下部分：

- 第1部分：感应加热弯管；
- 第2部分：管件；
- 第3部分：法兰。

本文件代替 GB/T 29168.1—2012《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第1部分：感应加热弯管》。本文件与 GB/T 29168.1—2012 相比，除编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 修改了文件适用范围，内容进行了补充完善(见第1章)；
- 删除了一致性要求(见2012年版的第2章)；
- 删除了部分对母材缺陷进行协商修补等内容(见2012年版的第10章)；
- 增加了 GB 50251 和 GB 50253 相关文件的要求，增加了不等强度设计条款要求(见第6章)；
- 弯管母管材料的力学性能指标增加了感应加热弯管热煨制模拟试验样件进行验收的指标要求，对弯管母管的水压极限承载能力提出明确要求(见第8章)；
- 修改了弯管母管的管型选择中直缝埋弧焊管的外径外围(见第9章)；
- 修改了拉伸试验、夏比冲击韧性试验及硬度等力学性能试样的取样部位、机加工方式的具体技术要求(见第10章)；
- 增加了壁厚大于 25 mm 的弯管分层矩形试样的条款要求(见第10章)；
- 增加了埋地和非埋地夏比冲击韧性试验温度选取的推荐试验温度要求(见第10章)；
- 增加了拉伸试验、夏比冲击韧性试验及硬度等力学性能具体技术指标验收要求(见第10章)；
- 增加了母管公称壁厚大于 25 mm 的直缝埋弧焊弯管取样位置要求，增加了试验检测要求(见第10章)。

本文件修改采用 ISO 15590-1:2018《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第1部分：感应加热弯管》。

本文件与 ISO 15590-1:2018 相比在结构上有较多的调整，附录 A 中列出了本文件与 ISO 15590-1:2018 的章条编号对照一览表。

本文件与 ISO 15590-1:2018 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示，附录 B 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本文件起草单位：中国石油集团石油管工程技术研究院、中国石油工程建设有限公司西南分公司、中油管道机械制造有限责任公司、中国石油集团渤海石油装备制造有限公司、西安石油大学。

本文件主要起草人：刘迎来、王鹏、刘俊、雒定明、池强、方伟、黄磊、李玉卓、赵志伟、张骁勇。

本文件于 2012 年首次发布，本次为第一次修订。

引 言

感应加热弯管、管件和法兰是长输管道和站场阀室工程建设不可或缺的重要变向结构件,为规范石油天然气工业管道输送系统用管材的采购及应用,制定了石油天然气工业管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰的系列技术文件。本文件在制定中参考了 ISO 15590-1 等国内外有关标准,同时吸收了近年来油气管道工程建设用弯管方面的应用基础研究及技术标准的研究成果和实践经验。根据产品类型、生产工艺、几何以及检验要求等因素,GB/T 29168《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰》分为 4 个部分:

- 第 1 部分:感应加热弯管;
- 第 2 部分:管件;
- 第 3 部分:法兰;
- 第 4 部分:工厂冷弯管。

管道工程建设过程中,为了满足输送介质分流、变向和缓解、改善苛刻负荷下管道系统内干线钢管所承受的异常外来负荷的作用,在管道敷设、阀室、站场和加压站现场施工中往往需要大量的管道结构件。管道结构件根据几何形状和应用环境可以分为弯管、管件和法兰等。根据生产工艺和加工方式的不同,弯管可分为感应加热弯管和冷弯管,三通可分为焊接三通、热加压三通等。本文件在结合产品类型、几何形状、生产加工工艺以及检验要求等因素的基础上,将 GB/T 29168《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰》分为四个部分,其中根据弯管加工工艺的不同要求,本文件将弯管分为第 1 部分感应加热弯管和第 4 部分冷弯管。第 2 部分为采用碳钢或低合金钢无缝钢管和焊接钢管制造的管件,如弯头、管帽、三通、异径管等产品的技术要求。第 3 部分为石油天然气工业管道输送系统的碳钢以及低合金钢锻造法兰技术要求。

石油天然气工业 管道输送系统用 感应加热弯管、管件和法兰 第1部分：感应加热弯管

1 范围

本文件规定了石油天然气管道输送系统用感应加热弯管的设计、材料、制造工艺、力学性能、试验和检验、标志、运输、储存及防护等要求。

按本文件规定制作的弯管适用于符合 GB 50251、GB 50253 设计的天然气、原油及符合国家现行产品标准要求的成品油管道。

本文件适用于以碳钢或低合金钢无缝钢管、高频焊管和直缝埋弧焊接钢管作为母管制造的感应加热弯管。

注：这些材料都是典型的 C-Mn 钢或低合金钢，与 GB/T 9711—2017 和 ISO 3183:2019 管线钢管强度级别一致。

本文件规定的感应加热弯管两个产品规范等级 (PSL) 与 GB/T 9711—2017 和 ISO 3183:2019 相对应。

本文件不适用于采用其他工艺生产的管线用弯管。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法 (GB/T 228.1—2010, ISO 6892-1:2009, MOD)

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法 (GB/T 228.2—2015, ISO 6892-2:2011, MOD)

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法 (GB/T 229—2020, ISO 148-1:2016, MOD)

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法 (GB/T 230.1—2018, ISO 6508-1:2016, MOD)

GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法 (GB/T 232—2010, ISO 7438:2005, MOD)

GB/T 4157—2017 金属在硫化氢环境中抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验方法

GB/T 4335 低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定法

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法 (GB/T 4340.1—2009, ISO 6507-1:2005, MOD)

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 8650—2015 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法

GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级 (GB/T 8923.1—2011, ISO 8501-1:2007, IDT)

GB/T 29168.1—2021

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证(GB/T 9445—2015,ISO 9712:2012,IDT)

GB/T 9711—2017 石油天然气工业 管线输送系统用钢管(ISO 3183:2012,MOD)

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 15970.2 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第2部分:弯梁试样的制备和应用(GB/T 15970.2—2000, idt ISO 7539-2:1989)

GB/T 17600.1 钢的伸长率换算 第1部分:碳素钢和低合金钢(GB/T 17600.1—1998,eqv ISO 2566-1:1984)

GB/T 18253 钢及钢产品 检验文件的类型(GB/T 18253—2018,ISO 10474:2013,IDT)

GB 50251 输气管道工程设计规范

GB 50253 输油管道工程设计规范

SY/T 6577.1 管线钢管运输 第1部分:铁路运输

SY/T 6577.2 管线钢管运输 第2部分:内陆及海上船舶运输

SY/T 6577.3 管线钢管运输 第3部分:卡车运输

ISO 3183:2019 石油天然气工业 管线输送系统用钢管(Petroleum and natural gas industries—Steel pipe for pipeline transportation systems)

ISO 10893-4 钢管无损检测 第4部分:无缝和焊接钢管表面缺欠的液体渗透检测(Non-destructive testing of steel tubes—Part 4: Liquid penetrant inspection of seamless and welded steel tubes for the detection of surface imperfections)

ISO 10893-5 钢管无损检测 第5部分:无缝和焊接铁磁性钢管表面缺欠的磁粉检测(Non-destructive testing of steel tubes—Part 5: Magnetic particle inspection of seamless and welded ferromagnetic steel tubes for the detection of surface imperfections)

ISO 10893-8 钢管无损检测 第8部分:无缝和焊接钢管分层缺欠的自动超声波检测(Non-destructive testing of steel tubes—Part 8: Automated ultrasonic testing of seamless and welded steel tubes for the detection of laminar imperfections)

ISO 10893-9 钢管无损检测 第9部分:焊接钢管用钢带/钢板分层缺欠的自动超声检测(Non-destructive testing of steel tubes—Part 9: Automated ultrasonic testing for the detection of laminar imperfections in strip/plate used for the manufacture of welded steel tubes)

ISO 10893-10:2011 钢管无损检测 第10部分:无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向和/或横向缺欠的全周自动超声检测[Non-destructive testing of steel tubes—Part 10: Automated full peripheral ultrasonic testing of seamless and welded(except submerged arc-welded)steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections]

ISO 10893-11:2011 钢管无损检测 第11部分:焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声检测(Non-destructive testing of steel tubes—Part 11: Automated ultrasonic testing of the weld seam of welded steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections)

ASNT SNT-TC-1A 无损检测人员资格鉴定与认证(Personnel qualification and certification in nondestructive testing)

ASTM A370 钢产品机械性能试验的标准试验方法和定义(Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products)

ASTM A435 钢板直射法超声检验规范(Standard specification for straight-beam ultrasonic examination of steel plates)

ASTM A578/A578M 特殊用途轧制钢板直射法超声检验标准规范(Standard specification for

straight-beam ultrasonic examination of rolled steel plates for special applications)

ASTM E18 金属材料洛氏硬度标准试验方法(Standard test methods for Rockwell hardness of metallic materials)

ASTM E45—2018 钢中夹杂物含量评定的标准试验方法(Standard test methods for determining the inclusion content of steel)

ASTM E92 金属材料维氏硬度标准试验方法(Standard test method for Vickers hardness of metallic materials)

ASTM E112 金属材料平均晶粒度测定方法(Standard test methods for determining average grain size)

ASTM E165 液体渗透标准试验方法(Standard test method for liquid penetrant examination)

ASTM E340 金属和合金宏观侵蚀标准试验方法(Standard test method for macroetching metals and alloys)

ASTM E709 磁粉检验标准指南(Standard guide for magnetic particle testing)

ASTM E797 手工超声脉冲回波接触法测厚标准操作方法(Standard practice for measuring thickness by manual ultrasonic pulse-echo contact method)

ASTM G39 弯曲梁应力腐蚀试验试样的制备和使用标准方法(Standard practice for preparation and use of bent-beam stress-corrosion test specimens)

NACE TM0177:2016 金属在 H₂S 环境中抗硫化物应力开裂的实验室试验[Laboratory testing of metals for resistance to sulfide stress cracking in hydrogen sulfide (H₂S) environments]

NACE TM0284:2016 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂标准试验方法(Standard test method—Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen-induced cracking)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弯曲段 arc

弯管的弯曲部分。

3.2

依照协议 as agreed

由制造商和购方双方协商形成的要求,且已在合同中注明。

3.3

弯曲角度 bend angle

整个弯管的方向变化部分所形成的平面角。

3.4

弯管评定试验 bend qualification test

依据制造工艺规范(MPS)要求生产一根弯管,进行质量检验,证明所生产的弯管能够符合本文件的要求,可以按照本文件要求进行弯管生产的试验。

3.5

弯曲半径 bend radius

从弯管的弯曲中心到其中心轴线的距离。

3.6

缺陷 defect

尺寸和/或分布密度超出本文件规定的验收极限的缺欠。

3.7

外弧侧 extrados

弯管弯曲段的外侧部分。

3.8

熔炼批 heat

采用一种工艺生产的同一个批次的钢材。

3.9

如果协议 if agreed

如果由制造商和购方双方协商,并在订购合同中注明的已确定要求或比已确定要求更加严格的要求。

3.10

缺欠 imperfection

按本文件所述的检查方法检验出来的产品壁厚内部或表面的不连续性和不规则处。

3.11

指示 indication

通过无损检验得出的证据。

3.12

感应加热弯制 induction bending

利用感应加热方法在钢管圆周形成一条狭窄的环形加热带,在钢管移动的同时使其连续弯曲的工艺。

3.13

检验 inspection

测量、检查、试验、称重、测定产品的一个或多个特性的活动,并将这些活动的结果与规定要求进行对比,以确定符合性。

3.14

内弧侧 intrados

弯管弯曲段的内弧侧部分。

3.15

分层 lamination

内部金属分离形成的片层,通常与钢管表面平行。

3.16

制造商 manufacturer

按本文件的要求,负责生产产品且对产品做标志的工厂、公司或社团。

3.17

制造工艺规范 manufacturing procedure specification; MPS

规定并描述母管性能、弯制工艺、弯后热处理设备和工艺、无损检验、钢管坡口型式及尺寸等技术文件。

注:制造工艺规范包括检测及评定结果。

3.18

母管 mother pipe

用于制作弯管的直管。

3.19

无损检测 non-destructive testing

采用本文件规定的不对材料组织产生干涉、应力、破坏的射线检验、超声波或其他方法,使缺欠能显现出来的检验。

3.20

购方 purchaser

负责确定产品订货要求且为所购产品付款的一方。

3.21

服役条件 service condition

由购方在订货合同中规定的使用条件。

注:在本文件中,术语“酸性服役”和“海上服役”指服役条件。

3.22

直管段 tangent

弯管上位于感应加热弯管弯曲段两侧起弯点和终弯点的横截面处,分别向两侧延伸,并与其切线相重合的一定长度直管。

3.23

过渡区 transition zone

位于弯管感应加热起弯点或终弯点附近的一段区域,该区域包含从未加热母管的末端延伸至已加热至弯制温度始端的那部分管段。

3.24

壁厚减薄 wall thinning

母管原始壁厚和弯管外弧侧壁厚之差。

4 符号和缩略语

4.1 符号

下列符号适用于本文件。

A —— 伸长率, %

CVD, L_{CVD} —— 波浪高度, 单位为毫米(mm)

D_2, D_4 —— 两邻近波峰的外径, 单位为毫米(mm)

D_3 —— 波谷的外径, 单位为毫米(mm)

D —— 规定直径, 外径或内径, 单位为毫米(mm)

D_{max} —— 最大测量直径, 外径或内径, 单位为毫米(mm)

D_{min} —— 最小测量直径, 外径或内径, 单位为毫米(mm)

L —— 弯管直管段长度, 单位为毫米(mm)

l —— 邻近波峰距离, 单位为毫米(mm)

O —— 椭圆度, %

R —— 曲率半径, 单位为毫米(mm)

R_m —— 抗拉强度, 单位为兆帕(MPa)

$R_{t0.5}$	——规定总延伸率为 0.5% 时的应力,单位为兆帕(MPa)
r_b	——弯管中心线处半径,单位为毫米(mm)
r_p	——弯管名义壁厚处半径,单位为毫米(mm)
T_{dmin}	——购方规定的最低设计温度,单位为摄氏度(°C)
T_r	——弯管外弧侧壁厚减薄率,%
t	——弯管直管段名义壁厚,单位为毫米(mm)
t_i	——弯管内弧侧壁厚最小值,单位为毫米(mm)
t_{min}	——与 ISO 13623 或其他应用的设计标准一致的弯管直段最小壁厚,包括任何腐蚀裕量,单位为毫米(mm)
t_{1min}	——弯管外弧最薄处壁厚,单位为毫米(mm)
α	——弯曲角度,单位为(°)

4.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BQT	弯管评定试验(bend qualification test)
CTOD	裂纹尖端张开位移(crack tip opening displacement)
HAZ	热影响区(heat-affected zone)
HIC	氢致开裂(hydrogen-induced cracking)
HFWD	制造钢管时,对钢管实施的高频焊接工艺(high-frequency electric welding process for pipe during manufacturing)
MPS	制造工艺规范(manufacturing procedure specification)
MT	磁粉检测(magnetic particle testing)
NDT	无损检测(non-destructive testing)
PSL	产品规范等级(product specification level)
PT	液体渗透试验(liquid-penetrant testing)
RT	射线检测(radiographic testing)
SAW	制造钢管时,对钢管实施的埋弧焊工艺(submerged arc welding process for pipe during manufacture)
SAWL	制造钢管时,对钢管实施的直缝埋弧焊工艺(submerged arc longitudinal welding process for pipe during manufacture)
SSC	硫化物应力开裂(sulfide stress-cracking)
SWC	阶梯开裂(step-wise cracking)
UT	超声波检测(ultrasonic testing)
WPS	焊接工艺规范(welding procedure specification)

5 标识

感应加热弯管的标识应采用“IB ×××-PSL 1”或“IB ×××-PSL 2”“IB ×××-PSL 2S”“IB ×××-PSL 2O”“IB ×××-PSL 2SO”,其中:

- “×××”表示规定的最小屈服强度,单位为兆帕(MPa);
- “PSL 1”或“PSL 2”表示在非酸性条件下陆上服役的感应加热弯管的交货产品规范等级;
- “PSL 2O”表示在非酸性条件下海上服役的感应加热弯管的交货产品规范等级;
- “PSL 2S”表示酸性条件下陆上服役的 PSL2 级别的感应加热弯管;

——“PSL 2SO”表示酸性条件下海上服役的 PSL2 级别的感应加热弯管。

6 设计

6.1 荷载

弯管应依据其内部介质压力和温度进行设计,此外设计者还宜依据 GB 50251 或 GB 50253 规定考虑其他的静态和动态荷载,以及其所在管线的环境条件、压力试验条件等。

6.2 判别标准

弯管由其内部介质压力引起的环向应力应不大于按照 GB 50251 或 GB 50253 允许的弯管直段环向应力,应通过计算证明符合要求或符合 6.3 规定。

6.3 弯管壁厚

6.3.1 弯管外弧侧壁厚至少为 t_{\min} 。

6.3.2 弯管内弧侧壁厚最小值至少应为式(1)计算值:

$$t_i = t_{\min} \times \frac{2r_b - r_p}{2(r_b - r_p)} \dots\dots\dots (1)$$

对于不是按照 GB 50251 和 GB 50253 设计的管线,弯管外弧侧壁厚可能会小于 t_{\min} ,但应保证弯管的承载能力不低于与之相连接的直管的承载能力。

6.4 不等强度连接设计

弯管可以与具有不同壁厚和(或)屈服强度的管子连接,但弯管的规定壁厚乘以其规定最小屈服强度不应小于所连接钢管的规定壁厚乘以其规定的最小屈服强度。

7 购方提供的信息

7.1 一般信息

购方应提供以下信息:

- a) 本文件的编号和出版年份;
- b) 弯管的标志;
- c) 弯管的数量;
- d) 母管提供(购方或制造商);
- e) 弯管强度等级;
- f) 弯管尺寸:
 - 直径(内径或外径);
 - 最小壁厚;
 - 弯曲半径;
 - 弯曲角度;
 - 直管段长度。
- g) 管端坡口角度及尺寸(如果管端不是直角端面)。

7.2 附加信息

可能的条件下,购方应提供下列附加信息:

- a) 最低设计温度；
- b) 最高设计温度；
- c) 最大壁厚；
- d) 特殊的尺寸要求；
- e) 补充的检验和试验要求；
- f) 测量和其他尺寸测量要求；
- g) (如果与本文件不同)管线设计标准和设计系数(如果与 GB 50251 或 GB 50253 不同)；
- h) 管线运行条件(包括输送介质、压力、温度等)；
- i) 是否需要进行弯制后热处理；
- j) 最高设计温度下的弯管力学性能要求；
- k) 夏比冲击试验温度；
- l) 验证试验或静水压试验要求；
- m) 见证停止点和购方批准；
- n) 外观质量；
- o) 涂敷或喷涂要求；
- p) 标志要求(如果与本文件不同)；
- q) 包装和搬运说明；
- r) 第三方检验机构；
- s) 依据 GB/T 18253 规定的检验文件；
- t) 检验文件的格式和附加内容要求；
- u) 硬度试验要求；
- v) 其他特殊要求。

7.3 母管信息

7.3.1 如果母管由购方提供,应由购方向制造商提供母管信息,包括但不限于以下信息:

- a) 采购规范；
- b) 母管直径(内径或外径)；
- c) 母管壁厚(名义或最小壁厚)；
- d) 母管长度；
- e) 母管制造商。

7.3.2 如果可以,应提供以下附加信息:

- a) 母管制造标准和母管质量证明书,包括化学成分、热处理状态、力学性能、金相分析、水压试验;尺寸和无损检测结果、金相分析、晶粒度和水压试验等项目的质量证明书或检验报告;
- b) 焊接工艺规范和 SAWL 钢管焊缝的化学成分;
- c) SAWL 钢管的焊缝修补焊接工艺规范。

8 材料

8.1 符合本文件的感应加热弯管所采用的母管管型和规格应符合表 1 的要求,其制造工艺应符合 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 要求。对于直缝焊管(SAWL、HFW),其焊缝应适用于再次热加工。

8.2 用于制造 PSL 1 感应加热弯管的母管材料应符合 GB/T 9711—2017 PSL 1、ISO 3183:2019 PSL 1 要求；用于制造 PSL 2、PSL 2O 感应加热弯管的母管材料应符合附录 C 要求；PSL 2S、PSL 2SO 弯管生产使用的母管应符合 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 要求。经购方与制造商协商一致，也可在材料可焊性满足本文件要求的前提下，采用本文件规定以外的经过感应加热弯管工艺验证试验证明可满足弯管综合性能要求，并通过购方确认的材料。

表 1 感应加热弯管母管的管型及规格

管型	外径 D mm		规范等级		
	min	max	PSL 2、PSL 2O、PSL 2S、PSL 2SO	PSL 1	
直缝埋弧焊管(SAWL)	219	1 422	L245/B~L555/X80	仅有一条有填充金属的纵向焊缝	L210/A~L360/X52
高频焊管(HFW)	—	610	L245/B~L450/X65	仅有一条无填充金属的纵向焊缝	
无缝钢管(SMLS)	—	426	L245/B~L450/X65		

8.3 母管的管体不应补焊。

8.4 对接管不能用于制造感应加热弯管。当弯管角度较大，采用定尺长度的母管不能满足弯管生产时，应采用定尺长度加长的母管进行弯管生产；或者与管道设计、施工等负责部门协调，在壁厚满足设计要求的前提下，选用较小弯曲半径的弯管替代原设计感应加热弯管。

8.5 弯管用母管表面应无油污。母管在制造、搬运、装卸过程中不应与低熔点金属(Cu、Zn、Sn、Pb 等)接触，否则应采用适当的方法(如喷砂)清除。

8.6 母管应有钢管制造商提供的质量证明书。

8.7 母管进厂后，弯管制造商应按其批号、规格和技术资料等进行验收，并对母管原材料的外观、几何尺寸、理化性能和无损检测等进行抽检。

8.8 母管可由购方或制造商提供。如果母管由购方提供，制造商应与购方协商母管材料的成分、性能(也可参见附录 C)和尺寸(包括焊缝和返修焊缝)，以适应于感应加热弯管的生产。

8.9 母管壁厚应有充足的裕量，以保证弯管外弧侧壁厚满足设计要求。

9 制造

9.1 通则

9.1.1 制造商应持有中华人民共和国特种设备制造许可证(压力管道元件)证书、ISO 质量体系认证证书或其他相应资质的质量体系认证证书。

9.1.2 按照本文件要求所制造的感应加热弯管，其基本参数应符合表 2 的要求，若合同另有规定时，按合同规定执行。

9.1.3 若弯管母管为直缝埋弧焊管或高频焊管，弯管热煨成型时，其纵焊缝应放置在弯管的内弧侧，距壁厚基本不变的中性线 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 范围内。

9.1.4 应采用电感应加热弯制工艺制造弯管，并根据所采用母管材料热加工特性选用合适的热塑性加工工艺和冷却介质进行弯管成型热煨制。弯管制造过程中弯制应连续不间断进行，不准许中断。

表 2 弯管基本参数

管型	外径 D mm	曲率半径 R mm	弯管最小壁厚 $t_{1\min}$ mm	弯曲角度 α	弯管直管段长度 L mm	规范等级	
						PSL 2、PSL 2O、 PSL 2S、PSL 2SO	PSL 1
直缝埋弧焊	≥ 219	$3D$	(按设计 文件规定)	(按设计 文件规定)	100~500	IB 245~IB 555	IB 210~ IB 360
	≤ 1422	$4D\sim 6D$			500~1 200 (或按设计文件)		
无缝	≤ 426	$3D$	(按设计 文件规定)	(按设计 文件规定)	100~500	IB 245~IB 450	
		$4D\sim 6D$			100~1 000 (或按设计文件)		
高频焊	≤ 610	$3D$			100~500		
		$4D\sim 6D$			100~1 000 (或按设计文件)		

9.1.5 IB 555-PSL 2、IB 555-PSL 2S、IB 555-PSL 2O、IB 555-PSL 2SO 级别的弯管应采用整体加热工艺方式进行生产,IB485 及以下强度级别的弯管可采用整体加热或局部加热两种工艺方式中的任何一种进行生产,宜选用局部加热工艺方式。

9.1.6 PSL 2、PSL 2O 规范等级 IB 555、IB 485、IB 450 强度级别的弯管应进行弯后回火或消除应力等热处理,IB415 及以下强度级别的弯管应根据弯管综合性能、所选用材料特性及服役环境确定是否进行弯后热处理。PSL 2S、PSL 2SO 规范等级所有强度级别的弯管均应进行弯后正火、正火加回火、回火或消除应力等方式中的一种或几种必要的热处理。

9.1.7 弯管最终无损探伤检验前应进行表面除污处理。

9.1.8 在购方同意的情况下,可用不同强度级别的材料代替原设计强度级别的材料,但其强度等级的差不应超过两个钢级。

9.2 制造工艺确认

9.2.1 感应加热弯管的热煨制造应依照 MPS 文件的要求进行。如购方有规定,在正式或在协议生产开始时,应按照附录 D 给出的详细条款要求,提交与订购 PSL 级弯管相对应的弯管制造工艺规范(MPS 文件)。MPS 文件应符合附录 D 要求。

9.2.2 “购货合同”签订后,制造商如果对提交的文件有变动,应立即报告购方认可。如果不能按时报告并得到认可,则被视为拒绝执行合同的依据。

9.2.3 制造商提供的所有制造工艺文件需要得到购方或购方委托人的签字方可认为有效,否则购方有权拒收制造商提供的所有产品。

9.2.4 购方在进行 MPS 认可过程中,制造商应提供先前生产数据文件或生产开始时按照表 8、表 9 中要求所完成的强制检测项目的试验检测结果,供购方或购方代表确认。

9.3 评定试验用弯管

9.3.1 评定试验用弯管的母管应与正式生产弯管所用母管具有相同的管型、钢级、直径和订货技术条件。当满足前述条件,若选用其中某确定壁厚母管所完成的合格工艺评定试验结果,制造商在保证弯管

性能,质量符合本文件要求的前提下,可将前述评定合格的 MPS 用于确定母管壁厚范围(—6 mm~0 mm)弯管的生产。当弯管母管壁厚超出上述范围时,制造商应重新进行工艺评定试验。

9.3.2 试制弯管若采用非整体加热工艺,其检验应包括直管段、起始过渡区、终止过渡区和弯曲段,且试制弯管应有足够的弧长,以确保必要的试验取样。

9.3.3 弯管试制工艺参数偏差应符合表 3 规定。试制弯管数量一般不少于 3 根(含设计验证试验用弯管),设计验证试验用弯管的弯曲角度应不小于 30°。

9.3.4 试验弯管的试验和检验应按照第 11 章进行并记录。

对于表 1 中的每一个控制参数,生产使用的 MPS 应注明:

——试验弯管制造记录,

——产品弯管生产时允许范围。

控制参数的变更不应超过表 3 的允许限制。

表 3 控制参数和最大允许偏差

参数	最大允许偏差*
外观	协商一致
母管名义直径	无
母管名义壁厚	$^{+3}_0$ mm
弯曲半径	对于 $r_b \leq 5D$, $^{+25}_0$ % 对于 $5D < r_b \leq 10D$, $^{+100}_0$ % 对于 $r_b > 10D$, $^{+\infty}_0$ %
推进速度	± 2.5 mm/min
加热温度	± 25 °C
感应圈设计	与评定试验条件保持一致
冷却介质	与评定试验条件保持一致
冷却介质流速或压力	± 10 %
冷却介质温度	± 15 °C
功率	± 5 %,在稳定条件下(无缝钢管需进行协商)
感应加热频率	± 20 %
焊缝位置	内弧侧 0~10°
弯后热处理	保温时间: $^{+15}_0$ min 保温温度: ± 15 °C 加热和冷却速率:协商确定
* 允许的变量适用于从弯管评定试验获得的值。	

9.4 弯制后热处理

9.4.1 制造商应提供详细的热处理工艺。

9.4.2 弯管热处理过程中,应通过与弯管直接接触的热电偶,或与弯管有相同温度的材料相接触的热电偶对炉内加热温度进行监控,并记录。热电偶的位置和类型应在 MPS 中注明。

9.4.3 热电偶每半年检定一次。热处理时炉温温差应控制在 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

9.5 弯制后成形和定径

弯制后不应使用热成型,包括局部热处理,或者热定径。否则,弯管应在临界温度点以上进行整体热处理。

无后续热处理时,可以使用冷成型或冷定径,但冷成型或冷定径率最大不应超过 1.5%。

9.6 管端

管端坡口应采用机加工成型,当设计和订货合同未明确要求管端坡口尺寸时,管端坡口应符合图 1 规定。

弯管管端距管端面 150 mm 范围内的内外焊缝余高均应去除。去除后内外焊道剩余高度应不大于 0.5 mm,但不应低于管体表面。焊缝磨削去除时,不应明显伤及管体,且应圆滑过渡。

单位为毫米

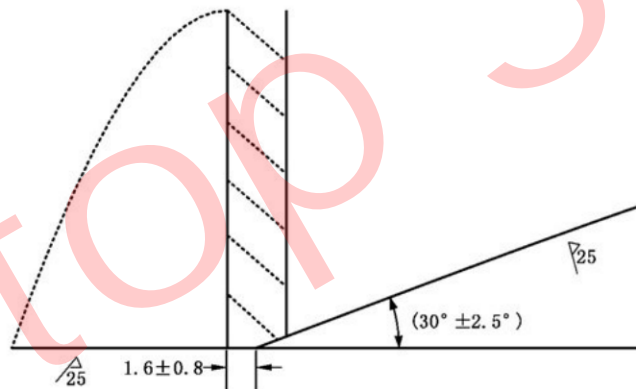


图 1 弯管管端坡口

10 弯管性能要求

10.1 拉伸性能

10.1.1 弯管管体拉伸性能

弯管弯曲段管体、直管段的管体试样,以及直管段与弯曲段过渡段的管体试样的拉伸试验结果应符合表 4 的规定。

表 4 拉伸性能要求

管体								焊接接头 ^c		
钢级	屈服强度 ^a $R_{10.5}$ MPa			抗拉强度 R_m MPa			屈强比 $R_{10.5}/R_m$	伸长率 ^b A %	抗拉强度 R_m MPa	断裂位置
	PSL 1	PSL 2、PSL 2S、 PSL 2O、PSL 2SO		PSL 1	PSL 2、PSL 2S、 PSL 2O、PSL 2SO		max	min	min	
		min	min		max	min				
IB555	555	555	705	625	625	825	0.94	GB/T 17600.1 或 ISO 3183:2019	625	报告
IB485	485	485	635	570	570	760	0.93		570	报告
IB450	450	450	600	535	535	760	0.93		535	报告
IB415	415	415	565	520	520	760	0.93		520	报告
IB390	390	390	545	490	490	760	0.93		490	报告
IB360	360	360	530	460	460	760	0.93		460	报告
IB320	320	320	525	435	435	760	0.93		435	报告
IB290	290	290	495	415	415	760	0.93		415	报告
IB245	245	245	450	415	415	760	0.93		415	报告
IB210	210	—	—	335	—	—	—		—	335

^a 对于直径小于 219.1 mm 的钢管,其最大屈服强度应不大于 495 MPa。

^b 表中拉伸试样伸长率 A 值应根据试验所采用的标准体系,分别从对应的标准中查取。对于试样标距长度小于标准规定的试样,应将断裂后测得的伸长率转换为标准规定长度的伸长率。

^c 直缝埋弧焊、高频焊弯管。

10.1.2 弯管焊接接头拉伸性能

焊接接头全壁厚矩形拉伸试验结果应符合表 4 的要求;若采用多个分层试样,同一厚度方向上均匀分层矩形样的拉伸强度平均值应大于表 4 规定焊接接头抗拉强度最小值,且一组全壁厚分层样中任何一个分层拉伸试样若断在焊缝或熔合线以外的母材上,其单个试样的抗拉强度数值应大于表 4 规定抗拉强度最小值的 95%(碳素钢)或 97%(低合金钢)。

10.2 夏比冲击韧性

10.2.1 一般要求

当弯管外径不小于 114.3 mm,或者壁厚不小于 6 mm 时,PSL 2、PSL 2O、PSL 2S、PSL 2SO 级别弯管应按照规定试验温度进行夏比冲击韧性试验。

10.2.2 小尺寸试样

采用小尺寸试样时,要求的夏比冲击吸收能应为全尺寸试样的规定吸收能和小尺寸试样规定宽度与全尺寸试样规定宽度比值的乘积,计算结果圆整到最邻近的 1 J。

10.2.3 试验温度

夏比冲击试验温度宜按以下原则选取:

- a) 弯管夏比冲击试验温度宜考虑当地最低环境温度,试验温度应低于管线通过地区当地最低环境温度,试验温度宜取 -10 °C、-20 °C、-30 °C 或 -45 °C,且冲击吸收能量应符合表 5 的要求。
- b) 当最低环境温度低于 -30 °C 时,试验温度取 -45 °C,或/和采取保温或伴热等工艺措施,确保采取工艺措施后管道壁温度不低于 -30 °C。冲击吸收能量也应符合表 5 的要求。
- c) 埋地管线应在 -5 °C 和管道最小设计温度两者之间选择较低温度条件进行冲击试验,也可协议采用更低的试验温度,推荐选取 -20 °C。非埋地弯管应按照设计所选定的温度进行夏比冲击韧性试验,但最低夏比冲击试验温度不低于 -45 °C。

10.2.4 弯管管体夏比冲击韧性

弯管弯曲段管体和直管段管体横向试样(包括内弧侧增厚区、外弧侧减薄区、壁厚基本不变区)、直管段与弯曲段过渡区(左右过渡区)管体纵向试样在规定试验温度下的夏比冲击韧性试验结果应符合表 5 的规定。

表 5 夏比冲击韧性要求

试样位置	强度级别	夏比冲击试样断口剪切面积 SA%		夏比冲击吸收能量 (10 mm×10 mm×55 mm) J	
		单个试样最小值	三个试样平均值	单个试样最小值	三个试样平均值
弯管管体	≤IB555 ≥IB360	提供数据供参考	提供数据供参考	60	≥90
	≤IB320 ≥IB245			40	≥50
焊缝及热影响区	≤IB555 ≥IB485	提供数据供参考	提供数据供参考	50	≥75
	≤IB450 ≥IB360			40	≥50
	≤IB320 ≥IB245			30	≥40

10.2.5 弯管焊接接头夏比冲击韧性

弯管弯曲段管体和直管段的焊缝横向试样(包括埋弧焊、高频焊的焊缝中心及埋弧焊的热影响区)在规定试验温度下 PSL 2、PSL 2O、PSL 2S、PSL 2SO 级别弯管的夏比冲击韧性试验结果应符合表 5 的规定。

10.3 硬度

10.3.1 管体硬度

弯管直管段及弯曲段(包括内弧侧、外弧侧、壁厚基本不变中性区)管体,以及弯曲段与两侧直管段过渡区外弧侧管体横截面上靠近内外表面(1.5 mm)及壁厚中心处各 3 点[图 2 a)]的维氏硬度值应符合表 6 要求。

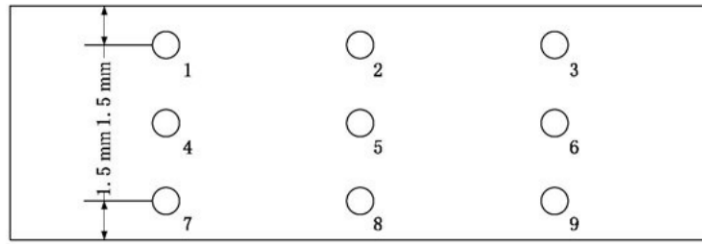
表 6 弯管硬度要求

强度等级	硬度最大值 HV ₁₀		
	PSL 1	PSL 2、PSL 2SO	PSL 2S、PSL 2SO ^a
IB210	255	255	250
IB245	255	255	250
IB290	255	255	250
IB320	255	255	250
IB360	255	255	250
IB390	255	255	250
IB415	255	255	250
IB450	265	265	250
IB485	280	280	250
IB555	300	300	250

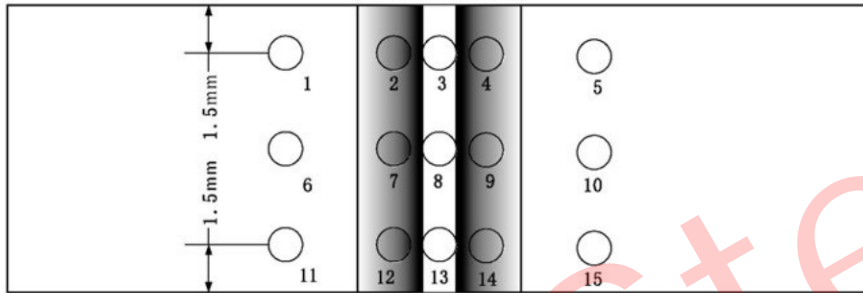
^a 非接触酸性介质的盖面焊道、外表面热影响区以及母材金属的最大允许硬度为 275HV₁₀。

10.3.2 焊接接头硬度

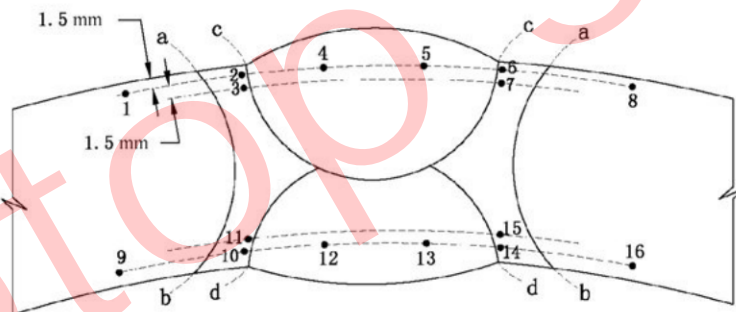
有缝弯管焊缝横截面[图 2 c)]上各点(1~16)的维氏硬度不应超过 10.3.1 的硬度规定要求。



a) 管体



b) HFW 焊焊缝



c) 埋弧焊焊缝

标引序号说明：

a-b——热影响区与未受热影响母材边界(腐蚀后可见)；

c-d——焊缝金属与焊缝热影响区边界(腐蚀后可见)，称为熔合线，即熔合边界。

图 2 维氏硬度横截面位置

10.3.3 表面硬度

10.3.3.1 弯管弯曲段(包括内弧侧、外弧侧及焊缝区)在制备力学性能试样前利用便携式里氏硬度计或等效的其他硬度计(应提供文件经购方确认)进行宏观硬度试验,三个区的宏观硬度试验平均值作为弯管生产硬度检测试验的参照值。

10.3.3.2 生产中每热处理炉不低于 20%比例的弯管,至少沿内弧侧、外弧侧及焊缝区三个位置利用便携式里氏硬度计进行宏观硬度试验。三个区的宏观硬度平均值与 10.3.3.1 对应区测定的硬度平均值的

波动不大于 15%，并且弯管管体任何部分最大硬度、焊缝和热影响区的最大硬度值均不超过表 6 要求。

10.4 埋弧焊缝弯管焊缝导向弯曲性能

10.4.1 PSL 2、PSL 2S、PSL 2O、PSL 2SO 弯管直管段和弯区段的焊缝应进行面弯、背弯试验。试验弯曲角度为 180°，IB 555～IB 415 强度等级材料对应弯轴直径为 6.0 T (T 为试样厚度)；IB 390～IB 245 强度等级材料对应弯轴直径为 5.0 T (T 为试样厚度)。

10.4.2 弯曲试验后，试样受拉伸面上焊缝、热影响区出现长度大于 1.5 mm 的任一横向(与试样宽度方向一致)裂纹或缺陷，以及长度大于 3 mm 的任一纵向(与试件纵向一致)裂纹或缺陷为不合格。试样边缘开裂一般不计，但由于夹渣或缺陷引起的边缘开裂，该试样视为不合格，应重新取样进行试验。

10.5 压扁试验

直缝高频焊弯管的直管段应按照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 要求进行压扁试验。

10.6 金相组织及晶粒度检查

10.6.1 有缝弯管的直管段及弯曲段焊缝横向截面上应进行低倍检查，并对埋弧焊缝中心、热影响区进行金相检查，见图 3。

10.6.2 应对弯管弯曲段(包括内弧侧、外弧侧、壁厚基本不变中性区)、弯曲段与直管段的过渡区的管体横向截面靠近内外表面、壁厚中心的显微组织、夹杂物等级和晶粒度进行检查。弯管管体中非金属夹杂物 A、B、C、D 四类薄、厚评定结果，PSL 2、PSL 2S、PSL 2O、PSL 2SO 规范级别强度级别 IB 555～IB 485 均应小于或等于 2.0，其他强度级别小于或等于 2.5，晶粒度应优于 6 级或更细，检验报告应附照片(可采用相近的适当倍数)。

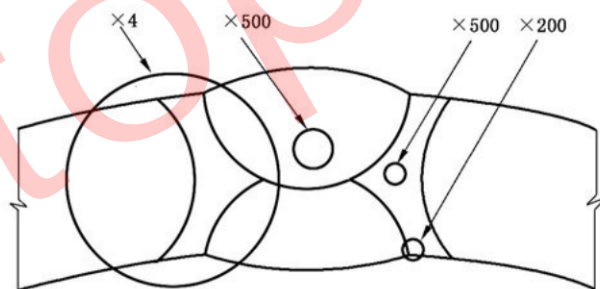


图 3 宏观与金相组织照相位置

10.7 HIC 试验

如果协议，弯管应进行 HIC 试验，试验应符合附录 E 要求。

10.8 SSC 试验

如果协议，弯管应进行 SSC 试验，试验应符合附录 E 要求。

10.9 尺寸、几何形状和允许偏差

10.9.1 直径与周长

弯管直管段用周长法测量的外径允许偏差 +2.0 mm, -1.0 mm。若有协议，按协议规定执行。测

量方法应按照 GB/T 9711—2017 的要求执行。

10.9.2 外弧侧壁厚减薄率

外弧侧壁厚减薄率 T_r 按式(2)计算:

$$T_r = \frac{t - t_{1min}}{t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

弯管壁厚最大减薄率应符合下列要求:

- 当曲率弯曲半径 $5D \leq R \leq 6D$ 时, $T_r \leq 10\%$;
- 当曲率弯曲半径 $R = 4D$ 时, $T_r \leq 13\%$;
- 当曲率弯曲半径 $R = 3D$ 时, $T_r \leq 18\%$ 。

10.9.3 椭圆度

弯管直管段距管端 100 mm 范围内,椭圆度 O 应不大于 0.8%。

弯管弯曲段的椭圆度 O 应符合下列要求:

- 当曲率弯曲半径 $5D \leq R \leq 6D$ 时, $O \leq 2.5\%$;
- 当曲率弯曲半径 $R = 4D$ 时, $O \leq 3.0\%$;
- 当曲率弯曲半径 $R = 3D$ 时, $O \leq 3.7\%$ 。

10.9.4 弯管弯曲角度与弯曲半径

弯管弯曲角度偏差应不超过 $+1^\circ, -1^\circ$ 。

弯管弯曲半径偏差:弯曲半径 $r_b \geq 1\,000\text{ mm}$, $\pm 1\%$; $r_b < 1\,000\text{ mm}$, $\pm 10\text{ mm}$ 。

10.9.5 弯管平面度与垂直度

弯管平面度应小于 10 mm。

弯管管端的垂直度应不大于 2.5 mm。

10.9.6 弯管管端平面度

弯管管端的平面度应不大于 1.5 mm。

11 试验和检验

11.1 通则

11.1.1 弯管力学性能试验和金相检验样件可采用弯曲段长度不小于 1 000 mm、直管段长度 500 mm 的弯管,其原材料、曲率半径、壁厚、感应加热弯制工艺和弯后回火热处理工艺应与所代表的一批弯管相同。若弯管几何尺寸较小时,采用 1 根感应加热弯管不能完成表 7 中所规定的力学性能检测项目,可协商选用同炉批、同规格母管、同热煨成型和热处理状态的多根感应加热弯管进行组合取样。

11.1.2 当第 11 章所要求的试验和检验完成,并且试验结果符合规范要求,MPS 才能被认可,生产弯管应接受。

海上服役条件下弯管(PSL 2O)的屈服强度可以通过协商增加。

11.1.3 弯管的试验和检验应在最终的热处理后进行。如果管线现场焊接施工作业需要对弯管进行焊后热处理,购方可以要求制造商提供附加的试验来证明其弯管力学性能在焊后热处理后符合本文件的

要求,但购方应提供给制造商现场弯管安装时所使用管线进行焊后热处理的详细工艺文件。

11.2 试验和检验范围

11.2.1 弯管评定试验

不同产品规范等级弯管的试验与检验要求详见表 7。

每一种规范等级的试验弯管应按照表 7 的要求进行相应的试验与检验项目。

破坏性试验取样部位和试验项目详见表 8,取样方向和位置如图 4 所示。

表 7 试验和检验要求

试验		PSL 1 ^a	PSL 2 ^a	验收准则
化学分析	化学成分	M	M	按照 8.2
理化试验	拉伸	T	T	按照表 4
	冲击	N	T	按照表 5
	横截面硬度	O	T	按照表 6
	表面硬度	T	T	按照 10.3.3.2
	金相	T	T	按照 10.6.2
	HIC(氢致开裂)	N	T ^b	按照 E.4.3
	SSC(硫化物应力开裂)	N	T ^b	按照 E.4.4
	CTOD(裂纹尖端张开位移)	N	O	协商
	导向弯曲(焊缝)	M	M	按照 10.4.2
	压扁 ^c	M	M	按照 10.5
无损检测	外观检查	T 和 P	T 和 P	按照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 和 11.5.1
	焊缝(UT 或 RT)	M	T 和 P	按照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019
	弯管管端(分层)	P	P	按照 11.5.3
	弯管管体(MT 或 PT)	T 和 P	T 和 P	按照 11.5.4
	弯管管体(UT)横向缺陷	N	T 和 P	按照 11.5.5
	弯管管体(分层)	N	M	按照 11.5.5
	管端剩磁	P	P	按照 11.5.6
修补	P	P	按照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 和 10.5.7	

表 7 试验和检验要求 (续)

试验		PSL 1 ^a	PSL 2 ^a	验收准则
尺寸	壁厚	T 和 P	T 和 P	按照 10.9
	弯管管体直径	P	P	按照 10.9
	弯管管端直径	P	P	按照 10.9
	管端椭圆度	P	P	按照 10.9
	管体椭圆度	P	P	按照 10.9
	线尺寸	P	P	按照 10.9
	角度	P	P	按照 10.9
	半径	O	O	按照 10.9
	管端垂直度	P	P	按照 10.9
	不平度	P	P	按照 10.9
	坡口加工	协商	协商	协商
特定方法的几何尺寸测定	—	协商	协商	协商
静水压试验	—	协商	协商	协商

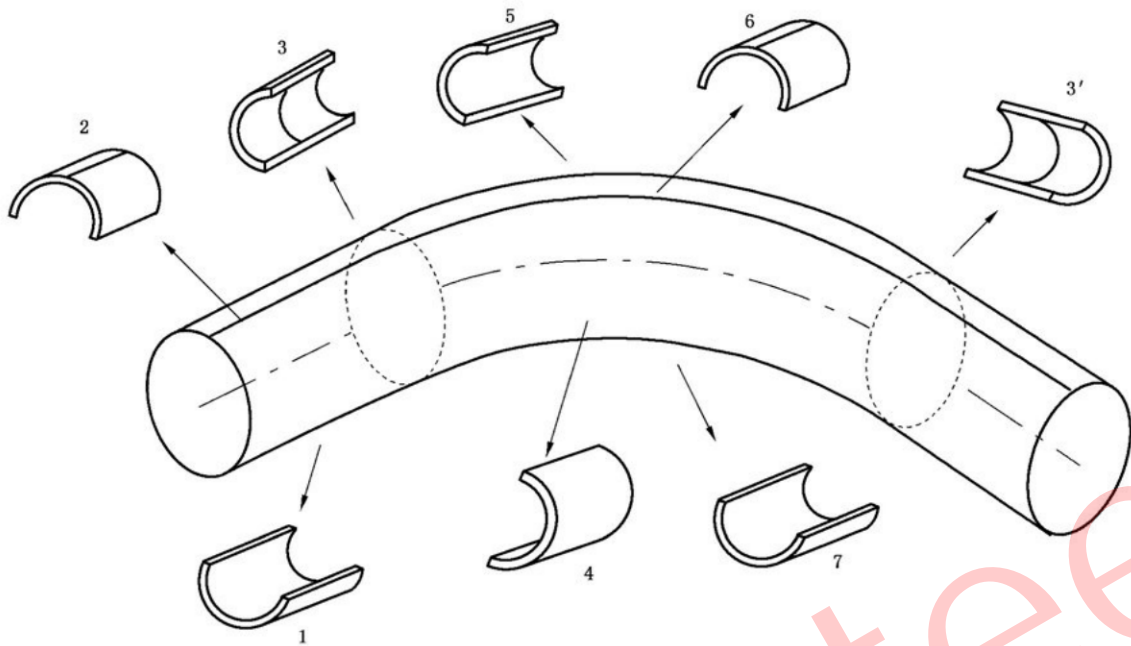
^a M —— 如果母管试验结果是可接受的,则不要求弯管的试验。如果母管试验结果是不可接受的,则应在母管或弯管上进行试验。
 N —— 不要求。
 O —— 感应加热弯管产品的检验和试验应经过协商。
 P —— 每根弯管产品都要求试验。
 T —— 每根试验弯管都要求试验。
^b 仅有 PLS 2S 弯管要求的试验。
^c 仅适用于直缝高频焊弯管的直管段焊缝。

表 8 取样位置和破坏性试验项目

位置	试验项目
直管段母材(1#) ^a	拉伸 冲击 横截面硬度
直管段焊缝(2#) ^a	横向拉伸 冲击 压扁 横截面硬度 金相 导向弯曲

表 8 取样位置和破坏性试验项目 (续)

位置	试验项目
起过渡区(3#)和终过渡区(3'#)外弧侧母材	拉伸 ^b 冲击 ^b 横截面硬度 ^b 金相 ^b
弯管内弧侧母材(4#)	拉伸 冲击 横截面硬度
弯管外弧侧母材(5#)	拉伸 冲击 横截面硬度 HIC 和 SSC ^{c,d}
弯曲段焊缝 ^e (6#)	拉伸 冲击 横截面硬度 金相 导向弯曲 HIC 和 SSC ^e
弯曲段,壁厚基本不变中性区(7#,非焊缝侧)	横向拉伸 ^b 冲击 ^b
<p>^a 如果母管试验结果符合验收要求,并且感应加热弯制过程中直管段没有进行热处理或者弯制后不进行热处理,弯制后其不要求进行试验。</p> <p>^b 除购方规定外,在感应加热时,当母管全长(包括直管段)经过同温度持续感应加热,且冷却和推进速度参数相同时,这些弯管应认为没有过渡区。</p> <p>^c 仅 PLS 2S、PLS 2SO 弯管要求的试验。</p> <p>^d 协商。</p> <p>^e 无缝弯管不进行 HIC 试验。</p>	



标引序号说明：

- | | |
|------------------|----------------------------|
| 1 —— 直管段, 管体； | 4 —— 弯曲段, 内弧段侧； |
| 2 —— 直管段, 焊缝； | 5 —— 弯曲段, 外弧侧； |
| 3 —— 起过渡区, 外弧侧； | 6 —— 弯曲段, 焊缝； |
| 3' —— 终过渡区, 外弧侧； | 7 —— 弯曲段, 壁厚基本不变中性区(非焊缝侧)。 |

图 4 弯管试样取样位置及取向

11.2.2 弯管生产检验

每根弯管应根据相应的规范等级,在其生产过程中进行表 7 所要求试验和检验内容。

11.2.3 弯管检验频率

同一熔炼批母管材料,同一制造工艺生产的同曲率半径、同壁厚弯管, $DN < 500$ mm 时,每批不多于 100 根抽取一根, $DN \geq 500$ mm 时,每批不多于 50 根抽取一根各组成一个检验批。煨制后回火或消除应力热处理时,允许弯曲角度不同的同一批次、同热处理工艺参数的弯管分批装炉或分炉热处理,试验和检验用样件应编入检验批内,并按照 11.3~11.4 规定进行检验。

11.3 化学成分

弯管的化学成分应符合附录 C 的要求。

11.4 力学性能检验

11.4.1 取样总要求

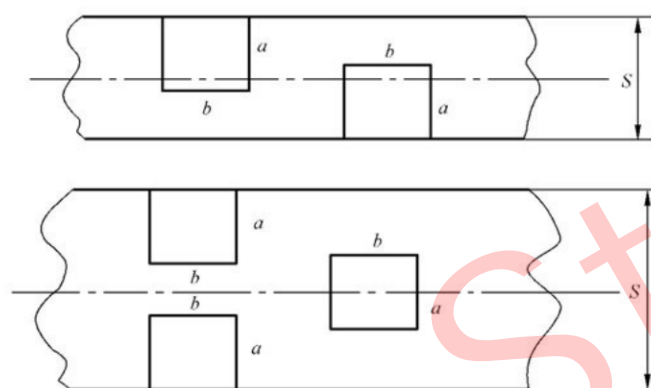
试样应依照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 的要求进行。

如果使用热切割的方法取样,在试样加工的时候,应完全去除因热切割对材料所产生的热影响区域。

11.4.2 拉伸试验

11.4.2.1 拉伸试样

管体和焊接接头的拉伸试样可加工成圆棒状或矩形试样,若采用圆棒状试样时,圆棒试样应取自未展平的试块,其中心线应位于壁厚中心,且试样加工时不准许展平。板状拉伸试样不准许热展平。对于焊接接头的拉伸试样,焊缝应位于试样中部,其接头焊缝余高应在不损伤母材的情况下平滑的磨削去除,冷压平后做拉伸试验。局部的缺欠和表面金属氧化层也应去除。当弯管壁厚大于 25 mm 时,可以采用全壁厚矩形拉伸试样,也可采用全壁厚均匀分层矩形拉伸试样,试样加工方式见图 5。若采用分层试样,则将多个分层试样组成一组,并对每个分层样进行试验。代表一个矩形拉伸试样的分层样中,单个分层试样厚度应近似相等,且等分后制取的试样厚度应接近拉伸试验机所能试验的最大厚度。



标引序号说明:

- a —— 分层样厚度;
- b —— 分层样宽度;
- S —— 板厚度。

图 5 典型分层样示意图

11.4.2.2 试验方法

室温拉伸试验按 GB/T 228.1 或 ASTM A370 的要求进行。如果最高设计温度超过 50 °C,则需进行附加的高温拉伸试验。高温拉伸试验依据 GB/T 228.2 规定进行,试验取样位置和检验验收标准可以协议确定。

从弯管弯曲段、直管段和过渡区的母材取样,进行材料 R_m 、 $R_{10.5}$ 和 A 性能指标检测。

从弯管弯曲段、直管段取焊缝横向拉伸试样,进行 R_m 性能指标检测。

11.4.3 夏比 V 形缺口冲击试验

11.4.3.1 试样

从弯管样管规定位置切割下的试块不准许展平。每个规定位置的一组夏比冲击试验样由同一块样品上 3 个相邻小毛坯样品加工而成。夏比 V 形缺口冲击试样应符合 GB/T 229 或 ASTM A370 的规定。缺口的轴线应垂直于弯管表面。除过渡区试样方向取纵向外,其他部位试样方向应取横向,厚度尺寸应在 5 mm~10 mm 之间取最大者。如果最小的横向试样都不到 5 mm,则应取纵向试样,厚度尺寸应在 5 mm~10 mm 之间取最大者。

若弯管尺寸不足以提供宽度最小为 5 mm 的纵向冲击试样,则不要求进行夏比冲击试验。

采用整体加热方式生产的弯管,冲击试样的中心线应位于弯管对应部位壁厚中心。

采用局部加热方式生产的弯管,弯曲段部位与采用整体加热方式生产的弯管取样位置相同,冲击试样的中心线应位于弯管对应部位壁厚中心。其直管段部位冲击试样的中心线位于其外表面下方,深度不超过 7 mm 的壁厚处。

当 SAW 钢管作为母管,且公称壁厚小于或等于 25 mm 时。焊缝试样的方向为横向。其焊缝上截取的试样的刻槽轴线应位于外焊道中心线上或尽可能靠近该中心线。

其焊缝热影响区上截取的试样的刻槽轴线应如图 6 所示,尽可能靠近外焊道边缘。

当存在焊偏时,焊缝及热影响区上截取的试样的刻槽轴线应如图 7 所示,尽可能靠近外焊道边缘。

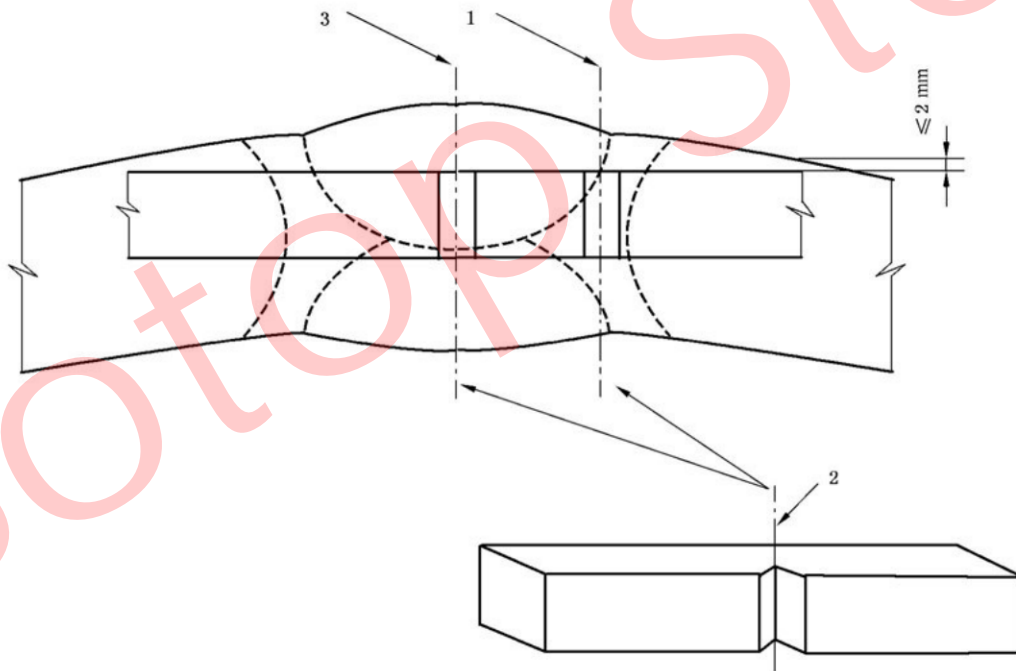
从 HFW 钢管焊缝处取带焊缝的横向试样:一组缺口位于焊缝的中心线位置,一组缺口位于距焊缝中心线 2 mm 的位置。焊缝中心线应使用金相腐蚀来确定。

对于弯管焊缝和热影响区试样,每个试样应在开缺口之前,通过腐蚀来确定合适的开缺口位置。

对于母管公称壁厚大于 25 mm 的直缝埋弧焊弯管,可协商对其焊缝和热影响区距上、下表面深度不超过 7 mm 处取样,增加试验样件数量。

11.4.3.2 试验方法

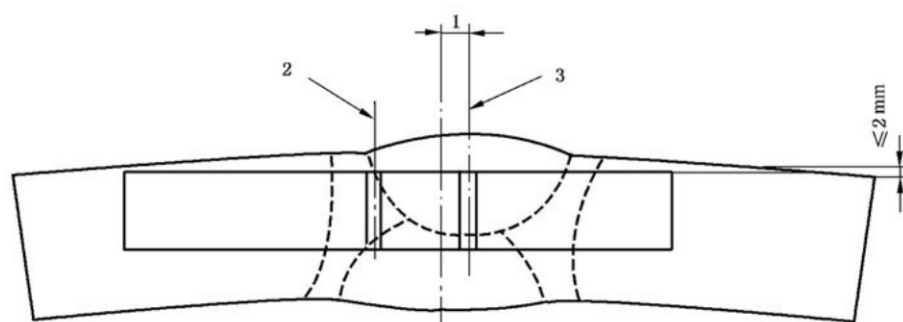
夏比 V 形缺口冲击试验应按照 GB/T 229 或 ASTM A370 进行。除焊缝中心线试样外,其他所有试样应报告其断口剪切率。



标引序号说明:

- 1——热影响区冲击试样缺口位置——试样上表面与外焊道熔合线交界;
- 2——夏比冲击试样缺口中心线;
- 3——焊缝金属冲击试样缺口位置——外焊道中心。

图 6 局部加热方式生产的弯管直管段埋弧焊焊缝取样位置



标引序号说明：

- 1——焊偏量；
- 2——热影响区冲击试样缺口位置，偏向内焊道一侧；
- 3——焊缝金属冲击试样缺口位置，位于外焊道中心。

图7 局部加热方式生产的弯管直管段埋弧焊焊缝取样位置(存在焊偏时)

11.4.4 硬度试验

PSL 2 弯管横截面硬度试验应按照 GB/T 4340.1 或 ASTM E92 进行维氏硬度检测，也可以按照 GB/T 230.1 或 ASTM E18 进行洛氏硬度检测。如有争议时，则应采用维氏硬度试验方法进行检测。硬度测试点压痕的位置应按照图 2 的要求选取。酸性服役条件下的弯管硬度测试点压痕位置要求应按照 GB/T 9711—2017 的规定执行。

11.4.5 表面硬度试验

在每个位置取 3 点进行表面硬度测量，硬度试验位置包括以下 4 个位置：

- a) 中性区；
- b) 内弧区域；
- c) 外弧区域；
- d) 直管段。

对于试制和生产弯管，硬度试验需采用同一型号硬度仪。硬度仪的选定应协商一致，除非另有约定。

11.4.6 金相检验

对用于全截面硬度试验的试样应在硬度试验之前进行不小于 100 倍放大倍数的检查。试样的准备应符合 GB/T 13298 或 ASTM E340 的要求。

弯后热处理结束后，试验弯曲段、过渡区及直管段材料的微观组织结构显微照片需放大 100 倍和 400 倍。

除非另有约定，显微检查区域的内、外表面及壁厚中心位置应间隔 20 mm 的距离。对于壁厚 10 mm 或更薄的材料，显微检查可只对壁厚中心部分进行。

显微照片应具有代表性，包括弯管弯曲段外弧侧以及过渡区域的外表面。晶粒度测量应依据 GB/T 6394 或 ASTM E112 中适用于微观组织的条款进行。

金相照片应可证明感应弯制及其热处理使得母材、焊缝及热影响区具有了稳定的微观结构。其显微组织和晶粒度都应记录在弯制过程评价试验报告中。

11.4.7 HIC 试验

除购方合同/技术协议另有规定外，试验方法应符合 NACE TM0284，合格标准按同一管线用钢管

要求,每一熔炼炉批做一个试验,要求更严格时双方协商一致。

11.4.8 SSC 试验

除购方合同/技术协议另有规定外,试验方法应符合 GB/T 4157—2017 或 NACE TM0177:2016,合格标准按同一管线用钢管要求。

11.4.9 导向弯曲试验

试样应按照 GB/T 232 或 ASTM A370 进行制备。对于壁厚大于 20 mm 的感应加热弯管,其试样可加工成厚度为 19 mm 的矩形截面试样。对壁厚小于 20 mm 的弯管,应进行全壁厚弯曲试验。焊缝两面余高应去除。

11.4.10 压扁试验

如果有需要,压扁试验应依据 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 按同等级和类型钢管的要求进行试验。

11.4.11 复检

11.4.11.1 如果代表一批弯管的弯管样件所有试验均符合 10.1~10.6 的规定,则该批弯管合格,否则,应进行复检。

11.4.11.2 弯管可选取下列 3 种方式进行复验:

- a) 若被检弯管残样尺寸能够满足本文件规定取样要求,可仅对不合格项加倍取样进行复检。
- b) 从同组批弯管中任抽取 1 件,对文件规定的全部检测项目加倍取样进行复检。
- c) 若采取上述任何一种方法复验仍不合格,允许对该批弯管重新进行一次回火热处理,并加倍取样进行文件所规定的全部项目的检验。若被检弯管残样尺寸能够满足本文件规定取样要求,可从其上取样,否则应从同组批重新热处理后的弯管中任抽取 1 件弯管,进行取样进行文件所规定的全部项目的检验。重新回火热处理仅允许进行一次。回火工艺可采用弯管或该批弯管用的母管进行弯管模拟热弯煨制试验后的样管进行工艺热处理试验评定。对采用重新热处理方式复检合格的,需对同一批剩余的弯管按照相同的热处理工艺也进行一次相同的热处理。

若全部复检样的试验结果均符合文件要求,则该批弯管合格。

11.5 无损检测

11.5.1 通则

在弯管热处理之后,在外观检查或其他的无损检测之前,应对所有弯管外表面依照 GB/T 8923.1 Sa 2 的清洁度等级进行检测。

11.5.2 外观检查

针对分层、裂纹、凹槽、凿孔和其他外观缺陷的外观检查主要在外表面进行;如果可行,弯管的内表面也需依据 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 予以检查。

弯管波浪如图 8 所示,若符合以下的要求,也可以接受。

- 钢管表面波浪高度 CVD 小于实测外径的 1%;
- 相邻波峰的距离 L 与波浪高度 CVD 比值应大于或等于 25。

CVD,用 L_{CVD} 以数学方式表达,可以写成式(3):

$$L_{CVD} = \frac{D_2 + D_4}{2} - D_3 \quad \dots\dots\dots(3)$$

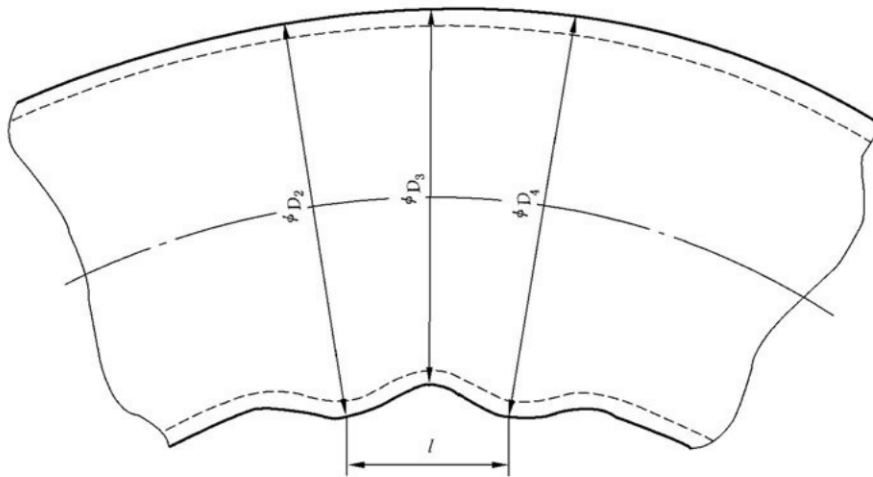


图8 波浪测量示意图

11.5.3 焊缝检测

焊缝超声检测范围要求如下：

- 弯曲段及过渡区的全焊缝，
- 直管段焊缝。

11.5.4 弯管端部检测

弯管坡口制备后，应对整个管口和由管口开始的 100 mm 长度的焊缝进行磁粉检测或液体渗透检测，磁粉检测应按照 ISO 10893-5 或 ASTM E709 进行；液体渗透检测应按照 ISO 10893-4 或 ASTM E165 进行。

圆周方向上有大于 6.4 mm 的分层缺欠将被划为缺陷。

对于 PSL 2、PSL 2S 弯管，距管端 50 mm 长的范围内，应按照 ISO 10893-8、ASTM A435 或 ASTM A578/A578M 进行超声检测。不允许存在面积大于 100 mm² 的分层缺欠，或沿圆周方向不允许存在尺寸大于 6.4 mm 的分层缺欠。

11.5.5 弯管管体磁粉检测或液体渗透检测

对于所有的弯管，全管体应按照 ISO 10893-5 或 ASTM E709 进行磁粉检测。

在任何方向上所有大于 3 mm 的裂缝、折叠、分层和圆形指示都将被认为缺陷，并应据 11.5.8 予以修补。

11.5.6 弯管管体的超声波检测

每根弯管管体应按照 ISO 10893-10:2011 进行全管体横向缺陷超声波检测。

如果有要求，应按照 ISO 10893-8、ISO 10893-9、ASTM A435 或 ASTM A578/A578M 对每根弯管管体进行分层缺陷超声检测，超深检测范围可协商确定，检测结果应符合 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 要求。

11.5.7 剩磁等级

弯管管端剩磁应不超过 2 mT。剩磁测量应按照 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 的规定执行。

11.5.8 修复

除非购方另有协议，否则弯曲段和直管段各个部位不应进行焊接修补。如果双方协商可以使用焊接修补，焊接修补应通过超声检测与/或射线检测。

只要能保持曲面平滑过渡及最小壁厚的要求,表面缺陷可通过磨削消除。超声波厚度测量应依照 ASTM E797。

为确保完全消除缺陷,所有表面缺陷的修补处可按照 ISO 10893-5 进行磁粉检测,或按照 ISO 10893-4 进行液体渗透检测。

11.5.9 无损检测人员

所有无损检测人员应符合 GB/T 9445 或 ASNT SNT-TC-1A 或相当资格和认证,达到合格等级水平。无损检测应由 1、2 或 3 级人员实施。指示的评判应由 2 级或 3 级人员完成,或在 2 级或 3 级人员的监督下由 1 级人员完成。如果无损检测人员未按评定过的任一方法从事无损检测的时间超过 12 个月,这些人员应按此种方法重新评定。

注: GB/T 9445 的 1、2 和 3 级对应 ASNT SNT-TC-1A 的 I、II 和 III 级。

11.6 尺寸

应对弯管几何尺寸进行测量,以保证弯管几何尺寸符合表 9 规定的允许偏差。

应依据 ASTM E797,采用超声波检测方法在足够数量的点进行壁厚测量。

弯管角度测定,见图 9,步骤如下:

- a) 分别延长直管段中心轴线相交于“弯管中心点”,即两轴交叉点;
- b) 测量并标记从“弯管中心点”到每一个“管端中心点”的距离;
- c) 计算“弯管中心点”和“管端中心点”间的弯曲角度以及尺寸和弦长。

当弯管角度小于 15°时,可以通过测量两中心轴和弯管管端偏移形成的三角形来测定角度,如图 9 b)所示。

管端垂直度,应在指定的弯管角度所划的线进行测量,并且垂直于弯管平面,如图 10 所示。

平面度测量,应使弯管直管段管端中心线水平,测量,测量两个管端中心线与水平面不同高度,如图 11 所示。实际测量方法应协商一致。

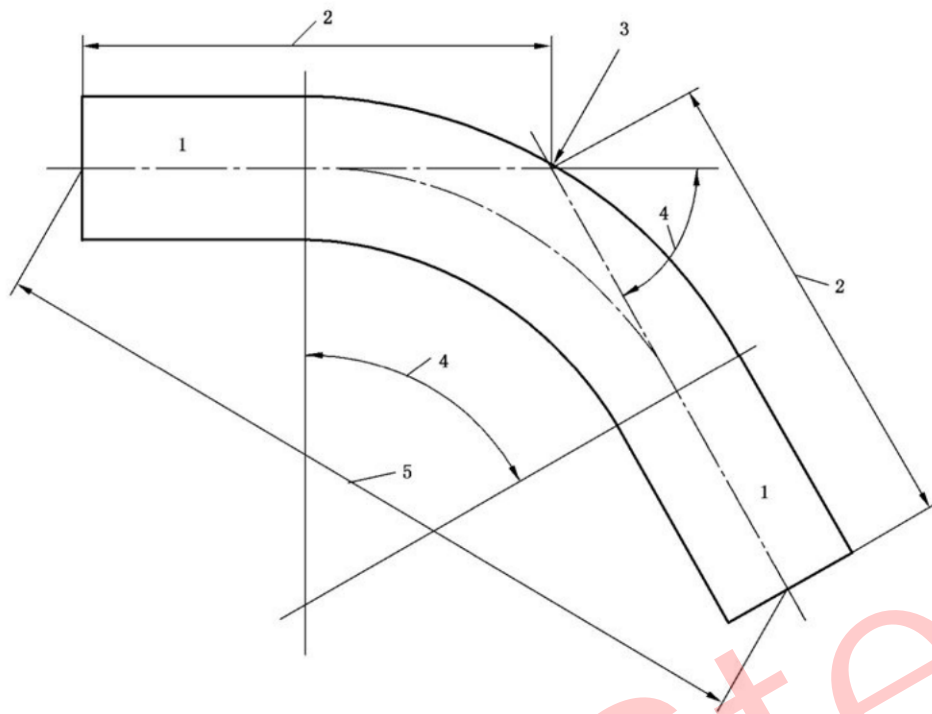
椭圆度 O,用百分数表示,如式(4):

$$O = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

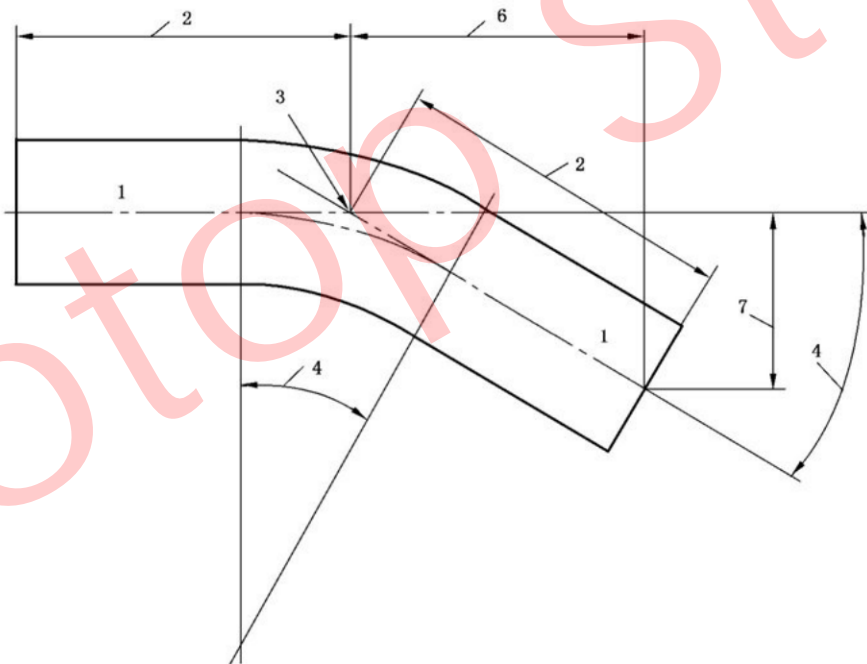
表 9 允许的公差范围

尺寸	允许范围
最小壁厚	0
最大壁厚	10.9.2
弯管管端内外侧直径 ^a	10.9.1
弯曲段和直管段内径	10.9.1
弯曲角度	±1°
弯曲半径 $r_b \geq 1\ 000\ \text{mm}$	±1%
弯曲半径 $r_b < 1\ 000\ \text{mm}$	±10 mm
管端垂直度	最大 3 mm
平面度	10.9.6
管端椭圆度	10.9.3
弯管管体椭圆度	10.9.3

^a 购方应指定允许范围适用于内侧直径还是外侧直径。



a) 大于或等于 15° 的弯管



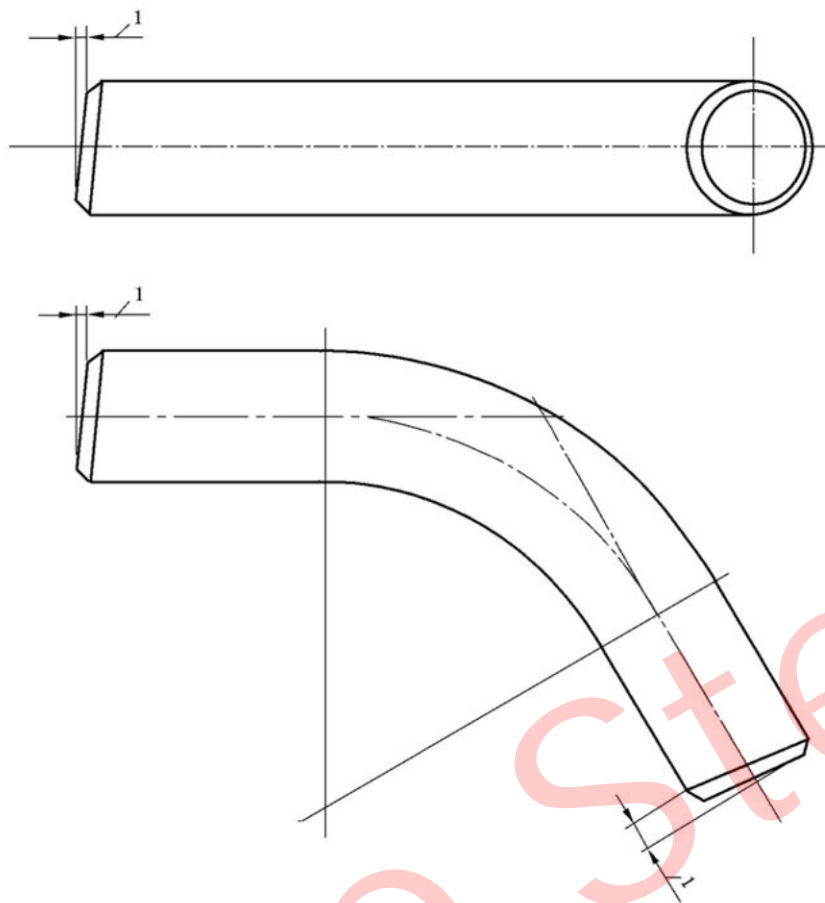
b) 小于 15° 的弯管

标引序号说明：

- 1——中心轴；
- 2——中心至末端；
- 3——弯管中心；
- 4——弯曲角度；

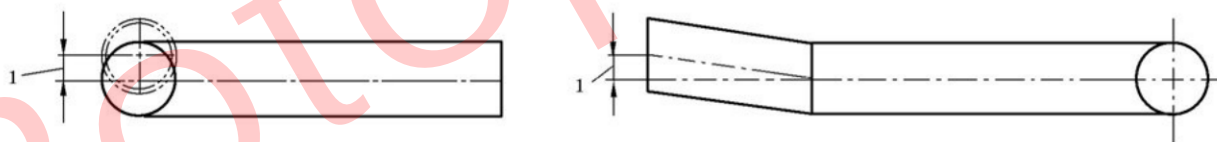
- 5——弦；
- 6——外伸长度；
- 7——偏移。

图 9 弯曲角度测量



标引序号说明：
1——垂直度。

图 10 管端垂直度测定



标引序号说明：
1——平面度。

图 11 平面度测定

11.7 测量

测量要求应协商一致。

11.8 静水压试验

弯管供货商应确保所有弯管可以承受按设计要求的水压试验强度,但不要求在弯管制造单位进行水压试验。若购方指定进行静水压试验,试验方法和要求应按照协议确定。

12 检查文件

购方应明确要求的 GB/T 18253 指定检查文件,以及该文件格式和内容的任何具体要求。MPS 质

量检测结果应包含在检查文件内。

13 标志

弯管每个管端应标志以下信息：

- 制造商名称或商标；
- 本文件编号；
- 内径或外径；
- 最小壁厚；
- 第 5 章中指定的弯管标识；
- 弯曲角度；
- 弯曲半径；
- 产品编号；
- 熔炼批号；
- 订单中指定的任何附加标志。

标志应用不褪色油漆标注在内表面，若不能标注在内表面时，较小直径的弯管可标注在外表面。

对于公称外径为 100 mm 或较大的弯管，标志应使用大写黑体字，最小高度为 19 mm。对于较小弯管，标志模板高度最小为 10 mm，识别标志不应喷刷或印在焊缝处。

14 包装和运输

弯管的焊接坡口应采取有效措施进行保护，防止在运输中被破坏。应对弯管进行有效保护，确保弯管在运输、储存过程中不受机械损坏和环境侵蚀。制造商应在装运之前提交完整的装运方法说明供认可之用。铁路运输时应符合 SY/T 6577.1 或其他等同、等效文件，海运时应符合 SY/T 6577.2 或其他等同、等效文件，汽运时应符合 SY/T 6577.3 或其他等同、等效文件。

附录 A

(资料性)

本文件与 ISO 15590-1:2018 相比的结构变化情况

本文件与 ISO 15590-1:2018 相比在结构上有较多调整,具体章条编号对比情况见表 A.1。

表 A.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的章条号对照情况

本文件章条编号	对应的 ISO 15590-1:2018 章条编号
1	1
2	2
3	3
4	4
5	6
6	7
6.1	7
6.2	7
6.3	7
6.4	—
7	8
7.1	8.1
7.2	8.2
7.3	8.3
8	9.1
9	9
9.1	—
9.2	—
9.3	9.3
9.4	9.4
9.5	9.5
9.6	9.8
10	10
10.1	10.4.2
10.1.1	10.4.2.2
10.1.2	10.4.2.2
10.2	10.4.3
10.3	10.4.4
10.3.1	10.4.4.2

表 A.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的章条号对照情况 (续)

本文件章条编号	对应的 ISO 15590-1:2018 章条编号
10.3.2	10.4.4.2
10.3.3	10.4.5
10.4	10.4.8
10.5	—
10.6	10.4.6
10.7	—
10.8	—
10.9	10.6
10.9.1	10.6
10.9.2	10.6
10.9.3	10.6
10.9.4	10.6
10.9.5	10.6
10.9.6	10.6
11	10
11.1	10.1
11.2	10.2
11.2.1	10.1
11.2.2	—
11.2.3	—
11.3	10.3
11.4	10.4
11.4.1	10.4.1
11.4.2	10.4.2
11.4.3	10.4.3
11.4.4	10.4.4
11.4.5	10.4.5
11.4.6	10.4.6
11.4.7	—
11.4.8	—
11.4.9	—
11.4.10	—
11.4.11	—
11.5	10.5

表 A.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的章条号对照情况 (续)

本文件章条编号	对应的 ISO 15590-1:2018 章条编号
11.5.1	10.5.1
11.5.2	10.5.2
11.5.3	10.5.3
11.5.4	10.5.4
11.5.5	10.5.5
11.5.6	10.5.6
11.5.7	10.5.7
11.5.8	10.5.8
11.5.9	10.5.9
11.6	10.6
11.7	10.7
11.8	10.8
12	11
13	12
14	—
附录 A	—
附录 B	—
附录 C	—
附录 D	附录 A
附录 E	附录 B

附录 B

(资料性)

本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因

表 B.1 给出了本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因。

表 B.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因

本文件条款编号	技术性差异	原因
1	增加引用了 GB 50251 和 GB 50253	国内油气管道设计文件通常采用 GB 50251 和 GB 50253,因此增加了相应的国标要求
2	<p>关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,具体调整如下:</p> <ul style="list-style-type: none"> —用修改采用国际标准的 GB/T 228.1 代替 ISO 6892-1(见 11.4.2.2); —用修改采用国际标准的 GB/T 228.2 代替 ISO 6892-2(见 11.4.2.2); —用修改采用国际标准的 GB/T 229 代替 ISO 148-1(见 11.4.3.1); —用修改采用国际标准的 GB/T 230.1 代替 ISO 6508-1(见 11.4.4); —用修改采用国际标准的 GB/T 232 代替 ISO 7438(见 11.4.9); —用修改采用国际标准的 GB/T 4340.1 代替 ISO 6507-1(见 11.4.4); —用等同采用国际标准的 GB/T 8923.1 代替 ISO 8501-1(见 11.5.1); —用等同采用国际标准的 GB/T 9445 代替 ISO 9712(见 11.5.9); —用修改采用国际标准的 GB/T 9711—2017 代替 ISO 3183:2012(见第 8、10、11 章); —用等同采用国际标准的 GB/T 15970.2 代替 ISO 7539-2(见附录 E); —用修改采用国际标准的 GB/T 17600.1 代替 ISO 2566-1(见 10.1); —用等同采用国际标准的 GB/T 18253 代替 ISO 10474(见 7.2); —增加引用了 GB/T 4157—2017(见 11.4.8); —增加引用了 GB/T 4335(见 C.3); —增加引用了 GB/T 6394(见 11.4.6); —增加引用了 GB/T 8650—2015(见附录 E); —增加引用了 GB/T 13298(见 11.4.6); —增加引用了 GB 50251(见第 1、6、7 章); —增加引用了 GB 50253(见第 1、6、7 章); —增加引用了 SY/T 6577.1、SY/T 6577.2、SY/T 6577.3(见第 14 章) 	增加了相应的国标和行标,以方便本文件使用者使用

表 B.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因 (续)

本文件条款编号	技术性差异	原因
3	删去了 ISO 15590-1:2018 中的 3.6、3.22、3.24 等 3 个术语定义	相关术语为通用术语,非本文件特有
4.1	增加了 L 、 R 、 α 等符号	本文件增加了直管段长度、曲率半径以及弯曲角度的相关要求,因此增加相关符号定义
4.2	删去了 ISO 15590-1:2018 中的缩略语 SAWH	由于国内螺旋管制造时螺旋角度要求不同,导致螺旋弯管产品验收评价标准不统一,因此本文件中弯管母管管型删除了螺旋埋弧焊管
5	删除了文件中单位的要求	本文件不采用美制单位,因此删除了该章节
6	增加了不等强度连接设计要求	为避免弯管与不同强度钢管连接的设计分歧,提高本文件的通用性和可行性,因此增加了不等强度连接设计要求
7.1	增加了弯管强度等级	为增加订货信息的准确性,因此增加了弯管强度等级
7.2	删除了弯管管端和坡口保护	管端和坡口保护为通用要求,非本文件特有
8	增加了感应加热弯管母管的管型及规格	为方便文件的通用性,在结合国内重大管道工程和弯管制造经验的基础上,增加了感应加热弯管母管的管型及规格要求
9.1~9.6	增加了感应加热弯管基本参数、焊缝位置、管端要求	弯管的曲率半径、直管段长度、焊缝位置等影响弯管的最终成品性能,因此需明确相关要求
10.1	对弯管强度指标及尺寸规格在相关章节内容中做了范围限定	在大量的油气管道工程用感应加热弯管典型的脆性失效案例分析成果基础上,分别对弯管强度指标及尺寸规格在相关章节内容中做了范围限定,使得符合本文件的产品质量完全有效受控
10.2.3	提出了夏比冲击试验温度的推荐性选择建议	基于生产工艺技术发展现状和经济性的原则,增加了冲击试验温度的推荐建议,提高了弯管韧性要求的可靠性,便于标准科学合理应用
10.6.2	增加了弯管晶粒度、夹杂物要求	为保证弯管的性能,增加了弯管微观组织、晶粒度和夹杂物要求
10.5、10.7、10.8	增加了弯管 HIC、SSC 要求	为保证本文件的可行性,增加相关技术要求
11.2	删除了 ISO 15590-1 中感应加热弯管过渡区焊缝部位要求进行拉伸、冲击及弯曲等检测项目	过渡区焊缝部位尺寸较小,不能满足试样取样的最小尺寸加工要求,ISO 15590-1 取样无操作性,因此删除 ISO 15590-1 中感应加热弯管过渡区焊缝部位要求,以提高试样加工的可操作性

表 B.1 本文件与 ISO 15590-1:2018 的技术性差异及其原因 (续)

本文件条款编号	技术性差异	原因
11.4.2	增加了弯管拉伸分层取样方法	由于弯管壁厚较大,对拉伸试验机要求高。为方便本文件使用,增加了分层拉伸试验方法
11.4.7~11.4.11	增加了弯管复检要求	基于弯管的生产工艺和经济性原则,补充了弯管复检要求,便于标准科学合理应用
14	增加了弯管包装和运输要求	为保证弯管的坡口等质量,便于工程应用,因此增加了弯管包装和运输要求
附录 C	增加了规范性附录“非酸性弯管母管材料”	在大量科研成果的基础上,补充了详细的非酸性环境服役用弯管母管的原材料要求,确保了酸性环境用弯管产品的可靠性

附 录 C
(规范性)
非酸性弯管母管材料

C.1 原材料

非酸性感应加热弯管直缝母管管材须为吹氧转炉或电炉冶炼并经真空脱气、钙和微钛处理的钢制成。

无缝管用钢材须为吹氧转炉或电炉冶炼的纯净镇静钢。

C.2 化学成分

按本文件供应的非酸性感应加热弯管用 L245/B~L555/X80 弯管母管的化学成分,产品分析结果应符合表 C.1 要求。在可焊性满足标准要求的前提下,制造商也可采用本文件规定以外的材料,但需通过购方的认可。

碳当量 CE_{Pcm} 计算公式如式(C.1):

$$CE_{Pcm} = w(C) + \frac{w(Si)}{30} + \frac{w(Mn) + w(Cu) + w(Cr)}{20} + \frac{w(Ni)}{60} + \frac{w(Mo)}{15} + \frac{w(V)}{10} + 5w(B) + \dots \quad (C.1)$$

式中:

CE_{Pcm} ——碳当量;

$w(X)$ ——元素 X 的质量分数($X=C, Si, Mn, Cu, Cr, Ni, Mo, V, B$), %。

碳当量 CE_{IIW} 计算公式如式(C.2):

$$CE_{IIW} = w(C) + \frac{w(Mn)}{6} + \frac{w(Cr) + w(Mo) + w(V)}{5} + \frac{w(Cu) + w(Ni)}{15} \quad \dots \quad (C.2)$$

式中:

CE_{IIW} ——碳当量;

$w(X)$ ——元素 X 的质量分数($X=C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni$), %。

C.3 PSL 2 弯管母管晶粒度要求

焊管用 L555/X80 和 L485/X70 强度级别材料晶粒度须为 No.10 级或更细;L450/X65~L360/X52 强度级别材料晶粒度须为 No.8 级或更细;低于 L360/X52 强度级别材料晶粒度须为 No.6 级或更细。晶粒度评定按 GB/T 6394 或 ASTM E112、GB/T 4335 或购方与制造商双方商定的其他方法进行。

无缝管用材料晶粒应为 No.6 级或更细。晶粒度评定按 GB/T 6394 或 ASTM E112、GB/T 4335 或购方与制造商双方商定的其他方法进行。

C.4 PSL 2 弯管夹杂物级别限定

钢中 A、B、C、D 类非金属夹杂物级别限定应符合表 C.2 规定(按 ASTM E45-2018 A 方法检验)。

C.5 验收

C.5.1 如果一个熔炼炉次的钢板生产的钢管化学成分不符合表 C.1 的要求,若通过感应加热弯管热焠模拟试验方法验证,该成分的钢管可确保所生产的弯管性能符合本文件要求,所有母管应予验收。

C.5.2 母管力学性能试验结果应符合 GB/T 9711—2017 或 ISO 3183:2019 相关要求。也可由制造厂

根据需要,对母管进行弯管热煨制模拟试验,若利用该性能母管所热煨制模拟样的综合性能可满足本文件技术要求,则被抽检进行热模拟样母管的检验性能指标可作为弯管母管合格的验收依据。

注:热煨制模拟试验就是采用一段母管按照预设的弯管弯制参数直接推制或弯制,按照本文件规定的弯管检测项目进行直管段或整个弯管检测。

表 C.1 产品分析要求(质量分数)

元素	L555/X80		L485/X70~L450/X65		L415/X60~L245/B	
	min	max	min	max	min	max
碳 ^a	0.05	0.15	0.05	0.15	0.04	0.15
锰 ^a	1.50	1.85	1.30	1.65	1.30	1.65
磷	—	0.020	—	0.020	—	0.022
硫	—	0.005	—	0.015	—	0.015
硅	0.10	0.42	0.10	0.30	0.10	0.30
铌	0.025	0.11	0.025	0.08	—	0.05
钒	—	0.06	—	0.06	—	0.05
钛	—	0.040	—	0.040	—	0.040
铜	—	0.35	—	0.35	—	0.35
铬	—	0.45	—	0.35	—	0.30
钼	0.15	0.50	0.10	0.30	—	0.20
镍	—	1.00	—	0.80	—	0.50
硼 ^c	—	0.000 5	—	0.000 5	—	0.000 5
CE _{Pcm} ^b	—	0.25	—	0.23	—	0.22
CE _{IIW} ^{b,c}	0.37	0.51	0.35	0.45	0.35	0.40

^a 碳含量比规定最大质量分数每降低 0.01%,则允许锰含量比规定最大质量分数增加 0.05%,但对于大于或等于 B/L245 和 X52/L360 的钢级,最大值不应超过 1.65%;对于 X60/L415 的钢级,最大值不应超过 1.75%;对于 X70/L485 钢级,最大值不应超过 1.85%;对于 L555 或 X80 的钢级,最大值不应超过 1.95%。

^b 对于焊接性要求,如果碳的质量分数小于或等于 0.12%,则 CE_{Pcm} 适用,碳的质量分数大于 0.12%,则 CE_{IIW} 的上限值适用,下限值对此不适用。

^c 不考虑碳的质量分数的影响,此时计算所得的 CE_{IIW} 数值的范围,被用于母管材料淬透性控制。

表 C.2 非金属夹杂物级别限定

钢级	A		B		C		D	
	薄	厚	薄	厚	薄	厚	薄	厚
L555/X80~ L485/X70	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
其他	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5

附录 D
(规范性)
制造工艺规范

D.1 概述

本附录具体阐述所有 PSL 等级弯管制造工艺规范。本附录中的要求只适用于指定的订单。

D.2 制造工艺规范

制造工艺规范应适用于各类弯管生产。弯管试制应在弯制试验开始之前,按照初步 MPS 要求进行。初步 MPS 应根据试验中记录下来的参数和要求,生产之前进行修改。如果购方指定,直至 MPS 被购方接受,否则不应进行生产。若弯管制造商具有同一钢级、相同外径,壁厚与合同订购弯管的名义厚度相同或偏小,但相差不小于 6 mm 的可核查的生产业绩文件。且相隔时间周期不超过两年,经购方批准可不再进行弯管试制工艺评价。

制造商提供的 MPS 应包括以下内容:

- a) 母管:
 - 1) 制造商名称;
 - 2) 母管管型及钢级;
 - 3) 母管制造所执行的标准或规范;
 - 4) 母管尺寸;
 - 5) 化学成分;
 - 6) 力学性能;
 - 7) 母管焊接的焊接工艺型式及焊缝金属的化学成分;
 - 8) 焊缝的检测方法;
 - 9) 焊缝修补程序;
 - 10) 热处理状态。
- b) 以下两项的试验与检验要求:
 - 1) 评定试制弯管;
 - 2) 生产弯管。
- c) 生产弯管的弯制工艺:
 - 1) 弯制前母管清理方法及要求;
 - 2) 弯制参数允许偏差;
 - 3) 弯制过程中温度控制及测定方法;
 - 4) 起弯、终弯处直段的加热及冷却;
 - 5) 检验方法及评定。
- d) 弯制后如采用热处理,则应包含:
 - 1) 热处理类型;
 - 2) 热处理工艺参数值(升温速率,保温温度及时间,冷却方式);
 - 3) 温度控制仪器类型及热电偶布置位置。
- e) 几何尺寸及椭圆度校正工艺。
- f) 购方补充要求(如管端加工、加热最高温度、表面涂层、标志等)。

附录 E
(规范性)
酸性介质下的 PSL 2S 弯管

E.1 引言

本附录规定了酸性介质下的 PSL 2S 弯管的附加条款。本附录所述要求仅适用于订单有规定的情况。

E.2 购方应提供的附加信息

除第 7 章所述项目外,订单还应说明条款适用的具体订购内容:

- a) 分层缺欠的钢带或钢板超声波检查的通知和检查结果;见 ISO 3183:2019 中 H.3.3.2.4;
- b) 对无缝弯管进行 HIC 检验;见表 8,脚注 e;
- c) $t > 25.0$ mm 弯管的化学成分;见 E.4.1;
- d) 可报告的 HIC 裂纹显微照;见 E.4.3;
- e) 替代 HIC/SWC 试验方法以及相关验收标准,见 E.4.3;
- f) 替代 SSC 试验方法以及相关制造工艺评定验收标准,见 E.4.4.2;
- g) 面积达 100 mm^2 的单个分层大小限制,见 E.7.1 和 E.7.2;
- h) 邻近焊缝区域分层缺欠的超声波检测,见 E.7.3;
- i) HFW 管焊缝的无损检验验收准则是 L2 等级;见 E.7.4。

E.3 制造**E.3.1 制造工艺**

所有 PSL 2S 弯管在制造时应符合附录 D 中所述合格的 MPS,并且满足本附录所列附加检验。

E.3.2 钢管制造

钢管制造应符合 ISO 3183:2019 要求,生产 PSL 2S 型号的钢管时应符合 ISO 3183:2019 附录 H (包括 H.3.2)所述要求。

E.4 试验和检验**E.4.1 化学成分**

$t \leq 25.0$ mm 的弯管,其化学成分应符合 ISO 3183:2019 表 H.1 的要求。

$t > 25.0$ mm 的弯管,其化学成分应协商确定,并按照 ISO 3183:2019 表 H.1 规定对其化学成分进行适当修订。

E.4.2 拉伸性能

拉伸性能应符合 ISO 3183:2019 表 H.2 要求。

E.4.3 HIC/SWC 试验**E.4.3.1 试样**

HIC/SWC 试样应从弯管外弧侧取管体纵向试样,并符合 GB/T 8650—2015 或 NACE TM0284;

2016 要求。

带焊缝的弯管还应从焊缝处取横向试样,且焊缝应位于试样中心。

E.4.3.2 试验方法

HIC/SWC 试验和报告应依据 GB/T 8650—2015 或 NACE TM0284:2016 进行。

HIC/SWC 试验应依据 GB/T 8650—2015 或 NACE TM0284:2016,选择 A 溶液。

经协商同意后,可在以下情况下进行 HIC/SWC 试验。

- a) 在替代介质试验时(参照 ISO 15156-2:2015 表 B.3),包括 GB/T 8650—2015 或 NACE TM0284:2016 B 溶液。
- b) 应用时应施加一定的 H₂S 压力。
- c) 验收标准应等同于或比 E.4.3.3 所述标准更严格。

裂纹长度率、裂纹厚度率以及裂纹敏感率应上报。条件允许时,裂纹报告中应附加相关照片。

E.4.3.3 要求

抗氢致开裂评价试验结果应符合下列验收条件。当在 A 溶液(环境)(参照 ISO 15156-2:2015 表 B.3)中时,每个试样三项指标的平均值应符合下列要求:

- a) 裂纹敏感率(CSR)≤2%,
- b) 裂纹长度率(CLR)≤15%,
- c) 裂纹厚度率(CTR)≤5%。

如果 HIC/SWC 试验在替代的介质中进行,用于模拟某种服役状态,经协商后则可采取其他验收标准。

E.4.4 SSC 试验

E.4.4.1 试样

经协商一致,应从弯管外弧侧管体上取试块,每个试块中取三个纵向试样,试验弯管应提供制造工艺规范。

带焊缝的弯管还应从焊缝处取横向试样,且焊缝应位于试样中心。

除另有协议外,进行“四点弯曲 SSC”的试样,其尺寸应大于或等于 115 mm(长)×15 mm(宽)×5 mm(厚)。取自弯管内表面的试样,其可由展平的毛坯试块进行加工。

E.4.4.2 试验方法

进行 SSC 试验,应符合 GB/T 4157—2017 或 NACE TM0177:2016,按照协定,选用 A 溶液或 B 溶液。

试验中应使用符合 GB/T 15970.2 或 ASTM G39 规定的四点弯曲试样,试验持续时间应达到 720 h。

给试样施加 0.72 倍规定最小屈服强度的拉力。

施加 0.72 倍的规定最小屈服强度,不能用来证明材料已经具备了酸性条件下的适用资格。要获取更进一步的资格,见 ISO 15156-2:2015。

如果协商一致,SSC 试验方法、试验环境(包括 H₂S 压力)应与预期的应用相符合,而且还可使用相关的验收标准(见 ISO 15156-2:2015 表 B.1)。如果使用这些试验,应对试验环境、条件和试验结果进行详细记述。

E.4.4.3 要求

将 SSC 试样从试验介质中取出后,应在低倍显微镜下放大 10 倍来检查试样的拉伸表面。任何拉伸表面的裂缝或裂纹,都是构成试样失效的原因,除非能够证明这些问题不是由硫化物应力开裂造成的。

E.4.5 硬度试验

E.4.5.1 试样

硬度试验,要按照 ISO 3183:2019 附录 H 的要求进行。

E.4.5.2 要求

对于经过硬度试验的试样,管体、焊缝和热影响区可接受的最大硬度应是 250HV10 或 22HRC (70.6HR15N)。

如果协商一致,在下列条件下,非接触酸性介质的盖面焊道、外表面热影响区以及母材金属的最大硬度为 275HV10 或 26HRC(73.0HR15N)。

- a) 弯管母管的壁厚大于 9 mm;
- b) 盖面焊道不要直接暴露于酸性环境下;
- c) 氢释放不受限制。例如,可采用阴极保护法。

E.5 硬点

任何方向大于 50 mm 的硬点都应被认定为缺欠,如果单个硬度值超过了

——在钢管内表面 250HV10、22HRC 或 240HBW,或

——在钢管外表面 275HV10、27HRC 或 260HBW。

包含上述缺陷的弯管应被拒收。

E.6 检验

除按本附录特别修改外,检验频率应符合表 8。

E.7 无损检测

E.7.1 管端分层缺欠检测

若协商一致,对于管壁厚度 $t \geq 5$ mm,应依据 ISO 10893-8 在每根钢管端部宽度为 100 mm 的区域上进行超声检测,来验证是否有分层缺欠。

周向分层缺欠大于 6.4 mm 或有大于 100 mm² 的区域就应定级为缺陷。

E.7.2 弯管管体超声波检测

依据 ISO 3183:2019 附录 K 给出的试验要求,弯管母管管体应进行超声波分层缺陷检测。

如果母钢板/钢带或母管的全面超声波检测依据 ISO 3183:2019 附录 K 进行,就可以免去下一步对弯管的超声波检测。如果没有对母管进行同等级的超深波检测,则应在弯管整个管体上进行同等级的超深波检测。

单个分层和/或多个分层密度若超过了 ISO 3183:2019 表 K.1 的酸性条件下验收标准,就应当被定级为缺陷。若协商一致,比 ISO 3183:2019 表 K.1 更严格的标准也可以采用(单个分层的最大尺寸为 100 mm²)。

E.7.3 焊缝超声波检测

如果协商一致,应依据 ISO 10893-8、ISO 3183:2019 表 K.1(对钢带或钢板焊缝区域)要求,焊接钢管接近焊缝的钢带或钢板边应当用超声波检测进行至少 15 mm 宽的分层缺陷检测。

E.7.4 高频焊焊缝无损检测

应根据 ISO 3183:2019 中 K.4.1 对焊缝全长进行超声检测,验收极限应与下列之一相符合:

——ISO 10893-11:2011,验收级别 U_2/U_2H ;

——ISO 10893-10:2011,验收级别 U_3 ;如果有协议,验收等级为 U_2 。

E.7.5 埋弧自动焊焊缝的超声波检测

应根据 ISO 3183:2019 中 K.5.1 对埋弧自动焊的焊缝全长进行超声波纵向和横向的缺欠检测。

参 考 文 献

- [1] ISO 13623 Petroleum and natural gas industries—Pipeline transportation systems
- [2] ISO 15156-2:2015 Petroleum and natural gas industries—Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production—Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons
- [3] ISO/TS 29001 Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Sector-specific quality management systems — Requirements for product and service supply organizations
- [4] ASTM E29-04 Standard practice for using significant digits in test data to determine conformance with specifications
- [5] ASTM E140 Standard hardness conversion tables for metals relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, superficial hardness, Knoop hardness, Scleroscope hardness



Botop Steel

Botop Steel

中华人民共和国
国家标准
石油天然气工业 管道输送系统用
感应加热弯管、管件和法兰
第1部分：感应加热弯管
GB/T 29168.1—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2021年8月第一版

*

书号: 155066 · 1-68062

版权专有 侵权必究



GB/T 29168.1—2021