

# 中华人民共和国国家标准

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 15590-1:2009, MOD)

2012-12-31 发布

2013-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

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—2012

\*

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(100013)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室：(010)64275323 发行中心：(010)51780235  
读者服务部：(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 62 千字  
2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

\*

书号：155066·1-46964 定价 33.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话：(010)68510107

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 一致性 .....	1
2.1 测量单位 .....	1
2.2 圆整 .....	1
2.3 标准符合性 .....	1
3 规范性引用文件 .....	1
4 术语和定义 .....	3
5 符号和缩略语 .....	5
5.1 符号 .....	5
5.2 缩略语 .....	6
6 标识 .....	6
7 压力等级和设计 .....	6
8 购方提供的信息 .....	7
8.1 一般信息 .....	7
8.2 补充信息 .....	7
8.3 母管信息 .....	8
9 制造 .....	8
9.1 母管 .....	8
9.2 评定试验用弯管 .....	8
9.3 弯制成型 .....	9
9.4 弯制后热处理 .....	9
9.5 弯制后成形和定径 .....	9
9.6 对接管 .....	10
9.7 管端 .....	10
10 试验和检验 .....	10
10.1 总则 .....	10
10.2 试验和检验范围 .....	10
10.3 化学成分 .....	11
10.4 力学试验 .....	11
10.5 无损检测 .....	17
10.6 尺寸 .....	19
10.7 测量 .....	19
10.8 静水压试验 .....	19
11 检验文件 .....	20

12 标志 .....	20
附录 A (规范性附录) 制造工艺规范 .....	23
附录 B (规范性附录) 酸性介质下的 PSL 2S 弯管 .....	24
附录 C (规范性附录) PSL 弯管母管材料 .....	28
参考文献 .....	30

## 前 言

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》分为以下几部分：

- 第1部分：感应加热弯管；
- 第2部分：管件；
- 第3部分：法兰。

本部分为 GB/T 29168 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 15590-1:2009《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》。

本部分与 ISO 15590-1:2009 的技术性差异及原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第3章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- a) 用修改采用国际标准的 GB/T 228.1 代替了 ISO 6892(见 10.4.2.2)；
- b) 用修改采用国际标准的 GB/T 229 代替了 ISO 148-1(见 10.4.3.1、10.4.3.2)；
- c) 用 GB/T 230(所有部分)代替 ISO 6508(所有部分)(见 10.4.4.1)，两项标准各部分之间的一致性程度如下：
  - ◆ GB/T 230.1—2009 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺)(ISO 6508-1:2005, MOD)
  - ◆ GB/T 230.2—2002 金属洛氏硬度试验 第2部分：硬度计(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺)的检验与校准(ISO 6508-2:1999, MOD)
  - ◆ GB/T 230.3—2002 金属洛氏硬度试验 第3部分：标准硬度块(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺)的标定(ISO 6508-3:1999, MOD)
- d) 用修改采用国际标准的 GB/T 232 代替了 ISO 7438(见 10.4.9.1)；
- e) 用等效采用国际标准的 GB 3101—1993 代替了 ISO 31-0:1992(见 2.2)；
- f) 用修改采用国际标准的 GB/T 4338 代替了 ISO 783(见 10.4.2.2)；
- g) 用 GB/T 4340(所有部分)代替 ISO 6507(所有部分)(见 10.4.4.1)，两项标准各部分之间的一致性程度如下：
  - ◆ GB/T 4340.1—2009 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法(ISO 6507-1:2005, MOD)
  - ◆ GB/T 4340.2—1999 金属维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验(idt, ISO 6507-2:1997)
  - ◆ GB/T 4340.3—1999 金属维氏硬度试验 第3部分：标准硬度块的标定(idt, ISO 6507-3:1997)
  - ◆ GB/T 4340.4—2009 金属材料 维氏硬度试验 第4部分：硬度值表(ISO 6507-4:2005, IDT)
- h) 用修改采用国外先进标准的 GB/T 8650—2006 代替了 NACE TM 0284-2003(见 B.4.3)；
- i) 用等效采用国际标准的 GB/T 8923 代替了 ISO 8501-1(见 10.5)；
- j) 用等同采用国际标准的 GB/T 9445 代替了 ISO 9712(见 10.5.8)；
- k) 用等同采用国际标准的 GB/T 15970.2 代替了 ISO 7539-2(见 B.4.4.2)；

l) 用等效采用国际标准的 GB/T 18253 代替了 ISO 10474(见 8.2.11);

m) 用修改采用国际标准的 GB/T 24259 代替了 ISO 13623(见 7、8.2)。

——增加了对原材料碳当量、夹杂物、晶粒度及产品无损检测等要求;

——增加了对高强度感应加热弯管的交货热处理状态的要求;

——删除了原标准中一些技术上尚存在分歧的条款;

——增加了相关的与 ISO 标准并行的 ASTM 标准。

本部分还做了编辑性修改:删去了与主要内容无关的 ISO 特别声明、ISO 前言。

本部分由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)归口。

本部分起草单位:中国石油集团石油管工程技术研究院、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。

本部分主要起草人:刘迎来、王鹏、池强、方伟、黄磊、李玉卓、付彦宏。

# 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

GB/T 29168 的本部分规定了适用于按照 GB/T 24259 设计的管道系统内采用感应加热工艺制造的弯管的交货技术条件,对于按照其他规范设计的管道系统用感应加热弯管也可参考使用。

本部分适用于以碳钢或低合金钢无缝钢管和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 ISO 3183 管线钢管钢级一致。

本部分规定了两个产品规范等级(PSL),感应加热弯管规范等级与 ISO 3183 相对应。

本部分不适用于对感应加热弯管产品规范等级的选用。购方基于用途和设计要求,有责任指定产品规范等级(PSL);具体要求见 ISO 3183。

本部分不适用于采用其他工艺生产的管线用弯管。

## 2 一致性

### 2.1 测量单位

在本部分中,统一使用 SI 单位制来表示数据。对于特定订货要求,除另有规定外,只应使用 SI 一种单位制表示数据,不应同时使用另一种单位制表示数据。

对于用 SI 单位制表示的数据,用点作为小数的分隔,空格作为千位数的分隔。

### 2.2 圆整

除本部分明确规定外,为了确定与规定要求的一致性,应根据 GB 3101—1993 附录 B 中规则 A,把检测值或计算值圆整到用于表示极限值的最右边数位的最邻近单位数值。

注：该条款的目的是表明 ASTM E29-04 规定的圆整方法与 GB 3101—1993 附录 B 中规则 A 相同。

### 2.3 标准符合性

宜应用有助于符合本部分要求的质量体系。

注：ISO/TS 29001 提供了质量管理的一部分特殊指南。

合同可以规定制造商应对产品与本部分所有使用要求的符合性负责。为证实符合性,制造商应允许购方进行任何必要的调查和拒收不合格的任何材料。

## 3 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法(GB/T 229—2007,ISO 148-1:2006,MOD)
- GB/T 230(所有部分) 金属材料 洛氏硬度试验[ISO 6508(所有部分)]
- GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法(GB/T 232—2010,ISO 7438:2005,MOD)
- GB 3101—1993 有关量、单位和符号的一般原则(eqv ISO 31-0:1992)
- GB/T 4335 低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定方法
- GB/T 4338 金属材料 高温拉伸试验方法(GB/T 4338—2006,ISO 783:1999,MOD)
- GB/T 4340(所有部分) 金属维氏硬度试验[ISO 6507(所有部分)]
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 8650—2006 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法
- GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级(GB/T 8923—1988,eqv ISO 8501-1:1988)
- GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证(GB/T 9445—2008,ISO 9712:2005,IDT)
- 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 18253 钢及钢产品 检验文件的类型(GB/T 18253—2000,eqv ISO 10474:1991)
- GB/T 24259 石油天然气工业 管道输送系统(GB/T 24259—2009,ISO 13623:2000,MOD)
- ISO 3183:2007 石油和天然气工业 管道输送系统用钢管(Petroleum and natural gas industries—Steel pipe for pipeline transportation systems)
- ISO 9303:1989 承压用无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管 纵向缺欠全圆周超声波检验[Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes—Full peripheral ultrasonic testing for the detection of longitudinal imperfections]
- ISO 9305 承压用无缝钢管 横向缺欠的全圆周超声波检验(Seamless steel tubes for pressure purposes—Full peripheral ultrasonic testing for the detection of transverse imperfections)
- ISO 9764:1989 承压用电阻焊和感应焊钢管 焊缝纵向缺欠的超声波检验(Electric resistance and induction welded steel tubes for pressure purposes—Ultrasonic testing of the weld seam for the detection of longitudinal imperfections)
- ISO 10124 承压用无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管 分层缺欠的超声波检验[Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes—Ultrasonic testing for the detection of laminar imperfections]
- ISO 11496 承压用无缝和焊接钢管 管端分层缺欠的超声波检验(Seamless and welded steel tubes for pressure purposes—Ultrasonic testing of tube ends for the detection of laminar imperfections)
- ISO 12094 承压用焊接钢管 焊管用钢带/钢板分层缺欠的超声波检验(Welded steel tubes for pressure purposes—Ultrasonic testing for the detection of laminar imperfections in strips/plates used in the manufacture of welded tubes)
- ISO 12095 承压用无缝钢管和焊接钢管 液体渗透检验(Seamless and welded steel tubes for pressure purposes—Liquid penetrant testing)
- ISO 13663 承压用焊接钢管 焊缝附近分层缺欠的超声波检验(Welded steel tubes for pressure purposes—Ultrasonic testing of the area adjacent to the weld seam for the detection of laminar imperfections)
- ISO 13664 无缝和焊接钢管 管端分层缺欠的磁粉检验(Seamless and welded steel tubes for pressure purposes—Magnetic particle inspection of the tube ends for the detection of laminar imperfections)
- ISO 13665 无缝和焊接钢管 管体表面缺欠的磁粉检验(Seamless and welded steel tubes for



pressure purposes—Magnetic particle inspection of the tube body for the detection of surface imperfections)

ASNT SNT-TC-1A 推荐作法 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 钢板纵波超声波检验规范 (Standard specification for straight-beam ultrasonic examination of steel plates)

ASTM A578/A578M 特殊用途轧制钢板直缝超声波检查标准规范 (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 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 金属和合金金属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 TM0177:2005 金属在 H<sub>2</sub>S 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 (H<sub>2</sub>S) environments)

#### 4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

##### 4.1

**弯曲段 arc**

弯管的弯曲部分。

##### 4.2

**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。

##### 4.3

**弯曲角度 bend angle**

整个弯管的方向变化部分所形成的平面角。

##### 4.4

**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满足本部分的要求,可以按照本部分要求进行弯管生产的试验。

4.5

**弯曲半径 bend radius**

从弯管的弯曲中心到其中心轴线的距离。

4.6

**缺陷 defect**

尺寸和/或分布密度超出本部分规定的验收极限的缺欠。

4.7

**外弧侧 extrados**

弯管弯曲段的外侧部分。

4.8

**熔炼批 heat**

采用一种工艺生产的同一个批次的钢材。

4.9

**缺欠 imperfection**

按本部分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。

4.10

**指示 indication**

通过无损检测得出的证据。

4.11

**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。

4.12

**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。

4.13

**内弧侧 intrados**

弯管弯曲段的内侧部分。

4.14

**分层 lamination**

内部金属分离形成的片层,通常与钢管表面平行。

4.15

**制造商 manufacturer**

按本部分的要求,负责生产产品且对产品做标志的工厂、公司或社团。

4.16

**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、无损检测、钢管坡口型式及尺寸等技术文件,包括检测及评定结果。

4.17

**母管 mother pipe**

用于制作弯管的直管。

## 4.18

**无损检测 non-destructive inspection**

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

## 4.19

**购方 purchaser**

负责确定产品订货要求且为所购产品付款的一方。

## 4.20

**服役条件 service condition**

由购方在订货合同中规定的使用条件

注:在本部分中,术语“酸性服役”和“海上服役”指服役条件。

## 4.21

**直管段 tangent**

感应加热弯管两端的直管部分。

## 4.22

**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。

## 5 符号和缩略语

## 5.1 符号

下列符号适用于本文件。

$A$  ——伸长率, %;

$CVD, L_{CVD}$  ——波浪高度;

$D_2, D_4$  ——两邻近波峰的外径;

$D_3$  ——波谷的外径;

$D$  ——规定直径,外径或内径;

$D_{max}$  ——最大测量直径,外径或内径;

$D_{min}$  ——最小测量直径,外径或内径;

$l$  ——邻近波峰距离;

$O$  ——椭圆度;

$R_m$  ——抗拉强度;

$R_{t0.5}$  ——总伸长 0.5% 的屈服极限;

$r_b$  ——弯管中心线处半径;

$r_p$  ——母管名义壁厚处半径;

$T_{dmin}$  ——购方规定的最低设计温度;

$t_i$  ——弯管内弧侧壁厚最小值;

$t_{min}$  ——与 GB/T 24259 或其他应用的设计标准一致的弯管直段最小壁厚,包括任何腐蚀余量。

## 5.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- BQT —— 弯管评定试验；
- CTOD —— 裂纹尖端张开位移；
- DWT —— 落锤撕裂；
- HAZ —— 热影响区；
- HIC —— 氢致开裂；
- HFW —— 制造钢管时，对钢管实施的高频焊接工艺；
- MPS —— 制造工艺规范；
- MT —— 磁粉检测；
- NDT —— 无损检测；
- PSL —— 产品规范等级；
- PT —— 液体渗透试验；
- RT —— 射线检测；
- SAWL —— 制造钢管时，对钢管实施的直缝埋弧焊工艺；
- SSC —— 硫化物应力开裂；
- SWC —— 阶梯开裂；
- UT —— 超声波检测；
- WPS —— 焊接工艺规范。

## 6 标识

感应加热弯管的标识应采用“IB ×××-PSL 1”或“IB ×××-PSL 2”、“IB ×××-PSL 2S”，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”表示酸性条件下服役的 PSL 2 级别的感应加热弯管。

## 7 压力等级和设计

感应加热弯管由其内部流体压力所产生的环向应力不应超过 GB/T 24259 规定的环向许用应力。对于弯管的直管段，环向应力不应超过 GB/T 24259 规定的环向许用应力，或者符合其他适用的设计规范。

应通过计算证明符合 GB/T 24259 或者其他适用的设计规范要求或满足下列要求：

- a) 弯管外弧侧壁厚至少为  $t_{min}$ ；
- b) 弯管内弧侧壁厚最小值至少应满足公式(1)：

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

对于不是按照 GB/T 24259 标准设计的管线，弯管外弧侧壁厚可能会小于  $t_{min}$ 。

本章是对弯管在承受内压时的设计要求。购方和设计者有必要考虑其他载荷，包括静态和动态载荷，证明管线在试验条件下符合 GB/T 24259 标准对强度的要求。

## 8 购方提供的信息

### 8.1 一般信息

购方应提供以下信息：

- a) 本部分的标准编号；
- b) 弯管的标志；
- c) 弯管的数量；
- d) 由购方或制造商提供母管；
- e) 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。
- f) 管端坡口角度及尺寸(如果管端不是直角端面)。

### 8.2 补充信息

购方应注明下列补充信息：

- a) 最低设计温度；
- b) 最高设计温度(以及高温拉伸试验要求)；
- 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(如果与本部分不同)；
- g) 管线设计标准或设计系数(如果与 GB/T 24259 不同)；
- h) 管线运行条件；
- 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) 停止见证点和购方批准；
- n) 外观质量；
- o) 涂敷或喷涂要求；
- p) 标志要求(如果与本部分不同)；
- q) 包装和搬运说明；
- r) 第三方检验机构；
- s) 依据 GB/T 18253 标准规定的检验文件；
- 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。

### 8.3 母管信息

8.3.1 如果母管由购方提供,母管的以下信息应提供给制造商:

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

8.3.2 如果可以,应提供以下附加信息:

- a) 钢管制造标准和钢管质证书,包括化学成分、热处理、力学性能、尺寸和无损检测结果;
- b) 焊接工艺规范(WPS)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(WPS)。

## 9 制造

### 9.1 母管

母管的管型包括无缝管、直缝埋弧焊管及高频电阻焊管,其制造工艺应符合 ISO 3183 要求。

PSL 2 弯管生产使用的母管应符合 ISO 3183:2007 PSL 2 要求。

PSL 2S 弯管生产使用的母管应符合 ISO 3183:2007 附录 H 要求,该要求与本部分附录 B 一致。

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。

不允许对母管管体进行焊接修补。

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。

母管表面应无低熔点金属污染,如铜、锌、铝和黄铜等。

### 9.2 评定试验用弯管

制造商应持有中华人民共和国压力管道元件制造许可证证书、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。

在正式生产开始前或在协议生产开始时,应按照附录 A 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 文件应符合第 9 章要求。

“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。

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。

试验弯管应有足够的弧长,以确保必要的试验取样。试验弯管应与每一个准备的 MPS 一致。如果生产的弯管有直管段、起始过渡区和终止过渡区,弯管的检查和试验应包括这三个区段。

试验弯管的试验和检验应与第 10 章一致。

对于表 1 中的每一个基本变量,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。

基本变量的变更不应超过表 1 的允许限制。

表 1 基本变量和最大允许偏差

基本变量	最大允许偏差 <sup>a</sup>
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	$\pm 2.5$ mm/min
成形温度	$\pm 25$ °C
感应圈设计	无
冷却液	无
冷却介质流速或压力	$\pm 10\%$
冷却介质温度	$\pm 15$ °C
功率	$\pm 5\%$ , 在稳定条件下(无缝钢管需进行协商)
感应加热频率	$\pm 20\%$
焊缝位置	$\pm 15^\circ$
弯后热处理	保温时间: $^{+15}_0$ min 保温温度: $\pm 15$ °C 加热和冷却速率: 协商确定
<sup>a</sup> 允许的变量适用于从弯管评定试验(BQT)获得的值。	

### 9.3 弯制成型

弯管可采用整体加热或局部加热两种工艺方式进行生产。感应加热弯制应依据已确认的 MPS 文件进行。

感应加热过程不允许中断。

### 9.4 弯制后热处理

满足 PSL 2 规范级别的 L485/X70 及以上强度级别的弯管应进行弯后回火或消除应力等热处理, L450/X65 及以下强度级别的弯管应根据弯管综合性能和所选用材料特性确定是否进行弯后热处理。

满足 PSL 2S 规范级别的弯管应进行弯后正火、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。制造商应提供详细的热处理工艺。

弯管热处理过程中,应通过与弯管直接相连接的热电偶,或与弯管有相同温度的材料相连接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。

热电偶至少每年鉴定一次。热处理时炉温温差应控制在  $\pm 15$  °C 以内。

### 9.5 弯制后成形和定径

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

在无后续热处理时,可以使用冷成形或冷定径,但冷成形或冷定径所引起的永久应变最大不应超过 1.5%。

## 9.6 对接管

感应加热弯管母管不应采用对接管。

## 9.7 管端

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。

单位为毫米  
表面粗糙度为微米

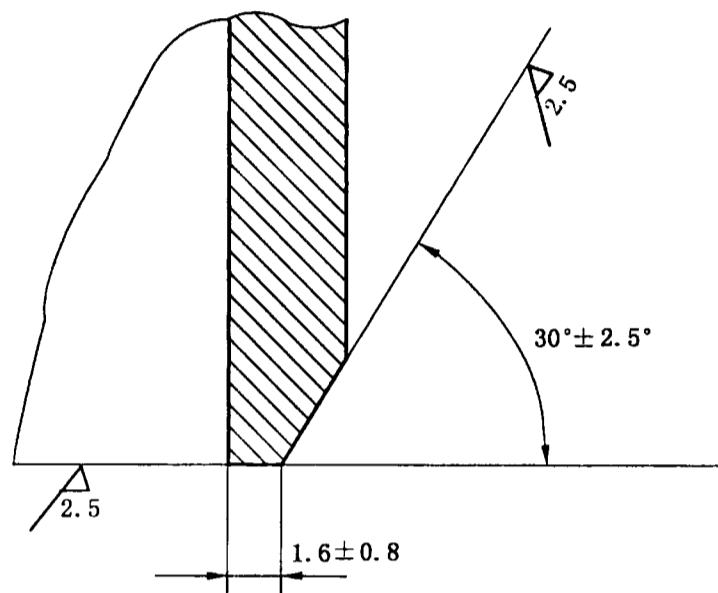


图 1 弯管管端坡口

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不大于 0.5 mm,但不得低于管体表面。焊缝磨削去除时,不得明显伤及管体,且应圆滑过渡。

## 10 试验和检验

### 10.1 总则

当第 10 章所要求的试验和检验完成,并且试验结果满足规范要求时,MPS 才应被认可,且制造商可进行弯管正式生产。

除第 10 章其他规定外,感应加热弯管的试验和检验方法以及验收标准是必需的,且按照 ISO 3183 中同钢级和类型的钢管进行。

海上服役条件下钢管(PSL 2)的屈服应力上限可以通过协商增加。

弯管的试验和检验应在最终的热处理后进行。

适用于母管的试验结果可以替代表 2 中规定的试验和检验结果。

如果管线安装技术需要弯管焊后热处理,购方可以要求附加的试验来证明弯管力学性能在焊后热处理后能达到要求。购方应规定在管线进行安装时的详细焊后热处理工艺。

### 10.2 试验和检验范围

#### 10.2.1 评定试验用弯管

不同产品规范等级弯管的试验与检验要求详见表 2。

每一种规范等级的试验弯管应按照表 2 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 3,取样方向和位置如图 2 所示。



## 10.2.2 弯管生产

每根弯管应根据相应的规范等级,在其生产过程中进行表 2 所要求的试验和检验内容。

## 10.2.3 产品试验用弯管

弯管生产数量很大时,产品试验用弯管的破坏性试验频率和检测项目应通过协商确定。

## 10.3 化学成分

每个弯管的化学成分都应符合 ISO 3183 对相同规范等级和类型的钢管所作的规定。

注:有些情况下,尽管弯管中铝和/或铜的含量在 ISO 3183 的允许范围之内,但在弯管热煨制过程中,弯管仍可能出现脆性开裂现象。

## 10.4 力学试验

### 10.4.1 取样总则

试样应依照 ISO 3183 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。

### 10.4.2 拉伸试验

#### 10.4.2.1 试样

如果协商采用圆棒试样,圆棒试样取自未展平的试块。

接头焊缝余高应磨削去除。局部的缺欠和表面金属氧化层也应去除。

#### 10.4.2.2 试验方法

室温拉伸试验按 GB/T 228.1 或 ASTM A370 标准的要求进行。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 4338 标准规定进行,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  $R_m$ 、 $R_{0.5}$  和  $A$  性能指标检测。

断后伸长率按 ISO 3183:2007 中 10.2.4.2 的规定。

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。

表 2 试验和检验要求

试验		PSL 1 <sup>a</sup>	PSL 2 <sup>a</sup>	验收准则
化学分析	化学成分	M	M	ISO 3183
物理试验	拉伸	T	T	ISO 3183
	冲击	N	T	ISO 3183
	横截面硬度	O	T	10.4.4.2
	表面硬度	T 和 P	T 和 P	10.4.5.2
	金相	T	T	10.4.6.2
	HIC(氢致开裂)	N	T <sup>b</sup>	B.4.3
	SSC(硫化物应力开裂)	N	T <sup>b</sup>	B.4.4
	DWT(落锤撕裂)	N	O	协商
	CTOD(裂纹尖端张开位移)	N	O	协商

表 2 (续)

试验		PSL 1 <sup>a</sup>	PSL 2 <sup>a</sup>	验收准则
物理试验	导向弯曲(焊缝)	M	M	ISO 3183
	压扁	M	M	ISO 3183
NDT	外观检查	T 和 P	T 和 P	ISO 3183 和 10.5.1
	焊缝(UT 或 RT)	M	T 和 P	ISO 3183
	弯管管端(分层)	P	P	10.5.3
	弯管管体(MT 或 PT)	T 和 P	T 和 P	10.5.4
	弯管管体(UT)横向缺陷	N	T 和 P	10.5.5
	弯管管体(分层)	N	M	10.5.5
	管端剩磁	P	P	10.5.6
	修补	P	P	ISO 3183 和 10.5.7
尺寸	壁厚	T 和 P	T 和 P	10.6
	弯管管体直径	P	P	10.6
	弯管管端直径	P	P	10.6
	管端椭圆度	P	P	10.6
	管体椭圆度	P	P	10.6
	线尺寸	P	P	10.6
	角度	P	P	10.6
	半径	O	O	10.6
	管端垂直度	P	P	10.6
	不平度	P	P	10.6
	坡口加工	协商	协商	协商
测定	协商	协商	协商	
静水压试验	协商	协商	协商	

<sup>a</sup> 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,则必需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必需经过协商;  
P——每根弯管产品都要求试验;  
T——每根试验弯管都要求试验。

<sup>b</sup> 仅有 PLS 2S 弯管要求的试验。

表 3 取样位置和破坏性试验项目

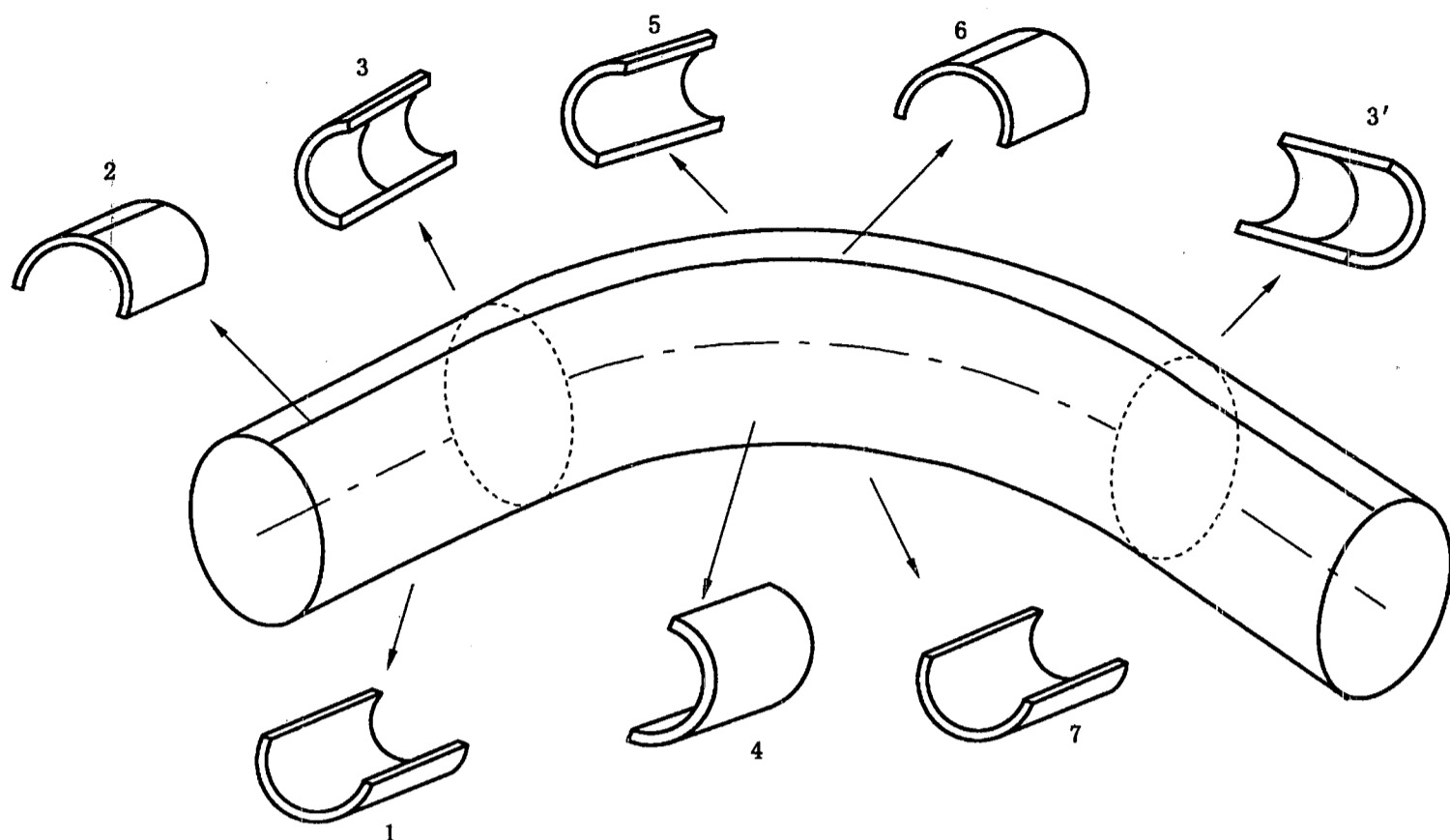
位置	试验项目
直管段母材 <sup>a</sup>	拉伸 冲击 横截面硬度
直管段焊缝	横向拉伸 冲击 压扁 横截面硬度 金相 导向弯曲
起过渡区和终过渡区外弧侧母材	拉伸 <sup>b</sup> 冲击 <sup>b</sup> 横截面硬度 <sup>b</sup> 金相 <sup>b</sup>
弯曲段,壁厚基本不变中性区(非焊缝侧)	横向拉伸 <sup>b</sup> 冲击 <sup>b</sup>
弯管外弧侧母材	拉伸 冲击 横截面硬度 HIC 和 SSC <sup>c,d</sup>
弯管内弧侧母材	拉伸 冲击 横截面硬度
弯曲段焊缝	拉伸 冲击 横截面硬度 金相 导向弯曲 HIC 和 SSC <sup>c</sup>

<sup>a</sup> 如果母管试验结果满足验收要求,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,则弯制后其不要求进行试验。

<sup>b</sup> 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。

<sup>c</sup> 仅 PLS 2S 弯管要求的试验。

<sup>d</sup> 协商;无缝弯管不进行 HIC 试验。



说明:

试样位置:

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

图 2 弯管试样取样位置及取向

### 10.4.3 夏比 V 型缺口冲击试验

#### 10.4.3.1 试样

夏比 V 型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,从弯管壁厚中心取样。

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,从壁厚中心位置取样。其直管段部位从外表面下方,深度不超过 2 mm 的位置取样。

当 SAW 钢管作为母管,且公称壁厚小于等于 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 3a)所示,尽可能靠近外焊道边缘。

当存在焊偏时,焊缝及 HAZ 上截取的试样的刻槽轴线应如图 3b)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 的弯管，其试样的取样位置需通过协商确定。

#### 10.4.3.2 试验方法

每组冲击试样应由 3 个相邻的毛坯样品加工而成，并且是从未展平的同一试块上取样。

夏比 V 型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。

埋地管线应在  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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。

非埋地管线应在  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  和管道最小设计温度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，但试验温度不应高于管道最小设计温度。

#### 10.4.3.3 要求

公称壁厚小于或等于 25 mm 的弯管，其夏比 V 型缺口冲击试验结果应符合 ISO 3183 标准的要求。公称壁厚大于 25 mm 的弯管，其夏比 V 型缺口冲击试验结果可协商确定。

#### 10.4.4 全壁厚硬度试验

##### 10.4.4.1 试验方法

PSL 2 弯管横截面硬度试验应按照 GB/T 4340 或 ASTM E92 进行维氏硬度检测，也可以按照 GB/T 230 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 ISO 3183 的要求选取。

##### 10.4.4.2 要求

PSL2 弯管维氏硬度检测值应不大于 300 HV10，或换算成其他单位等效硬度值（见 ASTM E140）。

对用于酸性介质的 PSL 2S 弯管，其硬度检测值应符合附录 B 的硬度要求。

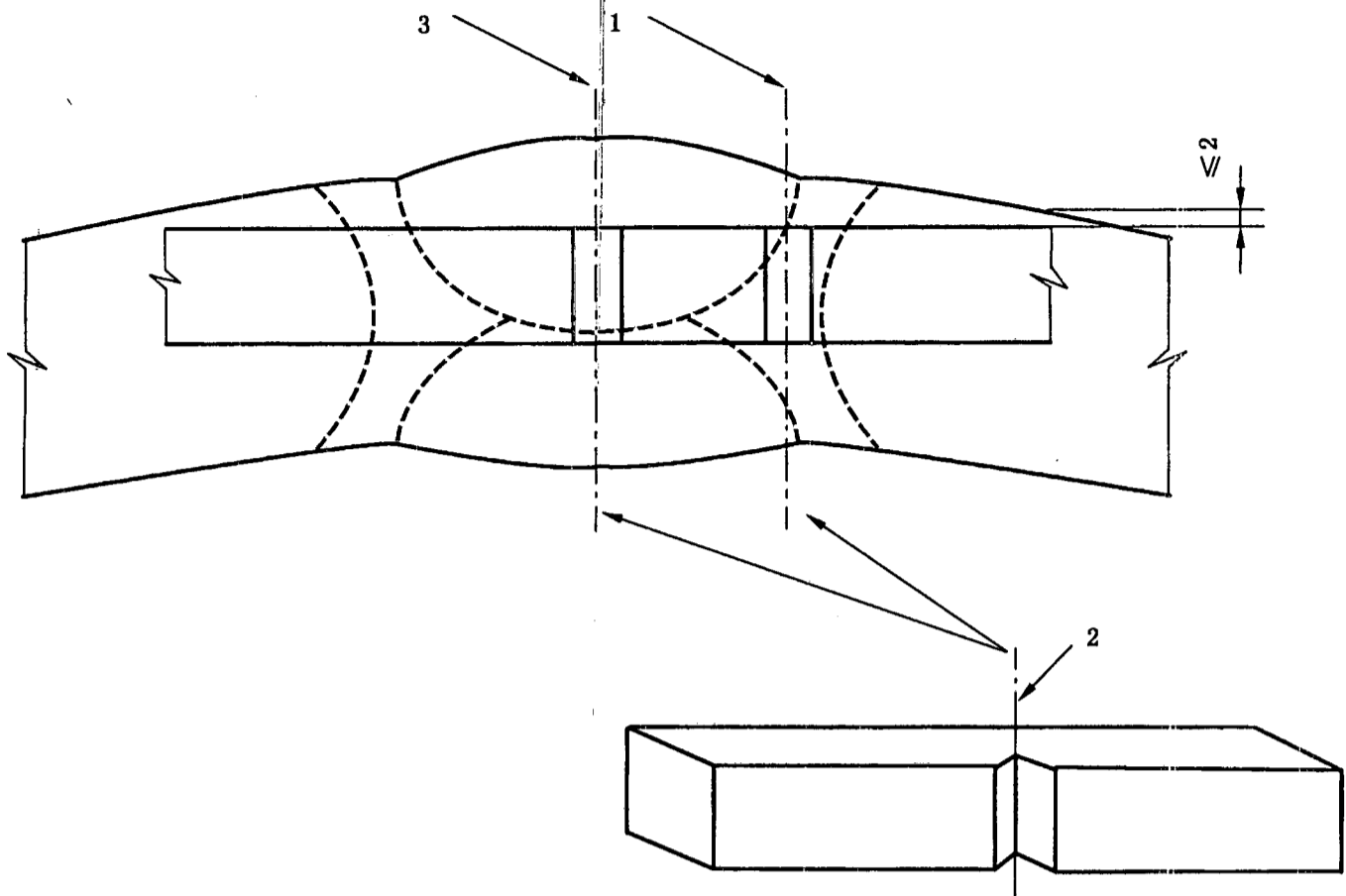
#### 10.4.5 表面硬度试验

##### 10.4.5.1 试验方法

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。

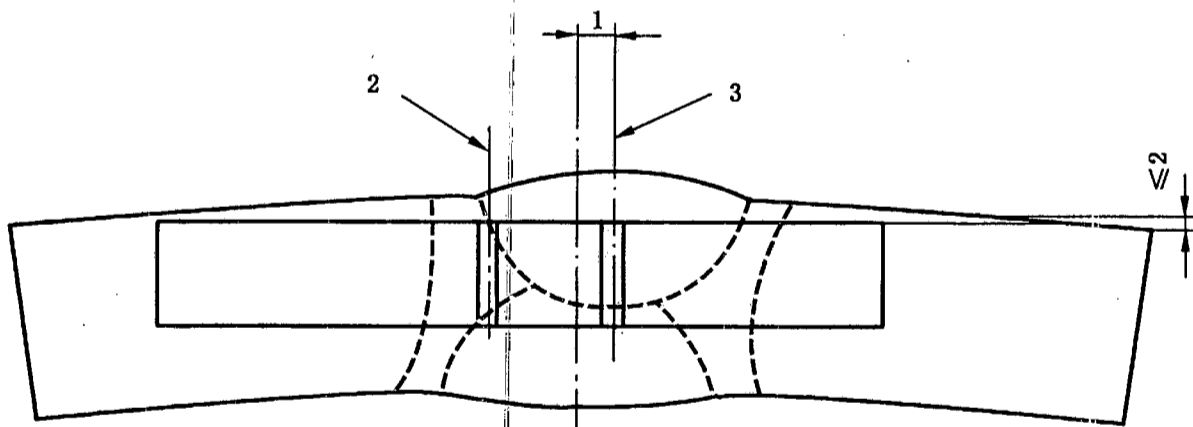
同一类型的试验装置既可以用于评价试验也可以用于弯管生产。试验装置的选择由制造商决定，除非另有约定。



a) 焊缝中心和热影响区取样位置

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)。



b) 存在焊偏时焊缝中心和热影响区冲击试样位置

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 3 采用局部加热方式生产的弯管,其直管段埋弧焊焊缝取样位置

#### 10.4.5.2 要求

试制弯管中,每个位置上 3 个读数的平均值将用于指导产品检验。

生产弯管每个位置上 3 个硬度读数的平均值的变化可以比在同一位置所作的试制弯管的平均值高出 30HV10 硬度点,但不能超过这个数字。单个硬度值需与 10.4.4.2 中的要求相一致。

## 10.4.6 金相检验

### 10.4.6.1 试验方法

对用于全截面硬度试验(见 10.4.4)的试样必需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 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,能涵盖全部壁厚,包括弯管弯曲段外弧侧以及过渡区域的外表面。晶粒度测量需依据 ASTM E112 中适用于微观组织的标准进行。

### 10.4.6.2 要求

金相照片应可证明感应弯制及其热处理使得母材、焊缝及 HAZ 具有了稳定的微观结构。弯管母材晶粒度评定结果为 6 级或更细。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。

### 10.4.7 落锤撕裂试验

对任何规范级别的弯管产品,均不强制要求进行落锤撕裂试验。

若需进行该项试验,其试验方法、试样的取样位置和验收规范可协商确定。

### 10.4.8 裂纹尖端张开位移试验方法

对任何规范级别的弯管产品,均不强制要求进行裂纹尖端张开位移试验。

若需进行该项试验,试验方法和技术要求可协商确定。

### 10.4.9 导向弯曲试验

#### 10.4.9.1 试样

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。

#### 10.4.9.2 试验方法

弯轴尺寸应按照 ISO 3183 所规定,选用与弯管母管具有相同制造工艺、相同等级钢管标准的要求。两个试样都需弯至 180°,一个面弯,一个背弯。

### 10.4.10 压扁试验

如果有需要,压扁试验应依据 ISO 3183 按同等级和类型钢管的标准进行试验。

## 10.5 无损检测

在弯管热处理之后,在外观检查或其他的无损检测之前,要对所有弯管外表面依照 GB/T 8923 Sa2 的清洁度等级进行清洁。

### 10.5.1 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 ISO 3183 标准予以检查。

弯管波浪如图 4 所示,若符合以下要求,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 比值应大于等于 25。

CVD,用  $L_{CVD}$  以数学方式表达,可以写成如下公式:

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

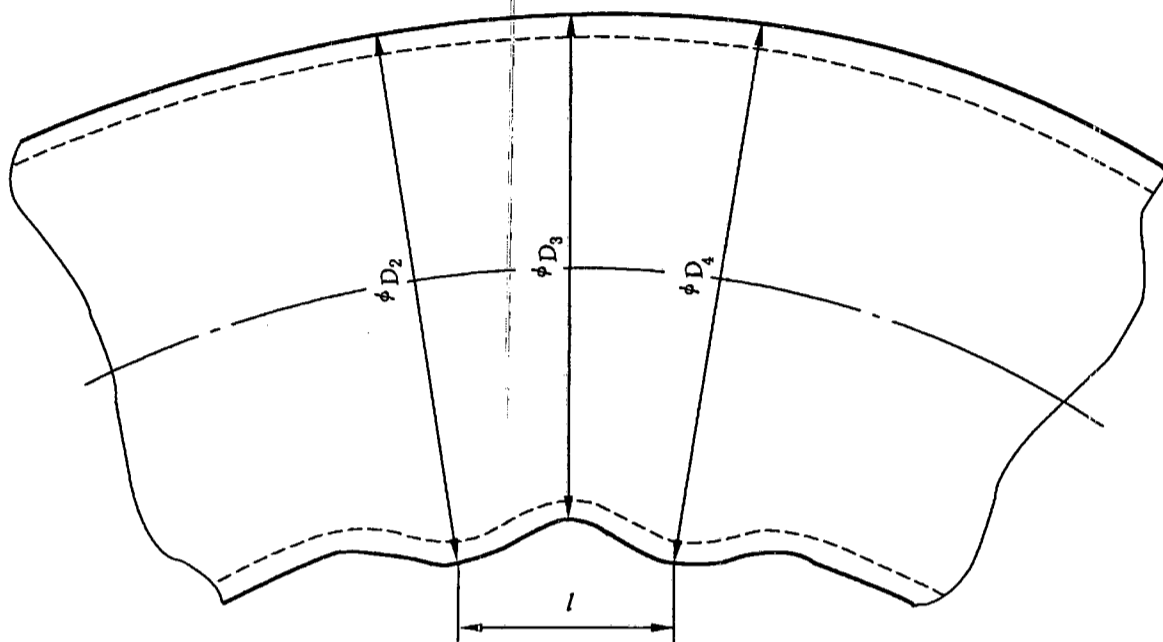


图 4 波浪测量示意图

10.5.2 焊缝检测

焊缝超声波检测范围要求如下:

- 弯曲段及过渡区的全焊缝;
- 直管段焊缝。

10.5.3 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 ISO 13664 或 ASTM E709 进行;液体渗透检测应按 ISO 12095 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 弯管,距管端 50 mm 长的范围内,应按照 ISO 11496、ASTM A435 或 ASTM A578/A578M 标准进行磁粉检测。不允许存在面积大于 100 mm<sup>2</sup> 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。

10.5.4 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 13665 或 ASTM E709 标准进行磁粉检测。

在任何方向上所有大于 3 mm(0.118 in)的裂缝、折叠、分层和圆形指示都将被认为是缺陷,并应据 10.5.7 予以修补。

10.5.5 弯管管体的超声波检测

每根弯管管体应按照 ISO 9305 进行全管体横向缺陷超声波检测。



如果有要求,应按照 ISO 12094、ISO 10124、ASTM A435 或 ASTM A578/A578M 对每根弯管管体进行分层缺陷超声波检测,超声波检测范围可协商确定,检测结果应满足 ISO 3183 要求。

#### 10.5.6 剩磁等级

弯管管端剩磁应不超过 2 mT。

#### 10.5.7 修复

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

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

为确保完全消除缺陷,所有表面缺陷的修补处可依照 ISO 13665 进行磁粉检测,或依照 ISO 12095 进行液体渗透检测。

#### 10.5.8 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。

### 10.6 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 4 规定的允许偏差。

应依据 ASTM E797 标准,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 5,步骤如下:

- 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;
- 测量并标记从“弯管中心点”到每一个“管端中心点”的距离;
- 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 5b)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 6 所示。

平面度测量,应使弯管直管段管端中心线水平,测量两个管端中心线与水平面不同高度,如图 7 所示。实际测量方法应该协商一致。

椭圆度  $O$ ,用百分比表示,见式(3):

$$O = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

#### 10.7 测量

测量要求应协商一致。

#### 10.8 静水压试验

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。

注:弯管静水压试验并非强制用于任何规格等级的弯管产品。

11 检验文件

购方应明确要求的 GB/T 18253 检验文件名称,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验文件内。

12 标志

弯管每个管端应标志以下信息:

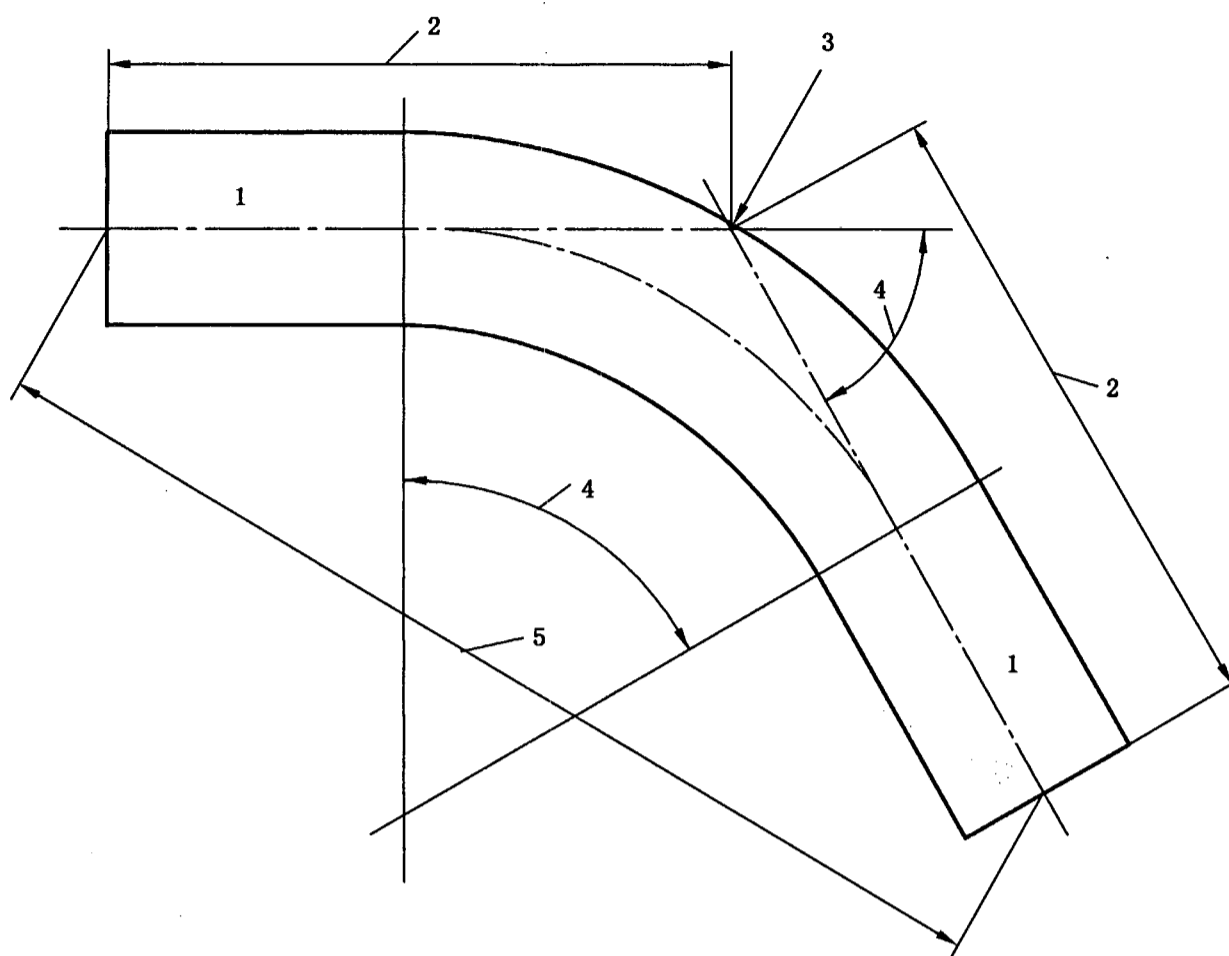
- 制造商名称或商标;
- 本部分标准编号;
- 内外直径;
- 最小壁厚;
- 第 6 章中指定的弯管标识;
- 弯曲角度;
- 弯曲半径;
- 订单号和产品编号;
- 熔炼批号和制造商熔炼批认证书;
- 弯管唯一编号;
- 订单中指定的任何附加标志。

标志应用不退色油漆写在内表面,若不能标注在内表面时,较小直径的弯管可标注在外表面。

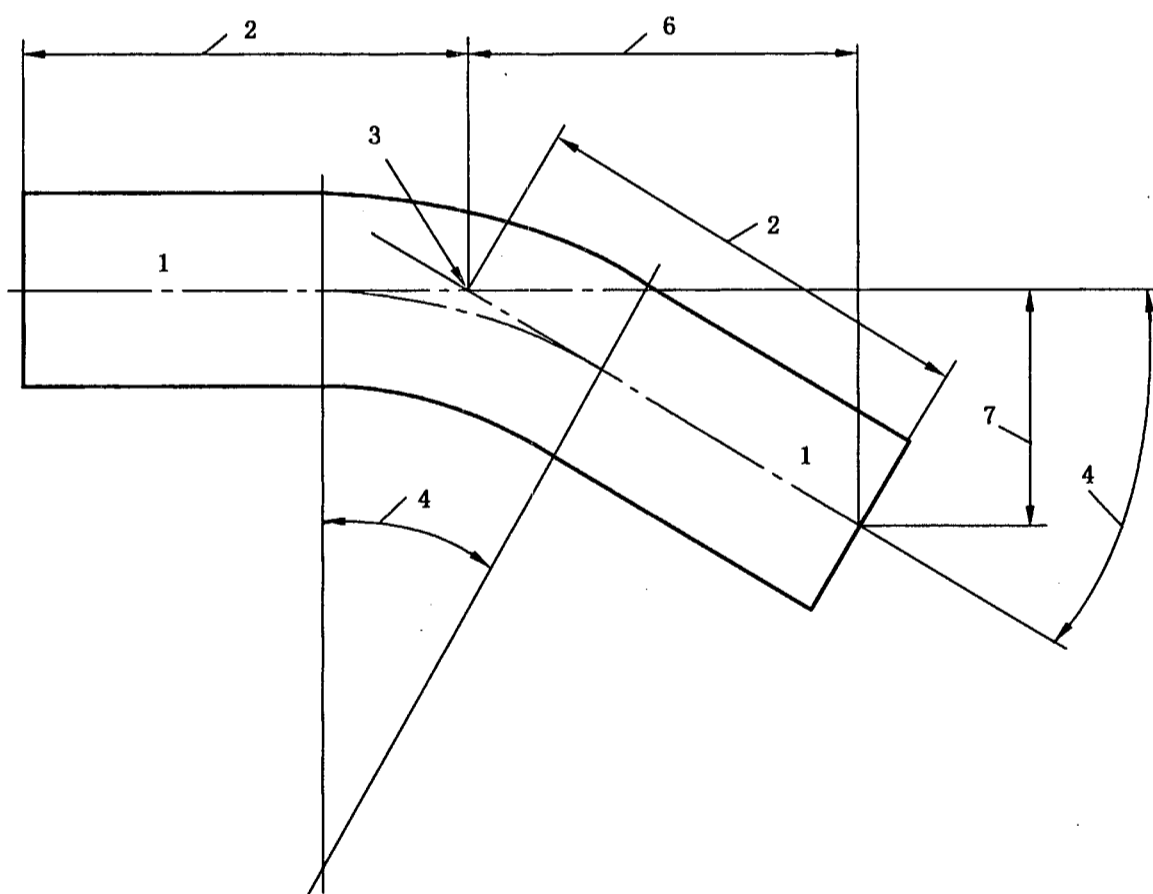
对于公称外径为 100 mm(4 in)或较大的弯管,标志应使用大写黑体字,最小高度为 19 mm(0.748 in)。对于较小弯管,标志模板高度最小为 10 mm(0.397 in),识别标志不得喷刷或印在焊缝处。

表 4 允许的公差范围

尺寸	允许范围
线性尺寸 <sup>a</sup>	±30 mm(1.18 in)
最小壁厚	0
最大壁厚	按标准
弯管管端内外侧直径 <sup>b</sup>	按标准
弯曲段和直管段内径	按标准(见 10.7)
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(0.394 in)
管端垂直度	最大 3 mm(0.118 in)
平面度	按标准
管端椭圆度	按标准
弯管管体椭圆度	$r_b \geq 5D$ ; 最大 2.5% $3D \leq r_b < 5D$ ; 最大 3% 按照较小弯曲半径标准
<sup>a</sup> 例如偏移量、弦长。 <sup>b</sup> 购方应该指定允许范围适用于内侧直径还是外侧直径。	



a) 大于等于 15° 的弯管



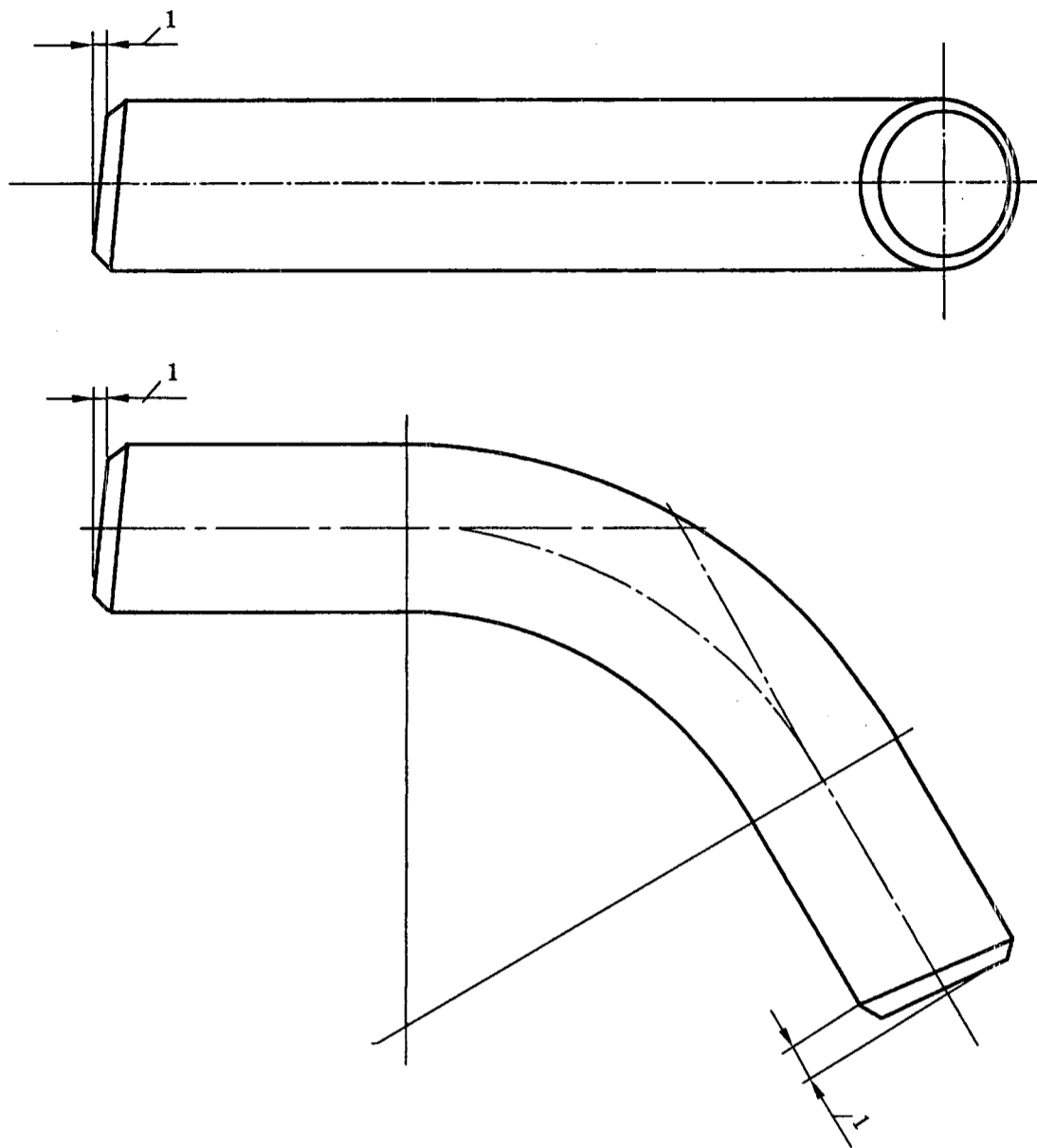
b) 小于 15° 的弯管

说明:

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

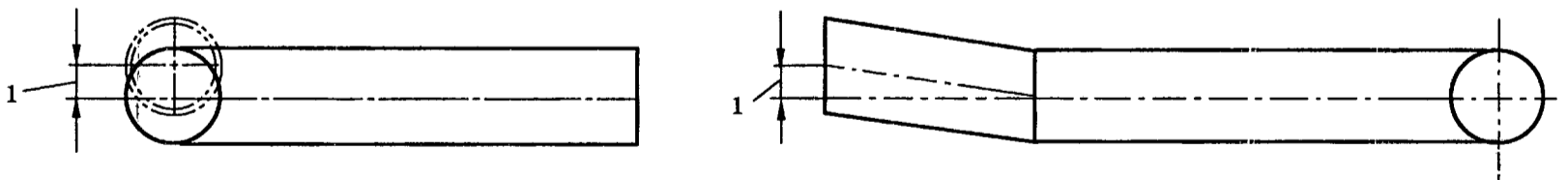
- 5——弦;
- 6——外伸长度;
- 7——偏移。

图 5 弯曲角度测量



说明：  
1——垂直度。

图 6 管端垂直度测定



说明：  
1——平面度。

图 7 平面度测定

**附 录 A**  
**(规范性附录)**  
**制造工艺规范**

### A.1 引言

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

### A.2 制造工艺规范

制造工艺规范应该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,否则不得进行生产。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。

MPS 应明确以下细节:

- a) 母管信息:
  - 制造商名称;
  - 管子钢级;
  - 管型;
  - 钢管成型方法;
  - 钢管规格;
  - 化学成分;
  - 力学性能。
- b) 焊接管的焊接工艺及焊缝金属化学成分:
  - 焊缝检验技术和报告;
  - 热处理条件。
- c) 试验和检验要求:
  - 评价试验用弯管;
  - 弯管产品。
- d) 弯制过程细节:
  - 弯制前钢管清洁方法;
  - 弯制设备鉴定;
  - 弯制过程温度测量和控制方法;
  - 弯制参数(见表 1);
  - 直管段端部加热和淬火。
- e) 弯后热处理
  - 弯后热处理类型;
  - 升温速度,保温时间和温度,冷却速度;
  - 热电偶类型和位置。
- f) 定径和整圆流程;
- g) 购方附加要求(如管端坡口,涂层和标志)。

**附录 B**  
(规范性附录)  
**酸性介质下的 PSL 2S 弯管**

**B.1 概述**

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。

**B.2 购方应提供的额外信息**

除第 8 章所述项目外,订单还应该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 3183:2007 中 H.3.3.2.4;
- b) 对无缝弯管进行 HIC 检验,见表 3 脚注 c);
- c)  $t > 25.0$  mm(0.984 in)弯管的化学成分,见 B.4.1;
- d) 可报告的 HIC 裂纹显微照,见 B.4.3;
- e) 替代 HIC/SWC 试验方法以及相关验收标准,见 B.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 B.4.4.2;
- g) 面积达  $100\text{ mm}^2$  的单个分层大小限制,见 B.7.1 和 B.7.2;
- h) 邻近焊缝区域分层缺欠的超声波检测,见 B.7.3;
- i) HFW 管焊缝的无损检测验收准则是 L2 等级,见 B.7.4。

**B.3 制造**

**B.3.1 制造工艺**

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

**B.3.2 钢管制造**

钢管制造应遵循 ISO 3183:2007 要求,生产 PSL 2S 型号的钢管时应遵循附录 H(包括 H.3.2)所述要求。

**B.4 试验和检验**

**B.4.1 化学成分**

$t \leq 25.0$  mm 的弯管,其化学成分应符合 ISO 3183:2007 表 H.1 的标准要求。

$t > 25.0$  mm 的弯管,其化学成分应协商确定,并按照 ISO 3183:2007 表 H.1 规定对其化学成分进行适当修订。

**B.4.2 拉伸性能**

拉伸性能应该符合 ISO 3183:2007 表 H.2 所述要求。

### B.4.3 HIC/SWC 试验

#### B.4.3.1 试样

HIC/SWC 试样应该从弯管外弧侧取管体纵向试样,并符合 GB/T 8650 要求。  
带焊缝的弯管还应该从焊缝处取横向试样,且焊缝应位于试样中心。

#### B.4.3.2 试验方法

HIC/SWC 试验和报告应依据 GB/T 8650 进行。

HIC/SWC 试验应依据 GB/T 8650—2006,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 15156-2:2003 表 B.3),包括 GB/T 8650—2006 B 溶液;
- b) 应用时应施加一定的 H<sub>2</sub>S 压力;
- c) 验收标准应等同于或比 B.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该上报。条件允许时,裂纹报告中应附加相关照片。

#### B.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 15156-2:2003 表 B.3)中时,每个试样 3 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。

### B.4.4 SSC 试验

#### B.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 3 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。

#### B.4.4.2 试验方法

进行 SSC 试验,要符合 NACE TM 0177:2005,按照协定,选用 A 溶液或 B 溶液。

试验中要使用符合 GB/T 15970.2 或 ASTM G39 规定的四点弯曲试样,试验持续时间要达到 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。

如果协商一致,SSC 试验方法、试验环境(包括 H<sub>2</sub>S 压力)要与预期的应用相符合,而且还要使用相关的验收标准(见 ISO 15156-2:2003 表 B.1)。如果使用这些试验,要对试验环境、条件和试验结果进

行详细记述。

#### B.4.4.3 要求

将 SSC 试样从试验介质中取出后,要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。

#### B.4.5 硬度试验

##### B.4.5.1 试样

硬度试验要按照 ISO 3183:2007 附录 H 的要求进行。

##### B.4.5.2 要求

对于经过硬度试验的试样,管体、焊缝和 HAZ 可接受的最大硬度应该是 250 HV10 或 22 HRC (70.6 HR15N)。

如果协商一致,在下列条件下,非外露盖面焊道、外表面热影响区以及母材金属的最大硬度为 275 HV10 或 26 HRC(73.0 HR15N)。

- 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,可采用阴极防蚀法。

#### B.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 250 HV10、22 HRC 或 240 HBW,或——在钢管外表面 275 HV10、27 HRC 或 260 HBW。包含上述缺陷的弯管应被拒收。

#### B.6 检验

除按本附录特别修改外,检验频率应该符合表 2。

#### B.7 无损检测

##### B.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 11496 在每根钢管端部宽度为 100 mm(4.0 in) 的区域上进行超声波检测,来验证是否有分层缺欠。

周向分层缺欠大于 6.4 mm(0.25 in)或有大于 100 mm<sup>2</sup>(0.16 in<sup>2</sup>)的区域就应定级为缺陷。

##### B.7.2 弯管管体超声波检测

依据 ISO 3183:2007 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 3183:2007 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声波检测,则应在弯管整个管体上进行同等级



的超声波检测。

单个分层和/或多个分层密度若超过了 ISO 3183:2007 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 3183:2007 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 mm<sup>2</sup>)。

### B.7.3 焊缝超声波检测

如果协商一致,依据 ISO 13663 和 ISO 3183:2007 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。

### B.7.4 高频电阻焊焊缝无损检测

应根据 ISO 3183:2007 K.4.1 对焊缝全长进行超声波缺欠检测,验收极限应与下列之一相符:

- ISO 9764:1989,验收级别 L3;
- ISO 9303:1989,验收级别 L3/C;
- 若协商一致,ISO 9764:1989,验收级别 L2;
- 若协商一致,ISO 9303:1989,验收级别 L2/C。

### B.7.5 埋弧自动焊焊缝的超声波检测

应根据 ISO 3183:2007 附录 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。

**附录 C**  
**(规范性附录)**  
**PSL 弯管母管材料**

**C.1 原材料**

L360/X52 强度级别及以上焊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。

无缝管用钢材应为吹氧转炉或电炉冶炼的纯净镇静钢。

**C.2 化学成分**

按本部分供应的 L360/X52~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;低于 L360/X52 强度级别的弯管母管应符合 ISO 3183:2007 要求。在可焊性满足标准要求的前提下,制造商也可采用本部分规定以外的材料,但需通过购方的认可。

表 C.1 产品分析要求(质量分数)

%

元素	L555/X80		L485/X70~L450/X65		L415/X60~L360/X52	
	min	max	min	max	min	max
碳 <sup>a</sup>	0.05	0.15	0.05	0.15	0.04	0.15
锰 <sup>a</sup>	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	—	0.000 5	—	0.000 5	—	0.000 5
CE <sub>Pcm</sub> <sup>b</sup>	—	0.28	—	0.25	—	0.22
CE <sub>IIW</sub> <sup>b</sup>	0.37	0.50	0.35	0.45	0.35	0.40

<sup>a</sup> 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 L245/B 和 L360/X52 的钢级,最大值不应超过 1.65%;对于 L415/X60 的钢级,最大值不应超过 1.75%;对于 L485/X70 钢级,最大值不应超过 1.85%;对于 L555/X80 的钢级,最大值不应超过 1.95%。

<sup>b</sup> 如果碳的质量分数小于等于 0.12%,则 CE<sub>Pcm</sub> 适用。

CE<sub>Pcm</sub> 计算见式(C.1):

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

CE<sub>ITW</sub> 计算见式(C.2):

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

**C.3 母管晶粒度要求**

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

无缝管用材料晶粒度应为 No. 6 级或更细。晶粒度评定按 GB/T 6394(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 夹杂物级别限定**

钢中 A、B、C、D 类非金属夹杂物级别限定见表 C.2(按 ASTM E45 A 方法检验)。

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

**C.5 验收**

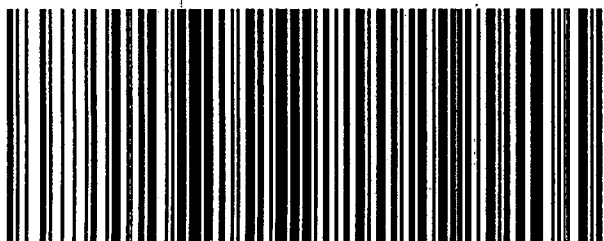
C.5.1 如果一个熔炼炉次的钢板生产的钢管化学成分不符合表 C.1 的要求, 若通过感应加热弯管热煨制模拟试验方法验证, 该成分的钢管可确保所生产的弯管性能满足本部分要求, 所有母管应予验收。

C.5.2 母管力学性能试验结果应满足 ISO 3183:2007 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部分技术要求, 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, 按照本部分规定的弯管检测项目进行直管段或整个弯管检测。

参 考 文 献

- [1] ASTM E29-04,使用有效数字确定、试验数据与规范符合性作法
- [2] ISO/TS 29001,石油、石化和天然气工业——特定行业的质量管理体系——对提供产品和服务组织的要求
- [3] ISO 15156-2:2009,石油和天然气工业 石油和天然气生产中用于硫化氢环境的材料 第2部分:碳钢、低合金钢及铸铁的抗开裂能力
- [4] ASTM E140,布氏硬度,维氏硬度,洛氏硬度,表面硬度等金属硬度转换表
- 



GB/T 29168.1-2012

版权专有 侵权必究

\*

书号:155066·1-46964

定价: 33.00 元