

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

大型高强薄壁不锈钢环/筒件辊弯-焊接一 体化制造技术规范

Technical specification for integrated roll bending and welding manufacturing of large, high-strength, and thin-walled stainless steel ring / cylindrical components

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 大型高强薄壁不锈钢环筒件	1
3.2 辊弯成形	2
3.3 立式辊弯成形	2
3.4 辊弯-焊接一体化	2
4 一般要求	2
4.1 工作环境	2
4.2 人员要求	2
4.3 工艺准备要求	2
4.4 设备、工装和量具要求	2
5 材料要求	3
5.1 母材	3
5.2 焊接材料	3
5.3 辅助材料	3
6 辊弯-焊接一体化制造工艺	3
6.1 辊弯成形前准备	4
6.2 辊弯成形	4
6.3 焊接	5
6.4 焊后处理	6
7 制造质量检验	6
7.1 总体要求	6
7.2 外观检验	6
7.3 尺寸检验	6
7.4 焊缝检验	7
7.5 力学性能试验	7
8 焊接缺陷返修	7
9 安全与环保	7

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。

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

大型高强薄壁不锈钢环/筒件辊弯-焊接一体化制造技术规范

1 范围

本文件规定了大型高强薄壁不锈钢环/筒件（以下简称“环筒件”）的一般要求、材料要求、辊弯-焊接一体化制造工艺、制造质量检验、焊接缺陷返修、安全与环保等内容。

本文件适用于大型高强薄壁不锈钢环筒件的辊弯-焊接一体化生产。

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 713.7 承压设备用钢板和钢带 第7部分：不锈钢和耐热钢
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4842 氩
- GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
- GB 9448 焊接与切割安全
- GB/T 15579.9 弧焊设备 第9部分：安装和使用
- GB/T 15579.10 弧焊设备 第10部分：电磁兼容性（EMC）要求
- GB/T 17853 不锈钢药芯焊丝
- GB/T 19022 测量管理体系 测量过程和测量设备的要求
- GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺欠质量分级指南
- GB/T 20878 不锈钢 牌号及化学成分
- GB/T 22085.1 电子束及激光焊接接头 缺欠质量分级指南 第1部分：钢
- GB/T 26953 焊缝无损检测 渗透检测 验收等级
- GB 30458 卷板机 安全技术要求
- GB/T 32259 焊缝无损检测 熔焊接头目视检测
- GB/T 33214 钢、镍及镍合金的激光-电弧复合焊接接头 缺欠质量分级指南
- GB/T 34628 焊缝无损检测 金属材料应用通则
- GB/T 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47016 承压设备产品焊接试件的力学性能检验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大型高强薄壁不锈钢环筒件 large high-strength thin-walled stainless steel ring
/cylindrical components

采用经冷轧或其他加工硬化工艺强化并以强化态交货的不锈钢板材/卷材，整条钢板/钢带经辊弯及焊接制成环筒件，其外径为3500~15000 mm，且环筒件仅一条纵向焊缝。室温规定基材塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于950 MPa，环筒件用金属薄板的厚度为2mm~8mm。

3.2

水平辊弯成形 roll bending

利用水平卷板机，通过驱动辊的旋转运动及从动辊的压紧，使平板产生连续塑性弯曲，最终形成预定曲率环筒件坯件的工艺过程。

3.3

立式辊弯成形 vertical continuous roll bending

金属卷材在直立状态下经反向开卷、导向、连续辊弯和定长切断形成预定曲率环筒件坯件的成形方法。该方法可使板带在开卷后直接进入立式辊弯设备连续卷圆，并可在直立状态下完成后续切断、组对和焊接。

3.4

辊弯-焊接一体化 integrated roll bending and welding

不锈钢板材/卷材经辊弯成形为坯件后，立即进行纵缝焊接成单焊缝环筒件，整个工艺过程在一台集成制造装备上实施，具有连续性。

4 一般要求

4.1 工作环境

4.1.1 辊弯、焊接、检验等作业应在具备相应生产条件的场所进行。作业场所应整洁、干燥，并应具有满足工艺实施要求的照明、通风、供电、起吊、工装布置和安全防护条件。

4.1.2 焊接作业应在专用场地或采取有效防风、防雨、防雪、防潮措施的场所进行。露天施焊时，当环境条件不满足本文件要求时，不应施焊。焊接环境温度应满足焊接工艺文件要求，且焊件温度不应低于0℃；当低于0℃时，应采取预热、保温等措施后方可施焊。

4.2 人员要求

从事辊弯、焊接等作业的人员，应经过岗位培训并考核合格后上岗。其中焊接等热作业人员应持有“焊接与热切割作业”等相关的特种作业操作证。

4.3 工艺准备要求

4.3.1 生产前应具备完整、有效的设计图样、技术条件、工艺文件和检验文件。未经批准，不应擅自更改产品结构、材料牌号、主要工艺参数、检验要求和验收标准。制造前应根据产品结构特点、母材状态、焊接方法和质量要求，编制相应的制造工艺文件。工艺文件应包括材料预处理工艺、辊弯成形工艺、板材切割工艺、组对定位工艺、焊接工艺、焊后处理工艺、检验规程及必要的返修工艺。

4.3.2 制造前应对原材料、焊接材料、辅助材料、设备状态、工装条件、检测器具和作业环境进行确认；确认满足要求后方可开工。辊弯成形前应根据母材强度级别、厚度、环筒件直径和成形精度要求，确定预弯方式、成形道次、压下量或辊制参数、回弹修正量及校圆方法。焊接前应根据产品结构特点和变形控制要求，确定装夹方式、定位方式，以及必要的防变形措施。

4.3.3 对有防污染要求的不锈钢环筒件，应在工艺文件中明确母材表面清理要求、碳钢隔离要求、专用工装或专用清理工具要求，以及焊后表面处理要求。检验文件应与制造工艺文件相协调，明确过程检查项目、成品检验项目、检验频次、抽样要求、记录要求及不合格处置要求等。制造和检验过程中形成的记录应真实、完整、可追溯，并按规定保存。

4.4 设备、工装和量具要求

- 4.4.1 用于预处理、辊弯成形、材料切割、组对、焊接、校形、检验和搬运的设备、工装和量具应满足产品制造精度、质量控制和安全生产要求。其中辊弯设备应满足母材强度等级、厚度范围和环筒件尺寸的成形要求，并应保证成形过程中运行平稳、受力均匀、调节灵活。设备辊轴、压下机构和传动系统不应存在影响成形质量的异常磨损、松动或失调。焊接设备应满足所采用焊接方法的技术要求，电流、电压、焊接速度、送丝速度、保护气体流量等参数应可调、可控并保持稳定。当采用自动焊或机械化焊时，焊接设备应具有稳定的行走、跟踪或定位能力；必要时应配备参数显示、记录或联锁保护功能。
- 4.4.2 组对工装和夹具应具有足够的刚度、强度和定位精度，并应便于装配、拆卸和焊接操作。工装设计和使用不应筒体产生明显附加变形，不应妨碍焊接质量检查和焊后修整。校圆、矫形及翻转工装应与筒形件尺寸和刚度相适应，不应因局部集中载荷造成母材屈伤、表面损伤或失稳变形。
- 4.4.3 用于尺寸检验、形位检验和工艺参数检测的量具、仪器和仪表应满足测量准确度要求，并应按规定经检定或校准且在有效期内使用。测量过程和测量设备应满足 GB/T 19022 的规定；用于无损检测的设备、器材和辅助装置应满足相应检测方法要求；从事无损检测的人员资格应符合 GB/T 9445 的要求。

5 材料要求

5.1 母材

- 5.1.1 环筒件所用母材的牌号、规格、尺寸、交货状态和力学性能应符合设计文件、工艺文件及相关标准的规定，并应具有质量证明文件。母材宜采用冷轧不锈钢钢卷开平板或定尺板，适用厚度宜为 2 mm~8 mm；当采用冷作硬化态不锈钢母材时，其交货状态、强化级别及相关性能指标应在设计文件或订货技术条件中明确。采用不锈钢母材时，其牌号及化学成分应符合 GB/T 20878 的规定；采用冷轧不锈钢钢板和钢带时，应符合 GB/T 3280 的规定；采用热轧不锈钢钢板和钢带时，应符合 GB/T 4237 的规定；用于承压设备时，还应符合 GB/T 713.7 的规定。
- 5.1.2 母材使用前应进行验收，其表面应平整、清洁，不应有裂纹、分层、折叠、夹杂、严重划伤、压痕、锈蚀及其他影响辊弯成形、焊接质量和性能的缺陷；板边不应有影响组对和焊接的毛刺、缺口等缺陷。母材应按牌号、规格、批次和交货状态分类存放，并应设置清晰标识；存放、搬运和转运过程中应采取防潮、防雨、防污染和防机械损伤措施。

5.2 焊接材料

- 5.2.1 焊接材料应根据母材牌号、强度级别、接头形式、焊接方法及使用性能要求选用，并应符合相关标准的规定，且应具有质量证明文件。采用焊条时，应符合 GB/T 983 的规定；采用药芯焊丝时，应符合 GB/T 17853 的规定。对采用 TIG 焊、激光焊或复合焊的筒形件，宜采用奥氏体不锈钢实心焊丝作为填充材料；焊丝牌号、品种及直径应根据母材厚度、接头形式、焊接位置、热输入控制要求和工艺评定结果确定。
- 5.2.2 焊接材料使用前应按规定进行验收，其型号、规格、批号和状态应符合工艺文件要求；焊材表面应清洁、干燥，不应有受潮、锈蚀、油污、药皮脱落或其他影响焊接质量的缺陷。焊接材料应按牌号、规格和批次分类存放，并应采取防潮、防污染措施，焊材的领用、回收和保管应有记录。

5.3 辅助材料

- 5.3.1 保护气体应满足纯度和供气稳定性要求。
- 5.3.2 背面保护材料、清洗剂、打磨材料及其他辅助材料应与不锈钢材料相适应，不应引入有害杂质或影响焊缝成形及接头性能。
- 5.3.3 辅助材料应分类存放，并采取防潮、防污染、防混用措施；与不锈钢表面直接接触的辅助材料不应造成污染、表面划伤或其他有害影响。

6 辊弯-焊接一体化制造工艺

6.1 概述

本文件所称辊弯-焊接一体化制造，可采用平板预弯卷圆后组对焊接，也可采用立式开卷、立式连续辊弯、定长切断和直立状态组对焊接的连续化工艺路线。具体工艺路线应根据材料强度、板厚、目标

直径、成形精度、焊接方法和生产条件确定。

6.2 辊弯成形前准备

6.2.1 辊弯前应对母材表面状态进行检查，确认其牌号、规格、交货状态及表面质量符合设计文件、工艺文件和本文件的规定。母材表面应进行清洗除污处理，去除油污、水分、灰尘、铁屑、氧化物、保护膜残留及其他影响辊弯成形和后续焊接质量的附着物；处理后表面应保持清洁、干燥。

6.2.2 预处理过程中使用的清洗剂、擦拭材料和工具应与不锈钢材料相适应，不对母材表面造成污染、划伤或压痕；与母材直接接触的工具应专用，并应采取防止铁污染的措施。经预处理后，母材表面不应存在影响成形和焊接质量的缺陷；发现裂纹、分层、严重划伤、局部压伤或其他异常情况时，不应进入后续辊弯工序。

6.3 辊弯成形

6.3.1 成形设备

6.3.1.1 辊弯成形设备应根据环筒件母材强度级别、厚度、宽度、目标直径及成形精度要求选用，其设备能力、结构形式和规格参数应满足生产工艺要求。采用立式连续辊弯设备时，宜配套立式开卷、导向、辊弯、切断、组对和焊接工装，以满足板带直立连续成形及后续连接要求。

6.3.1.2 成形设备应运行平稳，辊轴、传动、压下及定位装置应处于正常状态，不应存在影响成形质量的异常磨损、松动、失调或振动现象；采用液压驱动或数控系统时，其控制系统应工作可靠。成形设备的安全防护装置应齐全有效。

6.3.2 成形工艺

6.3.2.1 辊弯成形前应根据母材牌号、强度级别、厚度、宽度、目标直径及成形精度要求，确定成形方式、成形道次、压下量或辊距调整量、预弯量及回弹修正量。采用开卷—连续辊弯成形工艺时，应根据送料速度、辊系位置和目标曲率半径协调确定成形参数。

6.3.2.2 辊弯成形过程中应保证送料平稳、受力均匀，避免产生跑偏、扭曲、局部失稳、表面压伤和明显波浪变形；对冷作强化态不锈钢，应控制成形过程中的局部过量变形，防止影响后续组对和焊接质量。环筒件两端应进行预弯处理，以减少直边段；成形过程中应根据成形状态及时调整工艺参数，必要时进行多次渐进成形，不应采用可能导致母材开裂、明显压痕或截面失稳的操作方式。

6.3.2.3 整条钢板/钢带经辊弯及单焊缝焊接制成环筒件。首先将金属薄板的卷材放置于立式开卷机进行开卷；开卷后的金属薄板具有第一弯曲方向，金属薄板径直进入到立式辊弯机内进行连续卷圆，卷圆后的金属薄板具有第二弯曲方向，第一弯曲方向和第二弯曲方向相反；采用立式剪板机（或激光切割机）对符合预设长度的金属薄板/卷材剪断，并在金属薄板/卷材保持直立时焊接形成环筒件；预设长度为所需环筒件的周长。

6.3.2.4 辊弯成形后，环筒件的圆弧形状、直边段、端部错口趋势和整体圆度应满足后续定长切断、组对和焊接要求；对不符合要求的环筒件，应进行校圆、校形或重新调整成形参数后再加工。

6.3.2.5 辊弯成形作业应符合设备操作规程和安全要求，成形过程中不应在设备运转状态下进行危险区域内的调整、清理和测量操作。卷板机技术条件、精度和安全要求可分别参照 GB 30458 及相关标准规定。

6.3.3 成形质量检验

6.3.3.1 辊弯成形后应对环筒件进行质量检验，检验内容包括外观质量、圆弧成形质量、直边段、端部形状、整体圆度及表面损伤情况。成形后的环筒件表面应平整，不应有裂纹、压痕、明显划伤、局部鼓包、凹陷、折皱、扭曲及其他影响后续组对、焊接和使用性能的缺陷。成形后的环筒件曲率应均匀，筒体两端不应存在明显直边过大、错口明显或局部失圆等现象；对不符合要求的部位，应进行校形或重新成形。具体控制要求见表 1。

6.3.3.2 成形质量检验合格后方可进行定长切断和后续加工；检验不合格的环筒件，不应进入下一道工序。其中成形质量检验结果应按工艺文件要求进行记录，必要时保留相应的检测数据或样板检验结果。

表 1 辊弯成形质量控制要求

检验项目	检验方法	检验标准
表面质量	目视检查	不应有裂纹、折皱、分层、局部鼓包、明显压痕和影响后续焊接的划伤
直边段长度	钢直尺	每段直边长度宜控制在2t以内，并应满足后续组对和焊接要求
圆度	周长法、测径法	圆弧成形后环筒件整体圆度应满足后续组对和焊接要求；成品环筒件同一断面最大直径与最小直径之差应符合设计文件、工艺文件或产品技术条件的规定
端部错口	临时组对	自由状态下端部错口趋势不应影响后续组对达到规定错边量要求；必要时应通过临时组对、样板或专用工装进行复核
曲率均匀性	样板、测径点比较	不存在明显局部失圆、突变弯曲或扭曲

6.3.4 定长切断

辊弯成形后的环筒件应按工艺文件规定进行定长切断。板材切割宜采用数控等离子切割、激光切割、剪板机或其他适用方法，切割过程中应保证切口质量，控制热输入，避免明显氧化、挂渣、毛刺和端部变形。需要制备坡口时，应采用机械加工或精密切割方法进行，坡口质量应满足组对和焊接要求。

6.4 焊接

6.4.1 焊接方法

6.4.1.1 焊接方法应根据母材牌号、厚度、交货状态、接头形式、装配精度、质量要求及生产效率等因素选用，并应满足接头成形质量、力学性能、尺寸精度和变形控制要求。环筒件纵缝焊接可采用钨极惰性气体保护焊、熔化极气体保护焊、激光焊、激光-电弧复合焊或其他经工艺评定合格的焊接方法。对薄壁高强度不锈钢环筒件，应优先选用热输入较小、成形稳定、变形易控制的焊接方法。

6.4.1.2 焊接方法选定后，不应随意变更；确需变更时，应按工艺文件要求重新进行确认，必要时应重新进行焊接工艺评定。定位焊所采用的焊接方法及焊接材料应与正式焊接相适应，不应影响后续正式焊接质量产生不利影响。

6.4.2 焊接设备

6.4.2.1 焊接设备应根据母材牌号、厚度、接头形式、焊接方法及工艺要求选用，其性能、精度和稳定性应满足筒形件焊接质量、尺寸精度和变形控制要求。设备安装和使用可参照 GB/T 15579.9 的规定，电磁兼容性要求可参照 GB/T 15579.10 的规定。

6.4.2.2 焊接设备及其配套送丝、行走、夹持、冷却、保护气体供给和监测装置应处于完好状态，运行应平稳可靠；正式焊接前应对设备工作状态和工艺参数进行检查确认，发现异常时不应投入使用。焊接设备的安全防护装置应齐全有效，设备使用、维护和作业安全应符合相关标准的规定。焊接与切割作业安全应符合 GB 9448 的规定。

6.4.3 焊接工艺评定

焊接前，应根据设计文件、母材材质、焊接材料及辊弯成形质量，进行焊接工艺评定。用于承压设备时，焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定。

6.4.4 焊前组对与定位焊接

6.4.4.1 焊接前应对筒形件接口进行组对。组对后的错边量应符合设计文件、工艺文件及相应焊接接头质量等级标准的规定；当无明确规定时，可控制为不大于 0.1t，且不大于 2mm。根部间隙应根据焊接方法、坡口形式、板厚和焊接工艺评定结果确定。接口圆度和位置偏差应满足后续正式焊接及装配要求。组对前应检查坡口、切口及其两侧表面质量，清除油污、水分、氧化物、毛刺、熔渣及其他影响焊接质量的附着物。组对时应采用专用工装、夹具或胎具进行定位和固定，保证筒体接口对正、受力均匀，并防止焊接过程中产生明显错边、变形和失圆。采用立式连续辊弯成形工艺时，可在环筒件保持直立状态下进行端部组对、定位和焊接。组对过程中应采用专用夹具、内外限位装置或支承装置控制端部错边量、间隙、圆度和局部失稳，保证接口处受力均匀、位置稳定，并避免因自重、夹持或焊接收缩引起明显失圆和附加变形。

6.4.4.2 定位焊应在组对检查合格后进行。定位焊所采用的焊接材料、焊接方法及工艺要求应与正式焊接相适应，定位焊缝不应有裂纹、未熔合、气孔等缺陷。定位焊完成后，应对接口位置、定位焊质量及整体成形状态进行检查，确认符合要求后方可进行正式焊接。

6.4.5 焊接工艺过程

产品施焊前应完成适用的焊接工艺评定。焊接应按经评定合格的焊接方法实施，不应擅自变更。保护气体的纯度和供气稳定性应符合工艺文件及相应气体产品标准的规定；采用氩气时，可按GB/T 4842的规定执行，流量应满足工艺文件要求。全熔透对接焊缝根部焊接期间应采取背面保护措施，背面保护终止条件应在工艺文件中明确。焊接过程中应按焊接工艺文件控制热输入，必要时记录电流、电压和焊速等参数。不应在母材非焊接区任意引弧；必要时应设置引弧板和收弧板。不应采用可能导致明显附加应力、失圆或局部屈曲的强力组对方式。定位焊点不应有裂纹、未熔合、气孔等缺陷。

6.5 焊后处理

6.5.1 焊缝清理与表面处理

6.5.1.1 焊接完成后，应及时清除焊缝及其邻近区域表面的熔渣、飞溅、氧化物、残余焊剂及其他附着物。焊缝清理后，焊缝及热影响区表面应平整、清洁，不应有影响后续检验、表面处理和使用性能的污染物、锐角毛刺及明显机械损伤。

6.5.1.2 对有表面质量和耐蚀性要求的筒形件，焊后应根据工艺文件要求进行打磨、酸洗、钝化、电抛光或其他适用的表面处理；表面处理不应在母材和焊接接头造成有害影响。焊缝清理与表面处理完成后，应进行外观检查；对处理后仍存在明显氧化色、残渣、污染、划伤或其他影响质量的缺陷部位，应重新处理至符合要求。

6.5.2 校形与校圆

6.5.2.1 焊接完成后，应根据环筒件的变形情况进行校形与校圆，使其尺寸精度、圆度和接口位置满足设计文件及工艺文件要求。校形与校圆应采用机械方法进行；采用工装、夹具、卷圆设备或专用校圆装置时，应受力均匀，避免产生局部压伤、明显凹陷、折皱或新的变形。

6.5.2.2 校形过程中不应采用可能对母材和焊接接头造成有害影响的方法；对冷作强化态不锈钢筒形件，应避免局部过量变形和表面损伤。校形与校圆完成后，应对筒形件的外观质量、圆度、接口错边量及有关尺寸进行检查，确认合格后方可进入后续检验或交付工序。

7 制造质量检验

7.1 总体要求

除设计文件、产品技术条件或合同另有规定外，焊接接头的外观质量等级和内部缺欠验收等级应在制造前于工艺文件或检验文件中明确。不同焊接方法形成的接头应分别按相应标准进行质量分级和验收，不应混用缺欠限值。

7.2 外观检验

7.2.1 焊缝外观检验应按 GB/T 32259 的规定进行。焊缝表面应成形均匀、过渡平滑，不应有目视可检出的裂纹、烧穿、弧坑、表面夹渣及其他不允许的表面缺欠。采用弧焊方法形成的焊接接头，其表面缺欠质量等级应符合 GB/T 19418 的规定；采用激光焊方法形成的焊接接头，其表面缺欠质量等级应符合 GB/T 22085.1 的规定；采用激光-电弧复合焊方法形成的焊接接头，其表面缺欠质量等级应符合 GB/T 33214 的规定。外观检验不合格的焊缝，不应进入下一步无损检验或交付工序。

7.2.2 焊缝表面气孔、局部密集气孔、链状气孔、咬边、焊瘤、余高、错边及焊缝表面成形质量，应根据焊接方法分别按 GB/T 19418、GB/T 22085.1 或 GB/T 33214 等相关标准规定的相应质量等级进行评定。

7.2.3 焊缝表面飞溅不应影响外观检验、后续装配、表面处理和使用性能；有碍检验、表面处理或使用的飞溅应清除。

7.3 尺寸检验

7.3.1 焊接完成并经焊后处理后，应对环筒件进行尺寸检验。尺寸检验内容应包括环筒件直径、长度、圆度、直线度、错边量、棱角度及设计文件要求的其他几何尺寸。尺寸检验可采用钢卷尺、钢直尺、焊缝检验尺、样板、卡尺及其他适用量具进行。环筒件的尺寸偏差和形位偏差应符合设计文件、工艺文件及产品技术条件的规定。

7.3.2 当设计文件、工艺文件或产品技术条件无明确规定时，环筒件公称直径偏差、圆度、直线度及纵缝、环缝错边量宜结合产品用途、结构尺寸、板厚、装配要求和后续服役条件确定，并在专项工艺文件中明确。尺寸检验不合格时，应进行校形、校圆或其他处理；处理后应重新检验。

7.4 焊缝检验

7.4.1 对有要求的焊缝应进行无损检测。无损检测应在外观检验合格后进行。检测方法及验收等级的选择，应根据焊接接头质量等级、焊接方法、接头形式、板厚、材料类别及预期缺欠类型确定，并应符合 GB/T 34628 的规定。当产品属于承压设备时，无损检测方法、检测比例、检测部位、质量要求及合格级别应按设计图样、产品技术条件及适用的承压设备无损检测标准执行。其中焊缝交叉部位、返修部位、起弧收弧区、工艺稳定性较差区段及设计文件要求的关键部位应重点检测。

7.4.2 射线检测主要用于检出焊缝内部体积型缺欠，如气孔、夹渣、未焊透及部分内部成形异常。采用 X 射线检测时，应按 GB/T 3323.1 执行；验收等级应按 GB/T 37910.1 执行。对承压设备对接焊缝，宜优先用于纵向对接焊缝及其他要求进行射线检测的焊缝。检测目标应为焊缝金属及其邻近熔合区的内部缺欠评定；检测结果应能满足焊接接头质量分级和验收判定要求。

7.4.3 渗透检测主要用于检出焊缝表面开口型缺欠，如表面裂纹、表面气孔、表面未熔合及弧坑裂纹等。渗透检测验收等级应按 GB/T 26953 执行。检测前被检表面应清洁、干燥，不应有油污、氧化皮、飞溅及影响渗透显示的附着物。检测目标应为焊缝表面及近表面开口型缺欠的显示和评定。

7.4.4 对经返修的焊缝，应按原检测方法重新进行相应的无损检测；必要时应扩大检测范围。无损检验人员应具备相应资格，所用检测设备和器材应处于有效状态。无损检验结果不符合要求时，应按本文件中第 8 章的规定进行返修和复检。

7.5 力学性能试验

对有要求的焊接接头，应进行力学性能试验。对批量较少、单件价值较高且不宜从产品本体取样的环筒件，不宜将破坏性力学试验作为成品本体的常规检验手段。确需进行力学性能验证时，宜采用与产品同材料牌号、同厚度、同交货状态、同接头形式、同焊接工艺、同热处理制度并同步或代表性施焊的产品焊接试板、模拟环或鉴证环进行检验，其试验方法和合格要求应符合 NB/T 47014、NB/T 47016 及相关现行标准的规定。试验项目、取样位置、试样数量、试验方法及合格要求应符合设计文件、工艺评定文件及相关标准的规定；试验结果不符合要求时，应查明原因，并按规定重新评定、补充试验或采取相应处置措施。

8 焊接缺陷返修

8.1 当焊缝经检验发现存在不允许的缺陷时，应查明缺陷性质、部位和范围，并制定相应的返修措施后方可进行返修。返修前应将缺陷彻底清除。缺陷清除可采用机械加工、砂轮打磨或其他适用方法，清除后的表面应平整、清洁，不应存在裂纹、夹渣及其他影响返修质量的残留缺陷。

8.2 返修前应根据缺陷性质、部位和范围明确返修方法、返修范围、焊接材料及工艺参数。返修焊接应由有资质的人员实施。返修所采用的焊接方法、焊接材料及工艺参数应与母材和原焊缝相适应，并应避免造成新的缺陷、过大变形或对接头性能产生不利影响。返修部位焊接完成后，应进行焊缝清理，并按原检验要求进行外观检验及相应的无损检验；必要时应按规定进行尺寸复检或其他补充检验。

8.3 同一部位的返修次数不宜超过 2 次。超过 2 次返修后仍不合格时，应停止继续返修，并组织评审后确定处置方案。

9 安全与环保

9.1 操作人员需穿戴符合要求的劳动防护用品。

- 9.2 焊接、切割、打磨及表面处理作业区域应通风良好，并采取必要措施防止有害气体、烟尘和热量积聚。
 - 9.3 焊接设备、切割设备及其配套供电、供气装置应安全可靠，作业现场不得存放易燃、易爆物品。
 - 9.4 酸洗、钝化、清洗等作业应采取防泄漏、防灼伤和防中毒措施。
 - 9.5 废弃的砂轮片、焊材头、化学品容器等应分类收集，按环保规定处置。
-