

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/CSTA 22-2025

塔式光热电站硝基熔盐吸热器用 GH3625 镍基
合金焊管

Welded GH3625 nickle-based alloy tube for nitro-molten-salt heat receiver of tower-model
solar power generation

2025-02-24 发布

2025-03-24 实施

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 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
4 一般要求	2
4.1 外径和壁厚	2
4.2 长度	2
4.3 弯曲度	2
4.4 不圆度和壁厚不均	2
4.5 端面外形	2
5 制造方法与交货状态	2
5.1 制造方法	3
5.2 交货状态	3
6 技术要求	3
6.1 化学成分	3
6.2 力学性能	3
6.3 显微组织	4
6.4 非金属夹杂物	4
6.5 工艺性能	4
6.6 泄漏检测	5
6.7 无损检测	5
6.8 表面质量	5
7 检验项目和方法	5
8 验收	6
8.1 组批规则	6
8.2 复验与判定规则	6
9 包装、标志和质量证明书	6
9.1 包装与标识	6
9.2 质量证明书	7
9.3 其他要求	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。

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这些专利的责任。

本文件由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟提出。

本文件由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟归口并解释。

本文件主要起草单位：常州市神能金属制品有限公司

本文件参加起草单位：大冶特殊钢有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院、东方锅炉股份有限公司、蓝星（北京）化工机械有限公司、首航高科能源技术股份有限公司、浙江西子新能源工程技术有限公司、中南大学、宝鸡钛业股份有限公司、中航上大高温合金材料股份有限公司

本文件主要起草人：高亮、李华

本文件参与起草人：蔡志刚、周治、司继松、刘会群、丁五洲、于明明、许志贵、张俊峰、张宏、贺志宝、丁璐、王立、代春雷、蒋红梅、林蝶蝶、程伟、韩魁

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处(地址：北京市海淀区中关村北二条6号，100190，网址：<http://www.cnste.org>，邮箱：cnste@vip.126.com)。

塔式光热电站硝基熔盐吸热器用 GH3625 镍基合金焊管

1 范围

本文件规定了塔式光热电站硝酸熔盐吸热器用GH3625镍基合金焊管的尺寸、外形、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。

本文件适用于塔式光热电站硝酸熔盐吸热器用GH3625镍基合金焊管（以下简称“焊管”）。

2 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，仅所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 222 钢的成品化学成分允许偏差

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 241 金属管 液压试验方法

GB/T 242 金属管 扩口试验方法

GB/T 245 金属管 卷边试验方法

GB/T 246 金属管 压扁试验方法

GB/T 2102 钢管的验收、包装、标志和质量证明书

GB/T 4340 金属材料 维氏硬度试验

GB/T 5777-2019 无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管纵向和横向缺欠的全圆周自动超声检测

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法

GB/T 7735-2016 无缝和焊接（埋弧焊除外）钢管缺欠的自动涡流检测

GB/T 10561-2023 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法

GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法

GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规法）

GB/T 30062 钢管术语

GB/T 38939-2020 镍基合金多元素含量的测定-火花放电原子发射光谱分析法（常规法）

GB/T 40104 太阳能光热发电站 术语

GB/T 41303 塔式太阳能热发电站吸热器技术要求

3 术语和定义

GB/T 30062、GB/T 40104和GB/T 41303界定的以及下列术语及定义适用于本文件。

3.1 管端倾斜度 pipe end inclination

管材实际端面与管材理论垂直于轴线的横截面最大倾斜距离，单位为 mm。

3.2 冷加工相对变形量 cold-worked relative deformation amount

冷加工相对变形量是指管材在冷加工过程中发生的塑性变形程度，用 γ 表示，单位为%(百分比)。冷加工相对变形量用以下公式计算：

$$\gamma=1-s*(d-s)/[S*(D-S)]$$

D: 冷变形前的外径; S: 冷变形前的壁厚; d: 冷变形后的外径; s: 冷变形后的壁厚。

4 一般要求

4.1 外径和壁厚

4.1.1 焊管的通常尺寸: 公称外径为 16mm~89mm, 公称壁厚为 1.0mm~3.0mm。

4.1.2 除非技术要求中另有规定, 焊管按公称外径 (D) 和公称壁厚 (S) 交货, 其公称外径 (D) 和公称壁厚 (S) 的允许偏差应符合表 1 的规定。

表 1 焊管公称外径和公称壁厚的允许偏差

焊管尺寸 mm		尺寸偏差 mm
公称外径 <i>D</i>	16~38	±0.15
	>38~57	±0.20
	>57~76	±0.25
	>76~89	±0.30
公称壁厚 <i>S</i>	1.0~3.0	±10% <i>S</i>

4.1.3 焊管按最小壁厚 S_{min} 交货时, 其最小壁厚 S_{min} 的允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 焊管最小壁厚的允许偏差

最小壁厚 S_{min} mm	允许偏差 mm
1.0~3.0	0~+15% S_{min}

4.2 长度

4.2.1 焊管的通常长度为 4000 mm~20 000 mm。

4.2.2 按单倍尺长度交货, 定尺长度的允许偏差为 0~+10.0mm。

4.3 弯曲度

焊管弯曲度应不大于 1.0 mm/m, 全长弯曲度应不大于总长的 0.1%。

4.4 不圆度和壁厚不均

焊管的不圆度和壁厚不均应分别不超过外径公差和壁厚公差的 80%。

4.5 端面外形

焊管两个端面应与焊管轴线垂直, 管端倾斜度不超过 2.0mm。管端不应有毛刺。

5 制造方法与交货状态

5.1 制造方法

5.1.1 冶炼方法

合金应采用真空感应+保护气氛电渣重熔的方法进行冶炼。采用保护气氛电渣重熔方法冶炼时，电渣锭头、尾料应予以充分切除。

5.1.2 制管方法

按照以下步骤进行：

- a) 焊管应采用不添加填充金属的自动焊接工艺制造，焊接工艺应采用激光焊或氩弧焊。
- b) 在焊接之后、最终热处理之前，应对焊缝或焊缝和母材进行冷加工。冷加工相对变形量不低于 30%。
- c) 焊管交货时应采用保护气氛热处理。

5.2 交货状态

5.2.1 焊管应以光亮热处理状态交货。推荐的热处理制度见表 4。

5.2.2 焊管优先按总支数或总长度交货，也可以按理论重量交货。按理论重量交货时，焊管每米理论重量按公式（1）计算：

$$W = 0.0265 \times S \times (D - S) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

W ——焊管每米理论重量，单位为千克/米（kg/m）；

S ——焊管公称壁厚，单位为毫米（mm）；

D ——焊管公称外径，单位为毫米（mm）。

6 技术要求

6.1 化学成分

6.1.1 焊管的化学成分（熔炼分析）应符合表 3 的规定，表 3 中各元素含量除了标明范围之外，其他元素含量均为最大值。

表 3 化学成分 (wt%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe	Ni
标准值	≤0.030	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.005	20.5-23.0	≤5.0	≥58.5
元素	Mo	Nb+Ta	Co	Al	Ti	N	H	O
标准值	8.0-10.0	3.15-4.15	≤1.00	≤0.40	≤0.40	≤0.010	≤0.0010	≤0.0040

6.1.2 成品焊管的化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 的规定。

6.2 力学性能

6.2.1 焊管的交货钢级、热处理制度、室温纵向拉伸性能和高温拉伸性能应符合表 4 的规定。

表4 推荐热处理制度及力学性能

钢级	热处理制度	试验温度	抗拉强度 R_m (MPa)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率 A (%)($L_0=50\text{mm}$)
钢级 1	900-1040℃, 快冷	室温	≥ 828	≥ 415	≥ 30
		650℃	≥ 580	≥ 230	≥ 30
钢级 2	≥1095℃, 快冷	室温	≥ 690	≥ 276	≥ 30
		650℃	≥ 550	≥ 200	≥ 30

6.2.2 焊接的焊缝和母材横截面显微硬度要求 $HV_{1.0} \leq 300$, 且焊缝硬度不得低于母材, 焊缝与母材维氏硬度差值不超过 60。

6.3 显微组织

6.3.1 焊管母材横向平均晶粒度应 4.0—8.0 级, 不同视场平均晶粒度级差不超过 2.0 级(焊缝除外)。

6.3.2 焊缝处横向显微组织应为再结晶奥氏体组织, 焊缝处平均晶粒度为 10.0 级或更粗。焊缝处不允许有铸态组织存在。

6.4 非金属夹杂物

焊管母材的纵向非金属夹杂物合格级别应符合表5的规定, A、B、C、D类夹杂物(细系或粗细)级别总和不超过4.0级。碳氮化物参考非金属夹杂物评级图谱的B类和D类进行评级, 且应满足表6的要求。

表5 非金属夹杂物合格级别

类型	A		B		C		D		DS 类
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
最大级别	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

表6 碳氮化物非金属夹杂物合格级别

类型	B 类碳氮化物		D 类碳氮化物	
	粗	细	粗	细
最大级别	1.0	2.0	1.0	2.0

6.5 工艺性能

6.5.1 卷边试验

壁厚小于2.0mm的焊管应进行卷边试验。卷边试验取样长度为1.5倍名义外径。试样卷边宽度不超过规定外径15%。卷边后的试样应无裂纹。

6.5.2 扩口试验

壁厚不小于2.0mm的焊管应进行扩口试验。扩口试验的顶芯锥度为60°, 扩口后试样的外径扩口率应不小于公称外径的15%。扩口后试样不应出现贯穿壁厚的裂纹。

6.5.3 压扁试验

焊管应进行压扁试验。试样压扁后两平板间距离H按公式(2)计算:

$$H = \frac{(1+\alpha)S}{\alpha + S/D} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

H——压扁后两平板间距离,单位为毫米(mm);

α ——压扁系数,取0.08;

S——焊管的公称壁厚,单位为毫米(mm);

D——焊管的公称外径,单位为毫米(mm)。

试样压至两平板间距离为H时试样外表面不应有裂缝。

6.6 泄漏检测

6.6.1 焊管应逐支进行泄漏检测,检测方法选用水压试验或水下气密试验其中之一。

- a) 水压试验: 试验压力不低于设计工作压力的1.5倍,推荐压力为4MPa,稳压后在试验压力下保压时间不少于10秒。保压期间无渗漏为合格。
- b) 水下气密试验: 试验压力 $P \geq 1.05\text{MPa}$,稳压后在试验压力下保压时间不少于10秒。保压期间无渗漏为合格。

6.6.2 当需方未规定检测方法时,泄漏检测方法由供方确定。

6.7 无损检测

6.7.1 检测方法选择

焊管应逐支进行无损检测,检测方法为涡流检测、超声波检测。

6.7.2 涡流检测

对焊管进行外穿式涡流检测。涡流检测验收等级应符合GB/T 7735-2016中E2H级的规定。

6.7.3 超声波检测

对焊管进行超声波检测,分别采购横波和纵波对管材内外表面纵向和横向缺陷进行检测。超声检测的验收等级应符合GB/T 5777-2019中U2级的规定,最小刻槽深度为0.10mm或名义壁厚的12.5%,取两者较大值。

6.8 表面质量

6.8.1 焊管内外表面不应有裂纹、折叠、轧折、离层和结疤等缺陷存在。这些缺陷应予以清除,清除处焊管表面应圆滑无棱角,且清除处实际壁厚应不小于壁厚所允许的最小值。

6.8.2 允许存在轻微的表面划伤、平缓的凹坑等缺陷。划伤和凹坑的允许深度不大于公称壁厚的5%或0.08mm,取两者中较大值。

6.8.3 焊管内外表面应洁净,不应有氧化皮、油污、灰尘和碎屑等异物,不应有残留的酸液或碱液等腐蚀性介质。

6.8.4 焊管内外表面颜色应光亮、均匀,表面允许有淡蓝色、淡黄色或浅灰色等轻微变色现象,不允许有黑色、紫色、深蓝色或深黄色等严重氧化现象。

6.8.5 焊管内外表面粗糙度Ra不允许超过1.6um。

7 检验项目和方法

7.1 焊管的检验项目和试验方法应符合表7的规定。

表 7 焊管检验项目、取样数量、取样方法和试验方法

序号	检验项目	取样数量	取样部位及方法	试验标准或方法
1	化学成分	1 个/炉	GB/T 20066	GB/T 20123 GB/T 38939-2020
2	室温拉伸	2 个/批	不同支焊管上任意位置	GB/T 228.1
3	高温拉伸	2 个/批	不同支焊管上任意位置	GB/T 228.2
4	维氏硬度	2 个/批	不同支焊管上任意位置	GB/T 4340
5	晶粒度	1 个/批	任一支焊管上, 任意位置	GB/T 6394
6	非金属夹杂物	1 个/炉	任一支焊管上, 任意位置	GB/T 10561-2023 A 法
7	扩口试验	2 个/批	不同支焊管上, 管端	GB/T 242
8	卷边试验	2 个/批	不同支焊管上, 管端	GB/T 245
9	压扁试验	2 个/批	不同支焊管上, 管端	GB/T 246
10	超声检测	逐支	全长范围	GB/T 5777-2019
11	涡流检测	逐支	全长范围	GB/T 7735-2016
12	水压试验	逐支	全长范围	GB/T 241
13	水下气密试验	逐支	全长范围	见 5.8.2
14	表面质量	逐支	全长范围	见 6.3
15	尺寸	逐支	—	见 6.4

7.2 焊管的化学成分分析按 GB/T 38939-2020、GB/T 20123 等通用方法进行。

7.3 焊管的表面质量应在充分照明条件下目视检查, 表面粗糙度采用粗糙度仪进行检测。

7.4 焊管的尺寸和外形应采用符合精度要求的量具测量, 尺寸与外形应符合第 4 章节要求。

8 验收

8.1 组批规则

焊管按批进行检验。每批应由相同牌号、相同炉号、相同规格、相同制造方法和相同热处理制度（或炉次）的焊管组成。每批焊管的数量应符合如下规定：

- a) 外径 $D \leq 57\text{mm}$, 每批钢管支数不超过 400 支；
- b) 外径 $D > 57\text{mm}$, 每批钢管支数不超过 200 支。

8.2 复验与判定规则

焊管的复验与判定规则应符合 GB/T 2102 的规定。

允许对复验结果不合格的焊管重新进行热处理, 重新热处理的次数应不超过两次。重新热处理的管材应作为新的一批生产提交验收。重新热处理应在质量证明书中注明。

9 包装、标志和质量证明书

9.1 包装与标识

9.1.1 焊管的包装应符合 GB/T 2102 的规定, 应确保管材存储、运输过程中完好无损。

9.1.2 焊管外表面应逐支采用无铅油墨喷印标识，喷印标识内容至少应包括：生产商简称或商标、材料牌号、规格（外径、壁厚和长度）、标准号、炉号、批号等信息。

9.1.3 包装箱两端应粘贴标识牌，标识牌内容应至少包括：生产商名称、产品名称、材料牌号、规格、标准号、装箱重量或支数等信息。

9.2 质量证明书

质量证明书内容至少应包括：

- a) 供方和需方名称；
- b) 标准号或技术条件编号；
- c) 产品规格（外径、壁厚和长度）；
- d) 材料牌号、炉号和批号；
- e) 交货状态；
- f) 交货数量（总支数、总长度或总重量）；
- g) 各项检测项目的标准值、检测值及判定结果；
- h) 质量部门印章、责任人签字和日期。

9.3 其他要求

包装、标志和质量证明书的其他要求应符合GB/T 2102的规定。
