

ICS 27. 220

CCS F 10

CSTA

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟标准

T/CSTA XX-2024

塔式光热电站吸热器用 GH3625 合金焊管

Welded GH3625 Nickel-based Alloy Tube for Heat Receiver of Solar Power Tower
Plant

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 发布

目 录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	2
4 尺寸、外形	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	3
4.5 端面外形	3
5 技术要求	3
5.1 牌号和化学成分	3
5.2 制造方法	3
5.3 交货状态	3
5.4 力学性能	4
5.5 显微组织	4
5.6 非金属夹杂物	4
5.7 工艺性能	5
5.8 泄漏检测	5
5.9 无损检测	6
5.10 表面质量	6
6 试验方法	7
7 检验规则	7
7.1 检查和验收	7
7.2 组批规则	7
7.3 取样数量和取样部位	8
7.4 复验与判定规则	8
8 包装、标志和质量证明书	8
8.1 包装	8
8.2 标识	8
8.3 质量证明书	8
8.4 其他要求	9
参考性附录	10
附录 A: 625 焊管设计使用工况	10
附录 B: 625 焊管设计使用寿命	11

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：大冶特殊钢股份有限公司、

本文件主要起草人：高亮、蔡志刚

本文件参与起草人：

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）。

塔式光热电站吸热器用 GH3625 合金焊管

1 范围

本文件适用于塔式光热电站吸热器用 GH3625（相当于 NS3306、UNS N06625，以下简称 625）合金焊管（以下简称“625 焊管”）。

本文件规定了塔式光热电站吸热器用 625 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。

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 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 焊管的验收、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）钢管缺陷的自动涡流检测

GB/T 10561-2005 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 14992 高温合金和金属间化合物高温材料的分类和牌号

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

GB/T 30062、GB/T 40104 和 GB/T 41303 界定的术语及定义适用于本文件。

4 尺寸、外形

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 单位为毫米

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

4.1.3 根据需方要求，经供需双方协商，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 单位为毫米

最小壁厚 S_{\min}	允许偏差
1.0~3.0	0~+15% S

4.2 长度

4.2.1 焊管的通常长度为 4000 mm~20 000 mm。根据需方要求，经供需双方协商，可供应其他长度的焊管。

4.2.2 按单倍尺定尺长度交货，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

焊管两端端面应与焊管轴线垂直。管端不应有毛刺。

5 技术要求

5.1 牌号和化学成分

5.1.1 焊管的牌号和化学成分（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 中的材料牌号与 ASME 标准牌号对照表参见附录 A。

5.1.2 成品焊管的化学成分允许偏差应符合 GB/T 14992 的规定。

表 3 镍基合金化学成分（wt%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe	Ni
标准值	0.010-0.030	≤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	8.5-10.0	3.15-4.15	≤1.00	≤0.40	≤0.40	≤0.010	≤0.0010	≤0.0040

5.2 制造方法

5.2.1 合金应采用真空感应+电渣重熔的方法进行冶炼，也可采用能满足本标准要求的其他方法冶炼。采用电渣重熔方法冶炼时，电渣锭头、尾料应予以充分切除。

5.2.2 制管方法

- 1) 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。
- 2) 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。冷加工的相对变形量不低于 30%。
- 3) 焊管交货时应采用保护气氛固溶热处理。

5.3 交货状态

5.3.1 焊管应以光亮固溶处理状态交货。推荐的固溶热处理制度见表 4。

5.3.2 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：

$$W=3.14*\rho*S(D-S)/1000$$

式中：

W-- 焊管每米理论重量, 单位为 kg/m;

P-- 合金密度, 8.44g/cm³;

S -- 焊管公称壁厚, 单位为 mm;

D -- 焊管公称外径, 单位为 mm。

5.4 力学性能

5.4.1 室温拉伸

交货状态焊管的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

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 (%)
1040-1100℃, 快冷	室温	≥ 690	≥ 276	≥ 30
	650℃	≥ 550	≥ 200	≥ 30

5.4.2 应对管材进行维氏硬度检测, 检测部位应为焊缝和母材的横截面, 要求 $HV1.0 \leq 300$, 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。

5.5 显微组织

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)。经供需双方协商, 可规定其他晶粒度要求。

焊缝处横向显微组织应为再结晶奥氏体组织, 焊缝处平均晶粒度不大于 9.0 级。焊缝处不允许有铸态组织存在。

5.6 非金属夹杂物

在母材上进行纵向非金属夹杂物检验, 其合格级别应符合表 5 的规定, A、B、C、D 类夹杂物(细系或粗细)级别总和分别不超过 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

5.7 工艺性能

5.7.1 卷边试验

1) 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%。

2) 卷边后的试样应无裂纹，试样表面缺陷造成的表层破裂不能作为拒收依据。

3) 内径小于2.5mm或壁厚不小于内径的焊管，可以不进行卷边试验。

5.7.2 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。

5.7.3 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 H 时试样外表面不应有裂缝，试样棱角处的轻微开裂和试样表面缺陷造成的表层破裂不作为拒收依据。

5.8 泄漏检测

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。当需方未规定检测方法时，泄漏检测方法由供方确定。

(1) 水压试验

水压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。

(2) 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。

5.9 无损检测

5.9.1 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，优先采用涡流检测。经供需双方协商，可增加超声波检测。

5.9.2 涡流检测

1) 按GB/T 7735-2016标准要求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E3H级的规定。

2) 经供需双方协商，涡流检测可采用其他验收等级。

5.9.2 超声波检测

1) 按GB/T 5777-2019标准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，最小刻槽深度类别按B类执行，即最小刻槽深度0.20mm。

2) 经供需双方协商，超声检测可采用其他验收等级。

5.10 表面质量

5.10.1 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。

5.10.2 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 0.08 mm，取两者中较大值。

5.10.3 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。

5.10.4 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。

5.10.5 焊管内外表面粗糙度Ra不允许超过1.6um。

6 试验方法

6.1 焊管的检验项目和试验方法应符合表 7 的规定。

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

6.3 焊管的内外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。

6.4 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。

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	见 6.2
2	室温拉伸	2 个/批	不同支焊管上，取全截面试样	GB/T 228.1
3	高温拉伸	2 个/批	不同支焊管上，取全截面试样	GB/T 228.2
4	维氏硬度	2 个/批	不同支焊管上	GB/T 4340
5	晶粒度	1 个/批	任一支焊管上，GB/T 6394	GB/T 6394
6	非金属夹杂物	1 个/炉	任一支焊管上，GB/T 10561-2005	GB/T 10561-2005 中 A 法
7	扩口试验	2 个/批	不同支焊管上，GB/T 242	GB/T 242
8	卷边试验	2 个/批	不同支焊管上，GB/T 245	GB/T 245
9	压扁试验	2 个/批	不同支焊管上，GB/T 246	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	尺寸与外形	逐支	—	见 6.4

7 检验规则

7.1 检查和验收

焊管的检查和验收由供方技术质量监督部门进行。需方有权按本标准规定对焊管进行检查与验收。

7.2 组批规则

焊管按批进行检查和验收。每批应由同一牌号、同一炉号、同一规格、同一制造方法和同一热处理制度（或炉次）的焊管组成。每批焊管的数量应符合如下规定：

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

7.3 取样数量和取样部位

焊管的取样数量和取样部位应符合表 7 的规定。

7.4 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。

8 包装、标志和质量证明书

8.1 包装

焊管在清洁处理及干燥后，两端应戴有管帽或端塞，防止包装和运输过程中污染内表面。

焊管应采用木箱包装，木箱应足够结实，防止运输过程中破损，避免损伤管材。如有必要，木箱外围应安装钢结构予以加强。木箱内部不允许露出铁钉、螺钉等金属构件，防止其划伤管材表面。木箱内部应铺设一层聚乙烯塑料薄膜，且应避免塑料膜破损。

焊管在木箱内部应单层平铺，一端对齐，每层之间应采用珍珠棉进行隔离，防止管材相互碰撞或划伤。严禁直接打捆装箱、严禁散装堆叠。焊管在木箱内部应相对固定，防止运输过程中管材窜动造成表面划伤及其他损伤。

焊管装箱后应对聚乙烯塑料薄膜进行密封。运输过程中应进行防护，需防止雨水渗入箱内。木箱侧面应标注起吊重心位置、小心轻放、禁止叉车、防止淋湿等相关安全标识。木箱转运过程中应采用行车吊运，严禁采用叉车转运。

8.2 标识

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。

木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。

8.3 质量证明书

质量证明书内容至少应包括：

- 1) 供方和需方名称;
- 2) 技术要求编号;
- 3) 标准号或技术条件编号;
- 4) 产品规格 (外径、壁厚和长度);
- 5) 材料牌号、炉号和批号;
- 6) 交货状态 (如有必要);
- 7) 交货数量 (总支数、总长度或总重量);
- 8) 各项检测项目的标准值、检测值及判定结果;
- 9) 质量部门印章、责任人签字和日期。

8.4 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。

参考性附录

附录 A: 625 焊管设计使用工况

625 焊管应用于塔式光热电站吸热器。625 焊管典型工况如下:

(1) 工作介质

60% NaNO₃ + 40% KNO₃ 二元熔盐

(2) 工作温度

熔盐正常运行温度区间为 290~565 摄氏度, 考虑吸热温差, 吸热器壁面最高温度 650℃, 且短时(一般不超过 10 分钟)可能超温至 670℃左右。夜间、阴雨天等非工作期间 625 焊管与环境温度相当(西北高海拔地区最低温度-50℃左右)。

(3) 工作压力

正常工作压力 2MPa。

(4) 辐照强度

吸热器接受镜场聚光产生的高辐照能量, 管子外壁迎光面接收辐照热流密度可达 1080kW/m²。

(5) 热冲击

625 焊管应能经受频繁启停。当镜场遇到来云遮挡时, 吸热器接受太阳能量会迅速归零, 这种光照强度的变化将造成 625 焊管外壁温度的快速变化, 极端工况下温度波动速度达到 150℃/min, 且持续时间约 2 分钟。此外, 日落之后会对吸热器进行疏盐处理, 将 625 焊管内及吸热器内其他管道系统熔盐清理干净, 此时 625 焊管温度会降低到环境温度(西北高海拔地区最低温度-50℃左右)。全寿命期(25 年)内可能发生类似热冲击不少于 30000 次。

(6) 振动情况

在有风情况下, 吸热塔顶端的吸热器受风吹扫, 625 焊管可能会产生振动, 振动频率与风速有关, 考虑最大风力 12 级, 最大振动频率 200Hz。

(7) 单面受光

吸热器接受场镜反射的太阳光, 则吸热管只有半个圆周接受能量, 625 焊管受光面与背光面存在着较大温差, 考虑最大温差 150℃。

附录 B: 625 焊管设计使用寿命

625 焊管设计使用寿命 25 年。在附录 B 列出的工况条件下，在设计使用寿命期间，625 焊管不发生运行操作不当原因以外的裂纹、爆管、泄漏等情况。