ICS 25.200
CCS J 36

T

# 团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

# 海工用奥氏体不锈钢热处理技术要求

Technical requirements for heat treatment of austenitic stainless steels for marine engineering

（征求意见稿）

2026-X-XX 发布 2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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
4 一般要求 ..... 2
4.1 设备要求 ..... 2
4.2 工件装炉要求 ..... 2
4.3 升温控制 ..... 2
5 固溶处理 ..... 2
5.1 常用牌号与加热温度 ..... 2
5.2 保温时间 ..... 3
5.3 冷却要求 ..... 3
5.4 重复固溶处理 ..... 3
5.5 加热气氛与表面保护 ..... 3
6 稳定化处理 ..... 3
6.1 适用要求 ..... 3
6.2 温度要求 ..... 3
6.3 保温时间 ..... 3
6.4 冷却方式 ..... 4
6.5 质量检验 ..... 4
7 去应力退火 ..... 4
8 热处理后质量要求 ..... 4
8.1 力学性能 ..... 4
8.2 晶间腐蚀性能 ..... 4
8.3 金相组织 ..... 4
8.4 表面质量 ..... 5
8.5 热处理缺陷控制 ..... 5
9 检验方法与规则 ..... 5
9.1 检验项目与方法 ..... 5
9.2 组批与取样 ..... 5
9.3 复验与判定 ..... 5
9.4 工艺记录 ..... 6

# 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

# 海工用奥氏体不锈钢热处理技术要求

## 1 范围

海工用奥氏体不锈钢热处理的一般要求、固溶处理、稳定化处理、去应力退火、热处理后质量要求、检验方法与规则。

本文件适用于船舶及海洋工程装备用奥氏体型不锈钢的钢板、钢带、型钢、棒材、锻件及焊接构件的热处理生产与质量控制。

## 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 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分: 试验方法

GB/T 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备

GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 13305 不锈钢中α-相含量测定法

GB/T 17897 金属和合金的腐蚀 点腐蚀试验方法

GB/T 39191 不锈钢和耐热钢件热处理

JJF 1637 廉金属热电偶校准规范

## 3 术语和定义

GB/T 39191 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**固溶处理** solution treatment

将奥氏体不锈钢加热至奥氏体区适当温度并保温，使碳化物及第二相充分固溶，随后快速冷却至室温，获得单相过饱和奥氏体组织的热处理工艺。

3.2

**去应力退火** stress relief annealing

将焊接或冷加工后的奥氏体不锈钢加热至低于再结晶温度并保温，随后缓冷，以降低残余应力而不显著改变组织和性能的热处理工艺。

3.3

**敏化温度区间** sensitizing temperature range

奥氏体不锈钢在 450 ℃～850 ℃范围内缓慢通过或停留时，晶界析出 $Cr_{23}C_6$ 导致晶间腐蚀敏感性显著增大的温度区间。

3.4

**有效厚度** effective thickness

工件在加热过程中决定热传导距离的最大截面尺寸，用于计算保温时间。板材取实际厚度，圆棒取直径，管件取壁厚，焊接构件取最大截面厚度。

## 4 一般要求

### 4.1 设备要求

4.1.1 热处理加热炉应采用周期式空气电炉、保护气氛炉或真空炉，炉温均匀度应不超过±10 ℃，温度控制精度应不低于±5 ℃。

4.1.2 加热炉应配备连续式温度—时间记录仪表，记录纸走纸速度应不低于 5 mm/min，记录精度应不低于±5 ℃。热电偶应按 JJF 1637 定期检定，检定周期不应超过 1 年。

4.1.3 保护气氛炉使用的氩气或氮气纯度应不低于 99.99%，炉内氧含量应不大于 $50\times10^{-6}$，气氛露点应不高于－40 ℃。真空炉工作真空度应不低于 $1.33\times10^{-2}$ Pa。

4.1.4 淬火水槽容积应不小于工件装炉量的 5 倍，槽内应配备循环搅拌装置，保证水温均匀。槽液应使用清洁淡水，氯离子含量不应大于 25 mg/L。

4.1.5 加热炉每次开炉前应检查炉衬、电热元件及密封状况。炉衬不得有开裂、剥落及氧化铁皮大量堆积。

4.1.6 热电偶应定期进行比对校准，校准偏差超过±5 ℃时应更换。

### 4.2 工件装炉要求

4.2.1 工件进炉前应清除表面油污、铁屑、电焊飞溅物及其他污染物。不得用碳钢钢丝刷清理奥氏体不锈钢表面。

4.2.2 工件装炉时应放置平稳，工件之间、工件与炉壁之间应留有不小于 20 mm 的间隙，以保证炉气循环和温度均匀。大型工件应采用不锈钢或耐高温合金夹具吊装。

4.2.3 工件不得与炉内耐热钢支架直接接触的部位应垫不锈钢垫片，防止铁离子污染。

4.2.4 同炉热处理的工件应是同一牌号、同一炉批、同一厚度规格。不同厚度工件同炉时，保温时间应按最厚件计算。

### 4.3 升温控制

4.3.1 工件进炉时炉内温度不应高于 400 ℃。

4.3.2 升温速率应控制在不超过 200 ℃/h。对于截面厚度大于 50 mm 或形状复杂的焊接构件，在 400 ℃～600 ℃区间升温速率不应超过 100 ℃/h，以减少热应力变形。

4.3.3 截面急剧变化或焊接构件宜在 600 ℃～650 ℃预热均温后再升至固溶温度。

4.3.4 工件在 400 ℃以下升温速率可不受限制，但应避免炉温骤升。从 400 ℃升至固溶温度期间应严格控制升温速率。

## 5 固溶处理

### 5.1 常用牌号与加热温度

海工常用奥氏体不锈钢的固溶处理加热温度及组织要求应符合表 1 的规定。含碳量较高的牌号宜取温度上限；含钼牌号因钼扩散速度较慢，宜适当提高加热温度。

**表 1 常用牌号与固溶处理加热温度**

| 序号 | 牌号 | 固溶温度/℃ | 冷却方式 | 组织要求 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 06Cr19Ni10 | 1040～1100 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体 |
| 2 | 022Cr19Ni10 | 1040～1090 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体 |
| 3 | 06Cr17Ni12Mo2 | 1050～1100 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体 |
| 4 | 022Cr17Ni12Mo2 | 1040～1100 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体 |
| 5 | 06Cr18Ni11Ti | 1050～1100 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体+TiC |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 06Cr18Ni11Nb | 1050～1150 | 水冷或其他快冷 | 单相奥氏体+NbC |
| **注：**对于表 1 未列入的其他奥氏体不锈钢牌号，其固溶处理温度应按相关材料标准的规定，并结合工艺评定确定。 | | | | |

### 5.2 保温时间

保温时间应按表 2 确定，保温起始时间自工件有效截面最后一支热电偶达到设定温度下限开始计算。经预热的工件保温时间可适当缩短，但总保温时间不应少于 30 min。

**表 2 固溶处理保温时间**

| 加热设备 | 板材、焊接件 | 棒材、锻件 |
|---|---|---|
| 空气电炉或保护气氛炉 | (5～10) min+(0.5～1.0) min/mm× δ | (10～30) min+(2～3) min/mm× δ |
| 真空炉（内热式） | >750℃：(10～15) min+(1～2) min/mm× δ | >750℃：(10～15) min+(1～2) min/mm× δ |
| **注 1：**δ 为工件有效厚度（mm）。<br>**注 2：**密集堆放时保温时间应乘以装炉系数 1.2～1.5。 | | |

### 5.3 冷却要求

5.3.1 有效厚度 δ＞3 mm 的工件应采用水冷或其他快速冷却方式。冷却过程中工件通过敏化温度区间（450 ℃～850 ℃）的时间应不超过 3 min。

5.3.2 有效厚度 δ≤3 mm 且碳质量分数≤0.03%的工件可采用空冷；δ≤0.5 mm 的薄板件可空冷。

5.3.3 水冷淬火时水温不应超过 40℃，工件入水后槽液温升不应超过 15℃。工件应冷却至水温后方可出水。

5.3.4 水冷后应及时用清水冲洗工件表面残留热处理盐浴或水垢，干燥后表面氯离子残留量应不大于 25 mg/m²。

5.3.5 大型工件出炉至入水的转移时间应不超过 30 s。转移过程中应采取防护措施，防止工件表面降温过快产生不均匀组织。

### 5.4 重复固溶处理

同一工件固溶处理次数不应超过 2 次。重复固溶处理应经技术部门批准，并在热处理记录中注明重复处理次数及工艺参数。

### 5.5 加热气氛与表面保护

5.5.1 在空气电炉中加热时，工件表面会生成氧化皮，热处理后应进行酸洗去除。

5.5.2 要求表面光洁或后续不再加工的工件，宜采用保护气氛炉或真空炉加热，以减少氧化。

5.5.3 工件在炉内不得与碳钢构件、铸铁托盘直接接触。耐热钢支架表面应涂刷防渗碳涂料或垫不锈钢板。

5.5.4 加热过程中应防止铜及低熔点金属污染。如发现表面铜富集，应铣削或喷砂清除，清除深度不应小于 0.5 mm。

## 6 稳定化处理

### 6.1 适用要求

含钛或铌的奥氏体不锈钢（06Cr18Ni11Ti、06Cr18Ni11Nb），当设计文件要求稳定化处理时，应在固溶处理后进行。

### 6.2 温度要求

加热温度宜为 880 ℃～930 ℃。温度过高会使 TiC 或 NbC 溶解，失去稳定化作用；温度过低则铬碳化物未充分析出。

### 6.3 保温时间

应按有效厚度确定，每毫米有效厚度保温 2 min～4 min，总保温时间不应少于 2 h。

### 6.4 冷却方式

应在静止空气中冷却至室温，不宜水冷。

### 6.5 质量检验

稳定化处理后应按 GB/T 4334 方法 E 进行晶间腐蚀试验，试验后试样表面不应有晶间腐蚀裂纹。

## 7 去应力退火

焊接构件或冷加工硬化件需降低残余应力时，可进行去应力退火：

a）去应力退火加热温度宜为 400 ℃～450 ℃，不应超过 450 ℃，以免引起敏化；

b）保温时间按有效厚度确定，每毫米有效厚度保温 1 min～2 min，总保温时间不应少于 1 h；

c）保温结束后应随炉缓冷，缓冷速率不应超过 50 ℃/h，冷却至 300 ℃以下方可出炉空冷；

d）去应力退火应在工件全部焊接工作完成后进行，热处理后不宜再进行焊接，确需补焊时补焊后应重新进行去应力退火；

e）去应力退火后工件残余应力消除率应不低于 80%，有特殊要求时可通过盲孔法检测残余应力。

## 8 热处理后质量要求

### 8.1 力学性能

经固溶处理后，各牌号室温拉伸力学性能应符合表 3 的规定。力学性能试样应从热处理状态的工件上切取，试样加工按 GB/T 2975 执行。

**表 3 固溶处理后室温力学性能**

| 序号 | 牌号 | $R_{p0.2}$/MPa | $R_m$/MPa | A/% | HBW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 06Cr19Ni10 | ≥205 | ≥520 | ≥40 | ≤201 |
| 2 | 022Cr19Ni10 | ≥175 | ≥480 | ≥40 | ≤187 |
| 3 | 06Cr17Ni12Mo2 | ≥205 | ≥520 | ≥40 | ≤217 |
| 4 | 022Cr17Ni12Mo2 | ≥180 | ≥490 | ≥40 | ≤187 |
| 5 | 06Cr18Ni11Ti | ≥205 | ≥520 | ≥40 | ≤201 |
| 6 | 06Cr18Ni11Nb | ≥205 | ≥520 | ≥40 | ≤201 |
| **注：**需方要求低温冲击试验时，试验温度及冲击吸收能量应在技术协议中注明。用于－100℃及以下工况时，－196℃夏比 V 型冲击吸收能量（横向）应不低于 27 J。 | | | | | |

### 8.2 晶间腐蚀性能

8.2.1 超低碳钢（022Cr19Ni10、022Cr17Ni12Mo2）及稳定化钢（06Cr18Ni11Ti、06Cr18Ni11Nb）经固溶处理后，应按 GB/T 4334 方法 E 进行晶间腐蚀试验，弯曲后试样表面不应有晶间腐蚀裂纹。

8.2.2 焊接构件热处理后，焊缝及热影响区应按 8.2.1 条抽检晶间腐蚀性能。

8.2.3 需方要求点腐蚀试验时，应按 GB/T 17897 进行三氯化铁点腐蚀试验，试验周期 24 h，腐蚀速率不应大于 10 mg/(dm² • d)。

### 8.3 金相组织

8.3.1 固溶处理后组织应为均匀单相奥氏体，晶界处不应有连续网状 $Cr_{23}C_6$ 析出。

8.3.2 奥氏体晶粒度应按 GB/T 6394 评定，晶粒度级别应不低于 5 级。海工厚板晶粒度宜为 5 级～7 级。

8.3.3 α-相面积含量应按 GB/T 13305 测定，母材中 α-相应不大于 3%（体积分数）；焊接热影响区 α-相应不大于 5%（体积分数）。

8.3.4 不应出现过热组织。晶粒度超过 4 级或孪晶异常粗大时，应判为过热不合格。

8.3.5 金相检验应在工件热处理后的最终状态取样，试样经研磨、抛光后用王水或电解腐蚀显示组织。放大倍数为 100 倍～500 倍。

### 8.4 表面质量

8.4.1 热处理后工件表面不应有裂纹、折叠、氧化皮压入等缺陷。局部缺陷允许修磨清除，修磨深度不应超过钢材厚度公差之半。
8.4.2 热处理后工件应进行酸洗钝化处理。酸洗钝化可采用酸洗钝化膏或酸洗液，处理后用清水彻底冲洗并干燥。表面应形成均匀、连续的钝化膜，无残酸、无氧化色。
8.4.3 酸洗钝化后应进行蓝点试验检验钝化膜质量。蓝点试验按 GB/T 4334 相关方法进行，试验时间不少于 10 s，表面不应出现蓝点。
8.4.4 酸洗钝化后的工件应采取防潮措施存放，不得与碳钢件同库存放。

### 8.5 热处理缺陷控制

8.5.1 过热
固溶温度超过表 1 上限或保温时间过长，会导致晶粒粗大、σ 相析出。发现过热组织时，该批工件应判废。
8.5.2 过烧
固溶温度超过 1150 ℃时晶界局部熔化，过烧工件无法挽救，应判废。
8.5.3 敏化
冷却过程中在 450 ℃～850 ℃区间停留时间过长，会导致晶间腐蚀不合格。应严格控制冷却速度。
8.5.4 变形
大型焊接构件固溶后应进行热校形，校形后应重新进行去应力退火。
8.5.5 表面铁污染
工件表面附着铁离子时应进行硝酸钝化处理去除，处理后表面应无锈斑、无黄锈。

## 9 检验方法与规则

### 9.1 检验项目与方法

海工用奥氏体不锈钢热处理质量检验的检验项目与方法见表 4。

**表 4 检验项目与方法**

| 序号 | 检验项目 | 取样标准 | 试验方法 | 取样数量 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 拉伸试验 | GB/T 2975 | GB/T 228.1 | 1 个/批 |
| 2 | 冲击试验 | GB/T 2975 | GB/T 229 | 1 组（3 个）/批 |
| 3 | 硬度 | GB/T 2975 | GB/T 231.1 | 3 点/批 |
| 4 | 晶间腐蚀 | — | GB/T 4334 方法 E | 1 套/批 |
| 5 | 晶粒度 | — | GB/T 6394 | 1 个/批 |
| 6 | α-相含量 | — | GB/T 13305 | 1 个/批 |
| 7 | 表面质量 | — | 目视及量具 | 逐件 |
| 8 | 热处理工艺记录 | — | 核对温度—时间曲线 | 逐炉 |

### 9.2 组批与取样

9.2.1 热处理件应按批验收。每批应由同一牌号、同一炉号、同一热处理炉次、同一热处理工艺的工件组成。
9.2.2 连续炉热处理时每批重量不应超过 10 t。
9.2.2 拉伸试样应沿轧制方向垂直截取，冲击试样采用夏比 V 型缺口。硬度试验应在工件 1/4 厚度处测定，每处测 3 点取算术平均值。
9.2.3 晶间腐蚀试样应从热处理后工件上切取，试样尺寸为 80 mm×20 mm×（3～5）mm。弯曲试验后用 10 倍放大镜检查试样弯曲表面，不应有晶间腐蚀裂纹。

### 9.3 复验与判定

9.3.1　拉伸或冲击试验不合格时，应从同批取双倍试样复验。复验结果即使有 1 个试样不合格，该批亦不应判为合格。
9.3.2　晶间腐蚀试验不合格时该批判废，不允许复验。
9.3.3　经返修热处理后的工件应重新提交检验，返修次数不应超过 2 次。
9.3.4　热处理工艺记录不合格（如温度曲线异常、热电偶超差）时，即使性能检验合格，该炉工件也应重新热处理。

### 9.4　工艺记录

9.4.1　每炉热处理应保存完整的工艺记录，包括：炉号、工件牌号及批号、装炉时间、升温曲线、保温温度及时间、冷却介质及温度、出炉时间、操作人员及检验人员签章。
9.4.2　工艺记录保存期限不应少于 5 a。需方要求提供温度—时间曲线记录时，应提供连续记录纸或电子数据文件。
9.4.3　每炉应至少在工件有效截面中心位置和炉温最差点布置热电偶。热电偶数量每炉不应少于 3 支。
9.4.4　温度—时间曲线应显示实际升温速率、保温温度波动范围及冷却速率。保温期间温度波动应不超过±10 ℃。

T/CEATEC XXX—XXXX

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
T/CEATEC XXXX－XXXX
*
中国欧洲经济技术合作协会
网址 https://www.ceatec.org.cn/
*
开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 XXX 千字
2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷
*
如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会调换
版权专有 侵权必究
举报电话：010-64516951

T/CEATEC XXX—2026