



中华人民共和国国家标准

GB/T 38960—2020

耐低温定膨胀合金

Cryogenic-resistant controlled expansion alloys

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:钢铁研究总院、西安航天精密机电研究所、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:卢凤双、张敬霖、樊明涛、戴强、张建福、闫劲儒、颜丞铭。



耐低温定膨胀合金

1 范围

本标准规定了耐低温铁镍钴基定膨胀合金的订货内容、分类和代号、尺寸、外形、重量、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。

本标准适用于空间光电领域、半导体工业及其他苛刻深低温应用环境中,与半导体、硬玻璃等进行匹配或封接的铁镍钴基定膨胀合金 4J329D 棒材、扁材、箔材、带材、丝材、管材(以下简称合金材)。

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 223.5 钢铁 酸溶硅和全硅含量的测定 还原型硅钼酸盐分光光度法

GB/T 223.9 钢铁及合金 铝含量的测定 铬天青 S 分光光度法

GB/T 223.12 钢铁及合金化学分析方法 碳酸钠分离-二苯碳酰二肼光度法测定铬量

GB/T 223.17 钢铁及合金化学分析方法 二安替比林甲烷光度法测定钛量

GB/T 223.19 钢铁及合金化学分析方法 新亚铜灵-三氯甲烷萃取光度法测定铜量

GB/T 223.20 钢铁及合金化学分析方法 电位滴定法测定钴量

GB/T 223.25 钢铁及合金化学分析方法 丁二酮肟重量法测定镍量

GB/T 223.26 钢铁及合金 钼含量的测定 硫氰酸盐分光光度法

GB/T 223.30 钢铁及合金化学分析方法 对-溴苦杏仁酸沉淀分离-偶氮胂Ⅲ 分光光度法测定
铅量

GB/T 223.46 钢铁及合金化学分析方法 火焰原子吸收光谱法测定镁量

GB/T 223.60 钢铁及合金化学分析方法 高氯酸脱水重量法测定硅含量

GB/T 223.62 钢铁及合金化学分析方法 乙酸丁脂萃取光度法测定磷量

GB/T 223.64 钢铁及合金 锰含量的测定 火焰原子吸收光谱法

GB/T 223.79 钢铁 多元素含量的测定 X-射线荧光光谱法(常规法)

GB/T 223.85 钢铁及合金 硫含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法

GB/T 223.86 钢铁及合金 总碳含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法

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 4162—2008 锻轧钢棒超声检测方法

GB/T 4339 金属材料热膨胀特征参数的测定

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分:试验方法

GB/T 5777 无缝钢管超声波探伤检验方法

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 8651 金属板材超声板波探伤方法

GB/T 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)

GB/T 14985—2007 膨胀合金尺寸、外形、表面质量、试验方法和检验规则的一般规定

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(常规方法)
GB/T 20125 低合金钢 多元素含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
GB/T 24183 金属材料 制耳试验方法
GB/T 38938—2020 高强度低膨胀合金
GB/T 38939 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)
YB/T 5242 精密合金包装、标志及质量证明书的一般规定
YB/T 5321—2006 膨胀合金气密性试验方法

3 订货内容

按本标准订购的合同或订单至少应包括下列内容：

- a) 本标准编号；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 交货状态；
- e) 尺寸及允许偏差；
- f) 重量或数量；
- g) 相变级别；
- h) 其他特殊要求。

4 分类和代号

4.1 合金材按软硬程度可分为：

- a) 软态(S)；
- b) 1/4 硬态(H 1/4)；
- c) 1/2 硬态(H 1/2)；
- d) 3/4 硬态(H 3/4)；
- e) 硬态(H)。

4.2 合金按加工方法可分为：

- a) 深冲态(DQ)；
- b) 冷拉(WCD)；
- c) 冷拉磨光(WCDG)；
- d) 热轧(锻)态(WH)。

5 尺寸、外形和重量

5.1 合金丝材、带材、扁材、棒材及管材的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T 14985—2007 的有关规定。

5.2 合金箔材的尺寸、外形及允许偏差应符合表 1 的规定。厚度精度级别应在合同中注明，不注明时按普通精度交货。

表 1 冷轧箔材的尺寸及其允许偏差

单位为毫米

厚度	厚度允许偏差		宽度	宽度允许偏差
	普通精度	较高精度		切边
0.015~0.03	±0.003	±0.001 5	10~100	±0.15
>0.03~0.05	±0.005	±0.002 5	10~100	±0.20
>0.05~0.07	±0.008	±0.004	50~250	±1.0
>0.07~0.12	±0.015	±0.010		
>0.12~0.15	±0.020	±0.015		

5.3 合金材应按实际重量交货。

6 技术要求

6.1 牌号和化学成分

合金的牌号和化学成分(熔炼分析和成品分析)应符合表 2 的规定。

表 2 牌号和化学成分

合金牌号	化学成分(质量分数) /%										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	Cu	Fe
4J329D ^a	≤0.020	≤0.30	0.30~ 0.50	≤0.010	≤0.010	≤0.10	29.00~ 29.60	16.90~ 17.50	≤0.10	≤0.10	余量
Al、Mg、Zr、Ti 的含量各不大于 0.10%，其总含量应不大于 0.20%。											
^a D 表示低温。											

6.2 冶炼方法

合金可采用真空感应炉、真空感应+电渣重熔或真空感应+真空电弧重熔的方式冶炼。

6.3 交货状态

6.3.1 棒材以冷拉、冷拉磨光或热轧(锻)状态交货。对热轧(锻)材表面状态有要求的,需在合同中注明。

6.3.2 扁材以热轧(锻)状态交货。

6.3.3 箔材、带材、丝材和管材的交货状态应符合表 3 的规定。

表 3 丝材、带材和箔材的交货状态

交货状态及符号	丝材	带材	箔材	管材
软态(S)	√	√	√	√
1/4 硬态(H 1/4)	√	√	—	—

表 3 (续)

交货状态及符号	丝材	带材	箔材	管材
1/2 硬态(H 1/2)	✓	✓	—	—
3/4 硬态(H 3/4)	✓	✓	—	—
硬态(H)	✓	✓	✓	✓
深冲态(DQ)	—	✓	—	—

6.3.4 经供需双方协商,可供应其他交货状态的合金材。

6.4 力学性能

6.4.1 箔材、带材的抗拉强度和硬度以及深冲态交货的带材硬度应符合表 4 的规定。

表 4 箔材、带材的力学性能

交货状态及符号	抗拉强度 R_m MPa	硬度 HV	
软态(S)	400~570	≤ 200	
1/4 硬态(H 1/4)	520~630	—	
1/2 硬态(H 1/2)	590~700	—	
3/4 硬态(H 3/4)	600~770	—	
硬态(H)	≥ 700	—	
深冲态 ^a (DQ)	—	厚度 >2.5 mm	≤ 170
		厚度 ≤ 2.5 mm	≤ 165

^a 厚度不大于 0.1 mm 的深冲态带材不检验硬度。

6.4.2 丝材的力学性能应符合表 5 的规定。

表 5 丝材的力学性能

交货状态及符号	抗拉强度 R_m MPa
软态(S)	≤ 585
1/4 硬态(H 1/4)	585~725
1/2 硬态(H 1/2)	655~795
3/4 硬态(H 3/4)	725~860
硬态(H)	≥ 860

6.5 平均线膨胀系数

合金试样按照表 6 推荐的热处理制度处理后,合金的平均线膨胀系数应符合表 6 的规定。负温区的平均线膨胀系数提供实测数据,不作为考核依据。合金的典型性能参见附录 A。

表 6 平均线膨胀系数

合金牌号	试样推荐热处理制度	平均线膨胀系数 $\bar{\alpha}$ 10 ⁻⁶ /℃				
		20℃～ -78.5℃	20℃～ 300℃	20℃～ 400℃	20℃～ 450℃	20℃～ 500℃
4J329D	在真空或氢气气氛中加热至 900℃±20℃,保温 1 h,再加热至 1 100℃±20℃,保温 15 min,以不大于 5℃/min 的速度冷至 200℃以下出炉	实测	4.8~5.3	4.7~5.1	5.1~5.5	6.0~6.4

6.6 金相组织

6.6.1 相变

合金材按表 6 规定的热处理制度处理后,其相变检验情况应符合表 7 的规定。带材及箔材不应有相变存在。合同未注明时,以 I 级交货。

表 7 相变检验级别

合金牌号	级别	热处理制度	相变要求		
			直径、边长或 厚度<25 mm	直径、边长或厚度 25 mm~80 mm	直径、边长或 厚度>80 mm
4J329D	I	按表 6 规定的热处理制度处理后,在-78.5℃冷冻 4 h	无相变	无相变	双方协商
	II	按表 6 规定的热处理制度处理后,浸入液氮冷冻 1 h 后	无相变	相变比例不应超过 检验截面的 1%	双方协商

6.6.2 晶粒度

6.6.2.1 深冲态带材的平均晶粒度应为 7 级或更细,允许粗于 7 级的晶粒存在,但不应超过总面积的 10%。

6.6.2.2 交货状态合金棒材、扁材的平均晶粒度应为 3 级或更细,相变检验合格时可不进行此项检验。

6.7 气密性

根据需方要求,直径或边长不小于 15 mm 的棒材可进行气密性检验,应无漏气现象。

6.8 工艺性能

深冲态带材,或硬态经适当热处理后交货的带材,应具备良好的深冲性能,不应在深冲时出现耳子。允许接受的制耳高度应结合具体冲压零件,由供需双方协商,并在合同中注明。

6.9 超声检测



6.9.1 直径或边长不小于 12 mm 的棒材应进行超声检测,合格级别应符合 GB/T 4162—2008 的 A 级

要求。

6.9.2 扁材、板材可采用 GB/T 8651 进行超声检测,合格级别由供需双方协商,并在合同中注明。

6.9.3 管材可采用 GB/T 5777 进行超声检测,也可采用其他通用无损检验方法检测,合格级别由供需双方协商,并在合同中注明。如果出现采用不同方法引起的争议,以 GB/T 5777 作为仲裁依据。

6.10 表面质量

合金材的表面质量应符合 GB/T 14985—2007 的有关规定。

6.11 特殊要求

经供需双方协商,并在合同中注明,可供应满足其他特殊要求的合金材。

7 试验方法

7.1 合金材的检验项目及试验方法应符合表 8 的规定。

表 8 检验项目表

序号	检验项目	取样数量	取样部位	试验方法
1	化学成分	1 个/炉	GB/T 20066	见 7.2
2	拉伸	2 个/批	GB/T 2975,成品任意部位	GB/T 228.1
3	硬度	2 个/批	成品任意部位	GB/T 4340.1
4	平均线膨胀系数	1 个/炉	半成品或成品	GB/T 4339
5	相变	1 个/炉	GB/T 38938—2020 中附录 B	GB/T 38938—2020 中附录 B
6	晶粒度	1 个/批	成品任意部位	GB/T 6394
7	气密性 ^a	1 个/批	成品棒材	YB/T 5321—2006
8	工艺性能	1 个/批	成品带材	GB/T 24183
9	超声检测	逐件	成品或坯	GB/T 4162—2008,GB/T 5777, GB/T 8651 或其他通用超声检测方法
10	表面质量	逐件	成品	目视。有异议时允许用不大于 5 倍放大镜检查
11	尺寸、外形	逐件	成品	通用量具
^a 气密性检验由需方进行,被检试样的厚度应在合同中注明,否则按 YB/T 5321—2006 规定的试样 A 进行检验。				

7.2 合金的化学成分分析按 GB/T 223.79、GB/T 11170、GB/T 20123、GB/T 20125、GB/T 38939 或通用的试验方法进行分析,但仲裁时应按 GB/T 223.5、GB/T 223.9、GB/T 223.12、GB/T 223.17、GB/T 223.19、GB/T 223.20、GB/T 223.25、GB/T 223.26、GB/T 223.30、GB/T 223.46、GB/T 223.60、GB/T 223.62、GB/T 223.64、GB/T 223.85、GB/T 223.86 的有关规定进行。

8 检验规则

8.1 检查和验收

合金材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进行检查和验收。气

密性的检验由需方进行。

8.2 组批规则

合金材应按批提交检查和验收。每批应由同一合金牌号、同一炉号、同一尺寸、同一加工方法、同一交货状态的合金材组成。

8.3 取样数量和取样部位

合金材的取样数量和取样部位应符合表 7 的规定。

8.4 复验与判定规则

合金材的复验与判定规则应符合 GB/T 14985—2007 的规定。

9 包装、标志和质量证明书

合金材的包装、标志和质量证明书应符合 YB/T 5242 的规定。

附 录 A

(资料性附录)

4J329D 合金的典型性能

A.1 4J329D 合金材经表 6 推荐热处理制度处理后的典型平均线膨胀系数参见表 A.1。

表 A.1 4J329D 合金的典型平均线膨胀系数

合金牌号	平均线膨胀系数 α_l									
	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$									
	$-150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$
4J329D	7.8	7.61	7.0	5.65	5.04	5.15	4.99	5.00	5.25	6.14

A.2 4J329D 合金材经表 6 推荐热处理制度处理后的典型力学性能参见表 A.2。

表 A.2 4J329D 合金的典型力学性能

合金牌号	抗拉强度 R_m MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ MPa	伸长率 A %	面缩率 Z %	弹性模量 E GPa
4J329D	530	320	35	65	143

A.3 4J329D 合金材经表 6 推荐热处理制度处理后的典型物理性能参见表 A.3。

表 A.3 4J329D 合金的典型物理性能

合金牌号	密度 d kg/m^3	电阻率 ρ $\mu\Omega \cdot \text{m}$	室温热导率 λ $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$	居里温度 T_c $^{\circ}\text{C}$
4J329D	8.17×10^3	0.48	20.6	425
合金牌号	初始磁导率 $\mu_{0.4}$ mH/m	最大磁导率 μ_m mH/m	磁感应强度 $B_{6\,000}$ T	矫顽力 H_c A/m
4J329D	1.0	6.50	1.68	40.38