



中华人民共和国国家军用标准

FL 6210

GJB 3527A-2014

代替 GJB 3527-1999

弹簧用高温合金冷拉丝材规范

Specification for cold drawn wires of heat-resisting superalloy for spring

2014-10-21 发布

2015-01-31 实施

中国人民解放军总装备部 批准

前 言

本规范代替 GJB 3527-1999 《弹簧用高温合金冷拉丝材规范》。

本规范与 GJB 3527-1999 相比，主要有以下变化：

- a) 增加 GH4090 牌号及相应技术要求；
- b) 对原标准作了编辑性修改。

本规范由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本规范起草单位：宝山钢铁股份有限公司、航空 114 厂、冶金工业信息标准研究院、北京航空材料研究院、航空 430 厂。

本规范主要起草人：刘 群、田沛玉、杨 悦、戴 强、王 晔、霍世军、俞信霞、王 玲。

本规范于 1999 年 3 月首次发布。

弹簧用高温合金冷拉丝材规范

1 范围

本规范规定了弹簧用高温合金冷拉丝材的要求。

本规范适用于航空航天弹簧用 0.10mm~8.0mm 的高温合金冷拉丝材(以下简称丝材)的验收和检验。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本规范的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本规范,但提倡使用本规范的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本规范。

- GB/T 223.8 钢铁及合金化学分析方法 氟化钠分离—EDTA 滴定法测定铝含量
- GB/T 223.11 钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法
- GB/T 223.17 钢铁及合金化学分析方法 二安替吡啶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 223.22 钢铁及合金化学分析方法 亚硝基 R 盐分光光度法测定钴量
- 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 223.38 钢铁及合金化学分析方法 离子交换分离—重量法测定铈量
- GB/T 223.40 钢铁及合金 铈含量的测定 氯磺酚 S 光度法
- 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 乙酸丁酯萃取光度法测定磷量
- GB/T 223.63 钢铁及合金化学分析方法 高碘酸钠(钾)光度法测定锰量
- GB/T 223.68 钢铁及合金化学分析方法 管式炉内燃烧后碘酸钾滴定法测定硫含量
- GB/T 223.70 钢铁及合金 铁含量的测定 邻二氮杂菲分光光度法
- GB/T 223.73 钢铁及合金 铁含量的测定 三氯化钛—重铬酸钾滴定法
- GB/T 223.75 钢铁及合金 硼含量的测定 甲醇蒸馏—姜黄素光度法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法
- GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺)
- GB/T 238 金属材料 线材 反复弯曲试验方法
- GB/T 239 金属线材扭转试验方法
- GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法
- GB/T 2103 钢丝验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
- GB/T 2976 金属材料 线材 缠绕试验方法
- GB/T 4162—2008 锻轧钢棒超声检测方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- 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(常规方法)

GJB 5307-2004 航空航天用高温合金成品化学成分允许偏差

GJB 5404(所有部分) 高温合金痕量元素分析方法

3 要求

3.1 冶炼方法

合金应采用下列方法冶炼,也可以采用供需双方同意的能满足本规范要求的其他方法冶炼,所采用的冶炼方法应在合同中注明,当改变冶炼方法时,需经需方同意。

- 非真空感应加电渣重熔: GH2696、GH4145、GH4169、GH4090;
- 非真空感应加真空自耗重熔: GH2696、GH4145;
- 真空感应加电渣重熔: GH2696、GH4145、GH4169、GH4090;
- 真空感应加真空自耗重熔: GH2696、GH4145、GH4169、GH4090。

3.2 化学成分

3.2.1 合金的化学成分应符合表1的规定,表1中的B和Zr为计算加入量,不作分析。

3.2.2 丝材的化学成分允许偏差应符合GJB 5307-2004的规定。

3.2.3 根据需方要求可供应比表1规定的成分范围更严的合金。

表1 化学成分

牌号	化学成分(质量分数), %										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	Cu	Fe
GH2696	≤0.10	≤0.60	≤0.60	≤0.020	≤0.010	10.00~12.50	21.00~25.00	1.00~1.60	-	-	余
GH4145	≤0.08	≤0.50	≤1.00	≤0.015	≤0.010	14.00~17.00	≥70	-	≤1.00	≤0.50	5.0~9.0
GH4169	≤0.08	≤0.35	≤0.35	≤0.015	≤0.012	17.00~21.00	50.00~55.00	2.80~3.30	≤1.00	≤0.30	余
GH4090	≤0.13	≤0.80	≤0.40	≤0.015	≤0.015	18.00~21.00	余	-	15.00~21.00	≤0.20	≤1.50

牌号	化学成分(质量分数), %									
	Al	Ti	Mg	Nb	B	Ag	Bi	Pb	Se	Zr
GH2696	≤0.80	2.60~3.20	-	-	≤0.020	-	-	-	-	-
GH4145	0.4~1.0	2.25~2.75	≤0.01	0.70~1.20	0.002~0.01	-	-	-	-	0.02~0.08
GH4169	0.20~0.80	0.65~1.15	-	4.75~5.50	≤0.006	-	≤0.00003	≤0.0005	≤0.0003	-
GH4090	1.0~2.0	2.00~3.00	-	-	≤0.020	≤0.0005	≤0.0001	≤0.0010	-	≤0.15

3.3 交货状态

3.3.1 GH2696 丝材: 直径小于3.0mm, 以固溶、冷拉状态成盘状交货; 直径不小于3.0mm, 以固溶、冷拉校直后磨光交货。丝材的固溶软化温度为980℃~1130℃, 空冷后水冷; 丝材的冷变形量为40%~50%。

3.3.2 GH4169 丝材: 以光亮固溶热处理后直条或盘状交货。固溶温度为955℃±10℃, 保温0.5h, 空冷。

3.3.3 GH4145 丝材：以 A、B 两类不同变形量冷拉状态交货。

3.3.4 GH4090 丝材：以冷拉状态或以冷拉后加 1080℃ 固溶处理交货。

3.4 力学性能

3.4.1 GH2696、GH4169 丝材的室温拉伸性能和硬度应符合表 2 的规定。

3.4.2 GH4145 的室温拉伸性能应符合表 3 的规定。

3.4.3 GH4090 的室温拉伸性能应符合表 4 的规定，丝坯经热处理后制成的试样其持久性能应符合表 5 的规定。

表 2 GH2696 和 GH4169 丝材室温拉伸性能和硬度

牌号	试样状态	抗拉强度 R_m MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ MPa	断后伸长率 A %	洛氏硬度 HRC
GH2696	交货状态加 700℃~750℃，保温 3h~5h，空冷	≥1270	—	≥8	≥40
GH4169	固溶加 720℃±10℃，保温 8h，以 55℃/h±10℃/h 炉冷，至 620℃±10℃，保温 7h~8h，空冷	≥1270	≥1035	≥12	≥32

表 3 GH4145 室温拉伸性能

组别	试样状态	直径 mm	抗拉强度 R_m MPa
A	A 类冷拉状态	0.30~6.0	≥1310
		>6.0~8.0	≥1100
B	B 类冷拉状态	0.30~0.65	≤1030
		>0.65~8.0	895~1140
C	A 类冷拉状态加 650℃±10℃，保温 4h，空冷	0.30~6.0	≥1520
		>6.0~8.0	≥1380
D	A 类冷拉状态加 1150℃±15℃，保温 2h，空冷加 840℃±15℃，保温 24h，空冷加 705℃±10℃，保温 20h，空冷	0.30~6.0	≥1030
		>6.0~8.0	≥1000
E	B 类冷拉状态加 730℃±10℃，保温 16h，空冷	0.30~0.65	≥1070
		>0.65~8.0	≥1140

表 4 GH4090 室温拉伸性能

交货状态	试样状态	直径 mm	抗拉强度 R_m MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ MPa	断后伸长率 A_{50} %
冷拉状态	交货状态加 600℃±10℃，保温 16h，空冷	≤1.0	≥1540	—	—
		>1.0~5.0	≥1390	≥1160	—
		>5.0~8.0	≥1310	≥1000	≥10
冷拉后经 1080℃ 固溶处理	交货状态加 (700℃~750℃)±10℃，保温 4h，空冷	>0.44~0.99	≥1080	—	≥15
		>0.99~8.0	≥1080	≥620	≥15

表5 GH4090 持久性能

交货状态	试样坯料热处理制度	试验温度 ℃	持久性能	
			σ , MPa	τ , h
冷拉状态	1080℃±10℃, 保温 8h, 空冷加 700℃±10℃, 保温 16h, 空冷	870	140	≥30
冷拉后经 1080℃固溶处理	1080℃±10℃, 保温 8h, 空冷加(700℃~ 750℃)±10℃, 保温 4h, 空冷			

3.5 工艺性能

3.5.1 扭转

3.5.1.1 GH2696 丝材应进行扭转试验, 扭转六次, 表面不允许有目视可见的裂纹或断裂。

3.5.1.2 直径不大于 5.0mm, 冷拉状态交货的 GH4090 丝材经 600℃±10℃, 保温 16h, 空冷时效处理后进行扭转试验, 扭转次数八次, 表面不允许有目视可见的裂纹和分层。

3.5.2 缠绕

GH2696、GH4145、GH4169 和直径不大于 2.0mm 的 GH4090 丝材应进行缠绕试验, 缠绕圈数和芯棒直径应符合表 6 的规定, 缠绕后表面不允许有目视可见的裂纹或断裂。

表6 缠绕试验

牌号	状态	缠绕圈数	芯棒直径 d , mm
GH2696	交货状态	5	3 倍于丝材直径
GH4145	A 类冷拉状态	5	4 倍于丝材直径
	B 类冷拉状态	5	等于丝材直径
GH4169	交货状态	5	4 倍于丝材直径
GH4090	交货状态	8	等于丝材直径

3.5.3 反复弯曲

3.5.3.1 GH2696 丝材反复弯曲五次, 不允许有目视可见的裂纹或断裂。

3.5.3.2 直径大于 2.0mm 的 GH4090 丝材应进行反复弯曲试验, 弯曲圆弧半径为丝材直径的三倍, 反复弯曲三次, 不允许有目视可见的裂纹或断裂。

3.6 晶粒度

GH4169 丝材的晶粒度为 6 级或更细。

3.7 超声检测

3.7.1 GH2696、GH4145、GH4169 丝材坯料应进行超声检测, 结果应符合 GB/T 4162-2008 中的 A 级要求, 并在质量证明书中注明。

3.7.2 GH4090 丝材坯料应进行超声检测, 结果应符合 GB/T 4162-2008 中的 AA 级要求, 并在质量证明书中注明。

3.8 腐蚀试验

固溶状态交货的 GH4090 丝材应进行腐蚀试验, 试验后丝材上不应有任何目视可见的表面缺陷。

3.9 尺寸、外形

3.9.1 尺寸

3.9.1.1 丝材直径及其允许偏差应符合表 7 的规定。需方要求特殊尺寸偏差时应在合同中注明。

3.9.1.2 直条交货的丝材其长度应不小于 1 000mm。

3.9.2 外形

- 3.9.2.1 丝材的不圆度应不大于直径公差之半。
 3.9.2.2 每盘丝材应规整，不应散乱或成“∞”字形。

表7 直径及其允许偏差

单位为毫米

丝材公称直径	允许偏差
0.10~0.30	±0.014
>0.30~0.60	±0.018
>0.60~1.0	±0.023
>1.0~3.0	±0.030
>3.0~6.0	±0.040
>6.0~8.0	±0.050

3.10 外观质量

- 3.10.1 丝材表面应光滑，不得有裂纹、折叠、毛刺、锈蚀及其他有害缺陷。但允许有深度不大于直径公差之半的个别小拉痕、划痕和其他不影响使用的缺陷存在。
 3.10.2 丝材表面允许有轻微的氧化色。

4 质量保证规定

4.1 检验分类

本规范规定的检验为质量一致性检验。

4.2 质量一致性检验

4.2.1 组批规则

丝材应成批提交检验。每批应由同一合金牌号、同一炉号、同一规格、同一热处理批次、同一交货状态和同一性能组别的丝材组成。

4.2.2 检验项目、取样数量和取样部位

质量一致性检验项目、取样数量、取样部位以及相应的要求和检验方法的章条号应符合表8的规定。

表8 检验项目、取样数量和取样部位

序号	检验项目	取样数量	取样部位	要求的章条号	检验方法的章条号	
1	化学成分	每炉1个	GB/T 20066	3.2	4.3.1	
2	力学性能	每批2个	任取 ^a	3.4.1、3.4.2、3.4.3	4.3.2	
3				持久	3.4.3	4.3.3
4				硬度	3.4.1	4.3.4
5	工艺性能	每批2个	不同支(盘)上任取	3.5.1	4.3.5	
6				缠绕	3.5.2	4.3.6
7				反复弯曲	3.5.3	4.3.7
8	晶粒度			3.6	4.3.8	
9	超声检测	逐支	丝材坯上	3.7	4.3.9	
10	腐蚀试验	每批2个	不同支(盘)上任取	3.8	4.3.10	
11	尺寸、外形	逐支(盘)	整支(盘)材上	3.9	4.3.11	
12	外观质量			3.10	4.3.12	

^a 直径小于3.0mm的丝材，在直径3.0mm~4.0mm的坯料上取样，并提供一根试料供用户复验。

4.2.3 判定与复验规则

4.2.3.1 当化学成分不合格时,允许重新取样对不合格元素进行复验,复验结果仍不合格,则判该炉不合格。

4.2.3.2 当力学性能、工艺性能和晶粒度某一项目检验不合格时,应取双倍数量的试样(包括原不合格丝材上取样)进行该项目的复验,复验结果中有一个试样不合格,则判该批丝材不合格。

4.2.3.3 尺寸、外形、外观质量和超声检测不合格的丝材,判该支(盘)丝材判不合格。

4.3 检验方法

4.3.1 化学成分分析

4.3.1.1 合金的化学成分分析用试样应符合 GB/T 20066 的规定。

4.3.1.2 合金的化学成分分析方法按 GB/T 223.8、GB/T 223.11、GB/T 223.17、GB/T 223.19、GB/T 223.20、GB/T 223.22、GB/T 223.25、GB/T 223.26、GB/T 223.38、GB/T 223.40、GB/T 223.46、GB/T 223.60、GB/T 223.62、GB/T 223.63、GB/T 223.68、GB/T 223.70、GB/T 223.73、GB/T 223.75、GB/T 20123 和 GJB 5404(所有部分)或通用的方法进行。仲裁分析方法按 GB/T 223.8、GB/T 223.11、GB/T 223.17、GB/T 223.19、GB/T 223.20、GB/T 223.22、GB/T 223.25、GB/T 223.26、GB/T 223.38、GB/T 223.40、GB/T 223.46、GB/T 223.60、GB/T 223.62、GB/T 223.63、GB/T 223.68、GB/T 223.70、GB/T 223.73、GB/T 223.75 和 GJB 5404(所有部分)进行。

4.3.2 室温拉伸试验

拉伸试验按 GB/T 228.1 进行。

4.3.3 持久试验

持久试验按 GB/T 2039 进行。

4.3.4 硬度试验

洛氏硬度试验按 GB/T 230.1 进行。

4.3.5 扭转试验

扭转试验按 GB/T 239 进行。

4.3.6 缠绕试验

缠绕试验按 GB/T 2976 进行。

4.3.7 反复弯曲试验

反复弯曲试验按 GB/T 238 进行。

4.3.8 晶粒度试验

晶粒度试验按 GB/T 6394 进行。

4.3.9 超声检测

超声检测方法按 GB/T 4162-2008 进行。

4.3.10 腐蚀试验

腐蚀剂成分为:硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 4g; 浓盐酸(比重 1.6), 20mL; 水, 20mL。将 200mm 长的丝材试样于室温下浸泡在上述溶液中, 腐蚀不超过 1h, 以清晰显示缺陷为准, 取出后洗净, 目视检查。

4.3.11 尺寸、外形测量

采用相应精度的量具, 测量丝材尺寸、外形, 每盘丝材测量的部位不少于两处。

4.3.12 外观质量检查

丝材应逐支或逐盘用目视进行外观质量检查。

5 交货准备

5.1 包装

5.1.1 丝材经各项检验合格后，每盘(捆)丝材应用软金属丝等距离捆扎三处，允许将同一炉号、同一热处理批次、同一直径、同一交货状态的数盘丝材组成一捆，其重量不大于 30kg。

5.1.2 丝材盘(捆)用复合编织带紧密、均匀地缠绕包裹。缠轴供应的丝材，缠绕数层防锈纸装入塑料袋内扎封，数轴为一组，装入相应尺寸的木箱。

5.2 标志

每盘(捆、轴)丝材应有标志，标志上应注明：

- a) 供方名称；
- b) 合金牌号；
- c) 熔炼炉号；
- d) 交货状态；
- e) 性能组别；
- f) 丝材直径；
- g) 净重；
- h) 生产日期。

5.3 质量证明书

供应的每批丝材应附有质量证明书，质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、本规范号、冶炼方法、交货状态、炉号、批号、规格、重量及按本规范、合同所规定的各项检验结果(如果进行复验，包括两次检验结果)及提供实际热处理制度，并打上技术监督部门的印记。

5.4 其他

除本规范的要求外，对标志和质量证明书的其他要求应符合 GB/T 2103 的一般规定。

6 说明事项

6.1 预定用途

本规范规定的高温合金冷拉丝材预定用于航空航天弹簧。

6.2 分类

GH4145 丝材按其冷拉变形分为：

- a) A 类：公称直径不大于 6mm 丝材的冷拉变形量为 50%~65%；公称直径大于 6mm 丝材的冷拉变形量为 30%以上。
- b) B 类：公称直径不大于 0.65mm 丝材的冷拉变形量为 15%左右；公称直径大于 0.65mm 丝材的冷拉变形量不限。

6.3 合同中应注明下列内容：

- a) 本规范编号；
- b) 合金牌号；
- c) 冶炼方法；
- d) 交货状态；
- e) 性能组别；
- f) 丝材直径。