



中华人民共和国航空行业标准

FL 6200

HB/Z 192—2008

代替 HB/Z 192—1991

软磁合金热处理

Heat treatment of soft magnetic alloys

2008—03—17 发布

2008—10—01 实施

国防科学技术工业委员会 发布

前 言

本指导性技术文件代替 HB/Z 192-1991 《软磁合金热处理工艺说明书》。

本指导性技术文件与 HB/Z 192-1991 相比，主要技术内容变化如下：

- 增加了 1J12DY、1J72 合金的热处理工艺；
- 对部分热处理工艺参数进行了调整；
- 工艺材料增加了 95 陶瓷片和水基清洗剂，明确了气体的技术要求；
- 细化了制件防粘接、放置、退火压平、工夹具结构等工艺要求；
- 增加了保证制件磁性能和形状尺寸的工艺措施；
- 对热处理后制件的外观要求作了明确规定；
- 规定了允许使用非标准测磁试样。

本指导性技术文件的附录 A 为资料性附录。

本指导性技术文件由中国航空工业第一集团公司提出。

本指导性技术文件由中国航空综合技术研究所、北京航空材料研究院归口。

本指导性技术文件起草单位：中国航空工业第六一八研究所、陕西宝成航空仪表有限责任公司。

本指导性技术文件主要起草人：张雅丽、王宏计、杨 明、蒋 昱、张伟萍。

本指导性技术文件于 1991 年 6 月首次发布。

软磁合金热处理

1 范围

本指导性技术文件规定了软磁合金及其制件的热处理设备、工艺、质量控制等。

本指导性技术文件适用于航空用软磁合金及其制件的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指导性技术文件的引用而成为本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本指导性技术文件，然而，鼓励根据本指导性技术文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 3657 软磁合金直流磁性能测量方法

GB/T 3658 软磁合金交流磁性能测量方法

GB/T 4842 纯氦

GB 4962 氢气使用安全技术规程

GB/T 7445 纯氢、高纯氢和超纯氢

GB/T 8979 纯氮

GB/T 8980 高纯氮

GB/T 10624 高纯氩

GB/T 15001 软磁合金尺寸、外形、表面质量、试验方法和检验规则的一般规定

GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求

GJB 509B—2008 热处理工艺质量控制

YS/T 274 氧化铝

3 设备、工装和工艺材料

3.1 加热设备

3.1.1 加热设备一般应不低于 GJB 509B—2008 中 III 类炉的要求。

3.1.2 加热设备一般采用氢气炉或真空炉，1J12DY 合金可以采用空气电阻炉；进行磁场退火的合金，应采用磁场退火装置。

3.1.3 氢气炉和真空炉应配备冷速调节装置。

3.1.4 氢气炉应能根据工艺要求调节气体流量。氢气的进气露点应低于 -40°C ，露点不满足要求时应增加氢气净化装置。

3.1.5 真空炉应保证不产生影响制件性能的表面增碳和合金元素贫化等。

3.2 辅助设备和工装

3.2.1 清洗和清理设备应满足清洗和清理要求，避免制件在清洗和清理过程中变形或磁性能降低。

3.2.2 应配备放置制件及控制其变形的工夹具。工夹具应选用含碳量不大于 0.1% 的钢或耐高温的陶瓷制作，优先采用热容量小的开放式结构。

3.3 工艺材料

热处理工艺材料如下：

a) 氢气，纯度不小于 99.999%，GB/T 7445；

b) 氮气，纯度不小于 99.99%，GB/T 8979 或 GB/T 8980；

- c) 氟气, 纯度不小于 99.99%, GB/T 4842 或 GB/T 10624;
- d) 氧化铝粉, YS/T 274;
- e) 95 陶瓷片;
- f) 有机清洗剂或水基清洗剂, 清洗剂不应与被清洗制件发生不良反应。

4 工艺

4.1 工艺类型

软磁合金热处理的常用工艺类型及其目的如下:

- a) 中间退火: 减小制件应力, 消除冷作硬化、提高塑性, 进行热校平;
- b) 最终退火: 消除内应力, 净化材料, 改善组织, 恢复和提高磁性能;
- c) 磁场退火: 调整矩形比;
- d) 稳定化退火: 提高铁镍高磁导率合金的磁性能稳定性;
- e) 最终淬火: 改善合金组织、控制有序度, 以获得所需磁性能。

4.2 热处理前要求

4.2.1 热处理前应按图样和工艺文件要求检查随制件的工艺路线卡等资料, 其上的图号、工序号和合金牌号等应与工艺规程一致。

4.2.2 制件表面不允许有研磨膏、切削液等加工残留物, 不允许有毛刺、碰伤、折痕和锈蚀等。

4.2.3 制件和工夹具应进行清洗, 以去除表面的油脂和其他污物。清洗后, 可在不高于 180℃ 温度下烘干, 或用其他方法充分干燥。

4.2.4 为防止制件在热处理过程中产生粘接, 应在其表面铺撒氧化铝粉或使用 95 陶瓷片隔离, 真空热处理以及精细结构的制件宜使用 95 陶瓷片。氧化铝粉使用时应保证干燥清洁, 首次使用时应经不低于 1100℃ 的温度焙烧 3h~4h, 以去除结晶水和灰份等, 重复使用时可酌情进行焙烧或烘干。当氧化铝粉不易附着时, 可将其用无水乙醇调成糊状刷涂, 并在装炉前充分干燥。

4.2.5 平片状制件应叠装整齐, 可将平面度较差的制件放在底部, 必要时采用专用夹具将其适当压紧, 叠装的高度或压板的重量应不使制件产生粘接; 棒材制件应摆放整齐, 不应相互挤压。

4.2.6 为消除大尺寸带材制件的弯曲变形, 热校平时可将制件叠放在重平板之间。

4.2.7 测磁试样应放在加热炉内有代表性的位置。

4.3 工艺制度

4.3.1 软磁合金及其制件热处理的工艺制度见表 1。根据具体条件, 允许采用经过试验、满足磁性能要求的其他工艺制度。

4.3.2 对于易变形和真空下元素易蒸发的制件, 应采用表 1 中加热温度和保温时间的下限。

4.3.3 对于尺寸精度要求较高或易变形的制件, 升温速率应不大于 500℃/h。

4.3.4 铁镍、铁铝软磁合金变形倾向小, 制件最终退火一般在机械加工后进行。对于高精度制件, 应有效控制最终退火前的应力。

4.3.5 1J22 合金热轧棒材制件最终退火变形倾向大, 应留有足够的余量。当性能和尺寸要求较高时, 精加工前按表 1 中 1J22 棒材最终退火工艺处理, 精加工后可再按表 1 中 1J22 冷轧带材的最终退火工艺对磁性能进行恢复。

4.3.6 制件氢气热处理的出气露点应低于 -32℃。

4.3.7 制件真空热处理的余压一般应不大于 $1.33 \times 10^{-1} \text{Pa}$, 1J22 和铁铝软磁合金制件的余压应不大于 $1.33 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

4.3.8 磁性能不合格时, 允许按原工艺、原材料出厂推荐工艺、附录 A 或经试验的调整工艺进行重复热处理。

表 1 热处理工艺制度

材料种类	合金牌号	材料品种	热处理种类	保护介质	升温方式	加热温度℃	保温时间h	冷却制度				
高初磁导率软磁合金	1J76 1J77 1J79 1J80 1J85 1J86	冷轧带材 冷拉丝材 冷拔管材 热轧扁材 热轧棒材	中间退火	氢气或真空	随炉升温	780~920	3~5	炉冷至 400℃ 以下出炉				
	1J79		稳定化退火			960~1050	2~3	以 (80~120)℃/h 速率冷至 (450~480)℃，再快冷至 200℃ 以下出炉				
	1J72		最终退火			1050~1100	4~6	以不大于 300℃/h 速率冷至 600℃，再随炉冷至 300℃ 以下出炉				
	1J76 1J77					1100~1150	3~6	以 (100~150)℃/h 速率冷至 500℃，再以 (10~50)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉				
	1J79							以不大于 200℃/h 速率冷至 600℃，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉				
	1J80							以不大于 200℃/h 速率冷至 (400~500)℃，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉				
	1J85 1J86							1100~1200	以 (100~150)℃/h 速率冷至 (450~600)℃，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉			
	高磁导率较高饱和磁感应强度软磁合金					1J46	冷轧带材 冷拉丝材 冷拔管材 热轧扁材 热轧棒材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	1100~1150	3~6
			1J50			1100~1180						
			1J54			1100~1150						
耐蚀软磁合金	1J36 1J116 1J117	冷轧带材 热轧棒材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	1150~1250	2~6	以 (100~200)℃/h 速率冷至 (450~650)℃，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉				
高硬度高电阻高磁导软磁合金	1J87	冷轧带材 ($t\leq 0.2\text{mm}$)	最终退火	氢气或真空	随炉升温	950~1150	2~3	以 (80~120)℃/h 速率冷至 500℃，保温 1h，再以 (10~30)℃/h 速率冷至 350℃，然后炉冷至 200℃ 以下出炉				
		冷轧带材 ($t> 0.2\text{mm}$)				1150~1250	4~6					
	1J88	冷轧带材 ($t\leq 0.2\text{mm}$)				950~1150	2~3	以 (100~200)℃/h 速率冷至 (500 ~ 600)℃，炉冷至 200℃ 以下出炉				
		冷轧带材 ($t> 0.2\text{mm}$)				1150~1200	4~5					

表 1 (续)

材料种类	合金牌号	材料品种	热处理种类	保护介质	升温方式	加热温度℃	保温时间h	冷却制度
高硬度高电阻高磁导软磁合金	1J89	冷轧带材 ($t \leq 0.2\text{mm}$)	最终退火	氢气或真空	随炉升温	950~1100	2~3	以 (200~300)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉；或以 (200~300)℃/h 速率冷至 600℃ 保温 (1~4)h，再以 100℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
		冷轧带材 ($t > 0.2\text{mm}$)				1100~1200	3~5	
	1J90	冷轧带材 ($t \leq 0.2\text{mm}$)				1000~1150	2~3	以 (200~300)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
		冷轧带材 ($t > 0.2\text{mm}$)				1000~1200	3~4	
	1J91	冷轧带材 ($t \leq 0.2\text{mm}$)				1000~1150	2~3	炉冷至室温，随后在氢气介质中升温至 970℃，保温 1h，再快冷至 200℃ 以下出炉
		冷轧带材 ($t > 0.2\text{mm}$)				1100~1200	3~4	
高饱和磁感应强度软磁合金	1J22	热轧扁材 热轧棒材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	1080~1120	3~6	以 (50~100)℃/h 速率冷至 850℃，保温 3h，再以不大于 50℃/h 速率冷至 700℃，然后以 (180~220)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
		冷轧带材	磁场退火	氢气		840~860		以 (20~60)℃/h 速率冷至 750℃，加 (1.2~1.6)kA/m 直流磁场，保温 3h，再以 (180~200)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
		冷轧带材 冷拉丝材	最终退火	氢气或真空		850~900		以 (50~100)℃/h 速率冷至 750℃，再以 (180~220)℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
磁温度补偿合金	1J30 1J31 1J32 1J33 1J38	冷轧带材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	790~810	2~3	炉冷至 200℃ 以下出炉
矩磁合金	1J51 1J52 1J83	冷轧带材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	1050~1100	1	以不大于 200℃/h 速率冷至 600℃，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
						1100~1150	3~6	
	1J34 1J65 1J67		磁场退火	第二步 氢气或真空		1100~1150	3	以不大于 200℃/h 速率冷至 600℃，再炉冷至 200℃ 以下出炉

表 1 (续)

材料种类	合金牌号	材料品种	热处理种类	保护介质		升温方式	加热温度℃	保温时间h	冷却制度
矩磁合金	1J34 1J65 1J67	冷轧带材	磁场退火	第二步加不小于800A/m的纵向磁场	氢气	随炉升温	600	1~4	以(25~100)℃/h速率冷至200℃以下出炉
	第一步			氢气或真空	1100~1200		3~6	炉冷至400℃以下出炉	
	第二步加(1.2~1.6)kA/m的纵向磁场			氢气	600~700		1~2	以(50~100)℃/h速率冷至200℃以下出炉	
恒磁导率合金	1J66	冷轧带材	磁场退火	第一步	氢气或真空	随炉升温	1200	3	以(80~120)℃/h速率冷至600℃，再炉冷至200℃以下出炉
				第二步加16kA/m的横向磁场	氢气		650	1	以(50~100)℃/h速率冷至200℃以下出炉
铁铝软磁合金	1J06	冷轧带材 热轧棒材	最终退火	氢气或真空	随炉升温	950~1050	2~3	以(100~150)℃/h速率冷至200℃以下出炉	
	900~1000 ^a	炉冷至200℃以下出炉							
	1050~1200	以(100~150)℃/h速率冷至500℃，再以不小于400℃/h速率冷至200℃以下出炉							
	900~950	2				以(80~120)℃/h速率冷至650℃，再以不大于60℃/h速率冷至200℃以下出炉			
	780~800 ^b								
	1J16	最终淬火	随炉升温至950℃，保温4h，再随炉升温			1050~1100	1~2	炉冷至(600~700)℃，在冰水、盐水、水或其他水剂淬火介质中淬火 ^c	
	1J12DY	热轧棒材	最终退火			氢气、真空或空气	以500℃/h速率升温	1050	4
<div><div>^a 适用于磁阀铁芯。</div><div>^b 适用于要求线噪声稳定的元件。</div><div>^c 可使用外热式炉，炉罐与制件一同淬火。</div><div>^d 真空炉时，采用氩气快速冷却。</div><div>注：t为带材厚度。</div></div>									

4.4 热处理后的要求

4.4.1 制件不允许用裸手接触。

4.4.2 制件应清理干净，在清理过程中应防止磕碰、撞击。

4.4.3 最终退火后的制件在存放和运输过程中，应防止受冲击和振动。

5 质量控制

5.1 一般要求

5.1.1 软磁合金及其制件热处理工艺质量控制的基本要求应符合 GJB 509B-2008 的规定。

5.1.2 制件用软磁合金应符合相关标准或技术文件的规定。

5.2 设备质量控制

5.2.1 对氢气发生、贮存、净化装置和氢气炉应定期进行检查，以保证氢气纯度符合要求，氢气管路畅通、无漏气、无污物。

5.2.2 对真空炉应定期进行检查，以保证其完好性要求。真空炉不使用时宜处于真空状态，并采取措施防止炉膛污染。

5.3 制件质量控制

5.3.1 外观

最终热处理后经清理的制件，目视检查应无粘结、压皱和超出规定要求的翘曲等，且无氧化铝颗粒和其他污物。制件表面应光亮或无光泽，允许出现大晶粒、色调不均匀和轻微氧化色；1J12DY 制件在空气中处理时，允许有氧化色。

5.3.2 磁性能

5.3.2.1 制件每热处理炉批应带一至三件测磁试样，测磁试样应与制件的合金牌号和炉批号相同。

5.3.2.2 测磁试样的切取和制备按 GB/T 15001、GB/T 3657、GB/T 3658 的规定进行。对于不易切取和制备标准测磁试样的制件，允许采用适宜的非标准测磁试样。

5.3.2.3 分别按 GB/T 3657、GB/T 3658 的规定测定试样的直流或交流磁性能，应符合相应材料标准、技术文件或图样的要求。非标准测磁试样可根据制件性能要求采用相应的测磁方法和指标。

5.3.3 形状、尺寸

最终热处理后制件的形状、尺寸应符合工艺文件或图样要求。

6 技术安全

6.1 氢气炉应安装在符合防爆要求的厂房内，并配备气体报警装置，排出的废气应点燃或排出室外。氢气的使用安全应符合 GB 4962 的规定。

6.2 应采取适当措施确保氢气炉和真空炉在热处理过程中的供水。

6.3 热处理技术安全的其他要求应符合 GB 15735 的规定。

附 录 A
(资料性附录)
工艺制度的调整

常用软磁合金热处理磁性能不合格时工艺制度的调整见表 A.1。

表 A.1 工艺制度的调整

合金牌号	不合格项目	工艺制度
1J50	μ_0 、 μ_m 、 H_C	方法一：提高退火温度至 1200℃ 方法二：降低 600℃ 以上的冷却速率至 (80~100)℃/h
1J54	μ_0 、 μ_m 、 H_C	降低真空处理的余压至不大于 1.3×10^{-2} Pa，或降低氢气处理的氢气露点至 -50℃ 以下
1J79	μ_0 、 μ_m 、 H_C	加热至 500℃，保温 2h，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
	μ_0	提高 600℃ 以下的冷却速率。
1J80	μ_0 、 μ_m 、 H_C	方法一：降低 600℃ 以上的冷却速率至 (60~100)℃/h 方法二：降低真空处理的余压至不大于 1.3×10^{-2} Pa，或降低氢气处理的氢气露点至 -50℃ 以下
1J85 1J86	μ_0 、 μ_m 、 H_C	方法一：提高退火温度至 (1200~1250)℃ 方法二：加热至 600℃，保温 1h，冷却至 460℃，保温 2h，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
1J06	μ_0 、 μ_m 、 H_C	方法一：加填料 (TiH ₄ ：Al ₂ O ₃ =2:1) 氢气退火 方法二：最终退火后，在 (700~750)℃ 加 1.6kA/m 的磁场下，保温 2h，再以不小于 400℃/h 速率冷至 200℃ 以下出炉
1J16	μ_0 、 μ_m 、 H_C	方法一：提高加热温度至 1200℃ 方法二：改用冷却速率大的淬火介质
	H_C	淬火温度提高至 800℃
	μ_0	淬火温度提高至 750℃
	μ_m	淬火温度取下限

中华人民共和国航空行业标准
软磁合金热处理
HB/Z 192—2008

*

中国航空综合技术研究所出版
(北京东外京顺路7号)
中国航空综合技术研究所印刷车间印刷
北京 1665 信箱发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 21 千字
2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月第一次印刷
印数 1—200

*

书号: 标 301.2308 定价 10.00 元