

HB

中华人民共和国航空工业部部标准

HB/Z 137—88

钛合金热处理工艺说明书

1988—04—10 发布

1988—10—01 实施

中华人民共和国航空工业部

批准

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容 本标准规定了钛合金热处理的有关术语,热处理用的设备仪表,操作规范及主要热处理工艺参数,并规定了相应的工艺质量控制。

1.2 适用范围 本说明书适用于 TA2、TA7、TC1、TC3、TC4、TC6、TC9、TC11、TB2、Ti-4Al-7Mo-1Zr-2Fe-10V、Ti-3.5Al-10Mo-8V-1Fe、Ti-2Cu、Ti-2.3Al-11Sn-5Zr-1Mo-0.2Si、Ti-5Al-5Mo-2Sn-0.3Si-0.02Ce、ZTA7、ZTC4 等钛及钛合金零件和半成品的热处理。各国牌号对照表见附录 A。

2 引用标准

HB 5354 航空制件热处理质量控制标准。

3 有关术语定义

3.1 热处理 为使工件获得所要求的状态与性能对其进行的加热、保温与冷却过程。

3.2 消除应力退火 使工件中残余应力减小而不引起再结晶的热处理。

3.3 普通退火 通过加热再结晶消除加工硬化或调整金相组织的热处理。亦称工厂退火或简单退火。

3.4 等温退火 使合金组织获得调整与稳定的热处理。即先在较高温度下保温一定时间,然后随炉(或转炉)冷到某一较低温度保温一定时间、空冷。

3.5 阶段退火 分两次或更多次加热而每次都要空冷到室温的热处理。通常有双重退火和三重退火。

3.6 固溶处理 在一定温度(通常为相变点下 10~40℃)保温足够时间使可溶组分充分溶入固溶体的加热处理。一般采用淬火方式使合金组织处于不稳定状态。

3.7 淬火 将加热合金与冷却介质接触,从一定温度以足够快的冷速进行冷却,使可溶组分全部或部分保留在固溶体中的过程。

3.8 时效 通过在较低温度下加热保温使不稳定相分解的热处理。

3.9 真空处理 为了除氢或为防止氧、氮、氢等有害气体的污染而使工件在真空条件下进行的热处理。

3.10 氧污染 工件在有氧存在的环境中加热(约 500℃以上)时表面形成氧化物并同时向金属里层进行氧扩散的过程。

3.11 氮污染 氮在 600℃以上迅速向钛件中扩散并使表面形成硬脆氮化层的过程。

3.12 氢污染 钛件在含氢环境中加热或在化学加工及酸洗处理中吸氢的过程。氢在钛中的扩散是可逆的,通常在 700℃左右的真空处理即可除氢。

4 设备仪器

4.1 加热设备

4.1.1 加热炉 钛件可以采用空气炉、燃气、燃油炉(微氧化气氛)、惰性气体炉或真空炉等设备进行热处理。惰性气氛须是循环流动,以使整炉钛件的所有表面获得保护。严禁炉中呈氢一类还原性气氛。

4.1.2 炉温均匀性 按 HB5354 表 2 中 I~III 类炉的规定执行。

4.1.3 控温与测温 按 HB5354 有关规定执行。

4.2 冷却设备

4.2.1 对于要求在空气中慢冷的钛件应准备铁箱或沙箱。

4.2.2 对于要求在空气中快冷的钛件应准备吹风扇。

4.2.3 淬火槽 按 HB5354 规定执行。

4.3 其它

4.3.1 真空度 在真空炉升温过程中或在 540℃加热时,真空度不应低于 1×10^{-3} Pa,在保温和出炉前的冷却过程中真空度应高于或等于 1×10^{-3} Pa。

4.3.2 为了方便操作,必须准备合适的支架、夹盘、托盘、挂钩及通风设备等。

5 工艺操作

5.1 钛件清理

5.1.1 热处理前清理

准备进行真空处理的钛件或有特殊要求的普通热处理的钛件表面除允许有专用涂层外,不得有指印、油、水或其它外来物。在 300℃以上加热的钛件要注意清除表面上的卤化物污染,并要避免采用氯化剂作清除液。所采用的夹具也须进行清洗。铸件应清除模壳与钛反应产物。

5.1.2 热处理后的清理

5.1.2.1 钛件表面的氧化层可根据需要进行清除,其清除方法在有关标准文件公布之前可按有关企标执行(包括酸洗、化学铣切、喷砂或机械加工等)。

5.1.2.2 钛精加工件表面的氧化层去除后还要根据规定清除一定深度的基体金属,其具体参数列于表 1。

5.1.2.3 在惰性气体或真空中加热的钛件表面出现淡黄色氧化膜时可不清除,若要清除也不必清除基体金属。钛零件表面存在淡紫色、兰色或灰色氧化膜时必须清除。

5.1.2.4 锻件在进行除氢处理以前要清除氧化皮。铸件应清除各种表面反应产物。

5.2 加热

5.2.1 用于加热钛件的炉子要进行专门清理,防止炉内存在污染物质。

5.2.2 为尽量减少加热引起的变形,在时效消除应力时或薄壁零件淬火时可使用夹具。

5.2.3 除惰性气氛或真空炉外,其它加热炉均应在工件入炉前到温。

5.2.4 应避免将厚度相差悬殊的钛件装在同一炉中进行热处理,但允许工艺参数相同的钛件同一炉热处理。

5.2.5 钛件在炉中的放置方式应能保证炉内气氛在工件之间自由流通,大型零件或零件堆之间应间隔 20mm 以上。

表 1 清除氧化层后的基体金属去除量

温 度 °C	经不同时间加热后应去除基体金属最小深度 μm						
	≤ 0.2	0.2~0.5	0.5~1	1~2	2~6	6~10	10~20
	h						
500—600	不要求	8	13	13	13	25	51
600—700	8	13	25	25	51	76	76
700—760	13	25	25	51	76	76	152
760—820	25	25	51	76	142	152	—
820—930	51	76	142	152	254	—	—
930—980	76	142	152	254	—	—	—
980—1100	152	254	356	—	—	—	—

注:在进行多道次加热时,可在最后一道加热后清除氧化层,加热时间以各次相加计算。

5.2.6 钛件入炉后,根据控制仪表指示判定整个炉膛工作区回复到规定温度时开始计算保温时间。

5.2.7 保温时间的选择应根据热透工件并保证预期的组织转变的要求而定。通常是由有关的试验研究确定。在堆放工件时应按堆件总厚度计算保温时间。

5.2.8 在进行大型焊接件或钎焊组件的真空消除应力退火时,加热温度应是逐步升高的。最好几个保温阶段,热梯度范围可在 10~50°C 内选择。冷却过程应按同样要求执行。

5.3 冷却

5.3.1 空冷 工件从炉中取出放于环境空气条件下冷却。可根据需要采取分散冷、堆冷、沙冷、箱冷或吹风冷。

5.3.2 炉冷 切断加热电源后工件在炉中自行冷却(炉门可按规定关闭或打开)或转移到另一温度较低的炉中保温,气氛应与原加热炉相同。

5.3.3 淬火时从开炉门起至零件完全浸入冷却剂中为止,所允许的最长延迟时间列于表 2。

5.3.4 真空热处理的冷却可以采用随炉冷至室温或冷至 200°C 以下出炉。也可通入纯净惰性气体,如 99.995% 的氩气(或露点小于 -18°C 的氩气)。

表 2 钛件淬火允许延迟时间

零件厚度 mm	允许最长延迟时间 S
<5	6
5~25	8
>25	12

6 热处理规范

表 3 航空钛合金热处理规范

合 金	规格, mm (厚度或直径)	热处理	加热, °C ¹⁾	保温时间, h ²⁾	冷 却
TA2	≤10	消除应力退火	500~600	0.5~1	空冷
		普通退火	600~700	0.5~1	空冷
TA7	≤20	消除应力退火	500~600	0.5~6	空冷
		普通退火(板)	700~750	1	空冷
		普通退火(棒)	750~850	1	空冷
TC1	≤10	消除应力退火	520~650	0.5~1	空冷
		普通退火	700~750	1	空冷
TC3	≤10	消除应力退火	600~700	0.5	空冷
		普通退火	750~800	1	空冷
TC4	≤20	消除应力退火	500~650	2~6	空冷
		普通退火	700~800	1~2	空冷
		固溶处理	900	0.5~1	水冷
		时效	500	2~6	空冷
TC6	≤20	消除应力退火	500~650	1~2	空冷
		普通退火	750~870	1	空冷
		等温退火	870~920	1	炉冷至 550~650°C 并保温 2 小时, 空冷
		双重退火	870~920	1	空冷
TC9	≤20		550~600	2	空冷
		消除应力退火	550~600	1~6	空冷
		双重退火	950~980	1	空冷
TC11	≤20		530	6	空冷
		消除应力退火	500~600	1~6	空冷
		双重退火	950~980	1	空冷
TB2	≤10		530	6	空冷
		固溶处理	720~800	0.3	空冷
		时效	500~550	24	空冷

续表 3

合 金	规格, mm (厚度或 直径)	热处理	加热, °C ¹⁾	保温时 间, h ²⁾	冷 却
Ti-3.5Al-10Mo-8V-1Fe	≤20	消除应力退火	500~550	8~16	空冷
		固溶处理	800	0.5	空冷或水冷
		时效	500~550	8~16	空冷
Ti-4Al-7Mo-1Zr-2Fe-10V	≤10	固溶处理	810~830	0.5~1	水冷
		时效	520~550	8	空冷
Ti-2Cu	≤10	消除应力退火	600	0.5	空冷
		普通退火	790	0.5~2	空冷
		固溶处理	805	0.5	吹风冷
		一次时效	400	8~24	空冷
		二次时效	475	8	空冷
Ti-2.3Al-1.1Sn-5Zr-1Mo-0.2Si	≤20	固溶处理	900	1	空冷(叶片) 油冷(盘)
		时效	500	24	空冷
		普通退火	650	1	空冷或炉冷
ZTC4(铸件)	≤20	消除应力退火	580~620	2	空冷或炉冷
		普通退火	680~720	1	空冷
Ti-5Al-5Mo-2Sn-0.3Si-0.02Ce (铸件)	≤20	消除应力退火	580~620	2	空冷或炉冷
		普通退火	620~670	1~2	空冷

注: 1)在选定温度下,允许加热温度最大偏差为±10℃。

2)退火和固溶处理的软件尺寸每增加10mm或不足10mm的部分应增加保温时间0.1h。

7 质量控制

7.1 进行钛合金热处理时应检查全部程序是否与本说明书要求相一致。

7.2 一般要求按 HB5354 执行。

- 7.3 在不降低性能要求的条件下,钛件可重复进行热处理 1~2 次,已经热处理过的钛件允许重新热处理成另一种状态。
- 7.4 钛件热处理后应按相应的技术条件规定检验力学性能和金相组织。
- 7.5 增氢检验 经过燃气炉热处理过的钛件应按有关规定检验氢含量是否超标。

附录 A
各国航空工业常用钛合金牌号对照表
(参考件)

名义成分 (重量%)	类型	中国	苏联	美国	英国	法国	西德	日本
工业钛(Ti99.5)	α	TA1	BT1-00	Ti-35A	IMI125	T-40	RT15	TS40
工业钛(Ti99.2)	α	TA2	BT1-0	Ti-65A	IMI130	UT-50	RT18	TS50
工业钛(Ti99.0)	α	TA3	BT1	Ti-75A	IMI155	T-50	RT20	TS60
Ti-5Al-2.5Sn	α	TA7	BT5-1	A-110AT	IMI317	T-A5E	LT21	
Ti-2.3Al-1.1Sn-5Zr-1Mo-0.2Si	近 α	IMI679		IMI679	IMI679			
Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Cb-0.25Mo-0.3Si	近 α				IMI829			
Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.25Si	近 α					T-A62D	LT26	
Ti-6Al-1.1Zr-1Mo-0.5Si	近 α		BT18		IMI685			
Ti-6Al-2Sn-1.5Zr-1Mo-0.35Bi-0.1Si	近 α			Ti-11				
Ti-8Al-1Mo-1V	近 α			Ti-8Al-1Mo-1V		T-A8DV	LT22	
Ti-2Cu	α 化合物	IMI230		RMI2Cu	IMI230	T-U2	LT25	
Ti-2Al-2Mn	$\alpha+\beta$	TC1	OT4-1		IMI315			
Ti-4Al-4Mo-2Sn-0.5Si	$\alpha+\beta$				IMI550	T-A4DE	LT34	
Ti-4Al-3Mo-1V	$\alpha+\beta$		BT14	RMI4Al-3Mo-1V		T-A4D3V		
Ti-5Al-5Mo-2Sn-0.3Si-0.02Ce	$\alpha+\beta$	ZT3						
Ti-5Al-4V	$\alpha+\beta$	TC3	BT6C					
Ti-6Al-4V	$\alpha+\beta$	TC4	BT6	C-120AV	IMI318	T-A6V	LT31	
Ti-6Al-2Mo-2Cr-1Fe-0.25Si	$\alpha+\beta$	TC6	BT3-1					
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	$\alpha+\beta$		•	Ti-6242		T-A6Zr4DE	LT24	
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	$\alpha+\beta$			Ti-6246		Ti-6246		
Ti-6Al-6V-2Sn	$\alpha+\beta$			C-125AVT		T-A6V6E2	LT33	
Ti-6.5Al-3.5Mo-2Zr-0.25Si	$\alpha+\beta$	TC11	BT9					
Ti-6.5Al-3.5Mo-2Sn-0.25Si	$\alpha+\beta$	TC9						
Ti-7Al-4Mo-(0.25Si)	$\alpha+\beta$		BT8	Ti-7Al-4Mo		T-A7D	LT32	
Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Sn-2Zr	$\alpha+\beta$			Ti-17				
Ti-4Al-7Mo-1Zr-2Fe-10V	近 β	Ti47121						
Ti-3Al-10V-2Fe	近 β			Ti-1023				
Ti-4.5Al-5Mo-1.5Cr	近 β			Corona5				

续 各国航空工业常用钛合金牌号对照表

名义成分 (重量%)	类型	中国	苏联	美国	英国	法国	西德	日本
Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe	近β		BT22					
Ti-3Al-5Mo-5V-8Cr	近β	TB2						
Ti-11.5Mo-4.5Sn-6Zr	近β		BT30	β-III				
Ti-3.5Al-10Mo-8V-1Fe	近β	Ti22						
Ti-3Al-13V-11Cr	β			B120VCA		T-V13CA	LT41	
Ti-3Al-8V-6Cr+4Mo-4Zr	β			β-C		T-D8C6DZRA		
Ti-3Al-8Mo-8V-2Fe-(1Cr)	β		BT32	Ti8823				
Ti-2Al-11V-2Sn-11Zr	β			Transage129				
Ti-32Mo	β		4201					

附加说明:

本标准由航空工业部六二一研究所提出。

本标准由航空工业部材料、热工艺标准化技术归口单位归口。

本标准由六二一所负责,黎明发动机制造公司、沈阳飞机制造公司、三〇〇七厂参加起草。