



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39192—2020

---

## 高温合金件热处理

Heat treatment of superalloy parts

2020-10-11 发布

2021-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

GB/T 39192—2020

目 次

前言 ..... I

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 热处理设备与工艺材料 ..... 2

5 热处理工艺 ..... 4

6 工艺过程控制..... 16

7 质量检验..... 17

8 重复热处理..... 18

附录 A（资料性附录） 热处理有效厚度计算 ..... 19



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国热处理标准化委员会(SAC/TC 75)提出并归口。

本标准起草单位:贵州航宇科技发展股份有限公司、北京机电研究所有限公司、中国航发黎阳航空动力有限公司、抚顺特殊钢股份有限公司。

本标准主要起草人:谢撰业、李俏、徐永涛、王志刚、王攀智、杨参军、陈懿、王广生。

# 高温合金件热处理

## 1 范围

本标准规定了高温合金件热处理设备与工艺材料、热处理工艺规范、工艺过程控制及质量检验等要求。

本标准适用于装备制造业变形高温合金及等轴晶铸造高温合金的热处理。专用技术文件或订货合同另有规定者除外。

## 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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法  
GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分:高温试验方法  
GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分:试验方法  
GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法  
GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法  
GB/T 3634.2 氢气 第2部分:纯氢、高纯氢和超纯氢  
GB/T 4842 氩  
GB/T 4844 纯氮、高纯氮和超纯氮  
GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法  
GB/T 7232 金属热处理工艺 术语  
GB/T 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮  
GB/T 10066.1 电热和电磁处理装置的试验方法 第1部分:通用部分  
GB/T 10067.1 电热和电磁处理装置基本技术条件 第1部分:通用部分  
GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分:间接电阻炉  
GB/T 14999.7 高温合金铸件晶粒度、一次枝晶间距和显微疏松测定方法  
GB 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求  
GB/T 30825 热处理温度测量  
GB/T 32541 热处理质量控制体系  
JB/T 6955 热处理常用淬火介质技术要求  
JB/T 10457 液态淬火冷却设备技术条件

## 3 术语和定义

GB/T 7232 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**均热时间 temperature equalization time**

从所有温度控制热电偶到达工艺设定温度开始,到工件的心部温度到达工艺设定温度所要求的炉

GB/T 39192—2020

温均匀性下限温度为止的时间。

3.2

冶金转变时间 metallurgical transformation time

从工件的心部温度到达工艺设定温度所要求的炉温均匀性下限温度开始,到工件出炉为止的时间。

4 热处理设备与工艺材料

4.1 加热设备

4.1.1 一般要求

4.1.1.1 高温合金热处理加热通常采用间接电阻炉,常用炉型有空气电阻炉、真空炉、惰性气体炉等。其技术条件应符合 GB/T 10067.1 和 GB/T 10067.4 的规定。

4.1.1.2 高温合金件热处理炉的仪表系统配置至少应满足 GB/T 30825 规定的 D 型仪表系统配置。用于转动件、关键结构件的热处理炉,其仪表系统配置推荐采用 GB/T 30825 规定的 B 型仪表系统配置或在 D 型仪表系统配置的基础上增加一支载荷热电偶。

4.1.1.3 热处理炉使用的温度控制仪、记录仪、保护及报警仪、热电偶(包括载荷热电偶)及补偿导线的精度等级,使用要求及校准周期按照 GB/T 30825 的规定执行。

4.1.1.4 用于固溶处理、中间退火、去应力退火及时效处理的热处理炉的有效加热区炉温均匀性要求见表 1。

表 1 高温合金热处理炉的温度均匀性要求

热处理工艺类别	炉温均匀性要求	热处理炉类别
850 ℃ 及以下温度的去应力退火	±8 ℃	Ⅲ A
850 ℃ 以上温度的去应力退火	±10 ℃	Ⅲ
时效处理	±5 ℃	Ⅱ
固溶或中间退火	±10 ℃	Ⅲ

4.1.1.5 热处理炉的系统精度、有效加热区炉温均匀性测试方法及测试周期按照 GB/T 30825 的规定执行。

4.1.2 空气电阻炉

空气电阻炉用于有足够加工余量的高温合金半成品件的加热。

4.1.3 真空炉

4.1.3.1 真空炉的真空压强应不大于 0.067 Pa,冷态压升率应不大于 1.33 Pa/h。测定方法按 GB/T 10066.1 的规定执行。

4.1.3.2 当真空炉采用回充惰性气体保护加热时,真空炉应配备炉气压力及露点监控系统。炉内气氛的露点应不高于-51 ℃。

4.1.3.3 对真空炉进行炉温均匀性测试时,应在工件生产时采用的最低真空压强的状态下进行,但不需要低于  $1.3 \times 10^{-3}$  Pa。

4.1.3.4 真空传感器、真空压强显示及记录仪应定期校准,推荐每半年对真空测量及记录系统进行一次比对测试,允许的最大误差为±0.5 数量级,见式(1):

$$-0.5 \leq \log P_a - \log P_t \leq 0.5 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：  
 $P_a$  ——真空传感器、真空压强显示及记录仪的示值；  
 $P_t$  ——标准测量设备的示值。

4.1.3.5 若真空炉配备了露点测量装置，应对其进行定期校准，允许的最大测量误差为±5℃。

4.1.4 惰性气体炉

4.1.4.1 在进行炉温均匀性测试时，炉内的气体压强应与工件热处理时的一致。

4.1.4.2 惰性气体炉的炉内气氛露点应不高于-51℃。

4.1.4.3 露点测量系统应定期校准，允许的最大测量误差为±5℃。

4.2 冷却设备

4.2.1 淬火槽

4.2.1.1 淬火槽应符合 JB/T 10457 的规定，安全性能应满足 GB 15735 的规定。

4.2.1.2 淬火槽应配备测温装置，有要求时还应配备温度记录装置。温度显示及记录仪表、热电偶的使用、校准及系统精度测试应符合 GB/T 30825 的规定。

4.2.1.3 淬火槽内应有足够容积的淬火介质并且配备搅拌装置。使用油或聚合物淬火介质时，油或槽液的温升不超过 22℃；使用水淬火时，冷却槽的水温温升不超过 14℃。

4.2.2 风冷设备

风冷设备应满足工件均匀冷却的要求。推荐采用大流量、中低风速且能够对所有工件进行均匀冷却的风冷设备。

4.3 工艺材料

4.3.1 加热保护及冷却气体

4.3.1.1 真空炉及惰性气体炉加热保护及冷却使用的气体应符合表 2 的要求。

表 2 加热保护及冷却气体的要求

气体	要求			标准
	纯度(体积分数) %	氧含量(体积分数) 10 <sup>-6</sup>	露点 ℃	
氮	≥99.99	≤10	≤-51	GB/T 8979
氩	≥99.995	≤5		GB/T 4842
氦	≥99.995	≤5		GB/T 4844
氢	≥99.995	≤5		GB/T 3634.2

4.3.1.2 用氮气作保护气体时，铁基高温合金件热处理最高加热温度为 710℃，镍基高温合金及钴基高温合金件热处理最高加热温度为 770℃。

4.3.1.3 当工件留有足够加工余量或者在使用方允许时才可用氮气作冷却介质。

4.3.2 淬火介质

4.3.2.1 淬火油及聚合物水溶液淬火介质应符合 JB/T 6955 或专用技术文件的要求，使用温度按照供

GB/T 39192—2020

应商的推荐执行。

4.3.2.2 淬火油或聚合物淬火介质使用前应测定其初始冷却特性,如最大冷却速度,最大冷却速度时的温度,300℃时的冷却速度,冷却至600℃、400℃和200℃的时间。

4.3.2.3 淬火油、聚合物水溶液淬火介质及折光仪应按照GB/T 32541的规定进行定期检查,若冷却特性相对于初始冷却特性的变化大于10%时,应及时调整或更换淬火油或聚合物水溶液。

4.3.2.4 若无特殊规定,水淬火时淬火前的水温应控制在10℃~40℃。

5 热处理工艺

5.1 铁基变形高温合金的热处理

常用铁基变形高温合金热处理制度见表3。

表 3 常用铁基变形高温合金热处理制度

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
1	GH1015	板材	中间退火	1 080	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~15 min	空冷或水冷	—
			固溶处理	1 130~1 170			
		棒材、锻件、 环轧件	固溶处理	1 140~1 170	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷或快冷	—
2	GH1016	板材	中间退火	1 080	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~15 min	空冷	—
			固溶处理	1 140~1 180		空冷	—
		棒材、锻件、 环轧件	固溶处理	1 160	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	空冷或快冷	—
3	GH1035	板材	中间退火	1 060~1 100	(1.2~2.0)min/mm×T	空冷	—
			固溶处理	1 100~1 140			
		环轧件	固溶处理	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	水冷	—
			去应力退火	720	(0.4~0.6)min/mm×T+(8~12)h	空冷	—
4	GH1040	棒材、锻件	固溶处理	1 200	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			去应力退火	700	(0.4~0.6)min/mm×T+16 h	空冷	—
5	GH1131	板材	中间退火	1 000~1 070	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~15 min	空冷	—
			固溶处理	1 130~1 170		空冷	—
		棒材、锻件	固溶处理	1 130~1 170	(0.2~0.4)min/mm×T+45 min	空冷或快冷	—
6	GH1140	板材	中间退火	1 050	厚度≤3 mm:10 min~15 min; 厚度(3~5)mm:15 min~20 min	空冷	—
			固溶处理	1 050~1 090		空冷	—
		棒材、锻件	固溶处理	1 070~1 090	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
7	GH2018	板材	退火或固溶	1 110~1 150	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~15 min	空冷	—
			时效	800	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—

表 3 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
8	GH2036	热轧棒材、 锻制棒材	固溶处理	1 140	直径<45 mm:80 min; 直径≥45 mm:(0.2~0.4)min/mm× $T+80$ min	水冷	—
			时效	670 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm× $T+12$ h, 然后随炉升温至 770 ℃~800 ℃保温 (0.2~0.4)min/m× $T+12$ h		空冷	277~311 HBW
		冷拉棒材	固溶处理	1 140	(0.2~0.4)min/mm× $T+80$ min	水冷	—
			时效	670 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm× $T+(12~14)$ h, 然后随炉升温至(770~800)℃保温 (0.2~0.4)min/mm× $T+(10~12)$ h		空冷	277~311 HBW
		锻制圆饼、 环轧件、 盘锻件	固溶处理	1 130~1 140	(0.2~0.4)min/mm× $T+80$ min	水冷	—
			时效	(650~670)℃保温(0.4~0.6)min/mm× $T+$ (14~16)h,然后随炉升温至(770~800)℃保温 (0.2~0.4)min/mm× $T+(16~20)$ h		空冷	277~311 HBW
9	GH2038	棒材	固溶处理	1 180	(0.2~0.4)min/mm× $T+1$ h	水冷	—
			时效	780	(0.2~0.4)min/mm× $T+(16~25)$ h	空冷	240~302 HBW
10	GH2130	棒材	一次固溶	1 180	(0.2~0.4)min/mm× $T+1$ h	空冷	—
			二次固溶	1 050	(0.2~0.4)min/mm× $T+4$ h	空冷	—
			时效	800	(0.2~0.4)min/mm× $T+(16~20)$ h	空冷	269~341 HBW
11	GH2132	板材、丝材、 焊接件、棒 材、锻件、 环轧件	固溶 (制度 A)	980	板材、丝材:15 min~30 min; 其他:(0.2~0.4)min/mm× $T+1$ h	空冷或快冷	—
			时效 <sup>d</sup> (制度 A)	700~760	(0.2~0.4)min/mm× $T+16$ h	空冷	248~341 HBW
		板材、丝材、 焊接件、棒 材、锻件、 环轧件	固溶 (制度 B)	900	板材、丝材:15 min~30 min; 其他:(0.2~0.4)min/mm× $T+1$ h	空冷或快冷	—
			一次时效 (制度 B)	705	(0.4~0.6)min/mm× $T+16$ h	空冷	—
			二次时效 (制度 B)	650	(0.4~0.6)min/mm× $T+16$ h	空冷	277~363 HBW



GB/T 39192—2020

表 3 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
12	GH2135	棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 A)	1 140	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	—
			一次时效 (制度 A)	830	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			二次时效 (制度 A)	650	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	255~321 HBW
		棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 B)	1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	—
			一次时效 (制度 B)	830	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			二次时效 (制度 B)	650	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	277~352 HBW
13	GH2150	锻件、棒材、 环轧件	固溶处理	1 040~1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+1\text{ h}$	空冷	—
			时效	750	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+(16\sim 24)\text{h}$	空冷	277~375 HBW
		板材	固溶处理	1 040~1 080	10 min~15 min	空冷	—
			时效	750	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	—
14	GH2302	锻件、棒材、 环轧件	一次固溶	1 180	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+1\text{ h}$	空冷	—
			二次固溶	1 050	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	—
			时效	800	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	269~241 HBW
		板材	固溶处理	1 120	厚度 $\leq 3\text{ mm}$ ;10 min~15 min; 厚度(3~5)mm;15 min~20 min	空冷	—
			时效	800	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	—
15	GH2696	丝材	时效	700~750	3 h~5 h	空冷	$\geq 40$ HRC
		板材	时效	700~750	3 h~5 h	空冷	35~40 HRC
		I 组冷拉棒	时效	750℃保温 16 h,随后炉冷至 650℃保温 16 h		空冷	—
		II 组冷拉棒	时效	750℃保温 16 h,随后炉冷至 650℃保温 16 h		空冷	—
		III 及 IV 组 冷拉棒	固溶 (制度 A)	1 100	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+1\text{ h}$	油、聚合物 水溶液	—
			时效 (制度 A)	780	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	285~341 HBW

表 3 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
15	GH2696	Ⅲ及Ⅳ组 冷拉棒	固溶 (制度 B)	1 100~1 120	3 h~5 h	油、聚合物 水溶液	—
			一次时效 (制度 B)	840~850	3 h~5 h	空冷	—
			二次时效 (制度 B)	700~730	16 h~25 h	空冷	262~321 HBW
		锻件、环轧 件、热轧棒	固溶 (制度 A)	1 100	(0.2~0.4) min/mm×T+1 h	油、聚合物 水溶液	—
			时效 (制度 A)	780	(0.2~0.4) min/mm×T+16 h	空冷	285~341 HBW
		锻件、环轧 件、热轧棒	固溶 (制度 B)	1 100~1 120	(0.2~0.4) min/mm×T+3 h	油、聚合物 水溶液	—
			一次时效 (制度 B)	840~850	(0.2~0.4) min/mm×T+3 h	空冷	—
			二次时效 (制度 B)	700~730	(0.2~0.4) min/mm×T+(16~25)h	空冷	262~321 HBW
		16	GH2706	板材、带材、 棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 A)	980	板材、带材:(0.2~0.4) min/mm× T+5 min;棒材、锻件、环轧件: (0.2~0.4) min/mm×T+30 min
板材、带材、 棒材、锻件、 环轧件	时效 <sup>e</sup> (制度 A)			730 ℃ 保温 (0.4~0.6) min/mm×T+8 h,随后 炉冷至 620 ℃ 保温(0.4~0.6) min/mm×T+8 h		空冷	≥285 HBW
板材、带材、 棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 B)			930~955	板材、带材:(0.2~0.4) min/mm× T+5 min;棒材、锻件、环轧件: (0.2~0.4) min/mm×T+30 min	空冷	—
	稳定化处理 (制度 B)			843	(0.2~0.4) min/mm×T+3 h	空冷	
	时效 <sup>e</sup> (制度 B)			720 ℃ 保温 (0.4~0.6) min/mm×T+8 h,随后 炉冷至 620 ℃ 保温(0.4~0.6) min/mm×T+8 h		空冷	≥303 HBW
17	GH2761			大型锻件、 涡轮盘	固溶处理	1 120	(0.2~0.4) min/mm×T+2 h
		一次时效	850		(0.2~0.4) min/mm×T+4 h	空冷	—
		二次时效	750		(0.4~0.6) min/mm×T+24 h	空冷	271~388 HBW
		棒材及环 轧件	固溶处理	1 090	(0.2~0.4) min/mm×T+2 h	水冷	—
			一次时效	850	(0.2~0.4) min/mm×T+4 h	空冷	—
			二次时效	750	(0.4~0.6) min/mm×T+24 h	空冷	321~415 HBW

GB/T 39192—2020

表 3（续）

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
18	GH2901	棒材及锻件	固溶	1 065~1 090	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	水冷或油冷	—
			一次时效	775~800	(0.2~0.4)min/mm×T+(2~4)h	空冷	—
			二次时效	705~730	(0.4~0.6)min/mm×T+24 h	空冷	302~388 HBW
19	GH2903	环轧件	固溶处理	845	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			时效 <sup>e</sup>	720 ℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h， 随后以(45~65)℃/h 炉冷至 620 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm×T+8 h		空冷	341~415 HBW
20	GH2907	棒材、 环轧件	固溶处理	980	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
			时效	775 ℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+(8~12)h， 随后炉冷至 620 ℃ 保温(0.4~0.6)min/mm× T+8 h		空冷	302~375 HBW
21	GH2909	棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 A)	980	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			时效 <sup>f</sup> (制度 A)	720 ℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h， 随后以(45~65)℃/h 炉冷至 620 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm×T+8 h		空冷	≥331 HBW
		棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 B)	980	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			时效 <sup>g</sup> (制度 B)	745 ℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+4 h， 随后以(45~65)℃/h 炉冷至 620 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm×T+4 h		空冷	≥331 HBW
注：T 为有效厚度，其计算可参考附录 A 进行。							
<p><sup>a</sup> 加热温度不包括炉温均匀性公差。</p> <p><sup>b</sup> 保温时间包括均热时间及冶金转变时间。例如，保温时间要求 0.4 min/mm×T+8 h，其中 0.4 min/mm×T 为均热时间，8 h 为冶金转变时间。均热系数仅适用于空气电阻炉及气氛保护炉工件单层装炉的情况。采用叠装时，按照 6.4.3 的方法测定均热时间。表中冶金转变时间为定值时，按以下规定执行：保温时间≤1 h，时间偏差为±10%；保温时间 1 h~3 h，时间偏差为±6 min；保温时间≥3 h，时间偏差为±15 min。</p> <p><sup>c</sup> 当冷却方式为快冷时，依据工件大小可以选用风冷、油冷、聚合物水溶液或水进行冷却。</p> <p><sup>d</sup> 若缺口持久性能不合格，允许在 650 ℃补充时效 12 h。</p> <p><sup>e</sup> 可以不控制冷速，但总时效时间不低于 18 h。</p> <p><sup>f</sup> 可以不控制冷速，但总时效时间不低于 18 h。时效后若缺口持久性能不合格，允许重复时效。</p> <p><sup>g</sup> 可以不控制冷速，但总时效时间不低于 10 h。若缺口持久性能不合格，允许重复时效。</p>							

5.2 镍基、钴基变形高温合金的热处理

常用镍基、钴基变形高温合金热处理制度按表 4 规定。

表 4 常用镍基、钴基变形高温合金热处理制度

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
1	GH3030	板材、焊接件	固溶处理	980~1 020	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
		丝材	固溶处理	980~1 020	直径≤3 mm:8 min~12 min; 直径(3~5)mm:12 min~16 min	空冷或水冷	—
		冷拉棒材	固溶处理	980~1 020	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷或快冷	—
		环轧件、锻件	固溶处理 <sup>d</sup>	980~1 020	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
2	GH3039	板材	固溶处理	1 050~1 090	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
		棒材、锻件	中间退火	1 050	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷	—
			固溶处理	1 050~1 090	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷或快冷	—
3	GH3044	板材	固溶处理	1 120~1 160	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
		棒材、锻件、 环轧件	中间退火	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	空冷	—
			固溶处理 <sup>e</sup>	1 120~1 160	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	空冷	—
4	GH3128	板材	固溶处理	1 140~1 180	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
		棒材、锻件	中间退火	1 100	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	空冷	—
			固溶处理 <sup>e</sup>	1 150~1 170	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
5	GH3536	板材	固溶处理	1 130~1 170	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
		棒材、锻件、 环轧件	去应力退火	870	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			固溶处理	1 175	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	空冷或快冷	—
6	GH3625	棒材、板材、 锻件、环轧件	去应力退火	900	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			固溶处理 (制度 A)	925~1 030	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	板材:空冷, 其他:快冷	—
		棒材、板材、 锻件、环轧件	固溶处理 (制度 B)	1 090~1 200	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	板材:空冷, 其他:快冷	—

GB/T 39192—2020

表 4 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
7	GH4033	转动件用棒材及锻件	固溶处理	1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效	700	$0.4\sim 0.6\text{ min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	255~321 HBW
		一般用途的棒材及锻件	固溶处理 (制度 A)	1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效 (制度 A)	700 或 750	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	255~321 HBW
		环锻件及锻制饼件	固溶处理 (制度 B)	1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效 <sup>f</sup> (制度 B)	750	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	255~321 HBW
8	GH4037	棒材及锻件	一次固溶	1 170~1 180	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+2\text{ h}$	空冷	—
			二次固溶	1 050	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	缓冷	—
			时效	800	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	269~341 HBW
9	GH4049	棒材、锻件	一次固溶	1 200	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+2\text{ h}$	空冷	—
			二次固溶	1 050	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	—
			时效	850	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	302~363 HBW
10	GH4080A	冷轧薄板、带材加工的零件	时效	750	4 h	空冷	$\geq 285$ HBW
		叶片使用棒材、叶片毛坯	固溶处理	1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效	700	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	$\geq 285$ HBW
		棒材、锻件、其他零件	中间退火	1 060	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+30\text{ min}$	空冷或快冷	—
			固溶处理	1 080	$0.2\sim 0.4\text{ min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷或快冷	—
			时效	700℃保温 $(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$ , 或者 750℃保温 $(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$		空冷	$\geq 285$ HBW
		闪光焊环	一次固溶	1 120	$0.2\sim 0.4\text{ min/mm}\times T+1\text{ h}$	水冷	—
			二次固溶	1 050~1 080	$(0.2\sim 0.4)\text{min/mm}\times T+2\text{ h}$	水冷	—
			时效	750	$(0.4\sim 0.6)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	$\geq 285$ HBW

表 4 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
11	GH4090	冷轧薄板、带材加工的零件	时效	700~725	4 h	空冷	—
		冷拉丝加工的弹簧	时效	600 ℃保温 16 h,或者 650 ℃保温 4 h		空冷	—
		棒材、锻件	固溶处理	1 080	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷或快冷	—
			时效	750	$(0.4\sim0.6)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	—
12	GH4093	棒材、锻件	固溶处理	1 050~1 080	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效	710	$(0.4\sim0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	—
13	GH4099	板材加工的结构件	中间退火	1 100	15 min~20 min	空冷或快冷	—
			固溶处理	1 120~1 160	厚度 $\leq 3\text{ mm}$ ;8 min~12 min; 厚度 $(3\sim5)\text{ mm}$ ;12 min~16 min	空冷	—
			时效	900 ℃保温+5 h或 800 ℃保温 8 h		空冷	—
14	GH4133 GH4133B	饼坯、盘件、环件、棒材	固溶处理	1 080	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+8\text{ h}$	空冷	—
			时效	750	$(0.4\sim0.6)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	262~363 HBW
15	GH4141	锻件、环件、棒材	退火 (制度 A)	1 080	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+30\text{ min}$	快冷	—
			固溶处理 (制度 A)	1 065	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+30\text{ min}$	空冷或快冷	—
			时效 (制度 A)	760	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+16\text{ h}$	空冷	$\geq 346$ HBW
			退火 (制度 B)	1 080	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+1\text{ h}$	快冷	—
			固溶处理 (制度 B)	1 120	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+30\text{ min}$	空冷	—
			时效 (制度 B)	900	$(0.2\sim0.4)\text{min/mm}\times T+4\text{ h}$	空冷	$\geq 283$ HBW

GB/T 39192—2020

表 4 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
16	GH4145	A类交货状态丝材加工的弹簧	时效	650	4 h	空冷	—
		棒材、锻件、环轧件	固溶 (制度 A)	1 150	(0.4~0.6)min/mm×T+2 h	空冷	—
			时效 (制度 A)	方案 1:840℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+24 h, 随后在 2 h 内空冷到 705℃以下,然后重新加热到 705℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+(19~21)h。 方案 2:840℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+24 h, 随后在 2 h 内炉冷到 705℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+(19~21)h		空冷	262~341 HBW
			固溶 (制度 B)	980	(0.4~0.6)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
			时效 (制度 B)	730℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h, 随后以(45~65)℃/h的冷速炉冷到 620℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h		空冷	302~401 HBW
17	GH4163	棒材、锻件、环轧件	固溶处理	1 150	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷或快冷	—
			时效	800	(0.2~0.4)min/mm×T+8 h	空冷	—
18	GH4169	弹簧	冷拉+时效 <sup>g</sup>	720℃保温 8 h,随后以(45~65)℃/h的冷速炉冷到 620℃保温 8 h		空冷	≥42 HRC
		棒材、锻件、环轧件、盘件	中间退火	940~960	(0.2~0.4)min/mm×T+30 min	空冷或快冷	—
		棒材、锻件、环轧件、盘件	固溶处理 (制度 A)	950~1 010	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
			时效 <sup>g</sup> (制度 A)	720℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h, 随后以(45~65)℃/h的冷速炉冷到 620℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h		空冷	341~450 HBW
		棒材、锻件、环轧件	固溶处理 (制度 B)	1 020~1 055	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
			时效 (制度 B)	775~800	(0.2~0.4)min/mm×T+(6~9)h	空冷	298~354 HBW

表 4 (续)

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
19	GH4202	管材、冷轧 板材	固溶处理	1 080	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
			时效	850	5 h	空冷	—
		棒材、锻件	固溶处理 (制度 A)	1 100~1 150	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			时效 (制度 A)	800~850	(0.2~0.4)min/mm×T+(5~10)h	空冷	240~340 HBW
			固溶处理 (制度 B)	1 000	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			时效 (制度 B)	750	(0.4~0.6)min/mm×T+16 h	空冷	—
20	GH4220	棒材、锻件	一次固溶	1 220	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			二次固溶	1 050	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			时效	950	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	空冷	285~341 HBW
21	GH4500	棒材、锻件、 环轧件	一次固溶	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	空冷	—
			二次固溶	1 080	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			一次时效	845	(0.2~0.4)min/mm×T+24 h	空冷	—
			二次时效	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	≥345 HBW
22	GH4648	板材	固溶处理	1 130~1 150	厚度≤3 mm:8 min~12 min; 厚度(3~5)mm:12 min~16 min	空冷	—
			时效	880~920	16 h	空冷	—
		棒材、锻件、 环轧件	固溶处理	1 120~1 170	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—
			时效	880~920	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
23	GH4698	棒材、锻件	一次固溶	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+8 h	空冷	—
			二次固溶	1 000	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			一次时效	775	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
			二次时效	700	(0.2~0.4)min/mm×T+(16~24)h	空冷	285~341 HBW
24	GH4710	棒材、锻件、 环轧件	一次固溶	1 170	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			二次固溶	1 080	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			一次时效	845	(0.2~0.4)min/mm×T+24 h	空冷	—
			二次时效	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	≥360 HBW



GB/T 39192—2020

表 4（续）

序号	合金牌号	工件类型	工艺名称	热处理制度			硬度
				加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
25	GH4738	棒材、锻件、 环轧件	固溶处理 (制度 A)	1 080	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			一次时效 (制度 A)	845	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h； 叶片锻件:24 h	空冷	—
			二次时效 (制度 A)	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	32~42 HRC
			固溶处理 (制度 B)	996~1 038	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	油、水、聚合 物水溶液	—
			一次时效 (制度 B)	845	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			二次时效 (制度 B)	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	321~437 HBW
		紧固件	固溶处理	1 040~1 080	(0.2~0.4)min/mm×T+(1~4)h	空冷	—
			一次时效	845	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
			二次时效	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
26	GH5188	棒材、锻件、 环轧件	固溶处理	1 175	(0.2~0.4)min/mm×T+(30~60)min	快冷	—
			去应力退火	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	快冷	—
27	GH5605	棒材、锻件、 环锻件	固溶处理	1 175~1 230	(0.2~0.4)min/mm×T+15 min	快冷	—
28	GH5783	棒材、锻件、 环轧件	固溶处理	1 105~1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
			一次时效	845	(0.2~0.4)min/mm×T+(2~4)h	空冷	—
			二次时效 <sup>g</sup>	720 ℃保温(0.4~0.6)min/mm×T+8 h,随后以 (45~65)℃/h 的冷速炉冷到 620 ℃保温 (0.4~0.6)min/mm×T+8 h		空冷	≥27 HRC
注：T 为有效厚度，其计算可参考附录 A 进行。							
<p><sup>a</sup> 加热温度不包括炉温均匀性公差。</p> <p><sup>b</sup> 保温时间包括均热时间及冶金转变时间。例如，保温时间要求 0.4 min/mm×T+8 h，其中 0.4 min/mm×T 为均热时间，8 h 为冶金转变时间。均热系数仅适用于空气电阻炉及气氛保护炉工件单层装炉的情况。采用叠装时，按照 6.4.3 的方法测定均热时间。表中冶金转变时间为定值时，按以下规定执行：保温时间≤1 h，时间偏差为±10%；保温时间 1 h~3 h，时间偏差为±6 min；保温时间≥3 h 时间偏差为±15 min。</p> <p><sup>c</sup> 当冷却方式为快冷时，依据工件大小可以选用风冷、油冷、聚合物水溶液或水进行冷却。</p> <p><sup>d</sup> 为了获得高的热强性，可提高固溶温度至 1 150 ℃。</p> <p><sup>e</sup> 为了获得高的热强性，可提高固溶温度至 1 200 ℃。</p> <p><sup>f</sup> 适合于 700 ℃温度下使用的零件。</p> <p><sup>g</sup> 可以不控制炉冷速度，但总时效时间不低于 18 h。</p>							

5.3 铸造高温合金的热处理

常用铸造高温合金热处理制度按表 5 规定。

表 5 常用铸造高温合金热处理制度

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
1	K211	时效	900	(0.2~0.4)min/mm×T+5 h	空冷	—
2	K214	固溶处理	1 100	(0.2~0.4)min/mm×T+5 h	空冷	—
3	K401	固溶处理	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+10 h	空冷	—
4	K403	固溶处理	1 210	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
5	K406	固溶处理	980	(0.2~0.4)min/mm×T+5 h	空冷	—
6	K406C	固溶处理	980	(0.2~0.4)min/mm×T+5 h	空冷	—
7	K408	固溶处理	1 150	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
8	K409	固溶处理	1 080	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	或铸态使用
		时效	980	(0.2~0.4)min/mm×T+10 h	空冷	
9	K412	固溶处理	1 150	(0.2~0.4)min/mm×T+7 h	空冷	—
10	K418	固溶处理	1 180	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	空冷	或铸态使用
		时效	930	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	
11	K423	固溶处理	1 190 ℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+15 min， 随后在 45 min 内炉冷至 1 000 ℃出炉		空冷	或铸态使用
12	K424	固溶处理	1 210	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	或铸态使用
13	K438	固溶处理	1 120	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	空冷	—
		时效	850	(0.2~0.4)min/mm×T+24 h	空冷	—
14	K441	固溶处理	1 100 ℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+2 h， 随后炉冷至 900 ℃出炉		空冷	—
15	K477	固溶处理	1 160 ℃保温(0.2~0.4)min/mm×T+2 h， 随后炉冷至 1 080 ℃出炉		空冷	—
		时效	760	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
16	K480	均匀化	1 220	(0.2~0.4)min/mm×T+2 h	空冷	—
		一次固溶	1 090	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
		二次固溶	1 050	(0.2~0.4)min/mm×T+4 h	空冷	—
		时效	840	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
17	K491	固溶处理	随炉升温至 1 080 ℃，(0.2~0.4)min/mm×T+4 h		空冷	—
		时效	900	(0.2~0.4)min/mm×T+10 h	空冷	—
18	K4002	时效	870	(0.2~0.4)min/mm×T+16 h	空冷	—
19	K4130	去应力 退火	1 040	(0.2~0.4)min/mm×T+1 h	空冷	—

表 5（续）

序号	合金牌号	工序名称	热处理工艺			备注
			加热温度/℃ <sup>a</sup>	保温时间 <sup>b</sup>	冷却方式 <sup>c</sup>	
20	K4163	固溶	1 150	(0.2~0.4) min/mm×T+2 h	空冷	—
		时效	800	(0.2~0.4) min/mm×T+8 h	空冷	—
21	K4169	均匀化	1 095	(0.2~0.4) min/mm×T+1 h	空冷或快冷	—
		固溶处理	955	(0.2~0.4) min/mm×T+(1~2)h	空冷	—
		时效 <sup>d</sup>	720 ℃保温(0.4~0.6) min/mm×T+8 h,随后以 45 ℃/h~65 ℃/h 的冷速炉冷到 620 ℃保温 (0.4~0.6) min/mm×T+8 h		空冷	—
注：表中 $T$ 为有效厚度,其计算可参考附录 A 进行。						
<p><sup>a</sup> 加热温度不包括炉温均匀性公差。</p> <p><sup>b</sup> 保温时间包括均热时间及冶金转变时间。例如,保温时间要求 <math>0.4\text{ min/mm}\times T+8\text{ h}</math>,其中 <math>0.4\text{ min/mm}\times T</math> 为均热时间,8 h 为冶金转变时间。均热系数仅适用于空气电阻炉及气氛保护炉工件单层装炉的情况。采用叠装时,按照 6.4.3 的方法测定均热时间。表中冶金转变时间为定值时,按以下规定执行:保温时间<math>\leq 1\text{ h}</math>,时间偏差为<math>\pm 10\%</math>;保温时间 <math>1\text{ h}\sim 3\text{ h}</math>,时间偏差为<math>\pm 6\text{ min}</math>;保温时间<math>\geq 3\text{ h}</math> 时间偏差为<math>\pm 15\text{ min}</math>。</p> <p><sup>c</sup> 当冷却方式为快冷时,依据工件大小可以选用风冷、油冷、聚合物水溶液或水进行冷却。</p> <p><sup>d</sup> 可以不控制炉冷速度,但总时效时间不低于 18 h。</p>						

6 工艺过程控制

6.1 工件热处理前的表面状态及工装要求

- 6.1.1 工件装炉前应进行清洗。加工余量小于 0.3 mm 或无加工余量的工件进行真空或惰性气氛热处理时,表面应保持干燥清洁,入炉前应无指印、标识印迹及其他污染痕迹。
- 6.1.2 工件表面应无折叠、裂纹等缺陷。尖角应进行倒圆或倒角。
- 6.1.3 热处理工装、夹具应保证工件能够均匀加热及冷却。
- 6.1.4 采用惰性气氛热处理或真空热处理时,夹具接触工件的部分也应保证清洁。真空热处理时应避免夹具与工件在高温下发生粘接。

6.2 装炉

- 6.2.1 相邻工件之间应有足够的间隔。特别是采用叠装时,应保证炉气能够在其内外表面流动畅通、均匀加热及冷却。
- 6.2.2 工件应平稳摆放在料架、料盘、料框或专用夹具上,确保工件全部在有效加热区内。
- 6.2.3 当通过载荷热电偶来计算保温时间时,应将热电偶插入工件或等效试块事先加工的孔内,并且热电偶顶端应与孔底部接触,孔与热电偶的间隙用陶瓷纤维等进行密封。孔底部应位于工件或等效试块最大截面处的中心。如果采用等效试块,其长度应至少为最大厚度的 3 倍。

6.3 加热

- 6.3.1 对于尺寸较大、形状复杂的工件,固溶处理加热时推荐采用预热或分段加热的方式。预热温度



一般为 800 ℃~850 ℃; 固溶处理温度在 1 000 ℃以上时, 一般采用两段或两段以上的分段加热。对于有预热或分段加热的热处理, 工件应在预热温度或分段加热的低温段温度以下入炉。

6.3.2 无预热或分段加热要求时, 工件应按照工艺规定随炉升温或在炉温到达设定温度并且稳定后装炉。若无具体规定, 优先采用到温装炉加热的方式。

## 6.4 保温时间

6.4.1 当未采用载荷热电偶计算保温时间时, 应以炉内所有控温热电偶指示温度均达到工艺设定温度时开始计算保温时间。

6.4.2 当通过载荷热电偶计算保温时间时, 保温时间应从所有的热电偶(包括控温、记录、报警及保护热电偶)到达工艺设定温度所要求的炉温均匀性下限温度时开始计算保温时间。若载荷热电偶埋于工件或等效试块的心部, 应从表 3~表 5 中给出的保温时间中扣除均热时间, 只保留冶金转变时间。表 3~表 5 给出的均热时间的计算仅适用于空气电阻炉及惰性气氛炉。

6.4.3 当工件采用叠装或者使用料架进行多层装炉时, 应通过负载热电偶来确定均热时间, 并且在测定均热时间时, 装炉的工件数量应为生产中实际的最大装炉数量。

6.4.4 至少使用 2 支载荷热电偶来测量均热时间。将一支载荷热电偶固定在中间层中心位置的工件或等效试块的心部, 另外一支固定在加热炉温度低点或最靠近温度低点位置的工件或等效试块的心部。温度低点的位置应基于最近一次炉温均匀性测试的结果来确定。工件及负载热电偶按照生产中实际采用的升温方式(随炉升温, 预热、分段加热或到温装炉)进行升温。记录最后一支控温热电偶到达工艺设定温度的时间以及所有热电偶(包括控温、记录、报警及保护及载荷热电偶)到达工艺设定温度所要求的炉温均匀性下限温度的时间。两者的时间差值即为均热时间。

6.4.5 对于真空热处理, 应通过载荷热电偶确定工件的均热时间。若不能通过加装载荷热电偶确定工件的均热时间, 取空气电阻炉加热时均热时间的 2 倍作为真空加热的均热时间。

## 6.5 真空热处理分压

采用真空热处理时, 真空工作压强一般应不大于 0.133 Pa。当采用回充气体的方式时, 分压压强控制在 1.33 Pa~13.3 Pa。

## 6.6 冷却

采用油冷、聚合物水溶液、水冷、风冷或气冷的工件, 在工件应冷却至 200 ℃以下时才允许出槽、停止风冷或停止气冷。

## 6.7 记录

若无特殊规定, 热处理过程的记录及资料保存按照 GB/T 32541 的规定执行。

## 7 质量检验

### 7.1 外观

7.1.1 工件热处理后表面不应存在裂纹等缺陷。

7.1.2 经真空或者惰性气氛热处理后的工件表面允许出现轻微的淡黄色氧化。

### 7.2 金相检验

7.2.1 变形高温合金的平均晶粒度按照 GB/T 6394 或专用技术文件的规定进行检测。铸造高温合金的平均晶粒度按照 GB/T 14999.7 的规定进行检验。

## **GB/T 39192—2020**

7.2.2 显微组织的检查按照专用技术文件的规定进行。

### **7.3 力学性能**

7.3.1 硬度检验按 GB/T 230.1 或 GB/T 231.1 的规定进行。

7.3.2 室温拉伸性能按 GB/T 228.1 的规定进行。

7.3.3 高温拉伸性能按 GB/T 228.2 的规定进行。

7.3.4 持久及蠕变性能按 GB/T 2039 的规定进行。

## **8 重复热处理**


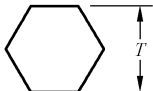

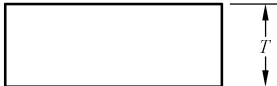
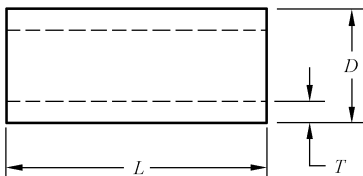
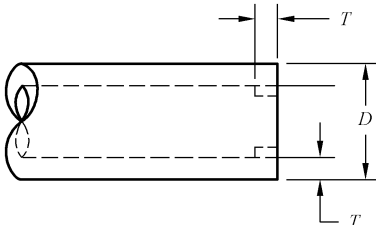
工件热处理后若出现力学性能不合格,允许重复热处理一次。补充时效不列入重复热处理。



附录 A  
(资料性附录)  
热处理有效厚度计算

表 A.1 给出了几种简单形状的工作与等效圆柱形的关系。

表 A.1 热处理有效厚度计算

实心体, 长度 $L$			
圆柱形	六方	四方	长方或平板
 $ER = T$	 $ER = 1.1T$	 $ER = 1.25T$	 $ER = 1.5T$
当长度 $L < T$ 时, 当作厚度为 $L$ 的平板处理			
管材, 环件及筒形件			
通孔	一端的孔收小或封闭		
 $ER = 2T$ 当 $L < D$ , 按照厚度为 $T$ 的平板处理; 当 $L < T$ , 按照厚度为 $L$ 的平板处理	 当 $D < 65\text{ mm}$ , $ER = 2.5T$ ; 当 $D \geq 65\text{ mm}$ , $ER = 3.5T$		
注: $D$ 为孔的外径; $T$ 为有效厚度; $ER$ 为等效圆柱形。			