ICS 25.200
CCS V 16

T/CS

团 体 标 准

T/CS 511—2026

高温合金热处理工艺操作规程

Standard operating procedure for heat treatment of superalloys

2026－07－09 发布 2026－07－09 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　基本要求 1
4.1　人员要求 2
4.2　设备要求 2
4.3　工艺材料 2
5　工艺准备 3
5.1　工件预处理 3
5.2　设备检查 3
5.3　工艺确认 4
6　热处理工艺 4
6.1　固溶处理 4
6.2　时效处理 5
6.3　消除应力处理 6
6.4　退火处理 6
6.5　特殊工艺 6
7　工艺过程控制 7
7.1　工件热处理前的表面状态及工装要求 7
7.2　装炉 7
7.3　加热与保温控制 7
7.4　冷却控制 8
8　质量检验 8
8.1　外观 8
8.2　金相检验 8
8.3　力学性能 8
8.4　无损检测 8

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由温州金合特种材料制造有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：温州金合特种材料制造有限公司、贵州速威宇航合金材料有限公司、浙江浙能绍兴滨海热电有限责任公司、江苏聚顺金属制品有限公司、浙江亚特电器股份有限公司、北京砺盈科技有限公司、中国能源建设集团浙江火电建设有限公司、杭州砺盈科技有限公司、砺盈（杭州）市场调查有限公司、浙江创诺汽车零部件股份有限公司、河南巩城发展供应链管理有限公司、石家庄铁道大学、河南四方达超硬材料股份有限公司、河南亨特彩铝科技有限公司、湖南华菱湘潭钢铁有限公司、湖南楚湘建设工程集团有限公司、栾川县康瑞破岩工程有限公司、枣强县郎泰玻璃钢制品有限公司、河南省磊鑫地质矿产有限责任公司、新疆湘润新材料科技有限公司。

本文件主要起草人：丁灿军、张艺仟、屠奕仁、陈扣林、叶强、周利、王迪信、顾迎旦、吕坤荣、林鸿、邵龙章、王佳良、刘鹏程、魏家树、王月祥、高黄领、黄林华、李勤学、彭再富、李国美、曾子涛、肖华强、邓奎、冯伟、李昌才、李元利、曹全喜、邢嘉润、赵俊淇、蔡海波、张卫浩、田超年。

高温合金热处理工艺操作规程

1 范围

本文件规定了高温合金热处理工艺操作的基本要求、工艺准备、热处理工艺、工艺过程控制、质量检验。

本文件适用于变形高温合金、等轴晶铸造高温合金零件的热处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮

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/T 30825 热处理温度测量

JB/T 6955 热处理常用淬火介质 技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

固溶处理 solution treatment

将高温合金加热至高温单相区并保温足够时间，使强化相充分溶解到基体中，随后以较快的冷却速率冷却，获得过饱和固溶体，为后续时效处理析出强化相奠定基础的热处理工艺。

3.2

时效处理 aging treatment

将固溶处理后的高温合金加热至低于固溶温度的某一特定温度并保温一定时间，使过饱和固溶体中的强化相均匀、弥散地析出，从而显著提高高温合金的高温强度、硬度、蠕变性能及疲劳性能的热处理工艺。

3.3

炉温均匀性 temperature uniformity

热处理炉有效加热区内，各测点温度与设定温度的最大偏差范围，是保证工件各部位受热均匀、组织性能一致的关键指标，分为空载均匀性与负载均匀性，本规程中未特殊说明时，均指负载均匀性。

4 基本要求

4.1 人员要求

4.1.1 操作人员应经专业培训，考核合格后持证上岗，证书到期应重新考核换证。
4.1.2 操作人员应熟悉所处理工件的材质、牌号、工艺要求，准确识别工艺文件，熟练操作热处理设备，及时发现并上报工艺过程中的异常情况。
4.1.3 技术人员应具备高温合金热处理专业知识，根据工件材质、性能要求制定或调整热处理工艺，指导操作人员进行作业，并对工艺执行情况进行监督。
4.1.4 质检人员应熟悉相关检验标准，具备相应的检验技能，准确完成外观、尺寸、硬度、力学性能等检验项目，出具真实、准确的检验报告。
4.1.5 所有相关人员应定期参加技能培训与考核，及时掌握新技术、新工艺、新设备的使用方法，确保操作与检验的准确性。

4.2 设备要求

4.2.1 高温合金热处理加热宜采用间接电阻炉，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。
4.2.2 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应符合表 1 的规定。

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 ℃	IIIA
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

4.2.3 控温系统应符合 GB/T 30825 规定的 B 型或 D 级配置，具备自动控温、连续记录、超温报警、断电保护、故障自检等功能；温度记录精度不大于±1 ℃，记录间隔不大于 10 min，记录数据可追溯、不可篡改。
4.2.4 热电偶（优先选用 S 型、B 型）、补偿导线应定期校准（校准周期≤6 个月），在校准有效期内使用；热电偶安装位置应合理，确保能准确反映炉内实际温度，避免靠近加热元件或炉门。
4.2.5 冷却系统应具备快速气冷、油冷、水冷能力，冷却速率可控；气冷系统的气体压力不小于 0.6 MPa，流量可调；油冷系统应配备油温控制系统、搅拌装置及防火防爆装置；水冷系统应配备水质过滤装置，防止管道堵塞，冷却水温不大于 40 ℃，水压稳定。
4.2.6 真空炉的真空系统应具备良好的密封性，极限真空度≤10^{-3} Pa，真空度回升速率不大于 0.1 Pa/h（空载状态）；真空系统应定期检查、维护，及时更换密封件与真空泵油。
4.2.7 配备专用起重设备额定载荷应满足工件吊运需求，具备限位、防脱钩等安全装置；配备工件清洗设备（超声波清洗机、碱性清洗槽等）、烘干设备、表面处理设备（喷砂、酸洗设备）及检验设备（硬度计、金相显微镜、三坐标测量仪等）。
4.2.8 应建立设备台账，定期对设备进行清洁、检查、维护与保养，记录维护内容、时间及人员；设备出现故障时，应立即停机，由专业人员进行维修，维修合格后方可重新使用，严禁设备带故障运行。

4.3 工艺材料

4.3.1 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^{-6}	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

4.3.2　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，使用温度按照供应商的推荐执行。

4.3.3　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。

4.3.4　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。

4.3.5　若无特殊规定，水淬火时淬火前的水温应控制在 10 ℃～40 ℃。

4.3.6　工装料具应采用耐高温合金或陶瓷材料制作，不得与工件发生化学反应、粘连或污染工件表面；工装料具应定期检查，发现变形、开裂、氧化严重时，应及时更换；料盘、夹具的承载能力应满足工件重量要求，摆放平稳。

4.3.7　防氧化涂层应采用符合环保要求的高温防氧化涂层，涂层应均匀、致密，不含有害物质，不污染工件表面，且在热处理过程中不脱落、不分解；涂层的使用方法应严格按照产品说明书执行。

4.3.8　清洗材料应采用碱性清洗剂、有机溶剂（如乙醇、丙酮）等，符合环保要求，不腐蚀工件表面；清洗剂应定期更换，保持清洁，避免因清洗剂污染导致工件表面缺陷。

5　工艺准备

5.1　工件预处理

5.1.1　工件入炉前，应进行表面清洁处理，确保表面无油污、锈蚀、毛刺、焊渣、粉尘、涂层残留等杂质；对于有油污的工件，采用碱性清洗剂浸泡、超声波清洗或有机溶剂擦拭，清洗后用清水冲洗干净，再进行烘干处理。

5.1.2　对于有锈蚀的工件应采用机械打磨、酸洗等方式去除锈蚀，酸洗后应及时进行中和、钝化处理，防止二次锈蚀；酸洗过程应严格控制酸液浓度、温度及时间，避免过度酸洗导致工件表面损伤。

5.1.3　对于易变形、易开裂的复杂工件（如薄壁件、异形件），应使用专用夹具固定，夹具与工件接触部位应垫软质材料（如高温陶瓷垫），避免夹具划伤工件表面或导致工件变形；夹具的设计应符合工件形状要求，确保工件在热处理过程中受力均匀、位置稳定。

5.1.4　工件预处理后，应进行外观检查，确认表面无缺陷、清洁度符合要求后，方可进入下一工序；对于批量工件，应抽取 5%～10%进行抽样检查，不合格的工件需重新处理。

5.2　设备检查

5.2.1　加热设备检查应包括下列内容：

a)　炉体密封是否良好；

b)　加热元件是否完好，有无断裂、变形、氧化现象；

c)　炉内是否清洁，有无杂物、残留工件或氧化皮，如有应及时清理。

5.2.2　控温与测温系统检查应包括下列内容：

a)　温度仪表、记录仪、热电偶、补偿导线是否正常；

b)　启动控温系统应进行空载升温测试，确认温度显示准确、控温稳定，超温报警功能有效。

5.2.3　冷却系统检查应包括下列内容：

a） 冷却水管、气管、油管是否畅通，有无泄漏；
b） 冷却水泵、气泵、油泵是否正常运行；
c） 淬火油的油位、油温是否符合要求，搅拌装置是否正常；
d） 水冷系统的水质、水压是否稳定。

5.2.4 真空系统检查应包括下列内容：
a） 检查真空泵、真空阀门是否正常运行；
b） 进行空载真空度测试，确认极限真空度、真空度回升速率符合要求；
c） 真空管道是否密封良好，有无泄漏。

5.2.5 辅助设备检查应包括下列内容：
a） 起重设备的运行状态，限位、防脱钩等安全装置是否有效；
b） 清洗设备、烘干设备、表面处理设备是否正常运行；
c） 检验设备是否校准合格，能正常使用。

5.2.6 炉温均匀性检查应包括下列内容：
a） 设备每 3 个月进行一次空载炉温均匀性测定，每 6 个月进行一次负载炉温均匀性测定；
b） 炉温均匀性不合格的设备，不得投入使用，需进行调试、维修后重新测定，合格后方可使用。

5.3 工艺确认

5.3.1 工艺文件核对应包括下列内容：
a） 操作人员、技术人员共同核对工件的名称、编号、材质、牌号、状态、尺寸、数量及对应的热处理工艺卡，确认工艺文件齐全、准确，与工件实际情况一致；
b） 工艺卡明确标注热处理类型、工艺参数（温度、保温时间、加热速率、冷却方式等）、质量要求及注意事项。

5.3.2 工艺参数设定应包括下列内容：
a） 根据工艺卡要求，在控温系统中准确设定加热温度、保温时间、加热速率、冷却方式、真空度（真空炉）等参数；
b） 设定完成后，由技术人员复核，确认参数无误后，方可启动设备。

5.3.3 首件试热处理应包括下列内容：
a） 批量生产前（包括新工件、新工艺、设备维修后），选取 1～3 件与批量工件材质、尺寸、状态一致的试样进行首件试热处理；
b） 试热处理完成后，对试样进行外观、尺寸、硬度、金相等项目的检验，确认性能、组织符合要求后，方可进行批量生产；
c） 首件检验不合格的，分析原因，调整工艺参数后重新进行试热处理，直至合格。

5.3.4 工件预处理情况、设备检查结果、工艺参数设定情况、首件试热处理结果等应记录，并由相关人员签字确认，存档备查。

6 热处理工艺

6.1 固溶处理

6.1.1 工艺参数应根据高温合金的牌号、成分、工件尺寸及性能要求确定，通用参数如下：
a） 温度：950 ℃～1200 ℃；
b） 保温时间：按工件有效厚度计算，单位为 min，具体系数如下：
1） 棒材/锻件：0.2 min/mm～0.4 min/mm×有效厚度（mm），最小保温时间不小于30 min，最大保温时间不超过4 h；
2） 板材/带材：0.1 min/mm～0.2 min/mm×有效厚度（mm），最小保温时间不小于20 min，最大保温时间不超过2 h；
3） 环轧件/异形件：0.2 min/mm～0.4 min/mm×有效厚度（mm），最小保温时间不小于40 min，最大保温时间不超过6 h；
4） 铸件：0.3 min/mm～0.5 min/mm×有效厚度（mm），最小保温时间不小于60 min，最大保温时间不超过8 h。

c） 加热速率：
1） 复杂件/大件/易变形件：不大于10 ℃/min，或在800 ℃～850 ℃预热20 min～60 min，再以不大于10 ℃/min的速率升温至固溶温度；
2） 一般件：不大于15 ℃/min，无需预热；
3） 薄壁件：不大于20 ℃/min，无需预热。
d） 冷却方式：
1） 要求高塑性、低硬度的工件：空冷（冷却速率5 ℃/min～10 ℃/min）；
2） 要求较高强度、避免析出强化相的工件：油冷（冷却速率20 ℃/min～50 ℃/min）或水冷（冷却速率50 ℃/min～100 ℃/min）；
3） 高精度、高表面质量的工件：气淬（冷却速率10 ℃/min～30 ℃/min，气体压力0.4 MPa～0.8 MPa；
4） 易开裂工件：分级冷却（先在400 ℃～600 ℃保温30 min～60 min，再空冷）。
e） 真空度（真空炉）：加热前真空度不大于 10^{-2} Pa，加热及保温过程中真空度不大于 10^{-3} Pa。

6.1.2 操作要点应包括下列内容：
a） 装炉：工件均匀摆放在工装料具上，工件间距不小于 10 mm～20 mm，确保炉内气流、热量循环顺畅，避免工件相互接触、遮挡；对于大件、复杂件，应合理安排摆放位置，避免受力不均导致变形；装炉过程中，严禁碰撞、划伤工件表面；
b） 升温：严格按设定的加热速率升温，严禁快速升温或超温；对于需要预热的工件，先升温至预热温度，保温至工件温度均匀后，再继续升温至固溶温度；升温过程中，密切观察温度仪表显示，及时调整控温参数；
c） 保温：当炉温达到设定的固溶温度后，开始计算保温时间；保温期间，每 15 min～30 min 记录一次炉温、真空度（真空炉），确保参数稳定；保温时间严格按工艺要求执行，不得擅自缩短或延长；
d） 冷却：保温结束后，立即按设定的冷却方式进行冷却；真空炉冷却时，先充入惰性气体至常压，再进行气淬或出炉空冷，严禁在真空状态下直接冷却；油冷时，确保淬火油温度不大于 80 ℃，搅拌装置正常运行，工件放入油中后应快速搅拌，确保冷却均匀；水冷时，控制水温不大于 40 ℃，避免工件因冷却过快产生裂纹；冷却过程中，密切观察工件状态，发现异常及时处理；
e） 转移时间：保温结束后，工件从炉内转移至冷却介质的时间不大于 30 s，避免工件在空气中停留过久，导致表面氧化、脱碳或强化相析出。

6.2 时效处理

6.2.1 时效处理分为单级时效、双级时效、阶梯时效三种类型，工艺参数应根据合金牌号、性能要求确定，通用参数如下：
a） 单级时效适用于对性能要求适中、结构简单的工件，工艺参数：
1） 温度：700 ℃～850 ℃；
2） 保温时间：4 h～24 h；
3） 冷却方式：空冷，严禁快速冷却，避免产生内应力。
b） 双级时效适用于对高温强度、蠕变性能要求较高的工件，能使强化相均匀析出、尺寸细化，工艺参数：
1） 一级时效：760 ℃～845 ℃，保温4 h～8 h，空冷至室温；
2） 二级时效：620 ℃～720 ℃，保温8 h～24 h，空冷；
3） 两级时效之间的冷却时间不大于2 h，避免工件长时间放置导致组织变化。
c） 阶梯时效适用于复杂成分、高性能要求的高温合金，通过多段不同温度的保温，使不同类型的强化逐步析出，优化组织与性能，工艺参数按合金牌号及技术要求执行，分为 3～4 级，每级保温时间 2 h～8 h，冷却方式为空冷。

6.2.2 操作要点应包括下列内容：

a) 装炉：时效处理的工件经过固溶处理并冷却至室温的工件；装炉时，工件摆放均匀，间距不小于 10 mm，避免相互接触；对于易变形工件，继续使用专用夹具固定，确保工件在时效过程中不变形；
b) 升温：炉温先升至设定的时效温度，待炉温稳定后（温度波动不大于±2 ℃），再将工件装入炉内；升温速率不大于 10 ℃/min，严禁快速升温，避免工件产生内应力；
c) 保温：工件装入炉后，待炉温回升至设定的时效温度时，开始计算保温时间；保温期间，每 15 min～30 min 记录一次炉温，控温精度不大于±5 ℃；保温时间严格按工艺要求执行，不得擅自调整；
d) 冷却：保温结束后，按规定进行冷却，通常为空冷，冷却至室温后再出炉；对于特殊要求的工件，可采用炉冷（冷却速率不大于 2 ℃/min）至 300 ℃以下，再空冷至室温，避免冷却过快产生内应力；
e) 时效后处理：时效处理完成后，工件表面可能会产生轻微氧化，可采用喷砂、酸洗等方式进行表面处理，去除氧化皮，确保表面质量符合要求。

6.3 消除应力处理

6.3.1 工艺参数应包括下列内容：
a) 温度：650 ℃～850 ℃；
b) 保温时间：2 h～8 h；
c) 加热速率：不大于 10 ℃/min；
d) 冷却方式：炉冷至不大于 300 ℃后，再空冷至室温，炉冷速率不大于 5 ℃/min，避免快速冷却重新产生内应力。

6.3.2 操作要点应包括下列内容：
a) 装炉：工件均匀摆放在工装料具上，避免受力不均；对于焊接件，确保焊接接头处于不受力状态，避免焊接接头因应力释放产生变形；
b) 升温：严格按设定的加热速率升温，避免快速升温导致内应力加剧；升温过程中，密切观察炉温变化，确保温度稳定；
c) 保温：炉温达到设定温度后，开始计算保温时间；保温期间，每 30 min 记录一次炉温，确保温度均匀；
d) 冷却：保温结束后，采用炉冷方式缓慢冷却，严禁直接空冷；炉冷至 300 ℃以下后，方可出炉空冷，冷却过程中，不得随意打开炉门。

6.4 退火处理

6.4.1 工艺参数应包括下列内容：
a) 温度：900 ℃～1050 ℃；
b) 保温时间：1 h～4 h；
c) 加热速率：≤12 ℃/min；
d) 冷却方式：炉冷或空冷，炉冷速率不大于 5 ℃/min，空冷速率不大于 10 ℃/min；对于要求高塑性的工件，优先采用炉冷。

6.4.2 操作要点应包括下列内容：
a) 装炉：工件均匀摆放，间距不小于 15 mm，确保热量循环顺畅，避免晶粒大小不均；
b) 升温：按设定速率升温，对于大件，可在 800 ℃预热 30 min～60 min，再继续升温至退火温度；
c) 保温：炉温达到设定温度后，保温至工件组织均匀，保温时间严格按工艺要求执行；
d) 冷却：保温结束后，按规定方式冷却，炉冷时，缓慢降温，避免组织粗大；空冷时，避免工件表面快速冷却导致氧化。

6.5 特殊工艺

6.5.1 真空热处理应包括下列内容：
a) 装炉后，关闭炉门，启动真空系统，抽真空至极限真空度≤10^{-3} Pa；
b) 按设定速率升温，升温过程中，持续抽真空，保持真空度≤10^{-3} Pa；
c) 达到设定温度后，保温至工件组织均匀，保温期间，每 15 min 记录一次真空度、炉温；

d) 保温结束后，充入惰性气体（氩气/氮气）至常压，再进行气淬或空冷；
e) 真空热处理过程中，严禁炉内进入空气，避免工件氧化、脱碳；真空系统出现故障时，立即停止加热，充入惰性气体保护工件。

6.5.2 热等静压（HIP）与后续热处理应包括下列内容：
a) 热等静压参数：温度 1100 ℃～1250 ℃，压力 100 MPa～150 MPa，保温时间 2 h～4 h；
b) 热等静压完成后，对工件进行固溶处理和时效处理；
c) 热等静压过程中，严格控制温度、压力的升速率与降速率，避免工件变形、开裂。

6.5.3 焊后热处理应包括下列内容：
a) 焊接完成后，立即进行焊后热处理，避免焊接接头冷却过快产生裂纹；
b) 优先采用消除应力处理；对于性能要求较高的焊接件，采用“消除应力处理+固溶处理+时效处理”的组合工艺；
c) 焊后热处理过程中，确保焊接接头均匀受热，保温时间比普通工件延长 20%～30%。

7 工艺过程控制

7.1 工件热处理前的表面状态及工装要求

7.1.1 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。

7.1.2 工件表面应无折叠、裂纹等缺陷。尖角应进行倒圆或倒角。

7.1.3 热处理工装、夹具应保证工件能够均匀加热及冷却。

7.1.4 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。

7.2 装炉

7.2.1 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。

7.2.2 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。

7.2.3 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。

7.3 加热与保温控制

7.3.1 升温控制应包括下列内容：
a) 严格按工艺卡设定的加热速率升温，严禁超温、快速升温；
b) 对于需要预热的工件，按规定完成预热，确保工件温度均匀后再继续升温；
c) 升温过程中，密切观察温度仪表显示，及时调整控温参数，确保温度波动在允许范围内。

7.3.2 温度记录应包括下列内容：
a) 加热及保温过程中，温度记录仪连续记录炉温，记录间隔不大于 10 min；
b) 操作人员每 15 min～30 min 手动记录一次炉温、真空度（真空炉）等，记录数据真实、清晰、完整，不得涂改。

7.3.3 保温控制应包括下列内容：
a) 保温时间从炉温回升至设定温度并稳定后开始计算，严禁提前开始计时；
b) 保温期间，保持炉温、真空度、气氛流量稳定，不得擅自调整工艺参数；
c) 若出现温度波动，及时调整，并记录波动情况及处理措施。

7.3.4 超温处理应包括下列内容：
a) 若出现超温现象（超温≤5 ℃，持续时间≤5 min），立即调整控温参数，降低炉温，并记录超温值、持续时间及处理措施；
b) 若超温大于 5 ℃或持续时间大于 5 min，立即停止加热，冷却后对工件进行检验，评估超温对工件性能的影响，不合格的工件，报废或重新处理。

7.4 冷却控制

7.4.1 冷却方式应包括下列内容：

a) 严格按工艺卡设定的冷却方式、冷却速率执行，不得擅自更改；

b) 冷却前，检查冷却系统是否正常，确保冷却介质（水、油、气体）充足、温度符合要求。

7.4.2 油冷控制应包括下列内容：

a) 淬火油温度控制在 20 ℃～80 ℃，超过 80 ℃时，停止冷却，待油温降至规定范围后再继续；

b) 油冷过程中，搅拌装置应持续运行，确保冷却均匀；

c) 油冷后，及时将工件从油中取出，进行清洗、烘干，去除表面油污。

7.4.3 水冷控制应包括下列内容：

a) 冷却水温控制在 20 ℃～40 ℃，水压稳定；

b) 水冷过程中，避免工件直接接触水管，防止局部冷却过快产生裂纹；

c) 水冷后，及时将工件取出，擦干表面水分，防止锈蚀。

7.4.4 气淬控制应包括下列内容：

a) 气体压力控制在 0.4 MPa～0.8 MPa，流量稳定；

b) 气淬过程中，确保气体均匀分布，避免工件局部冷却不均；

c) 气淬后，待工件冷却至室温后再出炉。

7.4.5 应记录冷却方式、冷却开始时间、冷却结束时间、冷却介质温度、冷却速率等参数，并由操作人员签字确认。

8 质量检验

8.1 外观

8.1.1 工件热处理后表面不应存在裂纹等缺陷。

8.1.2 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。

8.2 金相检验

8.2.1 变形高温合金的平均晶粒度应按照 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应按照 GB/T 14999.7 的规定进行检验。

8.2.2 显微组织的检查应按照专用技术文件的规定进行。

8.3 力学性能

8.3.1 硬度检验应按 GB/T 230.1 或 GB/T 231.1 的规定进行。

8.3.2 室温拉伸性能应按 GB/T 228.1 的规定进行。

8.3.3 高温拉伸性能应按 GB/T 228.2 的规定进行。

8.3.4 持久及蠕变性能应按 GB/T 2039 的规定进行。

8.4 无损检测

应根据工件要求，采用荧光渗透检测（PT）、磁粉检测（MT）、超声波检测（UT）等方法进行无损检测，按相关标准执行。