



中华人民共和国国家标准

GB/T 38964—2020

钛合金等温锻造 工艺规范

Isothermal forging for titanium-alloy—Technological specification

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 总则 2

5 要求 3

6 工艺过程 4

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国锻压标准化技术委员会(SAC/TC 74)提出并归口。

本标准起草单位:贵州安大航空锻造有限责任公司、一拖(洛阳)铸锻有限公司、北京机电研究有限公司、湖北三环锻造有限公司、武汉理工大学、第一拖拉机股份有限公司。

本标准主要起草人:陈祖祥、陈明、王云飞、魏巍、金红、张运军、华林、王龙祥、于宜洛、周林、王国文、钱东升、阮艳静、秦思晓、余国林、刘艳雄、李生仕。

钛合金等温锻造 工艺规范

1 范围

本标准规定了钛合金等温锻件(以下简称“锻件”)的工艺规范,包括总则、要求、工艺过程。
本标准适用于钛合金等温锻造工艺的制定。

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 2965 钛及钛合金棒材

GB/T 8541 锻压术语

GB/T 9452—2012 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 16598 钛及钛合金饼和环

GB/T 23605 钛合金 β 转变温度测定方法

3 术语和定义

GB/T 8541 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钛合金 $\alpha+\beta$ 锻造 $\alpha+\beta$ forging of titanium-alloy

钛合金在 β 转变温度(T_β)以下 20 °C ~ 50 °C 加热后进行锻造,即常规两相区锻造,获得双态组织或等轴组织。

3.2

钛合金近 β 锻造 near β forging of titanium-alloy

钛合金在 β 转变温度(T_β)以下 10 °C ~ 20 °C 加热后进行锻造,通常获得初生 α 相含量为 15% ~ 30% 的双态组织。

3.3

钛合金准 β 锻造 quasi β forging of titanium-alloy

钛合金在 β 转变温度(T_β)以下 10 °C 预热后随炉升温到 β 转变温度(T_β)以上 30 °C,短时加热后进行锻造,获得初生 α 相含量不大于 15% 的网篮组织或双态组织。

3.4

钛合金 β 锻造 β forging of titanium-alloy

钛合金在 β 转变温度(T_β)以上 10 °C 或更高温度下的 β 区加热后进行锻造,通常获得初生 α 相含量不大于 15% 网篮组织或片状组织。

3.5

钛合金等温锻造 isothermal forging of titanium-alloy

钛合金模锻过程中,坯料温度保持恒定不变的锻造方法。一般情况下,模具温度为被锻造工件温度的 95% ~ 100%,压力保持时间通常为 60 s ~ 900 s。

4 总则

4.1 工艺流程

钛合金等温锻造一般的工艺流程如图 1 所示。

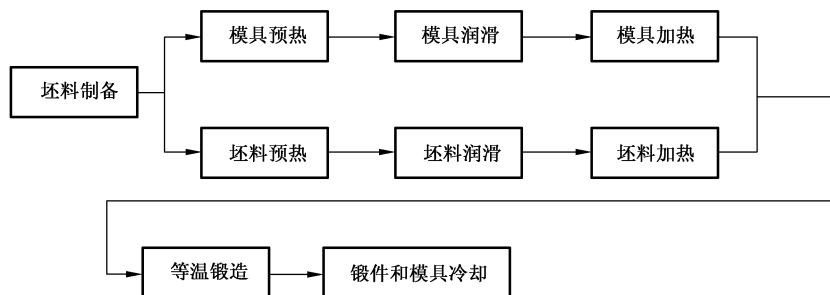


图 1 钛合金等温锻造工艺流程

4.2 锻件设计

4.2.1 锻件设计时应考虑锻件出模、成形难易程度、坯料定位等情况,同时还应考虑变形量对锻件组织的影响。与热模锻相比,锻件的余量和公差、圆角半径、模锻斜度均可减小。

4.2.2 锻件设计时宜采用数字模拟技术对变形量、温度变化、应力分布等进行优化。

4.2.3 分模面一般设置在锻件的最大轮廓处,以镦粗或压扁、挤压方式充填。为了防止锻件无法从模具中取出,通常将锻件不利于出模、质量大的部分放在有顶出装置的一端。

4.3 设备压力计算

4.3.1 锻造设备的工作液体压力可根据式(1)进行计算:

$$F = z m S R_{p0.2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

F ——工作时液体压力,单位为牛顿(N);

z ——变形条件系数;

m ——毛坯体积系数;

S ——毛坯在垂直于变形力方向的平面的投影面积,单位为平方毫米(mm^2);

$R_{p0.2}$ ——变形温度下的屈服应力,单位为兆帕(MPa)。

注 1: 一般情况下变形条件系数(z)可选择 1.5。

注 2: 毛坯体积系数(m)选择可按表 1 进行。

表 1 毛坯体积系数(m)

毛坯体积 cm^3	毛坯体积系数(m)
<25	1.0
$25 \sim <100$	$1.0 \sim <0.9$
$100 \sim <1\,000$	$0.9 \sim <0.8$

表 1（续）

毛坯体积 cm ³	毛坯体积系数(<i>m</i>)
1 000~<5 000	0.8~<0.7
5 000~<10 000	0.7~<0.6
10 000~<15 000	0.6~<0.5
15 000~<25 000	0.5~<0.4
≥25 000	0.4

4.3.2 设备压力可结合计算结果和模拟结果确定。

5 要求

5.1 设备

5.1.1 等温锻造设备

5.1.1.1 等温锻造设备一般采用液压机。

5.1.1.2 水冷板(或设备滑块)应通入循环水对滑块和工作台降温。

5.1.1.3 设备一般应有计算机辅助操作系统,滑块具备无级调速的能力,能够满足钛合金等温锻造工艺参数需要,还应有顶出装置。

5.1.2 坯料加热炉

5.1.2.1 一般采用电阻炉加热,制坯时也可采用感应炉、弱氧化性的燃气炉、真空炉或其他适宜的设备加热。

5.1.2.2 加热设备应定期进行校检,并具有温度自动调节、记录和报警的控制装置,加热炉的有效工作区应用视图或数字标出,有效工作区的温度容差应符合 GB/T 9452—2012 中Ⅲ类及以上精度的要求。采用近 β 锻造或准 β 锻造时,加热炉一般采用Ⅱ类及以上精度的电炉,允许采用Ⅲ类电炉,但加热区的炉温均匀性应符合Ⅱ类炉的规定。

5.1.3 模具加热装置

为了保证钛合金锻造温度的需求,模具加热装置应有温控功能,随时监控模具表面温度,并通过加热炉炉丝通电/断电控制模具表面温度。模具加热装置应具备一定的密封性。

5.2 模具工装

5.2.1 模具材料

模具材料在高温下应有足够的强度和硬度。一般情况下采用高温合金制造。推荐的模具材料及最高工作温度极限见表 2。

表 2 推荐模具材料及最高工作温度极限

单位为摄氏度

模具材料	最高工作温度极限
GH761	760
K403	930
N403	1 050
J132	1 050

5.2.2 模具设计

5.2.2.1 根据锻件形状、大小等因素,模具设计可采用整体结构,也可以采用组合式的结构。

5.2.2.2 根据不同部位的受热、受力情况,模架各个部位可采用不同材料制造。

5.2.2.3 模架设计时应留有模具加热装置的安装位置。

5.3 原材料

5.3.1 原材料应符合 GB/T 2965、GB/T 16598 的要求,也可采用其他满足要求的材料,复验合格后方可投产。

5.3.2 原材料表面应车光或磨光,并确保去除 α 硬化层。采用铸锭作为钛合金等温锻造坯料时应先进行改锻,保证坯料获得良好的组织和性能。

5.3.3 每炉批原材料应按 GB/T 23605 测定 β 转变温度,也可采用其他双方同意的方法进行测定。

6 工艺过程

6.1 坯料制备

6.1.1 采用棒材或铸锭时应进行下料,下料一般采用车床、锯床或线切割。采用线切割下料时,应去除热影响区。

6.1.2 可采用棒材或铸锭经过反复锻拔等变形,获得满足等温锻造的组织和性能的坯料,也可直接采购满足要求的坯料。

6.1.3 坯料表面不应有裂纹、折叠、麻坑及其他冶金缺陷。缺陷应采用打磨法清除干净,并应圆滑过渡,清理的宽度与深度之比应不小于 10。

6.1.4 坯料不应存在尖锐的边角、毛刺、连皮等。有效厚度不小于 150 mm、饼环坯外径不小于 $\phi 250$ mm 时,倒圆角半径应为 5 mm~20 mm;其他情况下的倒圆角半径可根据实际情况确定。

6.1.5 坯料结构应保证锻件成形,并获得良好的组织和性能,必要时可对坯料等温锻造成形过程进行模拟,对锻造缺陷和坯料各个部位的变形量有充分的了解,根据模拟结果,优化坯料的尺寸和结构。

6.1.6 坯料制备时应按 6.3.1 控制加热。

6.1.7 坯料制备时应控制变形速度,不应出现十字亮线。

6.1.8 必要时应对坯料进行腐蚀,检查材料组织和冶金质量。

6.2 装炉

6.2.1 装炉前应清除炉底上的氧化皮和其他残渣。

6.2.2 坯料应在炉子温度达到工艺规定的加热温度后装炉。

6.2.3 坯料宜放置在加热炉的有效工作区内的耐火砖块、不锈钢或镍基合金支架上,坯料之间应有间

隙,以保证均匀加热;一般情况下坯料应平装(轴线平行于炉底面);当坯料高度与直径之比不大于1时,可立装(轴线垂直于炉底面)。

6.3 加热

6.3.1 坯料制备阶段可采用电阻炉或天然气炉加热。采用天然气炉加热时,火焰不应与坯料直接接触。炉内气氛应保持中性或弱氧化气氛,避免产生表面硬化层。不应使用吸热式、放热式加热炉,炉内气氛不应是氢气或氨裂解后形成的加热气氛,避免产生氢脆。

6.3.2 等温锻造阶段应采用电阻炉加热。

6.3.3 推荐的坯料加热温度和保温时间系数见表3和表4。

表3 推荐的坯料加热温度 单位为摄氏度

锻造工艺	$\alpha+\beta$ 锻造	近 β 锻造	准 β 锻造	β 锻造
加热温度	$T_{\beta}-(20\sim50)$	$T_{\beta}-(10\sim20)$	$T_{\beta}-(10\sim20)$ 升温 $T_{\beta}+(10\sim30)$	$T_{\beta}+(10\sim60)$

表4 推荐的坯料保温时间系数

坯料厚度 或直径 mm	$\alpha+\beta$ 锻造和近 β 锻造		β 锻造		准 β 锻造	
	最短保温时间系数 min/mm	最长保温时间系数 min/mm	最短保温时间系数 min/mm	最长保温时间系数 min/mm	$\alpha+\beta$ 区 min/mm	β 区 min/mm
≤ 50	1.5~1.1	3.5~2.4	1.3~0.9	3.0~2.4	0.7~0.4	0.5~0.1
$>50\sim100$	1.1~0.9	2.4~1.8	0.9~0.7	1.8~1.4		
$>100\sim150$	0.9~0.7	1.8~1.4	0.7~0.6	1.4~1.2		
$>150\sim200$	0.7~0.6	1.4~1.2	0.6~0.5	1.2~1.0		
>200	0.6	1.2	0.5	1.0		
保温时间从仪表指示温度到达规定的加热温度时开始计算。						

6.3.4 报警温度一般设置在加热温度以上10℃, β 锻造、准 β 锻造设置在加热温度以上5℃。

6.3.5 坯料出炉转移进入模具的时间一般应不大于60s。

6.4 等温锻造

6.4.1 前期检查及准备

6.4.1.1 应对模具加热装置进行检查,确保生产时加热状态良好。

6.4.1.2 首次生产的锻件应记录坯料质量、计算锻件的欠压量、估算吨位、计算零点设置等,记录模具投入使用时的表面状态;非首次生产的锻件,应查阅上批次锻件的生产记录,确认锻造过程中压力、零点、压下过程参数、锻件出模时间、锻件充形是否存在异常。

6.4.2 坯料及模具润滑

6.4.2.1 坯料和模具应加热到100℃~200℃时喷涂润滑剂,预热温度不宜过高,避免润滑剂起泡导致润滑不均匀、失效等。

6.4.2.2 润滑剂不可与坯料和模具产生化学反应,一般采用玻璃润滑剂。

6.4.2.3 润滑剂厚度宜为 0.1 mm~0.3 mm。

6.4.3 模具安装及加热

6.4.3.1 模具安装后,应进行冷态闭合检查,记录冷态闭合位置,以确定锻造冷态的零点位置,为锻造零点设置提供依据,并检查模具安装是否到位。

6.4.3.2 模具加热一般采用多阶段加热,一般情况下模具的加热升温速率应不大于 20 °C/h,每个台阶的温差应不超过 200 °C。加热过程中应对模具温度进行监控。

6.4.4 滑块速率设置

滑块速率设置应根据材料成形组织要求确定,一般情况下在 0.01 mm/s~0.5 mm/s,具体按产品制造工艺规范执行,确定原则如下:

- a) 对于钛合金 $\alpha+\beta$ 锻造,由于坯料的加热温度一般在 β 相变点以下 30 °C 左右,为了防止下滑速率过快导致坯料心部温升,一般选择较慢的变形速率;
- b) 对于小规格的钛合金近 β 锻造、钛合金准 β 锻造、钛合金 β 锻造,坯料变形过程对温度上升不敏感,为了获得良好的网篮组织,防止坯料在两相区进行再结晶,一般选用较快的变形速率,使坯料组织迅速转变为网篮组织,可以减少再结晶 α 相的形成;
- c) 对于大规格的钛合金近 β 锻造、钛合金准 β 锻造、钛合金 β 锻造,坯料变形过程中的内部热量很难散发出来,导致内部容易发生温升,坯料在单相区完成变形,因此在跨越相变点时,容易产生再结晶 α 相,且由于变形快,没有足够的变形量进行破碎,在 β 晶界上容易出现链状的 α 相,为了避免此组织的出现,一般采用较慢的变形速度。

6.5 冷却

6.5.1 锻件冷却方式可采用空冷、水冷或其他满足组织要求的冷却方式。

6.5.2 模具应进行缓冷,冷速不大于 20 °C/h,至 600 °C 保温 4 h,然后断电降温至低于 200 °C,方可拆卸模具。

6.5.3 模具冷却后应去除润滑剂。