

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 7022—1993

工业汽轮机转子体锻件 技 术 条 件

1993-09-21 发布

1994-07-01 实施

中华人民共和国机械工业部 发 布

工业汽轮机转子体锻件 技术条件

1 主题内容与适用范围

本标准规定了工业汽轮机转子体经真空处理的合金锻件的技术要求、检验规则、试验方法、合格证书及标志等。

本标准适用于工业汽轮机转子体锻件的订货、制造和检验。

2 引用标准

GB 222	钢的化学分析用试样取样法及成品化学成分允许偏差
GB 223	钢铁及合金化学分析方法
GB 228	金属拉伸试验法
GB 229	金属夏比（U 型缺口）冲击试验方法
GB 231	金属布氏硬度试验方法
GB 2106	金属夏比（V 型缺口）冲击试验方法
GB 6394	金属平均晶粒度测定方法
GB 6395	金属高温拉伸持久试验方法
GB 6397	金属拉伸试验试样
GB 10561	钢中非金属夹杂物显微评定方法
JB 1581	汽轮机、汽轮发电机转子和主轴超声波探伤方法
ZB J32 005	汽轮机主轴和转子锻件的热稳定性试验方法
JB/ZQ 6101	锻钢件的磁粉检验方法

3 订货要求

3.1 需方应在订货合同书或订货协议中写明采用的标准、钢号、锻件的屈服强度、相应技术要求、检验项目及本标准要求以外的检验项目。

3.2 需方应提供标明力学性能试验取样位置的锻件订货图样和叶根槽深的精加工尺寸。

4 技术要求

4.1 制造工艺

4.1.1 冶炼

4.1.1.1 锻件用钢锭应采用电炉冶炼并经真空处理或钢包精炼。

4.1.1.2 经需方同意，允许采用能保证本标准各项要求的其他冶炼方法。

4.1.1.3 应使用优质原材料，以保证锻件中的各种夹杂物含量尽可能低。

4.1.2 锻造

4.1.2.1 锻压用钢锭应有足够的切除量，以确保成品锻件无缩孔和不允许的偏析。

4.1.2.2 锻压设备应有足够的能力以保证锻件整个截面锻透。锻造时整个截面应得到充分变形，供方应采用确保锻件组织均匀和晶粒细小的锻造和热处理方法。

- 4.1.2.3 钢锭质量较好的一端应为传动（联轴器）端。锻件的轴线与钢锭的中心线应大致重合。
- 4.1.3 热处理
- 4.1.3.1 锻件锻后需进行正火或退火处理。
- 4.1.3.2 锻件的性能热处理应在粗加工后进行。
- 4.1.3.3 锻件在性能热处理时应垂直吊挂加热和冷却。严格控制炉温和足够的保温时间，以获得均匀一致的力学性能。
- 4.1.3.4 锻件的回火温度和冷却速度应选择恰当，在满足性能要求的前提下，回火温度应尽量高些。回火后应缓冷，以保证锻件的残余应力不大于规定的屈服强度下限的 8%。
- 4.1.3.5 锻件金相组织应均匀，对 28CrMoNiVE 和 30CrMoNiVE，心部不应出现铁素体。
- 4.1.4 消除应力处理
- 4.1.4.1 锻件通常由供方进行去应力回火，其温度一般应在实际回火温度以下 15~50℃ 范围内。
- 4.1.4.2 当性能热处理的回火冷却速度小于 25℃/h 时，可不进行消除应力处理。当残余应力检查不合格时，仍需进行消除应力处理。
- 4.1.5 机械加工
- 4.1.5.1 交付的锻件应符合订货图样规定的尺寸和表面粗糙度。
- 4.1.5.2 当供方粗加工时，应在规定部位留出供需方验收用的试料。
- 4.1.5.3 锻件如需进行消除应力处理，则应在半精加工之后进行。
- 4.1.5.4 有中心孔的转子体，中心孔的加工应在粗加工后和消除应力处理之前进行。
- 4.1.6 锻件在制造和包装过程中不得焊接。
- 4.2 钢种及化学成分
- 4.2.1 除合同另有规定外，钢的化学成分（熔炼分析）应符合表 1 的规定。

表 1 化学成分 %

钢 种	C	Mn	Si ¹⁾	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Al
34CrMo1A	0.30 ~ 0.38	0.40 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	≤ 0.020	≤ 0.020	0.70 ~ 1.20	0.40 ~ 0.55	≤ 0.30	—	≤ 0.20	—
28CrMoNiVE	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.012	≤ 0.012	1.10 ~ 1.40	0.80 ~ 1.00	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.35	≤ 0.20	≤ 0.01
30CrMoNiVE	0.28 ~ 0.34	0.30 ~ 0.80	≤ 0.30	≤ 0.012	≤ 0.012	1.10 ~ 1.40	1.00 ~ 1.20	0.50 ~ 0.75	0.25 ~ 0.35	≤ 0.20	≤ 0.01
30Cr1Mo1VE	0.27 ~ 0.34	0.70 ~ 1.00	0.20 ~ 0.35	≤ 0.012	≤ 0.012	1.05 ~ 1.35	1.00 ~ 1.30	≤ 0.50	0.21 ~ 0.29	≤ 0.15	≤ 0.01
34CrNi3MoA	0.30 ~ 0.40	0.50 ~ 0.80	0.17 ~ 0.37	≤ 0.015	≤ 0.018	0.70 ~ 1.10	0.25 ~ 0.40	2.75 ~ 3.25	—	≤ 0.20	—
25CrNiMoVA	0.22 ~ 0.28	0.30 ~ 0.60	≤ 0.30	≤ 0.015	≤ 0.018	1.00 ~ 1.30	0.25 ~ 0.45	1.00 ~ 1.50	0.05 ~ 0.15	≤ 0.20	—
30Cr2Ni4MoVE	≤ 0.35	0.20 ~ 0.40	0.15 ~ 0.30	≤ 0.012	≤ 0.012	1.50 ~ 2.00	0.30 ~ 0.60	3.25 ~ 3.75	0.07 ~ 0.15	≤ 0.20	≤ 0.015

注：1) 当采用真空碳脱氧时 Si≤0.10%。

4.2.2 锻件的产品分析应符合表 1 规定。在力学性能合格情况下允许有表 2 规定的偏差。

表 2 化学成分允许偏差 %

化学成分	C	Mn		Si	P	S	Cr	Mo	Ni		V	Cu	Al
		≤0.9	>0.9						≤2.0	>2.0			
允许偏差	±0.02	±0.03	±0.04	±0.02	+0.005	+0.005	+0.05	+0.02	±0.03	±0.07	±0.01	+0.02	+0.005

4.3 力学性能

4.3.1 除非另有规定，锻件的力学性能应符合表 3 的规定。

表 3 力学性能

钢 种	尺寸范围 ¹⁾ mm	取样部位 或 取样位置	$\sigma_{0.2}$ MPa	σ_b MPa	δ_5 [δ_4] %	ψ %	A_{KV} [A_{KU}] J	FATT ₅₀ ³⁾ ℃
34CrMo1A	<250	纵 向 ²⁾	600~750	≥720	≥15	≥40	[≥47]	≤40
	<500	纵 向	570~720	≥680	≥11	≥32	[≥39]	
28CrMoNiVE	≤900	切向、纵向	550~700	700~850	≥15	≥40	≥24	≤85
30CrMoNiVE	≥900	切向、纵向	550~700	700~850	≥15	≥40	≥24	
30Cr1Mo1VE	≤1200	切向、纵向	590~690	≥720	[≥15]	≥40	≥8	≤116
		心部纵向	≥550	≥690	[≥15]	≥40	≥7	
34CrNi3MoA	<500	纵 向	700~850	≥820	≥14	≥40	[≥47]	≤20
		切 向	670~820	≥780	≥11	≥32	[≥39]	
	<300	纵 向	750~900	≥870	≥13	≥40	[≥47]	
		切 向	715~865	≥830	≥12	≥30	[≥39]	
25CrNiMoVA	≤1000	纵 向	≥500	≥650	≥15	≥40	≥47	≤40
		切 向	≥480	≥620	≥11	≥32	≥39	
		纵 向	≥600	≥720	≥15	≥40	≥47	
		切 向	≥570	≥680	≥11	≥32	≥39	
30Cr2Ni4MoVE	≤1200	切向、纵向	≥760	860~970	[≥16]	≥45	≥41	≤13
		心部纵向	≥725	≥825	[≥16]	≥45	≥34	

注：1) 尺寸范围指锻件粗加工后，性能处理前的最大直径，仅供参考。

2) 纵向试样取自粗加工锻件端面距外表面 1/3 半径处。

3) FATT₅₀数据由订货合同中规定是否作为验收依据。

4.3.2 夏比（V 型缺口）冲击功按一组 3 个试样单值的算术平均值，允许其中 1 个试样单值低于规定值，但不得低于规定的 70%。

4.4 硬度均匀性

4.4.1 在同一圆弧表面上各点间的硬度差不得超过 30 HBS。同一母线上各点间的硬度差不超过 40 HBS。

4.4.2 硬度值不作为验收依据。

4.5 无损检验

4.5.1 一般要求

锻件不允许有裂纹、白点、缩孔、疏松、折叠和过度的偏析等缺陷。

4.5.2 酸洗或磁粉检验

除非另有规定，供方应保证酸洗或磁粉检验符合以下规定。

4.5.2.1 转子体外圆表面不允许有长度大于 1.5 mm 缺陷显示。

4.5.2.2 在最终检验时除轴承等不允许打磨的部位外，发现大于 1.5 mm 缺陷显示，允许对缺陷进行局部研磨或抛光，抛光深度不超过 1.6 mm 并与圆周表面光滑过渡。

4.5.3 超声波检验

除非另有规定，超声波检验应符合以下规定。

4.5.3.1 φ 1.6 mm 以下当量直径的单个分散缺陷不计，但杂波高度应低于 φ 1.6 mm 当量幅度的 50%。

4.5.3.2 φ 1.6~3.5 mm 当量直径的所有缺陷应记录其轴向、径向和周向位置并在合格证书中注明。但 φ 1.6~3.5 mm 当量直径的缺陷总数不得超过 20 个，不允许存在 φ 3.5 mm 当量直径的缺陷。

4.5.3.3 除外圆叶根槽深加 25 mm 和有中心孔转子体距中心孔表面 75 mm 以内范围不允许存在缺陷密集区外，其他部位允许有 3 个小于 φ 1.6 mm 当量直径的缺陷密集区。密集区在任何方向上尺寸均不应大于 20 mm，且任何两个密集区间距不应小于 120 mm。

4.5.3.4 由缺陷引起的底波损失超过 3 dB 应报告需方。

4.5.3.5 不允许有游动信号和连续缺陷显示。

4.5.3.6 供方应提供用 2~2.5 MHz 探头分别在转子体（最大直径处）两端和中间三处测得材料衰减数据。

4.5.3.7 超过上述要求的缺陷应报告需方，并组织供需双方进行复验，在征得需方同意方可进行缺陷排除或验收。

4.5.4 中心孔

有中心孔的转子体锻件的中心孔检验应符合以下规定。

4.5.4.1 长度等于或大于 1.5 mm 的缺陷显示应记录其轴向和周向的位置，并报告需方。

4.5.4.2 在 60 cm² 面积内不允许有 3 个长度大于 1.5 mm 的缺陷显示或 9 个长度小于 1.5 mm 的缺陷显示。

4.5.4.3 在整个表面上，分散的长度为 1.5~3 mm 的缺陷显示不应超过 10 个，长度小于 1.5 mm 的点状缺陷显示不得超过 25 个，且不允许呈链状分布。以上各种缺陷显示的累计总长度不应大于 50 mm。

4.5.4.4 不允许有长度大于 3 mm 可见缺陷及非金属夹杂物组成的密集区。

4.5.4.5 不允许有任何撕裂状的、分叉的缺陷。

4.5.4.6 位于同一母线上的两个缺陷间的距离小于其中较大缺陷长度的 5 倍时，按一个连续的缺陷处理。

4.5.4.7 不符合上述要求的缺陷，征得需方同意后，允许对缺陷进行局部研磨和抛光，但研磨和抛光深度不得超过 1.6 mm 并与圆周表面圆滑过渡。

4.6 形状与尺寸

4.6.1 锻件轴线直线度公差值为 φ 3 mm。

4.6.2 有中心孔转子体锻件的中心孔圆柱度公差值为 0.3 mm，中心孔与锻件外圆同轴度公差值为 φ 1 mm。

4.7 晶粒度及非金属夹杂物

4.7.1 晶粒度

当要求检验晶粒度时，应在订货合同中注明。除非另有规定，平均晶粒度不得粗于 4 级。

4.7.2 非金属夹杂物

当要求检验非金属夹杂物时，应在订货合同中注明。除非另有规定，A、B、C、D 四种类型非金属夹杂物均不得超过 3 级。

4.8 FATT₅₀

当要求检验 FATT₅₀ 值时，应在订货合同中注明并规定脆性转变温度。

4.9 热稳定试验

4.9.1 在机组运行中,当快速升温 and 温度波动时仍要求转子运转十分平稳,或者为消除高温下产生热应力的转子体锻件应进行热稳定性能试验。

4.9.2 热稳定试验在需方进行。供方应对试验结果负责。

4.10 高温力学性能

4.10.1 首次生产的同一材料、同一规格、高温工作的转子体应进行高温力学性能测定。

4.10.2 当要求承制方测定高温力学性能时,应在订货合同中注明并规定取样部位和要求。

5 检验方法和检验规则

5.1 化学分析

5.1.1 每炉钢水应进行熔炼分析。

5.1.2 成品分析的试样取自锻件的切向试环。

5.1.3 化学分析试样取样按 GB 222 规定。

5.1.4 化学分析按 GB 223 或保证分析质量的其他分析方法。

5.2 力学性能

5.2.1 试样取样

除非另有规定,锻件在性能热处理后取力学性能试样,取样部位应符合以下规定。

5.2.1.1 纵向试样

a. 交货重量小于或等于 1 t 的锻件,供方在任一端距外表面 1/3 处,有中心孔的锻件在壁厚 1/2 处,取 1 个纵向拉伸试样和 3 个冲击试样,需方在另一端取样验收;

b. 交货重量超过 1 t 的锻件,在其两端各取 1 个纵向拉伸试样和 3 个冲击试样。

5.2.1.2 切向试样

a. 交货重量小于或等于 6 t 的锻件,在轴身进汽端上切取 1 个切向拉伸试样和 3 个冲击试样;

b. 交货重量超过 6 t 的锻件,在轴身两端各取 1 个切向拉伸试样和 3 个冲击试样。

5.2.1.3 采用锯割取样时,锻件应留双倍试样并在粗加工图样上标明试样位置。采用套料取样时,供需双方共用同一轴端试料。

5.2.2 拉伸试样制备与切取试样应符合 GB 6397 规定的短比例试样。

5.2.3 拉伸试验按 GB 228 的规定。高温拉伸试验按 GB 6395 的规定。

5.2.4 冲击试验按 GB 2106 或 GB 229 的规定。

5.3 硬度均匀性

性能热处理后进行硬度均匀性检查。

5.3.1 检验部位

在锻件两轴颈、轴身部位外圆表面相隔 90° 各测 4 点,共测 12 点。

5.3.2 硬度检验方法按 GB 231 的规定。

5.4 酸洗或磁粉检验

酸洗或磁粉检验应在需方进行。

5.4.1 检验部位和时机

5.4.1.1 半精加工后应在轴承部位、轴身两端面、轴身过渡区进行酸洗或磁粉检验。

5.4.1.2 精加工后进行表面宏观检查,必要时可进行磁粉检验。

5.4.2 磁粉检验方法按 JB/ZQ 6101 或其他公认的方法。

5.4.3 酸洗检验方法:进行酸洗的部位表面粗糙度 R_a 值为 $1.6\mu\text{m}$,酸洗时先用 15% 的过硫酸胺水溶液,然后用 10% 硝酸水溶液,酸洗时间分别不少于 15 min。酸洗后进行两次检查,第一次检查在酸洗后 10 min,第二次检查在酸洗后不少于 12 h。

5.5 超声波检验

5.5.1 超声波检验应在调质处理和粗加工后对锻件全部可探测表面进行检验。

5.5.2 需重新热处理的锻件，在重新热处理后再次进行超声波检验。

5.5.3 超声波检验方法按 JB 1581 规定。

5.6 热稳定试验

热稳定试验应在消除应力后进行，检验方法按 ZB J32 005 的规定。

5.7 中心孔检查

5.7.1 有中心孔的转子体锻件应检查中心孔尺寸和内孔表面。

5.7.2 中心孔检验通常用窥膛仪观察，必要时用磁粉检验结合窥膛仪观察。

5.8 金相检查

5.8.1 除非另有规定，晶粒度测定试样取自本体切向试样，检验方法按 GB 6394 的规定。

5.8.2 除非另有规定，非金属夹杂物检验方法按 GB 10561 的 A 法规定，采用 JK 图评定。

5.9 残余应力

5.9.1 锻件出厂前应做残余应力检查，试样取自转子体锻件切向试样的同一部位。

5.9.2 除非另有规定，一般采用切环法或环芯电阻应变法测定残余应力。切环法取试样尺寸为 25 mm × 25 mm 的圆环，用测量该环切割前后平均变形量的方法计算残余应力。

5.9.3 切环法测定残余应力计算公式：

$$\sigma_r = \frac{E\delta}{D}$$

式中： σ_r ——残余应力，MPa；

δ ——直径增量的代数值，mm；

D ——切割前环的外径，mm；

E ——材料的弹性模量，MPa。

5.10 复试

5.10.1 当力学性能试验结果不符合规定要求时允许进行复试。但试样因白点、裂纹不合格者则不得复试。

5.10.2 由于设备故障或试样制备不良而使某项试验结果不合格时，可在锻件相邻位置取样重试。

5.10.3 拉伸试验结果有一项不符合要求时，应在原试样邻近处取 2 个补充试样进行拉伸试验，2 个试样的各项试验结果均应达到要求。

5.10.4 室温冲击值低于规定的下限时允许复试。复试时应在原试样邻近处取一组 3 个试样进行冲击试验。所有复试试样的冲击值均应超过规定的下限，而且连同初试在内的 6 个试样的平均值也应超过规定的下限，否则不予验收。

5.11 重新热处理

5.11.1 当锻件的任一力学性能复试结果仍不合格时，允许重新热处理，并重新取样。

5.11.2 锻件重新热处理次数一般不得超过二次(指重新淬火)。

6 验收及合格证书

6.1 供方应按本标准或合同规定项目对锻件进行检查，检查结果应符合规定。在合格证书上应有供方质量检验部门负责人的签字。

6.2 需方可按本标准或合同规定的检验内容选择某些项目进行复验。在复验或以后加工检验中发现不符合规定时，需方应及时通知供方，双方协商解决。

6.3 供方应向需方检验人员提供必要的方便条件，以便需方检验人员进行工作。

6.4 供方应向需方提供合格证书，合格证书应包括下列内容：

- a. 合同号；
- b. 锻件图号；
- c. 标准号、钢种、要求的屈服强度；
- d. 熔炼炉号、件号、锭节号及熔炼方法；
- e. 化学分析结果；
- f. 钢锭主要尺寸及实际锻造比；
- g. 各次热处理的实际温度、保温时间和冷却方式等；
- h. 力学性能检验结果；
- i. 超声波检验报告；
- j. 其他检验和需方要求补充检验的结果；
- k. 交货锻件的实际尺寸和重量。

7 标志、包装

7.1 供方应在每个锻件相当于钢锭下部端面打上合同号、炉号、锭节号、件号等标记，并用白漆圈上。

7.2 供方应对每个锻件外表面和中心孔表面涂防锈剂，中心孔两头用木塞堵严，以防止运输和保管过程中损坏或腐蚀。

附加说明：

本标准由机械工业部德阳大型铸锻件研究所提出并归口。

本标准由杭州工业汽轮机研究所负责起草。

本标准主要起草人蔡令华、陈卫、万有文、余思荪、马飞良。

中 华 人 民 共 和 国
机 械 行 业 标 准
工业汽轮机转子体锻件
技 术 条 件
JB/T 7022—1993

★

机械科学研究院出版发行
机械科学研究院印刷
(北京首体南路2号 邮编 100044)

★

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 14,000
1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷
印数 1—500 定价 6.00 元
编号 1317

机械工业标准服务网: <http://www.JB.ac.cn>