

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 7022—2002

代替 JB/T 7022—1993

工业汽轮机转子体锻件技术条件

Specification for rotor forgings for industrial steam turbines

2002-12-27 发布

2003-04-01 实施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 订货要求	1
4 技术要求	1
4.1 制造方法	1
4.2 钢种和化学成分	2
4.3 力学性能	3
4.4 硬度均匀性	3
4.5 无损检验	3
4.6 晶粒度和非金属夹杂物	4
4.7 $FATT_{50}$ 值	4
4.8 热稳定性试验	4
4.9 高温力学性能	4
5 试验方法和检验规则	5
5.1 化学分析	5
5.2 力学性能	5
5.3 硬度均匀性	5
5.4 磁粉或酸洗检验	5
5.5 超声波检验	6
5.6 热稳定性试验	6
5.9 残余应力	6
5.10 复试	6
5.11 重新热处理	6
6 验收和合格证书	6
7 标志和包装	7
表 1 化学成分的质量分数	2
表 2 化学成分的质量分数的允许偏差	3
表 3 力学性能	3

前 言

本标准代替JB/T 7022—1993《工业汽轮机转子体锻件技术条件》

本标准与JB/T 7022—1993相比主要变化如下：

- 明确了夏比冲击V型和U型试样数量和要求；
- 增加了“单个分散缺陷”的定义；
- 增加了环芯电阻应变法测定残余应力的试验方法按JB/T 8888的规定。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由德阳大型铸锻件研究所归口。

本标准起草单位：杭州工业汽轮机研究所。

本标准主要起草人：方章法、蔡令华、陈卫、周明正。

本标准于1993年首次发布。

工业汽轮机转子体锻件技术条件

1 范围

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

本标准适用于工业汽轮机转子体锻件的订货、制造和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 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/T 223.3~78 钢铁及合金化学分析方法

GB/T 228 金属拉伸试验法

GB/T 229 金属夏比缺口冲击试验方法（GB/T 229—1994，eqv ISO 148:1983）

GB/T 231 金属布氏硬度试验方法

GB/T 2039 金属拉伸蠕变及持久试验方法（GB/T 2039—1997，eqv ISO/DIS 204:1991）

GB/T 6397 金属拉伸试验试样

GB/T 10561 钢中非金属夹杂物显微评定方法（GB/T 10561—1989，eqv ISO 4967:1979）

JB/T 1581 汽轮机、汽轮发电机转子和主轴锻件 超声波探伤方法

JB/T 8468 锻钢件 磁粉检验方法

JB/T 8888 环芯法测量汽轮机、汽轮发电机转子锻件 残余应力的试验方法

JB/T 9021 汽轮机主轴和转子锻件的热稳定性试验方法

YB/T 5148 金属平均晶粒度测定方法

ASTM A370 钢制品的力学性能试验方法和定义

3 订货要求

3.1 需方应在订货合同书或订货协议中注明采用的标准、钢号、强度等级、本标准条文中由供、需双方明确的要求及本标准要求以外的技术要求和检验项目。

3.2 需方应提供标明力学性能试验取样位置和传动端的锻件订货图和叶根槽深的精加工尺寸。

4 技术要求

4.1 制造方法

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差等有害缺陷。

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，以确保锻件组织均匀。

4.1.2.3 钢锭质量较好的一端应为传动端。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，回火温度应尽可能提高。回火后应缓冷，以确保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 锻件金相组织均匀，对28CrMoNiV和30CrMoNiV心部不应出现铁素体。

4.1.4 去除应力处理

4.1.4.1 锻件由供方进行去除应力处理，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，在保证残余应力合格的前提下，可不进行去除应力处理。

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形状尺寸和表面质量要求。

4.1.5.2 当供方进行粗加工时，应在规定部位留出供需方验收用的试料。

4.1.5.3 为尽可能减少锻件内应力，需方在半精加工之后宜再次进行去除应力处理。

4.1.5.4 有中心孔的转子体锻件，中心孔的加工应在粗加工后去除应力之前进行。

4.1.6 焊接

锻件在制造和包装过程中不允许焊接。

4.2 钢种和化学成分

4.2.1 钢的化学成分的质量分数（熔炼分析）应符合表1的规定。

表 1 化学成分的质量分数

											%
钢 号	C	Mn	Si ^a	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Al
34CrMo1	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	—
28CrMoNiV	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
30CrMoNiV	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
30Cr1Mo1V	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
34CrNi3Mo	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	—
25CrNiMoV	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	—
30Cr2Ni4MoV	≤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
^a 当采用真空碳脱氧时, Si≤0.10%。											

4.2.2 锻件的成品分析应符合表1的规定。在力学性能合格的情况下允许有表2规定的偏差。

表2 化学成分的质量分数的允许偏差

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

锻件的力学性能应符合表3的规定。

表3 力学性能

钢 号	尺寸范围* mm	取样位置	$\sigma_{0.2}$ MPa	σ_b MPa	δ_5 (δ_4) %	ψ %	A_{KV} (A_{KU2}) J	$FATT^{b}_{50}$ ℃
34CrMo1	<250	纵向	600~750	≥720	≥15	≥40	(≥47)	≤40
	<500	纵向	570~720	≥680	≥11	≥32	(≥39)	
28CrMoNiV	≤900	切向、纵向	550~700	700~850	≥15	≥40	≥24	≤85
30CrMoNiV	≥900	切向、纵向	550~700	700~850	≥15	≥40	≥24	≤85
30Cr1Mo1V	≤1200	切向、纵向	590~690	≥720	(≥15)	≥40	≥8	≤116
		心部纵向	≥550	≥690	(≥15)	≥40	≥7	
34CrNi3Mo	<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)	≤20
		切向	715~865	≥830	≥12	≥30	(≥39)	
25CrNiMoV	≤1000	纵向	≥500	≥650	≥15	≥40	≥47	≤40
		切向	≥480	≥620	≥11	≥32	≥39	
	≤1000	纵向	≥600	≥720	≥15	≥40	≥47	≤40
		切向	≥570	≥680	≥11	≥32	≥39	
30Cr2Ni4MoV	≤1200	切向、纵向	≥760	860~970	(≥16)	≥45	≥41	≤13
		心部纵向	≥725	≥825	(≥16)	≥45	≥34	

纵向试样应取自粗加工锻件端面距外表面1/3半径处。

夏比V型冲击按一组三个试样单值的算术平均值，允许其中一个试样单值低于规定值，但不得低于规定值的70%。

夏比U型冲击按一组两个试样，每个试样单值均不得低于规定值。

* 尺寸范围指锻件粗加工后，性能热处理前的最大直径，仅供参考。

^b $FATT_{50}$ 数据由订货合同规定是否作为验收依据。

4.4 硬度均匀性

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

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、折叠和过度的偏析、缩松等缺陷。

4.5.2 磁粉或酸洗检验

供方应保证磁粉或酸洗检验符合以下规定：

a) 转子体外圆表面不允许有长度大于1.5mm的缺陷显示。

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

4.5.3 超声波检验

超声波检验应符合以下规定:

- a) 当量直径1.6mm以下的单个分散缺陷不计,但杂波高度应低于当量直径1.6mm幅度的50%。
b) 当量直径1.6mm~3.5mm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,当量直径1.6mm~3.5mm的缺陷总数不得超过20个,不允许任何当量直径大于3.5mm的缺陷存在。
c) 有中心孔转子体距中心孔表面75mm范围内和叶根槽深加25mm范围内不允许存在当量直径为1.2mm的密集性缺陷,其余区域若检测出密集缺陷,应记录密集区尺寸及其轴向、径向和周向位置,并报告需方以进行评审。
d) 由缺陷引起的底波损失超过3dB时应报告需方。
e) 不允许有游动信号和连续缺陷显示。
f) 供方向需方提供2MHz~2.5MHz探头分别在转子体最大直径处的两端和中间三处测得的材料衰减数据。

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与协商,但锻件是否可用由需方决定。

注:单个分散缺陷是指相邻两缺陷之间的距离大于其中较大缺陷当量直径10倍的缺陷。

4.5.4 中心孔

有中心孔的转子体锻件的中心孔检查应符合以下规定:

- a) 长度大于等于1.5mm的缺陷显示应记录其轴向和周向的位置,并报告需方。
b) 在60cm²面积内不允许有三个长度大于1.5mm的缺陷显示或九个长度小于1.5mm的缺陷显示。
c) 在整个表面上,分散的长度为1.5mm~3mm的缺陷显示不应超过10个,长度小于1.5mm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50mm。
d) 不允许有长度大于3mm可见缺陷及非金属夹杂物组成的密集区。
e) 不允许有任何撕裂状、分叉的缺陷。
f) 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五倍时,按一个连续缺陷处理。

不符合上述要求的缺陷时,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应超过1.6mm,并与圆周表面圆滑过渡。

4.6 晶粒度和非金属夹杂物

4.6.1 晶粒度

当要求检验晶粒度时,应在订货合同中注明。平均晶粒度不得粗于4级。

4.6.2 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。锻件的A、B、C、D四种类型非金属夹杂物均不得超过3级。

4.7 $FATT_{50}$ 值

当要求检验 $FATT_{50}$ 值时,应在订货合同中注明,并规定脆性转变温度。

4.8 热稳定性试验

热稳定性试验结果应符合JB/T 9021的规定。

4.9 高温力学性能

4.9.1 首次生产的同一种材料、同一规格、高温工作的转子体应进行高温力学性能测定。

4.9.2 当要求供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 试验方法和检验规则

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力学性能试样。

5.1.3 化学分析试样的取样方法按GB/T 222的规定进行。

5.1.4 化学分析方法按GB/T 223.3~78的规定方法或能保证分析质量的其他方法进行。

5.2 力学性能

5.2.1 试样取样

锻件应在性能热处理后切取力学性能试样，取样部位应符合以下规定：

a) 纵向试样

1) 交货重量小于等于1t的锻件，供方在任一端距外表面1/3处，取一个纵向拉伸试样和三个冲击试样（U型冲击试验则取两个冲击试样，下同），需方在另一端取样验收；

2) 交货重量大于1t的锻件，在其两端各取一个纵向拉伸试样和三个冲击试样。

b) 切向试样

1) 交货重量小于等于6t的锻件，在轴身非传动端上切取一个切向拉伸试样和三个冲击试样；

2) 交货重量大于6t的锻件，在轴身两端各取一个切向拉伸试样和三个冲击试样。

c) 中心孔试样

中心孔试样的位置和数量应在订货图样上规定。

d) 取样方式

采用截割取样时，锻件应留双倍试样，并在粗加工图上标明试样位置。采用套料或局部锯割取样时，供需双方共用同一段试料。

e) 制备与切取

拉伸试样的制备与切取应符合GB/T 6397规定的短比例试样。

5.2.2 拉伸试验

按GB/T 228或ASTM A370规定的方法进行。高温拉伸试验按GB/T 2039的规定。

5.2.3 冲击试验

按GB/T 229的规定进行。

5.3 硬度均匀性

性能热处理后进行硬度均匀性检查。按GB/T 231规定的方法在每个锻件两轴颈和轴身部位外圆表面每隔90°各测一点（共12点）。

5.4 磁粉或酸洗检验

磁粉或酸洗检验宜在需方进行。

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、轴身过渡区进行磁粉检验，也可采用酸洗检验替代。

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 检验方法

5.4.2.1 磁粉检验方法按JB/T 8468或其他公认的方法。

5.4.2.2 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%（质量分数）的过硫酸铵水溶液，然后用10%（质量分数）硝酸水溶液，酸洗时间宜分别不少于15min。酸洗后进行两次检查，第一次检查在酸洗后10min，第二次检查在酸洗后不少于12h。

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之后开槽之前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，在重新热处理后应再次进行超声波检验。

5.5.3 超声波检验方法按JB/T 1581规定。

5.6 热稳定性试验

热稳定性试验在需方按JB/T 9021规定的方法进行，对尺寸较小的锻件测量带数量可适当减少，供方应对试验结果负责。

5.7 中心孔检查

5.7.1 对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 中心孔检查通常用窥膛仪观察，必要时用磁粉检验结合窥膛仪观察。

5.8 金相检查

5.8.1 晶粒度测定试样取自本体切向试样，检验方法按YB/T 5148的规定。

5.8.2 非金属夹杂物检验方法按GB/T 10561的A法规定，采用JK图评定。

5.9 残余应力

5.9.1 采用切环法或环芯电阻应变法测定残余应力。

5.9.2 切环法是在轴身的一端切取试样尺寸为25mm×25mm的圆环，用测量该环切割前后平均变形量的方法计算应力，计算公式为：

$$\sigma_r = E \delta / D$$

式中：

σ_r ——残余应力，单位为MPa；

E ——材料的弹性模量，单位为MPa；

δ ——直径增量的代数值，单位为mm；

D ——切割前环的外径，单位为mm。

5.9.3 环芯电阻应变法按JB/T 8888规定的方法进行。

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两个补充试样进行拉伸试验，两个试样的各项试验结果均应达到要求。

5.10.4 室温冲击值不合格时，应在原试样邻近处取一组试样（V型冲击为三个试样，U型冲击为两个试样）进行冲击试验，所有复试试样的冲击值均应符合要求，而且连同初试的试样在内的所有试样平均值也应超过规定值，否则不予验收。

5.11 重新热处理

5.11.1 当锻件的力学性能复试结果仍不合格时，允许重新热处理，并按5.2的规定重新检验。

5.11.2 锻件重新热处理次数一般不得超过两次（指重新淬火）。

6 验收和合格证书

6.1 供方应按本标准和合同规定的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 需方可按本标准和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现场验收工作。

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、钢种和锻件级别；
- d) 熔炼炉号、件号、锭节号及熔炼方法；
- e) 化学分析结果；
- f) 钢锭的主要尺寸及锻件的实际锻造比；
- g) 各次热处理的实际温度保温时间和冷却方式；
- 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 标志和包装

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。
