

团 体 标 准

T/CCMI XXX—XXXX

1000MW 级核电汽轮机组整锻低压转子 锻件 技术条件

Standard specification for mono-block low press rotor forging of
nuclear1000MW turbine

（征求意见稿）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中 国 锻 压 协 会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 订货要求 1

4 制造工艺 2

5 技术要求 3

6 检验规则和试验方法 5

7 验收和质量证明书 6

8 标识和包装 7

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这些专利。

本文件由中国第一重型机械股份公司提出。

本文件由中国锻压协会归口。

本文件主编单位：中国第一重型机械股份公司。

本文件参编单位：哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、上海电气电站设备有限公司。

本标准主要起草人：张金珠、于秀平、芮守泰、曹志远、张国利、赵义翰、陈纪伟、宫金鑫。

本文件为首次发布。

1000MW 级核电汽轮机组整锻低压转子锻件 技术条件

1 范围

本文件规定了1000MW等级及以上核电机组汽轮机用30Cr2Ni4MoV合金钢整锻低压转子锻件的订货要求、制造工艺、技术要求、检验规则和试验方法、验收和质量证明书、标识和包装等。

本标准适用于1000MW等级及以上核电机组汽轮机用30Cr2Ni4MoV合金钢整锻低压转子锻件的采购和验收。

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 223(适用部分) 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定-标准评级图显微检验法
- JB/T 8467 锻钢件超声检测
- JB/T 8468 锻钢件磁粉检测
- 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

3 订货要求

3.1 供方在制造之前应提交制造大纲，文件应列出其认为直接影响锻件质量的“主要参数”，并作详细说明。制造大纲中至少应包括的“主要参数”有：

- 原材料；
- 冶炼工艺；
- 钢锭的重量和类型；
- 钢锭头、尾切除百分比；
- 锻件在钢锭中的位置示意图；
- 每个锻造工序后的标注有尺寸的锻坯简图，并注明锻造比；
- 锻件锻造毛坯外形图、热处理外形图、无损检测外形图；
- 锻后热处理、性能热处理工艺形式和主要参数；
- 验收试验试料在锻件上的位置图；
- 试样在试料上的位置图；
- 检测项目及检测标准。

应按时间先后顺序列出冶炼、锻造、机加工、热处理、取样、性能检测、无损检测等工序的工艺流程。

3.2 需方应提供标明力学性能试验取样位置的转子锻件订货图样，必要时应提供精加工尺寸。

3.3 需方应在合同中注明要求参加现场检验的项目。

4 制造工艺

4.1 冶炼

锻件用钢采用电炉冶炼，在熔炼过程中尽可能减少钢液中的氢含量。钢水采用真空碳脱氧，未经需方同意不得采用其它脱氧方法。真空浇铸钢锭，真空度通常低于133Pa。

4.2 锻造

4.2.1 锻件应在有足够能力的锻压机上锻造成形，以确保锻件整个截面充分锻透；钢锭质量较好端作为发电端。

4.2.2 钢锭的顶部和底部应有足够的切除量，以确保锻件无缩孔、疏松、严重的偏析和其他有害缺陷。

4.2.3 锻造比至少应不小于3.5。

4.3 热处理

4.3.1 预备热处理

锻件的预备热处理为正火和回火。

4.3.2 性能热处理

性能热处理为淬火加回火。性能热处理应将锻件均匀加热到830℃～860℃，保温足够长的时间使锻件完全奥氏体化，然后水冷或喷水冷。待内部组织完全转变后，应进行回火处理，保温足够长的时间并控制好冷却速率，以使残余应力达到最小值。

锻件的性能热处理应在垂直状态下进行，锻件圆周和整个长度上的冷却速度尽可能均匀一致。

4.3.3 去应力处理

去应力热处理应在垂直状态下进行，温度应低于调质回火温度20℃～50℃。保温足够时间，以确保锻件内部温度均匀，缓慢冷却。

对于残余应力合格的锻件，调质回火冷却速度 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，锻件可不进行去应力热处理，若锻件残余应力检测超过规定值，需进行去应力热处理。

4.4 机械加工

4.4.1 在性能热处理以前，锻件的全部表面应进行第一次粗加工。

4.4.2 在性能热处理之后，超声波检测前锻件应进行第二次粗加工。

4.4.3 不允许在性能热处理和正式的超声波探伤之前进行整体叶轮间的切槽和加工叶轮台阶。

4.4.4 在各项性能检验和超声检测合格后，锻件应按需方订货图纸规定的尺寸、公差以及粗糙度要求进行加工。

4.5 焊接

锻件在任何时候都不得进行焊接。

5 技术要求

5.1 化学成分

5.1.1 供方需对每炉钢水进行熔炼分析，多炉合浇时的权重分析结果应符合表 1 的规定。

5.1.2 供方需对每个锻件进行成品分析，成品分析结果应符合表 2 的规定。

5.1.3 每个锻件应分析气体元素含量，分析结果应满足表 3 的规定。

表1 熔炼分析

(质量分数，%)

元素	质量分数	元素	质量分数
C	≤0.35	Mo	0.30~0.60
Si	≤0.05	V	0.07~0.15
Mn	0.20~0.40	Cu	≤0.10
P	≤0.007	Al	≤0.005
S	≤0.003	As	≤0.010
Cr	1.50~2.00	Sn	≤0.006
Ni	3.25~3.75	Sb	≤0.0010

表2 成品分析

(质量分数，%)

元素	质量分数	元素	质量分数
C	≤0.37	Mo	0.28~0.62
Si	≤0.07	V	0.06~0.16
Mn	0.17~0.43	Cu	≤0.12
P	≤0.009	Al	≤0.007
S	≤0.005	As	≤0.015
Cr	1.45~2.05	Sn	≤0.008
Ni	3.18~3.82	Sb	≤0.0017

表3 气体含量分析

H ₂	O ₂	N ₂
≤1.5ppm	≤35ppm	≤70ppm

5.2 力学性能

如果没有其他规定，锻件力学性能应符合表4的规定。径向试样屈服强度最大值和最小值之差应不大于55MPa。

表4 锻件的力学性能

R _m MPa	R _{p0.2} MPa	Z %	A %	21℃~27℃ KV ₂ J	FATT ℃
724~862	≥621	≥50	≥17	≥68	≤-7
注：V型缺口冲击试验为一组三个试样，三个试样的试验结果的算术平均值不应低于规定值，其中只允许有一个试样的试验结果低于规定值，但不应低于规定值的70%。					

5.3 硬度均匀性

锻件在性能热处理后检查硬度的均匀性，硬度的绝对值供参考。在同一圆周上各点间的硬度差不应超过30HBW，在同一母线上的硬度差不应超过40HBW。

5.4 金相检验

锻件的平均晶粒度应不粗于3.0级。
锻件的A、B、C、D类型夹杂物均不应超过2.5级。

5.5 残余应力

锻件的残余应力不应超过50MPa。若残余应力不合格，锻件可进行去应力处理，并重新测定残余应力和硬度。

5.6 无损检测

5.6.1 一般要求

锻件不应有裂纹、白点、缩孔、折叠、过多的非金属夹杂物、严重偏析以及其它有害缺陷。

5.6.2 超声波检测

在完成粗加工和性能热处理后，应对转子锻件的外圆表面进行超声波检测。
超声波检测结果应符合以下规定：
a) 当量直径小于Φ1.6mm的单个分散缺陷不计，但杂波高度应低于当量直径Φ1.6mm幅度的50%；
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。
b) 不允许当量直径Φ1.6mm以上的单个缺陷和当量直径Φ1.0mm以上的密集缺陷；
c) 不应有游动缺陷信号和连续缺陷信号；
d) 供方应向需方提供用2MHz~5MHz探头在锻件最大直径处两端和中间三处测得的材料衰减数据；
e) 超过上述要求的缺陷应报告需方，由供需双方进行复验和协商，但锻件是否可用由需方决定。

5.6.3 磁粉检测

在交货态，供方应对锻件轴身与轴颈的过渡圆角处、两轴颈外圆进行磁粉检测，磁粉检测结果应符合以下规定：记录所有长度>1.0mm的缺陷显示大小（长，宽，及形状）及位置；不允许1.5mm以上的显示。
锻件在精加工后，由需方对外圆表面进行磁粉检验，供方对检验结果负责。

5.7 热稳定性

锻件在交货态进行热稳定性试验。

5.8 尺寸、公差和表面粗糙度

锻件尺寸、公差和表面粗糙度应符合双方确认的订货图样的要求。

6 检验规则和试验方法

6.1 化学成分分析

化学成分分析应按GB/T 223规定的方法或能保证分析质量的其他分析方法进行。
应对每炉（每包）钢水测定其化学成分，多炉合浇时应报告权重平均分析结果。
成品分析试样和气体含量分析试样的位置参照需方提供的订货图纸。

6.2 力学性能试验

在性能热处理后、去应力热处理前进行。

6.2.1 拉伸试验方法

拉伸性能试验应按GB/T 228.1规定的方法进行，取样部位参照需方提供的订货图纸。

6.2.2 冲击试验方法

冲击性能试验按GB/T 229规定的方法进行，取样部位参照需方提供的订货图纸。除轴端试样以外，冲击试样槽口方向与转子的轴线平行。

6.3 硬度检验

硬度试验应按GB/T 231.1规定的方法进行。在外圆周表面相隔90°的4条母线上进行硬度测试，轴身检测2点，两端轴颈各检测1点，共计16点。

6.4 金相检验

6.4.1 晶粒度测定按GB/T 6394的规定方法进行。

6.4.2 非金属夹杂物的测定按GB/T 10561-2005中附录A的规定进行。

6.4.3 晶粒度测定用试样和非金属夹杂物检验试样取样部位参照需方提供的订货图纸。

6.5 残余应力测定

6.5.1 采用环芯电阻应变法测定残余应力。

6.5.2 环芯电阻应变法按JB/T 8888规定的方法进行。如订货图有要求，可按订货图指定部位测定残余应力。

6.6 无损检测

6.6.1 超声波检测

超声波检测按JB/T 8467规定的方法进行，评定和精确测定显示信号时可以采用斜探头辅助。

6.6.2 磁粉检测

磁粉检测按JB/T 8468的规定进行。

6.7 热稳定性检测

供方应对锻件进行热稳定性试验，按JB/T9021规定的方法进行，如果供方不具备试验条件，亦可在需方进行，供方应对试验结果负责。

需方的订货图纸中应指定锻件置于加热室中的区域、试验位置及试验温度。

6.8 复试

6.8.1 因白点和裂纹造成力学性能试验结果不合格时，不得复试。

6.8.2 如果力学性能试验中某一试验结果不合格，应在原试样相邻部位取两个试样进行复试。复试结果以及初试和复试三个试验结果的平均值均应满足规定要求。

6.9 重新热处理

6.9.1 如果锻件的任何一项力学性能复试结果仍不合格，且试样的强度高而塑性、韧性或脆性转变温度达不到要求时，锻件应重新进行回火。回火后应重新进行力学性能及金相检验。

6.9.2 如果力学性能试验结果表明不能重新进行回火，锻件应重新进行性能热处理。重新性能热处理后的锻件应重新进行力学性能及金相检验。

6.9.3 未经需方同意，重新性能热处理次数不应超过两次，回火次数不限。

7 验收和质量证明书

7.1 验收

7.1.1 供方向需方检验人员提供必要的条件，以便需方检验人员进行现场检验工作，需方检验人员不应给供方的生产造成妨碍。

7.1.2 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、以后的加工或检验中，发现锻件不符合本标准和订货合同中规定的补充技术要求条款的规定时，需方应及时通知供方，双方协商解决。

7.2 质量证明书

供方向需方提供质量证明书，质量证明书应至少包括以下内容：

- a) 合同号；
- b) 锻件图号；
- c) 锻件强度级别和材料牌号；
- d) 熔炼炉号、熔炼方法和锻件识别号；
- e) 熔炼分析和成品分析结果；
- f) 钢锭的主要尺寸、重量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) 力学性能的试验结果；
- i) 硬度检验结果；
- j) 超声波检测报告和磁粉检测报告；
- k) 残余应力检测结果；
- l) 金相检验结果；
- m) 其他检验和需方要求补充检验的结果；
- n) 交货锻件的实际尺寸和重量。

8 标识和包装

供方应在订货图样规定部位打印合同号、图号、熔炼炉号、锻件号和厂名等标记，并用白漆圈上。

锻件应打印上超声检测周向起始标记。

供方应对锻件的外表面进行适当保护，以防止在运输和保管过程中损坏或腐蚀。
