

团 体 标 准

T/CCMI 34—2024

超大功率风力发电机组空心主轴 技术规范

Technical specification for hollow spindle of super high power wind
turbine

2024 - 07 - 17 发布

2024 - 08 - 15 实施

中国锻压协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 订单信息	2
5 技术要求	2
6 试验方法	5
7 检验规则	7
8 标志、包装、运输和贮存	8
图 1 空心主轴取样图	6
表 1 化学成分	3
表 2 化学成分允许偏差	4
表 3 力学性能	4
表 4 夹杂物类型及允许级别	5
表 5 锻件检验项目	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。

本文件由中国锻压协会提出并归口。

本文件起草单位：振宏重工（江苏）股份有限公司，江阴南工锻造有限公司，明阳智慧能源集团股份公司，三鑫特材（常州）股份有限公司。

本文件主要起草人：赵智杰、闫振伟、许亮、薛松、缪志刚、薛振峰、袁震、季春东。

本文件为首次发布。

引 言

随着全球风力发电市场变化的增速，能源结构的持续优化，风电行业已进入加速增长时期，即使在各国政策以及宏观经济环境层面仍存在诸多挑战的条件下，各国政府和业界都在更大力度推动风电产业发展，中国也在提升能源安全保障能力、推进能源绿色低碳转型、加快规划建设风电新型能源体系等方面提出了新的战略发展目标。风电行业产品更新换代周期越来越短，单机容量呈大型化发展，低成本、高性能、短流程的新生产工艺，成为中国风电行业自身发展和与国外同行业竞争的重要技术支撑，而空心主轴制造技术是契合现有行业需求的有效技术手段和发展方向。

本文件在编写过程中，广泛征求了社会意见，以实现产品制造的节能、节材、降耗、提升综合经济效益为目的，以实用性、科学性、先进性相结合为宗旨，对原材料的化学成分范围进行了调控，增加了连铸坯的应用，对产品晶粒度等级、夹杂物等级、力学性能等锻件质量提出了更精确的要求，取样要求也更为全面，具有良好的操作性和指导性，真诚希望能为行业的发展起到相关的指导作用。

超大功率风力发电机组空心主轴技术规范

1 范围

本文件规定了超大功率风力发电机组空心主轴的订单信息，技术要求，试验方法，检验规则，和标志、包装、贮存和运输。

本文件适用于用合金钢锻件制造的功率不小于3 MW风力发电机组空心主轴（以下简称主轴）制造与验收。

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 222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T 223.82 钢铁 氢含量的测定 惰性气体熔融-热导或红外法
- 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 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1804-2000 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）
- GB/T 4341 金属肖氏硬度试验方法
- GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验
- GB/T 6394-2017 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 6402 钢锻件超声检测方法
- GB/T 8923.1-2011 涂覆材料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9286-2021 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法
- GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
- GB/T 10561-2023 钢中非金属夹杂物含量的测定-标准评级图显微检验法
- GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
- GB/T 11374 热喷涂涂层厚度的无损测量方法
- GB/T 13288.2 涂覆材料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第2部分：磨料喷射清理后钢材表面粗糙度等级的测定方法 比较样块法
- GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定
- GB/T 17394（所有部分） 金属材料 里氏硬度试验
- GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）
- GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法（常规方法）
- GB/T 30790.4 色漆和清漆 防护漆体系对钢结构的防腐蚀保护 第4部分：表面类型和表面处理

GB/T 34524-2017 风力发电机组 主轴

JB/T 5000.13 重型机械通用技术条件 第13部分：包装

JB/T 5000.15-2007 重型机械通用技术条件 第15部分：锻钢件无损探伤

JB/T 6052 钢质自由锻件加热通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 34524 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

空心主轴 hollow shaft

性能热处理时，内孔经机械加工并留有精加工余量的空心状态，主轴通孔最小直径 $\Phi 400\text{mm}$ 以上的水平轴型风力发电机主轴。

[来源：GB/T 34524-2017，3.5，有修改]

3.2

法兰端 flange side

位于风力发电机组空心主轴大截面端，与机组轮毂连接的一端。

[来源：GB/T 34524-2017，3.2，有修改]

3.3

小轴端 end shaft

位于风力发电机组空心主轴末端，有齿轮箱时，与机组齿轮箱连接的一端。

[来源：GB/T 34524-2017，3.3，有修改]

4 订单信息

下列信息应由需方提供：

- a) 材料、图纸、技术要求、交货状态、供货数量；
- b) 不同于本文件的其他技术要求；
- c) 需方有见证点要求应在合同中注明。

5 技术要求

5.1 制造工艺

5.1.1 工艺流程

原材料—原材料检验—加热与锻造—锻后热处理—机械粗加工—超声波检测—调质热处理—检验和试验—机械半精加工—超声波检测—机械精加工—磁粉探伤—表面防腐—验收—标志、包装、运输和贮存。

5.1.2 原材料

- 5.1.2.1 钢锭或连铸坯供应方应通过需方的考核评定认可方可供料，且供应方应提供有效的材料质量证明书。
- 5.1.2.2 钢锭或连铸坯均采用碱性电炉冶炼（EAF）或转炉（BOF）、钢包精炼（LF）和真空除气处理（VD 或 RH），或经需求方同意的保证产品质量的其它冶炼方法。
- 5.1.2.3 钢锭或连铸坯可采用热送或退火状态交货。
- 5.1.2.4 原材料到厂后应进行化学成分分析。

5.1.3 加热与锻造

- 5.1.3.1 锻造加热应按 JB/T 6052 执行。
- 5.1.3.2 锻造应采用全纤维锻造法，总锻造比（法兰锻粗成型前最大截面锻造比）不应小于 4。
- 5.1.3.3 模铸钢锭水口和冒口端应有足够切除量，确保锻件无缩孔及严重偏析。连铸坯锻件制坯冲孔直径不应小于 $\Phi 450$ mm。
- 5.1.3.4 主轴应用钢锭（或连铸坯）锻造成型，锻造时应有确保锻透和组织均匀的充分变形量。
- 5.1.3.5 钢锭水口端应作为主轴锻件的法兰端成型，连铸坯可不区分两端，或与客户协商一致。
- 5.1.3.6 锻造工艺应明确材料牌号，工件编号，坯料质量与尺寸，主要变形过程图文展示，锻造设备，主要工装辅具等。始锻温度、终锻温度、加热保温时间、变形记录等锻造关键过程参数应控制和记录并具备可追溯性。

5.1.4 热处理

- 5.1.4.1 主轴锻后应采用正火+回火处理（回火保温时间与出炉温度，以不形成白点为准）。
- 5.1.4.2 调质热处理应在适当结构的炉内进行，该炉应按 GB/T 9452 要求进行炉温均匀性测试。炉温均匀性的精度应达到 ± 10 °C 以内。
- 5.1.4.3 锻件调质热处理时，调质处理回火温度不宜低于 580 °C。合同或技术协议有要求时，应作相关材料试验。

5.1.5 外观及尺寸

- 5.1.5.1 制造过程中不允许采用任何形式的焊接、熔覆或镀层等方式添加材料。
- 5.1.5.2 主轴加工应按有效图纸和和技术要求执行。

5.2 化学成分

钢锭材料牌号应为 42CrMo4(+Ni) 或 34CrNiMo6，化学成分应符合表1的要求。化学成分允许偏差应符合表2的规定，未注元素成分偏差应符合 GB/T 222 的要求。

表1 化学成分

质量分数 %

材料牌号	C	Si \leq	Mn	P \leq	S \leq	Cr	Mo	Ni
42CrMo4(+Ni)	0.38~0.45	0.40	0.60~0.80	0.020	0.015	0.9~1.20	0.15~0.30	(0.30~0.60)
34CrNiMo6	0.30~0.38	0.40	0.50~0.80	0.020	0.015	1.30~1.70	0.15~0.30	1.30~1.70

注1: As、Sn、Sb、Pb 及 Bi \leq 0.01%，Cu \leq 0.25%。
注2: (+Ni)表示当材料有 Ni 元素含量需求时。
注3: 成品锻件气体含量[H] \leq 1.2 \times 10⁻⁶，[O] \leq 30 \times 10⁻⁶，[N] \leq 70 \times 10⁻⁶。
注4: 成分可以根据特殊要求调整，应与客户协商一致。

表2 化学成分允许偏差

质量分数%

元素	允许偏差	元素	允许偏差
C	±0.02	P	+0.003
Si	+0.03	Mo	±0.03
Mn	±0.04	Cr	±0.05
S	+0.003	Ni	+0.05

5.3 力学性能

力学性能应符合表3的规定。

表3 力学性能

材料牌号	热处理状态	取样方向	纵向力学性能					冲击功 Ak _v /J	硬度 HBW
			抗拉强度 R _m /MPa	屈服强度 R _{p0.2} /MPa	伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%			
42CrMo4 (+Ni)	调质	纵向	710~950	≥550	≥15	≥45	(-20℃) 平均≥27 最小值(仅允许一个) ≥19	250 ~ 300	
							(-30℃) 平均≥35 最小值(仅允许一个) ≥25		
		切向	710~950	≥550	≥13	≥40	(-20℃) 平均≥27 最小值(仅允许一个) ≥19		
							(-30℃) 平均≥35 最小值(仅允许一个) ≥25		
34CrNiMo6	调质	纵向	≥820	≥640	≥14	≥52	(-40℃) 平均≥42 最小值(仅允许一个) ≥29	260 ~ 300	
		切向	≥820	≥640	≥13	≥43			

注：非客户明确要求时，以性能指标为验收依据，硬度仅作为参考，不作为验收依据。

5.4 硬度

同一锻件表面硬度差不应超过 30 HBW，同一热处理炉批次锻件的硬度相对差不应超过 50 HBW。

5.5 晶粒度

热处理后锻件晶粒度不应小于 GB/T 6394-2017中 6 级，级差不应超过 3 级。

5.6 夹杂物

热处理后锻件夹杂物级别应符合表 4 的要求。

表4 夹杂物类型及允许级别

A: 硫化物类		B: 氧化铝类		C: 硅酸盐类		D: 球状氧化物类		Ds 类
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
≤1.5	1	1.5	1	1	1	1	1	≤1.5
注: 检验结果A、B、C、D、Ds五项之和不大于 4 级。								

5.7 无损检测

5.7.1 一般要求

锻件应无白点、裂纹、折叠、缩孔、严重的偏析和严重的非金属夹杂物聚集等影响使用性能和表面质量的缺陷。

5.7.2 超声波检测

- 锻件调质热处理并半精加工后, 应对锻件进行超声波检测。主轴超声波检测应 GB/T 6402-2008 中的 4 级要求执行, 且检测前主轴表面粗糙度应达到 Ra 6.3 或更优。
- 近表面检查增加双晶探查, 超声波仪器应使用双晶探头且综合性能指标应满足频率 2 MHz~6 MHz, 直径 10 mm~30 mm。

5.7.3 磁粉探伤

空心主轴精加工完毕后, 应对整体外圆表面进行磁粉探伤, 达到 JB/T 5000.15-2007 质量等级 1 级。

5.8 表面防腐

5.8.1 清洗

锻件表面清洗应按 GB/T 30790.4 执行, 彻底清除油、脂、脏物及 NDT 残留物。

5.8.2 表面处理

5.8.2.1 喷漆表面经喷砂处理后清洁度应达到 GB/T 8923.1-2011 中 Sa 2½ 等级, 喷砂后粗糙度应达到 GB/T 13288.2 粗糙度等级范围“中”等级。

5.8.2.2 热喷金属表面经喷砂处理后清洁度应达到 GB/T 8923.1-2011 中 Sa 3 等级, 喷砂后粗糙度应达到 GB/T 13288.2 粗糙度等级范围“中”等级。

5.8.3 涂层

表面锌层的热喷涂处理应该 GB/T 9793 执行, 或根据供需双方确定的涂装要求执行。

5.8.4 附着力

附着力应符合 GB/T 9286-2021 中 2 级的规定, 且附着力不应小于 5 MPa。

6 试验方法

6.1 化学成分分析

6.1.1 钢的化学成分检测应按 GB/T 223.82、GB/T 4336、GB/T 11261、GB/T 20123、GB/T 20124 执行。

6.1.2 热送状态交货时，试样应来自于材料的同炉冶炼的熔炼炉后分析试样，退火状态交货时，试样应取自于原材料本体。

6.2 力学性能

6.2.1 取样位置、方向、数量

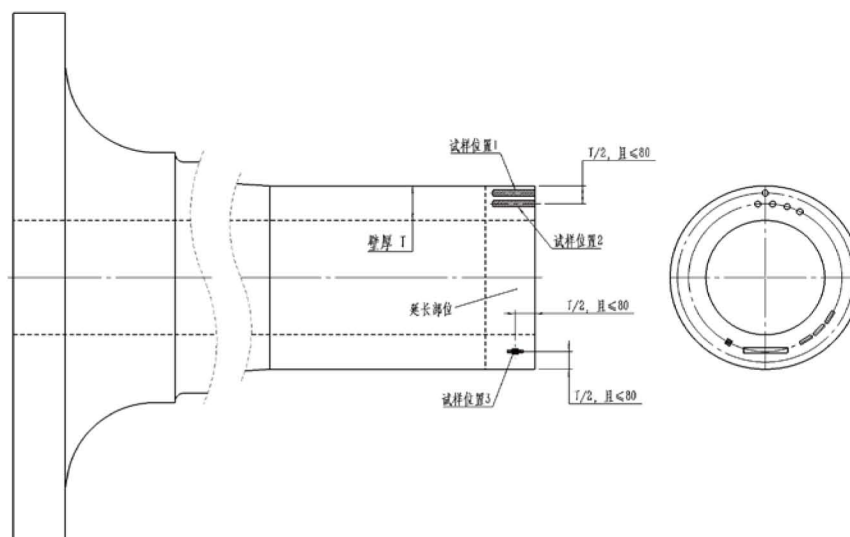
6.2.1.1 空心主轴的试样应采取自锻件的延长部位。

6.2.1.2 纵向拉伸试样按图 1 试样位置 1 和试样位置 2 制取；纵向冲击试样按图 1 试样位置 3 制取。

6.2.1.3 切向拉伸试样、切向冲击试样按图 1 试样位置 3 制取。

6.2.1.4 金相试样、成分试样按图 1 试样位置 3 制取；也可与需方协商引用其他试样位置。

6.2.1.5 每组力学性能试样的数量应为 1 个拉伸试样、3 个冲击试样，取样总数量应按与客户协商一致执行。



图中：

试样位置1：试样中心位置在延长部位外圆表面以下30 mm处。

试样位置2：试样中心位置在延长部位外圆表面以下二分之一壁厚（ $T/2$ ）且不超过80 mm处。

试样位置3：试样中心位置在延长部位外圆表面以下二分之一壁厚（ $T/2$ ）且不超过80 mm，距离小头端平面二分之一壁厚（ $T/2$ ）且不超过80 mm处。

注：纵向试样为试样长轴平行于主轴锻造时最大延伸方向的试样；切向试样为试样长轴沿主轴圆周方向且垂直于纵向方向的试样。

图1 空心主轴取样图

6.2.2 拉伸试验

拉伸试验应按GB/T 228.1执行。

6.2.3 缺口冲击试验

缺口冲击试验应按GB/T 229执行。

6.3 硬度检验

6.3.1 应在 120° 三条母线上检测锻件的法兰端、小轴端和中间段外圆表面三处硬度。

6.3.2 硬度应在最终性能热处理后检验，宜采用里氏硬度计或采用肖式硬度计在工件表面上执行。检测应分别按 GB/T 17394 和 GB/T 4341 执行。

6.4 晶粒度

调质后晶粒度检验应按 GB/T 6394-2017 的规定执行。

6.5 夹杂物

夹杂物应按 GB/T 10561-2023 中 A 法检查评定。

6.6 无损检测

6.6.1 超声波检测

锻件超声波检测应按 GB/T 6402 执行。

6.6.2 磁粉探伤

空心主轴整体外圆表面应按 JB/T 5000.15-2007 进行磁粉探伤。

6.7 外观及尺寸

6.7.1 主轴的机械加工应按需方订货图样的尺寸、公差和表面粗糙度等要求执行。

6.7.2 未注尺寸公差应按 GB/T 1804-2000 中 m 级的规定执行，未注形位公差应按 GB/T 1184 中 H 级的规定执行。

6.8 表面防腐

6.8.1 油漆干膜厚度应按 GB/T 13452.2 执行，热喷金属干膜厚度应按 GB/T 11374 执行。

6.8.2 应按 GB/T 9286-2021 采用划格试验确定附着力。应按 GB/T 5210 对附着力进行检验。

6.9 复试和重新热处理

6.9.1 当试验中某一试验结果不合格时，可在主轴上与原试样相邻部位取两倍试样复试，试样的复试结果应全部符合规定。

6.9.2 力学性能检测中发现因白点和裂纹导致不合格，产品不得复验，应报废。

6.9.3 当主轴力学性能不合格时，可采用重新热处理，但重新淬火次数不应超过一次，正回火次数不限制。

7 检验规则

7.1 检验项目

锻件检验项目见表5。

表5 锻件检验项目

序号	检验项目	检验频次	要求章条号	检验方法章条号
1	化学成分	每炉取一试样	5.2	6.1
2	力学性能	逐件	5.3	6.2
3	硬度		5.4	6.3
4	晶粒度		5.5	6.4
5	夹杂物		5.6	6.5
6	无损检测		5.7	6.6
7	外观及尺寸		5.1	6.7
8	表面防腐		5.8	6.8

7.2 验收

7.2.1 主轴应经供方质检部门按本文件检验合格，并附产品合格证后方可出厂。

7.2.2 验收过程中或以后的加工中发现锻件不符合本文件或订货合同的规定时，需方应及时通知供方，双方协商解决。

7.2.3 供方应向需方提供合格证书，合格证书应包括下列文件内容：

- a) 合同号；
- b) 产品图号；
- c) 标准号和材料牌号；
- d) 冶炼方法、熔炼炉号、锻件标识号；
- e) 熔炼分析报告；
- f) 热处理工艺报告和曲线；
- g) 无损探伤检测报告；
- h) 力学性能检测报告；
- i) 金相检验报告；
- j) 成品尺寸检测报告和重量；
- k) 防腐检验报告；
- l) 其他检验和需方需要补充检验的结果。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

每个主轴应按要求作标志，标志位置宜在主轴法兰外圆表面，也可是需方指定的其他位置，标志应包括下列内容：

- a) 产品序列号；
- b) 产品图号；
- c) 材料牌号；
- d) 供方标识；
- e) 冶炼炉号；
- f) 需方要求的其他内容。

8.2 包装

8.2.1 主轴应按合同、图纸及技术协议要求采用防腐处理。需方对涂装材料有要求时，应在订货协议或技术要求中明确。

8.2.2 发货前，应对每支主轴进行包装防护，包装防护应符合 JB/T 5000.13 的规定，如需方另有要求，需按订货协议或合同规定的要求执行。

8.3 运输

8.3.1 装载时零部件之间应做好保护处理，不得堆叠，不得与腐蚀性液体或固体混装。

8.3.2 运输过程中需要使用防潮、防震、防搬运的材料和装备对货物进行防护，禁止与车板或集装箱内壁直接接触，以确保货物安全。

8.3.3 货物经中转时运输应按照原包装样式装车，不得改变原物料的包装。

8.3.4 货物送达目的地后，承运方应与货物接收方进行资料交接和进货检查，在满足货物卸车环境的情况下去除网罩、防雨篷布和紧固绳索卸车。

8.4 贮存

主轴应采用单放的方式贮存在通风、干燥的厂房内。

中国锻压协会标准

标准名称：超大功率风力发电机组空心主轴技术规范
标准编号：T/CCMI 34—2024

中国锻压协会出版
北京市昌平区北清路中关村生命科学园博雅C座10层
邮编：102206
网址：www.chinaforge.org.cn
标准委员会电话：86-010-53056669

如有印装差错 由中国锻压协会标准委员会调换

版权专有 侵权必究
举报电话：86-010-53056669