

ICS 27.100
F 23
备案号: 15174-2005

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 905 — 2004

汽轮机叶片焊接修复技术导则

Technical guide for repair welding of turbine blades

2004-12-14 发布

2005-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 一般规定	1
4 母材、焊接材料与焊接设备	2
5 焊接工艺	2
6 质量检验	3
7 焊缝返修	4
8 技术文件	4

前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会《关于确认 2001 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（电力[2001]44 号文）的安排编制的。

本标准主要是根据电力行业火电厂多年来有关汽轮机叶片损伤采用焊接方法修复的研究成果以及积累的经验编写的，对火力发电厂汽轮机叶片修复工作所涉及的焊接和热处理人员的资格、设备及工艺、技术措施、质量与安全等方面做出了具体规定。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站焊接标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：国电电力建设研究所、山东电力研究院、华北电网有限公司焊接技术培训中心、河北电力研究院、江苏电力建设第一工程公司、宁夏电力科技教育工程院。

本标准主要起草人：徐德录、张忠文、任永宁、姜运健、张学诚、马彦喜、郭军。

本标准为首次发布。

汽轮机叶片焊接修复技术导则

1 范围

本标准规定了汽轮机叶片焊接修复的技术条件及其验收要求。

本标准适用于火力发电厂采用焊条电弧焊、手工钨极氩弧焊方法从事汽轮机叶片的焊接修复，也适用于汽轮机叶片围带及拉筋的焊接修复。

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 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- DL 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 679 焊工技术考核规程
- DL/T 819 火力发电厂焊接热处理技术规程
- DL/T 868 焊接工艺评定规程
- DL/T 869 火力发电厂焊接技术规程
- JB/T 3223 焊接材料质量管理规程

3 一般规定

3.1 焊接工作人员

3.1.1 焊接工作人员包括焊接工程师、焊工、热处理人员和焊接检验人员。焊接工作人员除了满足 DL/T 869—2004 第 3 章的要求以外，还应符合本标准的相关要求。

3.1.2 焊接工程师：

- a) 取得焊接工程师及以上职务的人员主持汽轮机叶片的焊接修复工作。
- b) 焊接工程师应了解叶片的运行工况和缺陷产生的原因，掌握叶片材料的焊接性能，熟悉并认真执行本标准，主持焊接工艺试验，结合实际情况编制焊接工艺方案和作业指导书，负责焊接修复过程的监督。
- c) 焊接工程师负责确定检验部位，填写焊接接头无损检验委托书。
- d) 焊接工程师负责记录、检查、整理焊接技术资料，负责技术总结及验收评定工作。

3.1.3 焊工：

- a) 焊工必须取得 DL/T 679 I 类焊工 C I 类钢的焊接资格证书。焊前根据作业指导书按叶片的材质、类型模拟现场实际情况进行训练和培训。
- b) 焊工在施焊时应严格按照给定的焊接作业指导书进行施焊，出现问题应及时向焊接工程师汇报，不得擅自处理。

3.1.4 热处理人员：

- a) 热处理人员必须经过专门培训取得相应的资格证书，其资质应符合 DL/T 819 的相关规定。
- b) 热处理人员应严格执行焊接工艺方案中有关预热和热处理的规定，及时整理和出具热处理报告。

3.1.5 焊接检验人员：

- a) 焊接检验人员包括焊接质量检查、无损检验和理化检验人员。
- b) 焊接质量检查人员应取得相应的资格证书,对焊接修复工作进行全过程质量监督。
- c) 无损检验人员应具有Ⅱ级及以上检验资格。
- d) 无损检验人员应记录叶片上焊接前的原始缺陷,并及时出具焊后检验报告。
- e) 理化检验人员应经考核取得检验资格,按照焊接工艺方案的要求进行检验和试验并及时出具相应报告。

3.2 焊接工艺试验

施焊前应按工况特殊要求进行相应的焊接工艺试验。焊接工艺试验应按 DL/T 868 规定的原则执行。

3.3 安全要求和环境条件

- 3.3.1 焊接工作必须遵守安全、防护、防火等规程的有关规定。
- 3.3.2 焊接工作的环境温度不得低于 5℃,否则应采取相应措施。

3.4 其他

焊接修复后经质量检验合格的叶片应移交汽轮机专业人员进行其他项目的检测。

4 母材、焊接材料与焊接设备

4.1 母材、焊接材料

- 4.1.1 补焊前应查明母材的化学成分和力学性能。
- 4.1.2 宜采用同质的焊接材料,特殊情况也可采用铁基或镍基的奥氏体异质焊接材料。
- 4.1.3 焊接材料应有制造厂的质量合格证书,其管理应符合 JB/T 3223 的规定。
- 4.1.4 氩弧焊使用的氩气纯度要达到 99.95% 以上。

4.2 焊接设备

- 4.2.1 焊条电弧焊宜选用直流焊机,手工钨极氩弧焊宜使用具有脉冲功能的焊机。
- 4.2.2 焊接设备和热处理设备应参数稳定、调节灵活、安全可靠,并满足焊接和热处理规范的要求。
- 4.2.3 热处理设备应具有自动曲线记录功能;热电偶在使用前需经校验合格。

5 焊接工艺

5.1 焊前准备

- 5.1.1 采用磁粉或着色探伤方法检查裂纹的分布情况和尺寸,并做好记录。
- 5.1.2 当裂纹缺陷处于叶根至叶片顶端长度 2/3 范围内时不宜焊接修复。
- 5.1.3 配置的叶片材料应与原叶片材质相同,并经检验合格;叶片的线型应预先加工成与原叶片基本一致后再进行对口,且留有一定的加工余量。
- 5.1.4 焊机地线要与被焊叶片直接相接,且夹持牢固、接触良好,不得将地线接在转子的支架上。
- 5.1.5 清除裂纹前,如叶片背面有司太立合金片或防水蚀的其他合金层,应先将裂纹处的合金片或合金层清除干净。清除裂纹时,必须采用机械方式。裂纹清除后必须进行复检,以确定缺陷已彻底清除。
- 5.1.6 对接焊时宜采用 X 形坡口,坡口角度和间隙与叶片的厚度有关,原则是易操作、填充量少。
- 5.1.7 已经断裂的叶片对接时,其对口应采用专用的夹具,对口时不得出现错口和弯折现象。
- 5.1.8 焊接前,应对坡口及其周围打磨干净,直至露出金属光泽。
- 5.1.9 使用不具有衰减熄弧功能的焊接设备时,若在叶片的边缘收弧,焊接前应在边缘处固定熄弧板。熄弧板的材质原则上与叶片的材质相同,厚度为 4mm 左右,点固焊工艺与正式施焊工艺相同。
- 5.1.10 焊接现场应采取有效的防风措施。

5.2 焊接工艺

5.2.1 焊接方法:

应优先采用钨极氩弧焊。焊接预热、焊接工艺和焊接热处理参数可参见表 1。

5.2.2 焊接材料:

叶片对接焊时宜采用同质的焊接材料;堆数量较小的堆焊,也可采用奥氏体焊接材料,且不进行热处理。

表1 汽轮机叶片补焊推荐选用的焊接材料和预热温度及热处理规范

叶片材质牌号	焊接方法	焊接材料	预热温度 ℃	热处理温度 ℃	保温时间 h
1Cr12Mo	焊条电弧焊	E1-13-15	100~150	680~720	0.5
	手工钨极氩弧焊	H1Cr19Ni9Nb			
2Cr13	焊条电弧焊	E1-13-15	200~250	680~720	0.5
		E-19-10Nb-15	100~150		
	手工钨极氩弧焊	H1Cr13	150~200		
		H1Cr19Ni9Nb	100~150		
2Cr11NiMoV	焊条电弧焊	E-19-10Nb-15	100~150	700~720	0.5
	手工钨极氩弧焊	H1Cr19Ni9Nb			

5.2.3 焊前预热:

- 采用氧—乙炔中性焰局部预热,预热范围为坡口两侧各50mm,预热时火焰焰心距离工件10mm以上,均匀加热。
- 宜使用表面非接触式测温仪测量预热温度。

5.2.4 层间温度:

同质焊接材料焊接的层间温度不高于250℃;异质焊接材料焊接的层间温度不高于150℃。

5.2.5 焊接顺序:

- 焊接时,被焊叶片应尽量处于水平位置。
- 已全部断裂的叶片,宜由进汽边向出汽边施焊;未断裂的叶片,应从坡口的内端向叶片的边缘施焊,叶片的薄边处应单面焊双面成型。

5.2.6 焊条电弧焊工艺:

- 宜选用直径为 $\phi 2.5\text{mm}$ 或以下的焊条,直流反接,焊接电流为50A~70A。
- 应采用多道多层焊接,焊道宽度不超过焊条直径的3倍,焊道厚度不超过3mm。
- 焊缝余高应控制在1mm左右。

5.2.7 手工钨极氩弧焊工艺:

- 宜选用直径 $\leq 2.0\text{mm}$ 的焊丝,焊接电流为40A~70A。
- 焊接过程中,应对背面焊缝进行充氩保护。
- 应采用多道多层焊接,焊缝余高应控制在1mm以内。

5.3 焊后热处理

5.3.1 焊接后应及时将叶片包敷缓冷,待焊缝中心温度降至100℃左右时立即进行焊后热处理。

5.3.2 热处理宜使用电阻加热,热处理时叶片应尽量处于垂直位置。热电偶热端要紧贴焊缝中心,加热器不得直接接触热电偶热端。

5.3.3 加热宽度为焊缝每侧30mm~60mm。

5.3.4 热处理到达保温时间后拆除加热器和保温装置,让叶片空冷。

6 质量检验

6.1 检验内容

补焊工作完成后，应先进行修磨，再进行质量检验。检验项目包括：外观检查、无损检验、硬度和金相检验。

6.2 外观检查

6.2.1 焊缝不应有咬边、错口、凹陷、裂纹、未熔合、气孔和夹渣等缺陷。

6.2.2 叶片焊后变形量应满足汽轮机安全运行的要求。

6.3 无损探伤

6.3.1 渗透探伤或磁粉探伤：

焊缝及热影响区渗透或磁粉探伤检查不得有缺陷显示。

6.3.2 射线探伤：

a) 根据叶片补焊处的位置和厚度变化，X-射线透视可在叶片两侧分段进行，也可采用厚度补偿块或双胶片技术。

b) 焊缝在进汽和出汽边 15mm 范围内不得有任何缺陷，其他部位应达到 GB/T 3323 I 级的要求。

6.4 硬度和金相检验

6.4.1 焊缝和热影响区的硬度、金相组织可在叶片上检验，也可在同时处理的试板上检验。

6.4.2 硬度标准按照 DL/T 869 的规定执行。

6.4.3 焊缝和热影响区的复膜金相组织不允许存在显微裂纹及过烧组织。

7 焊缝返修

7.1 经检验不合格的焊缝返修次数不应超过 1 次。

7.2 返修焊接和检验要求按本标准有关条款执行。

8 技术文件

8.1 焊接技术文件应及时编制和存档，属金属技术监督规程管理的焊接技术文件应符合 DL 438 的规定。

8.2 焊接技术文件的内容应包括：

a) 焊接材料质量证明书。

b) 焊工考试合格记录。

c) 叶片的原始缺陷记录和坡口形貌图。

d) 焊接工艺方案、作业指导书、热处理报告、焊接质量检验报告和技术总结报告。