

中国国际热核聚变实验堆计划采购包专项标准

HJB 1011—2017

聚变反应堆中超导磁体辅助冷却管路 钎焊规范

**Specification for brazing of auxiliary cooling pipe of superconducting magnet in
fusion reactor**

2017 - 01 - 23 发布

2017 - 02 - 23 实施

中国国际核聚变能源计划执行中心 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国国际核聚变能源计划执行中心提出并归口。

本标准起草单位：核工业西南物理研究院、郑州机械研究所。

本标准主要起草人：李鹏远、孙振超、潘传杰、裴黄崑。

聚变反应堆中超导磁体辅助冷却管路钎焊规范

1 范围

本标准规定了聚变反应堆中超导磁体辅助冷却管路钎焊的要求与技术评审、钎焊人员、试验及检验人员、设备、钎焊及相关活动、产品钎焊、试验和检验、设备校准、标识及可追溯性、完工报告等要求。本标准适用于聚变反应堆中超导磁体辅助冷却管路不锈钢与铜之间的真空炉中钎焊。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 11363—2008 钎焊接头强度试验方法

NB/T 47013.7 承压设备无损检测 第7部分:目视检测

NB/T 47013.8 承压设备无损检测 第8部分:泄露检测

美国机械工程师协会(ASME)锅炉与压力容器规范(2010版) 第IX卷 焊接与钎焊评定

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钎焊操作工 brazing operator
操作机械或自动钎焊设备的工人。

3.2

钎焊工艺规程 brazing procedure specification (BPS)
根据合格的钎焊工艺评定编制的用于对产品实施钎焊的工艺文件,包含钎焊方法和相应的工艺参数。

3.3

钎焊工艺评定 brazing procedure qualification
为验证所拟定的钎焊工艺的正确性而进行的试验过程和结果评价,其形成的文件为钎焊工艺评定报告(PQR)。

3.4

制造商 manufacturer
负责钎焊制造的组织。

4 要求评审和技术评审

4.1 总则

在钎焊工作进入大批量生产之前，制造商应根据合同要求和其它要求，会同用户对用户提出的所有设计数据和质量要求进行评审。制造商应建立一套机制，确保在工作开始前，进行生产操作所需要的信息的完整与可用。

通过要求评审和技术评审，制造商应确认：工作内容处于其操作能力范围内，具有足够的资源保证并及时供货，并且文件是清晰、无争议的。

4.2 要求评审

应考虑的内容包括：

- a) 将采用的产品标准及所有附加要求；
- b) 法令及法规的要求；
- c) 制造商确定的所有附加要求；
- d) 制造商满足描述要求的能力。

4.3 技术评审

4.3.1 应考虑的技术要求包括：

- a) 母材的技术条件及接头性能；
- b) 焊缝的位置、质量及合格要求；
- c) 钎焊工艺规程、无损检验规程及热处理规程；
- d) 钎焊工艺评定所使用的方法。

4.3.2 应考虑钎焊耗材的如下要求：

- a) 钎料；
- b) 相关钎焊工艺参数；
- c) 相关人员的资质认可；
- d) 选择、标识及可追溯性（材料、钎焊操作工）；
- e) 质量控制管理，包括独立检验机构；
- f) 试验及检验；
- g) 其他要求，如钎焊试件的数量、变形控制、外观检查、金相检查、表面处理、密封性检测。

5 钎焊人员

5.1 总则

制造商应按照规定的要求配置足够的、胜任的、从事钎焊生产设计、施工及监督的人员。

5.2 钎焊操作工

钎焊操作工应通过教育、培训并按美国机械工程师协会（ASME）锅炉与压力容器规范（2010版）第 IX 卷考核合格并取得相应的资质认证。

5.3 钎焊管理人员

制造商应配置合适的钎焊管理人员，负责质量管理的这些人员应获得充分授权，保证可以采取必要的行动，确保钎焊操作工按钎焊规程文件要求执行，应当充分明确规定这些人员的任务及职责。

6 试验及检验人员

6.1 总则

制造商应按规定要求配置足够的、胜任的、从事过焊接生产工作、监督的试验及检验人员。

6.2 无损检测人员

无损检测人员应按照NB/T 47013.7考核并取得相应资质。

6.3 理化检测人员

理化检验人员应经过培训并考核合格。

7 设备

7.1 生产和实验设备

应当按照需要配置设备：

- a) 钎焊设备；
- b) 机械加工设备；
- c) 预热及焊后热处理设备（包括温度指示仪）；
- d) 夹具及固定设备；
- e) 起重设备；
- f) 人员防护设备及与所用制造方法直接相关的其他安全设备；
- g) 用于钎焊材料处理的烘干炉、保温筒；
- h) 表面清理设备；
- i) 破坏性实验及无损检测设备。

7.2 设备的描述

制造商应列出主要生产设备明细表，该表应表明主要设备、车间容量和能力评估等，例如可包括：

- a) 起重机的最大容量；
- b) 车间可装夹的构件尺寸；
- c) 机械化或自动化焊接设备的功率；
- d) 焊后热处理炉的尺寸及最高温度；
- e) 轧制、弯曲及切割设备的尺寸。

7.3 设备的适用性

设备应适合于所涉及的应用目的。

7.4 设备维护

制造商应具有设备维护的书面计划。计划中的维护项目应确保设备中那些控制钎焊工艺规程参数等具有主要影响的部件得到维护检查，例如：

- a) 钎焊设备操作的电流表、电压表、流量计等的状态；
- a) 电缆、软管、接头等的状态；
- b) 机械化及自动化焊接设备中控制系统的状态；

- c) 真空抽气及送气系统的状态。

8 钎焊及相关活动

8.1 生产计划

制造商应实施合适的生产计划。需要考虑的内容至少包括：

- a) 钎焊工艺参数的选定；
- b) 工件钎焊工艺顺序规定；
- c) 工艺方法标识、编号；
- d) 钎焊变形控制方法；
- e) 钎焊部件的抽检取样规范；
- f) 试验及检验规程；
- g) 合格人员的指派；
- h) 生产试验的安排。

8.2 钎焊工艺规程

制造商应编制钎焊工艺规程并确保其在生产中得到正确应用，钎焊工艺规程格式参见附录A。钎焊方法应为真空炉内钎焊，钎料的固相线温度应不低于450 °C。

8.3 钎焊工艺评定

8.3.1 总则

钎焊工艺应在生产之前进行评定，评定方法应符合美国机械工程师协会（ASME） 锅炉与压力容器规范第IX卷的规定，以及下列补充要求。

8.3.2 焊接变形检测

按照选定的工艺进行全尺寸样件制作，对工件的变形进行测量（如采用三坐标测量机进行测量），其变形量要满足设计文件中产品公差要求。

8.3.3 外观检测

通过外观检测从外观上确定钎焊接头的致密性，如钎料的连续性、沿着接头的尺寸、轮廓和润湿情况。检验场所应有充足的自然或人工照明，被检表面的照度应不低于500 lx，检验人员距离被检表面的最大检测距离为600 mm，使用最大放大倍数为6倍的放大镜进行检查。应达到如下要求：

- a) 钎缝表面连续致密、焊角光滑均匀，呈明显的凹下圆弧过渡，多余的钎料金属要去除；
- b) 表面不允许存在裂纹、针孔、气孔、疏松、节瘤和腐蚀斑点等，钎料对基体金属无可见的凹陷性溶蚀；
- c) 钎剂与钎剂残渣应完全去除；
- d) 焊缝需进行打磨、抛光。

8.3.4 泄漏检测

按照 NB/T 47013.8的要求进行氦质谱仪检测, 结果应满足设计文件的相关要求。

8.3.5 承压测试

按照以下步骤进行承压测试，结果应满足以下要求：

- a) 增压气源为压缩气瓶，使用安装在气瓶出口上的减压阀来调整出口压力。减压阀自身配备的两块压力表应与本次测试压力匹配、并经过标定合格；
- b) 在冷却管组件的所有管口装上连接密封接头，使用一个管口通过连接密封接头与增压气源用承压软管连接，并通过三通装置连接 2 块测试用压力表，其它管口接头则用密封堵头全部封闭，系统封闭前，应检查确保气源的阀门是关闭的；
- c) 清理管子和密封连接装置的外表面，使用不起毛的干净白布条擦干，对工件表面进行清洁度和干燥度目视检查；
- d) 打开增压气源，调节减压阀，向冷却管组件内腔缓慢充气加压，增压过程注意观察各压力表的读数，升压至 0.3 MPa 时，保压 5 min，如无异常，可继续升压至 1.5 MPa，保压 5 min，如无异常，则继续按照每次 0.3 Mpa 的幅度逐级升压，直至目标压力值 3.1 MPa，然后保压，在许可的波动范围（ ± 0.1 MPa）内保压至少 10 min。各阶段保压期间不得加压；
- e) 保压期间，进行保压阶段的目视检查和记录，包括：
 - 1) 观察和记录压力表读数，是否在许可的压力波动范围（ 3.1 ± 0.1 Mpa）内；
 - 2) 观察和记录冷却管组件是否出现目视可见的膨胀、变形等情况。
- f) 如果无法保压，可使用肥皂水溶液作发泡剂，在 ≤ 0.2 Mpa（表压）的较低压力下检查确认测试系统中的漏气点，标记其位置并通知工艺人员处理。

8.3.6 力学性能检测

室温下按照 GB/T 11363—2008 进行强度检测，要求接头剪切强度不低于设计文件相关要求。

8.3.7 热疲劳测试

将样件由室温放入液氮环境，待液氮停止沸腾并平静后取出样件，将样件投入水中，并不断用水冲洗，3 min 后取出吹干回复到室温。如此循环至少 10 次。按照 NB/T 47013.7 检查样件是否出现裂纹及钎焊接头分离缺陷。

8.3.8 金相试验

金相试验按照 ASME 锅炉与压力容器规范 第 IX 卷中“QB-180“切片试验及工艺试件”进行取样及验收。

钎焊工艺评定报告格式参见附录 B。

9 产品钎焊

产品钎焊要求如下：

- a) 钎焊前应将不锈钢、铜待钎焊处的污物、氧化物、油污等清除干净并保持平滑光亮；
- b) 钎焊方法为真空炉中钎焊，钎焊操作工按钎焊工艺规程实施钎焊，钎焊过程中应保证各项参数在钎焊工艺规程的范围内；
- c) 钎焊结束后，应进行打磨、抛光。

10 试验和检验

10.1 总则

为了保证达到合同要求，在制造流程适当环节应进行相应的试验和检验。

10.2 焊前检验

焊前检查要求如下：

- a) 钎焊操作工证书的适用性、有效性；
- b) 钎焊工艺规程的适用性；
- c) 母材的标识；
- d) 钎料的标识；
- e) 工件尺寸、夹具装夹及定位；
- f) 工作条件对钎焊的适用性。

10.3 钎焊过程中的检验

钎焊过程中对主要钎焊参数（如钎焊温度、升温速率、保温时间、降温速率等）进行检验是否符合钎焊工艺规程的要求。

10.4 钎焊后试验及检验

钎焊后进行下列检验：

- a) 应对每一钎焊接头按 NB/T 47013.7 进行外观检验，结果应满足技术文件要求；
- b) 结构的型式、形状及尺寸应满足技术文件要求。

11 测量、试验及检验设备的校准

制造商应对测量、试验及检验设备做适时校准，用于评估钎焊结构质量的所有设备应作适宜的控制，并按规定的期限进行校准和有效性验证。

12 标识及可追溯性

在整个制作流程中，应按要求保持标识和可追溯性，其文件体系包括：

- a) 生产计划标识；
- b) 放置卡片标识；
- c) 结构中焊缝部位标识；
- d) 无损检测规程及人员标识；
- e) 钎焊材料标识（如型号、商标、制造商和批号等）；
- f) 母材标识及可追溯性；
- g) 临时附件位置标识；
- h) 机械化、自动化钎焊设备对特定焊缝的标识
- i) 钎焊操作工对特定焊缝的标识；
- j) 钎焊工艺规程对特定焊缝的可追溯性。

13 完工报告

完工报告应包括：

- a) 钎焊设备及测试设备；

- b) 要求/技术评审报告;
- c) 钎焊所需材料检验报告;
- d) 钎焊工艺规程;
- e) 设备维护报告;
- f) 钎焊工艺评定报告;
- g) 钎焊操作工资质证书;
- h) 生产计划;
- i) 无损检测人员资质证书;
- j) 无损检测及破坏性实验规程及报告;
- k) 不符合项和校正措施报告;
- l) 其他要求的文件。



附录 A
(资料性附录)
钎焊工艺规程

钎焊工艺规程格式见图A.1。

钎焊工艺规程 (BPS)		
公司名称:	BPS NO:	日期:
钎焊方法:		类型炉次:
母材	钎料	
型号: 尺寸: 其他:	标准号: 型号: 钎料形式:	
钎焊参数	气氛	
钎焊温度: 升温、保温及降温曲线: 真空度:	气氛类型:	
漫流位置	接头	
允许的位置: 漫流方向:	接头类型: 间隙: 抗变形夹具:	
钎焊方法和其他资料		
预清理方法: 钎后清理: 检查:		
制造商: 签字: 职务: 日期:		

图A.1 钎焊工艺规程格式示意图

附 录 B
(资料性附录)
钎焊工艺评定报告

钎焊工艺评定报告格式见图B.1。

钎焊工艺评定报告 (PQR)		
公司名称:	PQR NO:	钎焊试件遵循的BPS:
钎焊方法:		钎焊日期:
母材	钎料	
型号: 尺寸: 其他:	标准号: 型号: 钎料形式:	
钎焊参数	气氛	
钎焊温度: 升温、保温及降温曲线: 真空度:	气氛类型:	
漫流位置	接头	
允许的位置: 漫流方向:	接头类型: 间隙: 抗变形夹具:	
钎焊方法和其他资料		
预清理方法: 钎后清理: 检查:		
钎焊变形检测	外观检测	
检测方法: 结论:	结论:	
泄露检测	承压测试	
检测方法: 结论:	结论:	

图B.1 钎焊工艺品定报告格式示意图

力学性能检测	气氛
剪切强度： 结论：	气氛类型：
漫流位置	热疲劳测试
允许的位置： 漫流方向：	结论：
金相实验	
结论：	
钎焊操作工姓名： 时间钎焊的监督者： 试样评定者： 试验编号： 制造商：	
签字： 职务： 日期：	

图 B.1 钎焊工艺品定报告格式示意图（续）