

ICS 27.120.20

F 69

备案号: 59638—2017

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20450.4—2017

压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第4部分: 产品焊接和热处理

Alternative welding code for mechanical components of PWR nuclear islands
Part 4: Production welds and heat treatment

2017-04-01 发布

2014-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 文件要求 2

5 焊接材料的存放和使用 2

6 坡口加工和组对 4

7 产品焊接 6

8 热处理 14

附录 A（资料性附录） 推荐的预热要求..... 24

前 言

NB/T 20450《压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范》分为5个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：焊接材料；
- 第3部分：焊接工艺评定；
- 第4部分：产品焊接和热处理；
- 第5部分：焊接检验。

本部分为NB/T 20450的第4部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分主要基于ASME《锅炉压力容器规范》第III卷（2010版）第一册各分卷4000章，并结合国内核电建造经验和行业反馈意见制订。

本部分由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本部分由核工业标准化研究所归口。

本部分由中国核电工程有限公司、上海核工程研究设计院负责起草，中广核工程有限公司、中国核动力研究设计院、中国第一重型机械集团公司、上海电气核电设备有限公司、东方电气（广州）重型机器有限公司、山东核电设备制造有限公司参与起草。

本部分主要起草人：王恒、于坚、郭利峰、匡艳军、付强、刘振忠、杨小杰、黄逸峰。

压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范

第4部分：产品焊接和热处理

1 范围

本部分规定了压水堆核电厂核岛机械设备在制造和安装过程中的焊材存放和使用、坡口加工和焊接组对、焊接方法、表面清洁度及保护、产品焊接要求、附件焊接、焊接返修、焊接有关的热处理（预热、后热、消除应力热处理）等要求。

本部分适用于压水堆核电厂核岛机械设备的产品焊接及焊接相关的热处理。

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，仅所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 3375 焊接术语

GB/T 5185 焊接及相关工艺方法代号（GB/T 5185-2005，ISO 4063:1998，IDT）

GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则（GB/T 19866-2005，ISO 15607:2003，IDT）

NB/T 20005.32 压水堆核电厂用碳钢和低合金钢 第32部分：安全壳用15MnHR钢板

NB/T 20006.31 压水堆核电厂用合金钢 第31部分：安全壳用10MnNiMo钢板

NB/T 20450.1 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第1部分：通用要求

NB/T 20450.2 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第2部分：焊接材料

NB/T 20450.3 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第3部分：焊接工艺评定

NB/T 20450.5 压水堆核电厂核岛机械设备焊接另一规范 第5部分：焊接检验

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 5185和GB/T 19866界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

支承件 support

用于在核设备或管道与建筑结构之间传递载荷的金属构件。

3.2

全焊透焊缝 full penetration weld

焊缝金属熔透了整个接头厚度的焊缝，通常需开坡口。

3.3

附件 attachment

与部件承压边界的内侧或外侧接触或连接的构件。

3.4

承压附件 pressure-retaining attachment

具有承压功能的附件。如加强圈、支管、开孔补强件。

3.5

非承压附件 nonpressure-retaining attachment

不具有承压功能的附件。如容器鞍座、吊耳等。

3.6

结构附件 structural attachment

具有结构承载功能的附件。包括执行承压功能的附件或在支承载荷路径上的附件，还包括反应堆压力容器堆芯支撑结构、内部构件或其他永久性构件。

3.7

非结构附件 nonstructural attachment

不具有结构承载功能的附件。包括铭牌、保温层支承、吊耳等。

4 文件要求

所有的焊接及相关操作应按照正式文件规定的技术要求进行。这些文件应至少包括下列内容：

- a) 焊接工艺规程；
- b) 车间焊工、焊接操作工等操作准则。

焊接完成后，应填写产品焊接记录。

5 焊接材料的存放和使用

5.1 存放条件

5.1.1 一般要求

焊接材料应存放在封闭、干燥、具备加热和保温条件的场所。

制造商应保证焊接材料存放地点的温度和相对湿度满足相关规定（可参考焊材供应商对于焊材存放的具体要求执行）。

5.1.2 入库

每一包（包是指：焊条的每包或每包内包含的独立分包装，焊丝的每盘、每卷或每束，焊剂的每袋或每箱）验收合格的焊接材料在入库时应作适当标识（例如印戳）。

入库后再进行验收的焊接材料，应在验收合格后作上标识。

5.1.3 储存

若已验收的焊接材料和待验收的焊接材料（或其它焊接材料）存放在同一地点，储存时应进行实体隔离。

存放期间，焊接材料的原包装应完整无损，在焊条搬动过程中应避免损坏药皮。

任何变质或标识丢失的焊接材料应报废。

5.1.4 储存控制

焊接材料管理部门应核对每一批或每一炉验收合格的焊接材料的标识详细内容，包括：名称、尺寸、验收合格后的入库数量、验收试验的日期、有效期、焊接材料的批号（含焊丝-焊剂组合）、出库日期和数量、报废材料报废通知单的编号。

5.1.5 出库

焊接材料出库时，应向仓库保管员提交有关焊接材料名称、规格、数量、批号（或设备制造商的材料检验编号）、具体使用于某给定部件或焊缝的名称或编号等信息的文件资料。

如果提交的文件不满足上述要求，出库的相关质量控制手续应提供上述所有的信息。

5.2 焊接材料的使用

5.2.1 烘干和保管

5.2.1.1 制造商应根据使用条件、贮存方法和分配方法规定出库材料的最大数量。

5.2.1.2 焊接材料供应商应给出烘干和保管的条件（烘干温度和保温时间）。

5.2.1.3 焊条和焊剂现场使用前应烘干。烘箱上应附有指示所装入焊接材料的牌号、批号和烘干条件的标示牌。每台烘箱每次应装入同牌号的焊接材料。但在满足下述条件下，不同牌号的焊接材料可装入同一烘箱中：

a) 不同牌号的焊接材料的烘干条件完全相同；

b) 在不同牌号的焊接材料之间设置有效的实体隔离并进行标记（空间间隔不能认为是实体隔离）。

5.2.1.4 烘干后，焊条或焊剂使用之前应一直存放在保温箱或加热炉中。使用期间，若焊条或焊剂暴露在空气中的时间超过4 h，则应重新烘干。焊材暴露时间和重新烘干的次数不允许超过焊材制造商的推荐值。

5.2.1.5 焊工应备有保持焊条干燥的手提式保温筒。

5.2.1.6 已经拆包但尚未使用的焊条和焊剂，仅在遵守上述的各项规定特别是5.1.2的规定，且采用符合规定的标识和新包装方法，可重新入库。

5.2.2 焊剂的循环使用

5.2.2.1 焊剂不推荐循环使用，特别是含有金属元素铬的烧结型焊剂。

5.2.2.2 在满足以下条件时，焊剂可循环使用：

a) 循环使用的焊剂应和新的同批号焊剂混合，其比例不能超过混合焊剂的50%；

b) 在混合之前，应采用适当的方法，清除已使用过的焊剂中的熔渣颗粒和粉尘；

c) 混合焊剂的粒度大小应控制在焊接材料供应商所规定的限值范围内。

5.2.3 焊接过程中焊接材料的标识

焊接材料在整个使用过程中应能识别，并满足下列要求：

a) 药皮焊条：每根焊条均应具有标记；

b) 盘状焊丝：每盘焊丝均应附有一个至少标明焊丝牌号、直径和批号的明显标签。没有标签的盘状焊丝应报废；

c) 棒状焊丝：

1) 具有冷冲压、激光等方法标出的标识；

2) 或者用特定的颜料涂在焊丝的一端。选用此法时，在每个工作地点附近应放置一块给出相应颜色及其含义的标示牌，焊工应从未着色的一端施焊。

d) 卷状焊丝或焊带：应有一个至少表明牌号和批号的标签，该标签在整个焊接期间应始终固定在卷状焊丝或焊带一端；

e) 焊剂：对于装焊剂的每个容器，应规定一种合适的标记焊剂牌号和批号的方式，以便能随时对焊剂做全面的鉴别。

6 坡口加工和组对

6.1 坡口加工

- 6.1.1 焊接接头坡口应采用机械加工、热切割和打磨的方法制备，加工到规定的形状和尺寸。
- 6.1.2 当采用热切割的方法进行坡口加工、去除超标缺陷或焊接附件，以及用于其他应用时，应按第8章的规定进行预热。
- 6.1.3 焊缝坡口的检验应按 NB/T 20450.5 的相关规定执行。

6.2 部件组对

6.2.1 组对方法

- 6.2.1.1 可以使用钢棒、千斤顶、夹具、定位焊或者临时性附件对待焊部件进行组对。
- 6.2.1.2 定位焊缝应由考核合格的焊工使用评定合格的焊接工艺焊接。应在完成其功能后完全清除定位焊缝，或采用打磨或其他合适的方法对定位焊缝两端进行适当修整，以使其能良好地熔入最终焊缝。对于熔入最终焊缝的定位焊缝，应进行目视检查，对有缺陷的定位焊缝应去除。

6.2.2 双面焊部件组对要求

- 6.2.2.1 对于双面焊的部件，其组对应使得完工焊缝的最大错边不大于表 1 所列的值，其中 t 为接头处较薄件的名义厚度。
- 6.2.2.2 对于球形容器上的接头、封头内的接头、以及筒体与球形封头之间的接头，应满足表 1 中纵向接头对于错边的要求。
- 6.2.2.3 应对允许范围内的任何错边进行修整，使得在完工的焊缝宽度范围内的斜度（高度差:水平距离）应不大于 1:3，必要时，可在焊缝坡口外侧堆焊附加焊缝金属。

表1 最终焊接接头的允许最大错边量

单位为毫米

截面厚度 t	接头方向	
	纵向	环向
$t \leq 13$	$t / 4$	$t / 4$
$13 < t \leq 19$	3	$t / 4$
$19 < t \leq 38$	3	5
$38 < t \leq 50$	3	$t / 8$
$t > 50$	$t / 16$ 或 10 的较小值	$t / 8$ 或 19 的较小值

6.2.3 内表面不可达的部件组对要求

- 6.2.3.1 当部件内表面不可达，使得不能从内侧进行焊接或者按 6.2.2.3 进行处理时，部件的组对应满足：
 - a) 对于环焊缝：
 - 1) 两部件内径之差应在 1.5mm 内。当部件同心组对时，则在接头圆周上各点错边均匀，不大于 0.8mm，如图 1 a) 所示。然而，与部件直径无关的其他因素往往导致不同心的组对，在此情况下，接头圆周上任意一点的最大错边量不应超过 2.5mm，如图 1 b)所示。当直径、壁厚、不圆度等的公差使内径的变化不满足上述限值时，可在满足有关焊接端形状过渡和待焊部件最小结构尺寸要求的条件下，进行内镗孔、校圆或打磨，以满足上述要求；

- 2) 应对外表面的错边进行修整,使得在完工的焊缝宽度范围内的斜度(高度差:水平距离)应不大于 1:3,必要时,可在焊缝坡口外侧堆焊附加焊缝金属。

b) 对于纵焊缝:

内表面的错边量不应超过2.5mm,外表面的错边应进行修整,使得在完工焊缝宽度范围内斜度(高程差:水平距离)应不大于1:3,必要时,可堆焊附加的焊缝金属。

6.2.3.2 单面焊接接头可满足上述的组对要求,以代替 6.2.2 的要求。

6.2.4 支承件

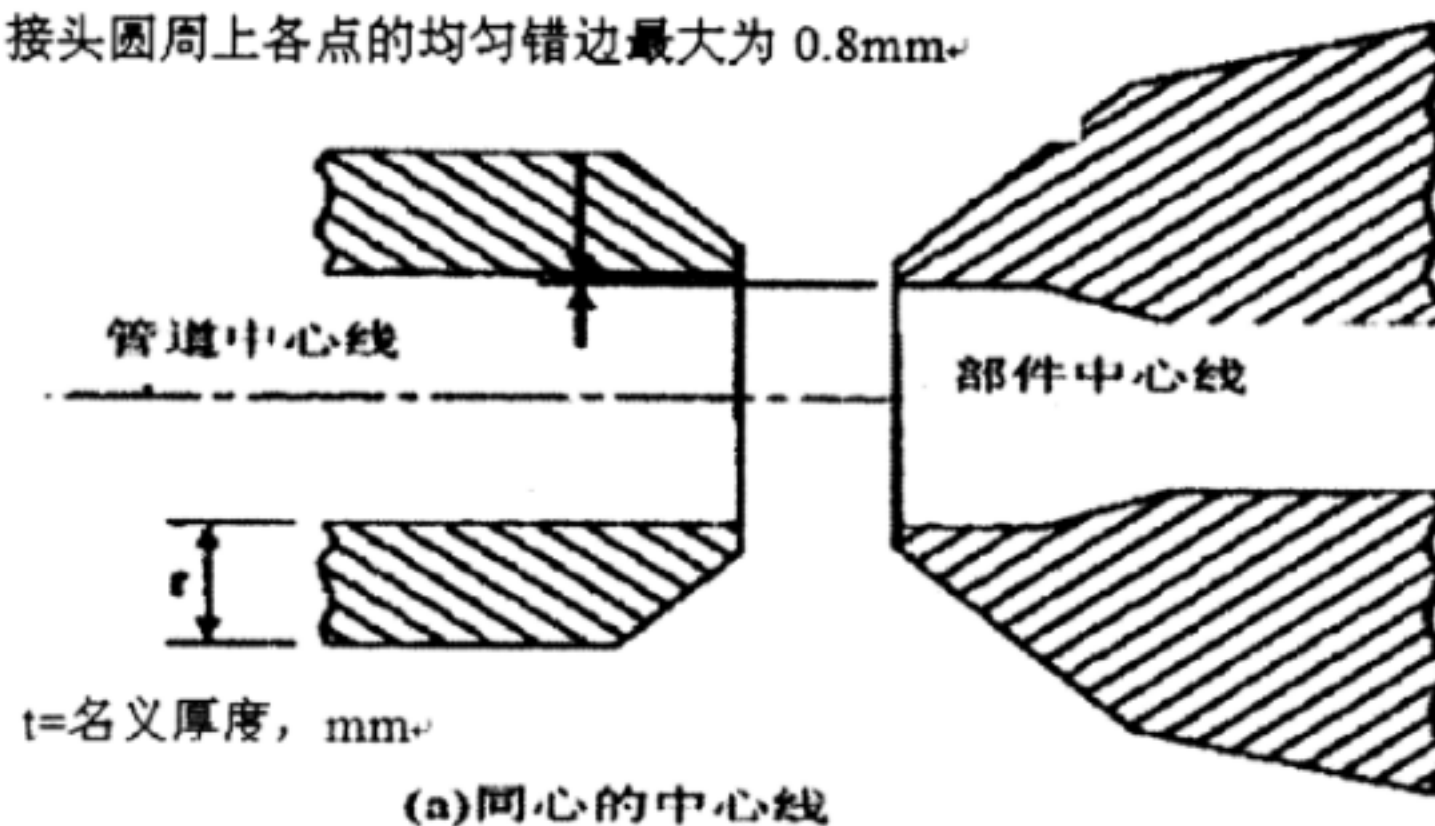
对于支承件,对接接头的最大错边量应满足表2的规定。应对允许范围内的任何错边进行修整,使得在完工的焊缝宽度范围内过渡均匀,必要时,可在焊缝坡口外侧堆焊附加焊缝金属。

表2 支承件最终焊接接头的允许最大错边量

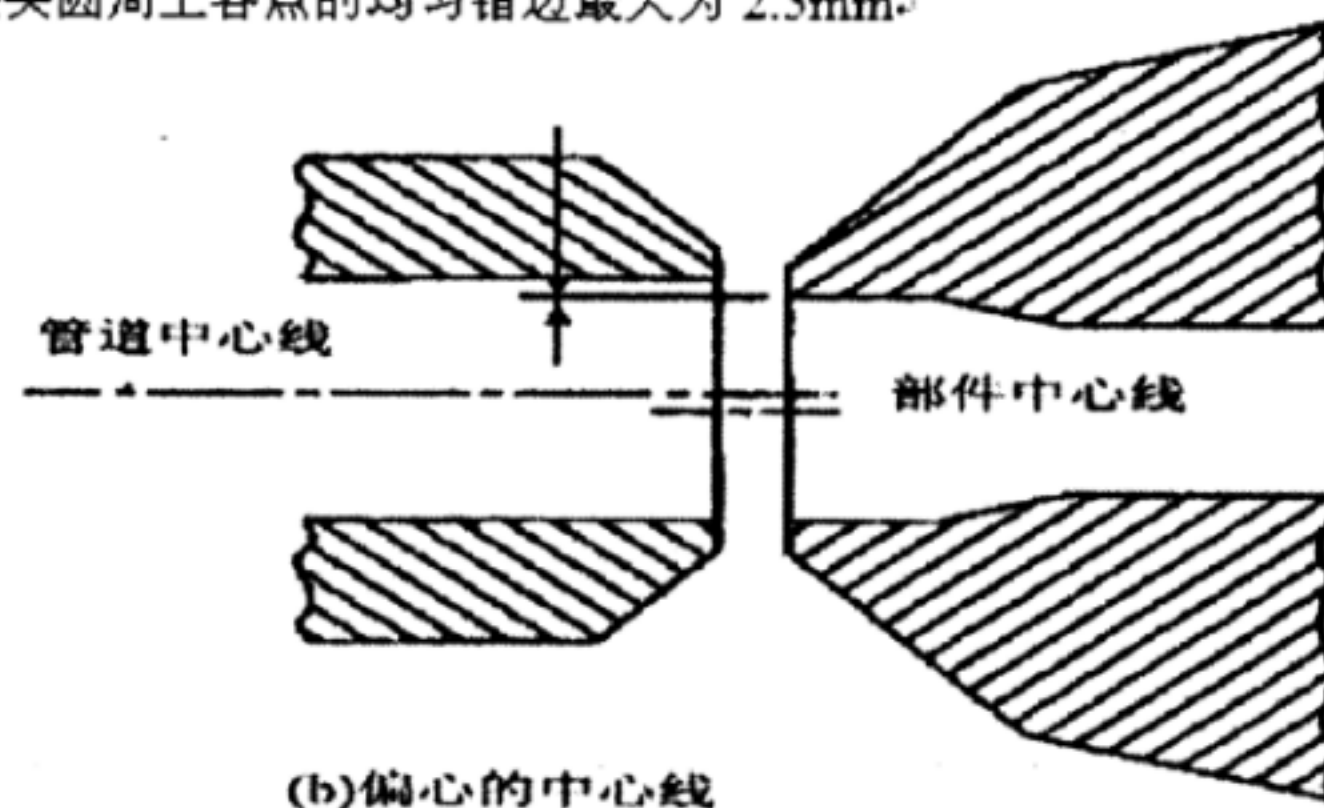
单位为毫米

截面厚度 t	允许最大错边量
$t \leq 19$	$t / 4$
$19 < t \leq 38$	5
$38 < t \leq 150$	$t / 8$
$t > 150$	19

接头圆周上各点的均匀错边最大为 0.8mm。



接头圆周上各点的均匀错边最大为 2.5mm。



说明:

坡口和过渡段形状为示意。

图1 单面焊且不能进行修整时, 内径和外径不相等部件的对接环焊缝的组对和错边要求

7 产品焊接

7.1 焊接方法、焊材、清洁度及保护的要求

7.1.1 焊接方法

7.1.1.1 可使用的焊接方法为: 焊条电弧焊(111)、埋弧焊(12)、钨极惰性气体保护电弧焊(141)、熔化极惰性或非惰性气体保护电弧焊(131, 135, 限于喷射过渡和脉冲过渡模式)、惰性或非惰性气体保护的药芯焊丝电弧焊(137、136)、等离子弧焊(15)、电子束焊(51)、激光焊(52)以及电渣焊(72)堆焊。对于位于一回路冷却剂承压边界上的全焊透焊缝仅允许采用埋弧焊、焊条电弧焊和钨极惰性气体保护电弧焊。括号内的焊接方法代号见 GB/T 5185。

7.1.1.2 对于双面焊焊接接头, 除非采用背面清根并对清根区域进行磁粉或液体渗透检测, 否则不允许采用药芯焊丝电弧焊、焊条电弧焊、埋弧焊等使用药皮或焊剂的焊接方法进行根部焊道的焊接。

7.1.2 焊材的标识、贮存和使用

7.1.2.1 制造商应对设备制造和安装所用的焊接材料的标识、贮存和使用负责。应采取措施以减少焊条和焊剂的吸潮。

7.1.2.2 焊材的标识、贮存和使用应满足第5章的相关要求。

7.1.3 表面的清洁度和保护

施焊前，对于碳钢和低合金钢接头，应彻底清理待焊坡口和两侧各25 mm的母材，对于奥氏体不锈钢和镍基合金接头，应彻底清理待焊坡口和两侧各50 mm的母材。表面应干燥，无油脂、铁锈、油漆、标记材料及其他异物。

焊接时应保护工件不受有害物质的污染，以及雨、雪和风的影响。不允许在潮湿的表面上进行焊接。若环境温度低于-10℃，不应施焊，被焊件温度应保持在10℃以上。对于碳钢和低合金钢，为了避免内应力引起裂纹，焊缝焊后应缓慢冷却。

7.2 产品焊接要求

7.2.1 垫板

7.2.1.1 对于非永久性垫板，在完成焊接后应拆除，并按照 NB/T 20450.5 的规定用磁粉检测方法或液体渗透检测方法进行检测和验收。

7.2.1.2 对于永久性垫板，其使用应符合设计规定。

7.2.1.3 垫板材料应与被焊部件母材材料相容（特别是化学成分）。当设计允许采用永久性垫板时，垫板应当是连续的，任何拼接接头应采用全焊透焊接接头。

7.2.1.4 定位销钉不应熔入焊缝内。

7.2.2 锤击

为减小变形，可以进行受控的锤击。除非焊缝进行焊后热处理，否则第一层的根部焊道以及最后一层的表面焊缝都不得进行锤击。

7.2.3 焊接

7.2.3.1 除非采用的焊接方法能够保证根部完全熔合和焊透，并且焊接工艺评定证明结果令人满意，否则在进行全焊透双面焊接头的反面焊之前，应采用适当的方法清除根部焊道，例如机加工、打磨或热刨等。

7.2.3.2 如果因为某种原因中断焊接，在重新开始焊接时应特别注意以获得要求的焊透和熔合。对于埋弧焊，推荐在弧坑处加工出一个合适的形状。

7.2.3.3 当采用单面焊接接头时，应特别注意部件的组对以及保持适当的根部间隙，从而使得在整个接头长度上根部完全焊透和熔合。

7.2.3.4 当设计允许使用塞焊时，应先沿孔的底部焊接一圈角焊缝。

7.2.4 背面气体保护

对于Cr含量名义成分大于1.25%的材料，当背面熔池暴露在空气或可能产生有害的氧化物且在随后的工序中无法去除时，应使用背面保护气体，这包括所有采用单面焊且不清根的全焊透焊缝。焊前，应排空背面空气直至测氧仪测定的氧含量低于1%。当换气量在模拟件中使用同样的气体流量速率进行试验，证明测氧仪测定的模拟件中的氧含量低于1%时，允许在实际中使用换气量来确定背面保护气氛满足要求。在焊缝厚度达到至少5 mm前，应维持背面气体保护。

当焊缝背面清根和液体渗透检测操作完全可达，且进行上述操作时，可以不使用背面气体保护。

7.2.5 电弧擦伤

任何电弧擦伤均应通过打磨、喷砂、加工的方式去除，去除后表面需圆滑过渡，斜度（高度差:水平距离）应不大于1:3，随后进行磁粉或液体渗透检测。

7.2.6 焊缝表面

7.2.6.1 通用要求

焊缝表面不允许有裂纹、未熔合、未焊透等缺陷。

除设计另有规定外，允许焊缝保留焊态表面。但焊缝表面应没有粗糙的焊波、沟槽、焊瘤，以及焊道间陡峭的波峰和波谷，以满足下列a)~f)的要求：

- a) 完工焊缝的表面状态应满足要求的射线检测或其他无损检测方法的要求。在评判射线检测底片时，如对焊缝的表面状态有怀疑，应将底片与实际的焊缝表面进行对比；
- b) 仅对不要求进行役前检查的焊缝，允许存在焊缝余高。容器、泵和阀门的焊缝余高的允许值应符合表3的规定，管道则应符合表4的规定；
- c) 咬边深度不应超过0.8 mm，且咬边处剩余壁厚不得小于要求的最小壁厚；
- d) 如焊缝厚度满足设计要求，允许单面焊对接环焊缝在根部侧的凹陷（根部收缩）；
- e) 如果焊缝表面需进行打磨以满足上述准则，应注意避免把焊缝或母材减薄到低于要求的厚度；
- f) 对1级部件焊缝，只要能实施规定的超声波检测，则允许径向焊缝收缩。

7.2.6.2 需进行役前检查的1级部件焊缝

当焊缝要求进行超声波检测时，应在整个焊缝长度上进行打磨，并使焊缝外形和邻近母材呈平滑过渡以便超声探头与被检表面可良好耦合。母材应保持清洁、无焊接飞溅和焊渣等。当部件设计未规定更严格的要求时，表面粗糙度应不大于6.3 Ra，该区域包括焊缝以及焊缝的至少一侧距焊缝边缘距离为150 mm或 $2t$ （ t 为名义壁厚）+100 mm两者中的较大值的母材范围。

对于纵缝，周长方向上最小清理距离为375 mm。此距离应该从焊缝的焊趾处开始测量。

对于要进行表面检测或体积检测的所有管道和容器焊缝，应该建立一套焊缝标记体系：

- a) 对于管道环焊缝，应至少在每个焊接接头的每侧距焊缝边缘适当距离打上（一组）两个永久性标记。这些标记应该沿着管子周向每隔90°打一组。对于管道与设备之间的环焊缝，当容器上不适宜打标记时，允许只在管道侧打标记；
- b) 对于容器，应至少在每个焊接接头的每侧距焊缝边缘适当距离打上（一组）两个永久性标记。对于容器与接管焊缝，应沿着焊缝长度方向每隔0.3 m打一组标记，对于所有其他的容器焊缝，应该每隔1 m打一组标记。

7.2.7 不同直径工件的焊接

当不同直径的工件焊在一起时，两个表面之间应按设计要求逐步过渡，过渡段的斜度（高度差:水平距离）应不大于1:3。过渡段的长度可包括焊缝。

7.2.8 焊缝余高

7.2.8.1 容器、泵和阀门的焊缝余高

容器、泵和阀门的对接焊接头表面可以与母材齐平，也可以有均匀的余高。焊缝每一面的余高不应超过表3所规定的数值。

表3 容器、泵和阀门的焊缝允许的最大余高

单位为毫米

名义厚度	最大余高
$t \leq 25$	2.5
$25 < t \leq 50$	3.0
$50 < t \leq 75$	4.0
$75 < t \leq 100$	5.5
$100 < t \leq 125$	6.0
$t > 125$	8.0

7.2.8.2 管道的焊缝余高

对于双面焊对接接头，表4中第1列的余高限值适用于接头的内外表面。对于单面焊对接接头，第1列和第2列的余高限值分别适用于接头的外表面和内表面。余高应根据所涉及的两个相邻表面中较高的一个来确定。

表4 管道的焊缝允许的最大余高

单位为毫米

名义厚度	最大余高	
	第1列	第2列
$t \leq 3$	2.5	2.5
$3 < t \leq 5$	3.0	2.5
$5 < t \leq 13$	4.0	3.0
$13 < t \leq 25$	5.0	4.0
$25 < t \leq 50$	6.0	4.0
$t > 50$	6 mm 或 1 / 8 焊缝宽度的较大值	4.0

7.2.9 角焊缝的形状和尺寸

7.2.9.1 角焊缝外形可以是凸形或凹形，其形状和尺寸应符合设计要求。

7.2.9.2 在进行插套焊接时，焊接前管端与插套须预留约 1.5 mm 的间隙。对于没有内肩的插套式接头，该间隙是指管道对接端面之间的间隙。插套焊接的管道接头，应限于尺寸为 DN50 或更小的管道。

7.2.10 螺纹接头的密封焊缝

7.2.10.1 当螺纹管接头进行密封焊接时，暴露的螺纹应全部去除。

7.2.10.2 不允许对螺纹面进行焊接。

7.2.11 堆焊层零件的焊接

7.2.11.1 用于堆焊层焊接的接头形式和焊接工艺应能防止形成脆性的焊缝组织。

7.2.11.2 暴露在外受腐蚀环境的焊缝应具有与堆焊层相近的耐蚀性。推荐采用熔敷金属成份与堆焊层材料相似的焊材。如果采用其他成份的焊缝金属，其特性应与应用场合相适应。

7.2.12 仪表管焊接

在满足下列条件时，P-No.8类的仪表管焊后可不进行NB/T 20450.5规定的射线检测：

- a) 管子名义直径不超过 13mm，壁厚不超过 1.6 mm；
- b) 使用自动焊设备焊接；
- c) 焊接方法仅限于使用钨极惰性气体电弧保护焊(141)；

- d) 焊接工艺评定和焊接操作工资格符合本标准的要求。另外，对每一管子名义直径、每一管子名义壁厚、每个焊接位置和每个焊接设备型号应按焊接工艺规程焊接一个代表性试件，试件应按 7.2.12 f) 的规定进行试验；
- e) 每台焊接设备输入电压的波动应控制在 $\pm 10\%$ 以内；
- f) 在焊接设备完成设置后，开始产品焊接前，对于每类接头，即相同的焊接工艺规程、焊接设备型号、焊接位置、名义管子直径和名义壁厚，应连续焊接两个合格的代表性试件。每个试件在距焊缝大约 6 mm 的位置剖开，以保证能对焊缝根部进行目视检验。焊缝根部应完全熔透；
- g) 产品焊接时，电压、电流和焊接速度的变化范围不能超过 7.2.12 d) 焊接代表性试件使用数值的 $\pm 10\%$ ；
- h) 应连续记录产品焊接的电压、电流和焊接速度。应检查记录以保证每条焊缝的焊接符合要求；该记录是产品寿期内质量保证记录的一部分；
- i) 焊缝外表面的下凹不得超过名义壁厚的 10%；
- j) 当下凹超标或按 NB/T 20450.5 进行液体渗透检测发现超标显示时，应将焊缝切除重焊。不允许其他方式修复。

7.2.13 焊接参数的验证

能量参数 I （电流）、 U （电压）和 V （焊接速度）¹⁾，极性，预热温度，道间温度和后热温度应满足焊接工艺规程的要求。

对于机械焊或自动焊设备，应在电弧处，或尽可能接近电弧处测量电压，对于后者，需要评价电弧电压和测量电压的差异。

7.2.14 产品焊接记录

每完成一项焊接作业后，对每一作业或同一焊接工艺的一组作业应进行相应的产品焊接记录。

产品焊接记录至少应包括下列内容：

- a) 接头、接头组、堆焊或补焊所属设备的编号（或管道的轴测图号）；
- b) 接头、接头组、堆焊或补焊层的编号；
- c) 所采用的焊接工艺规程编号；
- d) 所采用的焊接填充材料批号（或设备制造商的材料检验编号）；
- e) 负责每个焊接工序的焊工或焊接操作工签名（代号）；
- f) 所用的机械焊或自动焊焊机型号。

7.3 附件的焊接

7.3.1 附件材料

焊接到承压部件上的承压附件和非承压附件材料应满足设计要求。

7.3.2 结构附件的焊接

结构附件与承压部件之间的焊接应满足与承压部件焊接相同的评定要求（焊接工艺、焊工或焊接操作工）。焊接材料应满足 NB/T 20450.2 的要求。

7.3.3 内部结构支撑件与堆焊层部件的焊接

1) 对于机械焊或自动焊，验证 U 和 V ；对于手工焊，当热输出范围包含在有关焊接工艺评定有效范围内时验证 U 和 V 。

对于内壁有堆焊层的部件，除非对堆焊层有机械性能要求，否则内部结构支承件应与部件基体母材焊接，而不应与堆焊层焊接。

7.3.4 非结构附件和临时性附件的焊接和拆除

7.3.4.1 焊接

非结构附件与承压部件的焊接可不使用满足NB/T 20450.2的焊材，可采用连续的或断续的角焊缝或部分焊透焊缝，但应满足下列条件：

- a) 焊接工艺评定和焊工考核要求满足本标准的规定；
- b) 附件材料牌号明确，且与相连接材料相当；
- c) 焊接材料牌号明确，且与被焊材料相当；
- d) 当 8.2 有要求时，焊缝应进行焊后热处理。

7.3.4.2 拆除

非结构的临时性附件的拆除应满足下列要求：

- a) 采用适当的方法在非结构的临时性附件的周围邻近区域做标记，以保证在附件拆除后，一直到按照 c) 的要求完成检测，该区域始终可被识别；
- b) 临时性附件应采用机械方法，或者热加工之后再行机械加工的方法完全拆除；
- c) 拆除临时性附件后，应对标记区域进行液体渗透检测或磁粉检测，检验方法和验收标准应符合 NB/T 20450.5 的要求；
- d) 允许 7.3.4.1.d) 要求的焊后热处理延后到附件拆除后进行。

7.3.5 压力试验后管道上附件的焊接

在满足下列要求时，可将附件焊在完成压力试验后的管道上：

- a) 根据 8.2.2.7，焊缝可免除焊后热处理；
- b) 角焊缝的焊喉尺寸不超过 10 mm，采用全焊透焊缝的附件厚度不超过 13 mm；
- c) 角焊缝的焊缝总长不超过 600 mm，全焊透焊缝的焊缝总长应不超过 300 mm；
- d) 焊缝按照 NB/T 20450.5 进行检测。

7.3.6 加强圈

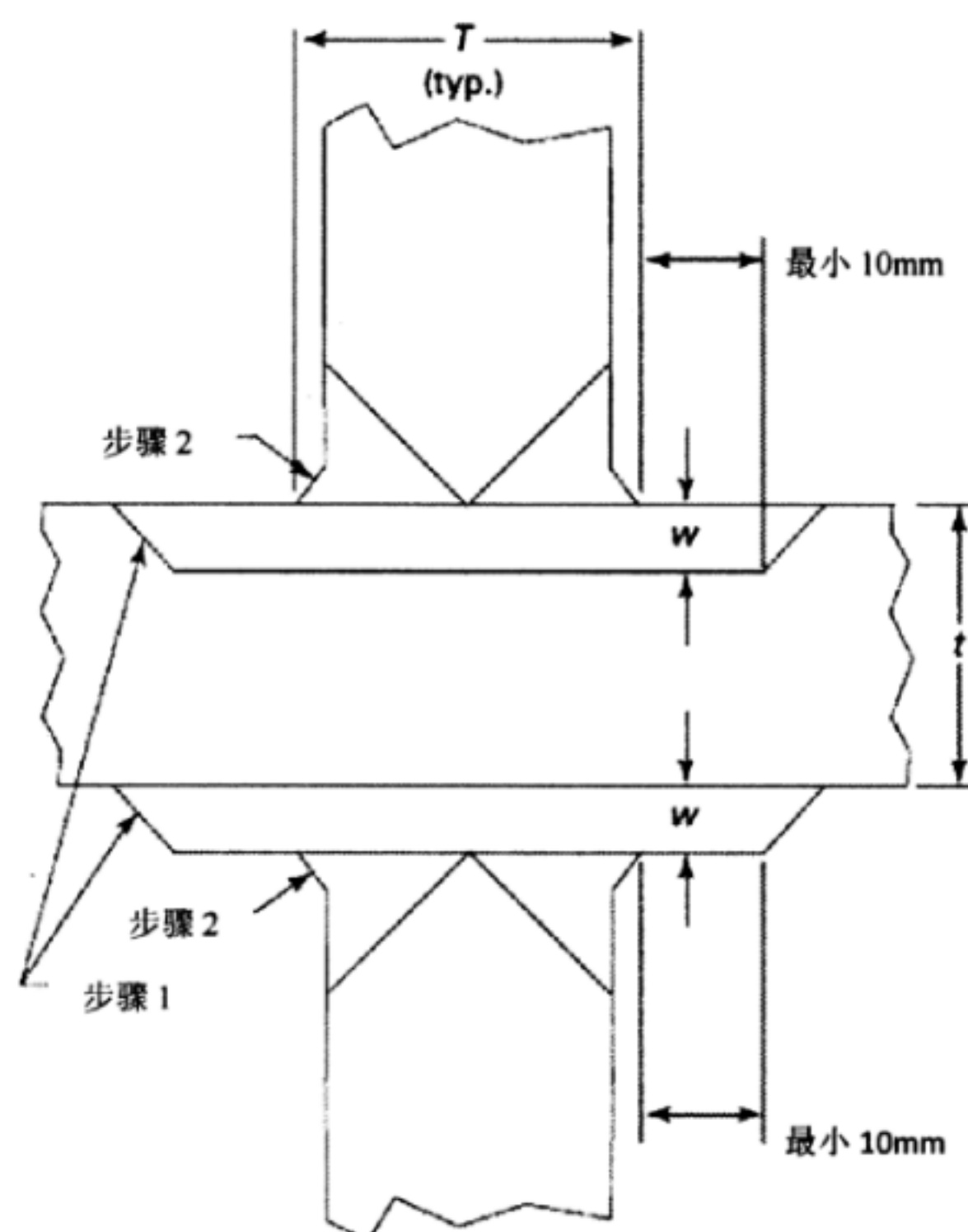
对于加强圈，无论是作为永久性附件还是临时性附件，其焊缝（包括定位焊缝）都应由考核合格的焊工使用评定过的焊接工艺完成。

7.3.7 支承件焊接的特殊要求

7.3.7.1 对于轧制材料，应避免使用在厚度方向产生显著的拉伸应力的接头设计。当不可避免时，应在可行的情况下尽量减小焊缝尺寸和轧制材料表面的焊接热输入。

7.3.7.2 设计有要求时，对于在厚度方向承受显著拉应力的此类结构，应满足下列条件之一：

- a) 完成焊接后，位于焊缝下的母材按 NB/T 20450.5 进行超声检测；
- b) 应按图 2 进行内部或外部的同质堆焊，并在附件和同质堆焊层焊接前，对同质堆焊按 NB/T 20450.5 进行超声检测；
- c) 使用设计规定的具有厚度方向拉伸性能要求的材料。



说明:

步骤 1——内部或外部同质堆焊

步骤 2——完成附件焊接

注1: T 为轧制母材表面上测量的焊缝区宽度;

注2: 附件可能焊在母材的一面或两面;

注3: $t=25\text{ mm}$ 时, 内、外同质堆焊层厚度 W 的最小值为6 mm, 之后, t 每增加10 mm, W 增加1.5 mm, 最大不超过13 mm;

注4: 当 T 大于 t 时, T 和 t 的差值每增加10 mm, W 增加1.5 mm, 最大不超过13 mm;

注5: 用于内部和外部同质堆焊的焊条熔敷金属规定最小抗拉强度不得比母材规定最小抗拉强度高83 MPa。

图2 沿厚度承载的焊接接头的制作

7.4 返修

7.4.1 通用要求

7.4.1.1 对于在 NB/T 20450.5 规定的检验中发现的焊缝缺陷, 或者水压试验中发现的缺陷, 应去除, 必要时通过焊接返修。

7.4.1.2 在获得设计批准前, 不得使用回火焊道技术。

7.4.2 表面缺陷的去除

在满足下列a)~c)的条件下, 焊缝表面缺陷可以使用打磨或机加工方法去除, 而不必通过焊接返修:

- a) 剩余的截面厚度不低于设计规定的最小壁厚;
- b) 缺陷去除后, 挖凿处与周围表面平滑过渡;

- c) 平滑过渡后,该部位须使用符合 NB/T 20450.5 规定的磁粉检测或液体渗透检测方法进行表面检测,结果应满足 NB/T 20450.5 相应的验收标准。对于使用目视检测或体积检测方法发现的,位于内表面上的缺陷,如果由于可达性原因无法对去除后的部位进行表面检测,则应使用原来发现缺陷的检测方法进行重新检测。

7.4.3 焊接返修

7.4.3.1 缺陷的去除

可以采用机械方法或热刨方法去除缺陷。去除缺陷后的区域应使用符合NB/T 20450.5的磁粉或液体渗透检测方法进行检测,结果应满足NB/T 20450.5相应的验收标准。当需要去除焊缝全部厚度,或缺陷位于焊接接头背面而不易清除无损检测用材料时,不要求进行上述检测。

7.4.3.2 焊接材料、焊接工艺和焊工的要求

焊接返修所用焊材应符合NB/T 20450.2的要求,焊工和焊接操作工应符合NB/T 20450.1的要求,焊接工艺应按NB/T 20450.3进行评定。

7.4.3.3 返修区域的过渡

返修后的表面应与周围表面平滑过渡。

7.4.3.4 返修后的检验

返修区域应按原焊缝的要求重新进行检测,但当缺陷是使用磁粉或液体渗透检测方法发现的,且返修深度不超过表 5 中限值时,只需要对于返修区域进行磁粉或液体渗透检测。

对于 P-No.1 和 P-No.3 的焊缝返修,当按上述要求需进行射线检测,而结构上又难以进行射线检测时,如满足下列规定,可使用超声波检测代替射线检测:

- a) 焊缝之前已进行射线检测,并满足相应的验收标准;
- b) 超声波检测方法符合 NB/T 20450.5 的规定,并按 NB/T 20450.5 进行验收;
- c) 限于容器中的 A 类和 B 类接头(接头类别的定义见 NB/T 20450.5 附录 A,以及其他物项中的类似接头。

缺少合适的射线检测设备不可作为使用超声波检测替代的理由。

表5 缺陷凹坑尺寸限值

单位为毫米

焊缝厚度 t			返修深度
2、3 级部件	设备支撑件	堆芯支撑件	
$t \leq 19$		$t \leq 13$	$t/3$
$19 < t \leq 64$		$13 < t \leq 64$	6
$t > 64$		$t > 64$	10 mm 或 10% t 两者中的较小值
1 级部件的所有厚度			10 mm 或 10% t 两者中的较小值

7.4.3.5 返修后的热处理

返修后应按第 8 章的相关规定进行热处理。

7.5 焊接试板

对于使用 405 型材料(12Cr-1Al 铁素体不锈钢)建造的核 3 级焊接容器,如无焊后热处理,应制作焊接试板。试板应包括容器中所用的每个炉号的钢板,两个不同炉号钢板可以焊在一起作为一块试板。

对于每块试板,按 NB/T 20450.3 取 2 个试样进行面弯试验,并满足相关要求。

8 热处理

8.1 预热和后热

8.1.1 需要预热的场合

8.1.1.1 预热的必要性和预热温度取决于许多因素,如化学成分、被焊组件约束度、高温、物理性能以及材料厚度等。推荐的预热要求见附录 A,注意该附录中的推荐性要求不能必然保证可获得满意的接头,根据具体情况,实际需要的预热温度可较推荐值更高或更低。根据 NB/T 20450.3 的要求,焊接工艺规程中应规定最低预热温度要求。

8.1.1.2 当有预热要求时,应保持预热温度直至接头焊接结束。当需要中断焊接或预热时,应至少在 204℃ 以上保持 2h。对于有焊接预热要求的部件,当采用热加工工艺加工坡口、去除临时性附件、清根等操作时,均应保持预热温度。

8.1.1.3 对于 P-No.3 材料,预热温度最低为 120℃,这一温度应维持到产品焊接结束且开始进行中间热处理、最终焊后热处理或后热开始。

8.1.1.4 未规定预热操作时,部件最低温度为 10℃。

8.1.2 预热方法

预热方法不应损害母材或任何已经完成的焊缝金属,不应把对焊缝有害的物质带入焊接区域。满足上述条件时,预热可采用任何方法。

8.1.3 道间温度

应考虑对道间温度进行限制,以避免对机械性能产生有害影响,尤其是对于调质态材料。

8.1.4 后热

8.1.4.1 后热处理的主要目的是使金属中的扩散氢逸出以避免产生冷裂纹。

8.1.4.2 对于按 8.1.1 进行了预热的 P-No.3 材料焊缝,当设计无其他规定时,后热操作应将焊接接头在 232℃~400℃ 保温 4h,之后再降至室温。当采用超低氢焊材时,后热的最低温度允许由 232℃ 降低至 204℃。

8.1.4.3 对于规定最低抗拉强度小于或等于 485 MPa 的 P-No.1 Group 1 或 Group 2 材料,可不进行后热。

8.2 焊后热处理

8.2.1 加热和冷却方法

如能保证要求的加热和冷却速率、热处理温度、热处理温度的均匀性以及温度的控制要求,则可采用任何合适的加热和冷却方法进行焊后热处理(PWHT)。

8.2.2 焊后热处理的时间和温度要求

8.2.2.1 通用要求

除 8.2.2.7 允许的免除焊后热处理的情况外,包括返修焊缝在内的所有焊缝都应进行焊后热处理。

在焊后热处理过程中,除 8.2.2.4 允许的使用较低的保温温度和较长的保温时间的情况外,保温温

度和最短保温时间应符合表 6 的规定。

为确认热处理温度，焊后热处理应在完成了温度测量和温度标定的炉内进行，或者使用热电偶测量被处理的工件温度，热电偶应与工件紧密接触，也可将热电偶连接到与工件紧密接触的金属块上。

此外，还应满足以下各条的要求。

表6 焊后热处理要求

P-No.	保温的温 度范围 ℃ ^a	不同名义焊缝厚度 <i>t</i> 的最短保温时间 (表中 h 为小时, min 为分钟)			
		<i>t</i> ≤ 13 mm	13 mm < <i>t</i> ≤ 50 mm	50 mm < <i>t</i> ≤ 125 mm	<i>t</i> > 125 mm
1 和 3	595~675	30 min	2 min/mm	2 h 加上 <i>t</i> > 50 mm 时, 每增加 25 mm 加 15 min	2 h 加上 <i>t</i> > 50 mm 时, 每 增加 1 mm 加 0.5 min
4	595~675	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
5A、5B、5C 和 6 (除 6 Gr.4 外)	675~760	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
6 Gr.4	565~620				
7	705~760	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
9A Gr.1	595~675	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
9B Gr.1	595~635	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
10A Gr.1 10C Gr.1 10F Gr.1	595~675	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
10I Gr.1	705~760	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
11A Gr.1	550~585	30 min	2 min/mm	2 min/mm	2 min/mm
11A Gr.4	540~565	30 min	2 min/mm	2 min/mm	2 min/mm
11B Gr.1-10	540~595	30 min	2 min/mm	2 min/mm	2 min/mm
15E Gr.1	730~775	30 min	2 min/mm	2 min/mm	5 h 加上 <i>t</i> > 125 mm 时, 每增加 1 mm 加 0.5 min
8、34、42、43、45 及含碳量测量值小 于等于 0.30%的 P-No.1 母材上的硬 质合金堆焊层 10H Gr.1 的支承件	既不要求也不禁止焊后热处理				
^a 所有温度均指金属温度。					

8. 2. 2. 2 时间—温度记录

所有焊后热处理都应有时间-温度记录，以便相关人员核查。时间-温度记录上应有相应焊缝、零件或部件的识别标记。应提供时间-温度记录的清单。

8. 2. 2. 3 决定焊后热处理的名义厚度的定义

表 8 中的名义厚度是指焊缝厚度、结构附件焊接连接的承压材料厚度，或被连接的承压材料中的较薄者厚度，取其中的最小厚度。当成形余量、减薄余量或机加工余量的数值不超过 3 mm 时，名义厚度不计这部分材料。

角焊缝的名义厚度是指角焊缝的焊喉尺寸，部分焊透焊缝的名义厚度是指焊接坡口的深度，材料修

补焊缝的名义厚度是指返修凹坑深度。

8.2.2.4 保温时间

表 6 规定的保温时间应基于焊缝的名义厚度。保温时间可不连续。它可以是几个焊后热处理循环的累计时间。

如果对于母材、焊接材料和焊接工艺评定均进行了相应的试验，可采用超过表 6 的最短保温时间。

当无法按照表 6 规定的温度范围进行焊后热处理时，可按照表 7 和下列 a)、b)、c)的规定，在较低的温度下以较长的时间进行焊后热处理：

- a) 除 P-No.1 材料外，当表 7 所列材料的焊缝需在较低的最低保温温度下进行焊后热处理时，则按 NB/T 20450.3 进行的焊接工艺评定的冲击试样应经受同样的较低的最低保温温度和增加的最短保温时间的焊后热处理。按表 6 规定的温度范围内的保温温度和最短保温时间评定合格的焊接工艺以及按照表 7 允许的较低的最低保温温度和增加的最短保温时间的条件下评定合格的焊接工艺，同时也评定了这两个温度之间的所有中间温度。当采用某个中间温度进行焊后热处理时，最短保温时间应通过表 6 要求的时间和表 7 要求的时间用插入法求得；
- b) 除 P-No.1 材料外，当表 7 所列材料的焊缝需在较低的最低保温温度下进行焊后热处理时，则 NB/T 20450.2 进行的焊接材料试验的试件应经受同样的较低的最低保温温度和增加的最短保温时间的焊后热处理。焊接材料如按表 6 规定的温度范围内的保温温度和最短保温时间试验合格，并按表 7 允许的较低的最低温度和增加的最短保温时间试验合格，则该焊接材料对于这两个温度之间的所有中间温度也是合格的；
- c) 材料试验合格的母材，可使用上述较低的最低保温温度和增加的最短保温时间进行焊后热处理，而不必重新进行材料试验。如果材料技术规格书不要求使用更高的回火温度，则在较低的最低保温温度和增加的最短保温时间条件下进行的焊后热处理亦可作为回火热处理。

表7 另一保温温度和保温时间

P-No.	最低保温温度 ℃	最短保温时间 min/mm
1、3、9A Gr.1 和 9B Gr.1	565	4
1、3、9A Gr.1 和 9B Gr.1	540	8
注：8.2.2中所有其他的要求都适用。		

8.2.2.5 不同 P-No. 材料焊接时的焊后热处理要求

当两种不同 P-No.的材料焊接时，焊后热处理应按表 6 中保温温度范围较高的材料的要求进行。

8.2.2.6 非承压工件的焊后热处理

当非承压材料与承压材料相焊接时，焊后热处理应使用承压材料的保温温度范围。

8.2.2.7 免除强制性焊后热处理要求的情形

对于下列材料和焊缝不要求按本节规定进行焊后热处理：

- a) 非铁基材料；
- b) 按表 8 免除强制性焊后热处理的焊缝；
- c) 焊缝经受的热处理温度高于表 6 规定的焊后热处理温度范围，且相应的焊接工艺按 NB/T 20450.3 评定合格，同时母材和焊接材料在该高的热处理温度下试验合格；
- d) 满足 8.2.2.8 的要求的接管嘴与部件之间的连接焊缝或支管与主管之间的连接焊缝；
- e) 满足 8.2.2.9 的要求的最终焊后热处理之后的部件补焊、堆焊层补焊、异种金属焊缝补焊；

- f) 对于 MC 级部件, 延长件及延长件与接管、开孔结构以及类似结构的连接焊缝, 条件是焊缝距离钢安全壳容器表面的距离至少为 $0.5\sqrt{rt}$, 其中 r 为接管或开孔结构的平均半径, t 为接管或开孔结构的名义厚度;
- g) 对于用含碳量不超过 0.08% 的 P-No.7 的 405 型材料或 410 型材料制造的设备支承件, 用能形成奥氏体不锈钢熔敷金属或非空冷硬化的镍基合金熔敷金属的焊条来焊接, 如果焊缝处的板厚不超过 10 mm, 则不要求进行焊后热处理; 如果焊缝处的板厚超过 10 mm, 但不超过 38 mm, 若在焊接过程中保证 230 °C 的最低预热温度且焊接接头进行了 100% 射线检测, 也不要求进行焊后热处理;
- h) 用含碳量不超过 0.08% 的 P-No.7 的 405 型或 410 型材料制造的堆芯支承件, 用能形成奥氏体不锈钢熔敷金属或非空冷硬化的镍铬铁熔敷金属的焊条来焊接, 如果焊缝处的板厚不超过 10 mm, 则不要求进行焊后热处理。

表8 免除强制性焊后热处理的条件

P-No.	焊缝类型 ^a	名义厚度 t , mm (见 8.2.2.3)	实测的最大 含碳量 % ^b	最低的预热 温度 °C
1 (核 1 级容器)	管道之间、管道与接管嘴之间的对接环焊缝和插套焊缝, 母材厚度小于等于 38 mm	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
		$32 < t \leq 38$	≤ 0.30	95
		$t \leq 19$	> 0.30	—
		$19 < t \leq 38$	> 0.30	95
	角焊缝	$t \leq 19$	—	95
1 (MC 级部件)	全焊透和部分焊透焊缝, 要求焊接工艺评定母材厚度不小于产品焊缝母材 ^c	$t \leq 16$	≤ 0.25	95
	除了容器上连接的内径大于 50 mm 的接管嘴和贯穿件焊缝, 待焊母材厚度小于等于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
		$32 < t \leq 38$	≤ 0.30	95
		$t \leq 19$	> 0.30	—
		$19 < t \leq 38$	> 0.30	95
	容器上连接的内径大于 50 mm 的接管嘴和贯穿件焊缝, 应保证下列要求全部满足: ——容器壳体厚度小于等于 38 mm; ——接管嘴尺寸不大于 DN300; ——非圆形的开孔的最大最小直径的比值不大于 1.15; ——焊缝与筒体上其他不进行焊后热处理焊缝的距离至少 $1.0\sqrt{Rt}$ 。	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
		$32 < t \leq 38$	≤ 0.30	95
		$t \leq 19$	> 0.30	—
		$19 < t \leq 38$	> 0.30	95
	除容器上的接管嘴焊缝或贯穿件焊缝, 母材厚度大于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 19$	—	95
	除了容器上的接管嘴焊缝或贯穿件焊缝 ^d , 包括母材厚度大于 38 mm, 小于等于 44 mm 的补焊焊缝在内所有焊缝	$t \leq 44$	0.24	95
	名义内径小于等于 50 mm 的接管嘴和贯穿件焊缝	$t \leq 19$	—	95
	按 8.2.2.1 的规定进行了热处理的 MC 级部件的返修焊缝: 返修的累积长度不超过焊缝总长度的 25%	$t \leq 44$	—	95
1 (其他部件)	母材厚度小于等于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
		$32 < t \leq 38$	≤ 0.30	95
		$t \leq 19$	> 0.30	—
		$19 < t \leq 38$	> 0.30	95
	母材厚度大于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 19$	—	95

表 8 (续)

P-No.	焊缝类型 ^a	名义厚度 t , mm (见 8.2.2.3)	实测的最大 含碳量 % ^b	最低的预热 温度 ℃
1 Gr.1 和 Gr.2	碳钢上堆焊 A-No.8 (不锈钢) 或 F-No.43 (镍基合金), 或对该堆焊层返修 ^c , 母材厚度小于等于 38 mm	—	0.30	38
	母材厚度大于 38 mm, 小于等于 75 mm	—	0.30	95 ^f
	母材厚度大于 75 mm	—	0.30	120 ^g
1(仅限核 1 级), 3	免除要求的焊后热处理的返修, 见 8.2.2.9	—	—	175
3 不包括 Gr.3	除了容器上的返修焊缝之外的所有焊缝, 要求工艺评定母材厚度不小于产品焊缝厚度 ^c	$t \leq 16$	≤ 0.25	95
	连接非承压材料与承压材料的附件焊缝	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
	管道和管子的对接环焊缝	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
	下列管道上的插套焊缝: ——DN50 及以下的管子; ——名义外径 60 mm 及以下的换热管。	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
	支撑件焊缝和堆芯支撑结构焊缝	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
4	下列管道上的环焊缝和附件焊缝: ——DN100 及以下的管子; ——名义外径 114 mm 及以下的换热管。	$t \leq 13$	≤ 0.15	95
	下列管道上的插套焊缝: ——DN50 及以下的管子; ——名义外径 60 mm 及以下的换热管。	$t \leq 13$	≤ 0.15	120
5A、5B 和 5C	下列管道上的环焊缝和附件焊缝: ——DN100 及以下的管子; ——名义外径 114 mm 及以下的换热管, 且最大 Cr 含量测量值小于等于 3.00%。	$t \leq 13$	≤ 0.15	150
	下列管道上的插套焊缝: ——DN50 及以下的管子; ——名义外径 60 mm 及以下的换热管, 且最大 Cr 含量测量值小于等于 3.00%。	$t \leq 13$	≤ 0.15	150
6 (410 型) 和 7 Gr.1 (405 型)	使用 A-No.8, A-No.9 或 F-No.43 焊接材料连接 405 和 410S 型母材的焊缝	$t \leq 10$	≤ 0.08	—
9A Gr.1	所有焊缝, 要求工艺评定母材厚度不小于产品焊缝厚度 ^c	$t \leq 16$	—	95
	连接非承压材料与大于 16 mm 厚度的承压材料的附件焊缝	$t \leq 13$	—	95
	下列管道上的环焊缝和附件焊缝: ——DN100 及以下的管子; ——名义外径 114 mm 及以下的换热管。	$t \leq 13$	≤ 0.15	120
	名义外径小于等于 60 mm 的管子与换热管上的插套焊缝 (仅限核 1、2 级设备)	$t \leq 13$	≤ 0.15	120
9B Gr.1	所有焊缝, 要求工艺评定母材厚度不小于产品焊缝厚度 ^c	$t \leq 16$	—	95
	连接非承压材料与大于 16 mm 厚度的承压材料的附件焊缝	$t \leq 13$	—	95
	下列管道上的环焊缝和附件焊缝: ——DN100 及以下的管子; ——名义外径 114 mm 及以下的换热管。 (仅限核 1、2 级设备)	$t \leq 13$	≤ 0.15	120
	名义外径小于等于 60 mm 的管子与换热管上的插套焊缝 (仅限核 1、2 级设备)	$t \leq 13$	≤ 0.15	120

表 8 (续)

P-No.	焊缝类型 ^a	名义厚度 t , mm (见 8.2.2.3)	实测的最大 含碳量 % ^b	最低的预热 温度 ℃
10A Gr. 1 (仅限 支撑件)	所有焊缝, 要求工艺评定母材厚度不小于产品焊缝 厚度 ^c	$t \leq 16$	—	95
	连接非承压材料与大于 16 mm 厚度的承压材料的 附件焊缝	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
	连接管道或换热管与承压材料的焊缝, 承压材料厚 度大于 16 mm	$t \leq 13$	≤ 0.25	95
10C Gr. 1 (限非 核 1 级设备)	母材厚度小于等于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
		$32 < t \leq 38$	≤ 0.30	95
		$t \leq 19$	> 0.30	—
		$19 < t \leq 38$	> 0.30	95
	角焊缝、部分焊透焊缝和返修焊缝, 母材厚度大于 38 mm	$t \leq 19$	—	95
10C Gr. 1 (仅限 支撑件)	母材厚度小于等于 38 mm 的所有焊缝	$t \leq 32$	≤ 0.30	—
	连接非承压材料与大于 32 mm 厚度的承压材料的 附件焊缝	$32 < t \leq 38$	—	95
		$t \leq 13$	—	95
	连接完工内径小于等于 50 mm 的接管与大于 32 mm 的材料的坡口焊缝或角焊缝, 但连接焊缝不 要求增加壳体或封头厚度	$t \leq 13$	—	95
10I Gr.1	接头材料厚度小于等于 13 mm 的所有焊缝	$t \leq 13$	—	—
11A Gr.1 (限非 核 1 级设备)	接头材料厚度小于等于 13 mm 的所有焊缝	$t \leq 13$	—	—
11A Gr.4	接头材料厚度小于等于 13 mm 的所有焊缝	$t \leq 13$	—	120
11B Gr. 1-Gr.10 (仅限支撑件)	接头材料厚度小于等于 13 mm 的所有焊缝	$t \leq 13$	—	—
注: 表8所述的免除强制性焊后热处理, 条件不适用于下列情况: a) 厚度大于等于 3 mm 的铁素体材料的电子束焊接焊缝; b) P-No.3、P-No.4、P-No.5、P-No.7 (除 405 型和 410S 型外), P-No.10 和 P-No.11 材料的任意厚度的储 能焊和摩擦焊接焊缝。				
^a 焊缝类型一栏中的材料厚度指的是焊接接头处的母材厚度; ^b 是指连接的承压材料的含碳量; ^c 焊接工艺评定试件的厚度不必大于 38 mm; ^d 这样的特例限于 15MnHR 钢板 (NB/T 20005.32) 和 10MnNiMo 钢板 (NB/T 20006.31), 且应满足下列条件: a) 不能免除冲击试验; b) 对于设计规定的夏比 V 型冲击试验, 试验按下列要求之一执行: 1) 若试验温度采用材料最低工作温度减去 5℃, 则冲击功按相应标准验收; 2) 若试验温度采用材料最低工作温度, 则冲击功应在相应验收指标的基础上增加 7 J。 c) 对于落锤试验, 最低工作温度和无延性转变温度之间的差值应大于等于 5.6℃+A (A 为设计规定的最低许 用温度)。 ^e 最大热输入值为 5910 J/mm, 在工艺评定试板中热影响区的最大硬度值不超过 35 Rc; ^f 在不低于 95℃ 温度下至少 2 h 后热处理; ^g 在不低于 150℃ 温度下至少 2 h 后热处理。				

8.2.2.8 接管嘴-部件连接焊缝, 支管-主管连接焊缝免除焊后热处理的条件

P-No.1 的接管嘴或支管与 P-No.1 或 P-No.3 的部件或主管的连接焊缝, 如果部分焊透焊缝满足下列 a) 的要求, 全焊透焊缝满足下列 b) 的要求, 则可不进行焊后热处理:

- a) 部分焊透焊缝采用 A-No.8 或非空冷硬化的镍基合金焊接材料, 在完成下列操作后进行焊接:
 - 1) 被焊铁素体材料使用 A-No.8 或非空冷硬化的镍基合金焊材进行隔离层堆焊, 厚度至少为 6 mm;
 - 2) 隔离层堆焊位于铁素体材料上的热影响区按照 8.2 的要求进行焊后热处理, 不使用免除焊后热处理的条款。
- b) 采用 A-No.1 或 A-No.2 的焊接材料焊接的全焊透焊缝符合下述要求:
 - 1) 在部件或主管连接区域用 A-No.1 或 A-No.2 焊材进行隔离层堆焊, 厚度至少为 6 mm;
 - 2) A-No.1 或 A-No.2 的堆焊层堆焊按照 8.2 中对 P-No.1 或 P-No.3 的要求进行焊后热处理, 不使用免除焊后热处理的条款;
 - 3) 接头形式为安放式;
 - 4) 使用 A-No.1 或 A-No.2 焊材完成 P-No.1 材料的接管嘴或支管与隔离层的焊接;
 - 5) 上述连接焊缝的名义厚度不超过 38 mm, 且接管嘴或支管实测的含碳量不超过 0.30%;
 - 6) 如果连接焊缝的名义厚度超过下列数值, 则焊接时应保持最低 95°C 的预热温度:
 - 32 mm, 且接管嘴或支管材料实测的含碳量小于等于 0.30%;
 - 19 mm, 且接管或支管连接件材料实测的含碳量超过 0.30%。

8.2.2.9 回火焊道返修

如果焊接返修后的焊后热处理不具备可操作性, 则在满足下列各款要求的条件下, 焊接返修后可不进行焊后热处理, 或可在最终焊后热处理后进行焊接返修:

- a) 一般要求:
 - 1) 补焊工艺规程: 应按 NB/T20450.3 有关回火焊道的要求进行工艺评定, 使用基于冲击试验的有关规定;
 - 2) 焊接工艺评定试件: 用于焊接工艺评定的母材应经历与待返修材料的保温时间和保温温度至少等效的热处理;
 - 3) 中子注量: 如果返修区域承受显著的快中子注量辐照 ($>10^{19} \text{ N/cm}^2, E^0 > 1 \text{ MeV}$), 焊缝熔敷金属的铜含量应不大于 0.10%;
 - 4) 无损检测: 无损检测应符合 NB/T20450.5 的规定。返修焊缝应在室温下放置至少 48 h 后再进行最终的无损检测;
 - 5) 待返修区域准备: 单个返修区域完工表面的最大面积为 3230 cm^2 , 返修深度对于 1 级设备不大于母材厚度的三分之一, 对于 2 级设备不大于母材或焊缝厚度的 50% 或 13 mm 的较小值。待返修区域应按书面的规程进行制备, 以便于后续焊接。返修焊前, 该区域应进行磁粉检测或液体渗透检测;
 - 6) 焊接返修记录: 焊接返修记录应至少包括: 一张表示返修凹坑位置和尺寸的图表、焊接材料识别号、焊工号、焊接工艺规程以及返修后的检测结果;
 - 7) 焊工考核: 如果周围物体妨碍焊工实施焊接返修操作, 施焊前应采用相同工艺参数在模拟实际障碍条件下对焊工进行考核, 以证明在该受限情况下焊工具有获得良好焊缝质量的能力;
 - 8) 焊条电弧焊焊条: 应满足下列要求:
 - 焊条应该保存在密封包装中。从包装中取出后, 焊条应放入到 105°C~175°C 的恒温箱中;

——除 F-No.43 (镍基合金) 焊丝和 A-No.8 (奥氏体不锈钢) 焊条外:

- 焊条应具有耐吸潮特性, 扩散氢含量不大于 4.0 mL/100g;
- 当焊条从恒温箱中取出后, 暴露在空气中的最长时间为:
 - ◆ E50XX 型: 9 h;
 - ◆ E55XX 型: 4 h;
 - ◆ E62XX 型和更高强度级别型号: 2 h。

露置在空气中超过上述时间的焊条应该报废或者通过烘焙除去吸收的潮气, 烘焙的时间和温度按照焊条制造商的推荐。烘焙后, 在焊条温度冷却到 105℃之前, 焊条应转移到 105℃~175℃的恒温箱中。

- 9) 后热处理: 对于使用焊条电弧焊 111 和药芯焊丝电弧焊 136、137 的焊接返修, 完成焊接, 焊接返修区域应在 230℃~290℃进行后热消氢处理, 对于 P-No.1 材料保温至少 2 h, P-No.3 保温至少 4 h。

b) 母材和焊缝的返修:

对于 P-No.1 和 P-No.3 母材, A-No.1、2、10 和 11 的焊缝金属, 在满足下列条件时, 可以使用回火焊道返修:

- 1) 第二层的焊道 (回火焊道) 应进行磁粉检测或液体渗透检测;
- 2) 在进行最终的无损检测前, 应将完工焊缝余高, 包括最后一层焊道加工到与周围表面齐平;
- 3) 焊接返修区域及周围 100 mm 范围内的邻近区都应按 7.4.3.4 的规定进行无损检测, 对于 1 级设备, 还应补充进行超声波检测。

c) 堆焊层返修:

对于 P-No.1 和 P-No.3 材料上的 A-No.8 或 F-No.43 的堆焊层, 可在最终焊后热处理后进行焊接返修。如果缺陷去除后剩余 A-No.8 或 F-No.43 堆焊层的厚度大于 3 mm, 对于焊条电弧焊 (111) 或钨极惰性气体保护电弧焊 (141), 在焊接返修后可不进行焊后热处理。如果剩余堆焊层厚度小于等于 3 mm, 或者使用焊条电弧焊 (111) 或钨极惰性气体保护电弧焊 (141) 之外的其他焊接方法返修, 需满足 8.2.2.9 a) 和以下补充要求:

- 1) 铁素体母材去除深度应不大于 6 mm 或 10% 母材厚度的两者中的较小值。如果厚度超过上述限值, 则应先按 8.2.2.9 b) 修补到限值, 然后再进行堆焊层的返修;
- 2) A-No.8 焊材只能用于 A-No.8 堆焊层返修, F-No.43 焊材可用于 A-No.8 或 F-No.43 堆焊层返修;
- 3) 焊接返修区域及周围 100 mm 范围内的邻近区都应进行液体渗透检测。

d) 带有隔离层的异种钢焊缝的回火焊道返修:

本条适用于 P-No.1 和 P-No.3 材料与奥氏体不锈钢或镍基材料之间的异种焊缝, 要求 P-No.1 和 P-No.3 焊接端堆焊 A-No.8 或 F-No.43 隔离层并进行了热处理。如果缺陷去除后剩余 A-No.8 或 F-No.43 隔离层的厚度大于 3 mm, 对于焊条电弧焊 (111) 或钨极惰性气体保护电弧焊 (141), 在焊接返修后可不进行焊后热处理。如果剩余堆焊层厚度小于等于 3 mm, 或者使用焊条电弧焊 (111) 或钨极惰性气体保护电弧焊 (141) 之外的其他焊接方法返修, 需满足 8.2.2.9 a) 和以下补充要求:

- 1) 若缺陷延伸到了 P-No.1 和 P-No.3 母材上, 如果缺陷返修区域沿轴线方向的测量深度不超过 10 mm, 则可以按本条返修母材, 见图 3, 缺陷去除区域的在厚度方向上不应大于焊接接头厚度的一半。如果缺陷返修区域沿轴线方向的测量深度超过 10 mm, 则应先按 8.2.2.9 b) 返修到限值内, 然后再进行隔离层返修;
- 2) 当 P-No.1 和 P-No.3 母材上的 A-No.8 或 F-No.43 隔离层至少达到 5 mm 后, 应按 8.2.2.9 a) 10) 的规定进行后热消氢处理, 最终焊接完成后可不进行后热消氢处理;

- 3) 焊缝返修区域及周围 100 mm 范围内的母材都应进行液体渗透检测;
- 4) 返修焊缝应进行射线检测, 可行的情况下还应进行超声波检测;
- 5) 对于部分焊透焊缝的焊接返修, 如无法按上述 8.2.2.9 d) 4) 规定实施有效的射线和超声波检测, 应按下述规定进行液体渗透检测:
 - 当缺陷去除区深度不大于 5 mm 时, 应在焊接完成后进行液体渗透检测;
 - 当缺陷去除区深度超过 5 mm 时, 应在熔敷金属厚度超过 5 mm, 并按 8.2.2.9 a) 10) 的规定进行后热消氢处理后进行液体渗透检测。之后熔敷金属厚度每增加约 5 mm 进行一次液体渗透检测, 但不需进行后热消氢处理。

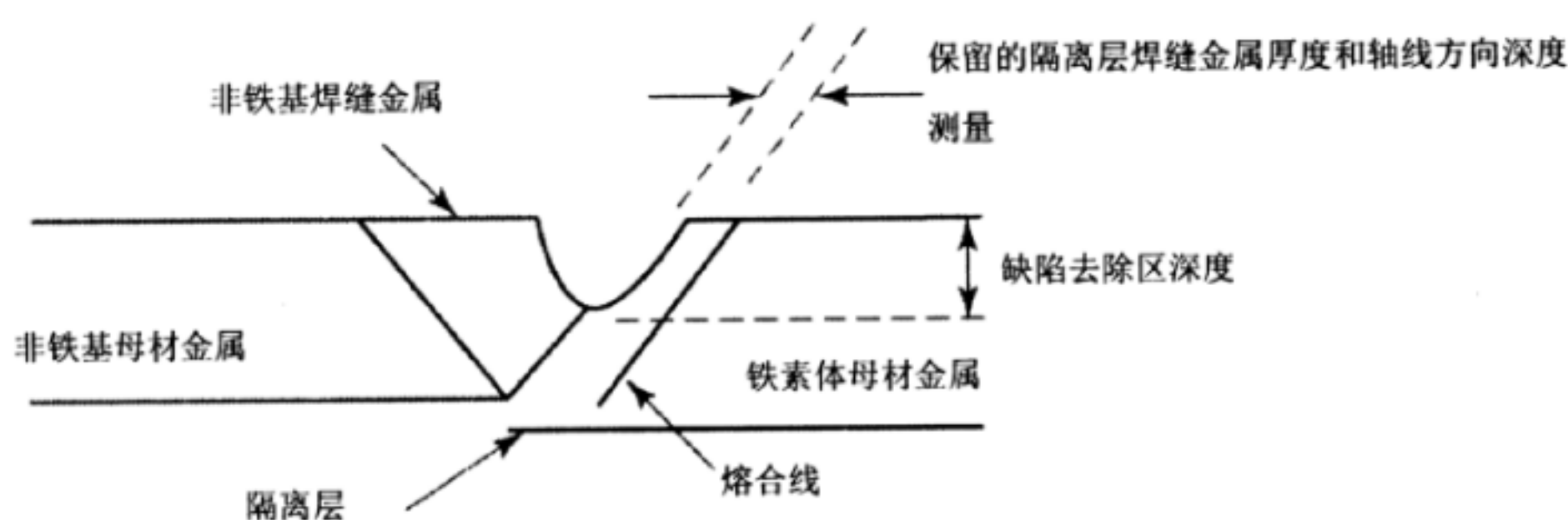


图3 异种金属返修区域测量

8.2.3 焊后热处理的加热速率和冷却速率的要求

在 425 °C 以上, 加热速率和冷却速率应不超过 220 °C/h。除以热处理材料厚度与 25 mm 的倍数值, 该速率不得大于 220 °C/h, 同时也不必低于 56 °C/h。在加热和冷却过程中, 在焊缝长度方向上距离为 4.5 m 以内的任意两点, 其温度差异不应大于 140 °C。

允许以下例外:

- a) P-No.6 材料可从表 6 规定的焊后热处理保温温度下空冷;
- b) 对于 P-No.7 材料, 650 °C 以上的冷却速率不应超过 56 °C/h, 之后 650 °C 以下的冷却速率应足够快以防止脆化。

8.2.4 焊后热处理的方法

焊后热处理方法应符合以下方法中的一种:

- a) 炉内加热——一次加热:

在密闭炉内通过一次加热对工件进行热处理是优先选用的方法, 只要可能就应采用该方法。应当控制炉内气氛以避免工件过度氧化, 禁止火焰直接接触工件。

- b) 炉内加热——多次加热:

可以采用炉内多次加热对工件进行热处理, 该方法也应满足 8.2.4.1 关于控制炉内气氛的要求, 并且工件加热部位的重叠长度至少为 1.5 m。当采用该方法时, 工件位于炉外的部分应进行保温, 以避免产生有害的温度梯度。工件在与加热炉相交部位的截面上不应有接管或其他的结构不连续。

- c) 局部加热:

当部件或工件不能进行整体热处理时, 可对焊缝进行局部焊后热处理。在局部焊后热处理时, 应沿部件或工件的整个圆周加热一个环形带, 加热温度应符合本节规定的范围。对于焊缝的每一侧 (从焊缝最宽处算起), 达到热处理温度的最小加热宽度不应少于焊缝厚度或 50 mm 两个

数值中的较小值。部件或工件的温度从受控加热区域的边缘向外应逐渐降低，以避免有害的温度梯度。这个方法也可用于补焊后的焊后热处理。

d) 工件的内部加热

部件或工件可以用任何适当的方法从内部加热，并应采用适当的温度指示和温度记录装置来控制并保持工件内的温度均匀分布。内部加热前，工件外部应全部用保温材料包覆。

8.3 最终焊后热处理以外的焊缝热处理

最终焊后热处理以外的焊缝热处理的保温温度、保温时间、加热速率和冷却速率不必满足本部分要求。

附 录 A
(资料性附录)
推荐的预热要求

A.1 一般要求

本附录规定的预热温度是对NB/T 20450.3中各类别号(P-No.)材料的一般指导。由于预热的必要性和最低预热温度要求取决于很多因素,如化学成分、拘束度、材料物理特性及厚度等,同一类别号的不同材料,在具体应用中下列要求可能偏严或偏松,所以本附录只是作为指导使用。

A.2 保温

在整个焊接过程中预热过程不应中断,并在整个过程中进行监测。

应采用诸如热电偶、高温计、接触式温度计或测温笔等对预热温度进行监测。在焊接奥氏体不锈钢时,禁止使用测温笔测量。

A.3 预热温度

A.3.1 P-No. 1, Group 1

对于厚度大于38 mm的材料,若含碳量小于等于0.30%,则推荐的温度为95℃;若含碳量大于0.30%,则推荐的温度为120℃。

上述温度不适用于焊脚尺寸小于等于13 mm的用于连接保温层夹头和其他不承受内压载荷部件之间的角焊缝。

对于本组中的其他材料,推荐温度为10℃。

A.3.2 P-No. 1, Group 2

对于厚度大于25 mm的材料,若含碳量小于等于0.30%,则推荐的温度为95℃;若含碳量大于0.30%,则推荐的温度为120℃。

A.3.3 P-No. 1, Group 3、P-No. 3和P-No. 11A

对于最低抗拉强度规定值大于485 MPa或者厚度大于16 mm的材料,推荐温度为120℃。

对于本组中的其他材料,推荐温度为10℃。

A.3.4 P-No. 4

对于最低抗拉强度规定值大于415 MPa或者厚度大于13 mm的材料,推荐温度为150℃。

对于本组中的其他材料,推荐温度为10℃。

A.3.5 P-No. 5

对于最低抗拉强度规定值大于415 MPa或者最低Cr含量大于6.0%且厚度大于13 mm的材料,推荐温度为205℃。

对于本组中的其他材料,推荐温度为150℃。

A.3.6 P-No. 6

所有材料的推荐温度为205℃。

A.3.7 P-No. 7和P-No. 8

不需要预热。

A.3.8 P-No. 9

所有材料的推荐温度为150℃。

A.3.9 P-No. 10

对于P-No.10A, 推荐温度为80℃。

对于P-No.10B, 推荐温度为120℃。

对于不同厚度的接头, 应控制预热温度和道间温度以防止对热处理态材料的机械性能产生不利影响。

对于P-No.10D和P-No.10E, 推荐温度为150℃, 道间温度为150℃~230℃。
