



T/CECS XXX:202X

中国工程建设标准化协会标准

结构用不锈钢复合板焊接技术规程

Technical specification for welding of stainless steel clad plates for
structures

（征求意见稿）

2024 年 1 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2019 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2019]22 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 7 章和 3 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、焊接工艺评定、焊接工艺、焊接检验等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会结构焊接专业委员会归口管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中冶建筑研究总院有限公司（地址：北京市海淀区西土城路 33 号，邮政编码：100088，E-mail：13911017815@139.com）。

主编单位： 中冶建筑研究总院有限公司

中国十七冶集团有限公司

参编单位： 略

主要起草人： 略

主要审查人： 略

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术 语	(2)
2.2	符 号	(3)
3	基 本 规 定	(4)
4	材 料	(5)
5	焊接工艺评定	(7)
5.1	一 般 规 定	(7)
5.2	焊接工艺评定替代规则	(7)
5.3	重新进行焊接工艺评定的规定	(8)
5.4	焊接工艺评定试验要求	(10)
5.5	焊接工艺评定试件取样要求	(11)
5.6	焊接工艺评定试件检测试样的制样要求	(15)
5.7	焊接工艺评定合格标准	(19)
6	焊接工艺	(24)
6.1	母 材 准 备	(24)
6.2	焊接材料要求	(25)
6.3	焊接接头的装配要求	(29)
6.4	定位焊与临时焊缝	(29)
6.5	焊 接 环 境	(30)
6.6	衬 垫	(30)
6.7	引弧板和引出板	(30)
6.8	预热和道间温度控制	(30)
6.9	焊接工艺技术要求	(31)
6.10	焊接变形的控制和矫正	(32)
6.11	焊 缝 清 理	(33)
6.12	返 修 焊	(33)
6.13	焊后热处理	(34)
7	焊接检验	(35)
7.1	一 般 规 定	(35)
7.2	焊缝外观检测	(36)
7.3	焊缝无损检测	(37)

附录 A 不锈钢复合板焊接工艺评定报告格式	(40)
附录 B 不锈钢复合板焊接接头射线检测缺欠评定	(46)
附录 C 超声检测固定回波幅度测长	(48)
用词说明	(46)
引用标准名录	(50)
附：条文说明	(52)

Contents

1	General provisions.....	(1)
2	Terms and symbols.....	(2)
	2.1 Terms.....	(2)
	2.2 Symbols.....	(3)
3	Basic requirement.....	(4)
4	Materials.....	(5)
5	Qualification.....	(7)
	5.1 Qualification.....	(7)
	5.2 Substitute of welding procedure qualification.....	(7)
	5.3 Requalification.....	(8)
	5.4 Test requirement of qualification.....	(10)
	5.5 Sampling requirement of test pieces.....	(11)
	5.6 Preparation of test piece.....	(15)
	5.7 Qualification criteria.....	(19)
6	Welding procedures.....	(24)
	6.1 Preparation of base metal.....	(24)
	6.2 Welding consumable.....	(25)
	6.3 Assembly of welding joint.....	(29)
	6.4 Tack weld and temporary welds.....	(29)
	6.5 Welding environment.....	(30)
	6.6 Weld backing.....	(30)
	6.7 Weld tab.....	(30)
	6.8 Preheat and interpass temperature control.....	(30)
	6.9 Technics of welding procedure.....	(31)
	6.10 Control and correction of welding deformation.....	(32)
	6.11 Weld cleaning.....	(33)
	6.12 Repairs.....	(33)
	6.13 Postweld heat treatment.....	(34)
7	Inspection.....	(35)
	7.1 General requirement.....	(35)
	7.2 Visual testing.....	(36)
	7.3 Non-destructive testing.....	(37)

Appendix A Format of WPQR for stainless steel clad plates.....	(40)
Appendix B Assessment of Radiograph of welding joint.....	(46)
Appendix C Fixed amplitude level technique of UT test.....	(48)
Explanation of wording in this standard.....	(46)
List of quoted standards.....	(50)
Addition: Explanation of provisions.....	(52)

1 总 则

1.0.1 为在结构用不锈钢复合板焊接中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、质量可靠、技术先进、经济合理、节能环保，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业或民用结构工程中以不锈钢为复层、以碳钢或低合金钢为基层的基层厚度不小于 3mm 的不锈钢复合板、管的焊接。

1.0.3 本规程适用的焊接方法包括焊条电弧焊、非熔化极气体保护电弧焊、熔化极气体保护电弧焊、埋弧焊及其他适宜焊接方法。

1.0.4 结构用不锈钢复合板的焊接除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 不锈钢复合板 stainless steel clad plates

以碳钢或低合金钢为基层，采用爆炸法、轧制法或其他方法，在其一面或两面整体连续包覆一定厚度不锈钢层的复合材料。

2.1.2 不锈钢复合管 stainless steel clad pipes

基层采用碳钢或低合金钢带，复层采用不锈钢带，紧密包覆连续成型的钢管。

2.1.3 基层 base metal

复合板、管中主要承受载荷的碳钢或低合金钢。

2.1.4 复层 cladding metal

复合板、管中接触工作介质和大气环境的不锈钢。

2.1.5 复合界面 compound contact interface

复层和基层之间的分界面。

2.1.6 过渡层 buttering

为防止基层成分对复层焊缝金属的不利影响，在焊接复层焊缝金属前预先在基层焊缝金属表面焊接的一层特殊成分的金属层。

2.1.7 焊缝成形系数 form factor of welds

单道焊缝横截面上焊缝宽度和焊缝计算厚度的比值。

2.1.8 角接和对接组合焊缝 reinforcing fillet welds

由对接焊缝和角焊缝组合而成的焊缝，通常指全熔透或部分熔透的 T 形接头或十字接头的焊缝。

2.2 符 号

B ——焊缝宽度；
 C ——焊缝余高；
 D ——管外径；
 P ——焊缝坡口钝边高度；
 R_m ——不锈钢复合板的抗拉强度；
 H ——焊缝坡口深度；
 b ——焊缝坡口根部间隙；
 h_e ——焊喉尺寸；
 h_f ——焊脚尺寸；
 a ——缺欠长度或裂纹长度；
 d ——缺欠深度或裂纹深度；
 t ——板厚或壁厚；
 α ——焊缝坡口角度；
 δ ——弯曲试样厚度；
 Δ ——对接焊缝错边量。

3 基本规定

3.0.1 承担结构用不锈钢复合板焊接工程的施工单位应符合下列规定：

- 1 具有相应的焊接质量管理体系和技术标准；
- 2 具有相应资格的焊接从业人员；
- 3 具有与所承担的焊接工程相适应的焊接设备、检验和试验设备；
- 4 检验仪器、仪表应经计量检定、校准合格且在有效期内。

3.0.2 结构用不锈钢复合板焊接从业人员的技术工作应符合下列规定：

- 1 焊接技术人员应负责组织进行焊接工艺评定，编制焊接工艺方案、焊接作业指导书或焊接工艺卡，处理施工过程中的焊接技术问题；
- 2 焊接检验人员应对焊接作业进行全过程的检测和控制，并出具检验报告；
- 3 无损检测人员应按设计文件或相关技术要求规定的检测方法和标准，对受检部位进行无损检测，并出具检测报告；
- 4 焊工应按照焊接工艺文件的要求施焊；
- 5 焊接热处理人员应按照热处理作业指导书及相应的操作规程进行作业。

3.0.3 结构不锈钢复合板焊接从业人员的资格应符合下列规定：

- 1 焊接技术人员应具备相应的技术能力，宜有一年以上焊接生产或施工实践经验；
- 2 焊接检验人员应具备相应的技术能力，宜按照现行中国工程建设标准化协会标准《钢结构焊接从业人员资格认证标准》T/CECS 331 要求取得焊接检验人员资格证书；
- 3 无损检测人员应持有符合现行国家标准《无损检测 人员资格鉴定与认证》GB/T 9445 规定的资格证书，并在资格证书范围内从事无损检测相关工作；无损检测的审核人员宜持有符合现行国家标准《无损检测人员资格鉴定与认证》GB/T 9445 规定的 3 级资格证书；
- 4 焊工应根据不锈钢复合板的钢材种类、焊接接头形式、焊接方法、焊接位置等，按照现行中国工程建设标准化协会标准《钢结构焊接从业人员资格认证标准》T/CECS 331 的要求取得焊工资格证书，并在资格证书覆盖范围内施焊；
- 5 焊接热处理人员应具备相应的技术能力、掌握用电安全知识并严格执行相关安全作业规定。

4 材 料

4.0.1 结构用不锈钢复合板及其焊接材料应符合设计文件要求，并应具有钢厂或焊接材料厂出具的产品质量证明书或检验报告，其化学成分、力学性能和其他质量要求应符合国家现行有关标准的规定。

4.0.2 结构用不锈钢复合板及其焊接材料的化学成分、力学性能等质量要求的复验应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

4.0.3 结构中使用的不锈钢复合板应符合现行国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、《结构用不锈钢复合管》GB/T 18704 等标准的有关规定，常用的不锈钢复合板材料宜符合表 4.0.3 的规定。

表 4.0.3 常用不锈钢复合板材料

基层材料				复层材料
GB/T 700、GB/T 1591 标准钢材	GB/T 19879 标准钢材	GB/T 714 标准钢材	GB/T 4171 标准钢材	GB/T 3280、GB/T 4237 标准钢材
Q235 Q275	Q235GJ	—	Q235NH Q265GNH Q295NH Q295GNH	06Cr19Ni10 022Cr19Ni10 06Cr17Ni12Mo2 022Cr17Ni12Mo2 06Cr17Ni12Mo3 022Cr17Ni12Mo3 06Cr18Ni11Ti 06Cr25Ni20 022Cr23Ni5Mo3N 022Cr25Ni7Mo4N 022Cr19Ni5Mo3Si2N 06Cr13 06Cr13Al 1Cr13
Q355	Q345GJ	Q345q Q370q Q345qNH Q370qNH	Q310GNH Q355NH Q355GNH	
Q390 Q420	Q390GJ Q420GJ	Q420q Q420qNH	Q415NH	
Q460 Q500 Q550 Q620 Q690	Q460GJ Q500GJ Q550GJ Q620GJ Q690GJ	Q460q Q500q Q550q Q620q Q690q Q460qNH Q500qNH Q550qNH	Q460NH Q500NH Q550NH	

4.0.4 选用的不锈钢复合板应具备完善的焊接性资料、指导性焊接工艺、热加工工艺参数及相应焊接接头性能数据等资料。

4.0.5 焊接材料应由焊接材料生产厂提供熔敷金属化学成分、性能鉴定资料及指导性焊接工艺参数。

4.0.6 焊条应符合现行国家标准《不锈钢焊条》GB/T 983、《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《热强钢焊条》GB/T 5118 和《高强钢焊条》GB/T 32533 的有关规定。

4.0.7 气体保护焊丝应符合现行国家标准《不锈钢焊丝和焊带》GB/T 29713、《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853、《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110、《钨极惰性气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 39280 及《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493 和《高强钢药芯焊丝》GB/T 36233 的有关规定。

4.0.8 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用不锈钢焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 17854、《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293、《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470、《埋弧焊用高强度钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 36034 和《埋弧焊和电渣焊用焊剂》GB/T 36037 的有关规定。

4.0.9 气体保护焊使用的氩气、二氧化碳及混合气体应符合现行国家标准《焊接与切割用保护气体》GB/T 39255 的有关规定。

4.0.10 不锈钢复合板基层的焊接材料宜按下列原则选用：

1 基层材料为同种碳钢或低合金钢时，选用焊接材料熔敷金属的力学性能应不低于基层材料标准规定的下限值或设计文件要求；

2 基层材料为异种碳钢或低合金钢时，选用焊接材料熔敷金属的力学性能应不低于两种基层材料标准规定下限值的较低者，且不高于两种基层材料标准规定上限值的较高者，或满足设计文件要求；

3 基层材料有耐候、耐火等其他功能性指标要求时，选用焊接材料熔敷金属的功能性指标应不低于基层材料标准规定下限值或设计文件要求。

4.0.11 不锈钢复合板复层的焊接材料宜按下列原则选用：

1 复层材料为同种奥氏体不锈钢或同种双相不锈钢时，焊接材料熔敷金属中 Cr、Ni 等主要合金元素含量应不低于复层材料标准规定的下限值；

2 复层材料为异种奥氏体不锈钢或异种双相不锈钢时，焊接材料熔敷金属中 Cr、Ni 等主要合金元素含量应不低于两种复层材料标准规定下限值的较低者；

3 复层材料分别奥氏体不锈钢和双相不锈钢时，焊接材料熔敷金属中 Cr、Ni 等主要合金元素含量应不低于双相不锈钢复层材料标准规定的下限值；

4 复层材料为马氏体不锈钢或铁素体不锈钢时，宜选用与复层材料组织相匹配的焊接材料或奥氏体不锈钢焊接材料；

5 复层材料分别为奥氏体不锈钢和马氏体不锈钢或铁素体不锈钢时，焊接材料熔敷金属中 Cr、Ni 等主要合金元素含量应不低于奥氏体不锈钢复层标准规定的下限值。

6 对于有晶间腐蚀性能要求的焊接接头，宜采用熔敷金属中含有 Nb、Ti 等稳定化元素的焊接材料，或熔敷金属含碳量小于 0.04% 的焊条或药芯焊丝，或熔敷金属含碳量小于 0.03% 的实心焊丝。

4.0.12 不锈钢复合板过渡层的焊接材料宜按下列原则选用：

1 复层材料为奥氏体不锈钢或分别为奥氏体不锈钢和马氏体不锈钢或铁素体不锈钢时，宜选用 Cr25Ni13 型不锈钢焊接材料；复层为含 Mo 奥氏体不锈钢或基层材料含 Mo 时，宜选用 Cr25Ni13Mo 型不锈钢焊接材料；

2 复层材料为双相不锈钢或分别为双相不锈钢和奥氏体不锈钢时，复层焊接材料可用于过渡层焊接；

3 复层材料为铁素体不锈钢或马氏体不锈钢时，可用于铁素体不锈钢焊接材料或 Cr25Ni13 型、Cr25Ni20 型奥氏体不锈钢焊接材料。

5 焊接工艺评定

5.1 一般规定

5.1.1 施工单位首次采用的不锈钢复合板材料、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、热处理等各种参数的组合条件，应在构件制作及安装施工之前进行焊接工艺评定。

5.1.2 施工单位应根据所承担不锈钢复合板结构的节点形式、钢材类型、规格，采用的焊接方法，焊接位置等，制订焊接工艺评定方案，拟定相应的焊接工艺评定指导书。焊接工艺评定试件的施焊和送检应在第三方机构或监理单位的全程见证下进行。焊接工艺评定试件由第三方检测机构进行检测，并出具检测报告；由焊接工艺评定单位或第三方检验机构根据检测结果及本规程的相关规定出具焊接工艺评定报告。

5.1.3 焊接工艺评定的环境应反映工程施工现场的条件。

5.1.4 焊接工艺评定中的焊接电流、焊接电压、焊接速度，预热、后热等施焊参数，应根据不锈钢复合板基层材料和复层材料的焊接性制订。

5.1.5 焊接工艺评定所用设备、仪表的性能应处于正常工作状态，焊接工艺评定所用的不锈钢复合板材料、焊接材料等应覆盖实际工程所用材料。

5.1.6 焊接工艺评定试件应由该工程施工单位中具有相应技术能力的焊接人员施焊。

5.1.7 焊接工艺评定所用的焊接方法和焊接位置分类代号应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的要求。焊接接头的形式宜符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《不锈钢复合板焊接技术要求》GB/T 13148 的要求。

5.1.8 焊接工艺评定结果不合格时，可从原焊接工艺评定试件上就不合格试验项目重新加倍取样进行试验。如还不能达到合格标准，应分析原因，制订新的焊接工艺评定方案，按原步骤重新评定，直到合格为止。

5.1.9 焊接工艺评定文件应包括焊接工艺评定报告、焊接工艺评定指导书、焊接工艺评定记录、焊接工艺评定结果等，宜采用本规程附录 A 的格式。

5.1.10 不锈钢复合板的焊接工艺应按工程项目进行评定。

5.2 焊接工艺评定替代规则

5.2.1 不同焊接方法的评定结果不应互相替代。不同焊接方法组合焊接可用相应板厚的单种焊接方法评定结果替代，但弯曲试样、接头拉伸试样的切取位置应涵盖不同的焊接方法。

5.2.2 不同牌号的不锈钢复合板焊接工艺评定结果不应互相替代；同种牌号、不同制造方法或不同供货状态的不锈钢复合板焊接工艺评定结果不应互相替代；同种牌号、相同制造方法、相同供货状态的不锈钢复合板中，基层材料质量等级高的复合板评定结果可替代质量等级低的复合板。

5.2.3 接头形式和坡口形式变化时应重新评定。板十字接头的评定结果可替代板 T 形接头评定结果，管十字接头的评定结果可替代管 T 形接头评定结果；全熔透或部分熔透的对接接头、T 形或十字接头角接与对接组合焊缝评定结果可替代角焊缝评定结果。

5.2.4 对接接头、全熔透或部分熔透的 T 形接头或十字接头评定合格的试件厚度在工程中适用的厚度范围应符合表 5.2.4 的规定。

5.2.5 T 形接头或十字接头角焊缝，应根据焊脚尺寸选择翼板、腹板厚度组合，试板厚度应符合

表 5.2.5 的规定。

表 5.2.4 评定合格的试件厚度与工程适用的厚度范围

评定合格试件的板厚或壁厚 t (mm)	工程适用厚度范围	
	板厚或壁厚最小值	板厚或壁厚最大值
$t \leq 16$	$0.5t$, 且不小于 3mm	$1.5t$
$16 < t \leq 25$	$0.75t$	$1.5t$
$25 < t \leq 80$	$0.75t$	$1.3t$
$t > 80$	$0.75t$	不限

注：1 t 为不锈钢复合板的板厚或不锈钢复合管的壁厚，包括基层厚度和复层厚度；

2 当复层厚度变化超过 1mm 时，应重新进行焊接工艺评定。

表 5.2.5 T 形接头或十字接头角焊缝焊脚尺寸和翼板、腹板厚度组合

序号	焊脚尺寸 (mm)	试板厚度 (mm)	
		腹板	翼板
1	6.5×6.5	8~12	12~16
2	8×8	10~16	16~24
3	10×10	14~24	20~40
4	12×12	≥20	≥28

5.2.5 评定合格的不锈钢复合管接头，壁厚的覆盖范围应符合本规程第 5.2.4 条的规定，直径的覆盖范围应符合下列规定：

- 1 外径小于 600mm 的管材，其直径覆盖范围不应小于工艺评定试验管材的外径；
- 2 外径不小于 600mm 的管材，其直径覆盖范围不应小于 600mm；
- 3 板材对接与外径不小于 600mm 的相应位置管材对接的焊接工艺评定可互相替代。

5.2.6 不同焊接位置的评定结果不应互相替代。

5.2.7 有衬垫与无衬垫的接头焊接工艺评定结果不应互相替代；不同材质衬垫的评定结果不应互相替代。

5.2.8 预热温度比评定合格的预热温度增加或降低 20℃ 以上应重新评定。

5.2.9 有无焊后热处理的焊接工艺评定结果不应互相替代。

5.3 重新进行焊接工艺评定的规定

5.3.1 当坡口尺寸发生以下变化时应重新评定：

- 1 坡口角度减少 10° 以上；
- 2 熔透焊缝的钝边增大 2mm 以上；
- 3 无衬垫的根部间隙变化 2mm 以上；
- 4 有衬垫的根部间隙变化超出 -2mm~+6mm 以上。

5.3.2 焊条电弧焊，下列条件之一发生变化时，应重新进行工艺评定：

- 1 焊条型号改变；
- 2 焊条规格改变；
- 3 焊接电流种类和极性改变；
- 4 多道焊和单道焊的改变；
- 5 清根焊改为不清焊根；
- 6 立焊方向改变；
- 7 立焊时，不摆动焊接改为摆动焊接；

- 8 焊接实际采用的电流值、电压值的变化超出焊条产品说明书的推荐范围。
- 5.3.3 非熔化极气体保护焊，下列条件之一发生变化时，应重新进行工艺评定：**
- 1 单一保护气体种类的变化；混合保护气体的气体种类和混合比例的变化；
 - 2 保护气体流量增加 25%以上，或减少 10%以上；
 - 3 添加焊丝或不添加焊丝的改变；
 - 4 单丝与多丝的改变；
 - 5 焊丝型号和规格的改变；
 - 6 焊接电流种类和极性改变；
 - 7 立焊方向改变；
 - 8 立焊时，不摆动焊接改为摆动焊接；
 - 9 多道焊和单道焊的改变；
 - 10 实际采用的电流值和焊接速度的变化分别超过评定合格值的 25%和 50%；
 - 11 焊枪摆动幅度超过评定合格值的 $\pm 20\%$ 。
- 5.3.4 熔化极气体保护焊，下列条件之一发生变化时，应重新进行工艺评定：**
- 1 焊丝型号的改变；
 - 2 单丝与多丝的改变；
 - 3 焊丝直径的改变；
 - 4 单一保护气体种类的变化；混合保护气体的气体种类和混合比例的变化；
 - 5 保护气体流量增加 25%以上，或减少 10%以上；
 - 6 立焊方向改变；
 - 7 立焊时，不摆动焊接改为摆动焊接；
 - 8 焊接电流种类和极性改变；
 - 9 多道焊和单道焊的改变；
 - 10 清焊根改为不清焊根。
 - 10 熔滴颗粒过渡与短路过渡的变化；
 - 12 焊接电流值、电压值和焊接速度的变化分别超过评定合格值的 10%、7%和 10%；
 - 13 焊枪摆动幅度超过评定合格值的 $\pm 20\%$ 。
- 5.3.5 埋弧焊，下列条件之一发生变化时，应重新进行工艺评定：**
- 1 焊丝与焊剂型号改变；
 - 2 焊丝规格改变；
 - 3 单丝与多丝的改变；
 - 4 实心焊丝、金属芯焊丝与药芯焊丝的改变；
 - 5 添加与不添加冷丝的改变；
 - 6 焊接电流种类和极性的改变；
 - 7 焊接电流值、电压值和焊接速度变化分别超过评定合格值的 10%、7%和 15%；
 - 8 清焊根改为不清焊根。

5.4 焊接工艺评定试验要求

5.4.1 对接接头焊接工艺评定试验的试样种类和数量应符合表 5.4.1 的规定，试验应包括以下内容：

- 1 外观检测；
- 2 无损检测；
- 3 接头拉伸及焊缝金属拉伸试验；
- 4 冲击试验；
- 5 横向弯曲试验或纵向弯曲试验；
- 6 宏观金相及硬度试验；

表 5.4.1 对接接头焊接工艺评定试样种类和数量

板厚 t (mm)	外观 检测	无损 检测	试样数量 (个)							
			宏观 金相 ^a	硬度	接头 拉伸 ^b	焊缝金 属拉伸 ^c	侧弯 ^d	面弯 ^d	背弯 ^d	冲击 ^e
$t < 14$	要	要	3 或 1	1	2	1	/	2	2	焊缝中心 3、热影响区 3
$t \geq 14$	要	要	3 或 1	1	2	1	4	/	/	焊缝中心 3、热影响区 3

注：a 部分熔透对接接头应进行 3 个宏观金相试验，全熔透对接接头应进行 1 个宏观金相试验；

b 外径不大于 76mm 的管对接试件应增加全截面拉伸试验，试样数量为 2 个；

c 板厚小于 12mm 的全熔透对接焊缝和焊缝有效厚度小于 12mm 的部分熔透对接焊缝可不进行焊缝金属拉伸试验；

d 当母材之间或母材和焊缝金属之间存在明显差异时，可用纵向弯曲试验代替横向弯曲试验；

e 当对接接头的基层材料为异种材料时，冲击试样应在焊缝中心和两侧热影响区分别取 3 个试样。

5.4.2 T 形接头焊接工艺评定试验的试样种类和数量应符合表 5.4.2 的规定，试验应包括以下内容：

- 1 外观检测；
- 2 无损检测；
- 3 焊缝金属拉伸试验；
- 4 冲击试验；
- 5 宏观金相及硬度试验。

表 5.4.2 T 形接头焊接工艺评定试样种类和数量

	外观 检测	无损 检测	试样数量 (个)			
			宏观金相	硬度	焊缝金属拉伸 ^a	冲击 ^b
板 T 形、斜 T 形	要	要	2	1	1	焊缝中心 3、热影响区 3
管 T、K、Y 形	要	要	4	1	/	焊缝中心 3、热影响区 3

注：a 焊缝有效厚度不大于 8mm 的 T 形接头可不进行焊缝金属拉伸试验；

b 角接与对接组合的全熔透 T 形接头，当不开坡口侧的板厚或壁厚不小于 28mm 时，应进行冲击试验。

5.4.3 十字接头焊接工艺评定试验的试样种类和数量应符合表 5.4.3 的规定，试验应包括以下内容：

- 1 外观检测；
- 2 无损检测；
- 3 接头拉伸及焊缝金属拉伸试验；

- 4 冲击试验；
- 5 宏观金相及硬度试验。

表 5.4.3 十字接头焊接工艺评定试样种类和数量

	外观检测	无损检测	试样数量（个）					
			宏观金相	硬度	全截面拉伸	接头拉伸	焊缝金属拉伸	冲击 ^c
板十字	要	要	2	1	/	2	1 ^b	焊缝中心 3、热影响区 3
管十字	要	要	4	1	2 ^a	/	/	/

注：a 管十字接头全截面拉伸试样适用的管径和壁厚由试验机的能力决定。
b 焊缝有效厚度不大于 8mm 的板十字接头可不进行焊缝金属拉伸试验。
c 角接与对接组合的全熔透板十字接头，当不开坡口侧的板厚或壁厚不小于 28mm 应进行冲击试验。

5.5 焊接工艺评定试件取样要求

5.5.1 对接接头焊接工艺评定所需检测试样的类型和数量应符合本规程表 5.4.1 的规定，试样的尺寸和取样位置应满足检测试样的制样要求（图 5.5.1-1～图 5.5.1-4）。管对接接头宏观金相试样宜覆盖起焊位置或止焊位置。

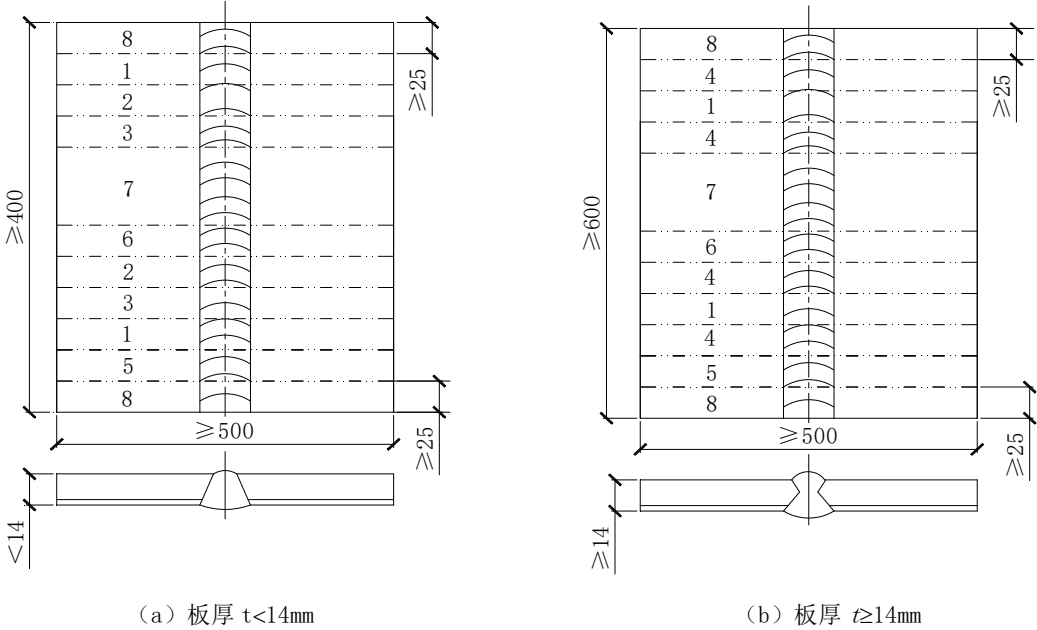


图 5.5.1-1 板对接接头焊接工艺评定试件及试样取样位置（横向弯曲）

1—接头拉伸试样；2—背弯试样；3—面弯试样；4—侧弯试样；5—冲击试样；6—金相试样；
7—焊缝金属拉伸试样；8—舍弃

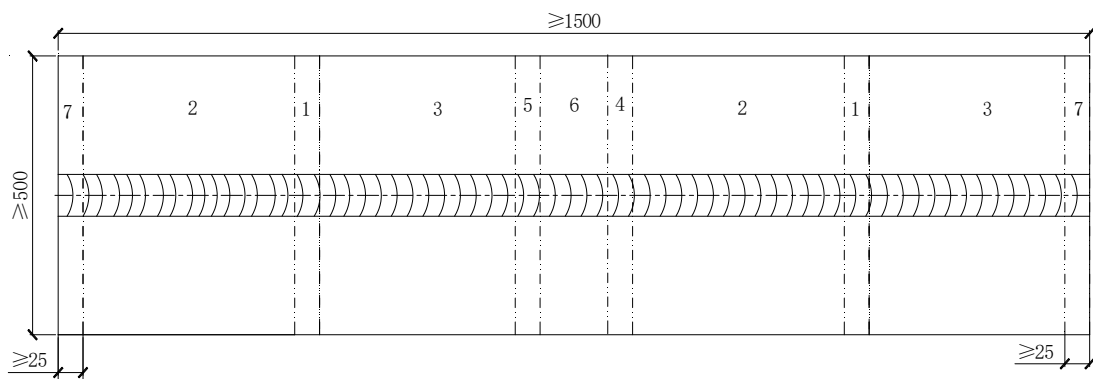


图 5.5.1-2 板对接接头焊接工艺试件及试样取样位置（纵向弯曲）

1—接头拉伸试样；2—背弯试样；3—面弯试样；4—冲击试样；5—金相试样；6—焊缝金属拉伸试样；7—舍弃

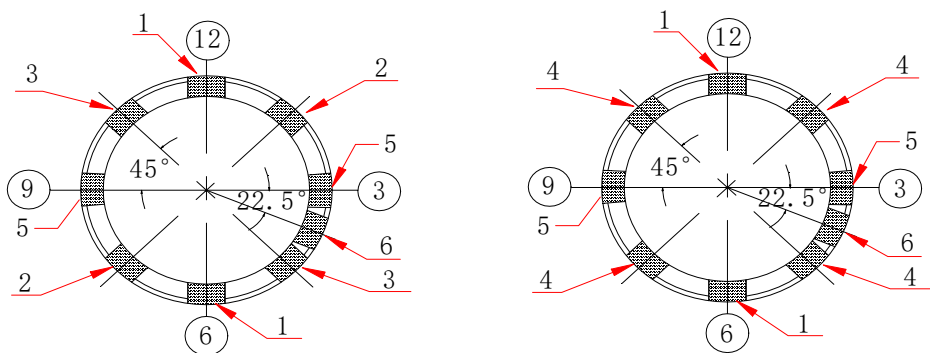


图 5.5.1-3 圆管对接接头焊接工艺评定试件及试样取样位置

③⑥⑨⑫—钟点记号，为水平固定位置焊接时的定位

1—接头拉伸试样；2—面弯试样；3—背弯试样；4—侧弯试样；5—冲击试样；6—金相试样

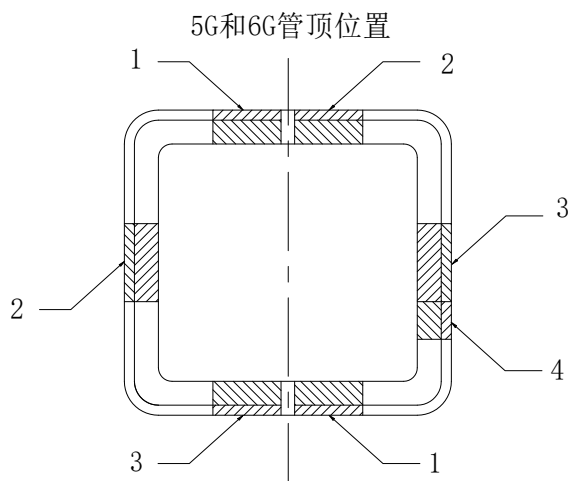


图 5.5.1-4 矩形管对接接头焊接工艺评定试件及试样取样位置

1—接头拉伸试样；2—面弯或侧弯试样、冲击试样；3—背弯或侧弯试样、冲击试样；4—金相试样

5.5.2 部分熔透对接接头焊接工艺评定所需试样的类型和数量应符合本规程表 5.4.1 的规定，应先在焊接工艺评定试件上取宏观金相试样，然后机加工去除接头底部的多余材料至焊缝根部，再取其他检测试样。当部分熔透对接接头的熔深较小导致难以进行其他试验时，可用全熔透对接接头的焊接工艺评定替代，但需再增加 2 个宏观金相试样。

5.5.3 T 形接头焊接工艺评定所需要的检测试样的类型和数量应符合表 5.4.2 的规定，试样的尺寸和取样位置应满足检测试样的制样要求（图 5.5.3-1～图 5.5.3-3）。

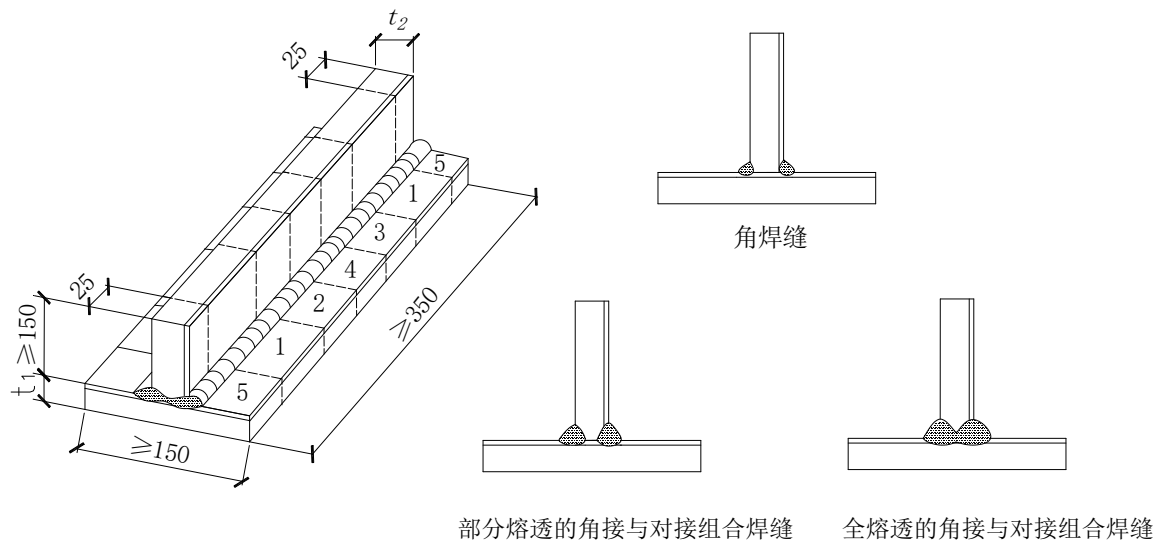


图 5.5.3-1 板 T 形接头焊接工艺评定试件及试样取样位置

1—宏观金相试样；2—焊缝金属拉伸试样；3—冲击试样；4—备用；5—舍弃

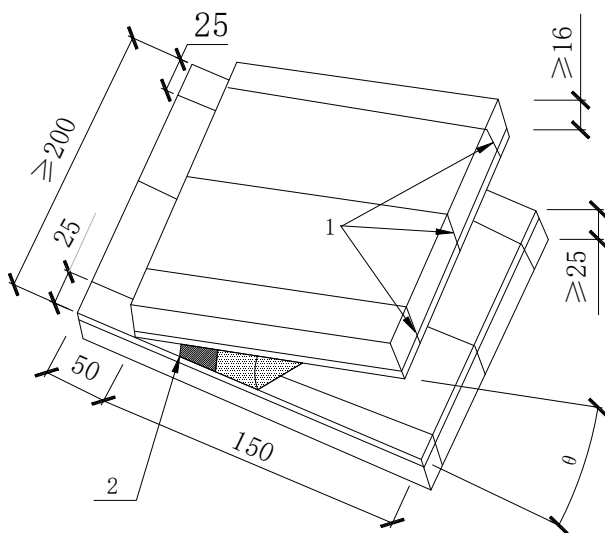


图 5.5.3-2 斜 T 形接头焊接工艺评定试件及试样取样位置（锐角根部）

1—宏观金相试样酸蚀面；2—封底焊缝区；θ—要评定的最小角度

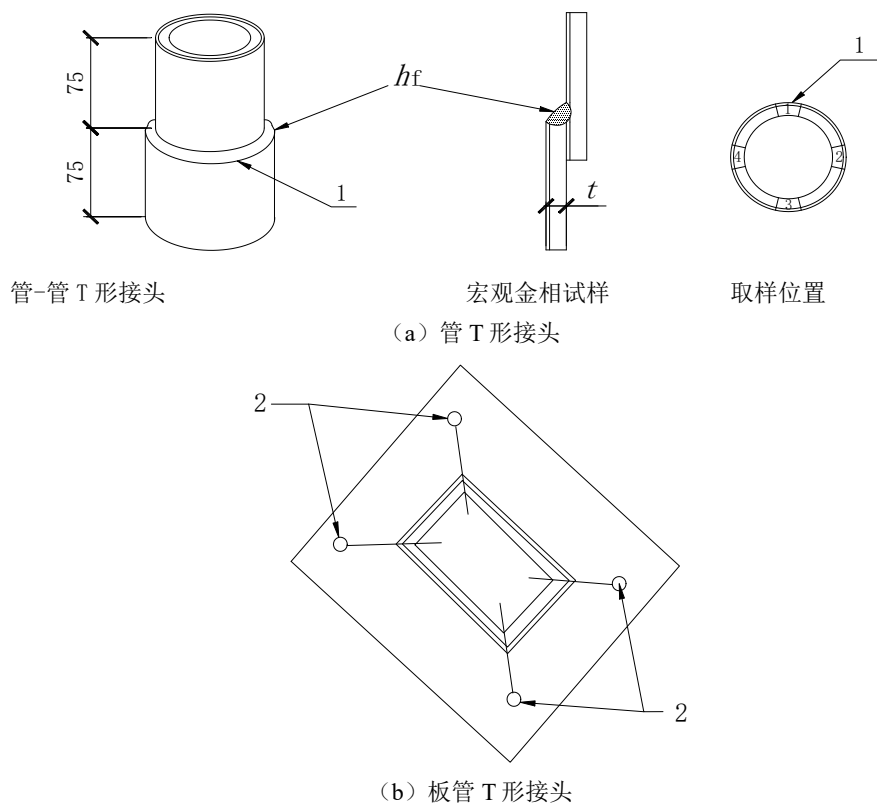


图 5.5.3-3 管 T 形和板管 T 形接头焊接工艺评定试件及宏观金相试样取样位置
1—起止焊处；2—宏观金相试样位置

5.5.4 十字接头焊接工艺评定所需要的检测试样的类型和数量应符合表 5.4.3 的规定，试样的尺寸和取样位置应满足检测试样的制样要求（图 5.5.4）。

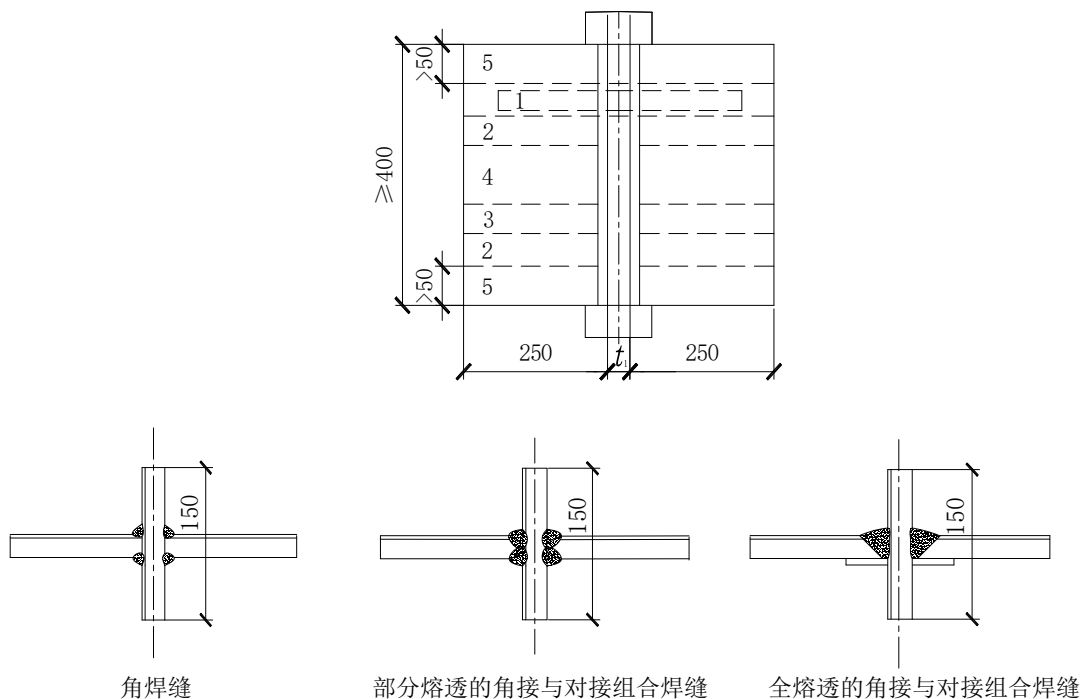


图 5.5.4 十字接头焊接工艺评定试件及试样取样位置

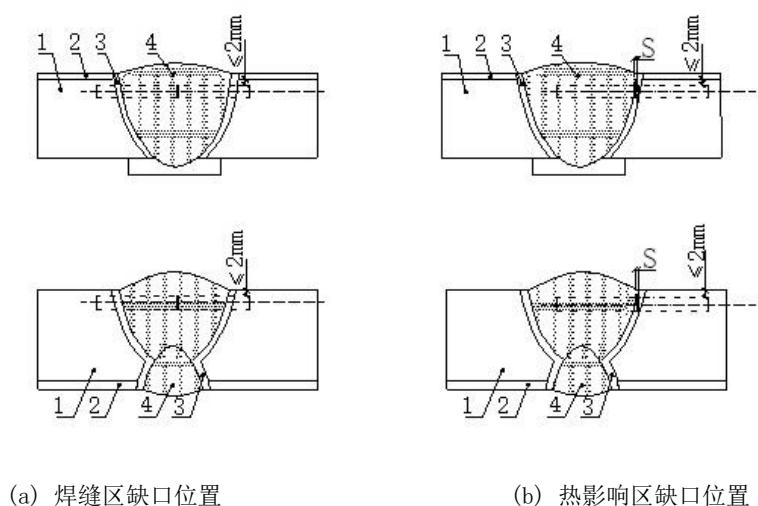
1—宏观金相试样；2—拉伸试样；3—冲击试样；4—焊缝金属拉伸；5—舍弃

5.6 焊接工艺评定试件检测试样的制样要求

5.6.1 对接接头焊接工艺评定试件检测试样的加工应以下要求：

1 对接接头拉伸试样的加工应符合现行国家标准《焊接接头拉伸试验方法》GB/T 2651 的有关规定。当复层不包括在强度计算内时，可采用全基层材料试样。当复层包括在强度计算内时，应采用全厚度试样。对接接头焊缝金属拉伸试样应取在基层焊缝中，其加工应符合现行国家标准《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652 的有关规定。

2 对接接头冲击试样应在基层材料一侧取样。冲击试样的加工应符合现行国家标准《金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验》GB/T 2650 的有关规定，其取样位置与基层材料表面的距离应不大于 2mm（图 5.6.1-1），单面焊时取样位置应位于焊缝正面，双面焊时取样位置应位于焊面较宽侧。不同焊接方法组合的焊接接头，冲击试样宜分层取样以覆盖所有焊接方法焊接的部位。冲击试样纵轴线应垂直于焊缝轴线，缺口轴线应垂直于基层材料表面。焊缝区冲击试样不应带有过渡层，其缺口轴线应位于焊缝中心线上，热影响区冲击试样的缺口轴线至试样纵轴线与熔合线交点的距离应为 0.5mm~1.0mm，且缺口应尽可能多通过热影响区。



1-复合板基层；2-复合板复层；3-热影响区；4-焊缝

图 5.6.1-1 对接接头焊接工艺评定试件冲击试样的缺口位置

S—缺口轴线至试样轴线与熔合线交点的距离

3 对接接头横向弯曲试样的加工应符合现行国家标准《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653 的有关规定。面弯、背弯试样厚度 δ 应为试件厚度 t 。侧弯试样厚度 δ 应为 10mm，试件厚度 t 不大于 40mm 时，试样宽度应为试件厚度 t ；当试件厚度 t 大于 40mm 时，可分层取样，试样总厚度应覆盖试件厚度，当使用两个弯曲试样组合时，每个弯曲试样的宽度不应小于 $t/2$ ；当使用三个或三个以上弯曲试样组合时，每个弯曲试样的宽度不应小于 40mm。若采用双面焊接，应使焊缝根部位于某弯曲试样的中心。焊缝余高应采用机械方法去除至与母材齐平，试样受拉面应保留母材原轧制表面。基层为异种材料的不锈钢复合板对接接头，可用纵向弯曲试验代替横向弯曲试验，纵向弯曲的试样应按照图 5.5.1-2 和现行国家标准《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653 的有关规定制作。

4 每块宏观金相试样应取一个面进行检测，不应将同一切开的两个侧面作为两个检测面（图 5.6.1-2）。

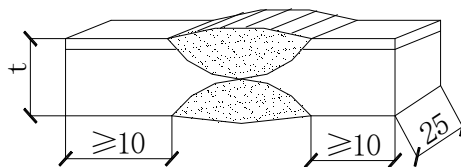


图 5.6.1-2 对接接头焊接工艺评定试件的宏观金相试样

5.6.2 T 形接头焊接工艺评定试件检测试样的加工应以下要求：

1 T 形接头焊接工艺评定试件的焊缝金属拉伸试样应取自接头基层材料的焊缝上，其加工应符合现行国家标准《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652 的有关规定。

2 全熔透角接与对接组合的 T 形接头焊接工艺评定试件的冲击试样应在基层材料一侧取样。冲击试样的加工应符合现行国家标准《金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验》GB/T 2650 的有关规定，其取样位置与基层材料表面的距离应不大于 2mm（图 5.6.2-1）。冲击试样纵轴线应垂直于焊缝轴线，缺口轴线应垂直于基层材料表面。热影响区冲击试样的缺口轴线至试样纵轴线与熔合线交点的距离应为 0.5mm~1.0mm，且缺口应尽可能多通过热影响区；焊缝区冲击试样不应带有过渡层。

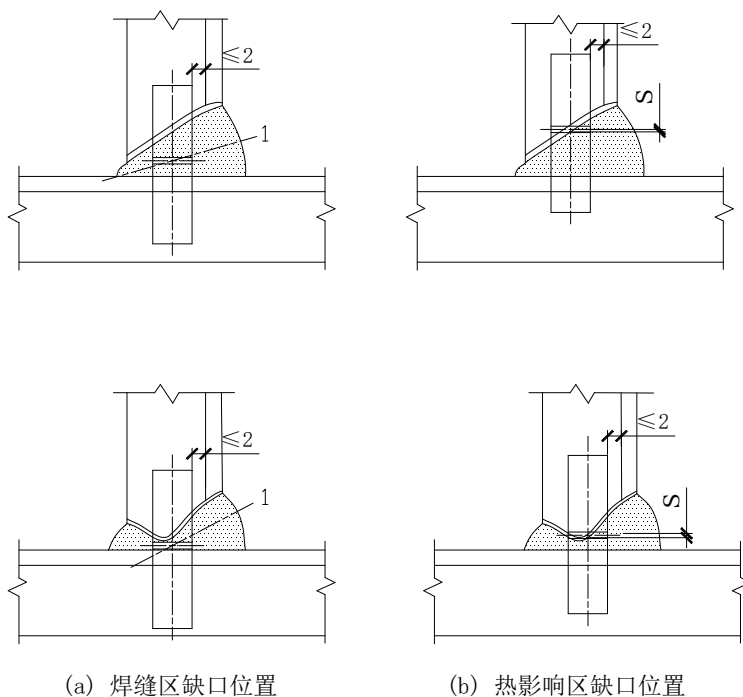


图 5.6.2-1 全熔透角接与对接组合的 T 形接头焊接工艺评定试件的冲击试样缺口加工位置
1—焊缝中心线；S—缺口轴线至试样轴线与熔合线交点的距离

3 T 形接头焊接工艺评定试件的宏观金相试样检验面的选取应符合本标准第 5.6.1 条第 4 款的要求，并应在焊缝的一侧或两侧留不小于 10mm 的母材（图 5.6.2-2）。

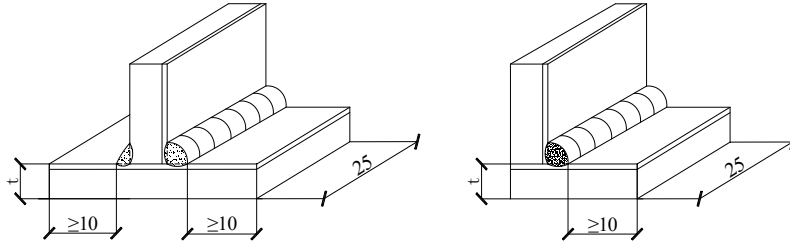


图 5.6.2-2 T 形接头焊接工艺评定试件的宏观金相试样

5.6.3 十字接头焊接工艺评定试件检测试样的加工应以下要求：

1 板十字接头焊接工艺评定试件的拉伸试样加工应符合现行国家标准《钢结构十字接头试验方法》GB/T 37789 的有关规定（图 5.6.3-1）。管十字接头全截面拉伸试样的加工应符合现行国家标准《焊接接头拉伸试验方法》GB/T 2651 的有关规定。焊缝金属拉伸试样应取在基层焊缝中，其加工应符合现行国家标准《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652 的有关规定。

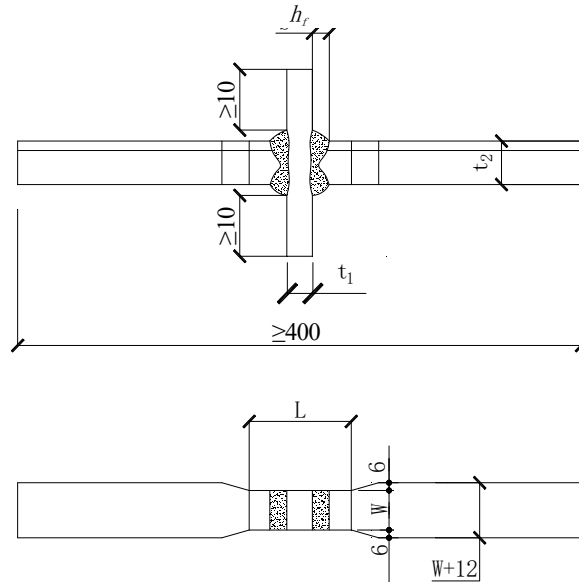


图 5.6.3-1 板十字接头焊接工艺评定试件的拉伸试样

t_2 —十字接头翼板厚度； h_f —焊脚尺寸； $t_2 < 36\text{mm}$ 时 $W = 35\text{mm}$ ， $t_2 \geq 36$ 时 $W = 25\text{mm}$ ；平行区长度 $L \geq t_1 + 2h_f + 12\text{mm}$

2 板十字接头焊接工艺评定试件的冲击试样应在基层材料侧取样。当十字接头翼板厚度不大于 25mm 时，冲击试样应在翼板板厚中心处取样；当翼板板厚大于 25mm 时，冲击试样应在距基层表面或基层与复层界面不大于 2mm 处取样（图 5.6.3-2）。试样加工应符合现行国家标准《金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验》GB/T 2650 的有关规定，冲击试样的缺口应垂直于翼板轧制面，焊缝区冲击试样缺口开在焊缝中心，热影响区冲击试样缺口轴线至试样轴线与熔合线的交点距离为 0.5mm~1mm。

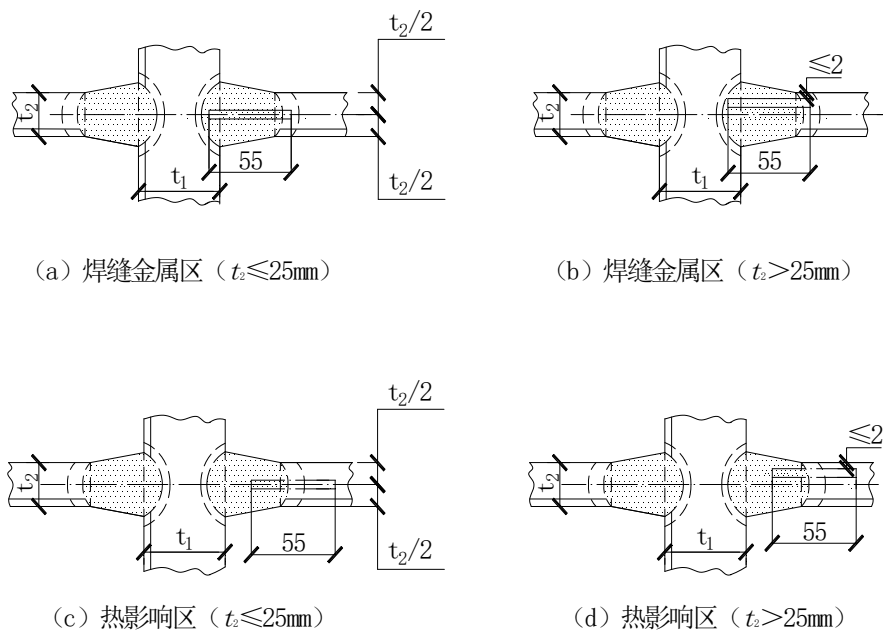


图 5.6.3-2 十字形接头焊接工艺评定试件的冲击试样
 t_1 -腹板板厚; t_2 -翼板板厚

3 十字接头宏观金相检验面的选取应符合本标准第 5.6.1 条第 4 款的要求 (图 5.6.3-3)。

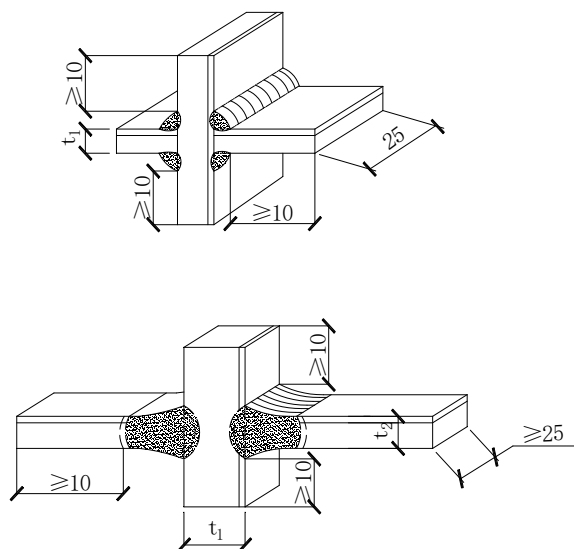


图 5.6.3-3 十字形接头焊接工艺评定试件的宏观金相试样

5.7 焊接工艺评定合格标准

5.7.1 焊接工艺评定试件的外观检测应符合下列规定：

- 1 用不小于 5 倍的放大镜检查试件表面，不应有裂纹、未焊满、未熔合、气孔、夹渣、弧坑、焊瘤等缺陷；
- 2 复层侧焊缝不应有咬边；基层侧焊缝的咬边深度应不大于基层厚度的 5%，且不大于 0.3mm，咬边的连续长度应不大于 100mm，且焊缝两侧的咬边总长度应不大于焊缝总长度的 10%；
- 3 焊缝的外观尺寸应符合本规程表 7.2.4 的规定。

5.7.2 焊接工艺评定试件的无损检测应符合下列规定：

- 1 试件的无损检测应在外观检验合格后进行，无损检测方法应根据设计要求确定；
- 2 射线检测应符合现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测 第 1 部分 X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1 中 B 级检测技术的有关规定；射线底片的质量评级应符合本标准附录 B 的规定，焊缝内部质量等级不应低于 II 级；
- 3 超声检测应符合本规程第 7 章的相关规定，焊缝质量应不低于一级焊缝的质量要求。

5.7.3 拉伸试验应符合下列规定：

- 1 接头拉伸试验和焊缝金属拉伸应按现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分 室温拉伸方法》GB/T 228.1 的规定进行；
- 2 焊缝金属拉伸试样的抗拉强度和延伸率应不小于基层材料标准规定的下限值；当设计文件允许焊接接头采用低强匹配时，拉伸试样的抗拉强度应不小于焊接材料熔敷金属标准规定抗拉强度的下限值；
- 3 当复层包括在强度计算内时，每个接头拉伸试样的抗拉强度应不小于所连接不锈钢复合板抗拉强度下限值的较低者，不锈钢复合板抗拉强度的下限值 R_m 应按下式计算：

$$R_m = \frac{R_{m1}t_1 + R_{m2}t_2}{t_1 + t_2}$$

式中：

R_m ——不锈钢复合板抗拉强度的下限值，单位为 MPa；

R_{m1} ——标准规定基层材料抗拉强度的下限值，单位为 MPa；

R_{m2} ——标准规定复层材料抗拉强度的下限值，单位为 MPa；

t_1 ——基层材料厚度，单位为 mm；

t_2 ——复层材料厚度，单位为 mm。

4 当复层不包括在强度计算内时，接头拉伸试样的合格标准应符合下列规定：

- 1) 当基层材料为相同牌号时，每个接头拉伸试样的抗拉强度应不小于该基层材料标准中规定的下限值；
- 2) 当基层材料为不同牌号时，每个接头拉伸试样的抗拉强度应不小于两种基层材料标准中规定下限值的较低者；
- 3) 当设计文件允许焊接接头采用低强匹配时，每个接头拉伸试样的抗拉强度应不小于焊接材料熔敷金属标准规定抗拉强度的下限值。

5.7.4 冲击试验应符合下列规定：

- 1 冲击试验应按现行国家标准《金属夏比缺口冲击试验方法》GB/T 229 的规定进行，试验温度应不高于基层材料标准规定的冲击实验温度；

2 焊缝及热影响区各三个试样的冲击功平均值应不低于的基层材料标准规定值或设计要求的最低值，并允许一个试样低于以上规定值，但不应低于规定值的 70%。

5.7.5 弯曲试验应符合下列规定：

1 对接接头的弯曲试验应按现行国家标准《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653 的规定进行。弯心直径应为弯曲试样厚度的 4 倍，弯曲角度应为 180°。

2 对接接头弯曲试件弯至 180° 后，弯曲试件应符合以下规定：

1) 试样受拉面上复层焊层和过渡层焊层任何方向上单个缺欠的长度应不大于 1.5mm，其他位置单个缺欠的长度应不大于 3mm；

2) 各试样上任何方向不大于 3mm 的裂纹及其他缺欠的总长度应不大于 7mm；

3) 四个试样各种缺欠的总长度应不大于 24mm。

5.7.6 宏观金相试验应符合下列规定：

1 宏观金相试验按现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226 的有关规定进行；

2 评定合格的宏观金相试样应符合以下要求：

1) 焊缝和热影响区应无肉眼可见的裂纹、未熔合、未焊满等缺陷；

2) 角焊缝应熔合至接头根部；

3) 焊脚尺寸、两侧焊脚尺寸差、焊缝余高、咬边深度等应符合设计要求或本规程表 7.2.4 条的规定；

4) 单道焊缝的成形系数不宜小于 1.1。

5.7.7 硬度试验应符合下列规定：

1 硬度试样应按照现行国家标准《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法》GB/T 4340.1 的有关规定制样；

2 焊接接头中基层焊层的硬度试验应按现行国家标准《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 中标线测定的有关规定进行，宜采用维氏硬度 HV10。基层焊层各区域的硬度应测 3 点（图 5.7.7-1～图 5.7.7-2），其中部分熔透角接与对接组合焊缝在焊缝区和热影响区测点可为 2 点，若热影响区狭窄不能并排分布时，该区域测点可平行于熔合线排列；

3 当设计文件对复层焊缝或过渡层焊缝的硬度有要求时，复层焊缝、过渡层焊缝宜分别测 3 点。

4 基层焊缝及热影响区的硬度应符合以下规定：

1) 基层材料的名义屈服强度不大于 295MPa 时，焊缝及热影响区的硬度应不大于 HV280；

2) 基层材料的名义屈服强度大于 295MPa 且不大于 370MPa 时，焊缝及热影响区的硬度应不大于 HV350；

3) 基层材料的名义屈服强度大于 370MPa 时，焊缝及热影响区的硬度应根据设计文件要求进行评定，当设计文件无明确要求时，焊缝及热影响区的硬度应不大于 HV380。

5 复层焊缝及过渡层焊缝的硬度应符合设计文件的要求。

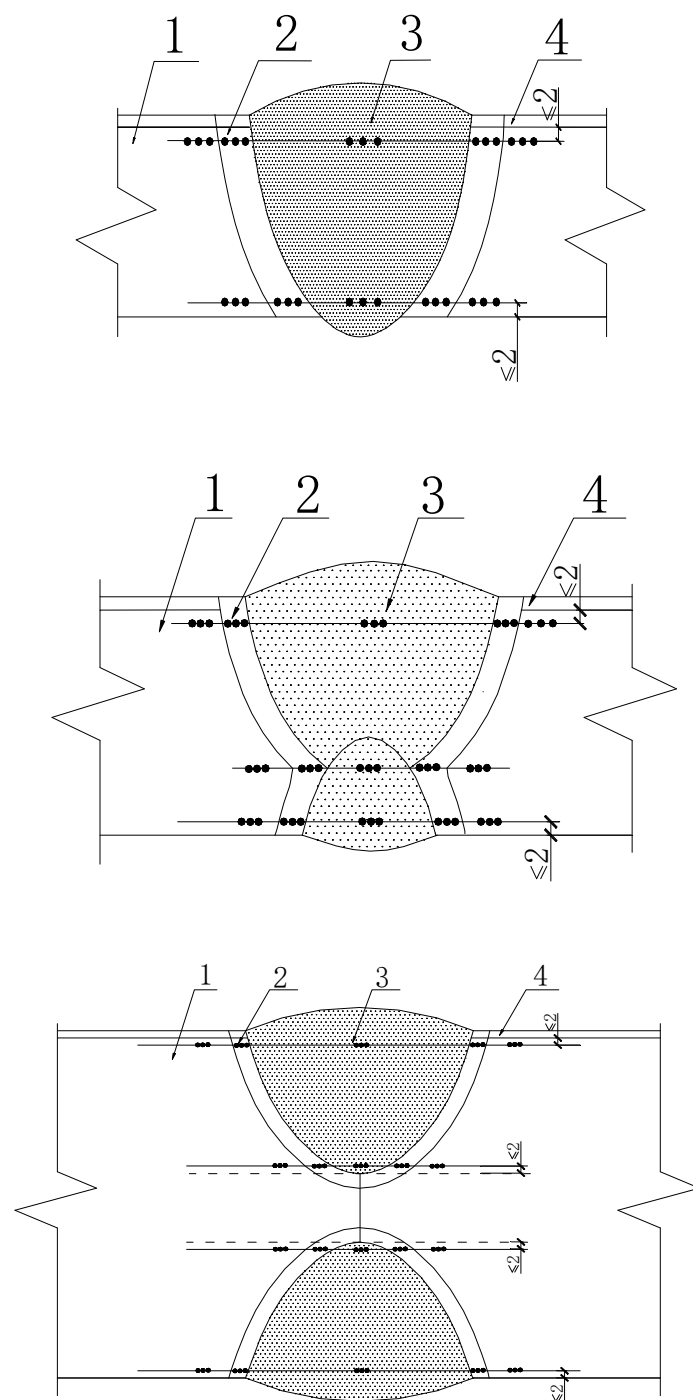


图 5.7.7-1 对接接头焊接工艺评定试件硬度试样的检测点
1-基层材料；2-基层热影响区；3-基层焊缝；4-复层材料

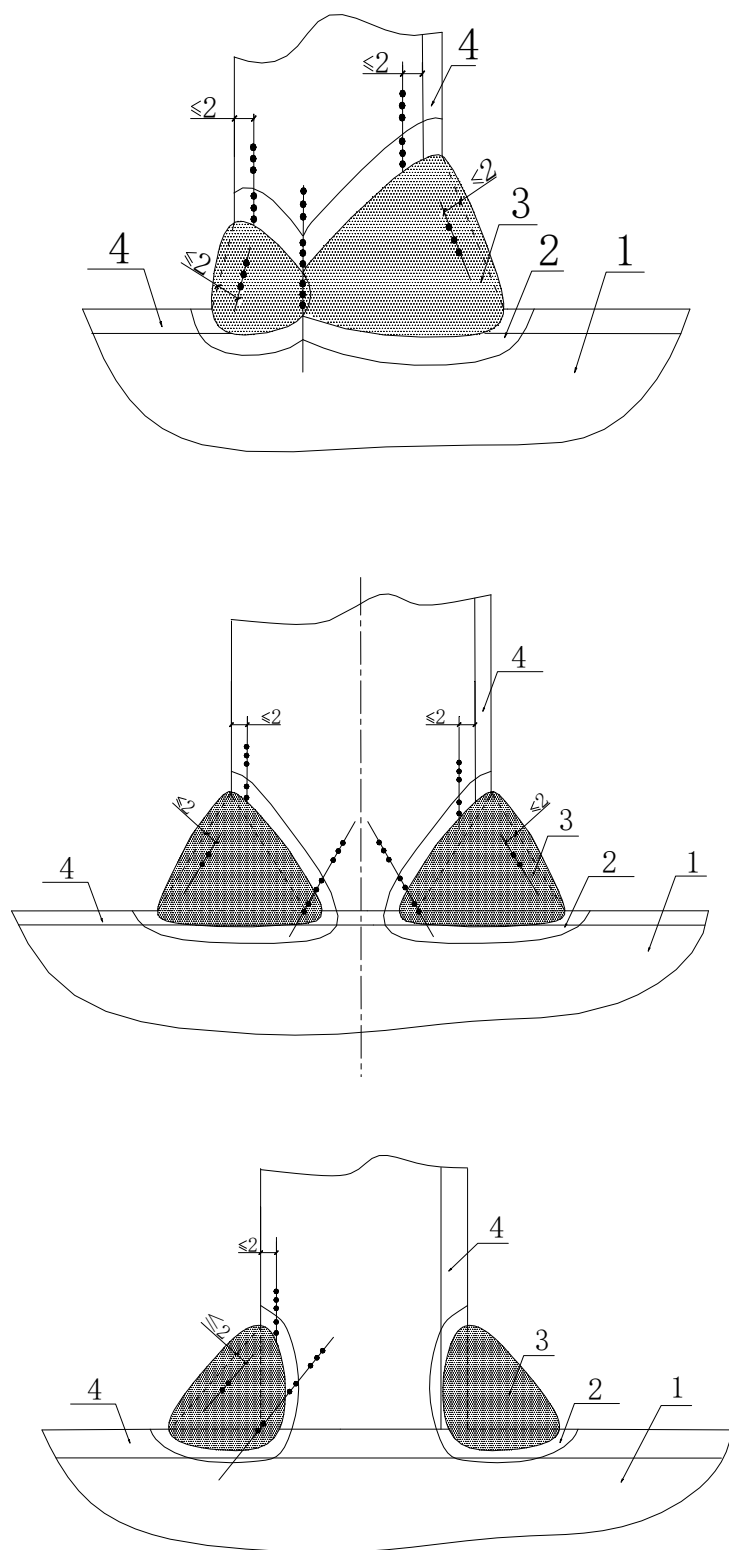


图 5.7.7-2 T 形接头和十字接头焊接工艺评定试件硬度试样的检测点
1-基层材料；2-基层热影响区；3-基层焊缝；4-复层材料

5.7.8 当设计文件对复层焊缝耐腐蚀性、化学成分或铁素体含量以及基层焊缝功能性指标等有要求时，应在工艺评定中增加相关试验，合格标准应依据符合设计文件的要求。

1 复层焊缝耐腐蚀性能的测试应依据符合设计文件的要求。如设计文件中未注明，可按照现行国家标准《金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334 中的方法 E 进行。

2 复层焊缝化学成分可采用任何适宜的分析方法。

3 复层焊缝的铁素体含量测量可按现行国家标准《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》GB/T 1954 的规定进行。

4 基层焊缝的耐大气腐蚀性能评估可按现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 附录 C 的规定进行。

6 焊接工艺

6.1 母材准备

6.1.1 不锈钢复合板上待焊接的表面及其两侧应均匀光滑，无毛刺、裂纹和其他对焊缝质量有不利影响的缺欠，待焊接的表面及距坡口边缘位置 30mm 范围内不应有影响正常焊接和焊缝质量的氧化皮、锈蚀、油脂、水等杂质。复层表面可涂防飞溅涂料。

6.1.2 焊接坡口的加工和缺陷的清除宜采用机械方法。当不锈钢复合板厚度较大时也可采用等离子切割，切割熔渣不应落在复层上，切割后应用机械方法去除影响焊接质量的表面层。

6.1.3 采用热切割方法加工的坡口表面质量应符合现行行业标准《热切割 质量几何技术规范》JB/T 10045 的有关规定。不锈钢复合板的厚度不大于 100mm 时，割纹深度不应大于 0.2mm；厚度大于 100mm 时，割纹深度不应大于 0.3mm。

6.1.4 割纹以及坡口表面上影响正常焊接的缺口和凹槽，应采用机械加工或打磨清除，经打磨或机械加工的表面应以不超过 1/4 的坡度向周围表面过渡。

6.1.5 坡口表面切割缺陷需要进行焊接修补时，应按照本规程 6.12 节的要求制订焊接修补工艺，并应记录存档。

6.1.6 基材轧制缺欠的检测应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，焊接修补应符合本规程 6.12 节的规定，并应记录存档。

6.1.7 复合界面未结合区的检测和修补应符合下列规定：

1 距焊接坡口边缘不小于 50mm 或 1/2 板厚的范围内，复合界面不应存在未结合区。未结合区的确定按照现行国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165 附录 A 的方法进行。

2 未结合区的修复应符合本规程 6.12 节的规定。

6.2 焊接材料要求

6.2.1 焊接材料贮存场所应干燥、通风良好，温度宜在 5℃~50℃范围，相对湿度不应大于 60%；焊接材料应由专人保管、烘干、发放和回收，并应有详细记录。

6.2.2 焊条的保存、烘干应符合下列规定：

- 1 焊条应采取有效的防潮措施；
- 2 焊条使用前应按制造厂家提供的使用说明书进行烘干，累计烘干次数不宜超过 2 次；
- 3 烘干后的焊条应放入温度在 120℃~150℃的烘箱中储存，使用时应置于保温筒中，随用随取。

6.2.3 焊剂的烘干应符合下列规定：

- 1 埋弧焊焊剂应干燥且未受油、氧化皮或其他外来物的污染；
- 2 焊剂使用前应按制造厂家要求的温度进行烘干，烘干后的焊剂宜立即使用，在大气中放置时间不应超过 4 小时；
- 3 已经受潮或结块的焊剂不应使用。

6.2.4 熔化极、非熔化极气体保护焊用焊丝表面应无油污、锈蚀。

6.2.5 常用不锈钢复合板的焊接材料可按表 6.2.5-1~表 6.2.5-2 选用。

表 6.2.5-1 常用不锈钢复合板基层焊接材料推荐表

基层材料				焊接材料			
GB/T 700 和 GB/T 1591 标准钢材	GB/T 19879 标准钢材	GB/T 714 标准钢材	GB/T 4171 标准钢材	焊条电弧焊 SMAW	实心焊丝气体保 护焊 GMAW	药芯焊丝气体保护焊 FCAW	埋弧焊 SAW
Q235 Q275	Q235GJ	—	Q235NH Q265GNH Q295NH Q295GNH	GB/T 5117 E43XX	GB/T 8110 G43AXXX GB/T 39280 W43AXXX	GB/T 10045 T43XX-XXX-X	GB/T 5293 S43XX-X
Q355 Q390	Q345GJ Q390GJ	Q345q Q370q Q345qNH Q370qNH	Q310GNH Q355NH Q355GNH	GB/T 5117 E50XX GB/T5118 E50XX、E52XX	GB/T 8110 G49AXXX GB/T 39280 W49AXXX	GB/T 10045 T49XX-XXX-X GB/T 17493 T49X-XX-XX	GB/T 5293 S49XX-X GB/T 12470 S49XX-X
Q420 Q460	Q420GJ Q460GJ	Q420q Q420qNH Q460q Q460qNH	Q415NH Q460NH	GB/T 5117 E55XX GB/T 5118 E55XX	GB/T 8110 G55AXXX GB/T 39280 W55AXXX	GB/T 10045 T55XX-XXX-X GB/T 17493 T55X-XX-XX	GB/T 5293 S55XX-X GB/T 12470 S55XX-X
Q500 Q550	Q500GJ Q550GJ	Q500q Q500qNH Q550qNH	Q500NH Q550NH	GB/T 5117 E57XX GB/T 5118 E62XX GB/T 32533 E59XX、E62XX	GB/T 8110 G57AXXX GB/T 39280 W57AXXX	GB/T 10045 T57XX-XXX-X GB/T 17493 T62X-XX-XX GB/T 36233 T59X-XX-XX T62X-XX-XX	GB/T 5293 S57XX-X GB/T 12470 S62XX-X GB/T 36034 S59XX-X S62XX-X
Q620	Q620GJ	/	/	GB/T 5118 E62XX GB/T 32533 E62XX E69XX	/	GB/T 17493 T62X-XX-XX T69X-XX-XX GB/T 36233 T69X-XX-XX	GB/T 12470 S62XX-X S69XX-X GB/T 36034 S62XX-X S69XX-X
Q690	Q690GJ	/	/	GB/T 32533 E69XX E76XX	/	GB/T 17493 T69X-XX-XX GB/T 36233 T69X-XX-XX T76X-XX-XX	GB/T 12470 S69XX-X GB/T 36034 S69XX-X S76XX-X

注：1 基层材料有冲击要求时，熔敷金属的冲击功不应低于母材规定或设计要求；
2 不锈钢复合板厚度不小于 25mm 时，宜采用低氢型焊接材料；
3 耐候钢的焊接材料除力学性能外，还应满足与母材相匹配的耐候要求。

表 6.2.5-2 常用不锈钢复合板复层及过渡层焊接材料推荐表

复层材料	过渡层焊接材料			复层焊接材料			
	焊条电弧焊 GB/T 983	实心焊丝气体保 护焊 GB/T 29713	药芯焊丝气体保护焊 GB/T 17853	焊条电弧焊 GB/T 983	实心焊丝气体保护 焊 GB/T 29713	药芯焊丝气体保护焊 GB/T 17853	埋弧焊 GB/T 17854
06Cr19Ni10	E309-XX E309L-XX	309 309L	TS309-XX TS309L-XX	E308-XX E308L-XX	308 308L	TS308-XX TS308L-XX	SF308 SF308L
022Cr19Ni10	E309L-XX	309L	TS309L-XX	E308L-XX	308L	TS308L-XX	SF308L
06Cr17Ni12Mo2	E309Mo-XX E309LMo-XX	309Mo 309LMo	TS309Mo-XX TS309LMo-XX	E316-XX E316L-XX	316 316L	TS316-XX TS316L-XX	SF316 SF316L
022Cr17Ni12Mo2	E309LMo-XX	309LMo	TS309LMo-XX	E316L-XX	316L	TS316L-XX	SF316L
06Cr17Ni12Mo3	E309Mo-XX E309LMo-XX	309Mo 309LMo	TS309Mo-XX TS309LMo-XX	E317-XX E317L-XX	317 317L	TS317-XX TS317L-XX	SF317 SF317L
022Cr17Ni12Mo3	E309LMo-XX	309LMo	TS309LMo-XX	E317L-XX	317L	TS317L-XX	SF317L
06Cr18Ni11Ti	E309-XX E309L-XX	309 309L	TS309-XX TS309L-XX	E347-XX E347L-XX	347 347L	TS347-XX TS347L-XX	SF347 SF347L
06Cr25Ni20	E310-XX	310	TS310-XX	E310-XX	310	TS310-XX	SF310
022Cr23Ni5Mo3N	E2209-XX	2209	TS2209-XX	E2209-XX	2209	TS2209-XX	SF2209
022Cr25Ni7Mo4N	E2594-XX	2594	TS2594-XX	E2594-XX	2594	TS2594-XX	SF2594

022Cr19Ni5Mo3Si2N	E2209-XX	2209	TS2209-XX	E2209-XX	2209	TS2209-XX	SF2209
06Cr13	E430-XX	430	TS430-XX	E410-XX	410	TS410-XX	SF410
	E309-XX	309	TS309-XX	E308-XX	308	TS308-XX	SF308
	E310-XX	310	TS310-XX	E309-XX	309	TS309-XX	SF309
06Cr13Al	E430-XX	430	TS430-XX	E430-XX	430	TS430-XX	SF430
	E309-XX	309	TS309-XX	E308-XX	308	TS308-XX	SF308
	E310-XX	310	TS310-XX	E309-XX	309	TS309-XX	SF309
1Cr13	E430-XX	430	TS430-XX	E410-XX	410	TS410-XX	SF410
	E309-XX	309	TS309-XX	E308-XX	308	TS308-XX	SF308
	E310-XX	310	TS310-XX	E309-XX	309	TS309-XX	SF309

6.3 焊接接头的装配要求

6.3.1 焊接坡口尺寸宜符合本规程附录 A 的规定。组装后焊接接头尺寸允许偏差应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 组装后焊接接头尺寸允许偏差值

序号	项 目	偏差值
1	接头钝边	-1mm~+1mm
2	无衬垫接头根部间隙	-1mm~+1mm
3	带衬垫接头根部间隙	-2mm~+6mm
4	坡口角度	-5°~+5°
5	U 形和 J 形坡口根部半径	0mm~+3mm
6	U 形和 J 形坡口倾角	-2°~+2°

6.3.2 当坡口根部间隙超过本规程表 6.3.1 的要求，但不大于较薄板厚度的 2 倍或 12mm 两值中较小值时，可按照正式焊接工艺在坡口单侧或两侧堆焊。

6.3.3 当坡口根部间隙大于本规程第 6.3.2 条规定的上限值时，可采用坡口单侧或两侧堆焊并修磨的方法达到本标准要求的坡口尺寸，但应重新进行焊接工艺评定，并经设计、业主或监理工程师的认可后方可执行，但其数量不应超过同批次中同类焊缝数量的 20%。

6.3.4 本规程 6.3.2 和 6.3.3 的焊接接头应增加焊缝两侧坡口堆焊区域的无损检测，合格标准应与正式焊缝要求相同。

6.3.5 对接接头的组对应以复层为基准，错边量不应大于较薄复层厚度的 50%，且不大于 2mm。当不等厚部件对接接头的错边量超过上述值时，较厚部件应按不大于 1:2.5 坡度平缓过渡。

6.3.6 采用角焊缝及部分熔透焊缝连接的 T 形接头，母材宜贴紧对齐，并符合下列规定：

1 根部间隙不应大于 1mm；

2 根部间隙大于 1mm 且不小于 5mm 时，焊脚尺寸应根据根部间隙值予以增加；

3 根部间隙超过 5mm 时，应在待焊板端表面堆焊并修磨平整使其间隙符合要求，并增加堆焊区域的无损检测。在设计允许时，可将角焊缝改为角接与对接组合焊缝，或将部分熔透焊缝连接的 T 形接头改为全熔透焊缝连接的 T 形接头。

6.3.6 搭接接头接触面之间的间隙不应超过 0.5mm。

6.4 定位焊与临时焊缝

6.4.1 定位焊缝应由持相应资格证书的焊工按照与正式焊缝相同的焊接工艺规程施焊，所用焊接材料应与正式焊缝的焊接材料相同。

6.4.2 定位焊缝宜焊在基层材料上，并与正式焊缝的质量要求相同。

6.4.3 不熔入正式焊缝或与正式焊缝熔合不良的定位焊缝应清除。

6.4.4 定位焊缝距焊缝端部应不小于 30mm，且应距焊缝交叉处或焊缝转角处应不小于 50mm。

6.4.5 定位焊缝长度应不小于 50mm，间距宜为 500mm~600mm。

6.4.6 不锈钢复合板的板厚不大于 20mm 时，定位焊缝厚度应不小于复层厚度的 70%，且不小于 6mm；当不锈钢复合板的板厚大于 20mm 时，定位焊缝厚度应不小于 8mm。定位焊缝的焊脚尺寸不

应大于设计焊脚尺寸的 1/2，且不小于 4mm。

6.4.7 临时焊缝应由持相应资格证书的焊工按照与正式焊缝相同的焊接工艺规程施焊。临时焊缝应焊在基层材料上，质量要求与正式焊缝相同。

6.4.8 临时焊缝应清除，清除临时焊缝时应不伤及母材，并应将临时焊缝区域修磨平，并应采用目视检测或其他无损检测方法检测，临时焊缝区域不应存在缺口、凹槽、裂纹等缺陷。

6.5 焊 接 环 境

6.5.1 焊接作业区最大风速不宜超过 2m/s，如果超出上述要求，应采取有效措施以保障焊接电弧区域不受影响。

6.5.2 当焊接作业处于下列情况之一时不应焊接：

- 1 焊件表面潮湿或暴露于雨、冰、雪中；
- 2 焊接作业区的相对湿度大于 80%；
- 3 焊接作业条件不符合现行国家标准《焊接与切割安全》GB 9448 的有关规定。

6.5.3 焊接环境温度应符合以下要求：

- 1 焊接环境温度不宜低于 5℃；
- 2 当焊接环境温度低于 5℃ 但不低于 -10℃ 时，应采取加热及防护措施，焊接接头各方向大于等于 2 倍板厚且大于等于 100mm 范围内的母材温度，不应低于 20℃ 和规定的最低预热温度二者较高值，且在焊接过程中不应低于这一温度。

3 当焊接环境温度低于 -10℃ 时，应进行相应焊接环境下的焊接工艺试验，评定合格后经过设计或监理认可后方可再进行焊接。

6.6 衬 垫

6.6.1 衬垫宜在基层材料侧使用。衬垫材质可采用金属、焊剂、玻璃纤维、陶瓷等。

6.6.2 钢衬垫的材质应与衬垫侧不锈钢复合板的材质相同。

6.6.3 钢衬垫应与接头母材贴合良好，间隙不应大于 0.5mm，且应在整个焊缝长度内保持连续。

6.6.4 用于焊条电弧焊、气体保护焊方法的钢衬垫厚度不应小于 4mm；用于埋弧焊焊接方法的钢衬垫厚度不应小于 6mm。

6.6.5 应保证钢衬垫与焊缝金属熔合良好。

6.6.6 焊接后应清除非钢衬垫，并进行目视检测或用其他无损检测方法检测。

6.7 引弧板和引出板

6.7.1 不应在焊缝区域外的母材上引弧和熄弧，宜在焊接接头的端部设置焊缝引弧板和引出板。

6.7.2 引弧板、引出板的材质、板厚和坡口应与不锈钢复合板母材相同。

6.7.3 焊条电弧焊、气体保护电弧焊的引弧板、引出板的长度应大于 30mm，埋弧焊的引弧板、引出板长度应大于 80mm。

6.7.4 引弧板和引出板宜采用热切割或机械加工方法去除，去除时不得伤及母材并将割口处修磨至与焊缝端部平齐。

6.7.5 不应使用锤击去除引弧板和引出板。

6.8 预热和道间温度控制

6.8.1 不锈钢复合板焊接的预热温度应通过焊接工艺评定试验确定，并应考虑不锈钢复合板基

层和复层的化学成分、焊接接头的拘束状态、热输入大小、熔敷金属含氢量水平及所采用的焊接方法等因素。

6.8.2 不锈钢复合板基层的预热温度宜通过焊接工艺评定试验确定，基层材料最低预热温度应符合表 6.8.2 的要求。

表 6.8.2 常用不锈钢复合板基层材料最低预热温度要求 (°C)

基层材料屈服强度	不锈钢复合板厚度 t (mm)				
	$t \leq 20$	$20 < t \leq 40$	$40 < t \leq 60$	$60 < t \leq 80$	$t > 80$
$\leq 300\text{MPa}$	—	—	40	50	80
$> 300\text{MPa}$ 且 $\leq 370\text{MPa}$	—	20	60	80	100
$> 370\text{MPa}$ 且 $\leq 420\text{MPa}$	20	60	80	100	120
$> 420\text{MPa}$	根据焊接工艺评定试验确定最低预热温度				

注： 1 本表采用的焊接热输入为 $15\text{kJ/cm} \sim 25\text{kJ/cm}$ ，当热输入超出此范围时，可通过焊接工艺评定试验确定最低预热温度；
 2 当采用非低氢焊接材料或焊接方法焊接时，预热温度应比表中规定的温度提高 20°C ；
 3 “—”表示焊接环境在 5°C 以上时，可不采取预热措施；
 4 当施焊处环境温度低于 5°C 时，应根据焊接作业环境、钢材牌号及板厚的具体情况适当增加预热温度，且在整个焊接过程中道间温度不应低于这一温度。

6.8.3 复层为奥氏体不锈钢或双相不锈钢，焊接时可不预热；复层为铁素体不锈钢或马氏体不锈钢，且采用与复层组织相同的焊接材料焊接时，预热温度不宜低于 150°C 。

6.8.4 当基层或复层焊接需要预热时，过渡层焊接应进行预热；当基层和复层均需要预热时，过渡层焊接的预热温度应选用预热温度较高者。

6.8.5 基层焊接时道间温度不宜高于 200°C ，奥氏体不锈钢复层焊接的道间温度不宜高于 150°C ，双相不锈钢复层焊接的道间温度不宜高于 100°C 。

6.8.6 预热及道间温度控制应符合下列规定：
 1 焊前预热及道间温度的保持宜采用电加热法，并应采用专用的测温仪器测量；
 2 预热的加热区域应在焊缝坡口两侧，宽度应大于焊件施焊处板厚的 1.5 倍，且不应小于 100mm ；预热温度宜在焊件受热面的背面测量，测量点应在离电弧经过前的焊接点各方向不小于 75mm 处。

6.9 焊接工艺技术要求

6.9.1 焊接施工前，施工单位可依据本规程第 5 章规定的焊接工艺评定结果制定焊接工艺文件。焊接工艺文件应至少包括下列内容：

- 1 焊接方法或焊接方法的组合；
- 2 不锈钢复合板的材质和规格；
- 3 焊接材料的规格和型号；
- 4 焊接接头形式、坡口形式、尺寸及其允许偏差；
- 5 焊接位置；
- 6 焊接电源的种类和电流极性；
- 7 清根处理；
- 8 焊接工艺参数，包括焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊层和焊道分布等；

9 预热温度及道间温度范围;

10 焊后热处理工艺;

11 其他必要的规定。

6.9.2 基层焊接宜采用焊条电弧焊、埋弧焊和气体保护焊。复层及过渡层的焊接,宜采用气体保护焊和焊条电弧焊,也可采用能保证焊接质量的其他焊接方法。

6.9.3 单面复合板焊接时宜先焊接基层,再焊过渡层,最后焊复层;当条件受限时,也可先焊复层,再焊接过渡层,最后焊基层,此时基层的焊接应选用过渡层焊接材料。双面复合板宜采用双面焊接,先焊接基层,正面和反面基层焊缝焊接完成后分别焊接过渡层和复层。

6.9.4 焊接基层时,其焊道不应触及和熔化复层。过渡层和复层的焊接应采用小热输入多层多道焊接,不宜采用摆动焊接。

6.9.5 过渡层焊缝厚度范围宜为 2.0mm~4.5mm。过渡层的焊缝金属在基层处的厚度范围宜为 1.5mm~2.5mm,在复层处的厚度范围宜为 0.5mm~2.0mm,且不宜大于复层厚度的一半。

6.9.6 多层多道焊时应连续施焊,每一焊道焊接完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物,遇有中断施焊的情况,应采取适当保温措施,再次焊接时重新预热温度应不低于初始预热温度。

6.9.7 焊条电弧焊、气体保护焊和埋弧焊的焊缝厚度或焊脚尺寸应符合表 6.9.7 的规定。焊缝长度不应小于设计长度,且不应大于设计长度的 1.25 倍或超过设计长度 150mm。

表 6.9.7 最大焊缝尺寸

焊道类型	焊接位置	焊缝类型	焊接方法		
			焊条电弧焊	气体保护焊	埋弧焊
根部焊道 最大厚度	平焊	对接焊缝	10mm	10mm	—
	横焊		8mm	8mm	
	立焊		12mm	12mm	—
	仰焊		8mm	8mm	
填充焊道 最大厚度	全部	对接焊缝	5mm	6mm	6mm
角焊缝单道 最大焊脚尺寸	平焊	角焊缝	10mm	12mm	12mm
	横焊		8mm	10mm	8mm
	立焊		12mm	12mm	—
	仰焊		8mm	8mm	

6.9.8 角焊缝焊趾处的焊缝表面与母材夹角不应小于 90°。

6.9.9 对需要去除余高的焊缝,焊缝厚度或母材厚度减少不应超过较薄母材厚度的 10%,且不应超过 1mm。

6.10 焊接变形的控制和矫正

6.10.1 不锈钢复合板焊接时,采用的焊接工艺和焊接顺序应能使最终构件的变形和收缩最小。

6.10.2 根据构件上焊缝的布置,可按下列要求采用合理的焊接顺序控制变形:

1 对接接头、T 形接头和十字接头,宜双面对称焊接;

2 非对称双面对接接头,深坡口面宜在基层材料侧,宜先在深坡口面完成部分焊缝焊接,然后完成浅坡口面焊缝焊接,最后完成深坡口面焊缝焊接。

3 厚板可增加轮流对称焊接的循环次数;

4 长焊缝宜采用分段退焊法或多人对称焊接法;

5 可采用跳焊法。

6.10.3 装配焊接时，宜先焊收缩量较大的接头，后焊收缩量较小的接头。

6.10.4 对于有较大收缩或角变形的接头，正式焊接前应采用刚性约束或预留焊接收缩量或反变形方法控制收缩和变形。

6.10.5 组合构件应采取分部组装焊接，矫正变形后再进行总装焊接。

6.10.6 焊缝分布相对于构件的中性轴明显不对称的异形截面的构件，在满足设计要求的条件下，可采用调整填充焊缝熔敷量的方法。

6.10.7 焊接变形超标的构件可采用机械方法或局部加热的方法进行矫正，但应考虑加热对不锈钢复合板性能的影响。热矫正后宜自然冷却，不应急冷。

6.11 焊 缝 清 理

6.11.1 焊接前应清除焊接坡口及邻近母材上的氧化皮、锈蚀、油脂、水等杂质和其他异物。

6.11.2 焊后应清除焊渣，并应将焊缝及邻近的母材清理干净。对构件质量有影响的焊接飞溅也应清除。清理复层焊缝时，刷子的刷毛应由不锈钢制成，打磨用砂轮片应为无铁砂轮片。

6.11.3 焊缝清根宜尽量减少对母材和根部焊缝的热影响。采用碳弧气刨清根后应用砂轮打磨刨槽表面，去除渗碳淬硬层及残留熔渣，并露出金属表面。清根后的凹槽应形成不小于 10°的 U 形坡口。

6.11.4 电弧擦伤处应打磨光滑，打磨后应采用渗透或其他无损检测方法进行检测，不应有裂纹等缺陷。

6.11.5 在满足设计要求时，可对复层焊缝进行钝化处理，但应避免对基层及基层焊缝的影响。

6.12 返 修 焊

6.12.1 不锈钢复合板母材和焊缝的超标缺陷宜采用打磨等机械方法清除，基层和基层焊缝的超标缺陷可采用碳弧气刨清除。

6.12.2 焊缝或母材的裂纹应采用无损检测方法确定裂纹的范围及深度，并清除裂纹及其两端各 50mm 长的完好焊缝或母材，修整表面或磨除气刨渗碳层后，应采用无损检测方法确定裂纹是否彻底清除，再重新进行焊补。

6.12.3 焊瘤、凸起或余高过大时，应采用打磨等机械方法清除多余焊缝金属；焊缝凹陷或弧坑、焊缝尺寸不足、咬边、未熔合、气孔或夹渣等应在缺陷完全清除后进行焊补。

6.12.4 不锈钢复合板复合界面的未结合区可进行修补，应先去除复层，再将基层表面去除 1mm~2mm，分别用过渡层焊接材料和复层焊接材料堆焊，修复后磨平，并按本规程的要求进行无损检测。

6.12.5 返修焊应按采用评定合格的焊接工艺，预热温度应比相同条件下正常焊接的预热温度提高 30℃~50℃，并宜采用低氢焊接材料和焊接方法进行焊接。焊接裂纹的返修宜在焊接技术人员制订专门的返修工艺后进行。

6.12.6 同一部位的返修焊不宜超过两次。同一部位两次返修后仍不合格时，应重新制订返修方案，并经业主或监理工程师认可后方可实施。

6.12.7 修复区应平缓均匀地过渡至周围表面，可采用打磨或其他机械方法。

6.12.8 返修焊缝应按原检测方法和质量标准进行检测验收，并应填报返修施工记录及返修前后的无损检测报告，作为工程验收及存档资料。

6.13 焊后热处理

6.13.1 选择焊后热处理应充分考虑不锈钢复合板基层和复层的材质、制造工艺及结构功能，奥氏体不锈钢复合板不宜进行焊后热处理。

6.13.2 焊后热处理应按照评定合格的焊接工艺规程进行，并应减少不锈钢复层和焊接接头中脆硬相的析出。

6.13.3 当要求进行焊后消氢热处理时，加热温度宜为 250℃~300℃，保温时间应根据不锈钢复合板的板厚按每 25mm 板厚不小于 0.5h，且总保温时间不得小于 1h 确定。达到保温时间后应缓冷至常温。

6.13.4 当设计文件或合同对焊后消除应力有要求时，宜采用电加热器局部退火和加热炉整体退火等消应热处理方法进行消除应力，并考虑热处理对不锈钢复层的影响。

6.13.5 焊后热处理的加热方法和设备应符合现行行业标准《碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法》JB/T 6046 或团体标准《钢结构焊接热处理技术规程》CECS 330 的有关规定。当采用电加热器对焊接构件进行局部消除应力热处理时，还应符合下列要求：

- 1 使用配有温度自动控制仪的加热设备，其加热、测温、控温性能应符合使用要求；
- 2 构件焊缝每侧面加热板（带）的宽度应至少为钢板厚度的 3 倍，且不应小于 200mm；
- 3 加热板（带）以外构件两侧宜用保温材料覆盖保温。

7 焊接检验

7.1 一般规定

7.1.1 焊接检验应包括焊前检验、焊中检验和焊后检验，并符合下列规定：

1 焊前检验应至少包括下列内容：

- 1) 按设计文件和相关标准的要求对工程中所用不锈钢复合板、焊接材料的规格、型号（牌号）、材质、外观及质量证明文件进行确认；
- 2) 焊工合格证及认可操作范围确认；
- 3) 焊接工艺技术文件及操作规程审查；
- 4) 坡口形式、尺寸及表面质量检查；
- 5) 组对后构件的形状、位置、错边量、角变形、间隙等检查；
- 6) 焊接环境、焊接设备等条件确认；
- 7) 定位焊缝的尺寸及质量认可；
- 8) 焊接材料的烘干、保存及领用情况检查；
- 9) 引弧板、引出板和衬垫板的装配质量检查。

2 焊中检验应至少包括下列内容：

- 1) 实际采用的焊接电流、焊接电压、焊接速度、预热温度、道间温度等焊接工艺参数与焊接工艺文件的符合性检查；
- 2) 多层多道焊焊道缺陷的处理情况确认；
- 3) 采用双面焊清根的焊缝，应在清根后进行外观检测及规定的无损检测；
- 4) 多层多道焊中焊层、焊道的布置及焊接顺序等检查；
- 5) 焊后热处理温度和时间等参数检查。

3 焊后检验应至少包括下列内容：

- 1) 焊缝的外观质量与外形尺寸检测；
- 2) 焊缝的无损检测；
- 3) 焊接工艺规程记录及检验报告审查。

7.1.2 焊接检验前应根据设计文件、施工详图及技术文件规定的焊缝质量等级要求编制检验方案。检验方案应包括检验批的划分、抽样检验的抽样方法、检验项目、检验方法、检验时机及相应的验收标准等内容。

7.1.3 焊缝检验抽样方法应符合下列规定：

1 工厂制作焊缝长度不大于 1000mm 时，每条焊缝应为 1 处；长度大于 1000mm 时，以 1000mm 为基准，每增加 300mm 焊缝数量应增加 1 处；现场安装焊缝每条焊缝应为 1 处；

2 制作焊缝以同一工区（车间）按 300~600 处的焊缝数量组成检验批；安装焊缝可以按区段组成检验批；

3 抽样检验除设计指定焊缝外应采用随机取样方式取样，且取样中应覆盖到该批焊缝中所包含的所有钢材类别、焊接位置和焊接方法。

7.1.4 抽样检验结果应按照现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 的规定进行判定。

7.1.5 需疲劳验算的不锈钢复合板结构产品试板的检验应符合下列规定：

1 应按表 7.1.5 规定的焊缝类型和接头数量确定产品试板的数量，当接头数量少于表中数量时应做一组产品试板。

表 7.1.5 产品试板的焊缝类型及数量

焊缝类型		接头数量	产品试板数量
受拉横向对接焊缝	焊缝长度 $\leq 1\text{m}$	30 条	1 组
	焊缝长度 $> 1\text{m}$	24 条	1 组
桥面板横向对接焊缝		10 条	1 组
桥面板纵向对接焊缝		30 条	1 组
全断面对接焊缝		10 个断面	平、立、仰焊缝各 1 组

2 产品试板的材质、厚度、轧制方向及坡口应与所焊对接板材相同。对不等厚板的产品试板，可利用薄板进行等厚对接试验。

3 制作产品试板时，应在焊缝端部加装试板；当焊缝端部不具备加装试板条件时可单独施焊，但应采用与构件焊接相同的工艺和设备，并应在同一地点施焊。

4 产品试板焊缝的外观应符合表 7.2.3 的规定，并按一级对接焊缝要求进行超声检测。

5 产品试板经外观和无损检测合格后进行接头拉伸、侧弯和焊缝金属低温冲击试验，试样数量和试验结果应符合焊接工艺评定的有关规定。

6 当试验结果不合格时，可在原试板上重新取样试验；如结果仍不合格，应先查明原因，并对该试板代表的焊接接头进行处理后重新检验。

7.2 焊缝外观检测

7.2.1 应在冷却至室温后对所有不锈钢复合板焊缝进行全长范围的外观检测。

7.2.2 外观检测采用目视检测方法。裂纹的检测应用 5 倍放大镜并在合适的光照条件下进行，必要时可采用磁粉检测或渗透检测。尺寸测量应用量具、卡规。

7.2.3 焊缝不应有裂纹、未熔合、夹渣、未焊满、弧坑、焊瘤，并应符合表 7.2.3 规定。

表 7.2.3 焊缝外观质量合格标准

焊缝质量等级 检验项目	一级	二级	三级
咬边	不允许	复层焊缝：不应有咬边 基层焊缝： $\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.3\text{mm}$ ，连续长度 $\leq 100\text{mm}$ ，且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	复层焊缝：不应有咬边 基层焊缝： $\leq 0.1t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，长度不限
表面气孔	不允许		直径小于 1.0mm ，每米不多于 3 个，间距不小于 20mm
电弧擦伤	不允许		允许基层材料存在少量电弧擦伤
根部收缩	不允许		$\leq 0.2\text{mm} + 0.02t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，长度不限
接头不良	不允许		缺口深度 $\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，每 1000mm 长度焊缝内不得超过 1 处

注：1 t 为母材厚度；

2 桥面板与弦杆角焊缝、桥面板与 U 形肋角焊缝（桥面板侧）、竖向加劲肋角焊缝（腹板侧受拉区）的咬边缺欠应满足一级焊缝的质量要求。

7.2.4 不锈钢复合板焊缝的外观尺寸应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 焊缝外观尺寸要求 (mm)

项目	焊缝种类	尺寸要求
焊脚尺寸	主要角焊缝 ¹ (包括对接与角接组合焊缝)	$h_f^{+2.0} (h_k^{+2.0})$
	其他角焊缝	$h_f^{+2.0}_{-1.0}$
焊缝计算厚度 (焊喉尺寸)	角焊缝	凸面角焊缝 $h_c^{+2.0}_0$
		凹面角焊缝 $h_c^{+2.0}_{-0.3}$
焊缝高低差	对接焊缝和角焊缝	$\leq 2.0\text{mm}$ (任意 25mm 范围)
对接焊缝错边量	板厚小于等于 25mm	$\Delta \leq 0.5\text{mm}$
	板厚大于 25mm	$\Delta \leq 1\text{mm}$
余高	对接焊缝	$C \leq 2.0\text{mm}$ (焊缝宽 $B \leq 20\text{mm}$)
		$C \leq 3.0\text{mm}$ (焊缝宽 $B > 20\text{mm}$)
余高铲磨后表面	横向对接焊缝	表面不高于母材 0.5mm
		表面不低于母材 0.3mm
		粗糙度 50 μm

注：1 主要角焊缝是指主要杆件的盖板与腹板的连接焊缝；

2 手工焊角焊缝全长的 10%允许 $h_f^{+3.0}_{-1.0}$ 。

7.3 焊缝无损检测

7.3.1 焊缝无损检测应在外观检测合格后进行，并以焊接完成 24h 后的检测结果作为验收依据，当基层材料的标称屈服强度大于 370MPa 时或复层材质为铁素体不锈钢或马氏体不锈钢时，应以焊接完成后 48h 的检测结果作为验收依据。

7.3.2 焊缝的无损检测应符合下列规定：

1 复合板板厚不大于 30mm 的对接焊缝除应按本标准第 7.3.3 条的规定进行超声检测外，还应采用射线检测抽检其接头数量的 10%且不少于一个焊接接头；射线检测范围应为焊缝两端各 250mm~300mm，焊缝长度大于 1200mm 时，中部应加探 250mm~300mm。

2 复合板板厚大于 30mm 的对接焊缝除应按本标准第 7.3.3 条的规定进行超声检测外，还应增加接头数量的 10%且不少于一个焊接接头，按检验等级 C 级、焊缝质量等级一级的超声检测，检测时焊缝余高应磨平，使用的探头折射角应有一个为 45°，检测范围应为焊缝两端各 500mm。焊缝长度大于 1500mm 时，中部应加探 500mm。当发现超标缺欠时应加倍检验。

3 对表面余高不需要磨平的十字交叉或 T 字交叉对接焊缝应在以交叉点为中心的 120mm~150mm 范围内 100%射线检测。

4 用射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测等多种方法检测同一条焊缝时，应同时达到各自的质量要求。

7.3.3 焊缝超声检测工艺应符合下列规定：

1 超声检测设备应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345 的有关规定。

2 焊缝超声检测区域应包括焊缝和焊缝两侧至少 10mm 宽的母材内部区域，且应覆盖热影响区；超声检测宜在基层焊缝侧进行。

3 焊缝检测等级根据质量要求从低到高分 A、B、C 三级，检测位置应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50061 的规定。

7.3.4 焊缝超声检测的合格标准应符合以下规定：

1 焊缝超声的检测范围和宜采用的检测登记应符合表 7.3.4-1 的规定，应根据基层材质、焊接方法、使用条件及承受载荷，由设计文件确定检测等级。

表 7.3.4-1 超声检测范围和检测等级

焊缝质量级别	检测比例	检测部位	板厚 t (mm)	检测等级
横向、纵向对接焊缝一级	100%	全长	$10 \leq t \leq 80$	B
横向对接焊缝二级	100%	全长	$10 \leq t \leq 80$	B
纵向对接焊缝二级	100%	焊缝两端各 1000mm	$10 \leq t \leq 80$	B
角焊缝二级	100%	两端螺栓孔部位并延长 500mm，板梁主梁及纵、横梁跨中加探 1000mm	$10 \leq t \leq 80$	B

2 超声检测灵敏度应符合表 7.3.4-2 的规定，距离-波幅曲线如图 7.3.4 所示，评定线以上至定量线以下为弱信号评定区（I 区）；定量线以上至判废线以下为评定区（II 区）；判废线以上区域为判废区（III 区）。

表 7.3.4-2 超声检测灵敏度

板厚或壁厚 (mm)	判废线 (dB)	定量线 (dB)	评定线 (dB)
≤ 150	$\phi 3 \times 40$	$\phi 3 \times 40-6$	$\phi 3 \times 40-14$

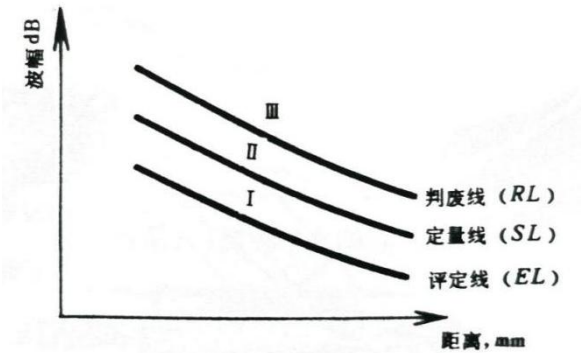


图 7.3.4 距离-波幅曲线示意图

3 超过评定线的信号应判断其是否为裂纹等危害性缺陷，可采用改变探头角度、增加检测面、观察动态波形并结合焊接接头工艺特征判定，也可使用其他无损检测方法综合判定。

4 最大反射波幅位于 II 区的缺欠，根据本规程附录 C 的规定进行测长。缺欠显示长度应按表 7.3.4-3 的规定进行评定；

表 7.3.4-3 超声检测缺欠评定

焊缝质量等级	板厚 t (mm)	单个缺欠显示长度	多个缺欠的累计显示长度
对接焊缝一级	$10 \leq t \leq 80$	$t/4$ ，最小可为 8mm	在任意 $9t$ 焊缝长度范围不超过 t
对接焊缝二级	$10 \leq t \leq 80$	$t/2$ ，最小可为 10mm	在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围不超过 t
全熔透角接与对接组合焊缝一级	$10 \leq t \leq 80$	$t/3$ ，最小可为 10mm	/
角焊缝二级	$10 \leq t \leq 80$	$t/2$ ，最小可为 10mm	/

- 注：1 母材板厚不同时，按较薄板评定；
2 缺欠显示长度小于 8mm 时，按 5mm 计算；
3 相邻两缺欠各向间距小于 8mm 时，两缺欠显示长度之和作为单个缺欠的显示长度。

5 最大反射波幅不超过评定线的缺欠，均应为合格；最大反射波幅超过评定线的裂纹、未熔合或未焊透缺陷，均应为不合格；反射波幅位于Ⅰ区的非裂纹缺欠，均应为合格；反射波幅位于Ⅲ区的缺欠，无论其显示长度如何，均应为不合格。

7.3.5 射线检测应符合现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1中B级检测技术的有关规定，射线底片的质量评级要求应符合本规程附录B的规定，焊缝内部质量不应低于Ⅱ级的要求。当复层不包括在强度计算内，且焊接顺序为先焊接基层、后焊接过渡层和复层时，可在基层焊接后、过渡层焊接前进行射线检测，过渡层和复层焊后应按本规程7.3.7或7.3.8的规定进行表面检测。

7.3.6 表面检测应符合下列规定：

1 下列情况之一应进行表面检测：

- 1) 复层侧焊缝应进行表面检测；
- 2) 设计文件要求应进行表面检测；
- 3) 外观检测发现裂纹时，应对该批同类焊缝进行100%的表面检测；
- 4) 外观检测怀疑有裂纹缺陷时，应对怀疑的部位进行表面检测；
- 5) 检测人员认为有必要时。

2 基层侧焊缝宜采用磁粉检测表面缺欠，奥氏体不锈钢复层焊缝应采用渗透检测表面缺欠。

7.3.7 渗透检测应符合现行国家标准《无损检测 渗透检测 第1部分：总则》GB/T 18851.1的有关规定，合格标准应符合现行国家标准《焊缝无损检测 焊缝渗透检测验收等级》GB/T 26953的2X级及本规程第7.2.1条的有关规定。

7.3.8 磁粉检测应符合现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951的有关规定，合格标准应符合现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测 验收等级》GB/T 26952中2X级和本规程第7.2.1条的有关规定。

附录 A 不锈钢复合板焊接工艺评定报告格式

A.0.1 不锈钢复合板焊接工艺评定报告封面宜包含报告名称、编号以及编制人员、单位、日期等内容（图 A.0.1）。

不锈钢复合板焊接工艺评定报告

报告编号：

编 制：

审 核：

批 准：

单 位：

日 期： ____年 ____月 ____日

图 A.0.1 不锈钢复合板焊接工艺评定报告封面

A. 0. 2 不锈钢复合板焊接工艺评定报告目录应符合表 A. 0. 2 的规定。

表 A. 0. 2 不锈钢复合板结构焊接工艺评定报告目录

序号	报 告 名 称	报告编号	页数
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

A.0.3 不锈钢复合板焊接工艺评定报告格式应符合表 A.0.3-1～表 A.0.3-4 的规定。

表 A.0.3-1 不锈钢复合板结构焊接工艺评定报告

共 页 第 页

工程（产品）名称				评定报告编号											
委托单位				工艺指导书编号											
项目负责人				依据标准		《结构用不锈钢复合板焊接技术规程》（CECSXXX：202X）									
试样焊接单位				施焊日期											
焊工		资格代号		级别											
母材钢号			板厚或 管径×壁厚		供货状态		生产 厂								
化 学 成 分(%) 和 力 学 性 能															
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	其他	$R_{p0.2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A (%)	硬度
基层标准值															
基层合格值															
基层复验值															
复层标准值															
复层合格值															
复层复验值															
焊接材料		生产厂	牌号	类型		直径(mm)		烘干制度(℃×h)		备注					
焊条															
焊丝															
焊剂或气体															
焊接方法				焊接位置				接头形式							
焊接工艺参数		见焊接工艺评定指导书				清根工艺									
焊接设备型号						电源及极性									
预热温度(℃)			道间温度(℃)				后热温度(℃)及时间(min)								
焊后热处理															
评定结论：本评定按《结构用不锈钢复合板焊接技术规程》（CECSXXX：202X）的规定，根据工程情况编制工艺评定指导书、焊接试件、制取并检验试样、测定性能，确认试验记录正确，评定结果为：_____。焊接条件及工艺参数适用范围按本评定指导书规定执行。															
评 定		年 月 日		评定单位：（签章） 年 月 日											
审 核		年 月 日													
技术负责		年 月 日													

表 A.0.3-2 不锈钢复合板结构焊接工艺评定指导书

共 页 第 页

工程名称					指导书编号							
母材钢号		板厚或 管径×壁厚		轧制或 热处理状态				生产厂				
焊接材料		生产厂	牌 号	型号	类 型		烘干制度(℃×h)			备注		
焊 条												
焊 丝												
焊剂或气体												
焊接方法					焊接位置							
焊接设备型号					电源及极性							
预热温度(℃)		道间温度					后热温度(℃)及时间(min)					
焊后热处理												
接头及坡口尺寸图					焊接顺序图							
焊接工艺参数	道次	焊接方法	焊条或焊丝		焊剂或保护气	保护气体流量(L/min)	电流(A)	电压(V)	焊接速度(cm/min)	热输入(kJ/cm)	备注	
			牌号	φ(mm)								
技术措施	焊前清理					道间清理						
	背面清根											
	其它:											
编制				日期	年 月 日		审核			日期	年 月 日	

表 A.0.3-3 不锈钢复合板结构焊接工艺评定记录表

共 页 第 页

工程名称				指导书编号						
焊接方法		焊接位置		设备型号		电源及极性				
母材钢号		类别		生产厂						
母材板厚或 管径×壁厚				轧制或 热处理状态						
接头尺寸及施焊道次顺序				焊 接 材 料						
				焊条	牌 号		型 号		类 型	
					生产厂				批 号	
					烘干温度 (℃)				时间(min)	
				焊丝	牌 号		型 号		规 格 (mm)	
					生产厂				批 号	
				焊剂或 气体	牌 号				规 格 (mm)	
					生产厂					
					烘干温度(℃)			时间(min)		
				施 焊 工 艺 参 数 记 录						
道次	焊接方法	焊条(焊丝) 直径(mm)	保护气体流量 (L/min)	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	热输入 (kJ/cm)	备注		
施焊环境		室内/室外	环境温度(℃)		相对湿度 (%)					
预热温度(℃)			道间温度(℃)		后热温度 (℃)		时间(min)			
后热处理										
技 术 措 施	焊前清理				道间清理					
	背面清根									
	其 他									
焊工姓名		资格代号		级别		施焊日期		年 月 日		
记 录		日期		年 月 日		审核		日期		
								年 月 日		

表 A. 0. 3-4 不锈钢复合板结构焊接工艺评定检验结果

共 页 第 页

非 破 坏 检 验									
试验项目	合格标准		评定结果		报告编号		备 注		
外观检测									
射线检测									
超声检测									
渗透检测									
磁粉检测									
拉伸试验	报告编号				弯曲试验	报告编号			
试样编号	R_{eH} (R_{eL}) (MPa)	R_m (MPa)	断口位置	评定结果	试样编号	试验类型	弯心直径 (mm)	弯曲角度	评定结果
冲击试验	报告编号					宏观金相	报告编号		
试样编号	试样尺寸 (mm)	缺口位置	试验温度(°C)	冲击功 A_k (J)	评定结果：				
					耐腐蚀试验	报告编号			
					评定结果：				
评定结果：									
其它检验：									
检 验		日期	年 月 日	审 核		日期	年 月 日		

附录 B 不锈钢复合板焊接接头射线检测缺欠评定

B.0.1 射线检测缺欠评定前，应根据对接焊缝的复合板厚度或角焊缝厚度确定射线底片的评定厚度 T ；对接焊缝的评定厚度应为不锈钢复合板/管的公称厚度，对于不等厚对接焊缝，评定厚度应为较薄复合板/管的公称厚度；角焊缝的评定厚度应为角焊缝的理论厚度。

B.0.2 一、二级焊缝的射线底片应无裂纹、未熔合、未焊透缺陷。

B.0.3 焊接缺欠的评定应符合下列规定：

1 圆形缺欠评定应符合下列规定：

1) 长宽比不大于 3 的缺欠定义为圆形缺欠，可为圆形、椭圆形、锥形或带有尾巴等不规则的形状，可包括孔洞、夹渣和夹钨；

2) 圆形缺欠评定区的大小应符合表 B.0.3-1 的规定，评定区应选在缺欠最严重的部位；

表 B.0.3-1 缺欠评定区

母材厚度 t (mm)	≤ 25	> 25
评定区尺寸 (mm)	10×10	10×20

3) 评定圆形缺欠时，应将缺欠尺寸按表 B.0.3-2 换算成缺欠点数；不计点数的缺欠应符合表 B.0.3-3 的规定；当缺欠与评定区边界线相接时，应把它划入该评定区内计算点数；

表 B.0.3-2 缺欠点数换算表

缺欠长径 (mm)	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	> 8
点数	1	2	3	6	10	15	25

表 B.0.3-3 不计点数的缺欠尺寸

母材厚度 t (mm)	缺欠长径 (mm)
≤ 25	≤ 0.5
> 25	≤ 0.7

4) 圆形缺欠的评定应符合表 B.0.3-4 的规定。

表 B.0.3-4 圆形缺欠的评定

评定区 (mm)		10×10			10×20
母材厚度 t (mm)		≤ 10	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	> 25
质量等级	I	1	2	3	4
	II	3	6	9	12
	III	6	12	18	24
	IV	缺欠点数大于 III 级者			

注：1 表中的数字是允许缺欠点数的上限；

2 由于材质或结构等原因，进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，经合同各方商定，各级别的圆形缺欠可放宽 1 点~2 点；

3 圆形缺欠长径大于 $1/2t$ 时，评为 IV；

4 不计点数的圆形缺欠，在评定区内不应多于 10 个；超过 10 个时该接头的质量等级应降低一级。

2 条形缺欠评定应符合下列规定：

1) 长宽比大于 3 的孔洞、夹渣和夹钨缺欠定义为条形缺欠；

2) 条形缺欠的评定应符合表 B. 0. 3-5 的规定。

表 B. 0. 3-5 条形缺欠的评定

质量等级	母材厚度 t (mm)	单个条形缺欠长度 (mm)	条形缺欠总长
I	所有厚度	不允许	/
II	≤ 12	≤ 4	在平行于焊缝轴线的任意直线上, 相邻两缺欠间距均不超过 $6L$ 的任意一组缺欠, 其累计长度在 $12t$ 焊缝长度内不超过 t
	> 12	$\leq 1/3 t$ 且 ≤ 20	
III	≤ 12	8	在平行于焊缝轴线的任意直线上, 相邻两缺欠间距均不超过 $3L$ 的任意一组缺欠, 其累计长度在 $6t$ 焊缝长度内不超过 t
	> 12	$\leq 2/3 t$ 且 ≤ 30	
IV	大于III级者		

注: 表中 L 为该组缺欠中最长缺欠的长度。

3 当圆形缺陷评定区内同时存在圆形缺欠和条形缺欠时, 应综合评级, 即分别评定圆形缺陷评定区内圆形缺欠和条形缺欠的质量等级, 将两种缺欠所评级别之和减一作为最终评级;

4 除综合评级外, 当各类缺欠评定的质量级别不同时, 应以最低的质量级别作为焊接接头的质量级别。

附录 C 超声检测固定回波幅度测长

C.0.1 超声检测中缺欠显示的水平长度宜采用本方法进行测量。

C.0.2 测量时，应将探头左右移动，回波幅度等于评定线的位置点 1 和 2 应为缺欠显示的端点（图 C.0.2-1）；端点 1 和端点 2 之间的水平长度应为缺欠显示的测定长度（图 C.0.2-2）。

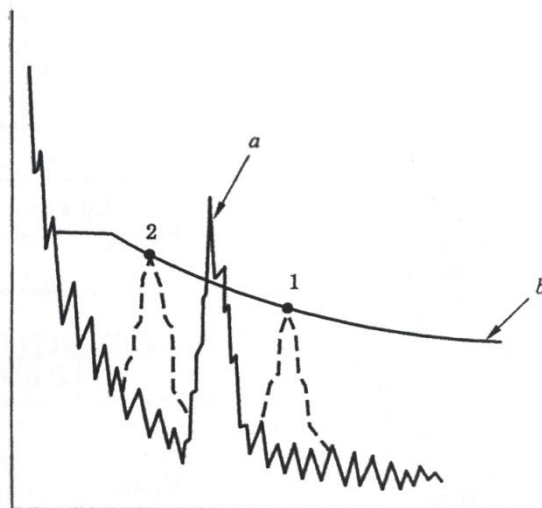


图 C.0.1-1 缺欠显示端点的确定

1、2—回波幅度等于评定线的位置；a—最高回波；b—评定线

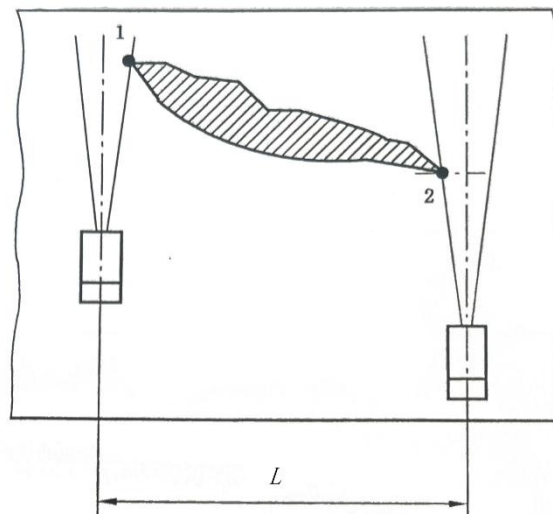


图 C.0.1-2 缺欠显示长度的测量

L —缺欠显示的水平长度

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版本适用于本规程。

- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《钢结构通用规范》GB 55006
- 《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226
- 《金属材料 拉伸试验 第1部分 室温拉伸方法》GB/T 228.1
- 《金属夏比缺口冲击试验方法》GB/T 229
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《桥梁用结构钢》GB/T 714
- 《不锈钢焊条》GB/T 983
- 《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》GB/T 1954
- 《金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验》GB/T 2650
- 《焊接接头拉伸试验方法》GB/T 2651
- 《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》GB/T 2652
- 《焊接接头弯曲试验方法》GB/T 2653
- 《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654
- 《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280
- 《焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1
- 《耐候结构钢》GB/T4171
- 《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237
- 《金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法》GB/T 4340.1
- 《金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334
- 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293
- 《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110
- 《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165
- 《无损检测 人员资格鉴定与认证》GB/T 9445
- 《焊接与切割安全》GB 9448
- 《电弧螺柱焊用无头焊钉》GB/T10432.1
- 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045
- 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345

《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470

《熔化焊用钢丝》GB/T 14957

《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493

《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853

《埋弧焊用不锈钢焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 17854

《结构用不锈钢复合管》GB/T 18704

《无损检测 渗透检测 第1部分：总则》GB/T 18851.1

《建筑结构用钢板》GB/T 19879

《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951

《焊缝无损检测 焊缝渗透检测验收等级》GB/T 26953

《不锈钢焊丝和焊带》GB/T 29713

《高强钢焊条》GB/T 32533

《埋弧焊用高强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 36034

《埋弧焊和电渣焊用焊剂》GB/T 36037

《高强钢药芯焊丝》GB/T 36233

《钢结构十字接头试验方法》GB/T 37789

《焊接与切割保护气体》GB/T 39255

《钨极惰性气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 39280

《热切割 质量几何技术规范》JB/T 10045

《碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法》JB/T 6046

《钢结构焊接热处理技术规程》T/CECS 330

《钢结构焊接从业人员资格认证标准》T/CECS 331

中国工程建设标准化协会标准

结构用不锈钢复合板焊接技术规程

T/CECS XXX-202X

条文说明

制定说明

本规程制定过程中,编制组进行了广泛的调研,总结了我国结构用不锈钢复合板焊接技术的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,开展了多项专题试验研究,并以多种形式广泛征求有关单位和专家的意见,对主要问题进行了反复讨论、协调和修改,形成本规程。

本规程的制定充分考虑了不锈钢复合板结构设计和施工特点、焊接及其技术要求,深入研究了不锈钢复合板焊接技术中存在的问题,并与现行国家有关标准、行业有关标准及中国工程建设标准化协会有关标准相协调,确定了本规程的适用范围为工业或民用结构工程中以不锈钢为复层、以碳钢或低合金钢为基层的基层厚度不小于 3mm 的不锈钢复合板、管的焊接。

为便于相关人员在使用本规程时正确理解和执行条款规定,《结构用不锈钢复合板焊接技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(55)
2	术语和符号	(56)
2.1	术 语	(56)
2.2	符 号	(56)
3	基 本 规 定	(57)
4	材 料	(58)
5	焊接工艺评定	(59)
5.1	一 般 规 定	(59)
5.2	焊接工艺评定替代规则	(59)
5.3	重新进行焊接工艺评定的规定	(60)
5.4	焊接工艺评定试验要求	(60)
5.5	焊接工艺评定取样要求	(60)
5.6	焊接工艺评定试件检测试样的制样要求	(60)
5.7	焊接工艺评定合格标准	(61)
6	焊 接 工 艺	(63)
6.1	母 材 准 备	(63)
6.2	焊接材料要求	(63)
6.3	焊接接头的装配要求	(64)
6.4	定位焊和临时焊缝	(64)
6.5	焊 接 环 境	(64)
6.6	衬 垫	(64)
6.7	引弧板和引出板	(65)
6.8	预热和道间温度控制	(65)
6.9	焊接工艺技术要求	(65)
6.10	焊接变形的控制和矫正	(66)
6.11	焊 缝 清 理	(67)
6.12	返 修 焊	(67)
6.13	焊后热处理	(67)
7	焊 接 检 验	(69)
7.1	一 般 规 定	(69)
7.2	焊缝外观检测	(69)
7.3	焊缝无损检测	(70)

1 总 则

1.0.1 本规程对不锈钢复合板结构的焊接给出的具体规定，以保证不锈钢复合板结构的焊接质量和施工安全。不锈钢复合板结构的焊接，应贯彻节材、节能、环保等技术经济政策。本规程主要根据我国不锈钢复合板焊接技术发展现状，充分考虑现行的国家标准和行业相关标准，同时借鉴欧、美等国家的标准规定，适当采用我国不锈钢复合板结构焊接的最新科研成果、施工实践编制而成。

1.0.2 在不锈钢复合板的材质和厚度等方面规定了本规程的适用范围。对于特殊技术要求领域的不锈钢复合板焊接，也可根据设计要求参照本规程执行。

1.0.3 本条所列的焊接方法包括了目前我国不锈钢复合板结构制作、安装中广泛采用的焊接方法。

1.0.4 本规程是有关不锈钢复合板结构制作和安装工程对焊接技术要求的专业性标准。在不锈钢复合板结构工程焊接施工中，除应按本规程的规定执行外，还应符合国家现行有关标准和中国工程建设标准化协会有关标准的规定。特别说明的是，焊接过程是钢材的热加工过程，焊接过程中产生的火花、热量、飞溅物等往往是建筑工地火灾事故的起因，如果安全措施不当，会对焊工的身体造成伤害。因此，不锈钢复合板结构焊接施工必须遵守国家现行安全技术和劳动保护的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.7 国家标准《焊接术语》GB/T 3375 中所确立的相应术语适用于本规程，此外，本规程规定了 8 个特定术语，这些术语是从不锈钢复合板结构焊接的角度赋予其涵义的。

2.2 符 号

本规程给出了 15 个符号，并对每一个符号给出了相应的定义，在本规程中均有引用。其中材料力学性能符号，与现行国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 相一致，强度符号用英文字母 R ，断后伸长率用英文字母 A 。鉴于目前有些相关的产品标准未进行修订，为避免力学性能符号的引用混乱，建议在试验报告中，力学性能名称及其新符号之后，用括号标出旧符号，例如：抗拉强度 R_m (σ_b)，名义屈服强度 $R_{p0.2}$ ($\sigma_{p0.2}$)，断后伸长率 A (δ_5) 等。

3 基本规定

3.0.1 本规程根据目前国内不锈钢复合板结构工程建设的实际情况，并结合钢结构实际施工经验，要求承担不锈钢复合板焊接工程的企业具有相应的质量保证体系、技术能力和设备条件，并配备具备相应资格的焊接从业人员。随着不锈钢复合板材料焊接难度较高，特别对于接头拘束度较大的复杂节点，一旦发生焊接质量问题，将对结构安全带来巨大影响。另外，对于在工程中采用新型的不锈钢复合板材料，要求施工单位全面了解不锈钢复合板材料的冶炼和轧制工艺，能掌握不锈钢复合板的焊接性，以制定出合理的焊接工艺，确保焊接施工质量，故本规程规定了施工单位需具备相应的焊接设备和人员条件。

3.0.2 本条对不锈钢复合板焊接从业人员的技术工作作出了规定，其中焊接检验人员负责对焊接作业进行全过程的检测和控制，出具检验报告；无损检测人员对受检部位进行无损检测，出具检测报告。出具检验或检测报告的机构均应有具有相应的资质，其中检测机构应通过国家认证认可监督管理委员会的 CMA 计量认证或中国合格评定国家认可委员会的试验室认可。

3.0.3 本规程对焊接从业人员的资格作出了明确规定，借以加强对从业人员的管理。焊接从业人员包括焊工、焊接技术人员、焊接检验人员、无损检测人员、焊接热处理人员等，是焊接实施的直接或间接参与者，是焊接质量控制环节中的重要组成部分。本规程借鉴美现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和现行中国工程建设标准化协会标准《钢结构焊接从业人员资格认证标准》T/CECS 331 的规定，提出了不锈钢复合板结构焊接从业人员的资格要求。

4 材 料

4.0.1 质量合格的不锈钢复合板及焊接材料是获得良好焊接质量、保证结构安全的基本前提，其化学成分、力学性能等是影响焊接性的重要指标，因此不锈钢复合板、管和焊接材料的质量要求应符合国家现行相关标准的规定。

4.0.2 不锈钢复合板和焊接材料的选用、自身质量以及保存和处理等对焊接接头的质量有显著影响，因此在工程施工前，应按国家现行有关工程质量验收标准对不锈钢复合板及其焊接材料按批次进行必要的复验。在设计文件有要求时，可复验不锈钢复层及其焊接材料的耐腐蚀性能，其测定方法可依据现行国家标准《金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334 或《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 的有关规定进行。

4.0.3 不锈钢按类别可分为奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、双相不锈钢和沉淀强化不锈钢。沉淀强化不锈钢的焊接性和加工性能较差，在结构工程很少使用。常用的复层材料为奥氏体不锈钢和双相不锈钢，随着复合板制造技术和焊接技术的不断进步，铁素体不锈钢复层和马氏体不锈钢复层也逐渐在结构中应用，故本规程中的复层材料中包括了铁素体不锈钢和马氏体不锈钢复层。

4.0.4 不锈钢复合板焊接施工前，需按本规程第 5 章的要求进行焊接工艺评定试验，合格后制定出相应的焊接工艺文件或焊接作业指导书。对于未列入国家或行业标准的不锈钢复合板新材料，或已列入国家或行业标准，但对钢厂或焊接材料生产厂为首次试制或生产的复合板新材料，其使用要有严格的规定，需经过技术论证、评审和焊接工艺评定合格后，方可在工程中使用。

4.0.5 焊接材料对焊接质量的影响重大。我国焊接材料的产品质量良莠不齐，由焊接材料生产厂提供熔敷金属化学成分、性能鉴定资料及指导性焊接工艺参数是必要的。

4.0.6~4.0.9 焊接材料熔敷金属中扩散氢的测定方法可依据现行国家标准《熔敷金属中扩散氢测定方法》GB/T 3965 的规定进行。焊接材料扩散氢含量指标，由供需双方协商确定，也可以要求供应商提供。埋弧焊时应按现行国家标准并根据钢材的强度级别、质量等级和牌号选择适当焊剂，同时应具有良好的焊接工艺性能。

4.0.10 基层焊接材料熔敷金属的强度、塑性和冲击韧性不低于基层材料标准规定的下限值。当基层材料为耐候钢、耐火钢等具有特殊功能的材料时，考虑到焊接接头与母材的性能匹配，焊接材料熔敷金属的耐候性、耐火性也应不低于基层材料标准规定的下限值。

4.0.11 本条给出了不锈钢复层焊接材料的选用原则。当复层为非超低碳的奥氏体不锈钢时，焊接材料可选用相应的超低碳不锈钢焊接材料，如当复层为 06Cr17Ni12Mo2 不锈钢时，可选用 316 或 316L 焊接材料。

4.0.12 选用过渡层焊接材料不仅要考虑基层焊缝对过渡层焊缝的稀释，防止过渡层产生脆硬马氏体，还要保证复层焊缝所需的 Cr、Ni、Mo 等合金元素含量。当基层材料需要焊后热处理时，过渡层可选用 Cr25Ni20 不锈钢焊接材料。

5 焊接工艺评定

5.1 一般规定

5.1.1 由于不锈钢复合板结构的焊接节点和焊接接头不可能进行现场破坏性检验，为保证焊接质量，应在构件制作和结构安装施工焊接前进行焊接工艺评定。本规程充分考虑了国内不锈钢复合板焊接结构应用的实际情况，未采用现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 中免于焊接工艺评定的相关规定。

5.1.2~5.1.9 焊接工艺评定所用的焊接参数，要根据被焊不锈钢复合板的焊接性试验结果制定。对于有明确的指导性焊接工艺参数，并已在实践中长期使用的国内、外生产的成熟不锈钢复合板材料，一般不需要再由施工企业进行焊接性试验。但对于国内新开发生产的、或由国外进口未经使用过的不锈钢复合板材料，需由钢厂提供焊接性试验评定资料或由施工企业进行焊接性试验，以作为制订焊接工艺评定参数的依据。

不锈钢复合板的焊接难度高于单独焊接基层或复层，故本规程规定不锈钢复合板焊接工艺评定用不锈钢复合板母材进行评定，而不是基层材料和复层材料分别评定。

施工企业进行焊接工艺评定还应根据施工工程的特点和企业自身的设备、人员条件确定具体焊接工艺，如实记录并与实际施工相一致，以保证施工中得以实施。

5.1.10 考虑到目前国内钢结构制和施工企业人员、设备和工艺条件的变化较大，不锈钢复合板结构的焊接难度较高，因此本规程未规定不锈钢复合板焊接工艺评定的有效期，而是采用按工程项目进行评定的方式，即当工程项目中涉及到不锈钢复合板焊接时，应进行焊接工艺评定。

5.2 焊接工艺评定替代规则

5.2.1 不同焊接方法的热过程差别较大，且不锈钢复合板的焊接难度较高，故本规程规定不同焊接方法的评定结果不应互相替代。

5.2.2 考虑到在国内钢结构工程中，不锈钢复合板常用于桥梁结构的桥面板，在服役过程中不锈钢复合板承受动载荷，且需要疲劳验算，故本规程未采用《钢结构焊接规范》GB 50661 中不同钢材焊接工艺评定的替代规则，而是基于使用安全的考虑，要求每一种牌号的不锈钢复合板应单独进行焊接工艺评定。

同牌号钢材，制造方法不同或供货状态不同，其性能往往存在较大差异，为了保证焊接质量和结构安全，规定不同供货状态或不同方法制造的不锈钢复合板应分别进行焊接工艺评定。

同种牌号、相同制造方法和供货状态的不锈钢复合板中，基层材料质量等级高指基层材料具有更高的冲击功要求，对焊接材料、焊接工艺的要求更加严格，因此当基层材料质量等级高的不锈钢复合板焊接工艺评定合格后，必然满足质量等级低的不锈钢复合板的焊接工艺要求。

5.2.3 焊接接头或坡口形式的改变，会影响焊接的道次、层数及工艺参数，本规程规定接头和坡口形式变化时应重新评定，但考虑到接头形式的相似性及焊接难易程度，规定了十字接头评定结果可替代 T 形接头评定结果；全熔透或部分熔透的对接接头、T 形或十字接头角对接组合焊缝评定结果可替代角焊缝评定结果。对于塞焊缝、槽焊缝的焊接工艺评定，可用全熔透对接接头的评定结果替代。

5.2.4~5.2.5 本条规定了评定合格试件的板厚在工程中适用的厚度范围。考虑到工程应用的不

锈钢复合板的复层厚度通常为 2mm~4mm，故本规程“评定合格的试件板厚”、“工程适用的厚度范围”中的“厚度”均指复合板的总厚度，但当两者的复层厚度相差悬殊时，复层和基层的焊接道次和焊接层数将发生较大变化，故本规程规定当复层厚度变化超过 1mm 时，需要重新进行焊接工艺评定。

5.3 重新进行焊接工艺评定的规定

5.3.1~5.3.6 不同的焊接工艺方法中，各种焊接工艺参数对焊接接头质量产生影响的程度不同。为了保证不锈钢复合板接结构的焊接施工质量，根据大量的试验结果和实践经验并参考国外先进标准的相关规定，本节各条分别规定了不同焊接工艺方法中各种参数的最大允许变化范围。

5.4 焊接工艺评定试验要求

5.4.1~5.4.3 本节规定了各种焊接接头工艺评定试验的试样种类和数量要求。本节规定了三类主要焊接接头的工艺评定试验要求，即对接接头、T 形接头和十字接头。其中对接接头的焊缝形式包括全熔透对接焊缝和部分熔透对接焊缝；T 形接头的接头形式包括板 T 形、斜 T 形、管 T 形、管 K 形、管 Y 形，焊缝形式包括全熔透的角对接组合焊缝、部分熔透的角对接组合焊缝和角焊缝；十字接头的接头形式包括板十字和管十字，焊缝形式均包括全熔透的角对接组合焊缝、部分熔透角对接组合焊缝和角焊缝。不锈钢复合板结构中若涉及球管接头的焊接工艺评定或栓钉焊接工艺评定，可按照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定执行。

5.5 焊接工艺评定取样要求

5.5.1~5.5.2 本条规定了对接接头焊接工艺评定试样的取样要求。对部分熔透对接接头的焊接工艺评定，若接头熔深较小，难以满足拉伸试验、弯曲试验或冲击试验的试样规格时，可用全熔透对接接头的焊接工艺评定替代，但需再增加 2 个宏观金相试验，以验证接头的熔深达到设计文件要求。

5.5.3 本条规定了 T 形接头焊接工艺评定试样的取样要求。圆管 T、K、Y 形接头试件的金相试样应在接头的趾部、侧面及跟部各取一件；矩形管接头全焊透 T、K、Y 形接头试件的金相试样应在接头的角部各取一个；斜 T 形接头进行宏观金相检测时，宜重点关注锐角根部的熔合情况。

5.5.4 本条规定了十字接头焊接工艺评定试样的取样要求，其中十字形相贯接头试件的金相试样需在接头的趾部、侧面及跟部各取一件。钢结构工程中采用直角角焊缝或组合焊缝的十字接头和近直交的十字接头的试验与检验也可按照现行国家标准《钢结构十字接头试验方法》GB/T 37789-2019 执行。

5.6 焊接工艺评定试件检测试样的制样要求

5.6.1 本条规定了对接接头焊接工艺评定检测试样的制样要求。

接头拉伸试样可根据试验机能力采用全截面拉伸试样或沿厚度方向分层取样。当采用全基层材料试样时，分层取样时试样厚度需根据强度计算要求覆盖全基层材料厚度。当采用全厚度试样时，若复合钢板的总厚度较大需要分层取样时，可从基层和复层两侧按复合比例机械减薄，但需保证减薄后的试样复层厚度不小于 3mm；当复层厚度不大于 3mm 时，可只减薄基层厚度。焊缝金属拉伸试样要在基层焊缝中取样，取样位置需避免进入过渡层焊缝或复层焊缝中。

冲击试样的取样位置为复合板单面焊时的焊缝正面和双面焊时的焊面较宽侧，单面对接焊时，需先焊接基层后焊接复层，冲击试样在靠近复层侧的基层焊缝中取样；双面对接焊时，通常采用不对称 X 形坡口，本条图 5.6.1-1 所示意的坡口为基层侧坡口宽、复层侧坡口窄，故冲击试样要在基层侧焊缝取样。考虑到目前建筑结构中较少使用双面复合板，本条未对双面复合板对接焊接工艺评定检验试样作特别说明。

5.6.2 本条规定了 T 形接头焊接工艺评定检测试样的制样要求。T 形接头焊缝金属拉伸试样要取基层焊缝上。单面焊接的 T 形接头，冲击试样在靠近复层侧的基层焊缝中取样；双面焊接时，需根据两侧坡口尺寸确定取样位置，本条图 5.6.2-1 中所示意的坡口为基层侧坡口窄、复层侧坡口宽，故冲击试样在靠近复层侧的基层焊缝中取样。

5.6.3 本条规定了十字接头焊接工艺评定检测试样的制样要求。当十字接头的翼板厚度不大于 25mm 时，冲击试样取自翼板厚度中心。翼板厚度大于 25mm 时，若基层侧坡口宽度大，冲击试样取在距基层表面不大于 2mm 的位置；若复层侧坡口宽度大，冲击试样取在距基层与复层界面不大于 2mm 的位置。

5.7 焊接工艺评定合格标准

5.7.1 本条规定了不锈钢复合板焊接工艺评定试件外观检测要求。工艺评定试件的外观质量是焊接质量的重要组成部分，若试件表面产生裂纹、未焊满、未熔合缺陷，对焊接接头的安全性将产生重大影响。因此需要重视焊接工艺评定试件的外观检测，在焊接工艺评定试件焊接完成后，要先进行外观质量检测，检测合格后再进行无损检测。

5.7.2 焊接工艺评定试件的无损检测方法需要依据设计要求确定，若设计文件没有明确要求，可采用射线检测或超声检测，若两种方法同时采用，则需要同时满足两种检测方法的合格要求。

5.7.3 本规程采用的不锈钢复合板抗拉强度公式是在国内外标准中广泛应用的经典简化公式，相对于真实抗拉强度，该简化公式的计算结果偏大，将其用于评价焊接接头的承载力下限值是偏于安全的。国内外研究机构围绕不锈钢复合板的抗拉强度开展了大量研究工作，如清华大学发表的学术论文，“Letian Hai, Huiyong Ban. Full-range stress-strain relation of stainless-clad bimetallic steel: Constitutive modelling. Journal of Building Engineering, 2022, 57: 104868”。本规程编制组将不断跟踪最新研究成果，以期获得更精准的抗拉强度计算公式。

5.7.4 本条第 2 款对试样冲击功的规定中，考虑到有些基层材料标准冲击功的规定值很高，如 GB/T 714-2015 中规定常用钢材的冲击功大于等于 120J，但一般焊材很难满足这个要求，而且很多工程也不太需要这么高的标准，因此本款规定“焊缝及热影响区各三个试样的冲击功平均值应不低于基层材料标准规定或设计要求的最低值”，设计人员可根据具体工程特点和需要确定冲击功的合格标准，也可参考现行行业标准 JTG/T 3651《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》的规定，详见表 2。表 2 中 Q550/550q 冲击功的规定值主要参考十四五国家重点研发计划项目“高原复杂环境高性能桥梁钢板制造关键技术及应用”的研究成果。

当基层材料为异种材料时，要在焊缝两侧母材热影响区分别取三个冲击试样，焊缝及两侧热影响区各三个试样的冲击功平均值不低于两种基层材料标准中规定下限值的较低者或设计要求的最低值。

表 2 焊接接头冲击功 KV₂

复合板基层材料	Q345/Q345q			Q370/Q370q			Q420/Q420q			Q500/Q500q			Q550/Q550q		
质量等级	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E
试验温度 (°C)	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40
规定值 (J)	34			41			47			54			60		

注：基层厚度不大于 20mm 时，接头冲击功规定值为 27J。

5.7.5 若不锈钢复合板的焊接工艺控制不当，复层焊层和过渡层焊层中可能产生马氏体脆硬组织，降低接头综合性能，故本条第 2 款中规定增加了对试样受拉面上复层和过渡层焊层单个缺欠的长度要求，此处所述焊层包括焊缝和热影响区。

5.7.6 单道焊缝成形系数是指焊缝横截面上焊缝宽度与焊缝计算厚度的比值。若焊缝成形系数过小，形成深而窄的焊缝，焊缝中心易聚集较多低熔点杂质，降低焊缝抗热裂性能，故本规程规定焊缝成形系数不小于 1.1。同样若焊缝成形系数过大，焊缝浅而宽，在多层多道焊时有可能产生层间结合不良，焊缝成形系数不宜大于 2.0；当出现层间结合不良时，采用超声检测等无损检测方法即可发现，故本规程中未要求焊缝成形系数的上限。

5.7.7 硬度试验的检测试样可使用金相试样，并按现行国家标准《金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法》GB/T 4340.1 的有关规定制样，也可另行取样。为确定焊接接头各个区域的硬度测量位置，可采用 5%的硝酸酒精溶液适度腐蚀硬度检测试样表面。在设计文件未特别说明时，只需检测基层焊层的硬度，采用标线法测定基层母材、基层热影响区和基层焊缝的硬度。当设计文件复层焊缝或过渡层焊缝的硬度有要求时，采用单点法测定各区的硬度。若焊接工艺控制不当，过渡层焊缝可能产出马氏体等脆硬组织，降低接头的塑韧性，建议重点关注过渡区焊缝的硬度，可在硬度检测的同时观察过渡层焊缝的显微组织。设计人员可根据具体工程特点和需要确定复层焊缝和过渡层焊缝硬度的合格标准，也可参考日本标准 JIS G4304《热轧不锈钢钢板和钢带》或 JIS G4305《冷轧不锈钢钢板和钢带》中不锈钢钢板的硬度要求。

5.7.8 国内外研究机构对不锈钢复合板焊接接头的耐腐蚀性开展过相关研究，如清华大学发表的研究论文：班慧勇，杨凯华，梅镱潇. 不锈钢复合钢材及其焊接接头耐腐蚀性能试验研究. [J]. 天津大学学报（自然科学与工程技术版），2021，54（2）：111-121。但目前尚未形成统一的不锈钢复合板焊接接头耐腐蚀性定量验收标准，故本规程提出耐腐蚀性能的合格标准依据设计文件的要求确定。

6 焊接工艺

6.1 母材准备

6.1.1 待焊接表面的质量对焊接接头质量有显著影响。如果坡口表面存在氧化皮、铁锈、油污等杂质，焊接时杂质可能带入焊缝中，并可能引起焊缝增碳或增氢，将导致产生气孔、裂纹等焊接缺陷。本条与国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求一致。焊接前可采用机械方法、化学方法或其他设计允许的方法去除待焊表面的氧化膜。

6.1.2~6.1.5 热切割的坡口表面粗糙度因钢材的厚度不同，割纹深度存在差别，若出现有限深度的缺口或凹槽，可通过打磨或焊接进行修补。

6.1.6 当钢材的切割面上存在轧制缺陷时，如夹渣、夹杂物、裂纹等，浅的和短的缺陷可以通过打磨清除，较深和较长的缺陷应采用焊接进行修补，若存在严重的或较难焊接修补的缺陷，该钢材不应使用。

6.1.7 若不锈钢复合板焊接坡口附近的复合界面中存在未结合区，会导致焊接接头中产生未熔合缺陷，同时未结合区可能会扩展导致焊接接头的强度下降，故本规程规定距坡口边缘不小于 50mm 或 1/2 板厚的范围内，复合界面中不能存在未结合区。

6.2 焊接材料要求

6.2.1 焊接材料对焊接结构的安全性有着极其重要的影响，规定焊接材料的贮存要求是为了防止焊接材料锈蚀、受潮和变质，影响其正常使用。

6.2.2 焊条焊接前应按照其使用说明书的要求进行高温烘干，去除焊条药皮中的结晶水和吸附水，以防止药皮中的水分在焊接过程中经电弧热分解使焊缝金属中产生气孔。但焊条烘干次数过多有可能导致焊条药皮开裂，本规程规定焊条累计烘干次数不超过 2 次。

6.2.3 埋弧焊时，焊剂具有保护熔池和渗合金的作用，但焊剂受到油、氧化皮及其他杂质的污染会使焊缝产生气孔，影响焊接工艺性能。对焊剂进行防潮和烘干处理，是为了减少焊缝金属中产生的气孔。所有采购的焊剂应有包装，以保证正常条件下至少贮存 6 个月而不影响其焊接特性或焊缝性能。焊接过程中未熔化的埋弧焊焊剂可回收再使用，但添加量不能超过 50%，并要保证混合后的焊剂成分和粒度大的分布相对不变。

6.2.4 实心焊丝和药芯焊丝的表面油污和锈蚀等杂质会影响焊接操作，且容易增加增加焊缝中的含氢量或形成气孔，故不能使用表面有油污和锈蚀的焊丝。目前市售的药芯焊丝均为有缝焊丝，打开真空包装后药芯焊丝有吸潮的风险，宜随用随取。

6.2.5 本规程推荐了常用不锈钢复合板的焊接材料。由于过渡层的埋弧焊工艺不易控制，故本规程没有推荐过渡层埋弧焊接材料。若采用埋弧焊焊接过渡层，则应控制好过渡层焊缝厚度，且在复层焊接时应控制焊接电流，以防止复层焊缝被过渡稀释。

另外，有关不锈钢复合板焊接采用过渡层的问题，有些施工单位持有不同意见。国内外现有文献未就“过渡层焊接时可用复层焊材焊接过渡层”给出明确结论。本规程参编单位之一清华大学开展了相关试验研究，结果表明用复层焊材焊接过渡层，接头的力学性能，如拉伸性能、弯曲性能、冲击韧性、疲劳性能无明显差异，而耐腐蚀性能的变化尚不明确。以上试验结果供施工单位参考。

6.3 焊接接头的装配要求

6.3.1~6.3.7 焊接接头的坡口及装配精度是保证焊接质量的重要条件，超出公差要求的坡口角度、钝边尺寸、根部间隙会影响焊接施工操作和焊接接头质量，同时也会增大焊接应力，易产生焊接裂纹。

6.4 定位焊和临时焊缝

6.4.1~6.4.6 定位焊缝的焊接质量直接影响焊缝整体质量。定位焊缝的冷却速度快，焊接难度较大，容易产生焊接缺陷，应从焊前预热、焊材选用、焊工资格及施焊工艺等方面给予充分重视，避免造成正式焊缝中产生焊接缺陷。因此本规程规定了定位焊的位置、长度、间距以及定位焊缝的厚度和尺寸。定位焊的焊缝长度通常根据构件的构造特点来确定，通常对厚板或长大构件，可适当增加定位焊缝的长度；对薄板则应适当减少定位焊缝的长度。

6.4.7~6.4.8 临时焊缝焊接时应避免焊接区域的母材性能改变和留存焊接缺陷，因此焊接临时焊缝采用的焊接工艺和质量要求与正式焊缝相同。临时焊缝清除后应采用目视检测或其他无损检测方法检测，以确保母材中不残留焊接裂纹，避免对结构的安全产生不利影响。

6.5 焊接环境

6.5.1 实践经验表明：对不锈钢焊接，当焊接作业区风速超过 2m/s 时，焊接熔渣或气体对熔化的焊缝金属保护环境会遭到破坏，致使焊缝金属中产生密集气孔。所以实际不锈钢复合板焊接施工过程中，应避免在上述风速条件下进行施焊，必须施焊时应设置防风屏障。

6.5.2 焊接作业环境不符合要求，会对焊接质量造成不利影响。由于水分是氢的来源，氢是产生焊接延迟裂纹的重要因素之一，尽管奥氏体不锈钢复层对氢并不敏感，但双相不锈钢复层和基层材料有延迟裂纹倾向，因此应避免在工件潮湿或雨、雪天气下进行焊接操作。

6.5.3 低温环境会增加焊接熔池冷却速度，特别是对基层材料、马氏体不锈钢复层、铁素体不锈钢复层、双相不锈钢复层材料的焊接，低温环境是不利的。本条对低温环境施焊作出了具体规定，焊接环境温度不宜低于 5℃。以往的焊接试验证明，当焊接环境温度低于 5℃ 时，采取合理的焊前预热、焊中保温和焊后缓冷等措施，并采用合理的焊接工艺参数，也能获得满足质量要求的焊接接头。因此本规程规定当焊接环境温度低于 5℃ 时，应采取预热和防护措施或根据母材的材质、板厚、接头特点和焊接环境温度重新进行焊接工艺评定试验。

6.6 衬垫

6.6.1 不锈钢复合板的焊接顺序通常是先焊接基层、再焊接过渡层、后焊接复层，故本规程规定衬垫宜在基层材料侧使用。若由于结构原因只能先焊接复层、再焊接过渡层，后焊接基层时，衬垫只能在复层侧使用，但由于该焊接顺序在工艺上难以避免过渡层中形成脆硬组织，实际焊接施工中应尽可能避免这种情况。若因使用双面复合板导致只能在复层侧使用衬垫时，宜使用过渡层焊接材料焊接基层；焊接双面复合板宜采用 X 型坡口，以避免先焊接复层。

6.6.2 钢衬垫不能对焊缝金属性能产生显著影响，本规程规定钢衬垫的材质应与衬垫侧不锈钢复合板的材料相同，即当在基层侧使用钢衬垫时，钢衬垫材质应与基层材料相同；当在复层侧使用钢衬垫时，钢衬垫材质应与复层材料相同。

6.6.3~6.6.6 为防止烧穿，本规程规定了钢衬垫的最小厚度。为避免未焊的对接接头形成严重

缺口导致焊缝中产生横向裂缝，并延伸和扩展到母材中，要求钢衬垫板在整个焊缝长度内连续。采用铜块、陶瓷等非钢衬垫的主要目的是强制焊缝成形，同时防止烧穿，在大热输入焊接或在狭小的空间结构焊接中经常使用，但需要注意的是，不得将铜或陶瓷熔入焊缝，以免影响焊缝内部质量。

6.7 引弧板和引出板

6.7.1~6.7.5 在非焊接区域母材上进行引弧和熄弧时，由于焊接引弧和熄弧处热量不足和迅速冷却，可能导致母材的硬化，或形成弧坑裂纹、气孔等焊接缺陷，成为导致结构破坏的潜在裂纹源。施工过程中应避免这种情况的发生。在施焊时，在焊接接头的端部应设置引弧板、引出板，将引、熄弧处引出正式焊缝以外，以避免焊缝端部产生焊接缺陷，影响接头的焊接质量。引弧板、引出板所用钢材应对焊缝金属性能不产生显著影响。为确保焊缝的完整性，规定了引弧板、引出板的长度。

6.8 预热和道间温度控制

6.8.1~6.8.5 规定最低预热温度和道间温度，是为了控制焊缝金属和热影响区的冷却速度，降低焊接接头的冷裂倾向。预热温度越高，冷却速度越慢，焊接接头的淬硬倾向和裂纹倾向越低。本规程根据常用基层材质、中等结构拘束度、常用的低氢焊接方法和焊接材料以及中等热输入条件给出的可避免焊接接头出现淬硬或裂纹的最低温度。实践经验及试验研究证明：焊接一般拘束度的接头时，按本条规定的最低预热温度和道间温度，可以防止接头产生裂纹。在实际焊接施工过程中，为获得无裂纹、塑性好的焊接接头，预热温度和道间温度应高于本条规定的最低值。为避免母材过热产生脆化而降低焊接接头的性能，对道间温度的上限也作出了规定。

实际焊接施工时，应根据不锈钢复合板母材的化学成分、强度等级、碳当量、接头的拘束状态、热输入大小、焊缝金属含氢量水平及所采用的焊接方法等因素综合判断或进行焊接试验，以确定焊接时的最低预热温度。如果有充分的试验数据证明，选择的预热温度和道间温度能够防止接头焊接时裂纹的产生，可选择低于本条款要求的最低预热温度和道间温度。

6.8.6 为了确保焊接接头预热温度均匀，冷却时温度梯度较平滑，本条对预热的加热范围和测温位置作出了规定。

6.9 焊接工艺技术要求

6.9.1 用于指导实际焊接操作的焊接工艺文件应根据本规程要求和工艺评定结果进行编制。符合本规程要求或经评定合格的焊接工艺方可确保获得满足质量要求的焊缝。若施工过程中不严格执行焊接工艺文件，将对焊接结构的安全性带来较大隐患，应引起足够关注。考虑到不锈钢复合板多用于动载结构，不建议使用塞焊或槽焊焊接接头，当设计允许使用时，塞焊和槽焊可采用焊条电弧焊、气体保护焊等焊接方法。平焊位置的塞焊和槽焊，可分层焊接，每一焊道环绕接头根部施焊，并沿螺旋形途径向孔的中心施焊。焊缝的熔渣应保持熔融状态直至焊缝完成。如发生断弧或焊渣凝固，应清除焊渣后再重新焊接；立焊位置的塞焊和槽焊，可分层焊接，每一焊道应在开孔的底边处接头根部引弧，由此向上焊接，在所开孔的顶部停弧，清除焊渣。然后在孔的对边重复上述过程；仰焊位置的塞焊和槽焊，施焊过程与平焊位置相同，在每道焊道焊完，在熔渣冷却凝固清除后再施焊后续焊道。

6.9.2 过渡层焊接时应严格控制焊缝厚度，避免复层焊缝被过渡稀释。埋弧焊方法的热输入较大，不易控制焊接厚度，故不建议用埋弧焊方法焊接过渡层。当焊接不锈钢复层时，热输入量过大易导致不锈钢焊缝晶粒粗大，耐腐蚀性能下降，故复层厚度较小时宜采用热输入较小的气体保护焊或焊条电弧焊，复层厚度较大时也可采用埋弧焊方法。

6.9.3 当因特殊原因只能先焊接复层、再焊接过渡层、后焊接基层时，应注意焊接材料的选用。此种情况可以选择以下两种方法：

第一种：用与复层相匹配的焊接材料焊接复层，用过渡层焊接材料焊接过渡层和基层。若采用与基层相匹配的焊接材料焊接基层，过渡层焊缝和复层焊缝的铬、镍元素进入基层焊缝后，会导致接头中产生脆硬组织，故应采用过渡层焊接材料焊接基层。但这种方法会产生异种金属接头，接头强度有可能下降。

另一种：用与复层相匹配的焊接材料焊接复层，用纯铁素体焊接材料焊接过渡层，用与基层相匹配的焊接材料焊接基层。该工艺在复层焊缝上焊接纯铁素体焊缝作为过渡层，纯铁素体焊缝中混入少量铬、镍元素不致形成塑形很差的金属组织，在其上可直接焊接基层焊缝。采用本方法时应慎重选择纯铁素体焊接材料。

由于以上两种方法都存在一定的技术缺陷，施工中应尽量避免采用“先焊接复层、再焊接过渡层、后焊接基层”的工艺。

6.9.4 基层焊接时，若焊道熔化至复层，焊缝可能析出脆硬相，降低接头的韧性，或导致复层焊缝的耐腐蚀性下降。由于不锈钢焊接时热输入过大易导致焊缝晶粒粗大，性能下降，故本规程规定过渡层和复层的焊接应采用小热输入多层多道焊接，因摆动焊接的热输入较大，故不推荐将其用于复层和过渡层焊接。

6.9.5 过渡层的厚度应严格控制。若过渡层焊缝在基层侧厚度过大，过渡层焊缝被基层焊缝严重稀释，可能导致接头中产生脆硬相；若过渡层焊缝在复层侧厚度过大，复层焊缝的合金成分产生较大变化，可能导致复层焊缝耐腐蚀性能下降。为便于焊接操作，可在基层焊缝根部或表面距离复合界面 1.0~2.0mm 时，采用过渡层材料焊接，通常焊接一层即可满足厚度要求。

6.9.7 本条款对于焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊焊接方法，规定了最大根部焊道厚度、最大填充焊道厚度、最大单道角焊缝尺寸和最大单道焊焊层宽度，其目的是为了在焊接过程中确保焊接的可操作性和焊缝质量的稳定。实践证明，超出上述限制进行焊接操作，对焊缝的外观质量和内部质量都会产生不利影响。焊缝长度并非越长越好，过度焊接会增大热影响区，反而不利于结构的安全性，本规程规定了焊缝长度允许的偏差。

6.9.8 角焊缝焊趾处的焊缝表面与母材夹角过小，焊趾处易产生应力集中，本规程角焊缝焊趾处的焊缝表面与母材夹角不应小于 90°。

6.9.9 焊缝需要去除余高时，应尽量避免焊缝有效厚度和母材厚度的减少，否则可能降低结构安全性，本规程规定了焊缝厚度或母材厚度减少不应超过较薄母材厚度的 10%，且不应超过 1mm。

6.10 焊接变形的控制和矫正

6.10.1~6.10.6 控制焊接变形的主要目的是保证不锈钢复合板结构要求的尺寸，但对焊接变形控制有时会造成结构焊接应力和焊接裂纹倾向增大，因此应采取合理的焊接工艺措施、装焊顺序、平衡焊接热输入等方法控制焊接变形，避免采用刚性固定或强制措施控制焊接变形。

6.10.7 允许局部加热矫正焊接变形，但应避免热矫正引起不锈钢复合板的性能生变化，同时应

避免急冷以防止产生淬硬组织。当采用热矫正时，重点考虑不锈钢复合板复层的材质，当复层为铁素体不锈钢、马氏体不锈钢或双相不锈钢时，热矫正的温度不应超过 315℃；当复层为奥氏体不锈钢时，热矫正的温度不应超过 430℃。

6.11 焊 缝 清 理

6.11.1~6.11.2 焊接完成后将焊缝表面的熔渣及周围的飞溅清理干净，特别要注意对不锈钢复层表面飞溅的清理，为了防止焊接飞溅破坏不锈钢复层，可在其表面涂防飞溅剂或覆盖不锈钢薄板。为避免焊缝清理时砂轮片向复层焊缝中带入铁元素，降低其耐腐蚀性，清理焊缝用的砂轮片可使用无铁砂轮片。

6.11.3 碳弧气刨是缺陷清除和反面清根的主要手段，其操作工艺对焊接的质量有较大影响。碳弧气刨时应避免夹碳、夹渣等缺欠的产生。

6.11.4 电弧擦伤处由于电弧热量不足和迅速冷却，可能导致母材产生淬硬组织，或形成裂纹和气孔，成为导致结构破坏的潜在裂纹源。因此，施工过程中应避免电弧擦伤，且本规程还规定了电弧擦伤区的处理方式。

6.11.5 对不锈钢复层焊缝进行钝化处理，可促进其表面形成致密氧化膜，提高不锈钢复层的耐腐蚀性。

6.12 返 修 焊

6.12.1~6.12.8 焊缝金属或部分母材的缺陷超过相应的质量验收标准时，可以选择局部修补或全部重焊。焊接或母材的缺陷修补前应分析缺陷的性质和种类及产生原因。如果不是因焊工操作或执行工艺参数不严格而造成的缺陷，应从工艺方面进行改进，编制新的工艺并经过焊接试验评定合格后进行修补，以确保返修成功。多次对同一部位进行返修，会造成母材的热影响区的热应变脆化，对结构的安全有不利影响，因此本规程要求同一部位的返修焊不宜超过两次。若因某些特殊原因使焊缝的返修超过两次，需要进一步查清楚缺陷产生的原因，重新制定返修工艺措施，保证返修焊缝能达到规定的质量要求。

6.13 焊后热处理

6.13.1~6.13.2 不锈钢复合板焊接接头应尽量避免焊后热处理。第一、不锈钢复合板复层材料和基层材料热膨胀系数差别较大，在焊后热处理时，复合界面附近可能产生较大的附加残余应力，降低界面结合强度，甚至可能导致局部复层剥落。第二、不含稳定化元素的奥氏体不锈钢复层在焊接热处理中，可能析出碳化铬，降低复层耐腐蚀性能。第三、基层材料为某些调质钢、含钒钢等特殊钢材时，经过焊后热处理，其显微组织和性能可能发生劣化。第四、焊后热处理还可能引起构件变形。因此，不锈钢复合板焊接接头的焊后热处理应慎选。

6.13.3 基层焊缝金属中的扩散氢是延迟裂纹形成的主要影响因素，焊接接头的含氢量越高，裂纹的敏感性越大，焊后消氢热处理目的就是加速焊接接头中扩散氢的逸出，防止由于扩散氢的积聚而导致延迟裂纹的产生。延迟裂纹敏感性还与基层材料的化学成分、焊接接头拘束度、预热温度以及冷却条件有关，因此要根据具体情况并结合复层材料的性质来确定是否进行焊后消氢热处理。本规程推荐消氢处理温度为 250℃~300℃，温度太低，消氢效果不明显，温度过高，若超出基层材料马氏体转变温度则容易在焊接接头中残存马氏体组织。焊后消氢热处理应在焊后立即进行，如果在焊后立即进行消应力热处理，则可不进行消氢热处理。

6.14.4~6.14.5 焊后消应力处理多采用热处理和振动两种方法。消应力热处理目的是为了降低焊接残余应力或保持结构尺寸的稳定性，主要用于承受较大拉应力的厚板对接焊缝、承受疲劳应力的厚板或节点复杂、焊缝密集的重要受力构件；局部消应力热处理通常用于重要焊接接头的消应力。振动消应力处理虽然能达到消减一定应力的目的，但其效果目前还难以准确界定。如果为了稳定结构尺寸，采用振动消应力方法对构件进行整体处理既方便又经济。

7 焊接检验

7.1 一般规定

7.1.1 本条强调了过程检验的重要性，对过程检验的程序和内容进行了规定。就焊接产品质量控制而言，过程控制比焊后无损检测显得更为重要，对于不锈钢复合板焊接，焊接过程中工艺参数对接头性能和质量的影响更为直接，产生的不利后果更难于恢复，同时也是用常规无损检测方法无法检测到的。因此正确的过程检验程序和方法是保证产品质量的重要手段。

7.1.2 焊缝在结构中所处的位置不同，承受荷载不同，破坏后产生的危害程度也不同，因此对焊缝质量的要求也不相同，盲目提高焊缝的质量要求将造成不必要的浪费。本规程要求按照设计规定的荷载形式和焊缝等级，在检测前科学编制检验方案，并由质量工程师批准后实施。

7.1.3 本条规定了焊缝抽样检验的方法。通常将一条焊缝作为一个焊缝个体，在工厂制作构件时，箱形钢柱（梁）的纵焊缝、H形钢柱（梁）的腹板-翼板组合焊缝较长，此时可将一条焊缝划分为每 300mm 为一个检验个体。检验批的构成原则上以同一条件的焊缝个体为对象，不仅可使检验结果具有代表性，也有利于统计分析缺陷产生的原因，便于质量管理。

取样原则上按随机取样方式，随机取样方法有多种，例如将焊缝个体编号，使用随机数表来规定取样部位等。但应注意的是，同一批次抽查焊缝的取样要涵盖该批焊缝所涉及的母材类别、焊接位置和焊接方法，以便于客观反映不同难度下的焊缝合格率结果，同时自检、监检及见证检验所抽查的对象应尽可能避免重复，以便更有效的控制焊缝质量。

7.1.4 在一批焊缝检测中要达到 100%合格通常是不切实际的，既无必要，也浪费大量资源。本着安全、适度的原则，本规程参考《钢结构通用规范》GB55006 的规定，引用了允许不合格率的概念，不合格率小于抽样数 2%时为合格，大于 5%时为不合格，2%~5%之间时加倍抽检，不仅可确保不锈钢复合板结构的焊缝质量安全，也反映了目前我国不锈钢复合板结构的焊接施工水平。

7.1.5 产品试板是实际焊接时与产品同条件制作的检测试件，其作用是检验试板所代表的焊接接头的力学性能，并验证生产条件下材料、工艺及焊工技能的稳定性和可靠性，以保证焊接质量。当制造过程中的焊接质量保持稳定时，一般可以视实际情况适量酌减产品试板的数量。

产品试板的材质、厚度、轧制方向及坡口应与所焊对接板材相同。制作产品试板时，应在焊缝端部加装试板；当焊缝端部不具备加装试板条件时可单独施焊，但应采用与构件焊接相同的工艺和设备，并应在同一地点施焊。由于产品试板的低温冲击试验仅针对焊缝金属，当产品为不等厚对接时，产品试板允许用较薄的等厚对接代替不等厚对接。

产品试板焊缝宜按 I 级对接焊缝要求进行超声检测。当产品试板试验结果不合格时，若为共性问题，则需要对其代表的所有焊缝作同样处理；若由个性原因造成，则仅需对与试板同时焊接的焊缝进行处理。

7.2 焊缝外观检测

7.2.1~7.2.4 焊接接头在焊接过程中、焊缝冷却过程及焊后相当长的一段时间内均可产生裂纹，但随不锈钢复合板生产工艺水平的提高，目前常用不锈钢复合板的焊缝中产生延迟裂纹的几率并不高，而且随后还要进行相应的无损检测，因此为避免由于检测周期过长使工期延误造

成不必要的浪费，本规程借鉴欧美等国家先进标准及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661，规定外观检测应在焊缝冷却至室温后进行。焊缝外观检测包括外观缺陷检测和几何尺寸测量两部分。由于裂纹很难用肉眼直接观察到，因此在外观检测裂纹时应使用放大镜观察，且光线应充足。

7.3 焊缝无损检测

7.3.1 无损检测应在外观检测合格后进行。不锈钢复合板复层为奥氏体不锈钢或双相不锈钢时，复层焊缝产生延迟裂纹的可能性很小，但基层焊缝和过渡层焊缝有产生延迟裂纹的可能性；当复层为铁素体不锈钢或双相不锈钢时，复层焊缝产生延迟裂纹的可能行较高；同时考虑到不锈钢复合板多用于动载结构，本规程借鉴欧美等国家先进标准及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661，根据基层材料的屈服强度等级和复层材质确定焊缝外观检测的时机。当基层材料标称屈服强度不大于 370MPa 时，应在焊接完成 24h 后进行无损检测；当基层材料标称屈服强度大于 370MPa 时，应在焊接完成 48h 后进行无损检测；当复层材质为铁素体不锈钢或马氏体不锈钢时，应在焊接完成 48h 后进行无损检测。

7.3.2 本规程充分参考了现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 和《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 对钢结构焊缝无损检测范围的基本要求，并结合我国不锈钢复合板结构应用工况，规定了不锈钢复合板焊缝的无损检测的范围。超声检测和射线检测是常用的检测焊缝内部缺陷的方法，本规程建议不锈钢复合板焊缝内部缺陷的检测采用超声检测或射线检测，如有特殊要求，可在设计图纸或订货合同中另行规定，同时也鼓励用户辅助采用诸如相控阵、TOFD 等先进检测手段。

7.3.3 不锈钢复合板焊缝超声检测的检验等级分为 A、B、C 三级，与现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 相同，只是建议不锈钢复合板焊缝的超声检测在基层焊缝侧进行。

7.3.4 本规程提出了不锈钢复合板焊缝的超声检测合格标准。本规程参考了现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 承受静载荷和需要疲劳验算焊缝的超声检测合格标准、《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 对钢结构焊缝的质量要求，考虑到不锈钢复合板在结构中的使用工况参考了《铁路钢桥制造规范》Q/CR9211 中的焊接检验要求，在试验研究的基础上，提出了不锈钢复合板焊缝的超声检测合格标准。

7.3.5 射线检测适用于对接焊缝的检测，按现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测》GB/T 3323 的有关规定执行。

7.3.6~7.3.8 表面检测主要是作为外观检测的补充手段，其目的主要是为了检测焊接裂纹，检测结果的评定按外观检验的有关要求验收。通常，磁粉检测的灵敏度高于渗透检测，为了提高表面缺欠检出率，本规程推荐基层焊缝和铁磁性不锈钢（如双相不锈钢、马氏体不锈钢）复层焊缝尽可能采用磁粉检测；奥氏体不锈钢复层焊缝或因结构形状的原因（如检测空间狭小）不能采用磁粉检测时，采用渗透检测。