****

**T/CECS** XXX- 202X

**中国工程建设标准化协会标准**

铁路钢桥不锈钢复合钢板应用技术规程

**Technical specification for application of stainless steel clad plates for railway steel bridge**

（征求意见稿）

**xxxx出版社**

中国工程建设标准化协会标准

**铁路钢桥不锈钢复合钢板应用技术规程**

**Technical specification for application of stainless steel clad plates for railway steel bridge**

**T/CECS XXX-202X**

主编单位：中铁第五勘察设计院集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 X 月 X 日

**xxxx出版社**

202X年　北　　京

**前　　言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第二批协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字[2020]23号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结工程实践经验，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7章和5个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、设计、制造、施工工艺、验收与质量控制等。

请注意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铁道分会归口管理，由中铁第五勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市大兴区康庄路9号，邮政编码：102600），以供修订时参考。

主编单位：中铁第五勘察设计院集团有限公司

参编单位：[中国铁路经济规划研究院有限公司](http://www.baidu.com/link?url=hgdxPGw17LUtZzsZsoba1T7wGDLpJbyBut8iUeFaXgUJlToNGCcN99wP2uVH0xDI&wd=&eqid=c9c74b1e0007d807000000035f466d76" \t "http://www.baidu.com/_blank)

中国铁道科学研究院集团有限公司

中国船舶集团有限公司第七二五研究所

中铁四局集团有限公司

南京钢铁股份有限公司

中铁山桥集团有限公司

主要起草人：王 冰 李方柯 邓光平 曹 晗 曾周燏 徐向军

王凯林 鞠晓臣 张保奇 丁仕洪 郭 波 卢长龙

翟伟国 黄绍泉 江 姗 刘洪武 周勇政 班新林

黄庭森 吴 旋 王飞龙 高建忠

主要审查人：

目　　次

1　总　　则 1

2　术语和符号 2

2.1　术　语 2

2.2　符　号 3

3　材　　料 5

4　设　　计 6

4.1　一般规定 6

4.2　选 材 6

4.3　计 算 7

4.4　构造设计 7

5　制 造 10

5.1　一般规定 10

5.2　制造工艺 10

5.3　质量控制 11

6　施工工艺 16

6.1　一般规定 16

6.2　杆件制作 16

7　验收与质量控制 28

7.1　一般规定 28

7.2　材料验收 28

7.3　安装质量控制 31

7.4　质量检查 32

附录A　不锈钢复合钢板超声波检验方法 36

附录B　不锈钢复合钢板焊接材料 39

附录C　铁路钢桥用不锈钢复合钢板焊接工艺评定试验 41

附录D　铁路钢桥不锈钢复合钢板焊缝检测质量要求 46

附录E　不锈钢复合钢板及加工缺陷的修补 49

本规程用词说明 50

引用标准名录 51

条文说明 53

**Contents**

1　General provisions 1

2　Terms and symbols 2

2.1　Terms 2

2.2　Symbols 3

3　Materials 5

4　Design 6

4.1　General requirements 6

4.2　Material selection 6

4.3　Calculation 7

4.4　Structural design 7

5　Manufacture 10

5.1　General requirements 10

5.2　Manufacturing process 10

5.3　Quality control 11

6　Construction technology 16

6.1　General requirements 16

6.2　Member fabrication 16

7　Acceptance and quality control 29

7.1　General requirements 29

7.2　Material acceptance 29

7.3　Install quality control 32

7.4　Quality inspection 33

Appendix A　Method for ultrasonic testing of stainless steel clad steel plate 37

Appendix B　Welding material for stainless steel clad plate 40

Appendix C　Welding procedure qualification test for stainless steel clad plate of railway steel bridge 41

Appendix D　Quality requirements of weld ultrasonic testing for stainless steel clad plate of railway steel bridge 46

Appendix E　Repair of stainless steel clad plate and its processing defect 49

Explanation of wording in this specification 50

List of quoted standards 51

Addition：Explanation of provisions 53

# 1　总　　则

**1.0.1**　为规范铁路钢桥不锈钢复合钢板应用的技术要求，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

**1.0.2**　本规程适用于铁路钢结构桥梁中不锈钢复合钢板的选材、设计、施工、验收与维护，公路市政等其它领域钢结构桥梁可参照使用。

**1.0.3**　铁路钢桥不锈钢复合钢板的应用除应执行本规程外，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**　复合　　clad

一种金属被另一种金属完全覆盖，并在其界面上实现冶金结合。

**2.1.2**　不锈钢复合钢板　　stainless steel clad steel plate

以碳素钢或低合金钢为基材，在其一面或两面整体连续地包覆一定厚度不锈钢的复合材料。

**2.1.3**　基层　　base metal

复合钢板中主要承受结构强度的碳素钢或低合金钢。

**2.1.4**　覆层　　cladding metal

复合钢板中接触工作介质和大气的不锈钢包覆材料。

**2.1.5**　爆炸复合　　explosive clading

在爆炸焊接过程中实现覆层和基层间冶金结合的复合方法。

**2.1.6**　轧制复合　　rolled compounding

在轧制过程中实现覆层和基层间冶金结合的复合方法。

**2.1.7**　复合界面　　compound contact interface

复合钢板覆层和基层之间的结合面。

**2.1.8**　结合率　　bonding ratio

复合钢板覆层和基层间实现冶金结合状态的面积占复合界面总面积的百分率。

**2.1.9**　修补焊接　　repair welding

对复合钢板不符合质量要求的未结合区覆层进行清除，按堆焊工艺在基层上补充不锈钢材料并进行修磨处理，使修复区域保持原有覆层性能的作业。

**2.1.10**　界面剪切强度　　interfacial shear strength

沿复合界面使覆层与基层横向错位直至分离所能承受的最大剪切力。

**2.1.11**　外弯曲试验　　external bend test

试样受拉面为覆层的弯曲试验。

**2.1.12**　内弯曲试验　　internal bend test

试样受拉面为基层的弯曲试验。

**2.1.13**　过渡层　　buttering

为减小基层成分对覆层焊缝金属的稀释,或因两种金属属性存在差异，在基层焊缝金属表面熔敷一层一定厚度或两种金属间添加一层技术成分的金属隔离层。

## 2.2　符　号

**2.2.1**　复合方法及结合状态

*B——*爆炸复合；

*R——*轧制复合；

*J——*结合率（%）。

**2.2.2**　力学性能

*τ——*界面抗剪强度（MPa）；

*R*eL*——*复合钢板的屈服强度下限值（MPa）；

*R*eL1*——*基层钢板的屈服强度下限值（MPa）；

*R*eL2*——*覆层钢板的屈服强度下限值（MPa）；

*R*m*——*复合钢板的抗拉强度下限值（MPa）；

*R*m1*——*基层钢板的抗拉强度下限值（MPa）；

*R*m2*——*覆层钢板的抗拉强度下限值（MPa）；

*A——*复合钢板的断后伸长率（%）；

*KV*2*——*复合钢板的基层冲击吸收能量（J）。

**2.2.3** 其他符号

*t——*复合钢板的总厚度（mm）；

*t*1*——*复合钢板的基层厚度（mm）；

*t*2*——*复合钢板的覆层厚度（mm）；

*a——*复合钢板试样的总厚度（mm）；

*a*1*——*复合钢板试样的基层厚度（mm）；

*a*2*——*复合钢板试样的覆层厚度（mm）；

*S——*复合钢板的面积（cm2）；

*S*1*——*未结合区的总面积（cm2）。

# 3　材　　料

**3.0.1**　不锈钢复合钢板的覆层和基层材料宜按表3.0.1的规定选取。根据需方要求也可以选用表3.0.1以外的牌号，覆层和基层材料的组合可由需方决定。

**表3.0.1**　**基、覆层材料**

|  |  |
| --- | --- |
| 覆层材料 | 基层材料 |
| 典型牌号 | 标准号 | 典型牌号 | 标准号 |
| 022Cr19Ni10（S30403）06Cr18Ni11Ti（S32168）022Cr17Ni12Mo2（S31603） | GB/T 3280GB/T 4237 | Q235-A、B、C、D | GB/T 700 |
| Q345q-C、D、EQ370q-C、D、EQ420q-D、E、FQ460q-D、E、FQ500q-D、E、FQ550q-D、E、FQ370qC/D/ENHQ420qC/D/ENHQ460qC/D/ENHQ500qC/D/ENH | GB/T 714TB/T 3556 |

**3.0.2**　不锈钢复合钢板的覆层和基层材料，应有材料生产制造厂家出具的产品质量证明书或其他质量证明文件，并应盖有材料生产制造厂家的质量检验章。

# 4　设　　计

## 4.1　一般规定

**4.1.1**　不锈钢复合钢板设计应综合考虑大气环境、接触介质、使用功能要求等因素。

**4.1.2**　不锈钢复合钢板的设计应包括以下内容：

1　不锈钢复合钢板的使用部位、使用年限及功能要求。

2　不锈钢复合钢板中基层和覆层选用的材料。

3　不锈钢复合钢板中基层和覆层的厚度。

4　不锈钢复合钢板中覆层的计算厚度。

5　不锈钢复合钢板构件之间的连接形式及技术要求。

6　不锈钢复合钢板构件与其它构件的连接形式及构造要求。

7　不锈钢复合钢板的施工、验收及质量控制技术要求。

**4.1.3**　铁路钢结构桥梁的桥面钢板及其它养护维修困难的部位宜选用不锈钢复合钢板。

## 4.2　选 材

**4.2.1**　不锈钢复合钢板的基层应选用碳素钢或低合金钢，相关技术要求应满足现行国家及行业标准《碳素结构钢》GB/T 700、《桥梁用结构钢》GB/T 714、《铁路桥梁用结构钢》TB/T 3556的规定。

**4.2.2**　不锈钢复合钢板的覆层应选用不锈钢板，相关技术要求应满足现行国家标准《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280的规定。

**4.2.3**　不锈钢复合钢板的覆层宜选用奥氏体不锈钢。

**4.2.4**　对于海洋环境及其它特殊环境条件，不锈钢复合钢板中覆层的选材宜结合不锈钢腐蚀速率试验确定。

## 4.3　计 算

**4.3.1**　不锈钢复合钢板可按普通钢板计算，力学性能指标应按基层钢板选用，厚度应采用基层厚度与覆层计算厚度之和。

**4.3.2**　计算运营阶段不锈钢复合钢板的承载能力和刚度时，不应计入覆层计算厚度。

**4.3.3**　计算安装阶段不锈钢复合钢板的承载能力时，可计入覆层计算厚度，覆层计算厚度不宜大于覆层厚度的70%。

**4.3.4**　计算安装阶段结构线形时，不锈钢复合钢板应计入覆层计算厚度。

## 4.4　构造设计

**4.4.1**　不锈钢复合钢板中覆层厚度宜为2mm～5mm，总厚度不宜不大于60mm。

**4.4.2**　一般环境条件下，不锈钢复合钢板用于铁路钢桥中与大气接触的构件时，覆层的厚度不应小于2mm。

**4.4.3**　不锈钢复合钢板用作有砟轨道铁路的桥面钢板时，基层的厚度不应小于14mm，覆层的厚度不应小于3mm。

**4.4.4**　不锈钢复合钢板构件与其它钢构件之间宜采用焊接连接。

**4.4.5**　不锈钢复合钢板可采用图4.4.5中的构造细节。

|  |  |
| --- | --- |
| 4-1 | 4-2 |
| （a）复合钢板十字对接焊缝构造 | （b）复合钢板与普通钢板对接焊缝构造 |
| 4-1 | 4-4 |
| （c）复合钢板与加劲肋的连接构造 | （d）复合钢板焊接剪力钉构造 |
| 4-5 | 4-6 |
| （e）复合钢板桥面设排水孔构造 | （f）复合钢板桥面侧边设排水孔构造 |

**图4.4.5　不锈钢复合钢板构造细节**

**4.4.6**　各类构造细节的疲劳容许应力幅应按表4.4.6确定。

**表4.4.6　各种构造细节疲劳容许应力幅**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 类别 | 构造细节 | 疲劳容许应力幅（MPa） |
| 1 | a | 复合钢板十字对接焊缝构造 | 99.9 |
| 2 | b | 复合钢板与普通钢板对接焊缝构造 | 80.6 |
| 3 | c | 复合钢板与加劲肋的连接构造 | 60.2 |
| 4 | d | 复合钢板焊接剪力钉构造 | 60.2 |
| 5 | e | 复合钢板桥面设排水孔构造 | 60.2 |
| 6 | f | 复合钢板桥面侧边设排水孔构造 | 60.2 |

# 5　制 造

## 5.1　一般规定

**5.1.1**　不锈钢复合钢板制造企业应具有固定的生产制造场所，其制造工艺及装备设施，应能满足复合钢板的制造工艺特点和技术质量要求，并应符合环境和职业健康、安全生产要求。复合钢板制造企业应建立质量保证体系并确保有效实施。

**5.1**.**2**　不锈钢复合钢板制造企业应建立完善的安全生产管理制度，应建立符合现行国家标准《企业安全生产标准化基本规范》GB/T 33000规定的安全生产标准化管理体系，且通过一级安全生产标准化评审。

**5.1.3**不锈钢复合钢板生产制造前，应制定产品制造工艺技术文件，必要时应组织评审，并依据制造工艺流程编制生产制造进度计划和质量保证计划。

**5.1.4**　不锈钢复合钢板生产制造前，应由企业主管技术和质量的领导组织包括技术、生产、质量检验等部门进行工艺技术文件交底宣贯，必要时还应组织进行产品首件检验。

## 5.2　制造工艺

**5.2.1**　覆层厚度大于2mm、总厚度大于10mm的桥梁用不锈钢复合钢板可采用爆炸复合法生产制造。

**5.2.2**　爆炸复合法生产制造工艺宜按以下流程执行：基复板下料、表面处理、爆炸复合、超声波检测、未结合区修补、热处理、校平、超声波复检、成品切割、力学性能试验、成品表面处理、成品检验、包装发货。

**5.2.3**　覆层厚度大于0.5mm、总厚度大于5mm的桥梁用不锈钢复合钢板可采用轧制复合法生产制造。

**5.2.4**　轧制复合法生产制造工艺宜按以下流程执行：基复板下料、表面处理、复合坯制备、加热、轧制、冷却、热矫、热处理、切割分板、校平、水抛、探伤、成品检验、包装发货。

## 5.3　质量控制

**5.3.1**　不锈钢复合钢板的界面结合率应符合下列规定：

**1**不锈钢复合钢板的界面结合率应符合表5.3.1的规定。

**2**不锈钢复合钢板的界面结合率达不到表5.3.1的规定时，允许对未结合区进行修补焊接，修补焊接应满足以下要求：

（1）清除未结合区的覆层后，基层下挖0.5mm～1.0mm；

（2）由持有效资质证件的焊工按经评定合格的焊接工艺进行补焊；

（3）修补焊接区域必须经超声检测合格后再进行渗透检测，渗透检测结果应符合现行行业标准《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》NB/T 47013.5Ⅰ级的规定，并保证复合钢板的最小厚度；

（4）修补焊接记录，包括补焊位置、补焊区面积、焊接工艺及检验结果应作为产品质量证明书的一部分提交需方。

**表5.3.1　界面结合率**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 界面结合级别 | 结合率*J*（%） | 未结合区状态 |
| *B*1、*R*1 | 100 | 单个未结合区长度不大于50 mm，面积不大于900mm2以下的未结合区不计 |
| *B*2、*R*2 | ≥99 | 单个未结合区长度不大于50 mm，面积不大于2000mm2 |
| *B*3、*R*3 | ≥95 | 单个未结合区长度不大于75 mm，面积不大于4500mm2 |

注：表中B1、B2、B3分别表示爆炸成型不锈钢复合钢板的界面结合级别为1、2、3级，R1、R2、R3分别表示热轧成型不锈钢复合钢板的界面结合级别为1、2、3级。

**5.3.2**　不锈钢复合钢板的尺寸、外形应符合下列规定：

**1**覆层不锈钢可在基层桥梁用结构钢的一面或两面进行复合。

**2**不锈钢复合钢板的常用形状包括矩形、方形、圆形三种，其它形状可由供需双方商定。

**3**覆层不锈钢的厚度宜采用2mm～5mm。

**4**基层桥梁用结构钢的最小厚度不宜小于8mm。

**5**不锈钢复合钢板的不平度应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709的规定。当基层桥梁用结构钢的屈服强度大于460MPa时，不平度应采用现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709规定值的1.5倍。

**5.3.3**不锈钢复合钢板的尺寸允许偏差应符合下列规定：

**1**厚度允许偏差应符合表5.3.3的规定。

**表5.3.3　厚度允许偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 覆层厚度允许偏差 | 复合钢板总厚度允许偏差 |
| *B*1、*R*1*B*2、*R*2 | *B*3、*R*3 | 复合钢板总公称厚度(mm) | 允许偏差(%) |
| *B*1、*R*1*B*2、*R*2 | *B*3、*R*3 |
| 不大于覆层公称尺寸的±9%，且不大于1mm | 不大于覆层公称尺寸的±10%，且不大于1mm | ＞10～15 | ＋9－7 | ±8 |
| ＞15～25 | ＋8－6 | ±7 |
| ＞25～30 | ＋7－5 | ±6 |
| ＞30～60 | ＋6－4 | ±5 |
| ＞60 | 协商 | 协商 |

**2**长度及宽度的允许偏差，可按基层桥梁用结构钢的标准执行。圆形复合钢板直径的允许偏差可由供需双方协商确定。

**5.3.4**不锈钢复合钢板的重量应符合下列规定：

**1**不锈钢复合钢板可按理论重量交货或实际重量交货。

**2**按理论计重时，可采用公称尺寸。当钢板厚度允许偏差为限定负偏差或正偏差时，理论计重所采用的厚度应取允许最大厚度和最小厚度的平均值。

**3**不锈钢复合钢板的理论重量应取基层及覆层的理论重量之和。

**5.3.5**不锈钢复合钢板的力学性能应符合表5.3.5的规定。

**表5.3.5　复合钢板的力学性能**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 复合钢板级别 | 界面抗剪强度τ(MPa) | 下屈服强度a*R*eL(MPa) | 抗拉强度*R*m(MPa) | 断后伸长率*A*(%) | 冲击吸收能量*KV*2(J) |
| *B*1、*R*1 | ≥210 | 不小于基层对应厚度钢板标准值b | 不小于基层钢板标准下限值，且不大于上限值35MPac | 不小于基层钢板标准值d | 应符合基层钢板规定e |
| *B*2、*R*2 |
| *B*3、*R*3 | ≥200 |
| a 屈服现象不明显时，按Rp0.2。b 复合钢板的屈服下限值亦可按式(1)计算：*R*eL=（*t*1*R*eL1+ *t*2*R*eL2）/（*t*1+*t*2）………………………………………(1)式中：*R*eL1 —基层钢板的屈服点下限值，单位为兆帕(MPa)；*R*eL2 —覆层钢板的屈服点下限值，单位为兆帕(MPa)；*t*1 —基层钢板厚度的数值，单位为毫米(mm)；*t*2 —覆层钢板厚度的数值，单位为毫米(mm)。c 复合钢板的抗拉强度下限值亦可按式(2)计算：*R*m=（*t*1*R*m1+ *t*2*R*m2）/（*t*1+*t*2）………………………………………(2)式中：*R*m1 —基层钢板的抗拉强度下限值，单位为兆帕(MPa)；*R*m2 —覆层钢板的抗拉强度下限值，单位为兆帕(MPa)；*t*1 —基层钢板厚度的数值，单位为毫米(mm)；*t*2 —覆层钢板厚度的数值，单位为毫米(mm)。d 当覆层伸长率标准值小于基层标准值，复合钢板伸长率小于基层、但又不小于覆层标准值时，允许剖去覆层仅对基层进行拉伸试验，其伸长率应不小于基层标准值。e 复合钢板覆层不做冲击试验 |

**5.3.6**不锈钢复合钢板弯曲试验条件及结果应符合表5.3.6的规定，取样和试验方法应满足现行国家标准《复合钢板力学及工艺性能试验方法》GB/T 6396的要求。

**表5.3.6　复合钢板的弯曲性能**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 总公称厚度(mm) | 试样宽度(mm) | 弯曲角度*α*(º) | 弯芯直径d (mm) | 试验结果 |
| 内弯 | 外弯 | 内弯 | 外弯 |
| ≤16 | *b*=2*a* | 180 | *d*=2 *a* | *d*=2 *a* | 在弯曲部分的外侧不得产生肉眼可见的裂纹，复合界面不得有分层。 |
| ＞16 | *b*=2*a* | 180 | *d*=3 *a* | *d*=3 *a* |

注：a为不锈钢复合钢板试样总厚度，d为弯芯直径。

**5.3.7**不锈钢复合钢板的Z向拉伸性能应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313或其他相关标准的规定，且试样拉断的位置不应在复合界面。

**5.3.8**不锈钢复合钢板成品可根据需方要求，按现行国家标准《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的规定进行晶间腐蚀试验。

**5.3.9**不锈钢复合钢板的覆层不锈钢表面不应有气泡、结疤、裂纹、夹杂、折叠等缺陷。如有上述缺陷，允许清除，但清除后，应保证覆层最小厚度，否则应进行补焊。基层桥梁用结构钢的表面质量应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714或其他相关标准的规定。

**5.3.10**爆炸不锈钢复合钢板应经热处理，覆层不锈钢表面应经抛光、喷砂或酸洗钝化处理交货。

**5.3.11**轧制不锈钢复合钢板可按热轧、TMCP及热处理状态交货。覆层不锈钢表面应经喷砂、抛磨或酸洗钝化处理后交货。

# 6　施工工艺

## 6.1　一般规定

**6.1.1**不锈钢复合钢板杆件的制造、现场施工等应符合《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构通用规范》GB 55006的相关规定。

**6.1.2**制造厂应根据设计要求，结合不锈钢复合钢板结构及接头形式编制制造加工工艺、焊接工艺评定方案等技术文件，并组织评审。

**6.1.3**制造厂采用不锈钢复合钢板制造加工的首批杆件或单元经检验合格后，应进行试拼装，试拼装合格后方可进行批量生产。

**6.1.4**不锈钢复合钢板杆件或单元应对下料、零件制作、划线、组装、焊接、矫正、涂装等工序进行全过程质量管理。

## 6.2　杆件制作

**6.2.1**　复合钢板检验合格入库后，宜按备料数据库提料并进行号料排版。号料排版零件图应按制造工艺充分考虑杆件或零部件焊接收缩、裁边切割及刨铣等工序的加工预留量。

**6.2.2**　不锈钢复合钢板零部件下料应采用精密数控等离子、激光切割，或自动等离子及其它先进高效的切割方式。切割质量及零件精度应符合下列规定：

**1**切割表面质量应符合表6.2.2-1的规定。

**表6.2.2-1　切割表面质量**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项 目 | 主要零件 | 次 要 零 件 |
| 表面粗糙度 | 25μm | 50μm |
| 崩 坑 | 不允许 | 1m长度内允许有一处深度不大于1.0 mm |
| 塌 角 | 圆角半径不大于1 mm |
| 切割面垂直度 | ≤0.05t（t为板厚），且不大于2.0mm |

**2**基层为Q420q～Q500q强度级别钢板时，切割面的硬度不应超过HV380；基层为Q370q以下强度级别钢板时，切割面的硬度不应超过HV350。

**3**复合钢板坡口切割后坡口面必须进行打磨，去除0.3mm～0.5mm厚度的氧化层，并清理边缘飞刺、挂渣。

**4**复合钢板切割零件允许偏差应符合表6.2.2-2的规定。

**表6.2.2-2　零件尺寸允许偏差**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名 称 | 项 目 | 允许偏差(mm) |
| 矩形板块 | 宽度 | ±2.0 |
| 长度 | ±1.0 |
| 对角线 | |3| |
| 异形板块 | 任何对应点 | ±2.0  |

**6.2.3**　杆件的矫正与煨弯应符合下列规定：

**1**复合钢板矫正宜采用冷矫正，环境温度不宜低于-5℃，矫正后表面不应有明显的凹痕或其它损伤。

**2**复合钢板采用热矫正时，加热形状为点状或线状，基层为Q500q钢材时热矫温度应控制在700℃以下；基层为Q420q钢材时热矫温度应控制在750℃以下；基层为Q370q及以下强度级别钢板时热矫温度不应超过800℃，严禁过烧。矫正后零件应缓慢冷却至室温，过程中不得锤击或用水急冷加热部位。

**3**零件冷作弯曲时，环境温度不宜低于-5℃，煨弯半径不宜小于板厚的15倍（不包括覆层厚度）。零件热煨弯时基层控温应满足本规程第6.2.3条中第2款的规定，基层板厚度小于14mm的内弯曲可按设计要求半径弯曲。煨弯后的零件边缘不得产生裂纹。

**4**复合钢板冷压成型宜采用辊式或压膜成型，成型后圆弧外边缘不得有裂纹或分层；U形槽可按照表6.2.3中图②焊接成型。冷压成型零件尺寸允许偏差应符合表6.2.3的规定。

**表6.2.3　冷压成型尺寸允许偏差**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 简图 | 允许偏差（mm） |
| 长度 | **biao6.2.3**①**biao6.2.3**②**biao6.2.3**③ | ±2 |
| 开口宽B | ±2 |
| 底宽b | ±1.5 |
| 肢高h1、h2 | ±1 |
| 两肢差│h1－h2│ | ≤ 2 |
| 竖弯、旁弯 | ≤L/1000，且≤6 |
| 四角平面扭曲 | ≤3 |

**6.2.4**　杆件的组装应符合下列规定：

**1**　复合钢板接料应在组装前完成，相邻焊缝错开距离不得小于200mm，焊缝距其他部件不宜小于100mm。错开的最小距离应符合设计要求或符合图6.2.4-1的规定。



**图6.2.4-1　复合钢板接料焊缝错开的最小距离（单位：mm）**

**2**组装宜在胎架或平台上进行，首件组装应经检验合格后，方可进行后续杆件的组装。

**3**组装前应彻底清除待焊区域或坡口面上的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物，使其表面显露出金属光泽。覆层面应清洗干净或抛光。覆层侧清除范围应符合图6.2.4-2的规定。



**图6.2.4-2　组装前清理范围**

**4**复合钢板组装、接料应以覆层表面为基准，其错边量不应大于覆层厚度0.5倍，组装允许偏差应符合表6.2.4的规定。

**表6.2.4　组装接料允许偏差**

| 项 目 | 允许偏差(mm) | 简 图 |
| --- | --- | --- |
| 错边量 | t<16mm | 1.0 | biao6.2.4 |
| t≥16mm | 1.5 |
| 对接间隙b | 按工艺执行 |
| 局部平面度 | 1.0 | biao6.2.4 |
| 组装间隙（不开坡口时） | 0.5 | biao6.2.4 |

**6.2.5**　复合钢板焊接坡口角度、坡口形式、焊接方法、焊接参数、焊接辅材等工艺参数应严格按照焊接工艺评定及作业指导书执行。

**6.2.6**　杆件的坡口及加工应符合下列规定：

**1**复合钢板常规坡口加工宜采用等离子或激光切割开制，不宜采用气切割，特殊情况可选用机械加工。坡口切割面质量应符合表6.2.2-1要求。

**2**坡口方向应根据工艺开制，覆层侧的单面或双面坡口面均应修磨去除不小于0.5mm的混合气氧化层（机加工除外）。

**3**在制造加工或现场施工过程中，可采用图6.2.6所示的坡口形式，坡口加工宜统一简捷。



（a）单面坡口 （b）双面坡口

**图6.2.6　复合钢板坡口形式**

**6.2.7**　复合钢板的定位焊应符合下列规定：

**1**复合钢板定位焊焊接工艺、焊材应与正式焊接的焊接工艺相同，不得简化定位焊环节，如需预热应按正式焊接温度进行预热。

**2**定位焊缝长度视复合钢板厚度可采用50mm～100mm，间距可采用300mm～600mm；焊脚尺寸不得大于设计焊脚尺寸的1/2，且定位焊缝强度应满足相关规范要求。定位焊缝焊脚尺寸如图6.2.7（a）所示。

**3**定位焊缝应距设计焊缝端部30mm以上，以避免端部或对接口处因引弧、收弧接头过于集中，如图6.2.7（b）所示。



　　　　　（a）定位焊缝焊脚尺寸 （b）定位焊缝距端部距离

**图6.2.7　定位焊缝尺寸及端头距离（单位：mm）**

**6.2.8**　复合钢板的施焊应符合下列规定：

**1**复合钢板的焊接接头可采用对接、角接和T形等形式，如图6.2.8-1所示。



（a）对接接头 （b）角接接头 （c）T形接头

**图6.2.8-1　复合钢板接头形式**

注：1、制造厂荒料对接及现场面板对接可采用对接接头；

2、水槽、泄水管等构件的焊接可采用角接接头；

3、结构同时有受力和防腐要求的部位可采用T形接头③的形式。

**2**复合钢板焊接材料应符合焊接工艺评定所选焊材（基层、过渡层、覆层）牌号和规格。焊接材料可参照本规程附录B选用。

**3**复合钢板基层的焊接，宜采用焊条电弧焊、埋弧自动焊和气体保护焊。覆层及过渡层的焊接，宜采用气体保护焊和焊条电弧焊。二氧化碳气保焊宜采用半自动焊或焊接机器人。

**4**复合钢板焊接时，应优先焊接基层，再焊接过渡层，最后焊接覆层。具体应符合下列规定：

（1）基层焊接坡口根部打底焊道（不应熔化覆层不锈钢），焊道根部应距复合界面1mm～2mm，宜采用二氧化碳气体保护焊打底（一或两层）埋弧焊填充。覆层侧应气刨清根后再焊接过渡层和覆层，如图6.2.8-2（a）所示。

（2）基层焊道应填充至距离复合界面1mm～2mm处，再焊接过渡层；过渡层焊接时，宜采用直径不大于1.2mm焊丝及小焊接热输入，过渡层厚度应控制在2mm～4mm，如图6.2.8-2（b）所示。

（3）覆层焊接宜采用小焊接热输入，焊缝表面应与覆层不锈钢表面保持平整、匀顺。在采用多道焊接时，焊道之间必须相互搭接且搭接长度不宜小于焊道宽度的1/３～1/2，如图6.2.8-2（c）所示。



（a）焊道距复合界面 （b）过渡层厚度和复合界面 （c）焊道搭接

与填充面距离

**图6.2.8-2　过渡层焊接及焊道搭接**

**6.2.9**　复合钢板的缺陷返修应符合下列规定：

**1**焊缝上发现不允许缺陷时应清除修补，焊接接头表面质量应符合表6.2.5-1的规定。

**2**焊缝需用碳弧气刨（或其他电动工具）背面清根或返修时，每层宜刨削约1：3的斜坡。应采用角磨机对刨削部位清理整修；补焊时引弧、收弧应在同一层；刨削及每层补焊均需修磨后再进行上层补焊。

**3**返修补焊应按复合钢板焊接流程分别对基层、过渡层和覆层依次施焊，焊后搭接处应修磨匀顺。

**4**如需返修，焊接操作人员不得擅自进行处理，应及时上报焊接技术人员或焊接工程师批示。

**5**同一部位的焊缝返修不宜超过两次。

**6.2.10**　复合钢板的焊缝检查应符合下列规定：

**1**焊缝冷却后应进行外观检查，可采用目视或不低于5倍的放大镜检查。焊缝表面及热影响区不得有裂纹、未熔合、未填满、夹渣、弧坑、焊瘤等缺陷。焊缝外观质量应符合表6.2.10-1的规定。

**表6.2.10-1　焊缝外观质量要求（mm）**

| 项目 | 焊缝种类 | 质量要求（mm） |
| --- | --- | --- |
| 气孔 | 覆层对接焊缝、熔透角焊缝等主要角焊缝 | 不容许 |
| 基层对接焊缝、熔透角焊缝等主要角焊缝 | 直径小于1.0 | 每米不多于3个，间距不小20 |
| 其它焊缝 | 直径小于1.5 |
| 咬边 | 对接焊缝 | 不允许 | **biao6.2.5-1** |
| 对接焊缝 | ≤0.3 | 连续长度≤100 mm，且焊缝两侧咬边总长≤10％焊缝全长 |
| 对接焊缝及熔透角焊缝 | ≤0.5 |
| 其它焊缝 | ≤1.0 |
| 焊脚尺寸 | 主要角焊缝 | K  | **biao6.2.5-1** |
| 其它角焊缝 | K ① |
| 焊波 | 所有焊缝 | h≤2.0（任意25 mm范围高低差） | **biao6.2.5-1** |
| 余高 | 不铲除余高的对接焊缝 | h≤2.0（b≤20）h≤3.0（b＞20） | **biao6.2.5-1** |
| 铲除余高的对接焊缝 | △1≤0.5 | **biao6.2.5-1** |
| △2≤0.3 |
| 粗糙度Ra50 μm |

注：其它角焊缝中手工角焊缝总长的10%范围内K。

**2**焊缝施焊24小时（屈服强度等级≥500MPa的高强度钢48小时）后，经外观检验合格方可进行超声波探伤，焊缝质量应符合本规程附录D的要求，焊缝表面检测应符合《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》GB/T 26953的规定。

**3**焊缝无损探伤范围、评定分级及检验等级应符合表6.2.10-2的规定，执行标准符合本技术规程附录D的规定。

**表6.2.10-2　焊缝无损检测范围、评定等级及检验等级**

| 焊缝形式 | 评定等级 | 探伤方法 | 探伤比例 | 探 伤 部 位 | 检验等级 | 执行标准 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 对接焊缝、熔透角焊缝 | Ⅰ级 | 超声波 | 100% | 焊缝全长 | B | 本技术规程附录D |
| 对接焊缝 | Ⅱ级 | X射线 | 10% | 焊缝两端探250mm～300mm；焊缝长度大于1200mm时，中部加探250～300mm；以十字接头为中心直径250mm～300mm | B |
| 对接焊缝、熔透角焊缝、角焊缝 | 1 | 渗透 | 20% | 焊缝全长 | 1 | 本技术规程附录D |

注：探伤比例宜采用各类型焊缝条数占比。

**4**产品试板应符合下列规定：

（1）产品试板应按表6.2.10-3规定的数量制作，试板经焊缝外观检查和探伤合格后，方可进行接头拉伸、弯曲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。

**表6.2.10-3　产品试板数量**

| 焊缝长度及类型 | 接头数量 | 试板数量 |
| --- | --- | --- |
| 接头长度≤1000mm | 32条 | 1组 |
| 接头长度＞1000mm | 24条 | 1组 |
| 桥面板横向对接焊缝 | 10条 | 1组 |
| 桥面纵向对接焊缝 | 30条 | 1组 |

（2）产品试板焊接的工艺条件应采用同材质、同工艺、同设备、同一操作者及环境下施焊并与杆件焊缝连续施焊。杆件连接产品试板困难时，应在板件的对接焊缝焊完成后同时施焊产品试板。严禁异地施焊产品试板。

（3）产品试板长度应满足试验内容取样的需要，具体可参照本规程附录C.2.2。

（4）若试验结果不合格，可在原试板上重新取样再试验；如试验结果仍不合格，则应先查明原因，再对该试板代表的接头进行处理。

**6.2.11**采用冷矫时应缓慢加力，室温不宜低于-5℃，冷矫总变形量不得大于2％。采用热矫时应按本规程第6.2.3条执行。

**6.2.12**杆件试拼应符合下列规定：

**1**应根据设计要求选择有代表性的杆件进行试拼。试拼应在杆件批量生产前进行，以验证工厂制造工艺、工装的正确性及制造精度。试拼装经检验合格后，方可正式批量生产。

**2**试拼装应符合以下规定：

（1）制造厂应按设计图要求，选择有代表性的杆件进行试拼装。

（2）根据结构或检验项目可采用一种单元件或多种单元件试拼装，试拼装应在杆件涂装之前进行。

（3）试拼装应在测平的台架上进行，杆件应处于自由状态。

（4）试拼装检测时，应考虑日照的影响。

（5）试拼装的单元主要尺寸及允许偏差应符合表6.2.12的规定，并详细检测记录。

**表6.2.12　试拼装主要尺寸允许偏差**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项 目 | 允许偏差(mm) | 说 明 |
| 长度 | ±2.0 | 长度＝理论长度+工艺预留量 |
| 总长度（试拼节间数总和） | ±5.0 | 3个节间(布包括工艺预留量） |
| 旁弯 | L∕5000 | 桥轴线与预拼长度两端中心连线的偏差 |
| 对角线差 | 3.0 | 每个节间 |
| 宽度 | ±4.0 | 面板宽度 |
| 板块间对接焊缝错边 | 1.0 | 相邻面板之间 |
| 平面度 | 纵向W1∕500，且≤3.0横向W2∕300，且≤1.5 | W1 横梁间距，W2 纵梁间距 |
| 各点标高 | ±5.0 | biao6.2.7 |

# 7　验收与质量控制

## 7.1　一般规定

**7.1.1**供方应按需方提供的复合钢板技术要求及供货状态进行检验和验收，项目应包括材质、界面结合率、力学性能、工艺性能、腐蚀性能、表面质量及外形尺寸等。

**7.1.2**进厂的不锈钢复合钢板应由制造方进行检验和验收，必要时供方可派人员现场见证。

## 7.2　材料验收

**7.2.1**不锈钢复合钢板进厂抽样检验应按同一厂家、同一牌号、同一厚度规格、同一复合工艺、同一热处理状态每10个炉（批）号抽验一组试件，每批重量不宜大于60t。

**7.2.2**复合钢板的检验和验收项目应符合以下规定：

**1**　复合钢板的厚度允许偏差应符合表5.3.2的规定。

**2**　复合钢板表面不应有气泡、结疤、裂纹、夹杂、折叠等缺陷。研磨清除后，应保证覆层最小厚度，否则应进行补焊。复合钢板的长度和宽度可根据需方需要，由供需双方协商确定。宽度允许偏差应符合表7.2.2-1的规定。

**表7.2.2-1　宽度允许偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 公称厚度 | 下列宽度的宽度允许偏差(mm) |
| Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 |
| ＞10～25 | ＋200 | ＋250 | ＋300 |
| ＞25 | ＋250 | ＋300 | ＋350 |

**3**　复合钢板每米不平度偏差应符合表7.2.2-2的规定。复合钢板不得有明显凹凸不平。

**表7.2.2-2　不平度偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 复合钢板总公称厚度(mm) | 允许不平度(mm·m-1) |
| 板宽＜1500 mm | 板宽≥1500 mm |
| 15～25 | 5 | 6 |
| ＞25 | 4 | 5 |

**4**　复合钢板覆层与基层间面积结合率应按10%进行抽检，不得有明显凹凸不平。超声波检测方法应按现行国家标准《复合钢板超声检测方法》GB/T 7734执行。界面结合率应符合表5.3.1的规定。

**5**复合钢板的力学性能应符合表5.3.5的规定。

**6**复合钢板弯曲试验条件及结果应符合表5.3.6的规定。

**7**　复合钢板的基层冲击性能应符合现行国家标准《铁路桥梁用结构》GB/T 3556的规定。

**8**　复合钢板应根据设计要求进行Z向拉伸性能试验。试样的形状、尺寸、试验方法应按现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313的规定执行。

**9**　复合钢板的耐腐蚀试验应符合现行国家标准《金属和合金的腐蚀不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T4334的规定。

**7.2.3**复合钢板的检验项目及数量应符合以下规定：

**1**不锈钢复合钢板的检验项目应根据工程需要按表7.2.3-1规定。

**表7.2.3-1　检验项目**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检验项目 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 |
| 拉伸试验 | ○ | ○ | ○ |
| 外弯试验 | ○ | △ | △ |
| 内弯试验 | ○ | ○ | △ |
| 剪切试验 | ○ | ○ | ○ |
| 冲击试验 | ○ | ○ | △ |
| Z向拉伸试验 | ○ | △ | △ |
| 超声波试验 | ○ | ○ | ○ |
| 晶间腐蚀 | ○ | ○ | ○ |
| 覆层厚度 | ○ | ○ | ○ |
| 注：○—表示必须进行的检验项目；△—表示按需方要求检验项目。 |

**2**每批复合钢板的取样数量、取样方法及试验方法应符合表7.2.3-2的规定。经供需双方协议，也可进行其它项目的检验。

**表7.2.3-2　取样数量、取样方法及试验方法**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 取样数量 | 取样方法 | 试验方法 |
| 1 | 拉伸试验 | 1 | GB/T6396 | GB/T6396 |
| 2 | 外弯试验 | 1 | GB/T6396 | GB/T6396 |
| 3 | 内弯试验 | 1 | GB/T6396 | GB/T6396 |
| 4 | 抗剪切强度 | 2 | GB/T6396 | GB/T6396 |
| 5 | 冲击试验 | 3 | GB/T6396 | GB/T6396 |
| 6 | Z向拉伸试验 | 3 | GB/T 5313 | GB/T 5313 |
| 7 | 超声波探伤 | 抽检 | 进厂 | 附录A |
| 8 | 晶间腐蚀 | 2 | GB/T 4334 | GB/T4334 |
| 9 | 覆层厚度 | 2 | — | GB/T6396 |

## 7.3　安装质量控制

**7.3.1　复合钢板的安装质量控制应符合以下规定：**

**1** 安装施工现场应有健全的复合钢板焊接质量管理流程及制度。

**2**复合钢板杆件应按设计要求及本规程规定项目进行质量检查验收。

**3**对线形（纵向、拱度）宜实时监控，确保每单元准确就位。

**4**安装前或杆件进入现场的杆件应进行全面检查、验收，并作详细记录。

**7.3.2**安装现场所使用的量具或仪器必须采用经计量检定、校准合格的计量器具，并应按有关规定进行操作。

**7.3.3**操作人员岗前应进行安全教育培训及技术交底。

**7.3.4**安装现场复合钢板焊缝的焊接工艺评定试验应符合本标准附录C的规定。

**7.3.5**复合钢板焊接应对操作人员进行专项实操培训，并进行考核。

**7.3.6**安装施焊环境湿度不应大于80%，温度不宜低于5℃，应采取必要的防风、防雨措施，并对基层钢板除湿或预热。

**7.3.7**复合钢板焊接前必须彻底清除待焊区域的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物，使其表面显露出金属光泽。

**7.3.8**复合钢板焊接施焊过程中应对过渡层的施焊厚度和焊道进行严格监控。

**7.3.9**焊缝返修应按本规程第6.2.9条执行。

**7.3.10**安装现场应编制产品试板计划书。产品试板焊制应严格按焊接工艺进行施焊，并经探伤合格，接头力学性能试验应符合本规程第6.2.5～6.2.10条规定。

## 7.4　质量检查

**7.4.1**　复合钢板的制造验收应符合以下规定：

**1**　复合钢板制造应有相应的技术标准、健全的质量管理体系和质量检验管理制度。

**2**　复合钢杆件及零部件验收必须使用计量检定、校准合格的计量器具，并应按有关规定进行操作。

**3**　复合钢板零部件制造加工各工序应按技术标准进行质量控制，每道工序完成后，应进行检查，并形成记录；工序间应进行交接检验，未经检查或经检查不合格的不得进行下道工序生产。

**4**　制造厂应按照施工图和本规程规定进行验收。

**5**　产品试板试件应按实际重量计算产品重量。

**6**　杆件出厂时，应提交产品合格证、钢材及辅材质量证明书或检验报告、施工图、杆件发送表及包装清单、焊缝重大修补记录、产品试板的试验报告（有产品试板时）、成品检查记录、探伤检查记录、工厂试装记录（有试装时）等资料。

**7.4.2**　复合钢板的零件加工应符合以下规定：

**1**号料排版应符合本规程第6.2.1条的规定。

检验方法：软件复查，人工复查。

**2**复合钢板切割面应无裂纹、夹渣、分层等缺陷。

检验方法：观察检查，有异议时作渗透检查。

**3**崩坑缺陷或分层的修补应符合本规程附录E的规定。

检验方法：观察检查，有异议时作渗透检查。

**4**精密切割应符合本规程第6.2.2条的规定。

检验方法：观察检查，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、样块检查。

**5**矫正后的复合钢板表面不应有明显的凹痕或损伤。

检验方法：观察检查。

**6**零件矫正的允许偏差应符合本规程第6.2.3条的规定。

检验方法：观察检查，用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样板检查。

**7**零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使端面光滑匀顺。

检验方法：观察检查。

**8**零件基本尺寸的允许偏差应符合本规程第6.2.2条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺检查。

**9**U槽尺寸允许偏差应符合本规程第6.2.3条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

**7.4.3**　复合钢板的组装应符合以下规定：

**1**钢板接料应符合本规程第6.2.4条的规定。

检验方法：观察检查，用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查。

**2**杆件组装允许偏差应符合本本规程第6.2.4条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

**3**复合钢板桥面板块组装允许偏差应符合本规程第6.2.4条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

**4**零件组装前应按本规程第6.2.4条的规定对焊接区域进行处理。

检验方法：观察检查，用钢板尺检查。

**5**组装定位焊应符合本规程第6.2.7条的规定。

检验方法：观察检查，用钢卷尺、钢板尺、焊角检测器。

**7.4.4**　复合钢板的焊接应符合以下规定：

焊接检查应符合本规程第6.2.10条的规定。

检验方法：按本规程规定及设计要求，用无损检测设备、测温计、焊脚检测器、样块、目测、放大镜、钢板尺、钢卷尺等检查。

**7.4.5**　复合钢板的杆件矫正应符合以下规定：

**1**杆件矫正应符合本规程第6.2.3条的规定。

检验方法：用直角尺、钢板尺、钢平尺、塞尺、平台、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查。

**2**矫正后的杆件表面不得有凹痕和其他损伤。

检验方法：观察检查

**3**冷矫时应符合本规程第6.2.3条的规定。

检验方法：观察检查，用测温计检查。

**4**热矫时应符合本规程第6.2.3条的规定。

检验方法：观察检查，用测温计检查。

**7.4.6**　复合钢板的试装应符合以下规定：

试装杆件的主要尺寸及偏差应符合本规程第6.2.12条的规定。

检验方法：用直角尺、钢板尺、钢平尺、塞尺、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查。

# 附录A　不锈钢复合钢板超声波检验方法

**A.1**范 围

**A.1.1**铁路钢桥用不锈钢复合钢板（以下简称复合钢板）的超声波检测可采用本附录的检测方法。

**A.2**　一般要求

**A.2.1**进行复合钢板超声波检测的人员应经过技术培训，并取得相应的无损检测人员资格等级证书，其中检测报告签发人员应具备Ⅱ级或Ⅲ级资格。

**A.2.2**采用A型脉冲反射式超声波探伤仪，探伤仪指标应符合《A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》JB/T 10061的规定。探头直径为20mm～30mm，频率为2.5MHz～5MHz。

**A.2.3**检测面宜从覆层表面进行检测，如有需要也可从基层表面进行检测。检测表面不应有影响检测的氧化皮、油污及锈蚀等其它污物。

**A.2.4**耦合方式应采用直接接触法或水浸法。

**A.2.5**检测时应选用机油、甘油、水等透声性好，且不损伤检测表面的耦合剂。

**A.2.6** 除自动报警装置扫查外，探头的移动速度不应大于150mm/s。

**A.2.7**扫查应沿复合钢板宽度方向100%扫查。

**A.3**　灵敏度的确定

**A.3.1**探头应置于复合钢板完全结合部位，调节第一次底波高度为荧光屏满刻度的80%，并应以此作为基准灵敏度。

**A.3.2**扫查灵敏度不应低于基准灵敏度。

**A.4**检测时间

**A.4.1**超声波检测应在复合钢板复合、热处理、校平剪切或切割后进行。

**A.5**未结合区的确定

**A.5.1**在基准灵敏度的情况下，第一次底波高度低于荧光屏满刻度的5%，且明显有未结合缺陷反射波存在时（大于等于5%），该部位称为未结合区。移动探头，使第一次底波升高到40%，此时探头中心作为未结合区边界点。

**A.6**未结合区的评定

**A.6.1　未结合区指示长度的评定应符合以下规定：**

一个未结合区应按其指标的最大长度作为该未结合区的指示长度。若单个未结合区的指示长度小于30mm时，可不作记录。

**A.6.2　未结合区面积的评定应符合以下规定：**

多个相邻的未结合区，当其最小间距小于或等于20mm时，应作为单个未结合区处理，其面积为各个未结合区面积之和。未结合区面积小于900mm2时，可不作记录。

**A.6.3　未结合率的评定应符合以下规定：**

未结合率为任一1m×1m面积内未结合区面积所占的百分比。

**A.7**质量分级

**A.7.1**复合钢板质量分级应按本规程中表5.3.1规定执行。

**A.7.2**在坡口的预定线两侧各50mm（板厚大于100mm时以板厚的一半为准）的范围内，未结合的指示长度大于或等于30mm时，应判为不合格，可按本规程中第5.3.1条的规定进行修复。

**A.7.3**在任一平方米内不作记录的未结合区不应超过两处。

**A.8**结合率

**A.8.1**结合率按下式计算：

*J*=（*S*—*S*1）/*S*×100% ………………………………（**A.8.1**）

式中：

*J*——结合率，%；

*S*——复合钢板的面积，单位为平方厘米（cm2）；

*S*1——未结合区的总面积，单位为平方厘米（cm2）。

**A.9**检测报告

**A.9.1**复合钢板超声波检测报告应包括下列内容：

1 委托单位、检测报告编号；

2 覆层与基层的钢号及厚度；

3 复合钢板的级别代号、批号、板编号及尺寸；

4 探伤仪型号、探头直径及频率，耦合剂；

5 检测标准；

6 检测结果：以示意图表示未结合区位置、形状及尺寸（长度及面积），结合率数值，并按相应标准对每张复合钢板做出合格与否的结论；

7 检测日期；

8 检测人员及审核人员签字。

# 附录B　不锈钢复合钢板焊接材料

**B.0.1　不锈钢复合钢板基材的焊接材料可参照表B.0.1选用。**

**表B.0.1　复合钢板基材焊接材料**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 基材 | 焊条电弧焊 | 埋弧焊 | 实心气体保护焊 | 药芯气体保护焊 |
| 标准 | 钢板牌号 |
| GB/T 700 | Q235-A、B、C、D | GB/T5117：E43XX、E50XX | GB/T5293：S43X(S)XX-X | GB/T8110：G49AXXX | GB/T10045：T43XX-XXX-X T49XXXXX-X |
| GB/T 714 | Q345q-C、D、E | GB/T5117：E50XX | GB/T5293：S49X(S)XX-X | GB/T8110：G49AXXX | GB/T10045：T49XX-XXX-X |
| Q370q-C、D、E |
| Q420q- D、E、F | GB/T5118：E55XX | GB/T12470：S55XX-X | GB/T8110：G55AXXX | GB/T17493：T55X-XX-XX |
| Q460q- D、E、F | GB/T5118：E62XX | GB/T12470： S62XX-X | GB/T8110：G55AXXX | GB/T17493：T62X-XX-XX |
| Q500q- D、E、F |

注：1、焊材熔敷金属的力学性能不应低于焊材标准或设计要求。

2、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。

3、桥梁主结构应采用低氢型焊接材料，扩散氢含量不应大于5mL/100g。

4、气体保护焊用保护气体应符合焊材说明书要求。

**B.0.2　不锈钢复合钢板过渡层、覆层的焊接材料可参照表B.0.2选用。**

**表B.0.2　复合钢板过渡层和覆层焊接材料**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 不锈钢覆层 | 过渡层焊材 | 覆层焊材 |
| 标准 | 钢板牌号 | 焊条电弧焊 | 实心气体保护焊 | 药芯气体保护焊 | 焊条电弧焊 | 实心气体保护焊 | 药芯气体保护焊 |
| GB/T 3280，4237 | 022Cr19Ni10（S30403） | GB/T983：E309L-XX | GB/T29713：309L | GB/T17853：TS309L-XX | GB/T983：E308L-XX | GB/T29713：308L | GB/T17853：TS308L-XX |
| 06Cr18Ni11Ti（S32168） | GB/T983：E309-XX E309L-XX | GB/T29713：309、309L | GB/T17853：TS309-XX、TS309L-XX | GB/T983：E347-XX E347L-XX | GB/T29713：347、347L | GB/T17853：TS347-XX、TS347L-XX |
| 022Cr17Ni12Mo2（S31603） | GB/T983：E309LMo-XX | GB/T29713：309LMo | GB/T17853：TS309LMo-XX | GB/T983：E316L-XX | GB/T29713：316L | GB/T17853：TS316L-XX |

注：1、桥梁主结构应采用低氢型焊接材料，扩散氢含量不应大于5mL/100g。

2、气体保护焊用保护气体应符合焊材说明书要求。

# 附录C　铁路钢桥用不锈钢复合钢板焊接工艺评定试验

**C.1　一般要求**

**C.1.1**复合钢板焊接工艺应以焊接工艺评定作为依据。

**C.1.2**复合钢板焊接工艺评定条件应与实际制造加工或施工工况相对，所用复合钢板及焊接材料应与产品相同。

**C.1.3**制造厂应根据复合钢板的类型、结构特点、接头形式、焊接方法、焊接位置等制订评定方案，拟定评定指导书，进行评定试验。

**C.1.4**制造厂首次采用不锈钢复合钢板和焊接材料应进行焊接工艺评定。在同一制造厂已评定并批准的焊接工艺，可不再评定；如下列情况之一发生改变，应重新进行工艺评定：

1覆层、基层单项钢材牌号、交货状态改变；

2焊接材料组合中任意一种型号改变；

3焊接方法或焊接位置改变；

4衬垫材质改变；

5焊接电流、焊接电压和焊接速度改变±10%以上；

6坡口形状和尺寸改变（坡口角度减少10°以上，熔透焊缝钝边增大2mm以上，无衬垫的根部间隙变化2mm以上，有衬垫的根部间隙变化在﹣2～+6mm以上）；

7预热温度低于规定的下限温度20℃时；

8电流种类和极性改变。

**C.2**试板

**C.2.1**试板代表的厚度应根据不锈钢复合钢板基层厚度按照现行国家、行业标准执行。

**C.2.2**试板长度应根据样坯尺寸、数量（含附加试样数量）等因素予以综合考虑，自动焊不宜小于600mm，焊条电弧焊、CO2气体（或混合气体）保护焊不得小于400mm。宽度应根据板厚、试样尺寸、探伤要求确定。

**C.3　检验及试验**

**C.3.1**焊缝的外观质量应符合本技术条件第6.2.5-5条的规定。

**C.3.2**对接焊缝、全熔透角焊缝应进行超声波探伤，质量等级应达到Ⅰ级要求；部分熔透角焊缝和T形角焊缝应进行超声波或渗透探伤，质量等级应达到II级要求。

**C.3.3**样坯截取位置应根据焊缝外形及探伤结果，在试板的有效利用长度内作适当分布。试样加工前可对样坯进行冷矫正。

**C.3.4**力学性能试验项目、试样数量及试验方法应符合表C.3.4的规定。

**表C.3.4 力学性能试验项目、试样数量及试验方法**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 试件型式 | 试 验 项 目 | 试样数量（个） | 试 验 方 法 |
| 对接接头试件 | 接头拉伸（拉板）试验 | 1 | GB/T2651 |
| 焊缝金属拉伸试验 | 1 | GB/T2652 |
| 接头侧弯试验1) | 1 | GB/T2653 |
| 低温冲击试验2) | 6 | GB/T2650 |
| 接头硬度试验 | 1 | GB/T2654 |
| 不锈钢晶间腐蚀试验3) | 2 | GB/T4334 |
| 焊透角接试件 | 焊缝金属拉伸试验 | 1 | GB/T2652 |
| 低温冲击试验 | 6 | GB/T2650 |
| 接头硬度试验 | 1 | GB/T2654 |
| 部分焊透角接试件T形接头试件 | 焊缝金属拉伸试验 | 1 | GB/T2652 |
| 接头硬度试验 | 1 | GB/T2654 |

注：1、侧弯试验弯曲角度α=180°。板厚≤16mm时，弯辊直径d=2a（a为试样厚度），板厚>16mm时，弯辊直径d=3a（a为试样厚度）。当板厚≤10mm时，用一个面弯、一个背弯代替侧弯。

2、低温冲击试验缺口开在焊缝中心及热影响区（熔合线外1mm）处各3个。熔透角接试件，当盖板厚度≥28mm时，进行冲击试验。

3、复合钢板与复合钢板对接焊缝进行晶间腐蚀试验。试验弯曲角度α=180°，弯辊直径d≤4a（a为试样厚度）。

**C.3.5**焊接接头力学性能的试样的制取和试验应满足现行国家标准GB/T 2650～2654及GB/T 4334的规定。

**C.3.6**力学性能试验验收应符合下列规定：

1 当焊缝金属的拉伸试验结果（拉棒的屈服、抗拉强度及伸长率；当拉棒上不锈钢焊缝的影响，屈服强度不明显，可只考核抗拉强度和伸长率）不低于基材标准值时，应判为合格；当试验结果低于基材标准值，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若试验结果不低于母材标准值，可判为合格。

2 对接接头的拉伸试验结果（拉板的抗拉强度），当覆层不参与复合钢板强度设计时，接头拉伸的抗拉强度，不应低于标准规定的基层钢板强度下限值；当覆层参与复合钢板的强度设计时，对接接头的抗拉强度*R*m应按本规程表5.3.5中公式（2）计算。

3 接头侧弯试验结束后，若试样受拉面上的裂纹总长度不大于试样宽度的15%，且单个裂纹长度不大于3mm，应判为合格；当试验结果未满足上述要求，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若试验结果满足上述要求，可判为合格。

4 接头冲击试样应在去除覆层一侧的基层接头上取样。各种钢材焊接接头的冲击功应符合表C.3.6的规定。若冲击试验的每一组（3个）试样试验结果的平均值不低于规定值，且任一试验结果不低于0.7倍的规定值，应判为合格；当试验结果未满足上述要求，允许从同一试件上再取一组（3个）附加试样重新试验，若总计6个试验结果的平均值不低于规定值，且低于规定值的试验结果不多于3个（其中，不得有2个以上的试验结果低于0.7倍的规定值，也不得有任一试验结果低于0.5倍的规定值），可判为合格。

**表C.3.6 焊接接头的冲击功规定值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 钢材牌号 | Q345q | Q370q | Q420q，Q460q | Q500q |
| 质量等级 | C | D | E | C | D | E | D | E | D | E |
| 试验温度 | 0℃ | -20℃ | -40℃ | 0℃ | -20℃ | -40℃ | -20℃ | -40℃ | -20℃ | -40℃ |
| 对接焊缝和熔透角焊缝 | 34J | 41J | 47J | 54J |

注：1、试验温度可按照设计规定；

2、板厚≤20mm的薄钢板接头冲击功规定值为27J。

5 当焊接接头的硬度值不大于HV380时，应判为合格。

6 力学性能试验结束后，若发现试样断口上有超标的缺陷，应查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

C.3.7复合钢板对接焊缝的接头进行晶间腐蚀试验，试验方法应符合现行国家标准《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/T4334中方法E的规定，弯曲试样的表面无晶间腐蚀裂纹。试样弯曲部位的棱角处产生的裂纹，以及不伴有裂纹的滑移线、皱纹、表面粗糙等都不宜判定为晶间腐蚀裂纹。

C.3.8耐候钢与不锈钢复合钢板焊接接头，基层焊缝金属的耐候指数I应不小于6.0，或不低于母材标准值。

C.3.9每一评定应作一次宏观断面酸蚀试验，试验方法应符合现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验方法》GB/T 226的规定；单道焊缝的成型系数应为1.3～2.0。

**C.4 焊接工艺评定报告**

C.4.1评定报告应包括下列内容：

1 母材和焊接材料的型（牌）号、规格、化学成分和力学性能等；

2 试板图；

3 试件的焊接条件及施焊工艺参数；

4 焊缝外观及探伤检验结果；

5 力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果；

6 结论。

# 附录D　铁路钢桥不锈钢复合钢板焊缝检测质量要求

**D.0.1**不锈钢复合钢板焊接接头超声波检测方法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的规定，检测等级和评定应同时满足本附录的要求。

**D.0.2**不锈钢复合钢板焊缝表面检测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的规定。

**D.0.3**不锈钢复合钢板焊缝射线检测方法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/T3323.1的规定。

**D.0.4**　超声波对不锈钢复合钢板焊缝检测前期，检测人员应根据本工程所用不锈钢复合钢板材质、焊接接头形式制作对比试块，以便获得声波通过覆层的真实折射率，精确声波反射几何关系。

**D.0.5**不锈钢复合钢板焊缝无损检验人员及报告签发人员应持国家相关部门颁发的有效的Ⅱ级（含Ⅱ级）以上的资格。

**D.0.****6**　焊接接头超声波探伤质量评定应满足下列规定：

**1**　超声波探伤的距离—波幅曲线应符合表D.0.6-1的规定。

**表D.0.6-1　距离—波幅曲线灵敏度**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 焊缝质量等级 | 基层板厚（mm） | 判废线 | 定量线 | 评定线 |
| 对接焊缝Ⅰ、Ⅱ级 | 10～46 | φ3×40-6dB | φ3×40-14dB | φ3×40-20dB |
| ＞46～80 | φ3×40-2dB | φ3×40-10dB | φ3×40-16dB |
| 全焊透角焊缝Ⅰ级 | 10～80 | φ3×40-4dB | φ3×40-10dB | φ3×40-16dB |
| φ6 | φ3 | φ2 |
| 注：φ6、φ3、φ2表示纵波直探头探伤的平底孔参考反射体尺寸。 |

评定线以上至定量线以下为弱信号评定区（Ⅰ区）；定量线至判废线为长度评定区（Ⅱ区）；判废线及以上区域为判废区（III区）。

**2**　缺陷评定

对不锈钢复合钢板焊缝检测时，应考虑、分析反射信号位置。根据信号及信号位置对超过评定线的缺陷信号分析其是否具有裂纹等危害特征，如有怀疑应采取改变探头角度、增加探头数量、结合结构特征对信号作判定，如对波形、信号位置不能准确判断时，应辅以其他检验方法作综合判定。

最大反射波幅位于长度评定区（Ⅱ区）的缺陷，其指示长度小于10mm时按5mm计。

相邻两缺陷各向间距小于8mm时，两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

**3**　检验结果的等级分类

最大反射波幅位于长度评定区（Ⅱ区）的缺陷，根据缺陷指示长度和多个缺陷的累计长度按表D.0.6-2的规定进行分级。满足表D.0.6-2质量等级要求的判为合格；不满足表D.0.6-2质量等级要求的判为不合格。

**表D.0.6-2　长度评定区缺陷等级评定**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 评定等级 | 基层板厚 | 单个缺陷指示长度 | 多个缺陷的累积指示长度 |
| 对接焊缝Ⅰ级 | 10～60mm | 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Ⅱ级 | t/2，最小可为10mm | 在任意4.5t焊缝长度范围不超过t |
| 全焊透角焊缝 | t/3, 最小可为10mm | - |

最大反射波幅不超过评定线的缺陷，均评为Ⅰ级。

反射波幅位于弱信号评定区（Ⅰ区）的非裂纹性缺陷，均评为Ⅰ级。

超声波探伤判定为裂纹、未熔合、未焊透、焊缝附近（20mm）覆层分层等危害性缺陷之一，应判为不合格。

反射波幅位于判废区（III区）的缺陷，无论其指示长度如何，应判为不合格。

**4**　不合格的缺陷，应予返修。返修区域修补后，应按原探伤条件对返修部位及补焊受影响区进行复验，复探部位的质量等级应按本附录评定。

# 附录E　不锈钢复合钢板及加工缺陷的修补

**E.0.1**　不锈钢复合钢板及加工缺陷的修补方法应符合表E.0.1的规定。

**表E.0.1　超标缺陷修补方法**

| 序号 | 缺 陷 种 类 | 修　补　方　法 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 结合面分层 | 去除缺陷部位覆层及基层0.3mm～0.5mm。按覆层焊接工艺执行,补焊后修磨匀顺。 |
| 2 | 覆层表面划痕等 | 深度为0.2mm～0.4mm时，可修磨匀顺；深度超过0.5mm时，应在补焊后修磨匀顺。 |
| 3 | 气割边缘的缺口（或崩坑） | 深度≤2mm可修磨匀顺，超过2mm的，覆层修磨匀顺（缺陷两侧，长度方向修磨长度不小于25mm），基层磨出坡口补焊后修磨匀顺。 |
| 4 | 焊缝裂纹及弯曲加工时产生的边缘裂纹 | 清除裂纹，按补焊工艺补焊后修磨匀顺。 |
| 5 | 电弧擦伤 | 深度不大于0.5mm的缺陷，用砂轮修磨匀顺；深度大于0.5mm的缺陷，补焊后用砂轮磨平。 |
| 6 | 未焊透、夹渣、气孔、凹坑等 | 用碳弧气刨等清除后补焊并修磨匀顺 |
| 7 | 焊缝表面高低不平（含焊接接头处） | 用砂轮修磨匀顺 |
| 8 | 咬边 | 深度小于1mm的用砂轮修磨匀顺，深度大于1mm的，补焊后用砂轮修磨匀顺 |
| 10 | 烧穿 | 清除熔渣，并用手弧焊补焊烧穿缺口 |

**E.0.2**　修补焊工应有相应的资质，补焊按经评定合格的焊接工艺进行，并做出补焊记录。

**E.0.3**　补焊后必须经超声波探伤检查合格后再进行渗透着色检查。补焊表面不允许有裂纹、气孔。表面必须修磨光洁，并保证钢板最小厚度。桥梁用不锈钢复合钢板缺陷部位修补不应超过两次。

# 本规程用词说明

**1**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”。

**2**条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

ASTM A263-12《铬-不锈钢复合钢板》

ASTM A264-12《铬-镍不锈钢复合钢板》

GB/T 247《钢板和钢带验收、包装、标识及质量证明书的一般规定》

GB/T 700-2006《碳素结构钢》

GB/T 709《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》

GB/T 714《桥梁用结构钢》

GB/T 983《不锈钢焊条》

GB/T 985.4《复合钢的推荐坡口》

GB/T 2650《金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验》

GB/T 2651《焊接接头拉伸试验方法》

GB/T 2653《焊接接头弯曲试验方法》

GB/T 3280《不锈钢冷轧钢板和钢带》

GB/T 4237《不锈钢热轧钢板和钢带》

GB/T 4334《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 226《钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验方法》

GB/T 5313《厚度方向性能钢板》

GB/T 6396《复合钢板力学及工艺性能试验方法》

GB 6722《爆破安全规程》

GB/T 7734《复合钢板超声检测方法》

GB/T 8165《不锈钢复合钢板和钢带》

GB/T 13148《不锈钢复合钢板焊接技术要求》

GB/T 16957《复合钢板 焊接接头力学性能试验方法》

GB/T 20878《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》

GB 50661《钢结构焊接规范》

GB/T 33000《企业安全生产标准化基本规范》

JB/T 10061《A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件》

JIS G 3601-2012《Stainless-clad steels（不锈钢包层钢）》

NB/T 47002.1《压力容器用复合板 第1部分：不锈钢-钢复合板》

NB/T 47013.3《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》

NB/T 47013.5《承压设备无损检测 第5部分：渗透检测》

NB/T 47014《承压设备焊接工艺评定》

TB/T 3556《铁路桥梁用结构钢》

TB 10091《铁路桥梁钢结构设计规范》

TB 10095《铁路斜拉桥设计规范》

**中国工程建设标准化协会标准**

**铁路钢桥不锈钢复合钢板应用技术规程**

**T/CECS ××× —202×**

# 条文说明

目　　次

[1　总　　则 55](#_Toc24251)

[3　材　　料 60](#_Toc25338)

[4　设　　计 62](#_Toc24340)

[4.1　一般规定 62](#_Toc8307)

[4.2　选材设计 62](#_Toc4692)

[4.3　计 算 62](#_Toc29473)

[4.4　构造设计 63](#_Toc18751)

[5　制 造 65](#_Toc32708)

[5.1　一般规定 65](#_Toc2634)

[5.2　制造工艺 65](#_Toc5736)

[5.3　质量要求 70](#_Toc3370)

[6　施工工艺 73](#_Toc15619)

[6.1　一般规定 73](#_Toc199)

[6.2　杆件制作 73](#_Toc19581)

[7　验收与质量控制 76](#_Toc12679)

[7.1　一般规定 76](#_Toc16984)

[7.2　材料验收 76](#_Toc18122)

[7.3　安装质量控制 77](#_Toc28851)

# 1　总　　则

**1.0.1、1.0.2**　不锈钢复合钢板兼具良好的力学、工艺性能和耐腐蚀性能，广泛应用于石油、化工、轻工、海水淡化、核工业的各类压力容器。在铁路钢结构桥梁的桥面结构上选用不锈钢复合钢板，替代传统的钢筋混凝土桥面板，在减轻桥梁自身重力的同时可大幅提高桥面结构的抗腐蚀性能，技术经济效益显著。

国内在京沪高速铁路南京大胜关长江大桥的工程建设中首次提出了桥面结构采用不锈钢复合钢板的方案，中国船舶集团有限公司第七二五研究所于2006年牵头开展并完成了铁路大桥用复合钢板选材及性能试验研究，开展了不锈钢复合钢板桥面道床稳定性试验，为不锈钢复合钢板应用至铁路钢桥奠定了基础。中国铁道科学研究院集团有限公司依托京沪高速铁路济南黄河大桥、连淮扬镇铁路五峰山长江大桥等项目，开展了不锈钢复合钢板构造及疲劳细节试验；依托汉巴南铁路嘉陵江大桥，开展了不锈钢复合钢板耐道砟作用试验。南京钢铁股份有限公司依托平潭海峡大桥开展了不锈钢复合钢板的母材及焊接接头疲劳性能试验研究。中铁四局集团有限公司对不锈钢复合钢板的焊接工艺、焊缝检测、静力和疲劳性能开展了理论和试验研究，制定了不锈钢复合钢板的焊接工艺评定试验标准和焊接质量无损检测操作规程。此外，中铁山桥集团有限公司、中铁九桥工程有限公司等单位结合实际工程开展了大量的不锈钢复合钢板焊接工艺性能评定等应用试验。

2009年合肥铁路枢纽南环线主跨229.5m连续钢桁柔性拱桥首次采用爆炸复合成型的不锈钢复合钢板作为桥面结构，2015年徐盐铁路盐城特大桥主跨312m连续钢桁梁斜拉桥首次采用热轧复合成型的不锈钢复合钢板作为桥面结构。至2023年，不锈钢复合钢板已应用于国内60余座铁路钢结构桥梁（见表1），成为国内铁路钢桥桥面结构的首选型式，部分工程也将复合钢板用于铁路钢桥其它结构部位或附属工程。但不锈钢复合钢板作为近年来铁路桥梁领域的一项新技术，在选材、设计、施工、验收和维护等方面有待进一步规范，以保障工程质量，促进不锈钢复合钢板在桥梁工程领域的进一步推广和应用。

**表1　铁路钢桥不锈钢复合钢板应用情况统计**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桥名桥式 | 基层 | 覆层 |
| 钢号 | 厚度(mm) | 钢号 | 厚度(mm) |
| 成都至达州至万州铁路1-32m简支钢箱梁 | Q345qD | 16 | S31603 | 3 |
| 粤东城际铁路1-64/1-72m简支钢桁梁 | Q370qD | 12 | 4 |
| 平潭海峡公铁两用大桥26-80m/8-88m简支钢桁梁桥 | Q370qD | 36 | 3 |
| 京张高铁官厅水库特大桥8-110m简支钢桁梁桥 | Q370qE | 12 | 4 |
| 绍兴市域铁路金柯桥大道站2-24m简支钢箱梁 | Q345qD | 16 | S32168 | 3 |
| 沪通铁路高桥嘴装卸线特大桥2-48m简支钢桁梁桥 | Q345qD | 16 | 3 |
| 南通港港区铁路洋口运河特大桥1-56m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 梅汕铁路贾里特大桥1-64m简支钢桁梁 | Q370qD | 14 | 3 |
| 梅汕铁路跨厦深铁路特大桥1-64m简支钢桁梁 | Q370qD | 14 | 3 |
| 深江铁路广中江特大桥1-64m简支钢桁梁 | Q345qD | 14 | 3 |
| 沪通铁路太仓至徐行上行联络线特大桥1-64m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |

**续表1　铁路钢桥不锈钢复合钢板应用情况统计**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桥名桥式 | 基层 | 覆层 |
| 钢号 | 厚度(mm) | 钢号 | 厚度(mm) |
| 沪通铁路徐杨特大桥1-64m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | S32168 | 3 |
| 上海段-沪苏湖铁路淀浦河中桥1-64m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 湖杭铁路跨大源溪特大桥主跨77.8m连续钢桁梁桥 | Q370qD | 14 | 3 |
| 广州南沙港铁路西江特大桥1-80m简支钢桁梁 | Q370qE | 14 | 3 |
| 广州南沙港铁路龙穴南水道特大桥1-80m简支钢桁梁 | Q370qD | 14 | 3 |
| 新长铁路宿连航道铁路桥1-80m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 梅汕铁路跨长深高速公路大桥1-96m简支钢桁梁 | Q370qD | 14 | 3 |
| 深江铁路广中江特大桥1-96m简支钢桁梁 | Q345qD | 14 | 3 |
| 京港高铁乐化东联络线左线特大桥1-96m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 南通港港区铁路东灶新河特大桥1-96m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 沪通铁路徐行至太仓南下行联络线特大桥1-96m简支钢桁梁 | Q370qD | 16 | 3 |
| 广州南沙港铁路跨江门大道互通特大桥1-112m简支钢桁梁 | Q370qD | 28-40 | 3 |
| 深江铁路广中江特大桥1-112m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 沪通铁路高桥嘴装卸线特大桥1-112m简支钢桁梁桥 | Q370qD | 16 | 3 |
| 潍莱铁路右线跨青荣城际特大桥主跨120m钢桁梁桥 | Q370qENH | 14 | 3 |
| 宁波枢纽余姚江特大桥1-128m简支钢桁梁 | Q370qD | 16 | 3 |
| 京港高铁乐化东联络线右线特大桥1-128m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 南通港港区铁路洋口运河特大桥1-128m简支钢桁梁 | Q345qD | 16 | 3 |
| 上海段-沪苏湖铁路松江特大桥1-128m简支钢桁梁 | Q370qD | 16 | 3 |

**续表1　铁路钢桥不锈钢复合钢板应用情况统计**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桥名桥式 | 基层 | 覆层 |
| 钢号 | 厚度(mm) | 钢号 | 厚度(mm) |
| 广州南沙港铁路跨鸡鸦水道主桥主跨175m连续钢桁梁桥 | Q370qE | 28、48 | S32168 | 3 |
| 北京丰台特大桥1-112m简支钢箱拱桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 梅汕铁路跨汕昆高速特大桥主跨160m刚架系杆拱-连续钢箱梁组合桥 | Q370qD | 14 | 3 |
| 川藏铁路茶曲大桥1-168m拱加劲简支钢桁梁桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 川藏铁路雅砻江特大桥主跨228m拱加劲连续钢桁梁 | Q370qENH | 16 | 3 |
| 沪汉蓉合肥铁路枢纽南环线主跨229.5m钢桁梁柔性拱桥 | Q345qD | 14 | 3 |
| 广州南沙港铁路洪奇沥特大桥主跨（360+360）m钢桁梁柔性拱桥 | Q370qE | 24-40 | 3 |
| 川藏铁路易贡藏布大桥主跨310m中承式钢桁拱桥 | Q370qD | 16 | S31603 | 3 |
| 西成高铁尖扎黄河特大桥主跨366m连续钢桁拱桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 商合杭铁路裕溪河特大桥主跨324m钢箱桁梁斜拉桥 | Q370qD | 14～22 | S32168 | 3 |
| 福厦铁路乌龙江特大桥主跨432m混合梁斜拉桥 | Q345qD | 16～24 | 3 |
| 广州南沙港铁路龙穴南特大桥主跨448m混合梁斜拉桥 | Q370qE | 16-24 | 3 |
| 广州南沙港铁路西江特大桥主跨600m混合梁斜拉桥 | Q345qD | 16-26 | 3 |
| 津潍铁路东营黄河公铁大桥副桥主跨（122+122）m钢桁梁斜拉桥 | Q370qE | 16 | S31603 | 3 |
| 济滨公铁黄河桥主跨（228+240+300）m矮塔钢桁斜拉桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 徐盐铁路盐城特大桥主跨312m钢桁梁斜拉桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 汉巴南铁路嘉陵江特大桥主跨335m混合梁斜拉桥 | Q345qD | 16～28 | 3 |
| 通苏嘉甬铁路杭州湾大桥中航道桥主跨（448+448）m钢桁梁斜拉桥 | Q370qD | 19 | 3 |
| 通苏嘉甬铁路杭州湾大桥主跨450m钢桁梁斜拉桥 | Q370qE | 16 | 3 |

**续表1　铁路钢桥不锈钢复合钢板应用情况统计**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桥名桥式 | 基层 | 覆层 |
| 钢号 | 厚度(mm) | 钢号 | 厚度(mm) |
| 杭绍台铁路椒江特大桥主跨480m钢桁梁斜拉桥 | Q370qE | 16 | S31603 | 3 |
| 津潍铁路东营黄河公铁大桥主桥主跨600m钢桁梁斜拉桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 安九铁路鳊鱼洲长江大桥主跨672m混合梁斜拉桥 | Q370qE | 16～24 | 3 |
| 池州公铁长江大桥主跨812m钢桁梁斜拉桥 | Q370/Q420qE | 16～24 | 3 |
| 巢马铁路马鞍山公铁长江大桥主跨（1120+1120）m钢桁梁斜拉桥 | Q370/Q420/Q500qE | 16～40 | 3 |
| 常泰长江大桥主跨1176m钢桁梁斜拉桥 | Q370/Q420/Q500qE | 16～24 | 3 |
| 川藏铁路色曲特大桥主跨880m钢桁梁悬索桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 川藏铁路怒江大桥主跨1000m钢桁梁悬索桥 | Q370qE | 16 | 3 |
| 川藏铁路大渡河大桥主跨1060m钢桁梁悬索桥 | Q370qD | 16 | 3 |
| 连镇铁路五峰山长江公铁两用大桥主跨1092m钢桁梁悬索桥 | Q370qE | 16～24 | 3 |
| G3铜陵长江公铁大桥主跨988m斜拉-悬索协作体系桥 | Q370/Q500qE | 16 | 3 |

**1.0.3**　相关规范有《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、《不锈钢复合钢板焊接技术要求》GB/T 13148、《复合钢板力学及工艺性能试验方法》GB/T 6396、《铁路桥梁用结构钢》TB/T 3556、《桥梁用结构钢》GB/T 714。

# 3　材　　料

**3.0.1**　考虑铁路钢桥的使用环境条件，不锈钢复合钢板覆层材料要满足耐低浓度酸性潮湿大气条件下的局部腐蚀、抗压轧损伤以及良好的可焊性和加工适用性，同时也要考虑到经济性。

奥氏体不锈钢品种较多，本规程中排除了含碳量较高和铬镍高合金不锈钢，重点推荐含钼的铬镍合金，钼的加入减少了产生局部腐蚀的可能性，其强度、塑性和硬度值较高，代表性的有S31603、S31703和254SMO，特别是254SMO具有和钛、镍几乎同等的抗腐蚀抗力。S30408、S30403和S32168不锈钢也是公认的耐腐蚀的材料，在化工、炼油以及核工业的耐腐蚀部件和低温焊接构件上被大量采用。奥氏体不锈钢有致密牢固的保护膜，即使产生局部破坏，空气或水中的氧会促使破裂的膜弥合，这种自修补能力对于提高材料的耐蚀性是十分重要的。

双相不锈钢（如S22053、S25073等）不仅具有优异的耐腐蚀性能，同时也具有较高的强度和韧塑性，是理想的耐腐蚀、抗压轧损伤的材料之一，只是价格较贵，使得其应用受到了一定影响。

选材要全面考虑材料的综合性能，确保主要性能，合理的选择和使用材料。因此可以认为在众多的材料当中，采用奥氏体不锈钢、双相不锈钢作为覆层材料是比较合理的选择。由于奥氏体、双相不锈钢品种繁多，表3.0.1列出了部分有代表性的牌号，也是目前国内铁路钢桥已设计采用的不锈钢牌号。根据钢桥所在地域环境条件以及应用部位的腐蚀状况，也可以选用其他牌号的不锈钢。

不锈钢复合钢板的基层材料，表3.0.1中列出了国家标准《碳素结构刚》GB/T 700、《桥梁用结构钢》GB/T 714中的部分牌号。根据设计需要，也可以选用其他钢种，如国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591中的适用牌号，等等。

# 4　设　　计

## 4.1　一般规定

**4.1.1**　本条规定了不锈钢复合钢板设计时依据的条件，主要包括铁路钢结构桥梁的腐蚀环境、设计使用年限和力学性能要求。

## 4.2　选 材

**4.2.3**　中国船舶集团有限公司第七二五研究所在铁路大桥用复合钢板选材研究中，综合考虑不锈钢的使用环境、力学性能、耐腐蚀性能以及价格等因素，推荐采用国标奥氏体不锈钢06Cr18Ni11Ti（美标321不锈钢）作为不锈钢复合钢板的覆层；后续针对不锈钢复合钢板的各项理论和试验研究基本均以奥氏体不锈钢复合钢板作为基本材料；实桥应用的主要为国标06Cr18Ni11Ti（美标321不锈钢）和国标022Cr17Ni12Mo2（美标316L不锈钢）两种奥氏体不锈钢。因此，从理论和实践角度，推荐优先采用奥氏体不锈钢复合钢板。

**4.2.4**　目前铁路钢桥不锈钢复合钢板中覆层的选材和规格主要以一般腐蚀环境（低腐蚀率环境）为标准。对于海洋环境及其它特殊环境条件，不锈钢的腐蚀机制及腐蚀速率可能存在较大差异，同时桥梁的设计使用年限和其它功能需求可能与常规情况不同，因此需要针对具体环境和功能要求开展不锈钢腐蚀速率试验，以确定不锈钢复合钢板中覆层的选材和规格。

## 4.3　计 算

**4.3.1**　考虑到不锈钢复合钢板母材及焊接接头的力学性能和同等厚度的基层钢板相当，其力学性能检验指标也参照基层制定，因此不锈钢复合钢板可按同等厚度的基层钢板进行计算，并根据不同工况考虑相应的覆层计算厚度。

**4.3.2**　不锈钢复合钢板的覆层厚度按照腐蚀速率和设计使用年限设计，本条规定假定结构达到设计使用年限时不锈钢覆层已全部锈蚀，故结构承载能力和刚度计算时不计入复合钢板的覆层。

**4.3.3、4.3.4**　本条规定假定结构在安装阶段不锈钢覆层未发生锈蚀，计算时可计入复合钢板的覆层厚度。考虑不锈钢复合钢板的未结合率、制造误差等因素，覆层的计算厚度不宜大于覆层总厚度的70%。

## 4.4　构造设计

**4.4.2、4.4.3**　根据中国船舶集团有限公司第七二五研究所对于不锈钢复合钢板覆层厚度的相关研究，在一般腐蚀环境（低腐蚀率环境）中，按照桥梁一百年的使用寿命要求，覆层的厚度不应小于2mm。不锈钢复合钢板直接用作有砟轨道铁路的桥面钢板时，不锈钢覆层将受到道砟的压轧和磨损；根据中国铁道科学研究院集团有限公司针对汉巴南铁路嘉陵江大桥桥面复合钢板开展的耐道砟作用试验，表明道砟对不锈钢覆层的作用有限，不锈钢覆层没有明显的损伤变化；因此，规定覆层厚度最小值为3mm，能够满足耐腐蚀和道砟磨损的需求。

**4.4.4**　目前铁路钢桥不锈钢复合钢板与其它钢构件的连接均采用焊接连接。若需要采用栓接或其它连接形式，应开展相应的理论及试验研究论证，充分论证连接形式的可靠性。

**4.4.6、4.4.7**　中国铁道科学研究院集团有限公司在京沪高铁济南黄河大桥桥面复合钢板的细节构造疲劳试验研究中，总结了不锈钢复合钢板的各类构造细节并进展了疲劳试验研究。研究结果表明：不复合钢板的构造细节疲劳性能和普通钢材相当；通过疲劳试验得到6组构造细节的疲劳S-N曲线和对应的容许应力幅，据此提出了对应的疲劳容许应力幅设计指标。

# 5　制 造

## 5.1　一般规定

**5.1.1**　不锈钢复合钢板生产制造企业的生产工艺装备至少包括数控切割设备、热处理设备、校平设备、超声波检测设备、表面处理设备和吊装设备。完善的质量保证体系和制度是质量管理的前提条件和企业质量管理水平的体现。质量保证体系和制度中，需重点控制与质量管理有关文件的编制、审核、批准、发放、变更和保存等。

**5.1.3**　不锈钢复合钢板产品制造工艺技术文件，因选择的制造工艺不同而不同，需根据不同的制造工艺特点详细制定。制造工艺技术文件包括基复板下料工艺（加工图）、爆炸复合工艺、加热及热轧工艺、修补焊接工艺、热处理工艺、校平工艺、表面处理工艺等。

## 5.2　制造工艺

**5.2.1、5.2.2**　爆炸复合法制造工艺适应性强，对材料牌号、化学成分、强度及韧塑性等物理和力学性能指标没有限制性要求，对基覆层厚度没有规定，厚度越厚，优越性越突出。而出于板形考虑，采用爆炸复合法生产制造桥梁用不锈钢复合钢板时，以总厚度t≥10mm为佳。

**1**　基板一般采用数控等离子切割机下料，复板一般采用剪板机或数控等离子切割机下料，下料尺寸及偏差由工艺设计确定。

**2**　基板表面粗磨，并采用80#～100#千叶轮或布轮精磨抛光；抛磨处理后的基板表面平直、光亮、干净，有瑕疵时打磨应圆滑过渡，深宽比不大于1:30，表面无氧化皮、腐蚀斑点、过烧、裂纹、夹杂、压坑等缺陷；复板表面采用80#～100#千叶轮或布轮精磨抛光。

基复板表面光洁度对爆炸复合界面结合质量有明显影响，表面越光洁，界面结合质量越好。长期实践经验表明，基复板表面经粗磨后，并经80#～100#千叶轮或布轮精磨抛光，其爆炸复合后界面结合强度可远超不锈钢母材自身强度，实现界面的优质冶金结合。因此本规程对基复板表面抛磨环节做出了明确规定：基复板表面采用80#～100#千叶轮或布轮精磨抛光，抛磨处理后的基复板表面平直、光亮、干净，无氧化皮、腐蚀斑点、过烧、裂纹、夹杂、压坑等缺陷。

**3**　爆炸复合可采用铵油炸药、硝铵炸药或粉状乳化炸药，炸药量可按下式计算确定：

Wg=（2E）1/2×[27/（8Vd）]×（ρ2t2）1/2

其中：Wg--单位面积装药量（g/cm2）；

E--炸药的Gruney能（kg·m/cm2） ；

Vd--炸药爆速（m/s）；

ρ2--复板密度（g/cm3）；

t2--复板厚度（cm）。

基复板安装间隙可按下式计算确定：

∆=3K×te×N

其中：∆--基复板安装间隙（cm）；

K--常数，通常取0.4～0.7；

te--装药厚度（cm）；

N--单位面积装药量与单位面积复板质量之比。

目前，国内不锈钢复合钢板的爆炸复合通常采用三种炸药：铵油炸药、硝铵炸药及粉状乳化炸药。三种炸药都能够实现不锈钢和桥梁钢的优质结合，生产制造厂家可根据需要自行灵活选用。实践证明，单位面积装药量等工艺参数的确定，可按本规程列出的计算公式计算，能够实现界面的高质量结合。

爆炸现场的爆炸复合作业，除了应满足爆炸复合工艺要求外，还应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722的规定。

**4**　爆炸复合后对界面结合质量进行超声波检测，检测方法按本规程附录A的规定执行。若界面结合率达不到合同规定的技术指标，按5.3.1的规定对超标未结合区进行修补焊接，并经渗透检测和超声波检测合格。

**5**　不锈钢复合钢板通常在符合要求的电阻炉或天然气炉中进行消应力退火或软化退火热处理。由于不锈钢与桥梁钢的组织和性能存在较大差异，因此不锈钢复合钢板的加热或热处理是一个复杂的问题。在制定加热或热处理工艺时，通常要兼顾二者的不同特性，既要确保基层桥梁钢的强度和韧塑性，同时也要保证覆层不锈钢的良好耐蚀性。故热处理工艺应根据覆层不锈钢的牌号和特性及基层桥梁钢的牌号和供货状态，由制造方制定。

**6**　不锈钢复合钢板经热处理后，厚度在40mm以下时，采用九辊、十一辊校平机进行校平；厚度大于40mm时，采用三辊或压力机校平。

**7**　校平后满足不平度指标要求的不锈钢复合钢板，通常对界面结合质量进行超声波复检，检测方法按本规程附录A的规定执行。

**8**　不锈钢复合钢板经超声波复检合格后，采用数控等离子切割机进行成品切割，切割尺寸及偏差应满足工艺图纸的规定；同时，按7.2.1～7.2.3的规定取样进行力学及工艺性能、覆层晶间腐蚀性能等试验，试验结果符合5.3.5～5.3.8的规定。

**9**　不锈钢复合钢板切边后，采用80＃～100＃千叶轮或布轮对覆层表面进行精磨抛光处理，或采用水喷砂或酸洗方法进行表面处理。表面处理后的覆层表面颜色均匀一致，不存在氧化斑点、麻坑、水迹等缺陷。

**10**　不锈钢复合钢板成品应逐张进行表面质量、不平度、厚度公差、外形尺寸等检验。检验结果符合5.3.2、5.3.3及5.3.9的规定。

**11**　不锈钢复合钢板的包装和标识通常符合以下规定：

（1）不锈钢复合钢板应采取适当方式包装，以避免覆层表面的擦伤、划伤；

（2）不锈钢复合钢板应在其端部覆层的同一部位标示出产品的生产批号、牌号（覆层牌号+基层牌号）、尺寸、级别、制造厂家、生产日期等；

（3）不锈钢复合钢板交货时应提供产品质量证明书（原件）以及基层和覆层材料的质量证明书复印件；

（4）其余应按现行国家标准《钢板和钢带验收、包装、标识及质量证明书的一般规定》GB/T 247的规定执行。

**5.2.3、5.2.4**　轧制复合法的生产过程不受气候影响、生产效率高、生产过程无污染，适合宽幅、薄规格的桥梁复合钢板的批量生产，能生产覆层厚度大于等于0.5mm，总厚度大于5.0mm的桥梁用不锈钢复合钢板。

**1**　真空轧制复合钢板对生产过程控制要求高，特别是对基层和覆层表面清洁度、复合坯的真空度、轧制压缩比等都有很高要求。覆层和基层表面一定要做到清洁，无氧化层。一般情况下，真空度越高，轧制压缩比越大，越有利于界面冶金结合。由于各制造方的装备能力不同，真空度和压缩比无法作出硬性规定。建议复合坯的真空度在100Pa以下，同时压缩比在4.0以上。

**2**　复合坯的加热轧制工艺必须兼顾不锈钢和桥梁钢二者的特性，既要确保基层桥梁钢的强度和韧塑性，同时也要保证覆层不锈钢的良好耐蚀性。加热工艺及轧制工艺应根据覆层不锈钢的特性及基层桥梁钢的性能要求由制造方制定。

**3**　根据交货状态不同，轧制复合钢板可进行热处理状态交货，热处理工艺也应兼顾不锈钢和桥梁钢二者的特性由制造方制定。具体的制造流程如下：

（1）根据复合钢板成品尺寸，结合轧制压缩比要求，计算组坯所需的基层坯料和覆层坯料的尺寸规格，然后按尺寸要求准备相应的坯料。

（2）坯料表面处理即对基层及覆层坯料的待复合面进行打磨处理，清除表面的钝化膜及氧化铁皮等，使待复合面完全露出新鲜金属。

（3）复合坯制备一般有两种组坯方式，一种是四层对称组坯，即按基层-覆层-覆层-基层四层对称方式组坯，覆层之间涂刷隔离剂，四周封焊并抽真空获得所需的复合坯；另一种是单面组坯，即一块覆层对应一块基层，覆层和基层四周焊接并抽真空形成单面复合坯。

（4）复合坯在轧制前先进行加热，加热过程首先保证复合坯不开裂，且复合坯温度均匀，特别是覆层不锈钢需达到设定温度，确保覆层与基层的结合。

（5）加热后将复合坯按工艺要求轧制到所需的尺寸规格。轧制过程应确保复合坯不开裂。轧制过程可分为粗轧和精轧，粗轧过程主要实现基层和覆层的良好冶金结合，精轧过程主要在基层的未再结晶区温度轧制，实现基层晶粒扁平化。

（6）复合钢板轧制后进行控冷，保证基层获得细小的晶粒，具有良好的力学性能；同时，冷却能有效缩短不锈钢在敏化温度区间的停留时间，提高不锈钢的耐蚀性。

（7）复合坯轧后进行热矫，保证复合钢板具有良好的板形，便于调运与切割。

（8）根据需要，复合钢板可进行热处理，对称组坯轧制复合钢板采用在未分板前进行热处理，消除复合钢板内应力，获得需要的组织类型；单面组坯复合钢板建议采用台车炉热处理，防止复合钢板变形。

（9）轧制复合钢板最后经成品切割、力学性能试验、超声波复检、成品表面处理、成品检验、包装等工序。

## 5.3　质量要求

**5.3.1**　在界面结合率的分级方面，本规程中要求1级（B1、R1）不锈钢复合钢板的结合率指标为100%，严于日本标准《Stainless-Clad Steels》JIS G3601:2012规定的大于等于98.5%的指标要求，也严于美国标准《Standard Specification for Stainless Chromium Steel-Clad Plate》ASTM A263-12和《Standard Specification for Stainless Chromium-Nickel Steel-Clad Plate》ASTM A264-12规定的大于等于99%的指标要求。

本规程中要求2级（B2、R2）不锈钢复合钢板的结合率指标为大于等于99%，也严于日本和美国标准95%、97%的规定，与国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165相同。

本规程中要求3级（B3、R3）不锈钢复合钢板的结合率指标为大于等于95%，与国家标准GB/T 8165和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12相同。

**5.3.3**　本规程中对不锈钢复合钢板的尺寸允许偏差（厚度、长度、宽度）和不平度的要求等效于国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12。

**5.3.5**　在界面剪切强度指标方面，本规程与美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12相比较有很大提高，ASTM A-264-12标准规定界面剪切强度指标大于等于140MPa，JIS G3601:2012标准规定界面剪切强度指标大于等于200MPa，而本规程规定界面剪切强度指标大于等于210MPa (1级和2级)和界面剪切强度指标大于等于200MPa（3级），与国家标准GB/T 8165相同。

 本规程中对不锈钢复合钢板屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冲击性能的要求等效于国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12。

**5.3.6**　本规程中对不锈钢复合钢板的弯曲性能的要求等效于国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12。

**5.3.7**　本规程与国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12相比，增加了不锈钢复合钢板的Z向拉伸性能试验。其指标应符合基层桥梁用结构钢规定的要求，同时试样拉断的位置不应在复合界面。

**5.3.8**　在不锈钢复合钢板覆层耐晶间腐蚀性能方面，本规程的要求等效于国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12。

**5.3.9**　本规程对不锈钢复合钢板表面质量（基层表面、覆层表面）的要求等效于国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12。

**5.3.10**　本规程与国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012相比，增加了不锈钢复合钢板覆层表面可以经喷砂处理的交货状态，与和美国标准ASTM A263-12、ASTM A264-12相同。

# 6　施工工艺

## 6.1　一般规定

**6.1.1**制造厂一般根据设计图进行工艺性审查，内容包括：杆件发送单元是否符合运输、现场施工条件，杆件是否标准化、通用化以减少工装的制造量，制造厂现有设备和条件是否满足制造需要，焊缝布置是否合理及焊接变形对质量的影响，焊接空间是否便于人员施焊，选用的复合钢板钢材、品种规格是否与设计要求相符，制造数量、质量要求是否明确。

**6.1.2**首次制造不锈钢复合钢板前，一般要编制制造加工方案和焊接材料工艺评定。特别是对于不锈钢复合钢板结构的接头形式及组合，当接头形式超出常规或常用的接头形式时，对新的接头形式进行优化组合后试验总结，并组织相关专业专家评审。后期编制不锈钢复合钢板杆件制造专项作业指导书或工艺卡片指导实际制造加工。

**6.1.3**采用试拼装检验整体（局部）结构的几何尺寸是否满足设计要求和单根杆件制造精度，及时发现问题并针对问题优化后期制造加工。

**6.1.4**制造厂应有完善的质量管理体系，对下料、零件制作、划线、组装、焊接、矫正、涂装等工序应有专职检验员对零部件进行检验及记录，对加工过程进行全过程监控，实现质量问题的可追溯性。

6.2　杆件制作

**6.2.1**目前钢结构的制造加工技术发展较快，数控设备及相应的配套软件在制造厂应用已较为广泛，号料、下料切割加工会根据工程备料数据库进行自动或专业及专项的排版或套料，进行精确下料并减小料损，进一步提高零部件精度。

**6.2.2**　切割面硬度会随着钢材强度的增加而增加，当不锈钢复合钢板基层Q420q～Q500强度级别钢板切割面的硬度不超过HV380。

当覆层面为正面下料或坡口切割时，切割面除打磨清理氧化层外，须打磨去除0.3～0.5mm厚度，消除因切割敷在切割面的覆层金属。

**6.2.3**　钢材在低温时塑性较差，为防止因冷矫引起脆断或冷压成型裂纹，应对冷矫时或冷压成型的环境温度加以严格限制。当需要焊接U槽时，可以参照按表6.2.3中简图②。

**6.2.4**不锈钢复合钢板制作尺寸较大的杆件或单元时，杆件或单元宽度超出复合钢板的制造宽度，因此对板材接料作出了要求。接料前应对复合钢板坡口处进行清理，并且接料时应在平台或专用接料平台上进行，有助于保证接口平齐，防止或减小错边量以及焊后接头处产生更大的焊接变形。

**6.2.5～6.2.7**目前不锈钢复合钢板在桥梁上主要用于桥面板，坡口形式及加工相对简单，主要为单面或双面坡口，加工简捷高效。坡口的选择以及定位焊应根据结构类型、制造加工方案和焊接工艺制定。

**6.2.8**T形接头③主要运用在主结构受力且有防腐要求的情况；当盖板面积交大，复合钢板为主要桥梁承载结构而防腐为非整体时，须在覆层侧进行开槽，达到基层与基层连接，确保此杆件或结构的强度。焊接方法应根据工厂条件选用，目前桥梁制造加工一般使用气体保护焊或二氧化碳气体保护焊。

复合钢板焊接一般情况优先焊接基层，再焊过渡层、最后焊接覆层。焊接主控过渡层厚度，过渡层厚度以结合面上下1～2mm，保证基层与覆层完全隔离。焊接时应根据焊接工艺试验诸多参数及焊接要求施焊。

**6.2.10**屈服强度等级大于等于500MPa的高强度钢应进行48小时不间断超声波检测，避免焊缝完全冷却后因结构或焊缝本身产生的内应力造成的延迟缺陷。

**6.2.11**试拼装应根据设计或桥梁结构特点，应编制专项预装方案，明确作出拼装主要控制项目、指标。

# 7　验收与质量控制

## 7.1　一般规定

**7.1**.**1**　本规程对于不锈钢复合钢板的检验和验收，与国家标准GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A-263-12、ASTM A-264-12相比，在规定由制造方质量检验部门进行检验的基础上，增加了“必要时需方可派员现场见证”的内容。

**7.1.2**　本规程对于不锈钢复合钢板的检验和验收，除了国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A-263-12、ASTM A-264-12规定的内容外，增加了“经供需双方协议，也可以进行其他项目的检验”的内容。

## 7.2　材料验收

**7.2.1**　本规程对于不锈钢复合钢板的检验和验收规则、分批原则，等效于国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A-263-12、ASTM A-264-12。每批由同一牌号的基层和覆层、同一厚度规格、同一爆炸复合工艺、同一热处理工艺生产的复合钢板组成。

**7.2.2**　本规程明确了不锈钢复合钢板的超声波检测范围为全面积范围，扫查方式采用沿复合钢板宽度方向，100%扫查。严于国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T 8165、日本标准JIS G3601:2012和美国标准ASTM A-263-12、ASTM A-264-12规定的“沿复合钢板宽度方向，间隔50mm的平行线扫查或间距不大于100mm的格子线扫查”

**7.2.3**不锈钢复合钢板的检验和验收项目、取样数量、取样方法等，在国家标准《不锈钢复合钢板和钢带》GB/T8165基础上，本规程中增加了Z向拉伸试验的相关内容。

## 7.3　安装质量控制

**7.3.1**施工现场应组建质量管理体系及相应的质量管理人员，针对复合钢板焊接进行全过程监控，并确认专人过程检查验收。现场应编制全桥线形控制方案及制定监控系统，对线形实时监控。

**7.3.4**不锈钢复合钢板焊接与单项板材焊接存在交大的区别，应根据焊接评定报告编制实际工况不锈钢复合钢板专项焊接作业，对操作人员进行工程实际操作培训和考核，并对施焊人员做详细交底，有助于焊接质量的提高。

**7.3.6**不锈钢复合钢板施焊过程中根据本规程对于过渡层的预留深度、焊接厚度、焊道数量和焊接质量按工艺要求应严格控制。对不锈钢复合钢板焊接应挑选施焊人员进行专项焊接培训，确保焊缝合格率，减少返修量。