



T/CECS XXX:202X

中国工程建设标准化协会标准

钢结构机器人焊接技术规程

Technical specification for robot welding of steel structures

(征求意见稿)

2025 年 9 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2022 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[2022]40 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 8 章和 1 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、焊接机器人技术要求、机器人焊接工艺评定、机器人焊接工艺、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，由中冶检测认证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，请反馈给中冶检测认证有限公司（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：

参编单位：

主要起草人：

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.....	(2)
3 基本规定.....	(3)
4 材料.....	(4)
5 焊接机器人技术要求.....	(5)
5.1 一般规定.....	(5)
5.2 机器人本体的技术要求.....	(5)
5.3 焊接设备的技术要求.....	(5)
5.4 控制系统的技术要求.....	(6)
5.5 焊接机器人工作站的技术要求.....	(6)
6 焊接工艺评定.....	(7)
6.1 一般规定.....	(7)
6.2 焊接工艺评定替代规则.....	(7)
6.3 重新进行焊接工艺评定的规定.....	(8)
6.4 焊接工艺评定试验及检验.....	(9)
7 机器人焊接工艺.....	(12)
7.1 母材准备.....	(12)
7.2 焊接材料要求.....	(12)
7.3 焊接设备要求.....	(12)
7.4 焊接操作人员要求.....	(13)
7.5 焊接接头的装配要求.....	(13)
7.6 定位焊和临时焊缝.....	(13)
7.7 焊接环境.....	(14)
7.8 焊接工艺技术要求.....	(14)
7.9 衬垫.....	(15)
7.10 引弧板和引出板.....	(15)
7.11 焊缝清理.....	(15)
7.12 返修焊.....	(15)
8 焊接检验.....	(16)
8.1 一般规定.....	(16)
8.2 焊缝检测.....	(17)

8.3 产品试板的检测.....	(18)
附录 A 不锈钢复合板焊接工艺评定报告格式.....	(19)
用词说明.....	(25)
引用标准名录.....	(26)
附：条文说明.....	(26)

Contents

1 General provisions.....	(1)
2 Terms and symbols.....	(2)
2.1 Terms.....	(2)
2.2 Symbols.....	(2)
3 Basic requirement.....	(3)
4 Materials.....	(4)
5 Technical requirements for welding robots.....	(5)
5.1 General requirments.....	(5)
5.2 Technical requirements for robot body.....	(5)
5.3 Technical requirements for welding equipment.....	(5)
5.4 Technical requirements for control system.....	(6)
5.5 Technical requirements for welding robot stationc.....	(6)
6 Qualification.....	(7)
6.1 Qualification.....	(7)
6.2 Substitute of welding procedure qualification.....	(7)
6.3 Requalification.....	(8)
6.4 Test and inspection of qualification Sample.....	(9)
7 Welding procedures of robot welding.....	(12)
7.1 Prepartion of base metal.....	(12)
7.2 Welding consumable.....	(12)
7.3 Welding equipment.....	(12)
7.4 Welding operator.....	(13)
7.5 Assembly of welding joint.....	(13)
7.6 Tack weld and temporary welds.....	(13)
7.7 Welding environment.....	(14)
7.8 Technics of welding procedure.....	(14)
7.9 Weld backing.....	(15)
7.10 Weld tab.....	(15)
7.11 Weld cleaning.....	(15)
7.12 Repairs.....	(15)
8 Inspection.....	(16)
8.1 General requirement.....	(16)

8.2 welds testing.....	(17)
8.3 Product sample testing.....	(18)
Appendix A Format of WPQR for stainless steel clad plates.....	(19)
Explanation of wording in this standard.....	(25)
List of quoted standards.....	(26)
Addition: Explanation of provisions.....	(27)

1 总则

1.0.1 为在钢结构机器人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钢结构工程中承受静载荷或动载荷、钢材厚度不小于 3mm 的结构的机器人焊接。

1.0.3 本规程适用的焊接方法包括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 钢结构机器人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 焊接机器人 robot

采用数字程序控制系统、模拟控制系统或适应控制系统等进行自动焊接的操作机。

2.1.2 关节型机器人 articulated robot

机器人的末端操作器的运动由类似人的腕、小臂、大臂、腰等多关节运动构成。

2.1.3 焊接机器人工作站 welding robot station

由焊接机器人及其周边设备（焊剂、变位机、上下料装置等）构成的，在一个站控制器统一控制下能自动独立完成某些类焊接件焊接操作的柔性加工单元。

2.1.4 机器人运动自由度 degree of freedom for robot

表示焊接机器人动作灵活性，用焊接机器人沿轴的直线移动和绕柱转动的数目表示（不包括夹持器的动作）。

2.1.5 轨迹重复精度 path repeatability

机械接口中心沿同一轨迹运动，重复多次所测得的连续位姿的一致程度。

2.1.6 焊接机器人示教编程 online programming

通过操作人员示教生成机器人操作程序的编程方式，即操作人员通过手把手、示教控制匣或控制键盘等方式，引导机器人进行一边操作，从而使机器人控制器内生成一个进行这项焊接操作的执行程序。

2.1.7 焊接机器人离线编程 offline programming

焊接机器人操作程序的生成不与作业对象直接发生关系的编程方式，即不对实际作业的机器人示教，而是脱离实际作业环境生产机器人操作程序的编程方式。

2.2 符号

B — 焊缝宽度；

C — 焊缝余高；

h_e — 焊缝计算厚度，也称焊喉尺寸；

h_f — 焊脚尺寸；

h_k — 加强焊脚尺寸；

t 、 δ — 母材板厚或壁厚；

Δ — 对接焊缝错边量；

3 基本规定

3.0.1 承担钢结构机器人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机器人焊接设备、检验和试验设备；
- 4 设备仪器、仪表应经计量检定、校准合格且在有效期内。

3.0.2 钢结构机器人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机器人焊接工艺评定，编制机器人焊接工艺方案、机器人焊接作业指导书或焊接工艺卡，处理施工过程中的机器人焊接技术问题；
- 2 焊接检验人员应负责对机器人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 机器人焊接操作人员应按照机器人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 钢结构机器人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，且有一年以上焊接生产或施工实践经验，宜有机器人焊接生产相关的施工经验；
- 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；
- 4 机器人焊接操作人员应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 的要求取得资格证书，并在资格证书覆盖范围内施焊；当用机器人焊接较复杂的构件时，宜对焊接操作人员进行附加考试；当机器人焊接操作人员首次使用不同型号焊接机器人或不同电弧跟踪方式的焊接机器人时，可进行适应性操作练习或附加考试；
- 5 焊接热处理人员应具备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 规定的技术能力。

3.0.4 机器人焊接宜用于承受静载荷的钢结构工程，当用于承受动载荷的钢结构工程时，应关注焊接接头应力集中敏感位置。

4 材料

4.0.1 钢结构机器人焊接用钢材和焊丝应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 等相关设计文件的要求，并应产品质量证明书或检验报告。钢材及其焊接材料的化学成分、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 钢结构机器人焊接用钢材和焊丝的化学成分、力学性能复验应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 等工程质量验收标准的有关要求。

4.0.3 钢结构机器人焊接用焊丝应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 和现行中国工程建设标准化协会标准《不锈钢结构焊接技术规程》T/CECS1295 的规定，且还应符合以下规定：

- 1 焊丝的直径宜为下差；
- 2 实心焊丝的松弛直径不应小于 800mm，药芯焊丝的松弛直径不应小于 600mm；
- 3 焊丝的翘距不应大于 10mm；
- 4 可人为增加送丝阻力检验送丝稳定性。

4.0.4 钢结构机器人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，保护气体中的二氧化碳含量（体积分数）不宜低于 99.9%。

4.0.5 钢结构机器人埋弧焊宜使用烧结焊剂，除应符合现行国家标准《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 的有关规定，还应符合以下规定：

- 1 焊剂应为颗粒状，能自由地通过焊剂供给管道、阀门和喷嘴等；
- 2 焊剂含水量不大于 0.10%；
- 3 焊剂中机械夹杂物的质量百分含量不大于 0.30%；
- 4 焊剂的硫含量不大于 0.060%，磷含量不大于 0.080%；
- 5 焊接时焊道应整齐，成形美观，脱渣容易。焊道之间、焊道与母材之间应平滑过渡。

5 焊接机器人技术要求

5.1 一般规定

- 5.1.1 焊接机器人应包含机器人本体、焊接设备、控制系统及其他辅助装置。
- 5.1.2 焊接机器人工作站应由焊接机器人、变位机及上下料装置等构成，焊接机器人工作站应能在一个控制器控制下自动独立完成钢结构构件的焊接操作
- 5.1.3 焊接机器人的轨迹重复定位精度不宜低于 0.2mm。
- 5.1.4 焊接机器人应具有焊接工艺参数库，并应具备自动调取和编辑焊接工艺参数库数据的功能。
- 5.1.5 焊接机器人在最大单轴运动速度下运行，实际运动速度与最大单轴运动速度的偏差不应超过 2%。
- 5.1.6 机器人本体与焊接电源之间应有适宜的通讯方式。
- 5.1.7 焊接机器人应配置电弧跟踪、激光跟踪或视觉等适宜的传感器。
- 5.1.8 焊接机器人安全相关技术要求应符合现行国家标准《弧焊机器人 通用技术条件》GB/20723 的要求。

5.2 机器人本体的技术要求

- 5.2.1 机器人本体运动自由度不宜少于 6 个。
- 5.2.2 机器人本体的负载能力不宜低于 6kg。
- 5.2.3 关节型机器人本体运动可达半径不宜低于 1.2m。
- 5.2.4 机器人本体的轨迹重复定位精度不宜低于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

5.3 焊接设备的技术要求

- 5.3.1 焊接设备应符合现行国家标准《弧焊设备 第 1 部分：焊接电源》GB 15579.1、《电弧焊机通用技术条件》GB/T 8118 等的相关规定。
- 5.3.2 焊接设备宜使用数字化焊接电源，支持焊接电流、焊接电压快速响应，具备电弧稳定性控制及过载保护功能。
- 5.3.3 机器人熔化极气体保护焊时，可配置清焊枪清理和剪丝剪断装置。
- 5.3.4 在使用实际最大焊接电流时，焊接设备的负载持续率应为 100%。
- 5.3.5 宜配置接触传感电源。
- 5.3.6 应支持机器人推拉焊枪。

5.4 控制系统的技术要求

- 5.4.1** 应具有示教编程、离线编程或自主编程的功能。
- 5.4.2** 应具有焊缝定位、焊缝自动识别或焊缝跟踪等功能。
- 5.4.3** 应具有自动避障、急停等功能。
- 5.4.4** 可具有层间自动清理焊渣的功能。
- 5.4.5** 应具有本地数据存储与断网容错功能。

5.5 焊接机器人工作站的技术要求

- 5.5.1** 焊接机器人移动装置的轨迹重复定位精度不应低于 0.2mm。
- 5.5.2** 变位机应具有可与焊接机器人联动的联动轴。
- 5.5.3** 变位机应具有自锁功能。
- 5.5.4** 应具有导入执行程序的功能。
- 5.5.5** 焊接机器人工作站应连续运行 8 小时无故障、无差错。
- 5.5.6** 焊接机器人工作站宜开放通讯协议。
- 5.5.7** 焊接机器人工作站至少应具有以下安全措施：
 - 1** 设置安全防护栏；
 - 2** 配备急停按钮；
 - 3** 设置远程控制；
 - 4** 具备防碰撞检测和安全保护功能。

6 焊接工艺评定

6.1 一般规定

- 6.1.1 施工单位首次采用机器人焊接工艺时，应在构件制作及安装施工之前进行焊接工艺评定。
- 6.1.2 机器人焊接工艺评定时，应由施工单位制订焊接工艺评定方案，拟定相应的焊接工艺评定指导书，在具有相应资质的检验机构的全程见证下施焊试件和切取试样。
- 6.1.3 焊接工艺评定试件应由本工程施工单位中的焊接人员施焊。
- 6.1.4 机器人焊接工艺评定不设免评定。
- 6.1.5 采用机器人焊接时，宜在平焊、横焊、立焊位置施焊，宜避免仰焊位置焊接。
- 6.1.6 机器人焊接工艺评定结果不合格时，可在原焊件上就不合格项目重新加倍取样进行检验。如还不能达到合格标准，应重新制订新的焊接工艺方案。
- 6.1.7 机器人焊接工艺评定的有效期应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。
- 6.1.8 机器人焊接工艺文件宜采用本规程附录 A 的格式。

6.2 焊接工艺评定替代规则

- 6.2.1 不同焊接方法的机器人焊接工艺评定结果不应互相替代。
- 6.2.2 不同焊接位置的机器人焊接工艺评定结果不应互相替代。
- 6.2.3 不同编程方式的机器人焊接工艺评定结果不应互相替代。
- 6.2.4 机器人本体的驱动方式不同，焊接工艺评定结果不应互相替代；驱动方式相同时，机器人本体重复定位精度低的合格焊接工艺评定结果可以替代机器人本体重复定位精度高的焊接工艺评定。
- 6.2.5 机器人焊接的跟踪方式不同，焊接工艺评定结果不应互相替代；跟踪方式相同时，跟踪精度低的合格机器人焊接工艺评定结果可以替代跟踪精度高的机器人焊接工艺评定。
- 6.2.6 不同钢材的机器人焊接工艺评定的替代规则应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。
- 6.2.7 当焊接接头形式变化时，应重新进行工艺评定，但十字形接头的评定结果可替代 T 形接头的评定结果。
- 6.2.8 有衬垫与无衬垫的单面焊全焊透接头不可互相替代；有衬垫单面焊全焊透接头和反面清根的双面焊全焊透接头不可互相替代；不同材质的衬垫不可互相替代。
- 6.2.9 评定合格的焊接工艺试件厚度在工程中覆盖的厚度范围应符合表 5.2.9 的规定。
- 6.2.10 评定合格的管接头，壁厚覆盖范围应符合本规程 6.2.9 条的规定，直径的覆盖范围应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。

表 6.2.9 评定合格的试件厚度在工程中覆盖的厚度范围

序号	试板厚度 (mm)	产品板厚 (mm)
1	$t \leq 16$	$0.5 t \leq \delta \leq 1.5 t$
2	$16 < t \leq 25$	$0.75 t \leq \delta \leq 1.5 t$
3	$25 < t \leq 80$	$0.75 t \leq \delta \leq 1.3 t$

6.3 重新进行焊接工艺评定的规定

6.3.1 当焊接坡口形式变化时，应重新进行工艺评定。

6.3.2 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减少不小于 2mm 或增加不小于 6mm。

6.3.3 机器人实芯焊丝气体保护焊和机器人药芯焊丝气体保护焊，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 焊丝规格的改变；
- 3 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；
- 4 保护气体流量增加 25% 以上，或减少 10% 以上；
- 5 不摆动焊接改为摆动焊接或摆动焊接改为不摆动焊接；
- 6 摆动焊时，焊枪摆动幅度超过评定合格值的 $\pm 20\%$ ；
- 7 摆动焊时，两端停留时间改变超过评定合格值的 $\pm 20\%$ ；
- 8 焊枪倾角改变改变超过评定合格值的 $\pm 10\%$ ；
- 9 焊接电流种类和极性改变；
- 10 多道焊和单道焊的改变；
- 11 立焊时，立焊方向改变；
- 12 清焊根改为不清焊根或不清焊根改为清焊根；
- 13 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%。

6.3.4 机器人埋弧焊，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 焊剂牌号改变；
- 4 单丝与多丝的改变；

- 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;
 - 9 焊枪倾角改变改变超过评定合格值的 $\pm 10\%$ 。
- 6.3.5** 机器人激光电弧复合焊, 下列条件之一发生变化时, 应重新进行工艺评定:
- 1 激光光斑类型改变;
 - 2 激光束直径或宽度与频率改变;
 - 3 电弧种类的改变;
 - 4 焊丝型号的改变;
 - 5 焊丝规格的改变;
 - 6 焊炬摆动幅度超过评定合格值的 $\pm 10\%$;
 - 7 两端停留时间改变超过评定合格值的 $\pm 20\%$;
 - 8 焊接电流种类和极性的改变;
 - 9 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;
 - 10 保护气体流量增加 25%以上, 或减少 10%以上;
 - 11 激光功率、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 5%、10%、7%和 10%。

6.4 焊接工艺评定试验及检验

- 6.4.1** 机器人焊接工艺评定试件和检验试样的制备应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。
- 6.4.2** 机器人焊接工艺评定试件的焊缝外观检验应符合以下规定:
- 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 焊缝两侧的咬边总长度应不大于焊缝总长度的 10%, 咬边深度不超过 0.5mm;
 - 3 焊缝的外观尺寸应符合本规程表 8.2.4 的规定。
- 6.4.3** 焊接工艺评定试件的无损检测应在外观检验合格后进行, 无损检测应符合本规程 8.2 节的规定。
- 6.4.4** 机器人焊接工艺评定试件的力学性能试验项目和数量应符合表 6.4.4 的规定。

表 6.4.4 机器人焊接工艺评定试件的力学性能试验项目和数量

试件类型	试验项目	试样数量（个）	试验方法
对接接头试件	对接接头拉伸试验	2	GB/T2651
	熔敷金属拉伸试验	1	GB/T2652
	接头弯曲试验	4	GB/T2653
	接头冲击试验	6	GB/T2650
	接头金相试验	1	GB/T226
	接头硬度试验	1	GB/T2651
全熔透 T 型接头试件或角接接头试件	熔敷金属拉伸试验	1	GB/T2652
	接头冲击试验	6	GB/T2650
	接头金相试验	1	GB/T226
	接头硬度试验	1	GB/T2651
部分熔透 T 型接头试件或角接接头试件	熔敷金属拉伸试验	1	GB/T2652
	接头金相试验	1	GB/T226
	接头硬度试验	1	GB/T2651
注 1：板厚不大于 12mm 的全熔透对接接头试件、焊缝有效厚度不大于 12mm 的部分熔透对接接头试件、焊缝有效厚度不大于 $\leq 8\text{mm}$ 的 T 型接头试件或角接接头可不进行焊缝金属拉伸试验。 注 2：接头弯曲试验的角度为 180° 弯心直径应为弯曲试样厚度的 4 倍。当试板板厚大于 14mm 时，进行两个面弯和两个背弯试验，当板厚不小于 14mm 时，进行四个侧弯试验。 注 3：全熔透 T 型接头试件或角接接头试件，当不开坡口侧的板厚不小于 28mm 时应进行冲击试验。 注 4：冲击试样应在焊缝中心和热影响区分别取 3 个试样。当对接接头的基层材料为异种材料时，应在焊缝中心和两侧热影响区分别取 3 个试样。 注 5：冲击试验温度应不高于基层材料标准规定的冲击实验温度或满足设计要求；。			

6.4.5 机器人焊接工艺评定试件的力学性能试验应符合下列规定。

1 每个接头拉伸试样的抗拉强度应不小于母材标准中规定的抗拉强度下限值，当为异种钢材连接时，则应不低于两种母材标准中规定抗拉强度下限值的较低者。

2 焊缝熔敷金属拉伸试样的屈服强度、抗拉强度、延伸率应不小于母材标准规定的下限值。

3 焊缝及热影响区冲击试样的冲击功平均值应不低于母材标准的规定值或设计要求的规定值，并允许一个试样低于以上规定值，但不应低于规定值的 70%。

4 对接接头各弯曲试样上任何方向上单个缺欠的长度应不大于 3mm，各试样上任何方向不大于 3mm 缺欠的总长度应不大于 7mm；四个试样各种缺欠的总长度应不大于 24mm。

5 焊缝及热影响区的硬度应符合以下规定：

1) 母材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) 母材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) 母材的名义屈服强度大于 370MPa 时，焊缝及热影响区的硬度应按工程要求评定，

当设计文件中无明确要求时，焊缝及热影响区的硬度应不大于 HV380。

6 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) 焊脚尺寸及焊脚尺寸差、焊缝余高、咬边深度等应符合本规程 8.2 条的规定；**
- 4) 单道焊缝的成形系数不宜小于 1.1。**

7 机器人焊接工艺

7.1 母材准备

7.1.1 母材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陷，表面粗糙度应不低于 $Ra25\mu m$ 。待焊接的表面及距坡口边缘位置 20mm 范围内或距角焊缝焊趾 20mm 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。

7.1.2 焊接接头坡口加工宜采用机加工、热切割或打磨等方法，应采用自动化或智能化的坡口加工方法，不宜采用手工操作坡口加工。

7.1.3 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 质量和几何技术规范》JB/T 10045 的有关规定，垂直度和斜度公差不应大于 $(0.4+0.01t)$ mm，割纹深度不应大于 $(70+1.2t\times 10^{-3})\mu m$ 。

7.1.4 割纹或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。

7.1.5 钢材坡口面切割缺陷的焊接修补应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的有关规定。

7.2 焊接材料要求

7.2.1 焊接材料贮存场所应干燥、通风良好，温度宜在 $5^{\circ}C\sim 50^{\circ}C$ 范围，相对湿度不应大于 60%。

7.2.2 焊丝表面应光滑平整，不应有毛刺、划痕、锈蚀和氧化皮等，也不应有油污等其他对焊接性能或焊接机器人操作性能具有不良影响的杂质。

7.2.3 埋弧焊焊剂应符合下列规定：

1 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。

7.3 焊接设备要求

7.3.1 机器人焊接前应遵循逐项检查、先静后动、先试后产的原则。

7.3.2 焊接前应对机器人进行回零操作，使机器人本体各个关节回到初始的零点位置。

7.3.3 机器人焊接采用示教编程时，宜手动操作机器人使机器人按预定的焊接路径运动，控制系统同时记录机器人的运动轨迹和焊接参数，形成示教程序。

7.3.4 机器人焊接前应低速运行焊接程序，检查焊接路径。

- 7.3.5 机器人焊接前应设置适当的安全参数，如机器人的工作范围限制、碰撞检测灵敏度等。
- 7.3.6 焊接机器人应配置物理或电子安全围栏。

7.4 焊接操作人员要求

- 7.4.1 焊接操作人员首次使用某型号的焊接机器人或焊接机器人焊缝跟踪方式改变时，在正式焊接前应熟悉焊接设备。
- 7.4.2 首次焊接某类构件时，焊接操作人员在正式焊接前应试运行焊接程序，检查焊接路径。

7.5 焊接接头的装配要求

- 7.5.1 组装后焊接接头尺寸允许偏差应符合表 7.5.1 的规定，且应考虑不同型号焊接机器人对尺寸允许偏差的要求存在差异。

表 7.5.1 组装后焊接接头尺寸允许偏差值

序 号	项 目	允许偏差值	
		不清根	清根
1	钝边 (mm)	±1	±2
2	无衬垫根部间隙 (mm)	±2	±2
3	带衬垫根部间隙 (mm)	±4	/
4	坡口角度 (°)	±2	±2
5	U 形和 J 形坡口根部半径 (mm)	±5	±5

- 7.5.2 当坡口根部间隙超过本规程表 7.5.1 的要求，应按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的相关规定在坡口单侧或两侧堆焊，堆焊后再进行机器人焊接。
- 7.5.3 对接接头的错边量不应超过 2mm 或较薄复层厚度的 50%，并应取两值中之较小值。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。
- 7.5.4 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 且小于 5mm 时，角焊缝的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。在设计允许时，可采用坡口焊将角焊缝改为角对接组合焊缝，或将部分熔透焊缝连接的 T 形接头改为全熔透的 T 形接头。

7.6 定位焊和临时焊缝

- 7.6.1 定位焊应由持相应合格证的焊工施焊或机器人施焊，所用焊接材料和焊接工艺应与正式焊缝相同，预热温度宜高于正式施焊预热温度 20℃~50℃。
- 7.6.2 采用钢衬垫的焊接接头，定位焊宜在接头坡口内进行。

7.6.3 定位焊缝厚度不应小于 3mm，当板厚超过 5mm 时，定位焊缝的厚度不宜超过正式焊缝厚度的 2/3。定位焊缝长度不应小于 40mm，其间距宜为 300mm~600mm。

7.6.4 定位焊缝与正式焊缝应具有相同的焊接质量要求，定位焊缝存在裂纹、气孔、夹渣等缺陷时，应在正式焊缝施焊前完全清除。

7.6.5 临时焊缝应由持相应资格证书的焊工或机器人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。。

7.6.6 临时焊缝应清除，清除临时焊缝时应不伤及母材，并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。

7.7 焊接环境

7.7.1 机器人气体保护焊，焊接作业区最大风速不宜超过 2m/s；其他机器人焊接作业区的最大风速不宜超过 8m/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。

7.7.2 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。

7.7.3 焊接环境温不宜低于 0℃。

7.8 焊接工艺技术要求

7.8.1 机器人焊接施工前，应依据本规程第 6 章规定的焊接工艺评定结果制定焊接工艺文件。

7.8.2 机器人焊接宜用于可标准化、模块化、系列化生产、制作的构件。

7.8.3 机器人宜在平焊、横焊、立焊位置施焊，宜避免仰焊位置焊接。

7.8.4 应选用适于机器人焊接的节点形式。

7.8.5 宜减少焊缝数量；焊缝布置应简单，避免交错、汇集；焊缝形状宜为规则的直线或弧线；焊缝截面应均匀，无突变。

7.8.6 宜选用单面单道或双面单道焊缝。

7.8.7 焊缝坡口宜采用机械加工方式，坡口的加工精度、接头的装配精度和焊接条件应满足机器人焊接的要求。

7.8.8 每班在正式施焊前，应在不启动焊接电源的条件下试运行焊接程序，以确认焊接轨迹是否正确。并按工艺文件的相关要求在厚度和性能与实际接头类似的材料上进行试焊，并进行外观检测和无损检测，合格后进行正式焊接。

7.8.9 当采用多层多道焊缝或焊接质量等级为一级的焊缝时，应在焊缝端部增加产品试板，试板材质、厚度、轧制方向及坡口形式应与正式焊接接头相同，长度应大于 400mm，坡口边缘每侧宽度不应小于 200mm；相同焊接条件下焊缝的产品试板不应少于 1 组；产品试板焊缝经外观和无

损检测合格后应进行接头的拉伸、弯曲和冲击试验，试样数量和试验结果应符合焊接工艺评定的有关规定。

7.9 衬垫

7.9.1 衬垫材质可采用金属、焊剂、玻璃纤维、陶瓷等。

7.9.2 钢衬垫的强度不应高于母材强度，宜采用与母材相同的材质。

7.9.3 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。

7.9.4 用于机器人气体保护焊的钢衬垫厚度不应小于 4mm；用于机器人埋弧焊的钢衬垫厚度不应小于 6mm。

7.9.5 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。

7.10 引弧板和引出板

7.10.1 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引弧板和引出板。

7.10.2 引弧板、引出板的强度不应高于母材强度，宜采用与母材相同的材质。材质、板厚和坡口材质宜与母材相同，其强度不应高于母材强度。

7.10.3 引弧板、引出板的板厚和坡口应与母材相同。

7.10.4 机器人气体保护电弧焊的引弧板、引出板的长度应大于 30mm，机器人埋弧焊的引弧板、引出板长度应大于 80mm。

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

7.11 焊缝清理

7.11.1 焊接前应清除焊缝及邻近母材上的焊渣和其他异物。

7.11.2 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。当采用焊接机器人自动清渣装置时，应检查清渣效果。

7.11.3 焊缝清根应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，清根后的凹槽应形成不小于 10° 的 U 形坡口。

7.12 返修焊

7.12.1 返修焊不宜采用机器人焊接方法。

7.12.2 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由合格的焊工进行焊接。

8 焊接检验

8.1 一般规定

8.1.1 焊接检验应包括焊前检验、焊中检验和焊后检验，检验内容除应符合现行国家标准《钢结构焊接标准》GB50661 的相关规定外，还应符合以下规定：

1 焊前检验应至少包括下列内容：

- 1) 焊接机器人位置的检查；
- 2) 焊接机器人运作范围内是否有障碍物的检查；
- 3) 焊接机器人急停按钮的检查；
- 4) 焊接机器人机械部分的检查；
- 5) 焊接路径的检查；
- 6) 焊接环境的确认；
- 7) 定位焊缝的尺寸及质量认可。

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、层间温度等焊接工艺参数与焊接工艺文件的符合性检查；
- 2) 实际焊接路径的检查；
- 3) 多层多道焊道表面渣壳清理情况的确认；
- 3) 多层多道焊中焊层、焊道的布置及焊接顺序等检查
- 4) 层间、道间熔合质量的检查。

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。

8.1.2 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。

8.1.3 机器人焊缝无损检测的抽样比例应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB55006 的有关规定，抽样方法应现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的有关规定。

8.1.4 机器人焊接的工厂制作焊缝，当采用的焊接工艺和焊接条件未发生变化，且连续 3 批次检测合格者时，后续抽检比例可在原检测比例基础上减半，当出现抽检不合格率大于 2% 时，应恢复原检测比例，并应对出现不合格焊缝的批次按照现行国家标准《钢结构通用规范》GB55006 的规定进行结果判定。

8.2 焊缝检测

8.2.1 应在冷却至室温后对机器人焊接的焊缝全长进行外观检测。

8.2.2 外观检测宜采用目视检测方法。裂纹的检测应采用 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。尺寸测量应采用量具、卡规。

8.2.3 焊缝不应有裂纹、未熔合、夹渣、未焊满、弧坑、焊瘤，并应符合表 8.2.3 规定。

表 8.2.3 焊缝外观质量合格标准

检验项目	焊缝质量等级		
	一级	二级	三级
咬边	不允许	$\leq 0.05t$ 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	$\leq 0.1t$ 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： t 为母材厚度。

8.2.4 机器人焊接的焊缝外观尺寸应符合表 8.2.4 的规定。

表 8.2.4 焊缝外观尺寸要求 (mm)

项目	焊缝种类	尺寸要求
焊脚尺寸 h_f 或 加强焊脚尺寸 h_k	主要角焊缝 ^a (包括对接与角接组合焊缝)	允许偏差： $0\text{mm} \sim +2.0\text{mm}$
	其他角焊缝	允许偏差： $-1.0\text{mm} \sim +2.0\text{mm}$
焊喉尺寸 h_e	角焊缝	允许偏差：凸面角焊缝 $0\text{mm} \sim +2.0\text{mm}$ 凹面角焊缝 $-0.3\text{mm} \sim +2.0\text{mm}$
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 Δ	$t \leq 25\text{mm}$	$\Delta \leq 0.5\text{mm}$
	$t > 25\text{mm}$	$\Delta \leq 1.0\text{mm}$
余高 C	对接焊缝	$C \leq 2.0\text{mm}$ (焊缝宽度 $B \leq 20\text{mm}$) $C \leq 3.0\text{mm}$ (焊缝宽度 $B > 20\text{mm}$)
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 $50 \mu\text{m}$
注：a 主要角焊缝是指主要杆件的盖板与腹板的连接焊缝。		

8.2.5 焊缝无损检测应在外观检测合格后进行。当母材的标称屈服强度不大于 370MPa 且板厚不大于 60mm 时，以焊接完成 24h 后的检测结果作为验收依据；其余应以焊接完成后 48h 的检测

结果作为验收依据。

8.2.6 机器人焊接的焊缝无损检测方法、工艺及合格标准应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。

8.2.7 所有检出的不合格焊接部位应按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定予以返修至检测合格，返修焊可采用非机器人焊接方法。

8.3 产品试板的检测

8.3.1 机器人焊接质量等级为一级的焊缝或多层多道焊时，应焊接产品试板。

8.3.2 机器人焊接产品试板的检验应符合下列规定：

1 应按表 8.3.2 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 8.3.2 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 8.2.3 和 8.2.4 的规定，并应按正式焊缝的要求进行超声检测。

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。

附录 A 不锈钢复合板焊接工艺评定报告格式

A.0.1 机器人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）。

机器人焊接工艺评定报告

报告编号：

编 制：

审 核：

批 准：

单 位：

日 期： ____年 ____月 ____日

图 A.0.1 机器人焊接工艺评定报告封面

A.0.2 机器人焊接工艺评定报告目录应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 机器人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 机器人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 机器人焊接工艺评定报告

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		《钢结构机器人焊接技术规程》（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	Cu	其他	$R_{eff}(R_{eL}, R_{m,2})$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A (%)	硬 度
母材标准值														
母材合格值														
母材复验值														
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								
焊接机器人型号						焊接机器人生产厂								
焊缝跟踪方式						焊缝跟踪精度								
焊接编程方式														
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《钢结构机器人焊接技术规程》（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：_____ 年 月 日 (签章)							
审 核					年 月 日									
技术负责					年 月 日									

表 A.0.3-2 机器人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 丝											
焊剂或气体											
焊接方法					焊接位置						
焊接机器人型号					焊接机器人生产厂						
焊缝跟踪方式					焊缝跟踪精度						
焊接编程方式											
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 机器人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						
焊接机器人型号				焊接机器人生产厂						
焊缝跟踪方式				焊缝跟踪精度						
焊接编程方式										
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 (°C)			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 (°C)			相对湿度 (%)				
预热温度 (°C)			道间温度 (°C)			后热温度 (°C)		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 机器人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(℃)	冲击功 A_{kv} (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		

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》GB50205

《钢结构焊接规范》GB50661

《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226

《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

《电弧焊机通用技术条件》GB/T 8118

《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

《弧焊设备 第1部分：焊接电源》GB 15579.1

《弧焊机器人 通用技术条件》GB/20723

《焊接与切割保护气体》GB/T 39255

《热切割 质量几何技术规范》JB/T 10045

《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

钢结构机器人焊接技术规程

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,总结了我国钢结构机器人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钢结构机器人焊接特点及其技术要求,深入研究了钢结构机器人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钢结构工程中承受静载荷或动载荷、钢材厚度不小于 3mm 的结构的机器人焊接。

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,《钢结构机器人焊接技术规程》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.....	(30)
2 术语和符号.....	(31)
2.1 术 语.....	(31)
2.2 符 号.....	(31)
3 基 本 规 定.....	(32)
4 材 料.....	(33)
5 焊接机器人技术要求.....	(34)
5.1 一 般 规 定.....	(34)
5.2 机器人本体的技术要求.....	(34)
5.3 焊接设备的技术要求.....	(34)
5.4 控制系统的技术要求.....	(34)
6 焊接工艺评定.....	(35)
6.1 一 般 规 定.....	(35)
6.2 焊接工艺评定替代规则.....	(35)
6.3 重新进行焊接工艺评定的规定.....	(35)
6.4 焊接工艺评定试验及检验.....	(36)
7 机器人焊接工艺.....	(37)
7.1 母 材 准 备.....	(37)
7.2 焊接材料要求.....	(37)
7.3 焊接设备的要求.....	(37)
7.5 焊接接头的装配要求.....	(37)
7.6 定位焊和临时焊缝.....	(38)
7.7 焊 接 环 境.....	(38)
7.8 焊接工艺技术要求.....	(38)
7.9 衬 垫.....	(39)
7.10 引弧板和引出板.....	(39)
7.11 焊缝清理.....	(39)
7.12 返修焊.....	(39)
8 焊 接 检 验.....	(40)
8.1 一 般 规 定.....	(40)
8.2 焊缝检测.....	(40)
8.3 产品试板的检测.....	(40)

1 总 则

1.0.1 本规程对钢结构机器人的焊接给出的具体规定，以保证钢结构机器人焊接质量和施工安全。钢结构机器人的焊接需要贯彻节材、节能、环保等技术经济政策。本规程主要根据我国钢结构机器人焊接技术发展现状，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，适当采用我国钢结构机器人焊接的最新科研成果、施工实践编制而成。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。对于其他非工业或民用结构领域的机器人焊接，也可以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我国钢结构机器人焊接常用的焊接方法，其他焊接方法如果与机器人复合也可以参照本规程执行。

1.0.4 本规程是有关钢结构机器人焊接技术要求的专业性标准。在钢结构机器人焊接施工中，除按本规程的规定执行外，还要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需要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 7 个特定术语，这些术语是从钢结构机器人焊接的角度赋予其涵义的。

2.2 符 号

本规程给出了 7 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。

3 基本规定

3.0.1 本规程根据目前国内钢结构工程建设的实际情况，并结合钢结构实际施工经验，要求承担钢结构机器人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。

3.0.2 本条对钢结构机器人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需要有具有相应的资质，其中检测机构要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。本规程借鉴了现行国家标准《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。

3.0.4 本考虑到目前钢结构机器人的智能化程度，建议在承受静载的钢结构工程中使用机器人焊接技术。

4 材 料

4.0.1 质量合格的钢板和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，因此钢材和焊接材料的质量要求需要符合国家现行相关标准的规定。

4.0.2 钢材和焊接材料的选用、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，需要按批次按国家现行有关工程质量验收标准对钢材和焊接材料进行必要的复验。

4.0.3 不锈钢结构机器人焊接中最常采用的是气体保护焊方法，焊丝的送丝性能对机器人焊接过程的稳定性有显著影响，本条规定了机器人焊接时对焊丝送丝稳定性的要求层。

4.0.5 埋弧焊时，按照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，同时具有良好的焊接工艺性能，如脱渣性等。

5 焊接机器人技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了焊接机器人的基本组成。

5.1.2 本条规定了焊接机器人工作站的基本组成。

5.1.3 焊接机器人的轨迹重复定位精度直接决定了机器人焊接质量，本条规定了钢结构焊接机器人的轨迹重复定位精度。

5.1.4 焊接机器人具有的焊接工艺参数库，便于在编程过程中自动调取。

5.1.5 焊接机器人的单轴运动速度偏差决定了焊接过程的稳定性及焊接精度，本条规定了单轴实际运动速度的偏差不超过 2%。

5.1.7 焊接机器人配置电弧跟踪、激光跟踪或视觉等适宜的传感器，有助于实现焊接过程的智能化控制。

5.2 机器人本体的技术要求

5.2.1~5.2.4 本节规定了机器人本体的技术要求。由于机器人本体要搭载焊丝送丝机和焊枪，故规定了本体自由度、负载能力等，考虑采到机器人焊接构件的尺寸规格不同，本节对机器人的运动半径提出了技术要求。

5.3 焊接设备的技术要求

5.3.1~5.3.6 机器人焊接过程中，需要电弧稳定的可持续焊接，本条规定了适用于机器人焊接的焊接设备技术要求。

5.4 控制系统的技术要求

5.4.1~5.4.5 本节规定了焊接机器人控制系统的技术要求，满足机器人焊接编程、焊缝跟踪、数据存储和安全避险的功能要求。

6 焊接工艺评定

6.1 一般规定

6.1.1 由于钢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。

6.1.2 本条规定施工单位制订焊接工艺评定方案，目的为验证施工单位是否有编制焊接工艺方案的技术能力定。

6.1.3 本条规定焊接工艺评定试件由本工程施工单位中的焊接人员，可排除焊接人员技能水平低导致的焊接工艺评定不合格，同时也可验证施工单位是否有技术能力合格的焊接人员。

6.1.4 本规程充分考虑了钢结构机器人焊接应用的实际情况，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。

6.1.5 本仰焊位置是操作难度大的焊接位置，对机器人焊接而言难度更大，实际工程中尽量避免机器人在仰焊位置施焊。

6.2 焊接工艺评定替代规则

6.2.1 不同焊接方法的热过程差别较大，故本规程规定不同机器人焊接方法的评定结果不互相替代。

6.2.2 不同焊接位置采用的焊接工艺参数差别较大，故本规程规定不同焊接位置的机器人焊接方法的评定结果不互相替代。

6.2.3~6.2.5 机器人焊接的编程方式不同，本体驱动方式不同和焊接跟踪方式不同，代表机器人控制方式不同，其评定结果不互相替代焊接位置。

6.2.7 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能替代 T 形接头评定结果。

6.3 重新进行焊接工艺评定的规定

6.3.1~6.3.5 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，本节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，并重点关注了机器人焊接特点有参数的允许变化范围。

6.4 焊接工艺评定试验及检验

6.4.5 本条第3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，如现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015中规定常用钢材的冲击功不小于120J，但相应的焊接材料很难满足这个要求，而且很多工程也不太需要达到这么高的标准，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”，设计人员可以根据具体工程特点和需要确定冲击功的合格标准，也可以参考现行行业标准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1。表1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。

表1 焊接接头冲击功 KV_2

母材材质	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。

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。

7 机器人焊接工艺

7.1 母材准备

7.1.1~7.1.2 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。

7.1.3 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，通过打磨或焊接进行修补。

7.1.4~7.1.5 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，较深和较长的缺陷需要采用焊接修补，若存在严重的或较难焊接修补的缺陷，该钢材不再使用。

7.2 焊接材料要求

7.2.1 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。

7.2.2 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，要随用随取。

7.2.3~7.2.4 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。所有采购的焊剂要有包装，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以回收再使用，但添加量不能超过 30%，并要保证混合后的焊剂成分和粒度的分布符合新焊剂的要求。

7.3 焊接设备的要求

7.3.1~7.3.6 机器人焊接前的设备准备十分重要。为了保障机器人焊接过程的安全性，焊前需要对机器人逐项检查，并在低速下试运行，检查机器人运动范围和运行轨迹。设置物理或电子围栏，避免机器人故障或误操作时危及操作人员安全。

7.5 焊接接头的装配要求

7.5.1~7.5.4 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。机器人焊接对焊接坡口加工和焊接接头的装配精度要求高，本标准对机器人焊接接头的装配要求高于现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的要求。

7.6 定位焊和临时焊缝

7.6.1~7.6.4 机器人定位焊缝的焊接质量直接影响焊缝整体质量。定位焊焊缝的冷却速度快，焊接难度较大，容易产生焊接缺陷，需要充分重视，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、间距等。另外，机器人焊接程序中往往不考虑定位焊焊缝尺寸的变化，定位焊缝尺寸的变化会导致正式焊缝的尺寸异常或焊缝失效，因此本规程规定了定位焊缝的厚度和尺寸。

7.6.5~7.6.6 临时焊缝焊接时要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。

7.7 焊接环境

7.7.1 当焊接作业区风速超过规定限值时，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。所以机器人焊接施工过程中要避免在大风条件下进行施焊，必须施焊时要设置防风屏障。

7.7.2 焊接作业环境不符合要求会对焊接质量造成不利影响。水分是氢的来源，氢是产生焊接延迟裂纹的重要因素之一，因此避免在工件潮湿或雨、雪天气下进行焊接操作。

7.7.3 低温环境会增加焊接熔池冷却速度，同时也会影响焊接机器人设备运行的稳定性。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 0℃。

7.8 焊接工艺技术要求

7.8.1 指导实际焊接操作的焊接工艺文件要按根据本规程要求和工艺评定结果进行编制。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，要对此足够关注。

7.8.2 机器人焊接用于可标准化、模块化、系列化构件的生产，可以避免大量的工作时间用于编程和调整，提高有效焊接作业时间，充分显现机器人焊接高效率的优势。

7.8.3 仰焊是操作难度大的焊接位置，基于目前机器人的智能化水平，不建议机器人在仰焊位置操作。

7.8.5 焊接形状复杂，截面有突变的焊缝，需要的焊接参数、焊枪姿态调整多，实时反馈要求高，鉴于目前机器人的智能化水平，机器人适用于焊接规则的直线或弧线、截面应均匀，无突变的焊缝。

7.9 衬 垫

7.9.2 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强度不应高于母材强度，最好采用与母材相同的材质。

7.9.3~7.9.5 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。

7.10 引弧板和引出板

7.10.1~7.10.5 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。施工过程中要避免这种情况的发生。施焊时在焊接接头的端部设置引弧板、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、引出板所用钢材不能对焊缝金属性能产生显著影响。为确保焊缝的完整性，规定了引弧板、引出板的长度。

7.11 焊缝清理

7.11.1~7.11.3 焊接完成后将焊缝表面的熔渣及周围的飞溅清理干净，特别要注意对表面飞溅的清理。

7.12 返修焊

7.12.1~7.12.2 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需要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，则要从工艺方面进行改进。

8 焊接检验

8.1 一般规定

8.1.1 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，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。

8.1.3 本条规定了焊缝抽样检验的方法和比例。按现行国家标准《钢结构通用规范》GB55006和《钢结构焊接规范》GB50661的有关规定执行。

8.1.4 在考虑到机器人焊接的质量稳定性优势，本条规定了机器人焊接的工厂制作焊缝，当采用的焊接工艺和焊接条件未发生变化，且连续3批次检测合格者时，后续抽检比例可在原检测比例基础上减半，有利于在钢结构行业推广机器人焊接技术。

8.2 焊缝检测

8.2.1~8.2.4 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，但随钢板生产工艺水平的提高，目前钢结构常用钢板的焊缝中产生延迟裂纹的几率已降低，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需要使用放大镜观察，且光线要充足。

8.2.5 无损检测应在外观检测合格后进行。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》GB50661，根据钢材板厚和屈服强度等级和复层材质确定焊缝外观检测的时机。当母材标称屈服强度大于 370MPa 时，或板厚大于 60mm，在焊接完成 48h 后进行无损检测。

8.3 产品试板的检测

8.3.1~8.3.2 产品试板试验结果不合格需处理和重新检验时，如果是共性问题，需要对其代表焊缝作同样处理；如是特殊原因造成的，则需对与试板同时焊接的焊缝进行处理。