

ICS 25.160.20

J 33



CWA

中国焊接协会团体标准

T/CWAN 0040—2020

小组立机器人焊接工艺规范

Specification for Welding Procedure of primary assembling Robot

2020-08-17 发布

2020-09-01 实施

中国焊接协会发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般要求.....	2
5 焊接设备.....	2
6 焊接材料.....	3
7 工艺要求.....	3
8 焊后检测和返修.....	5
9 安全防护.....	5
附录 A（规范性附录）焊接工艺调试试验方法.....	6
附录 B（规范性附录）焊接工艺推荐规范参数.....	9
附录 C（资料性附录）常见焊接缺陷.....	11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本文件的附录 A、B 为规范性附录，附录 C 为资料性附录。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：广州黄船海洋工程有限公司、中船黄埔文冲船舶有限公司、哈尔滨焊接研究院有限公司、上海模呈信息技术有限公司、江苏北人机器人系统股份有限公司、大连中船新材料有限公司。

本文件主要起草人：邵丹丹、张继军、李连胜、蒋巍、卓振坚、王兆臣、闫德俊、梁剑明、康占宾、邹吉鹏、林涛、孟昭懿。

小组立机器人焊接工艺规范

1 范围

本文件规定了船舶构件的小组立机器人的术语和定义、一般要求、焊接设备、焊接材料及焊接工艺要求、焊后检测及安全防护等。

本文件适用于船舶建造中一般强度船体结构钢（A、B、D和E）、高强度船体结构钢（AH32、DH32、EH32、AH36、DH36和EH36）的小组立构件的填角焊缝横角焊、立角焊及包角焊位置的焊接。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 7727.4 船舶通用术语 船体结构、强度和振动
- GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法（GB/T 2654—2008，ISO 9015—1:2001，IDT）
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条（GB/T 5117—2012，ISO 2560:2009，MOD）
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝（GB/T 10045—2018，ISO 17632:2015，MOD）
- GB/T 12924 船舶工艺术语 船体建造和安装工艺
- GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南（GB/T 19418—2003，ISO 5817:1992，IDT）
- GB/T 27551 金属材料焊缝破坏性试验 断裂试验（GB/T 27551—2011，ISO 9017:2001，IDT）
- GB/T 34000 中国造船质量标准
- CB/T 3761 船体结构钢焊缝修补技术要求
- HG/T 2738 焊接用混合气 氩—二氧化碳
- T/CWAN 0008 焊接术语 焊接基础

3 术语和定义

GB 7727.4、GB/T 12924、T/CWAN 0008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小组立 Primary Assembling

由两个或两个以上的零件在平台上组合成构件的制造过程，如T形构件、组合肋板、组合桁材、组合扶强材、肋骨框架、半肋骨框架、板列等工件的制造。

3.2

机器人 Robot

由多关节或多轴（多自由度）机械本体、控制器、伺服驱动系统和传感装置构成的一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的光机电一体化焊接生产设备。

3.3

数据库 Database

一个长期存储在计算机内的、有组织的、可共享的、统一管理的大量数据的集合，能够被机器人系统所识别，并能够控制机器人系统执行特定的作业过程。

3.4

装配 Assembling

将加工好的零件按规定的技术要求组装成部件、分段、总段等的工艺过程。

3.5

三维扫描 Three Dimension Scanning

侦测并收集三维物体的形状、位置等数据信息的过程。

3.6

焊缝寻位 Locating of Weld

检测并计算焊缝位置及焊接起点位置、结束点位置。

4 一般要求

4.1 环境要求

- 4.1.1 小组立机器人应避免建设在露天环境中，防止雨、雪等恶劣天气影响设备系统的使用性能。
- 4.1.2 小组立机器人应处于相对独立的生产工位，以免其他工位的生产活动对小组立机器人造成干扰或损坏。
- 4.1.3 小组立机器人所处施工场地应保持清洁、干燥，防止灰尘、铁屑、水汽等进入设备系统，影响小组立机器人的使用寿命。
- 4.1.4 应避免放置保护气体气瓶的区域以及保护气体输送管路靠近高温热源或被烈日暴晒，以免发生爆炸事故。

4.2 人员要求

- 4.2.1 小组立机器人操作人员应经过专业培训，取得国家职业技能鉴定机构颁发的焊接机器人操作证。
- 4.2.2 小组立机器人操作人员和设备维护人员应了解熟悉设备基本构造和功能。
- 4.2.3 小组立机器人操作人员施工前应熟悉相关工艺文件，施工过程中应严格遵守工艺纪律，按照工艺要求进行施工。

5 焊接设备

5.1 小组立机器人包含机器人系统、焊接系统、保护气体气路系统、传感系统、移动和输送系统、集成控制系统、信号和动力输送电缆及数据库，如表1所示。

表 1 小组立机器人组成

序号	系统名称	主要功能
1	机器人系统	能够为焊枪的运动提供足够的动力，能够驱动焊枪完成特定焊缝轨迹的运行，能够满足焊枪运动稳定性要求
2	焊接系统	能够提供稳定的电源特性，能够为焊丝的给进提供动力和矫直能力
3	保护气体气路系统	能够为焊接过程提供稳定流量的保护气体
4	传感系统	能够为工件的输送、焊缝位置的确定及跟踪提供反馈信号
5	移动和输送系统	能够满足机器人移动和构件输送的空间和动力需求
6	集成控制系统	能够协调控制各系统进行有序作业
7	信号和动力输送电缆	具备良好的抗干扰能力，能够满足系统负载要求
8	数据库	具备小组立焊接生产工况下的机器人动作控制参数、焊接工艺参数、生产管理控制参数以及系统控制软件

5.2 小组立机器人所有程序基本框架的编制应由设备厂家服务工程师或技术部门专业工程师完成，程序的优化和修改也应由设备厂家服务工程师或技术部门专业工程师执行。

5.3 小组立机器人应定期进行维护和保养，定期清理设备内的灰尘，定期给设备运动轴、导轨等添加或更换润滑油。

5.4 操作人员原则上不允许进行程序的修改操作。

6 焊接材料

6.1 焊条

- 6.1.1 装配和返修用的焊条应符合GB/T 5117中E5015或E5018或其他力学性能相当的标准的要求。
- 6.1.2 焊条使用前应按照说明书推荐要求进行烘焙,领用的焊条应采用能保持良好保温性能的保温筒保温,随用随取。

6.2 焊丝

- 6.2.1 所用的实心焊丝应符合GB/T 8110中ER50-6型号的技术要求或其他力学性能相当的标准的要求。所用的药芯焊丝应符合GB/T 10045中T492TX-1C1A型号的技术要求或其他力学性能相当的标准的要求。
- 6.2.2 焊丝在焊接生产应用前,应经过相关的焊接工艺评定试验,并取得第三检验方认可。
- 6.2.3 焊丝应保持干燥、清洁,无其他杂物污染。
- 6.2.4 焊丝在使用过程中,应保证其标签完好,以备查证。

6.3 保护气体

- 6.3.1 保护气体可采用80%Ar+20%CO₂混合气体,或纯度 $\geq 99.5\%$ 的CO₂气体。混合气体应符合HG/T 3728中II类技术指标要求,CO₂气体应符合GB/T 6052中焊接用CO₂气体的技术指标要求。
- 6.3.2 保护气体应干燥处理。
- 6.3.3 采用瓶装保护气体进行焊接时,应采取适当的防冻或加热措施。

7 工艺要求

7.1 构件要求

- 7.1.1 待焊构件为船舶小组立构件,焊缝主要包括平直列板与肋板的横角焊缝以及包角焊缝。
- 7.1.2 待焊构件不应存在曲边、折边、拼接和对接等形式,不应存在可能导致焊枪或机械臂干涉的因素。

7.2 装配

- 7.2.1 构件待焊位置的切割边割痕缺口深度应 $\leq 1\text{mm}$
- 7.2.2 构件装配前,应将待焊位置及其附近20 mm~30 mm范围内的锈蚀、油污、割渣、毛刺、氧化层等对焊接质量有影响的杂物进行清理。
- 7.2.3 车间底漆厚度应 $\leq 25\ \mu\text{m}$ 。
- 7.2.4 构件装配间隙应控制在0 mm~1 mm之间。
- 7.2.5 构件装配的定位焊可采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊实施,定位焊用焊接材料力学性能等级应与焊接生产用焊接材料力学性能等级相当。
- 7.2.6 构件装配的定位焊缝长度一般控制在30 mm~50 mm之间,焊脚尺寸控制在3.5 mm~4.5 mm之间,焊缝间距控制在500 mm~600 mm之间。
- 7.2.7 定位焊缝不应存在裂纹、夹渣、气孔、咬边、弧坑等焊接缺陷。
- 7.2.8 定位焊缝的焊渣、飞溅、焊瘤等在装配完成后应打磨清理干净。

7.3 焊前准备

- 7.3.1 检查构件材质及规格,确保其符合图纸设计要求。
- 7.3.2 检查构件装配定位焊缝,确保其符合装配和定位焊要求。
- 7.3.3 检查焊丝牌号及表面状态,确保其符合性能等级要求和相关认可要求,确保焊丝表面无油污、锈蚀、水分等杂物。
- 7.3.4 检查小组立机器人设备,确保电路、气路、送丝系统、传感器、控制按钮和指示灯、显示器和参数表、机械运动装置正常运行。
- 7.3.5 检查小组立机器人的集成控制系统,同时进行相关生产信息的录入。
- 7.3.6 检查焊枪状态,若焊枪喷嘴表面有飞溅物、焊丝干伸长异常,应进行焊枪清理和焊丝修剪。
- 7.3.7 检查焊接控制程序和调用焊接参数数据库,确保其满足焊接工艺要求。
- 7.3.8 检查小组立机器人生产管理控制逻辑和作业节拍,确保其符合设备生产能力,防止设备发生过载现象。
- 7.3.9 检查保护气体气路系统,确保气体管路畅通且连接正确,无漏气现象,保护气体流量能够满足焊接工艺文件要求。

7.4 焊接

7.4.1 焊丝类型和保护气体成分应根据焊接工艺要求进行匹配，如表3所示。

表3 焊丝和保护气体

焊接工艺	焊丝类型	保护气体
多道焊	实心焊丝	80%Ar+20%CO ₂
单道焊	实心焊丝	80%Ar+20%CO ₂
	药芯焊丝	CO ₂

7.4.2 焊接控制流程框架如图1所示。

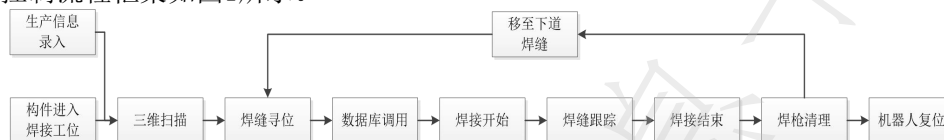
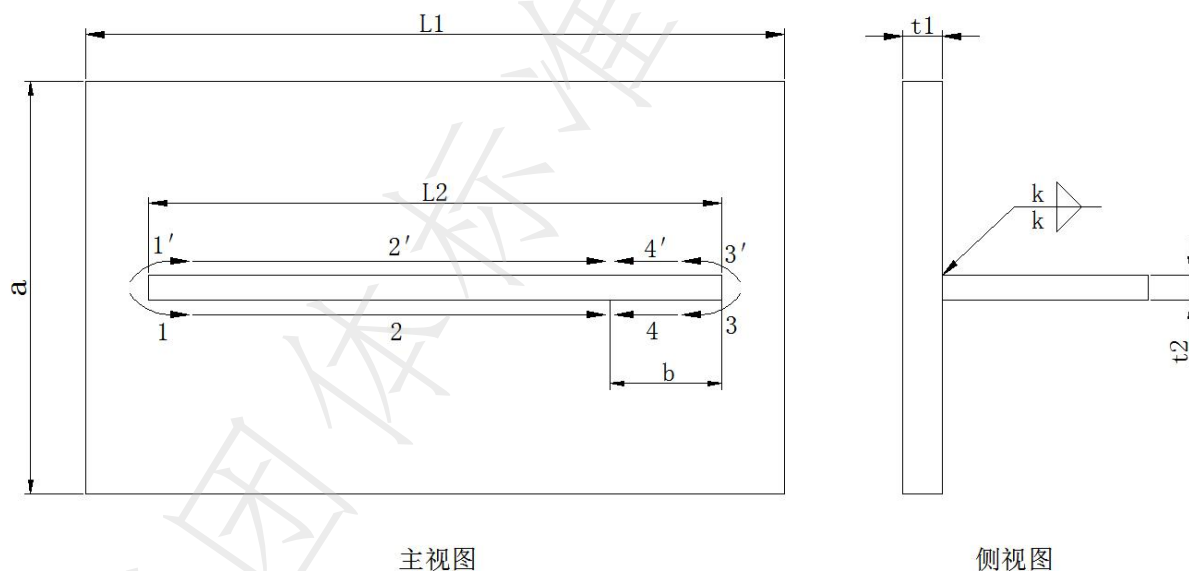


图1 焊接控制流程框架

7.4.3 三维扫描开始后，直至构件中所有焊缝焊接完成前，应确保构件处于静止状态，避免构件生位移而造成构件三维检测信息的误差。

7.4.4 为了避免终端热量过于集中而影响焊缝成形，焊接过程应合理布置焊接顺序，如图2所示。为了提高焊接效率，减少焊接变形，应采用两台焊接机器人以对称焊接方式施焊。



- L1——带板长度；
- a ——带板宽度；
- L2——腹板长度；
- b ——取150 mm~200 mm；
- t1——带板厚度；
- t2——腹板厚度；
- k ——焊脚尺寸。

图2 焊接顺序

7.4.5 若焊接数据库有所缺失，应由设备厂家服务工程师或技术部门专业工程师根据所需工况进行调试和试验，选择最优参数录入数据库，焊接工艺调试试验方法见附录A。若新录入的焊接工艺参数不在已有焊接工艺认可范围，在项目应用前应重新获取第三检验方的认可。

7.4.6 焊接规范参数的选择应根据工艺要求在数据库中选择调用，焊接工艺推荐规范参数如附录B所示。

7.4.7 焊接过程发生故障而中止时,应将正在焊接的构件标记为焊接完成,并进行下一个构件的焊接生产,避免影响后续构件焊接生产节拍。因中断而未完成焊接的构件可采用手工、半自动或机器人示教的焊接方式继续完成焊接。

8 焊后检测和返修

8.1 构件送出焊接工位后,对焊缝周围的飞溅和焊渣进行清理,再采用目视检验方法对焊缝表面进行外观检验。

8.2 焊缝外观质量应满足GB/T 34000的要求或其他相当标准的要求。

8.3 检测人员检测出来的所有缺陷,应做明显标识,并反馈给返修人员。

8.4 焊缝返修应按CB/T 3761的要求执行。

9 安全防护

9.1 人员安全

9.1.1 进入小组立机器人生产区域的所有人员,应遵循设备管理规定,穿戴好劳动保护用品。

9.1.2 不能接近强磁场的人员应远离设备和电缆。

9.1.3 施工人员应熟悉设备运行环境布局,并随时关注设备运行状态,防止发生砸伤、挤伤、摔伤、烫伤等安全事故。

9.1.4 辊道在进行构件转运时,所有人员不应站在辊道和构件上。

9.1.5 没有经过专业培训的人员不应打开设备机壳维修设备。

9.1.5 生产管理人员应做好交叉作业的管理工作,做好事故防范措施。

9.2 设备安全

9.2.1 小组立机器人接线应由专业电工操作,接好保护地线,电源箱应有漏电保护功能。

9.2.2 所有电器接头及电缆接线柱应具有良好的导电作用,如电器接头及电缆接线柱发生生锈、断裂等现象时应及时更换。

9.2.3 小组立机器人工作时应保证设备通风畅通,通风口应远离墙壁等障碍物。

9.2.4 小组立机器人焊接过程输出电流较大,焊接过程不能徒手触摸其电源线、电极等,避免发生触电、烫伤等安全事故。

9.2.5 小组立机器人及其周围应具有安全警示牌、安全警戒线等明显的安全标识。

9.3 环境安全

9.3.1 小组立机器人施工前,生产相关管理人员应进行环境安全确定,并实施监护。

9.3.2 起重设备吊运的重物,不应从小组立机器人上方经过,以防发生意外而出现重物砸坏设备的现象。

9.3.3 装配、打磨、气刨、补焊等作业应在远离小组立机器人的安全范围内实施,或应采取有效的防尘、防飞溅等措施。

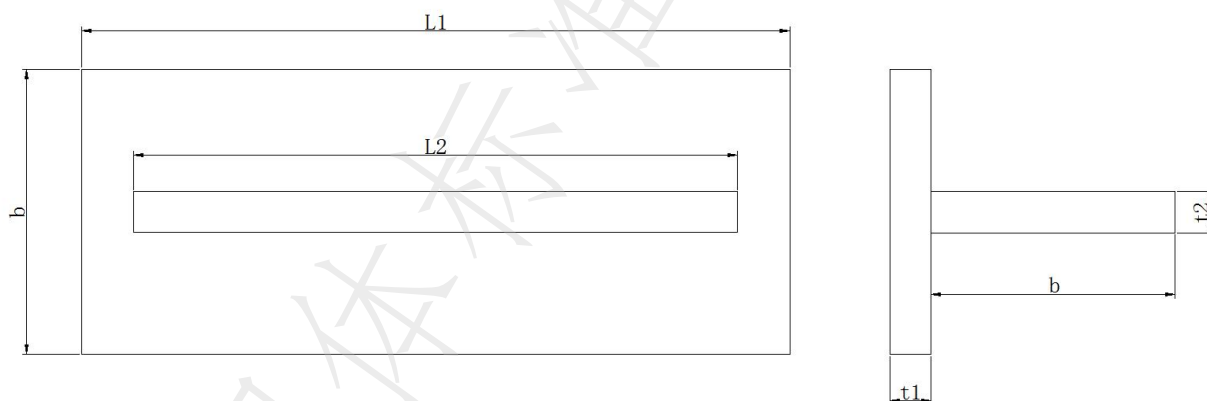
附录A
(规范性附录)
焊接工艺调试试验方法

A.1 试验前准备

试验前，焊接工程师编制焊接工艺方案，用以指导焊接工艺调试。可编制多个焊接工艺方案，设置对比试验。焊接工艺方案应包含但不限于以下内容：

- (1) 母材的牌号、级别、厚度和交货状态；
- (2) 焊接材料的型号、等级和规格；
- (3) 焊接设备的型号和主要性能参数；
- (4) 坡口设计、加工要求及衬垫材料（如有时）；
- (5) 焊道布置和焊接顺序；
- (6) 焊接位置；
- (7) 焊接规范参数（电源极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度、送丝速度、保护气体流量等）；
- (8) 焊前预热和道间温度、焊后热处理及焊后消除应力的措施等；
- (9) 施焊环境要求；
- (10) 其他有关的要求。

试件所选用的母材和焊接材料应符合焊接工艺方案的要求，试件要有足够的尺寸以保证合理的散热，通常应符合图A.1的要求。



L1——面板长度，取 $L1 \geq L2 + 60\text{mm}$ ；

L2——腹板长度，取 $L2 \geq 1000\text{mm}$ ；

t1——面板厚度；

t2——腹板厚度；

b——面板、腹板宽度，取 $b \geq 150\text{mm}$ （设 $t1$ 、 $t2$ 中最大值为 t ，若 $3t \geq 150\text{mm}$ ，则 b 应 $\geq 3t$ ）。

图A.1 试件尺寸图

A.2 焊接试验

按照焊接工艺方案的要求，将焊接方案的焊接工艺参数新增到焊接系统数据库，调用数据库相关焊接工艺数据对试件进行焊接。焊接过程应使试件中的定位焊缝熔入成形接头中。

A.3 试验项目

A.3.1 试验包括无损检测和破坏性试验，见表A.1。

表 A.1 试验项目

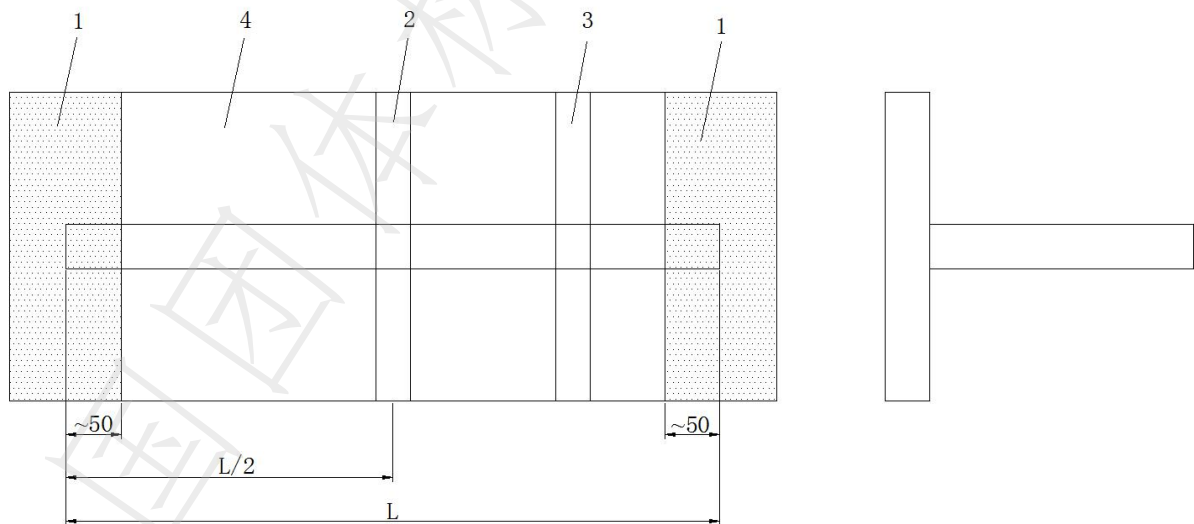
试件	试验种类	试验内容	备注
全焊透的 T 型接头	外观检测	100%	—
	渗透检测或磁粉检测	100%	—
	超声波或射线检测	100%	a
	硬度检测	按要求进行	b
	低倍金相检测	2 个试样	—
	破断试验	2 个试样	—
角焊缝	外观检测	100%	—
	渗透检测或磁粉检测	100%	—
	硬度检测	按要求进行	a
	低倍金相检测	2 个试样	—
	破断试验	2 个试样	—

a 对于非磁性材料,采用渗透检测。
b 超声波检测不适用于小于 8 mm ($t < 8$ mm) 的厚度。

A. 3. 2 试件焊接结束后,进行外观检查和表面渗透或磁粉检测。其中,无损检测应在焊接结束24小时后进行。

A. 3. 3 在试件两端截取约为50mm的截弃端,然后取出两个长度约25mm的焊缝断面宏观试样,一个位于试件长度中间处,另一个位于终端接头处,终端接头处的试样又用作硬度测试试样,剩余试样中取较长的两段作为角焊缝破断试样。一个破断试样保留一侧角焊缝,另一个破断试样则保留另一侧角焊缝,两个试样中不保留的角焊缝应在破断试验前采用气刨或打磨方式进行清除。试样取样位置如图A. 2所示。

单位为mm



- 1—截弃端;
2—宏观金相试样;
3—宏观金相和硬度试样(终端接头处);
4—破断试样;
L—腹板长度。

图A. 2 试样取样位置示意图

A. 4 试验结果要求

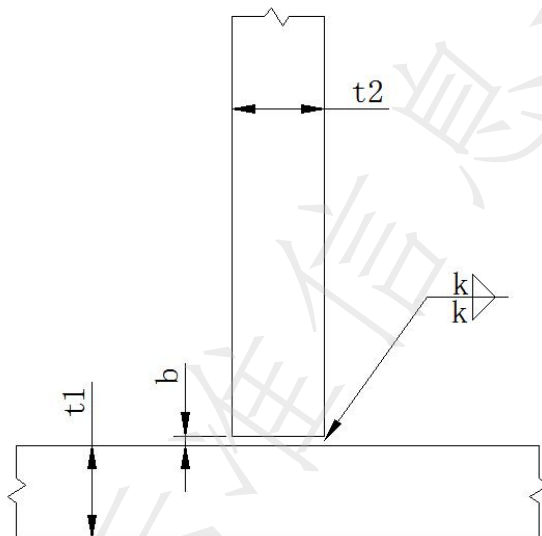
- A. 4.1 焊缝外观和无损检测结果均应满足GB/T 19418中B级（焊缝超高、凸度过大时可接受C级）或其他相当标准的要求。
- A. 4.2 焊缝断面宏观检测应显示焊缝成形良好，有足够的熔深，无裂纹和未熔合缺陷。
- A. 4.3 破断试样的破断面观察无裂纹和未熔合等缺陷，夹渣和气孔应符合GB/T 19418中B级或其他相当标准的要求。
- A. 4.4 接头的显微硬度测试结果应 ≤ 350 （HV10）。
- A. 4.5 若试验结果不符合上述要求，则相应的焊接工艺达不到生产可行性要求，应予以舍弃。若试验结果符合上述要求，则相应的焊接工艺参数可录入系统数据库。

附录B

(规范性附录)

焊接工艺推荐规范参数

小组立机器人焊接的焊接工艺规范参数与焊接电源的特性息息相关,其选取对焊缝成型及质量有很大影响。本文件的焊接工艺规范参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长度等,焊接工艺规范参数则取决于被焊构件的焊脚尺寸和焊接位置。小组立机器人常见焊接接头形式如图B.1所示,小组立机器人焊接工艺推荐规范参数如表B1所示。



t1——面板厚度;

t2——腹板厚度;

b——根部间隙;

k——焊脚尺寸。

图 B.1 小组立机器人常见焊接接头形式

表 B.1 焊接工艺推荐规范参数

焊缝类型	焊接位置	焊丝及规格	保护气体及流量	焊层或焊道	焊接电流(A)	电弧电压(V)	焊接速度(cm/min)	焊丝干伸长度(mm)
角焊缝 (焊脚 5mm)	横角	T492TX-1C1A (Φ 1.2mm)	CO ₂ (20-25L/min)	单道	200~220	23~26	30~35	15~20
		ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	单道	160~180	26~28	35~40	12~15
角焊缝 (焊脚 6mm)	横角	T492TX-1C1A (Φ 1.2mm)	CO ₂ (20-25L/min)	单道	230~250	25~28	30~35	15~20
		ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	单道	190~210	26~28	35~40	12~15

表 B.1 (续)

焊缝类型	焊接位置	焊丝及规格	保护气体及流量	焊层或焊道	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊丝干伸长度 (mm)
角焊缝 (焊脚 7mm)	横角	T492TX-1C1A (Φ 1.2mm)	CO ₂ (20-25L/min)	单道	230~250	25~28	25~30	15~20
		ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	单道	240~260	28~30	30~35	12~15
角焊缝 (焊脚 8mm)	横角	ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	两道	190~210	26~28	40~45	12~15
角焊缝 (焊脚 9mm)	横角	ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	两道	210~230	26~28	40~45	12~15
角焊缝 (焊脚 10mm)	横角	ER50-6 (Φ 1.2mm)	80%Ar +20%CO ₂ (20-25L/min)	两道	230~250	26~28	40~45	12~15

附录 C
(资料性附录)
常见焊接缺陷

C.1 常见焊接缺陷如表 C.1 所示。

表C.1 常见焊接缺陷

缺陷名称	产生原因	防止措施
咬边	(1) 焊接电压过高 (2) 电极角度、位置不当 (3) 设备扫描数据偏差	(1) 选择合适的焊接参数 (2) 焊前注意检查和调整焊枪位置、角度
气孔	(1) 焊丝、焊接区存在油污、水分、铁锈等 (2) 车间底漆干膜厚度过大或车间底漆不具备可焊性能 (3) 保护气体流量过大或过小 (4) 保护气体中水分含量超标	(1) 严格进行焊前清理工作 (2) 严格控制车间底漆厚度或焊前清理车间底漆 (3) 选择合适的气体流量 (4) 采用经过干燥处理的保护气体
焊瘤	(1) 电极角度、位置不当 (2) 焊接电流不当	(1) 焊前注意检查和调整焊枪位置、角度 (2) 选择合适的焊接参数
裂纹	(1) 焊丝、焊接区存在油污、水分、铁锈等 (2) 装配的根部间隙过大。	(1) 焊前更换表面干净的焊丝，严格清理焊接区域及其附近的污物 (2) 按照工艺要求严格控制装配的根部间隙。
断焊	(1) 未扫描到焊缝。 (2) 设备送丝系统故障	(1) 对比扫描数据和构件，检验扫描系统 (2) 焊前检查和维修送丝系统