



团 体 标 准

T/CWAN 0105—2024

搅拌摩擦焊接机器人系统通用技术条件

General technical specifications of robotic friction stir welding system

2024-07-12 发布

2024-08-01 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 系统分类 2

5 系统组成 2

6 主要技术参数 4

7 技术要求 4

8 检验方法 7

9 标志 8

10 包装、储存和运输 8

11 随机资料 9

附录 A（资料性）典型铝合金机器人搅拌摩擦焊接参数推荐表10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国焊接协会焊接设备分会专家工作委员会提出。

本文件由中国焊接协会归口。

本文件起草单位：安徽万字机械设备科技有限公司、航天工程装备（苏州）有限公司、中国焊接协会焊接设备分会、南通振康机械有限公司、广东省机器人创新中心有限公司、东莞市颂智科技有限公司、哈尔滨工业大学、北京工业大学、上海交通大学、北京石油化工学院。

本文件主要起草人：万龙、林永勇、林涛、李宪政、罗建坤、唐国宝、徐涛、树西、朱志雄、黄永宪、陈树君、李永兵、朱加雷、刘鑫、黄体方、李新松。

搅拌摩擦焊接机器人系统通用技术条件

1 范围

本文件规定了搅拌摩擦焊接机器人系统（工作站）的分类、组成、技术参数、技术要求、检验方法、标志和包装储运等。

本文件适用于各类搅拌摩擦焊接机器人系统（工作站）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB 2893 安全色

GB 2894 安全标志及其使用导则

GB/T 3375 焊接术语

GB 11291.2 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分：机器人系统与集成

GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其测试方法

GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 13306 标牌

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 17248.3 声学 机器和设备发射的噪声 采用近似环境修正测定工作位置和其他指定位置的发射声压级

GB/T 20867 工业机器人 安全实施规范

GB/T 34630.1 搅拌摩擦焊 铝及铝合金 第1部分：术语及定义

JB/T 8896 工业机器人 验收规则

JB/T 10801.2 电主轴 第2部分：加工中心用电主轴 技术条件

JB/T 11657 加工中心用机械主轴单元

3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 12643 和 GB/T 34630.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

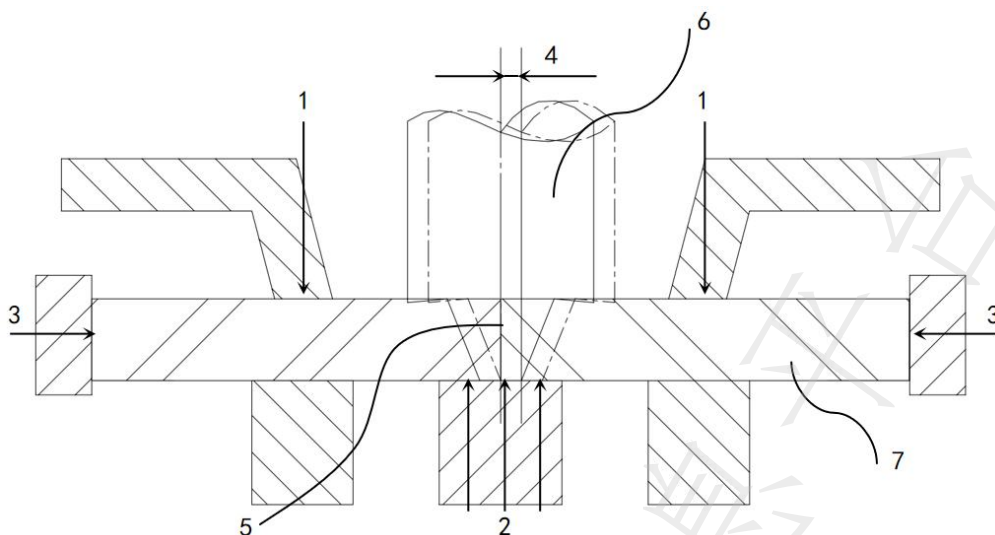
搅拌摩擦焊主轴 welding spindle

搅拌摩擦焊焊具的传动机构，用于在焊接过程中带动焊具高速旋转。

3.2

支撑力 support force

焊接夹具作用在被焊材料焊缝下方的力，见图1，单位：牛顿 (N)。



标引序号说明:

1-夹紧力; 2-支撑力; 3-侧顶力; 4-横向偏移; 5-焊缝理论位置; 6-焊具; 7-被焊材料。

图 1 搅拌摩擦焊夹具夹紧力、支撑力及侧顶力示意图

3.3

夹紧力 clamp force

焊接夹具作用在被焊材料上方的力, 见图 1, 单位: 牛顿 (N)。

3.4

侧顶力 lateral tight force

焊接夹具作用在被焊材料侧方的力, 见图 1, 单位: 牛顿 (N)。

3.5

主轴转速 rotational speed

主轴带动焊具沿旋转轴线, 在单位时间的旋转转数, 单位: 转每分钟 (r/min)。

4 系统分类

4.1 按搅拌摩擦焊焊具形式分类

4.1.1 动轴肩式搅拌摩擦焊接机器人系统。

4.1.2 静轴肩式搅拌摩擦焊接机器人系统。

4.1.3 双轴肩式搅拌摩擦焊接机器人系统。

4.2 按搅拌摩擦焊接机器人主轴形式分类

4.2.1 电主轴式搅拌摩擦焊接机器人系统。

4.2.2 机械主轴式搅拌摩擦焊接机器人系统。

5 系统组成

本文件定义的搅拌摩擦焊接机器人系统是指应用于搅拌摩擦焊作业的成套装备, 如图 2 所示。

系统的基本组成包括:

a) 搅拌摩擦焊接机器人本体及其控制系统, 包含机器人本体、机器人控制柜、示教器、搅拌

- 摩擦焊软件包等；
- b) 搅拌摩擦焊主轴，包含主轴本体、压力传感器、搅拌摩擦焊专用管线包等；
- c) 搅拌摩擦焊主轴控制系统，包含总电源控制柜、主控系统、驱动单元、冷却单元（选配）、液压单元（选配）、气动单元（选配）等；
- d) 搅拌摩擦焊焊具，包含静轴肩搅拌摩擦焊焊具、动轴肩搅拌摩擦焊焊具、双轴肩搅拌摩擦焊焊具等；
- e) 辅助装置及附件，包含焊接夹具、修磨装置（选配）、换刀装置（选配）、安全防护设施、上下料辅助装置（选配）等。

系统组成还可根据具体待焊工件焊接工艺要求的不同，选择移动装置（选配）、焊接变位机（选配）等装置。搅拌摩擦焊接机器人系统组成示意如图 3 所示。

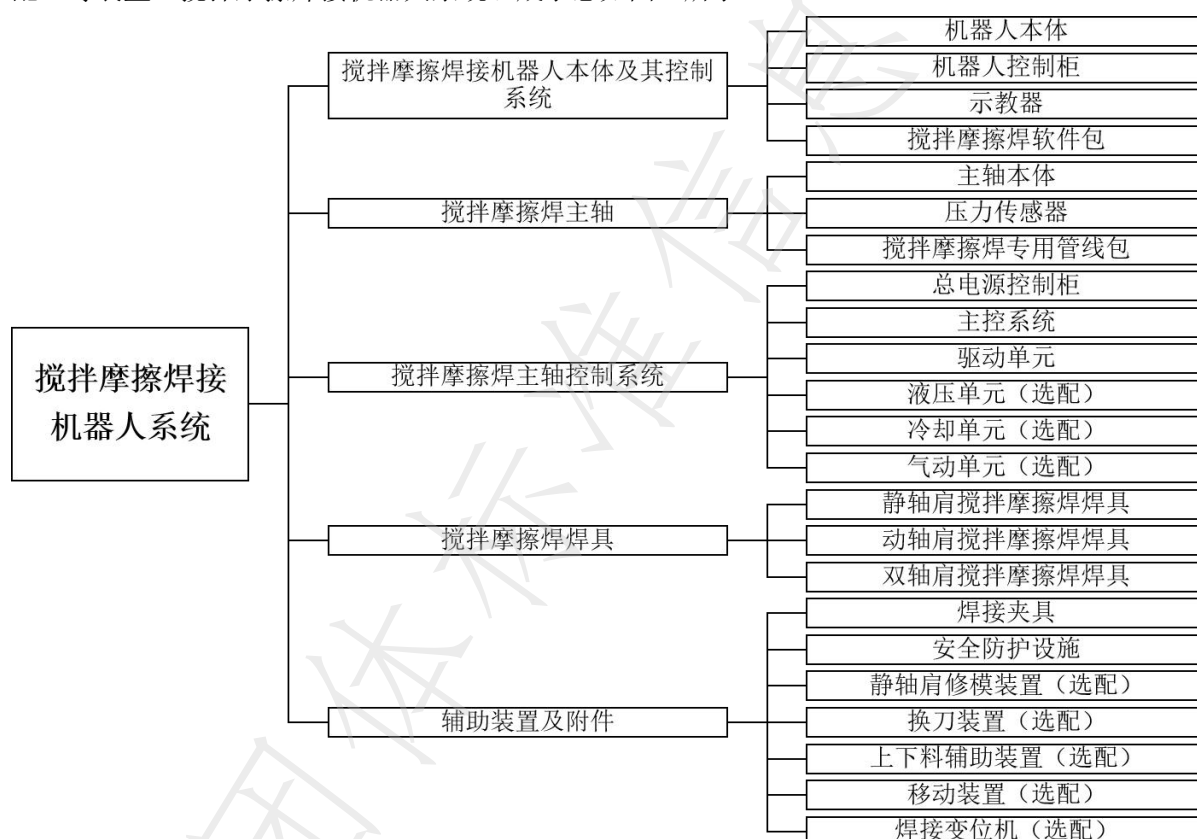
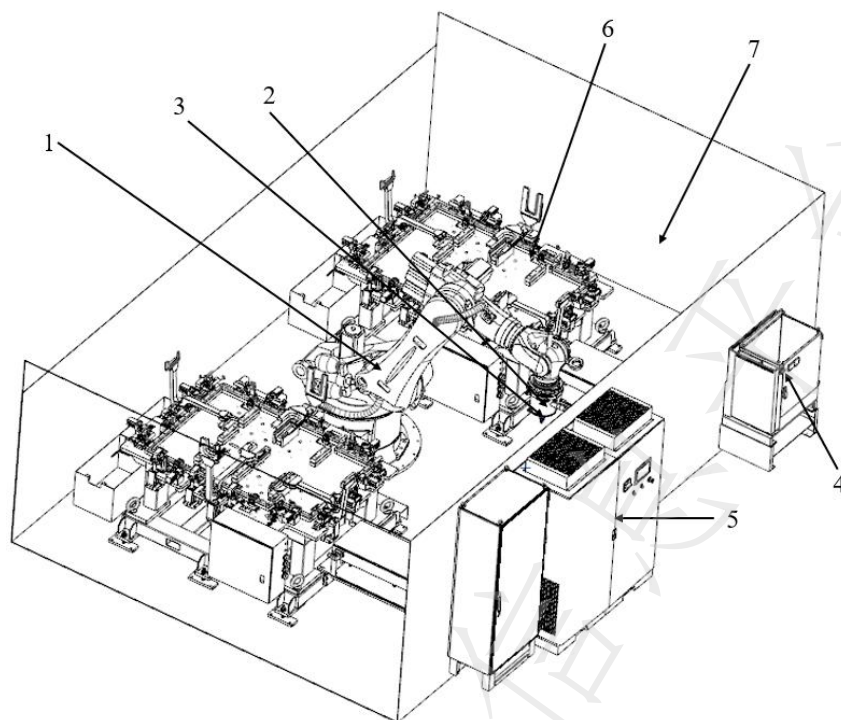


图 2 搅拌摩擦焊接机器人系统组成



标引序号说明:

1-搅拌摩擦焊接机器人本体; 2-搅拌摩擦焊主轴; 3-搅拌摩擦焊焊具; 4-搅拌摩擦焊接机器人控制系统; 5-搅拌摩擦焊主轴控制系统; 6-焊接夹具; 7-安全防护设施。

图 3 搅拌摩擦焊接机器人系统组成示意

6 主要技术参数

主要技术参数包括:

- a) 系统外形尺寸 ($W \times D \times H$), 单位: 毫米 $\times$ 毫米 $\times$ 毫米 ($\text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$);
- b) 系统重量, 单位: 千克 (kg);
- c) 系统总功率, 单位: 千瓦 (kW);
- d) 系统最大焊接深度, 单位: 毫米 (mm);
- e) 系统最高焊接速度, 单位: 毫米每分钟 (mm/min);
- f) 系统最大轴向压力, 单位: 牛顿 (N);
- g) 机器人额定负载, 单位: 千克 (kg);
- h) 机器人轴数, 单位: 个 (PCS);
- i) 机器人重复定位精度, 单位: 毫米 (mm);
- j) 机器人最大作业半径, 单位: 毫米 (mm);
- k) 搅拌摩擦焊主轴额定功率, 单位: 千瓦 (kW);
- l) 搅拌摩擦焊主轴额定转速, 单位: 转每分钟 (r/min);
- m) 搅拌摩擦焊主轴最高转速, 单位: 转每分钟 (r/min);
- n) 搅拌摩擦焊主轴额定扭矩, 单位: 牛米 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

7 技术要求

7.1 整机基本要求

- 7.1.1 搅拌摩擦焊接机器人系统所用标准件、外购件应符合相应现行国家标准和行业标准的规定，并有制造厂签发的合格证。
- 7.1.2 应运行平稳，无抖动和爬行现象。
- 7.1.3 运动装置应具备可靠的硬件限位装置。
- 7.1.4 搅拌摩擦焊接机器人系统应具备主轴转速、焊接速度、轴向压力、倾角等参数调整及监控功能。典型铝合金焊接参数可参照附录 A 推荐进行选择。

7.2 外观和结构

- 7.2.1 外露加工表面不宜有磕碰、划伤、锈蚀等。
- 7.2.2 内部应清洁，无明显杂物及颗粒型粉尘粘附。
- 7.2.3 管路的外露部分必须布置整齐、美观，管路不得出现扭曲、折叠、划伤等现象。
- 7.2.4 各种标牌应清晰、耐久。铭牌应固定在明显位置，标牌的固定应平整牢固，不歪斜。

7.3 搅拌摩擦焊接机器人本体及控制系统

- 7.3.1 应符合 GB 11291.2、GB/T 12642 和 JB/T 8896 中相关要求。
- 7.3.2 机器人本体应具备五个自由度以上。
注：不包括配套的电主轴和变位机等外部轴。
- 7.3.3 机器人位置重复性(100%负载额定速度)要求:不大于 0.1mm。
- 7.3.4 机器人运动及负载能力要求

机器人运动及负载能力要求，主要包括：

- a) 额定负载：不小于 500kg；
- b) 负载自重比（额定负载/本体重量）：不小于 0.2；
- c) 100%负载额定速度：不小于 10.0m/min；
- d) 静态柔顺性（搅拌针轴向）：小于 6.5mm/500kg。

- 7.3.5 机器人应具有压力传感器输入接口及压力控制工艺包，以实现焊接过程中的压力控制。
- 7.3.6 在系统最大轴向压力下，焊缝的横向偏移应小于 1mm（可采用轨迹补偿等方法）。

7.4 搅拌摩擦焊主轴

- 7.4.1 应符合 JB/T 10801.2 和 JB/T 11657 的要求。
- 7.4.2 搅拌摩擦焊主轴部件装配后应工作平稳、灵活、无阻滞及异常响声等不良现象。
- 7.4.3 搅拌摩擦焊主轴的转速误差控制在 $\pm 10\%$ 范围内。
- 7.4.4 搅拌摩擦焊主轴在空运转各级转速下，振动速度有效值应不超过 1.2mm/s。
- 7.4.5 搅拌摩擦焊主轴所能承受的设计轴向力，应大于系统最大额定（或工作）轴向压力 1.3 倍。
- 7.4.6 对于采用电主轴的产品，应具备强制循环冷却系统，电主轴的冷却系统应无泄漏现象。
- 7.4.7 对于采用电主轴的产品，电动机线包应埋设温度测量传感器，以测量电主轴轴承及电动机绕组温度。当温度过高时，必须停止作业并报警。
- 7.4.8 搅拌摩擦焊主轴上应具备压力传感器安装接口，以实现焊接过程中的压力控制。搅拌摩擦焊主轴上所安装的压力传感器，量程应至少为系统最大轴向压力的 1.5 倍。
- 7.4.9 搅拌摩擦焊主轴可具备自动松拉刀或手动机械拉刀功能，以实现焊具类型的切换。主轴的松刀、拉刀动作应到位灵活，拉刀可靠，拉刀后刀柄内孔面的径向跳动应不超过 0.02mm。

7.5 主轴控制系统

- 7.5.1 主轴控制系统应与机器人控制系统之间协调配合。
- 7.5.2 主轴控制系统中的主轴驱动单元，应满足主轴转速误差控制在 $\pm 10\%$ 范围内的要求。
- 7.5.3 主轴控制系统中可具备冷却单元，用于对主轴进行循环冷却，流量需满足主轴冷却要求，冷却单元需通过流量计实时监控冷却介质流量。
- 7.5.4 主轴控制系统中可具备气动单元，用于对刀具进行冷却，压力需满足末端工具使用要求，气动单元需通过压力传感器实时监控压缩空气压力。
- 7.5.5 主轴控制系统中可具备液压单元或气液增压单元，用于主轴的自动松刀、拉刀，液压单元或气液增压单元需包含液位传感器用于监控液压油油位，需包含压力传感器用于监控液压压力。
- 7.5.6 主轴控制系统与机器人应具备可靠的通讯接口，可采用 Profinet、EtherCAT 或 Modbus 等通讯协议。

7.6 电气控制系统

- 7.6.1 电气控制系统配线应正确，布线排列整齐、走向合理，导线标识清晰。
- 7.6.2 电气控制箱汇流排接地处应有明显的接地端子与接地标志，用作接地线的绝缘引线的表面应为黄绿双色，黄绿双色导线不得用作电气箱内的其他接线。
- 7.6.3 动力线与信号线须布局合理，对信号线须采用抗干扰措施。
- 7.6.4 电气设备在工作中突然停电后，再恢复供电时，不得自行工作。

7.7 焊接夹具

- 7.7.1 夹具定位准确，保证工件重复装夹精度优于 $\pm 0.25\text{ mm}$ 。
- 7.7.2 夹具应避免与搅拌摩擦焊主轴、焊具干涉。
- 7.7.3 夹具必须具备足够的刚度、压紧力和侧顶力，保证装夹可靠，防止焊接过程中零件变形或移动，同时应避免压伤零件。
- 7.7.4 背部垫板必须具备足够的支撑力，在焊缝区平面度要求小于 0.1 mm ，具有与焊接零件相拟合的形状，要求平直光滑，硬度大于 45 HRC。
- 7.7.5 适应人体工程要求，操作方便，安全可靠。
- 7.7.6 须设置防止工件放错和漏放的装置及标识。
- 7.7.7 夹具可具备 I/O 总线控制模块，以实现焊接夹具与搅拌摩擦焊接机器人的联动控制，可采用 Profinet、EtherCAT 或 Modbus 等通讯协议。

7.8 搅拌摩擦焊接机器人管线包

- 7.8.1 管线包电缆应满足搅拌摩擦焊机器人全空间轨迹运动的要求。
- 7.8.2 机器人机械臂适当位置应设置防碰撞环和支架用于固定管线包，避免管线包与搅拌摩擦焊机器人本体发生摩擦磨损和缠绕。
- 7.8.3 搅拌摩擦焊主轴编码器及压力传感器信号线缆应采用双绞双屏蔽线缆，以保证信号传输抗干扰能力。
- 7.8.4 离开本体管线应采用分段快速连接安装，便于后期更换和维护。

注：离开本体管线包括，交流伺服电动力线缆、编码器控制线缆、强制液冷管线、压力传感信号线缆以及其它外部传感器线缆等。

7.9 安全保护

7.9.1 机器人系统和单元布局设计及安全防护设施应符合 GB 11291.2 和 GB/T 20867 的规定。

7.9.2 系统应配备故障报警装置、急停保护开关、安全门锁、安全隔离装置等安全设施和措施，并能正常工作，确保操作者的安全。

注：急停保护应包括：切断伺服单元输出急停、示教器三段式开关软急停，系统中独立运行单元若具有供电急停，急停有效时应当保证其它单元急停响应。

7.9.3 机器人系统的急停装置或器件的操作控制器应着红色，四周着黄色衬托，且应安装在方便操作且醒目的位置。急停装置有效时，系统应停止运行；在急停装置复位前，通过其他启动装置应不能启动该产品。

注：系统输入供电急停开关应布置在安全空间外，便于人工干预的位置。电主轴系统急停时应确保机器人系统也处于急停状态。

7.9.4 应设置安全互锁条件，确保在安全条件不满足时，停止机器人运动及主轴旋转。

7.9.5 采用自动松刀、拉刀的系统，主轴旋转与自动松刀、拉刀应具备严格的电气联锁功能。在主轴转动过程中，严禁进行松刀，以防止可能造成的设备损坏或人身伤害。

7.9.6 机器人系统工作前，机器人工具中心点（TCP）应依据厂家提供的标定方法进行调整，避免可能导致搅拌针碰撞损坏。

7.9.7 机器人系统噪声声压级不超过 80dB。

7.9.8 应采取措施防止接触正在工作的搅拌摩擦焊主轴的旋转部分，或设置警示标识，以免造成严重的人身伤害。

8 检验方法

8.1 搅拌摩擦焊机器人本体重复定位精度检查

按 GB/T 12642 的规定进行。

8.2 主轴转速稳定性检查

分别设置主轴转速为最高工作转速的 25%、50%、100%，采用满足误差优于 $\pm 0.1\%$ 的转速测试仪对主轴转速稳定性进行测量，每组转速设定值与转速实际值的差值须优于 $\pm 10\%$ 。

8.3 压力传感器精度检查

采用误差优于 $\pm 0.25\%$ 的压力计对系统压力传感器的精度进行测量，以 500N 为梯度逐步增加压力至设备的最高压力载荷，分别记录系统压力传感器的数值及压力计的数值，要求每组数值之间的差值优于 $\pm 5\%$ 。

8.4 安全检查

按照 GB 2893、GB 2894、GB 11291.2 和 GB/T 20867 的规定对系统进行安全检查。

8.5 连续运行试验

系统在额定负载下须连续运行超过 120h，运行过程中应记录搅拌摩擦焊机器人本体、主轴、水冷单元、气动单元、液压单元及压力传感器等的状态。运行中如出现故障，排除故障后须重新启动系统做连续运行试验，运行时间须重新计算。

8.6 噪声检验

按 GB/T 17248.3 的规定进行检测，测试距机器边沿水平 1m，高度 1.5m，在前、后、左、右位置测量，取最大值。

9 标志

9.1 产品标志

9.1.1 须在明显位置固定产品标志，并应符合 GB/T 13306 的规定。

9.1.2 每台产品应在明显的部位固定铭牌，铭牌上至少应标出下列内容：

- a) 产品型号及名称；
- b) 产品基本参数；
- c) 制造日期；
- d) 出厂编号；
- e) 制造厂名。

9.2 操作和维护标志

须有相应的操作和维护标志，并应符合 GB/T 13306 的规定。

9.3 安全警告标志

9.3.1 系统在安装固定后，须设置有关的注意事项和警告标志。标志的颜色、尺寸及印刷形式应符合 GB 2893 和 GB 2894 的规定。

9.3.2 该标志的大小和位置须能使在危险区外面的人员清晰地看到。

9.4 包装标志

包装储运标志须符合 GB/T 191 的规定。

运输包装标志应当有下列内容：

- a) 产品型号和名称；
- b) 制造厂名称；
- c) 产品特性。

10 包装、储存和运输

10.1 包装

10.1.1 产品的包装应符合 GB/T 13384 的规定。

10.1.2 产品包装前，内部可活动件应捆扎牢固，并放置干燥剂。

10.1.3 产品包装箱应牢固可靠，适合运输装卸的要求。

10.1.4 产品包装箱应有可靠的防潮措施。

10.2 储存

10.2.1 产品应贮存于干燥通风的室内场所，环境温度要求 0~40℃，相对湿度不大于 90%。

10.2.2 产品长期存放时，每隔六个月检查一次，必要时重新进行防锈处理。

10.3 运输

10.3.1 产品运输过程中应小心轻放，不允许倒置和碰撞。

10.3.2 产品、附件应加以包装并固定在包装箱中。

10.3.3 产品需做好防雨和防潮措施，搬运时须注意轻放。

11 随机资料

系统所应包含的随机资料，至少应包含：

- a) 产品合格证；
- b) 装箱单；
- c) 安装说明书；
- d) 使用说明书；
- e) 维护说明书；
- f) 备品备件清单。

附 录 A

(资料性)

典型铝合金机器人搅拌摩擦焊接参数推荐表

材料	焊接深度 (mm)	主轴转速 (r/min)	焊接速度 (mm/min)	轴向压力 (N)	倾角 (°)
2219-T6	6	1000-1500	200-300	7000-8000	2-3
3003-O	4	3000-4000	1500-1800	6000-7000	2-3
5083-O	3	1500-2500	1000-1500	5000-6000	2-3
6061-T6	3	3000-4000	1500-2000	6000-7000	2-3
6063-T6	3	3000-4000	1500-2000	6000-7000	2-3
6082-T6	4	3000-4000	1200-1500	6000-7000	2-3
7075-T6	6	1000-1500	200-300	7000-8000	2-3
ADC12	4	1000-2000	200-600	3000-6000	2-3