

附件 1: ICS 25.160.10
CCS J 33



团 体 标 准

T/CWAN 0027—XXXX
T/CEEIA 2021130—XXXX

新能源汽车铝合金电池托盘焊接制造规范

Welding specification of aluminum alloy battery tray for new energy vehicles

(征求意见稿 2022.3.2)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中 国 焊 接 协 会 发 布
中 国 电 器 工 业 协 会

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 一般要求.....	2
4.1 产品质量.....	2
4.1.1 焊缝外观.....	2
4.1.2 焊缝性能.....	2
4.1.3 尺寸.....	2
4.1.4 气密性.....	2
4.2 母材.....	3
4.3 焊前要求.....	3
4.4 焊接与连接工艺.....	3
4.5 焊后处理.....	3
4.5.1 弧焊焊缝打磨.....	3
4.5.2 弧焊焊灰、焊渣清理.....	3
4.5.3 搅拌摩擦焊焊缝打磨.....	3
4.6 焊缝质量等级划分.....	3
5 工艺方法.....	3
5.1 弧焊.....	3
5.1.1 接头形式.....	3
5.1.2 工艺质量要求.....	5
5.1.3 检测方法.....	11
5.1.4 返工要求.....	12
5.2 激光焊.....	13
5.2.1 接头形式.....	13
5.2.2 工艺质量要求.....	15
5.2.3 检测方法.....	17
5.2.4 返工要求.....	18
5.3 搅拌摩擦焊.....	19
5.3.1 接头形式.....	19
5.3.2 工艺质量要求.....	19
5.3.3 检测方法.....	21
5.3.4 返工要求.....	23
5.4 电阻点焊.....	23
5.4.1 接头形式.....	23
5.4.2 工艺质量要求.....	23
5.4.3 检测方法.....	25
5.4.4 返工要求.....	26
5.5 旋转攻丝铆接.....	26

5.5.1	接头形式.....	26
5.5.2	工艺质量要求.....	26
5.5.3	检测方法.....	27
5.5.4	返工要求.....	28
5.6	自冲铆接（SPR）.....	28
5.6.1	连接点形式.....	28
5.6.2	工艺质量要求.....	29
5.6.3	质量检测方式.....	29
5.6.4	返工方法.....	30
5.7	螺柱焊.....	31
5.7.1	连接点形式.....	31
5.7.2	工艺质量要求.....	31
5.7.3	质量检测方式.....	31
5.7.4	返工方法.....	32
6	产品质量检测方法.....	34
6.1	气密性.....	34
6.1.1	气密性要求.....	34
6.1.2	气密性测试前准备.....	35
6.1.3	气密性检测方法.....	35
6.2	尺寸.....	36
6.2.1	尺寸要求.....	36
6.2.2	检测方法.....	36
6.3	清洁度.....	36
6.3.1	清洁度要求.....	36
6.3.2	清洁方法.....	36
附录 A（资料性）	弧焊工艺焊丝选用.....	37
附录 B（规范性）	缩写符号定义.....	39
参考资料	40

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。

本文件由江苏北人智能制造科技股份有限公司提出，由中国焊接协会焊接设备分会和中国电器工业协会电焊机标准化专业委员会组织编写。由中国焊接协会和中国电器工业协会双编号。

本文件由中国焊接协会归口。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

本文件于 xxxx 年首次制定。

新能源汽车铝合金电池托盘焊接制造规范

(征求意见稿)

1 范围

本文件规定了铝合金电池托盘焊接制造规范。

本文件适用于新能源汽车铝合金电池托盘的焊接制造。

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 324 焊缝符号表示法
- 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 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 3323.2 焊缝无损检测 射线检测 第2部分：使用数字化探测器的X和伽玛射线技术
- GB/T 3375 焊接术语
- GB/T 6417.1 金属熔化焊接头缺欠分类及说明
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分：总则
- GB/T 19869.2 铝及铝合金的焊接工艺评定试验
- GB/T 22085.2 电子束及激光焊接接头-缺欠质量分级指南 第2部分：铝及铝合金
- GB/T 22087 铝及铝合金的弧焊接头 缺陷质量分级指南
- GB/T 24598 铝及铝合金熔化焊焊工技能评定
- GB/T 26955 金属材料焊缝破坏性试验 焊缝宏观和微观检验
- GB/T 27551 金属材料焊缝破坏性试验 断裂试验
- GB/T 29710 电子束及激光焊接工艺评定试验方法
- GB/T 32259 焊缝无损检测 熔焊接头目视检测
- GB/T 34630.1 搅拌摩擦焊 铝 第1部分：术语及定义
- GB/T 34630.2 搅拌摩擦焊 铝 第2部分：焊接接头设计
- GB/T 34630.4 搅拌摩擦焊 铝 第4部分：焊接工艺规范及评定
- GB/T 34630.5 搅拌摩擦焊 铝 第5部分：质量和检测要求
- GB/T 35085 金属材料焊缝破坏性试验 激光和电子束焊接接头的维氏和努氏硬度试验
- GB/T 39091 电阻点焊及凸焊接头的十字拉伸试验方法
- GB/T 39165 电阻点焊及凸焊接头的剥离和凿离试验方法
- GB/T 39167 电阻点焊及凸焊接头的拉伸剪切试验方法
- JB/T 8323 螺柱焊机
- ISO 13918 电弧螺柱焊用焊接螺柱和陶瓷套圈 (Welding - Studs and ceramic ferrules for arc stud welding)

ISO 14555 焊接-金属材料的电弧螺柱焊 (Welding—Arc stud welding of metallic materials)

ISO 15614-12 金属材料焊接工艺规范及资格评定-焊接工艺评定试验-第十二部分-点焊、缝焊和凸焊 (Specification and qualification of welding procedures for metallic materials—Welding procedure test—Part 12:Spot, seam and projection welding)

T/CWAN 0033 铝合金搅拌摩擦焊体积型缺陷相控阵超声检测规范

3 术语和定义

GB/T 324、GB/T 3375、GB/T 6417.1、GB/T 34630.1、JB/T 8323 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

旋转攻丝铆接 Flow Drill Screw, FDS

通过特殊钻铆铆钉，在主轴高速旋转的驱动下，对板材进行加热、钻孔、攻丝、锁紧等过程，使局部熔化的板材能够嵌入到铆钉的螺纹牙中，形成类焊接作用，从而形成稳定的连接点。

3.2

自冲铆接 Self-Piercing Riveting, SPR

一种冷连接工艺，通过铆钉将两层甚至更多层不同材料的板材穿透进行连接。

3.3

电池托盘 battery tray

又称电池盒、电池壳、电池托架、电池下箱体等，一种用于固定和安装新能源汽车动力电池的金属密闭结构件。

4 一般要求

4.1 产品质量

4.1.1 焊缝外观

焊缝饱满，表面波纹均匀、整洁，无咬边、焊渣、焊瘤、夹渣、裂纹、气孔等常见外观缺陷，无焊丝残留；

焊接黑灰满足客户图纸要求。

4.1.2 焊缝性能

弧焊焊缝强度不低于母材的 60%；

激光焊焊缝强度不低于母材的 70%；

弧焊及激光焊焊缝熔深及气孔需满足相关标准要求（尤其注意铸造件焊缝气孔的满足状态标准）；

搅拌摩擦焊焊缝强度不低于母材的 70%；

电阻点焊性能以及旋转攻丝铆接连接性能需满足各自标准要求。

4.1.3 尺寸

具体以电池托盘客户图纸要求为准。

4.1.4 气密性

电池托盘因其特殊的功能需求，必要时其部分焊缝除满足常规焊接标准外，还需满足密封要求。产品参考 IP67 气密要求的检测方法，充气压力 5-10kPa，泄露值小于 20Pa/min 或者 20ml/min，具体检测方法及检测标准以客户要求为准。

4.2 母材

3系、5系、6系、7系铝合金的型材、板材；锻造、铸造铝合金零件。

4.3 焊前要求

焊接前应对工件表面质量进行检查确认，确保待焊母材表面的氧化物、保护剂、胶粘剂、油、污、水份及其他影响焊接质量的物质去除干净。此外，焊接环境温度建议控制在15-30° C，湿度建议控制在60%以内。

4.4 焊接与连接工艺

新能源汽车铝合金电池托盘的焊接与连接方法包括：弧焊、激光焊、搅拌摩擦焊、电阻点焊、旋转攻丝铆接、自冲铆接及螺柱焊等。

4.5 焊后处理

4.5.1 弧焊焊缝打磨

针对电池托盘边框底面和顶面处的焊缝区域进行打磨。

打磨质量要求：打磨后，要求焊缝与母材顺接平滑，产品的焊缝强度以及气密性满足要求。

4.5.2 弧焊焊灰、焊渣清理

针对电池托盘中间横梁焊接区的焊灰、焊渣进行清理。

清理要求：利用清洗液将电池托盘底部中间横梁焊接后的焊灰和焊渣清理干净。

4.5.3 搅拌摩擦焊焊缝打磨

针对电池托盘底板连接处焊缝、底板与边框连接处的搅拌摩擦焊焊缝飞边进行打磨。

打磨质量要求：将搅拌摩擦焊焊缝挤出的飞边毛刺去掉，表面光滑，无毛刺，焊缝与母材顺接平滑，无明显痕迹，允许铣削深≤薄板的20%，且确保震动后槽内外无异物掉落。对焊接表面质量要求较高的，建议采用铣加工，保证焊缝粗糙度和平整度；对于焊缝边缘的飞边或其他材料突出以及下榻，应采用不影响母材性能的适当方法进行修整去除，修整后的焊缝和母材厚度应在容许范围内。

4.6 焊缝质量等级划分

根据电池托盘产品及图纸相应要求，制定相应的质量评价等级。具体如下表1所示。

表1 质量评价等级表

受力要求	质量等级	备注
高	B	承受较大交变载荷，或重要的受力焊缝
中	C	一般受力焊缝
低	D	其他起辅助加强作用的静载焊缝

5 工艺方法

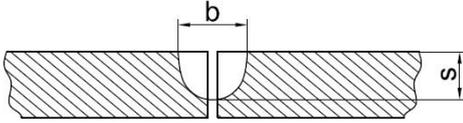
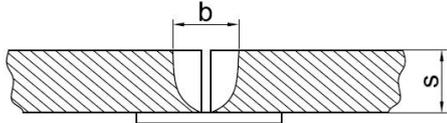
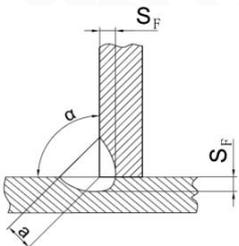
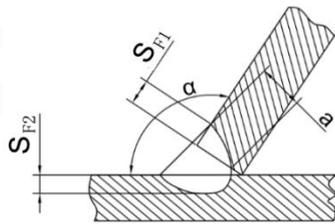
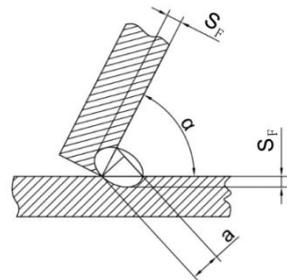
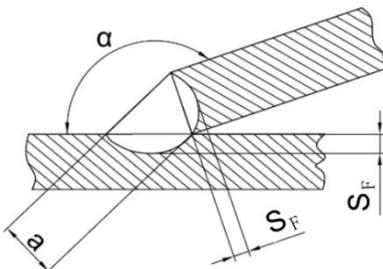
5.1 弧焊

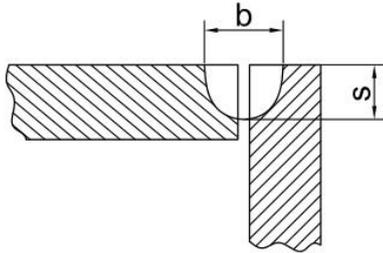
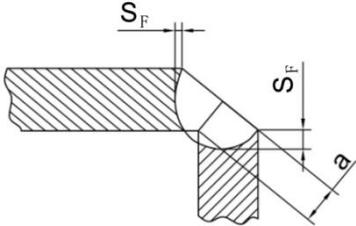
5.1.1 接头形式

弧焊接头形式见表2。

表2 弧焊接头形式

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	
1	对接	180°	$t > 2\text{mm}$ 时, $s \geq 0.6t_{\min}$, 最小 2mm; $t \leq 2\text{mm}$ 时, 全熔透	$3t_{\min} \leq b \leq 5t_{\min}$	
2	对接 (加衬板)	180°	$s=t$	$3t \leq b \leq 5t$	
3	T 型接头	$90^\circ \pm 20^\circ$	$a \geq 0.7t_{\min}$	$s_F \geq 0.1t_{\min}$	
4	外倾角焊缝	$110^\circ - 160^\circ$	$a \geq 0.7t_{\min}$	$s_{F1} \geq 0.5t_{\min}$ $s_{F2} \geq 0.1t_{\min}$	
5	内倾角焊缝	$50^\circ - 70^\circ$	$a \geq 0.7t_{\min}$	$s_F \geq 0.1t_{\min}$	
6	搭接	$160^\circ - 180^\circ$	$a \geq 0.7t_{\min}$	$s_F \geq 0.1t_{\min}$	

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	
7	外角焊	90°	$s \geq 0.6t_{\min}$	$3t_{\min} \leq b \leq 5t_{\min}$	
8	外角焊	230° -300°	全熔透	$s_F \geq 0.1t_{\min}$	

5.1.2 工艺质量要求

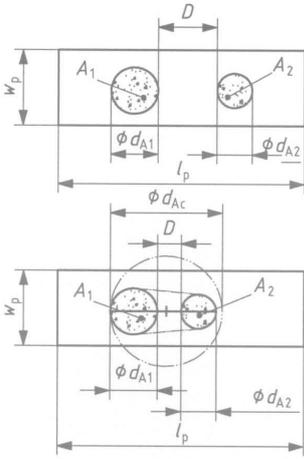
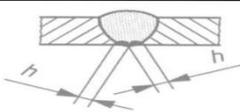
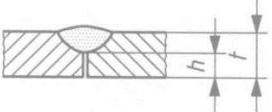
5.1.2.1 焊缝尺寸

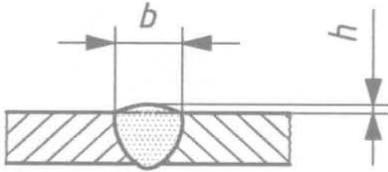
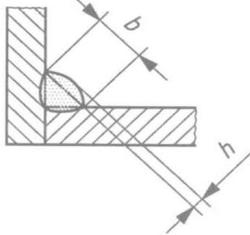
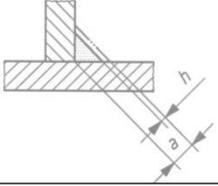
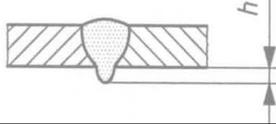
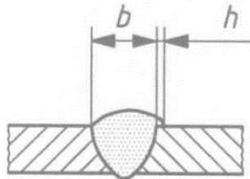
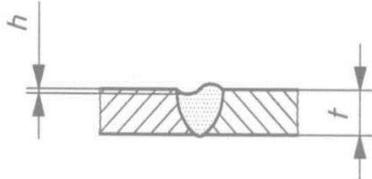
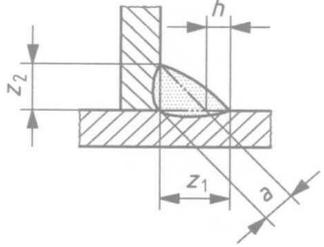
为保证焊缝达到尺寸要求，提高焊接质量，弧焊工艺选择建议如下：弧焊接头应避免选用直流短路（无脉冲）焊接方式。应根据板厚、接头形式、焊接位置、焊接速度等条件要求，选择配合抽拉丝功能的短路焊接；直流/交流单脉冲焊接；直流/交流双脉冲焊接；抽拉丝短路+脉冲焊接；变规范+机器人同步摆动焊接等焊接工艺方法，保证接头质量。具体的焊缝尺寸要求见 5.1.1.1。

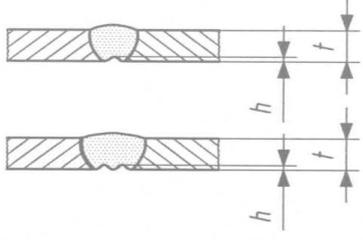
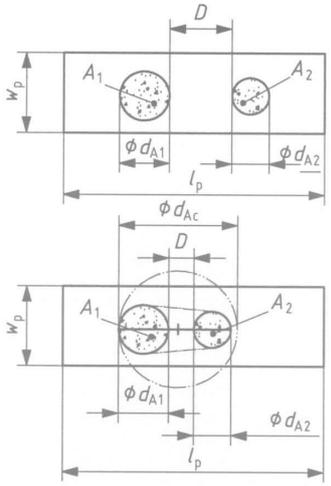
5.1.2.2 弧焊焊接缺陷见表 3。

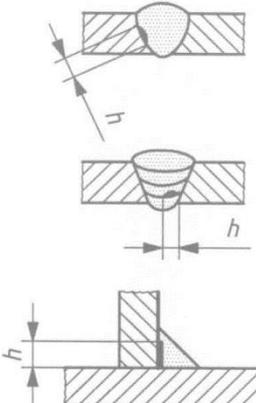
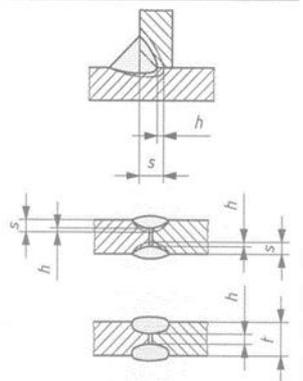
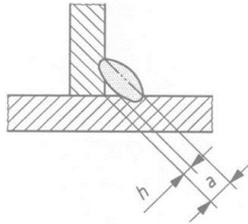
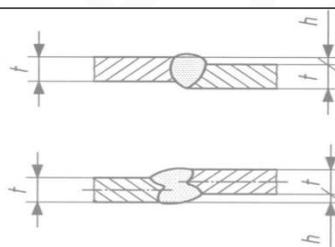
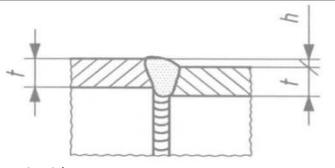
表 3 弧焊焊接缺陷

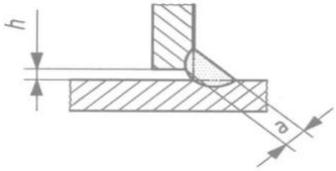
序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
1. 表面缺陷					
1.1	裂纹	除微观裂纹外的所有裂纹	不允许		
1.2	弧坑裂纹		$h \leq 0.4s$ 或 a	不允许	
1.3	不均匀气孔		$d \leq 2\%$	$d \leq 1\%$	$d \leq 0.5\%$

序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
1.4	局部密集气孔	 <p>密集气孔区域用包括所有气孔的直径 d_A 的封闭圆来表示。 该圆形区域的所有气孔应符合单个气孔的要求。 允许的多孔区必须是局部的。应该考虑到密集气孔可能掩盖其他缺陷的可能。 如果 D 小于 d_{A1} 或 d_{A2} 中的较小者，整个气孔区域应当用直径为 d_{AC} 的圆表示，$d_{AC}=d_{A1}+d_{A2}+D$。 不允许有系统密集气孔。</p>	$d_A \leq 25\text{mm}$ 或 $d_{A\text{max}} \leq w_p$ d_A 对应于 d_{A1} , d_{A2} 或 d_{AC}	不允许	不允许
1.5	链状气孔	—	不允许	不允许	不允许
1.6	表面气孔	单个气孔的最大尺寸	$d \leq 0.4s$ 或 a 且 $\leq 3\text{mm}$	$d \leq 0.3s$ 或 a 且 $\leq 1.5\text{mm}$	$d \leq 0.2$ 或 a 且 $\leq 1\text{mm}$
1.7	末端弧坑缩孔	—	$h \leq 0.4t$, 且 $\leq 3\text{mm}$	$h \leq 0.2t$, 且 $\leq 1.5\text{mm}$	不允许
1.8	未熔合		短缺陷		
			$h < 0.1s$ 或 a 且 $\leq 3\text{mm}$	$h < 0.1s$ 或 a $\leq 1.5\text{mm}$	不允许
1.9	根部熔深不足		非系统性的短缺陷		
			$h \leq 0.2s$ 最大 2mm	不允许	不允许
1.10	连续咬边		$h \leq 0.2t$ 最大 1mm	$h \leq 0.1t$ 最大 0.5mm	不允许
	间断性咬边 (短缺陷)		$h \leq 0.2t$ 最大 1.5mm	$h \leq 0.1t$ 最大 1mm	$h \leq 0.1t$ 最大 0.5mm

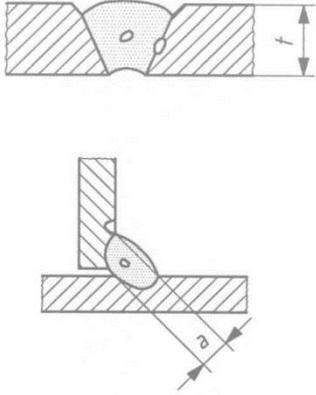
序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
1.11	焊缝超高（对接焊缝）		$h \leq 1.5\text{mm} + 0.3b$ ，且 $\leq 10\text{mm}$	$h \leq 1.5\text{mm} + 0.15b$ 且 $\leq 8\text{mm}$	$h \leq 1.5\text{mm} + 0.1b$ 且 $\leq 5\text{mm}$
1.12	焊缝凸度过大（角焊缝）		$h \leq 1.5\text{mm} + 0.3b$ ，且 $\leq 5\text{mm}$	$h \leq 1.5\text{mm} + 0.15b$ ，且 $\leq 4\text{mm}$	$h \leq 1.5\text{mm} + 0.1b$ ， 且 $\leq 3\text{mm}$
1.13	焊缝有效厚度不足		$h \leq 0.3a$ 且 $\leq 2\text{mm}$	$h \leq 0.2a$ 且 $\leq 1.5\text{mm}$	$h \leq 0.1a$ 且 $\leq 1\text{mm}$
1.14	根部余高过大		$h \leq 5\text{mm}$	$h \leq 4\text{mm}$	$h \leq 3\text{mm}$
1.15	焊瘤		短缺陷： $h \leq 0.2b$	不允许	不允许
1.16	未焊满		$h \leq 0.2t$ 最大 2mm	$h \leq 0.1t$ 最大 1mm	$h \leq 0.05t$ 最大 0.5mm
1.17	焊脚不对称（焊脚长度过度不相等）		$h \leq 3\text{mm} + 0.3a$	$h \leq 2\text{mm} + 0.25a$	$h \leq 1.5\text{mm} + 0.2a$
1.18	根部凹陷	图纸未规定焊脚不对称的情况下	短缺陷		
			$h \leq 0.2t$ 最大 1.5mm	$h \leq 0.1t$ 最大 1mm	$h \leq 0.05t$ 最大 0.5mm

序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
		 <p>圆滑过渡</p>			
2. 内部缺陷					
2.1	裂纹	除微裂纹和弧坑裂纹之外的所有裂纹。	不允许	不允许	不允许
2.2	微观裂纹	通常要在显微镜下才可见的裂纹(×50)	允许	是否允许, 根据母材种类和裂纹敏感性决定	
2.3	球形气孔	单个气孔的最大尺寸	$d \leq 0.4s$ 或 a 最大 6mm	$d \leq 0.3s$ 或 a 最大 5mm	$d \leq 0.3s$ 或 a 最大 4mm
2.4	均布气孔	气孔评估相对横截面	$\leq 6\%$	$\leq 2\%$	$\leq 1\%$
		缺陷评估相对投影面	$\leq 10\%$	$\leq 4\%$	$\leq 2\%$
2.5	局部密集气孔	 <p>密集气孔区域用包括所有气孔的直径 d_A 的封闭圆来表示。 该区域内的所有气孔应符合单个气孔的要求。 允许的多孔区必须是局部的。应该考虑到密集气孔可能掩盖其他缺陷的可能。 如果 D 小于 d_{A1} 或 d_{A2} 中的较小者, 整个气孔区域应当用直径为 d_{AC} 的圆表示, $d_{AC} = d_{A1} + d_{A2} + D$。 不允许有系统密集气孔。</p>	$d_A \leq 25\text{mm}$ 或 $d_{A \max} \leq w_p$ d_A 对应于 d_{A1} , d_{A2} 或 d_{AC}	$d_A \leq 20\text{mm}$ 或 $d_{A \max} \leq w_p$ d_A 对应于 d_{A1} , d_{A2} 或 d_{AC}	$d_A \leq 15\text{mm}$ 或 $d_{A \max} \leq w_p$ d_A 对应于 d_{A1} , d_{A2} 或 d_{AC}
2.6	链状气孔	---	允许短缺陷	不允许	
2.7	条状气孔 虫状气孔	---	$l \leq 0.4s$ 或 a 最大 6mm	$l \leq 0.3s$ 或 a 最大 4mm	$l \leq 0.2s$ 或 a 最大 3mm
2.8	氧化物夹杂	如果有几个氧化物 11, 12, 13...ln 存在于一个横截面中, 则将其相加: $l = 11 + 12 + 13 + \dots + ln$	短缺陷		
			$l \leq s$ 或 a 最大 10mm	$l \leq 0.5s$ 或 a 最大 5mm	$l \leq 0.2s$ 或 a 最大 3mm
2.9	金属夹		$l \leq 0.4s$ 或 a	$l \leq 0.3s$ 或 a	$l \leq 0.2s$ 或 a

序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
	杂-钨		最大 6mm	最大 4mm	最大 3mm
2.10	未熔合		短缺陷允许 $h \leq 0.3s$ 或 a 最大 3mm	不允许	不允许
2.11	未焊透		短缺陷，但不是系统缺陷		
			$h \leq 0.4s$ 最大 3mm	$h \leq 0.2s$ 最大 2mm	不允许
2.12	针对角焊缝的根部未熔合		短缺陷		
			$h \leq 0.1a$ 最大 1.0mm	不允许	不允许
3. 几何缺陷					
3.1	错边	 板材纵向焊缝	$h \leq 0.4t$ 最大 8mm	$h \leq 0.3t$ 最大 4mm	$h \leq 0.2t$ 最大 2mm
		 环焊缝	$h \leq 0.4t$ 最大 10mm	$h \leq 0.3t$ 最大 6mm	$h \leq 0.2t$ 最大 4mm

序号	缺陷名称	说明	质量等级		
			D	C	B
3.2	根部间隙不良		$h \leq 1\text{mm} + 0.2a$ 最大 4mm	$h \leq 0.5\text{mm} + 0.15a$ 最大 3mm	$h \leq 0.5\text{mm} + 0.1a$ 最大 2mm

4. 多重缺陷

4.1	任一截面上的复合缺陷		$\leq 0.4t$ 或 a	$\leq 0.3t$ 或 a	$\leq 0.2t$ 或 a
-----	------------	---	-------------------	-------------------	-------------------

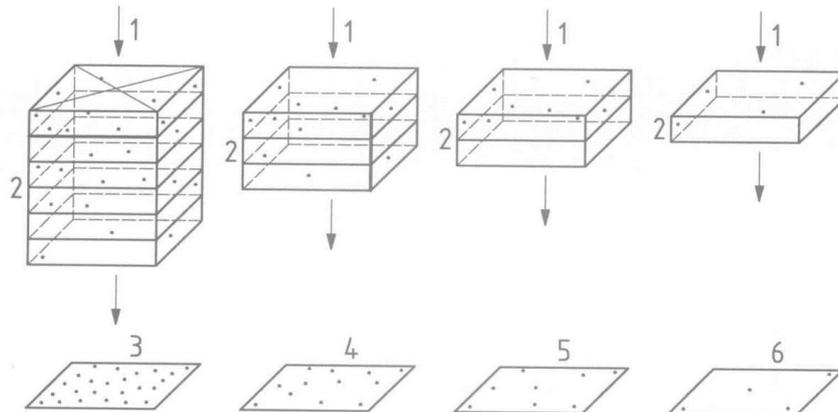
注 1: 短缺陷: 当焊缝长度等于 100mm 或更长的时候, 在 100mm 的焊缝长度范围内, 其缺陷总长度不大于 25mm 的缺陷被认为是短缺陷; 当焊缝长度小于 100mm 时, 如果缺陷的总长度不大于整个焊缝长度的 25% 的缺陷也被认为是短缺陷。

注 2: 系统缺陷: 是指重复出现在被测定的整个焊缝长度内的缺陷, 其单独缺陷的尺寸应在规定的范围内。

注 3: 横截面区域: 是指断开或剖开后的截面。

注 4: 投影区域: 是指分布在焊缝立体范围内的所有缺陷在二维平面上的投影。

注 5: 与横截面区域相反, 在暴露于射线下时, 缺陷的分布由焊缝厚度决定 (见图 1)。



说明:

1 X-射线方向 2 每单位体积 4 个气孔 3 6 层焊厚度 4 3 层焊厚度 5 2 层焊厚度 6 1 层焊厚度

图 1 每单位体积内有着同样的气孔分布的样本的射线照片

5.1.2.3 缺陷改进方法见表 4。

表 4 弧焊缺陷改进方法

序号	缺陷名称	成因	改进方法
1	裂纹	1.1 焊材或母材的化学成分	1.1.1 选用合适牌号的优质焊丝 1.1.2 焊前清理, 避免杂质进入熔池

序号	缺陷名称	成因	改进方法
		1.2 较大的拉应力	1.2.1 减小焊缝拘束度 1.2.2 提高下料/组对精度，减小间隙
		1.3 焊缝成型系数过大或过小	1.3.1 焊缝成型系数控制在3-7之间
		1.4 结晶速度过快固液相不平衡	1.4.1 适当降低焊接电流，减小焊接速度。
		1.5 柱状晶粗大，晶间液化开裂	1.5.1 焊前预热，控制热输入量。
2	气孔	2.1 焊材、母材表面残留水分和有机物	2.1.1 焊前清理 2.1.2 焊材、母材与环境的同温化处理坡口加工残留物的清理
		2.2 气体保护	2.2.1 纯度 $\geq 99.99\%$ 2.2.2 保护气体中水分含量 $< 0.02\text{mg/L}$ 2.2.3 工作区域风速 $\leq 0.2\text{m/s}$ 2.2.4 根据焊接规范和环境，调整适当的气体流量 2.2.5 避免过长的气路
		2.3 设备	2.3.1 保护气路的完整 2.3.2 清理工具的专用化
		2.4 工艺方法及参数	2.4.1 选择正确的焊接工艺方法 2.4.2 设置适当的电流电压和焊接速度 2.4.3 焊接层数、道数的正确排布 2.4.4 焊接接头的合理设计
		2.5 操作技术	2.5.1 焊枪工作的正确姿态 2.5.2 焊枪运行的正确轨迹 2.5.3 起、收弧位置和焊缝接头部位的正确处理
		2.6 环境	2.6.1 温度：冬季不低于 15°C ，夏季不高于 30°C 2.6.2 相对湿度 $\leq 60\%$
3	焊瘤	3.1 单道焊接焊缝超宽	3.1.1 采用多层多道焊
		3.2 电弧过于集中	3.2.1 增加焊接电压，提高电弧加热宽度
		3.3 单边热量不足	3.3.1 改善焊枪指向位置和角度 3.3.2 调整焊枪摆动轨迹
4	根部熔深不足	4.1 焊接工艺方法原因	4.1.1 选择适当的焊接工艺方法
		4.2 焊接规范原因	4.2.1 增加焊接电流、降低焊接电压
		4.3 焊枪姿态导致	4.3.1 改善焊枪指向位置 4.3.2 调整焊枪摆动轨迹

5.1.3 检测方法

5.1.3.1 表面缺陷检测：

检测方法：目视检测（执行标准：GB/T 32259）渗透检测（执行标准：GB/T 18851.1）。

5.1.3.2 内部缺陷检测：

a) 无损检测方法：超声波检测（执行标准：GB/T 11345）射线检测（执行标准：GB/T 3323.1）；

b) 金相检测方法：焊缝宏观和微观焊缝检测（执行标准：GB/T 26955）。

5.1.3.3 力学性能检测

a) 拉伸试验：对于对接接头，按照 GB/T 2651 进行横向拉伸试验。对于角接焊缝，其抗拉强度参照同厚度板材对接接头的抗拉强度（见表 5）。对于纯铝及非热处理强化铝合金，焊缝中不存在通过目测可观察到的裂纹抗拉强度换算公式：

$$\sigma_{\min,w} = \sigma_{\min,pm} \times K$$

式中：

$\sigma_{\min,w}$ ——焊后状态焊接试样最小抗拉强度

$\sigma_{\min,pm}$ ——相关国际标准中规定的母材极限抗拉强度的最小值

K ——接头强度系数

表 5 对接接头拉伸强度性能

材料组别或分组	焊接前母材热处理状态 ¹	焊后状态	接头强度系数 K
21	全部回火条件	焊态	1.0 ³
22	全部回火条件	焊态	1.0 ³
23.1	T4	自然时效 ²	0.80
	T4	人工时效 ²	0.8 ⁴
	T5 和 T6	自然时效人工时效 ²	0.70
	T5 和 T6	自然时效人工时效 ²	0.8 ⁴
23.2	T4	自然时效人工时效 ²	0.70
	T4	自然时效人工时效 ²	0.7 ⁴
	T6	自然时效 ²	0.60
	T6	人工时效 ²	0.7 ⁴

¹ 对于未明确母材热处理状态的，焊后最小抗拉强度 $\sigma_{\min,w}$ 应符合设计规范。
² 时效状态应符合设计规范。
³ 不考虑实际母材热处理状态， $\sigma_{\min,w}$ 按指定 || 0 || 状态的最小抗拉强度。
⁴ 如果针对焊缝进行焊后热处理，可达到更高的接头强度。焊缝最小抗拉强度应符合设计要求。

b) 弯曲试验：弯曲试验和弯曲试件的准备应按照 GB/T 2653 进行。

对于所有的焊接试样，弯曲角度不小于 150 度，弯曲试验所采用的弯心直径应根据母材延伸率的不同采用如下方法计算：

延伸率大于 5% 时，弯心直径按 $d = \frac{100 \times t_s}{\Delta l} - t_s$ 公式计算，

式中：

d ——弯心直径最大值，单位为 mm；

t_s ——弯曲试样的厚度，单位为 mm；

Δl ——材料标准要求的最低延伸率。

延伸率不大于 5% 时，应在试验前进行退火处理。弯心直径应根据规定的退火状态下的延伸率进行计算。

若由于退火过程中出现晶粒粗大而导致未通过弯曲试验，应根据要求进行补充弯曲试验，补充的弯曲试验参数应符合设计文件要求。

除非另有规定，试件任何方向都不允许出现大于 3mm 的单条裂纹。试验过程中，出现在试验边缘的裂纹应被忽略（由于焊透或孔洞导致的裂纹除外）。

5.1.4 返工要求

5.1.4.1 返工标准

经判定，焊缝有烧穿、气孔、裂纹、咬边、凹陷、未熔合、未焊透、焊瘤、角焊缝过渡不对称等缺陷时，需要对漏焊及缺陷焊缝进行补焊和返工。补焊和返工焊缝，应当按照规定的焊缝标准执行。

5.1.4.2 人员要求

补焊和返工焊接人员，需有铝合金手工焊接资质，经过 GB/T 24598 考核，补焊前，需对焊接人员进行施工流程培训。

5.1.4.3 返工

a) 准备

对于缺陷焊缝，应使用适当的工具，将缺陷完全清除，在施焊前，去除掉毛边、氧化物、有机物等影响焊接质量的杂质，并保证焊接过程中无污染。

b) 焊接方法的选择

优先选择 TIG 作为缺陷焊缝返工的焊接方法，并在焊接完成后检测变形量。

注 1: 对烧穿、气孔、裂纹、咬边、凹陷、未熔合、未焊透、焊瘤、角焊缝过渡不对称等缺陷焊缝进行返工。

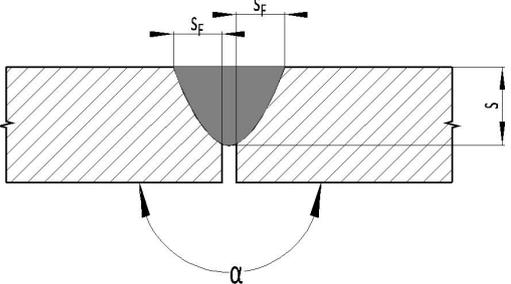
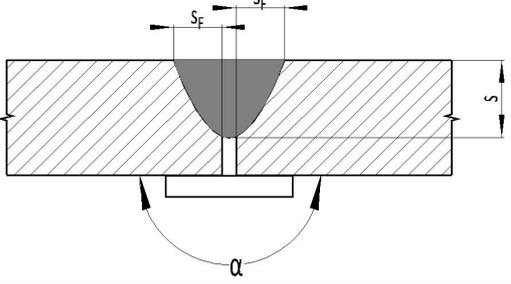
注 2: 同一位置返工次数不得超过 2 次。

5.2 激光焊

5.2.1 接头形式

激光焊接头形式见表 6。

表 6 激光焊接头形式表

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	
1	对接接头	135-180°	t > 2mm 时 s ≥ 0.9t _{min} 最小 2mm 或参照图纸要求 t ≤ 2mm 时 全熔透	s _f ≥ 0.1t _{min}	
2	对接接头 (加衬板)	135-180°	s = t	S _f ≥ 0.1t	

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	
3	对接接头 (锁底)	135- 180°	$s \geq t$	$S_f \geq 0.1t$	
4	外角焊	30- 135°	全熔透	$S_f \geq 0.1t_{\min}$	
5	外角焊	90°	t > 2mm 时 $s \geq 0.9t_{\min}$ 最小 2mm 或参照图纸要求 t ≤ 2mm 时 全熔透	$S_f \geq 0.1t_{\min}$	
6	搭焊接头	0° -5°	$a \geq 0.6t_{\min}$, 且 $\geq 1.2\text{mm}$	$S_f \geq 0.1t_{\min}$ 且 $\geq 0.25\text{mm}$	
7	T型接头	80° - 110°	$a \geq 0.6t_{\min}$, 且 $\geq 1.2\text{mm}$	$S_f \geq 0.1t_{\min}$ 且 $\geq 0.25\text{mm}$	

序号	接头形式	角度范围	要求		图示
			焊缝有效厚度	熔深	
8	叠层搭接	0°	$S_N > 0.7t_{\min}$, 或 $\geq 1.2\text{mm}$	$S_F \geq 0.3t$, 且 $\geq 0.25\text{mm}$	

5.2.2 工艺质量要求

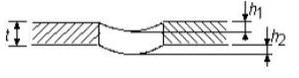
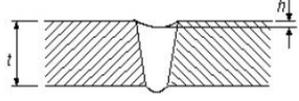
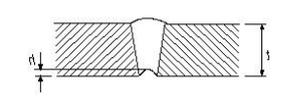
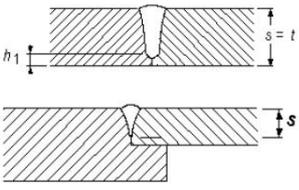
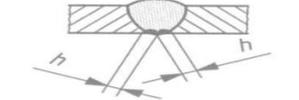
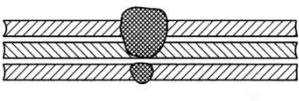
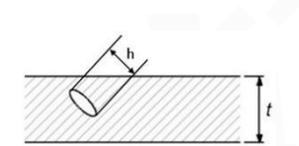
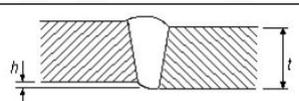
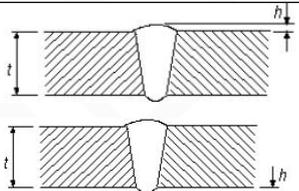
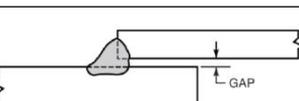
5.2.2.1 焊缝尺寸

具体尺寸见 5.2.1。

5.2.2.2 焊接缺陷见表 7。

表 7 激光焊焊接缺陷表

序号	缺陷种类	示意图	质量等级		
			D	C	B
1	裂纹		不允许	不允许	不允许
2	咬边		$h \leq 0.15t$	$h \leq 0.1t$	$h \leq 0.05t$
3	爆孔		不允许	不允许	不允许
4	焊穿		不允许	不允许	不允许

序号	缺陷种类	示意图	质量等级		
			D	C	B
5	薄板塌陷		$h_1 \leq 0.3t + h_2$ ($t \leq 2\text{mm}$)	$h_1 \leq 0.2t + h_2$ ($t \leq 2\text{mm}$)	$h_1 \leq 0.1t + h_2$ ($t \leq 2\text{mm}$)
6	未焊满/凹陷		$h \leq 0.15t$	$h \leq 0.1t$	$h \leq 0.05t$
7	根部缺口		$h \leq 0.3t$	$h \leq 0.2t$	$h \leq 0.1t$
8	未焊透		$h_1 \leq 0.25s$	不允许	不允许
9	未熔合		$h \leq 0.25s$	不允许	不允许
10	未连接		不允许	不允许	不允许
11	气孔		最大长度方向 $\leq 0.5t$ 气孔率 $\leq 10\%$	最大长度方向 $\leq 0.4t$ 气孔率 $\leq 6\%$	最大长度方向 $\leq 0.3t$ 气孔率 $\leq 3\%$ 投影面积
12	错边		$h \leq 0.25t$	$h \leq 0.15t$	$h \leq 0.1t$
13	余高		$h \leq 1.0\text{mm} + 0.3t$	$h \leq 1.0\text{mm} + 0.2t$	$h \leq 1.0\text{mm} + 0.15t$
14	间隙		焊后：间隙 $\leq 0.3t_{\min}$ ，且 $\leq 0.5\text{mm}$	焊后：间隙 $\leq 0.2t_{\min}$ ，且 $\leq 0.4\text{mm}$	焊后：间隙 $\leq 0.1t_{\min}$ ，且 $\leq 0.3\text{mm}$

5.2.2.3 缺陷改进方法见表8。

表8 激光焊缺陷改进方法

序号	缺陷名称	缺陷改进方法
1	裂纹	1. 根据材料适当进行预热

序号	缺陷名称	缺陷改进方法
		2. 有填充料时注意填料成分
2	咬边	1. 适当减小激光功率 2. 适当降低焊接速度 3. 适当增加离焦量
3	爆孔	1. 控制板间间隙 2. 保证接头处焊前清洁
4	焊穿	1. 适当减小激光功率 2. 适当增大焊接速度 3. 适当增加离焦量
5	薄板塌陷	1. 适当降低激光功率 2. 适当提高焊接速度 3. 减小拼接间隙
6	未焊满/凹陷	1. 适当减小焊接功率 2. 适当增加离焦量 3. 增加送丝速度
7	根部缺口	1. 适当增加激光功率、 2. 适当降低焊接速度 3. 适当采用负离焦
8	未焊透	1. 适当增加激光功率 2. 适当降低焊接速度 3. 适当采用负离焦
9	未熔合	1. 适当增加激光功率 2. 适当降低焊接速度 3. 适当采用负离焦
10	未连接	1. 适当增加激光功率、 2. 适当降低焊接速度 3. 适当采用负离焦
11	气孔	1. 适当降低焊接速度 2. 对焊前进行充分清洁 3. 调整保护气状态
12	错边	1. 检查拼装 2. 可以采用预点焊固定
13	余高	1. 减小焊丝直径 2. 降低送丝速度
14	间隙	1. 控制来料尺寸 2. 调整夹具压头排布及压紧力度

5.2.3 检测方法

5.2.3.1 非破坏性检验

a) 目视检测

应遵守 GB/T 32259 的规定。在目视检测过程中，根据规格对焊缝的位置，形成，存在和数量进行评估，检测应当用肉眼进行。

b) 射线检测

X 射线检测可以非破坏性地检测焊缝缺陷。X 射线检测可以用于验证接头和定期质量保证。应遵守 GB/T 32259 标准执行。

c) 着色渗透检测

着色渗透检测可以使焊缝或焊接区域的裂纹变得可见。着色渗透测试可用于现场生产以进行缺陷分析。当使用着色渗透测试时，应注意确保测试中的渗透剂残留不会影响下游连接过程。应遵守 GB/T 18851.1 标准执行。

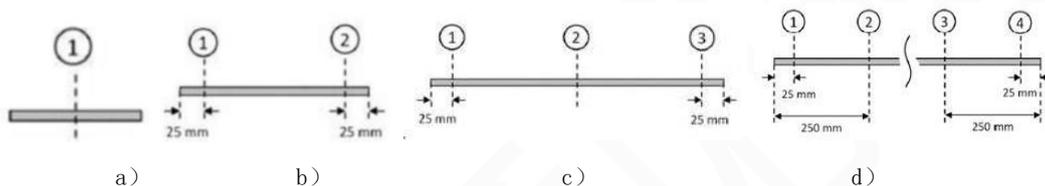
5.2.3.2 破坏性检测

a) 宏观断面和微观断面

在参数重新设置后，重要的参数变化 ($> \pm 10\%$)，焊接分割，焊接方向变化，涂层变化，预处理，材料厚度，母材，填充材料以及定期质量检查后，应进行微观断面分析。为了能够检查内部完好性的规范，金相试样应在预定位置从焊缝中去除（根据给定的金相剖面图）并进行金相检查。只应考虑那些可以用最大 10 倍放大率检测到的缺陷。应为每个焊缝取多个试样：

宏观断面具体取样要求如下：

- 1) 焊缝长度 $L \leq 120\text{mm}$ ，中心处取 1 段，取样点见图 2a)。
- 2) 焊缝长度 $120 < L \leq 250\text{mm}$ ，从焊缝开始处 25mm 截一段，从焊缝结尾处 25mm 截一段，取样点见图 2b)。
- 3) 焊缝长度 $250 < L \leq 700\text{mm}$ ，从焊缝开始处 25mm 截一段，中心处取 1 段，到焊缝结尾处 25mm 截一段，取样点见图 2c)。
- 4) 焊缝长度 $L > 700\text{mm}$ ，从焊缝开始处 25mm 截一段，从焊缝开始处 250mm 截一段，到焊缝结尾处 250mm 截一段，从焊缝结尾处 25mm 截一段，取样点见图 2d)。



说明：

①~④——取样点

图 2 宏观断面测量位置取样点

注 1：焊缝起弧和收弧处样品不需取样。焊缝的起弧和收弧之间以及两个样品之间的距离至少满足 10mm。

注 2：评估应通过测试焊缝和穿透几何形状，并根据孔隙率来进行。

b) 断裂试验

断裂试验应按照 GB/T 27551 进行，以便断裂源自焊缝的根部。应检查断裂表面的缺陷。可以在生产中出现严重问题时进行断裂测试。

注：如果发生严重变形（弯曲角度 $> 45^\circ$ ，在焊接区域清晰可见的拉伸），不会发生裂纹，或者如果裂纹位于焊缝旁边的母材中，应将其视为合格的焊接质量。

5.2.4 返工要求

5.2.4.1 人员要求

补焊和返工焊接人员，需有铝合金手工焊接资质，经过 GB/T 24598 考核，补焊前，需对焊接人员进行施工流程培训。

5.2.4.2 返工

如果激光焊质量不匹配外部或内部检查的给定值，或没有满足破坏性试验的要求，可按照验证过的方法及工艺进行返工，且同一位置返工次数不得超过 2 次。

a) 准备

对于缺陷焊缝，应使用适当的工具，将缺陷完全清除，在施焊前，去除掉毛边、氧化物、有机物等影响焊接质量的杂质，并保证焊接过程中无污染。

b) 焊接方法的选择

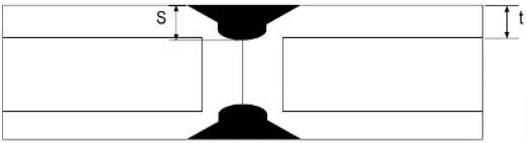
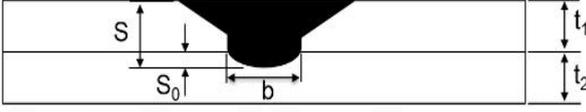
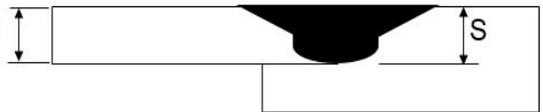
优先选择 TIG 作为缺陷焊缝返工的焊接方法。并在焊接完成后检测变形量。

5.3 搅拌摩擦焊

5.3.1 接头形式

搅拌摩擦焊接头形式见表 9。

表 9 搅拌摩擦焊接头形式

序号	接头形式	要求	图示
		焊缝深度	
1	对接	$S=t_{\min}$	
2	对接（双面）	$S \geq t_{\min}$	
3	搭接	$b \geq t_1$; $S_0 \geq 0.2t_{\min}$ 或 0.5mm, 取较小值	
4	锁底	$S \geq t+0.2t_{\min}$ 或 0.5mm, 取较小值	

5.3.2 工艺质量要求

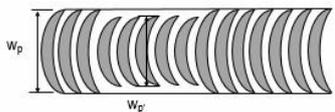
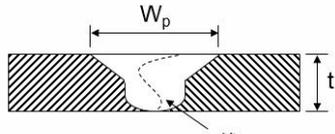
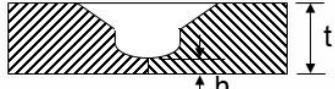
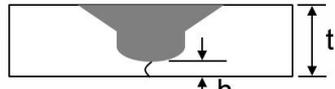
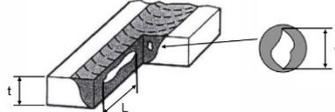
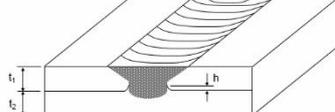
5.3.2.1 焊缝尺寸

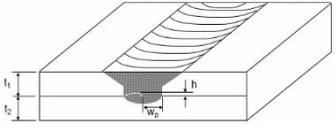
搅拌摩擦焊接时对焊缝宽度不作要求，针对焊缝深度要求参考 5.3.1。

5.3.2.2 焊接缺陷质量等级划分见表 10。

表 10 搅拌摩擦焊焊接缺陷质量等级

序号	缺陷名称	示意图	t/mm	质量等级		
				D	C	B
1. 表面缺陷						
1.1	犁沟		$t \geq 0.5\text{mm}$	不允许	不允许	不允许
1.2	焊缝下凹		$t \geq 0.5\text{mm}$	$h \leq 0.2t$, 且不大于 0.5mm	$h \leq 0.15t$, 且不大于 0.4mm	$h \leq 0.1t$, 且不大于 0.3mm

序号	缺陷名称	示意图	t/mm	质量等级		
				D	C	B
1.3	错边		$t \geq 0.5\text{mm}$	$h \leq 0.2t$, 且不大于 0.5mm	$h \leq 0.1t$, 且不大于 0.4mm	$h \leq 0.05t$, 且不大于 0.3mm
1.4	飞边		$t \geq 0.5\text{mm}$	$h \leq 0.2t$, 且 $\leq 1\text{mm}$	$h \leq 0.1t$, 且 $\leq 0.5\text{mm}$	不允许
1.5	匙孔		$t \geq 0.5\text{mm}$	允许, 但不 可影响产品 结构性能	允许, 但不 可影响产品 结构性能	需消除, 且 不可影响产 品结构性能
1.6	焊缝宽度 不均匀 (不包含 转角处)		$t \geq 0.5\text{mm}$	$ w_p - w_p $ / $w_p \leq 20\%$	$ w_p - w_p $ / $w_p \leq 15\%$	$ w_p - w_p $ / $w_p \leq 10\%$
1.7	焊缝表面 不规则	表面形成起皮或毛刺缺陷	$t \geq 0.5\text{mm}$	允许, 但不 可影响接头 性能	允许, 但不 可影响接头 性能	不允许起 皮, 毛刺高 度 $\leq 0.2\text{mm}$
2. 内部缺陷						
2.1	S线缺陷		$t \geq 0.5\text{mm}$	允许	允许, 要求 氧化物(S 线)不连续	允许, 要求 氧化物(S 线)不连续
2.2	未焊透		$t \geq 0.5\text{mm}$	不做规定	不允许	不允许
2.3	弱连接		$t \geq 0.5\text{mm}$	不做规定	不允许	不允许
2.4	孔洞型缺陷		$t \geq 0.5\text{mm}$	$d \leq 0.15t$, 且 \leq 0.3mm, 且 $L \leq 5\text{mm}$	$d \leq 0.1t$, 且 \leq 0.2mm, 且 $L \leq 3\text{mm}$	不允许
2.5	界面曲钩 (HOOK)		$t \geq 0.5\text{mm}$	$h \leq 0.2t_1$, 且 $\leq 0.5\text{mm}$	$h \leq$ 0.15t1, 且 $\leq 0.3\text{mm}$	$h \leq$ 0.05t1, 且 $\leq 0.2\text{mm}$

序号	缺陷名称	示意图	t/mm	质量等级		
				D	C	B
2.6	冷搭接		$t \geq 0.5\text{mm}$	$h \leq 0.2t_1$, 且 $w_p \geq 0.5t_1$	$h \leq 0.15t_1$, 且 $w_p \geq 0.8t_1$	$h \leq 0.05t_1$, 且 $w_p \geq t_1$

5.3.2.3 缺陷改进方法见表 11。

表 11 缺陷改进方法

序号	缺陷名称	产生原因	改进方法
1	犁沟	1.1 装配间隙过大	1.1.1 增大轴肩直径 1.1.2 控制装配间隙
		1.2 压入量过小	1.2.1 增大压力
		1.3 焊接速度过快/慢或转速过高/低	1.3.1 调整相应的焊接工艺参数
2	错边	2.1 工装压力不足或装配错边	2.1.1 调整焊接装配减少错边
		2.2 板材厚度差异	2.2.1 减少板材厚度差异
3	飞边	3.1 飞边, 属于固有缺陷	3.1.1 优化焊接参数 3.1.2 减少下压量
4	匙孔	4.1 缩孔, 属于固有缺陷	4.1.1 避免匙孔, 采用回抽式搅拌摩擦焊方法进行焊接 4.1.2 匙孔填补, 采用填充式摩擦点焊或摩擦塞补焊方法, 也可采用熔焊方法修补匙孔 4.1.3 匙孔切除, 合适的情况下可以预留部分母材, 采用引入引出法去除匙孔
5	焊缝表面不规则	5.1 压入量不合适、焊速过快/慢或转速过高/低	5.1.1 优化焊接参数 5.1.2 降低转速, 提高焊速
		5.2 焊缝有油污等杂质	5.2.1 焊缝清理;
6	S 线	6.1 S线, 属于固有缺陷	6.1.1 焊前对待焊面及其附近区域进行充分清洁 6.1.2 参数优化 (达到改善效果)
7	未焊透	7.1 搅拌针长度与母材厚度不匹配或压入量不足	7.1.1 选择合适搅拌工具, 并合理控制下压量 7.1.2 选择合适工艺参数, 保证充分的焊接热输入 7.1.3 保证焊前装配状态
8	弱连接	8.1 搅拌针长度与母材厚度不匹配	8.1.1 选择合适的搅拌针形状, 并选择合适的工艺参数 8.1.2 保证充分的焊接热输入
9	孔洞型缺陷	9.1 压入量不合适、焊速过快/慢或转速过高/低	9.1.1 选择合适的工艺参数 9.1.2 保证充分的焊接热输入
10	界面曲钩 (HOOK)	10.1 属于固有缺陷	10.1.1 选择合适的搅拌工具、旋转速度和焊接速度 10.1.2 调整焊接前进侧 (改变曲沟的方向) 10.1.3 调整搅拌头倾角 (达到改善效果)
11	冷搭接	11.1 搅拌针选择过短	11.1.1 选择合适的搅拌针长度

5.3.3 检测方法

5.3.3.1 外观检测

外观检测方法应依据 GB/T 32259, 焊缝的外观、尺寸、位置及焊缝状况必须符合图纸及相关标准规定的要求。

5.3.3.2 无损检测

电池托盘搅拌摩擦焊接工艺评定应根据 GB/T 34630.4 进行无损检测。生产现场推荐采用相控阵超声无损检测方法进行检测, 检测规范参考 T/CWAN 0033。

铝合金搅拌摩擦焊接头超声检测，视缺陷当量、缺陷指示长度的不同，将检测结果分为B、C、D三个级别，其中B级为最高级，D级为最低级。具体分级见表12。

表 12 铝合金搅拌摩擦焊对接接头相控阵超声检测结果分级

焊缝深度 δ mm	评定级别	缺陷情况	
		缺陷幅度 D_i	缺陷指示长度 E mm
$1.5 \leq \delta < 3$	B	$D_i < V0.5\text{mm}-4\text{dB}$	$E \leq 3$
	C	$D_i < V0.5\text{mm}-2\text{dB}$	$E \leq 4$
$3 \leq \delta < 7$	B	$D_i < V0.5\text{mm}-2\text{dB}$	$E \leq 4$
	C	$D_i < V0.5\text{mm}-1\text{dB}$	$E \leq 5$
$7 \leq \delta \leq 10$	B	$D_i < V0.5\text{mm}-2\text{dB}$	$E \leq 5$
	C	$D_i < V0.5\text{mm}-1\text{dB}$	$E \leq 6$
$1.5 \leq \delta \leq 10$	D	超过C级	
注：V0.5mm-XdB 表示缺陷当量比 V0.5mm 尺寸通孔/槽基准灵敏度低 XdB，即为该级别评定灵敏度。			

5.3.3.2 破坏性检测

a) 拉伸试验：对于对接接头按照 GB/T 2651 进行横向拉伸试验。根据 GB/T 34630.4，对于纯铝及非热处理强化铝合金，试验样品的极限抗拉强度应不低于相关国际标准要求母材的相应规定最小值，参见表 13。对于可热处理铝合金，试验样品的最低抗拉强度应满足如下：

对于可热处理合金，试样的抗拉强度最低值应满足：

$$\sigma_{\min,w} = \sigma_{\min,pm} \times K$$

式中：

$\sigma_{\min,w}$ ——焊后状态焊接试样最小抗拉强度；

$\sigma_{\min,pm}$ ——相关标准中规定的母材抗拉强度的最小值；

K ——接头强度系数。

表 13 对接接头拉伸强度性能

材料类型	焊接前供货状态 ¹	焊后状态	接头强度系数 K
纯铝	所有时效方式	焊态	1.0 ³
非可热处理强化合金	所有时效方式	焊态	1.0 ³
热处理强化合金 (焊缝深度 $\leq 5\text{mm}$)	T4	自然时效 ²	0.80
	T4	人工时效 ²	0.8 ⁴
	T5 和 T6	自然时效 ²	0.70
	T5 和 T6	人工时效 ²	0.8 ⁴
热处理强化合金 (焊缝深度 $\geq 5\text{mm}$)	T4	自然时效 ²	0.70
	T4	人工时效 ²	0.7 ⁴
	T5 和 T6	自然时效 ²	0.60
	T5 和 T6	人工时效 ²	0.7 ⁴
¹ 对于未明确母材热处理状态的，焊后最小抗拉强度 $\sigma_{\min,w}$ 应符合设计规范。 ² 时效状态应符合设计规范。 ³ 不考虑实际母材热处理状态， $\sigma_{\min,w}$ 按指定 $\parallel 0 \parallel$ 状态的最小抗拉强度。 ⁴ 如果针对焊缝进行焊后热处理，可达到更高的接头强度。焊缝最小抗拉强度应符合设计要求。			

对于搭接接头，有要求时需要进行补充试验（例如剥离试验、剪切实验、摆锤 s 型弯

曲试验)，按照设计文件要求进行。

- b) 弯曲试验：参照 5.1.3.2b)。
- c) 硬度试验：参照 5.2.3.2c)。
- d) 宏观金相

宏观金相检测应依据 GB/T 26955 进行，试验应按照规定进行制备和检验，检验区域应包括未受影响的母材。

5.3.4 返工要求

5.3.4.1 一般推荐采用搅拌摩擦焊对搅拌摩擦焊接表面缺陷进行返工，通常返工次数不可超过 2 次。返工焊次数过多，则会使焊缝表面下凹量增大，引起焊缝减薄。

5.3.4.2 对搅拌摩擦焊缝近表面（规定缺陷在板厚方向的深度不大于 20% 或 2mm 取较小值）的缺陷，当缺陷长度不超过焊缝全长 10%，建议采用熔焊进行返工焊。为了减少接头强度损失，可采用搅拌摩擦焊在补焊后的位置再重焊一遍；对于非连续性点状缺陷建议采用摩擦塞补焊方法进行返工。焊缝的返工应完全符合本标准要求。返工焊后的焊缝应圆滑过渡至母材。返工焊后的内部质量应按所用返工方法的相关标准规定重新进行检验。

5.4 电阻点焊

5.4.1 接头形式

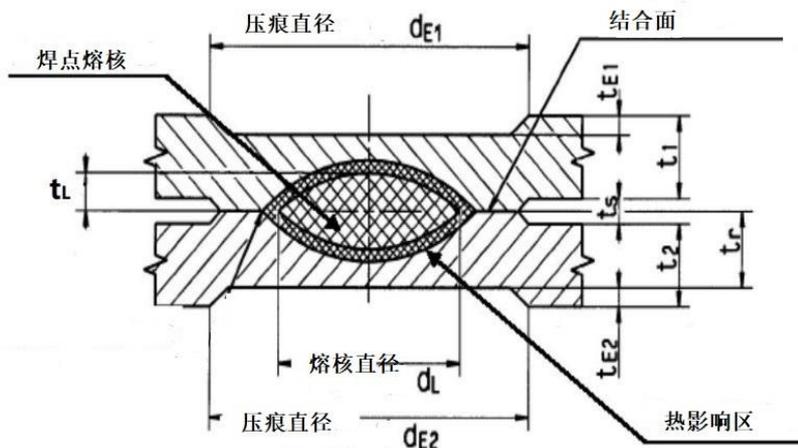
接头形式见表 14。

表 14 电阻点焊接头形式

序号	接头形式	图示
1	双层	
2	多层叠加	

5.4.2 工艺质量要求

接头截面图 3。



说明:

t_1 、 t_2 ——板材厚度;

d_L ——焊核;

t_L ——焊核高度;

d_E ——压痕;

t_E ——压痕深度;

t_s ——空隙宽度;

t_r ——电极压痕区残留板件的最小厚度;

d_p ——焊点直径, 常通过破坏性试验(如抗凿试验)来确定焊点直径。

图 3 电阻点焊接头截面

5.4.2.1 焊点尺寸

从部件边缘到焊点中心的距离(边缘距离)不得小于 $1.25d_L$ 。相邻焊点间的距离不应小于 $16t$, 最好大于 $16t$ 。实际两个相邻焊点中心的距离公差不得超过预先规定的 $\pm 10\%$, 且不低于最小值。具体点焊要求见 15。

表 15 点焊要求

单位为 mm

最小板厚 t_{min}	熔核直径 $d_{Lmin} \geq 3.5\sqrt{t_{min}}$	焊点直径 $d_{pmin} = 1.15d_{Lmin}$
1.0	3.5	4.0
1.2	3.8	4.4
1.5	4.3	4.9
2.0	5.0	5.7
2.5	5.5	6.4
3.0	6.1	7.0
3.5	6.5	7.5
4.0	7.0	8.1

5.4.2.2 焊点缺陷

本标准针对电池托盘, 应该保证其质量等级具体按照表 16 评价, 以满足电池托盘产品安全性要求。

表 16 焊点缺陷评价

序号	缺陷名称	质量等级		
		B	C	D
1	压入深度	$t_E < 0.1t$	$t_E < 0.15t$	$t_E < 0.2t$
2	熔核内部硬化裂纹、内部气孔	$d_p \leq 0.15d_L$	$d_p \leq 0.2d_L$	$d_p \leq 0.25d_L$
3	铝杂质	$H \leq 0.15d_L$	$H \leq 0.2d_L$	$H \leq 0.25d_L$
4	氧化物析出	不允许		
5	表面裂纹	不允许		
6	未熔合和未完全熔合	不允许		
7	外部飞溅	不允许		
8	烧伤、烧穿、涨裂	不允许		
9	表面发黑(占焊点总数%)	$< 3\%$	$< 5\%$	$< 10\%$
10	内部飞溅(占焊点总数%)	$< 3\%$	$< 5\%$	$< 10\%$
11	缺陷总数(占焊点总数%)	$< 5\%$	$< 10\%$	$< 15\%$

5.4.2.3 缺陷改进的一般方法见表 17。

表 17 电阻点焊缺陷改进的一般方法

序号	缺陷名称	缺陷改进方法
1	焊点压痕过深及表面过热	增大电极接触面积或调整电极压力、减小电流或通电时间
2	表面烧穿、外部飞溅、析出	修整电极、清理电极和焊件表面、提高电极压力、调整焊接时间
3	表面裂纹	减少焊接时间、增强电极冷却
4	表面发黑	清理电极和焊件表面、减小电流或通电时间、增大电极压力
5	熔核内部硬化裂纹、内部气孔	清理表面、调整焊接时间
6	未熔合和未完全熔合	增大电流或通电时间、减小电极压力、修整电极、清理表面
7	压入深度过大	修整电极、减小电极压力

5.4.3 检测方法

5.4.3.1 选定焊接规范参数时应进行的检验项目及试样数量具体见表 18。

表 18 电阻点焊的检验项目及试样数量

接头级别	焊点数量	目视检验	无损检测	切片金相	强度试验
B	25 点	100%	必要时	5 个	20 个
C	15 点			3 个	10 个
D	10 点			2 个	3 个

5.4.3.2 每批电池托盘产品焊接开始和结束，每班焊接生产开始、中间和终止，生产过程中当焊点直径减少至小于规定值时（见表 19）应更换电极，调整焊接参数或重新启动焊机时，均应制作试样进行检验，对产品的质量抽检，按照甲方生产规程，推荐的检验数量及试样数量见下表。

表 19 产品质量初检推荐的检测数量及试样数量

接头级别	焊点数量	目视检验	剥离试验	切片金相	强度试验
B	11 点	100%	5 点	3 个	3 个
C	10 点		5 点	2 个	2 个
D	7 点		3 点	1 个	--

5.4.3.3 外观检测

目视检测方法需依据 GB/T 32259，电池托盘焊点的外观、尺寸、位置及焊点状况必须符合图纸及客户要求。所有焊点都必须进行目视检测或采取机器视觉等技术手段进行外观检测，检测时不得对部件进行修整、涂漆或其它干扰焊缝检验区域的操作。

5.4.3.4 无损检测

无损检测方法包括但不限于渗透检测、射线探伤或超声波检测等。必要时依据 GB/T 3323 对电池托盘进行焊缝无损检测-熔化焊焊接接头射线检测，以判定熔透率和有无缩孔、裂纹等。

5.4.3.5 破坏性检测

a) 切片金相：切开电池托盘焊点中心，切取一个切片。切片分别用 180#、600#、800#砂纸打磨并抛光后，使用适量的腐蚀剂（如 Keller 试剂）对切片表面焊点处进行化学腐蚀。采用金相显微镜观察切边焊点表面，横向微切片放大 50 倍（或更高比例）进行评估。利用横向微切片可以确定焊核直径和缺陷（包括气孔、夹渣、裂纹和微裂纹等）

b) 凿裂试验：根据 GB/T 39165 采用凿裂试验可确定焊点直径，以形状合适的凿子在焊接板件之间推进，直到凿开接头。

c) 剥离试验：根据 GB/T 39165 利用剥离棒破坏焊点，将两块板件剥离开。测量焊点熔核尺寸须符合要求，可检验未熔合及接头脆性。允许在一侧板材上形成不小于板厚 20% 的深坑。

d) 剪切拉伸试验: 根据 GB/T 39167 利用拉伸测试设备对单个焊点进行剪切拉伸测试。点焊接头强度常用单点抗剪力 (F_{τ}) 表示。点焊接头延性常用单点正拉力 (F_b) 与 F_{τ} 的比值表示。需满足 $F_b/F_{\tau} \geq 30\%$ 。拉伸试验时速度须小于 15mm/s, 拉伸夹具上应有 4 块垫片压紧试件。

e) 横向拉伸试验: 根据 GB/T 39081 利用拉伸测试设备进行横向拉力试验, 作用在焊点上的拉力与板件平面垂直。评定接头的强度与塑性。

5.4.4 返工要求

点焊接头允许返工的焊接缺陷数量及推荐的修补方法见表 20。重新点焊后压痕深度可增大板厚的 5%, 压痕直径增大或偏离原中心不超过 1.5mm。同一处焊点只允许补焊一次。缺陷返工后, 应对修补处重新检验。

表 20 点焊接头允许返工的焊接缺陷数量及推荐的返工方法

序号	缺陷名称	允许返工 (不大于总数的%)			修补方法
		B	C	D	
1	外部飞溅	5	10	15	机械清理
2	脱焊	1	2	5	重焊、铆接
3	熔核过小	3	5	10	重焊、铆接
4	外部裂纹	3	5	10	重焊、氩弧焊、铆接
5	表面发黑	5	10	15	机械清理
6	涨裂	1	2	5	氩弧焊、锉修
7	烧穿	0	每个产品 1 个	每个产品 1 个	氩弧焊
8	烧伤	3	5	10	氩弧焊、铆接、机械清理
9	内部飞溅	5	10	15	清除可见飞溅物
10	内部裂纹及气孔	5	10	15	重焊、氩弧焊、铆接
11	缺陷总数 (不含表面发黑)	10	15	20	--

5.5 旋转攻丝铆接

5.5.1 接头形式

螺接厚度见表 21。

表 21 螺接厚度表

序号	接头形式	图示	可螺接厚度
1	叠加有预开孔		预开孔总深度 $t_c \leq 5\text{mm}$; 未预开孔的材料总厚度 $t_2 < 5\text{mm}$
2	叠加无预开孔		$2\text{mm} \leq \text{总厚度 } t_c \leq 5\text{mm}$; 首层 $t_1 \leq 2.2\text{mm}$

5.5.2 工艺质量要求

- a) 接头不能含脆性材料(如: 玻璃、脆性材料);
 - b) 底层材料(模具侧)通常是 1.5mm-3.5mm 的铝型材或者 3mm 左右的铸铝件;
 - c) 上层板材可预开孔或者无预开孔;
 - d) 没有引导孔时, 不同材质的铆接原则: 软材质铆向硬材质 薄材质铆向厚材质
- 为满足电池托盘的密封要求, 旋转攻丝铆接工艺与涂胶工艺经常结合使用。无具体尺寸要求(一般胶边缘距离预开孔边缘 $\geq 5\text{mm}$), 但有实际使用结果要求: 一般涂胶直径 4mm, 螺钉螺接过程时, 涂的密封胶不得溢入预开孔位置。预开孔涂胶示意图 4。

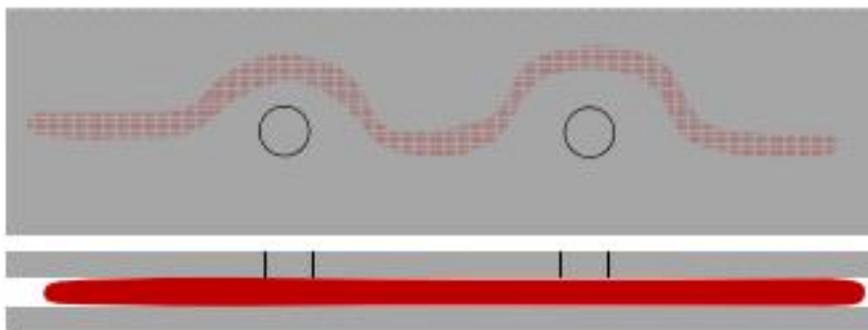


图 4 预开孔涂胶示意

5.5.3 检测方法

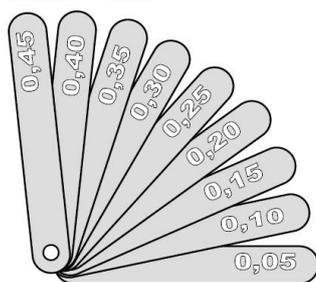
5.5.3.1 非破坏性检测

a) 目视检查

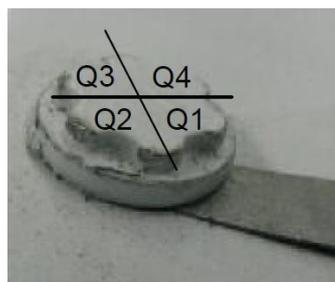
通过目视检查钉帽是否完整、钉帽与首层间隙、钉帽是否覆盖预开孔、钉帽未超出边缘、包络有无明显开裂等。

b) 塞尺

用塞尺校对螺钉帽与工件缝隙, 检测间隔角度 90° (Q1-Q4), 检测出最小及最大的缝隙位置, 钉帽下沿与上层材料之间的间隙 $\leq 0.05\text{mm}$ 。塞尺检测示意图 5。



塞尺



检测示意图

图 5 塞尺检测示意

c) 极限规

采用极限规检测螺钉帽距离工件边缘至少 1mm, 以防螺钉帽超出工件, 密封不全, 极限规检测示意图见图 6。

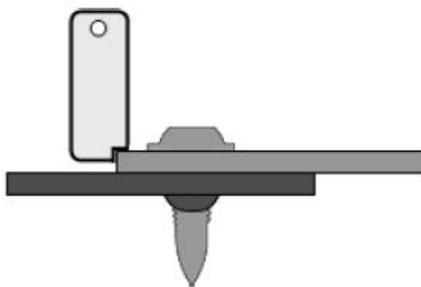


图 6 极限规检测示意

d) 扭矩检测

使用扭矩扳手进行螺栓扭力检查。操作步骤如下：握紧扭力扳手，手臂与扳手成 90° ，扳手与工件面保持平行，向紧固方向（顺时针）平稳连续转动扭矩扳手，移动角度不能超过 5° ，当扭矩为 $6-7N\cdot m$ 认为扭矩合格。

5.5.3.2 破坏性检测

采用剖面的方式，为确定试样的剖切位置，需用塞尺测量螺钉帽的缝隙最大与最小处，确定的连线即为切割位置。使用专用切割机，将试样中分，通过显微镜与测量软件，进行检测。剖面剖解示意图见图 7。

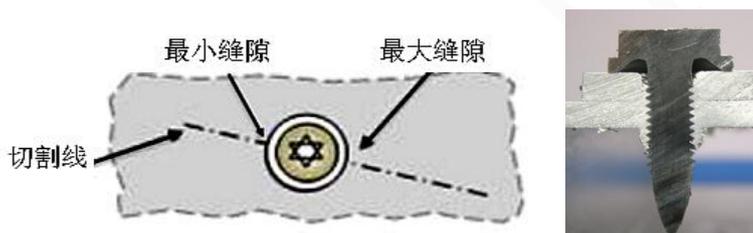


图 7 剖面剖解示意

5.5.4 返工要求

a) 螺帽断裂/磨损：可采用手电钻/返工刀头/退钉刀头/扭矩扳手等，将螺钉取出后返工，返工需要扩孔至 $\phi 5.2$ ，然后打入 M6 返工钉。

b) 包络开裂：如相关力学达到设计要求，则无需返工；如相关力学无法达到要求，则距离 40mm 处需重新连接。

c) 螺帽贴合/螺钉倾斜：采用手动工具继续拧紧，当扭矩达到 $10N\cdot m$ 时，检查贴合状态；拧紧后钉帽与工件间隙仍旧 $>0.05mm$ ，则需将螺钉取出后返工。

d) 螺钉距离边缘尺寸：如钉帽与板件无干涉/间隙 $\leq 0.05mm$ ，则无需返工；如相关力学达到设计要求，则无需返工；如相关力学无法达到要求，则距离 40mm 处需重新连接。

e) 板材间隙：如相关力学达到设计要求，且气密稳定合格，则无需返工；否则需要重新返工。

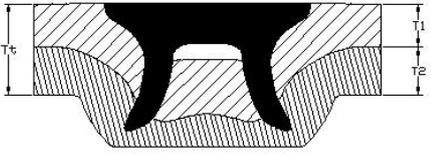
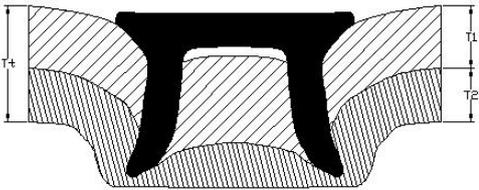
5.6 自冲铆接 (SPR)

5.6.1 连接点形式

铆接厚度见表 22。

表 22 铆接厚度表

序号	连接形式	图示	说明及建议要求
----	------	----	---------

序号	连接形式	图示	说明及建议要求
1	3mm 系列		$T_t: 1.3mmT_t \leq 4mm$ $T_n: (T_n/T_t) \geq 1/N$ $N: \leq 4$
2	5mm 系列		$T_t: 2.4mm \leq T_t \leq 11mm$ $T_n: (T_n/T_t) \geq 1/N$ $N: \leq 4$
3	其他直径	与上类似	可根据需要定制其他直径铆钉，但是直径系列越多，设备的特异性越强，对设备的投入成本也越高。
注 1: T_t ——总材料组合厚度 注 2: T_1 ——顶层材料厚度 注 3: T_2 ——第二层材料厚度 注 4: T_n ——底层材料厚度 注 5: N ——组合材料层数			

5.6.2 工艺质量要求

SPR 对工艺质量的评价主要有:

a) 头高(HH)，这将影响到连接表面质量，过高的头高会影响表面覆件及导致头下间隙容留杂质而引起耐腐蚀问题，头高可以通过无损检测及有损检测进行探测；

b) 互锁值(Interlock)，互锁值主要用于提供连接强度，理论上在不考虑材料强度的情况下互锁值越大则连接强度越高，互锁值目前主要通过有损检测进行探测；

c) 底层最小厚度值(T_{min})，铆接完成后底层保留的最小厚度值主要影响防腐性能，目前主要通过有损检测进行探测。除了以上三项主要的评价参数，还有很多项针对连接表面及剖面形态的评价项。剖面质量标准见表 23。

表 23 剖面质量标准表

评价项	要求		备注
头高/HH	$-0.5mm \leq HH \leq +0.3mm$		
互锁/Interlock	3mm 铆钉或 某层材料为钢(5mm 铆钉)或 底层材料厚度低于 1.5mm	5mm	取平均值，且单侧互锁值不得低于要求值的一半
	$\geq 0.2mm$	$\geq 0.4mm$	
最小底层厚度/ T_{min}	底层材料厚度低于 1.5mm	其他	
	$\geq 0.1mm$	$\geq 0.2mm$	
注 1: 组合中包含钢材或者底层厚度低于 1.5mm (不包括 1.5mm)，则 Interlock 的要求为普通要求的一半(5mm 铆钉)。 注 2: 底层材料厚度低于 1.5mm (不包括 1.5mm)，则 T_{min} 的要求为普通要求的一半(5mm 铆钉)。			

5.6.3 质量检测方式

5.6.3.1 非破坏性检测

a) 目视检测

目视检测主要观测以下几项：

- 1) 铆钉是否存在翻钉或双铆或其他可见缺陷；
- 2) 铆钉头下是否有明显间隙；
- 3) 铆接纽扣是否有刺穿、偏心、开裂等情况。
- 4) 目视失效示意图 8。

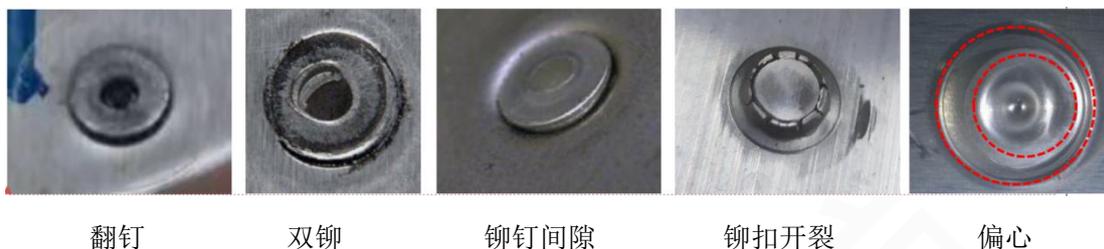


图 8 目视失效示意

b) 头高测量

使用定制的铆钉高度测量仪测量铆钉头高度是否在标准范围内，要求 $-0.5\text{mm} \leq \text{HH} \leq +0.3\text{mm}$ 。

5.6.3.2 破坏性检测

剖面测量。使用金相切割机延连接点中线剖开，使用尺寸测量工具进行相关评价项的测量（为了保证测量数据的精度，建议使用放大镜放大 6 倍以上进行测量）。剖面测量示意图 9。

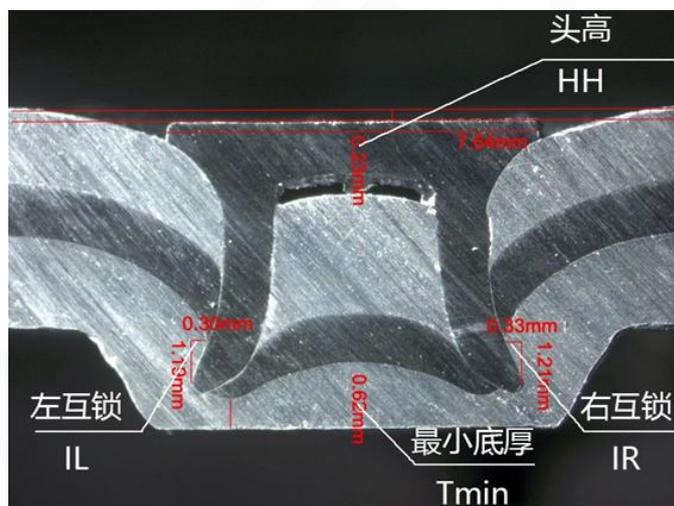


图 9 剖面测量示意

5.6.4 返工方法

返修见表 24。

表 24 铆接返修表

缺陷名称	修补方法
无钉	在距离 20mm 处补铆
翻钉、双铆、铆钉间隙、偏心	处理完突起干涉位置后，在距离 20mm 处补铆
刺穿、铆扣开裂	防水、防锈处理完后，在距离 20mm 处补铆

5.7 螺柱焊

5.7.1 连接点形式

常用的螺柱焊接方法包括储能螺柱焊、拉弧螺柱焊。螺柱焊的接头形式见图 10。

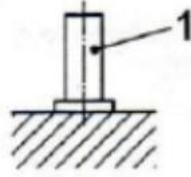


图 10 螺柱焊接头示意图

5.7.2 工艺质量要求

5.7.2.1 总体要求

螺柱焊接头应避免虚焊、焊穿、熔池过大、螺柱倾斜变形、母材背面变形、螺纹损坏等。

5.7.2.2 生产实验阶段

至少要焊接 10 只螺柱。如果可行的话，对于设置实验和替换实验，在试样时应提供足够数量的备用螺柱。具体应执行如下测试和实验：

- a) 目视检测（所有的螺柱）；
- b) 弯曲实验（5 只螺柱）；
- c) 二只不同螺柱的粗视检测（以螺钉的中心位置偏移 90° ）。

注：对于短周期拉弧式螺柱焊接，粗视检测可代替扭矩实验（5 只螺柱）。

5.7.2.3 量产阶段

通常情况下，目视检测对生产监测就足够了，并且需要目测所有的焊接螺柱。

如果在应用标准中明确规定，可在生产监测中增加非破坏性实验。具体适合的方法如下：

- a) 检查焊接后螺栓的长度；
- b) 限定值的抗拉实验、弯曲实验和扭矩实验。

5.7.3 质量检测方式

5.7.3.1 目视检测

对带瓷环或气保护的拉弧螺柱焊接和短周期拉弧螺柱焊接，根据其应用的适当情况，目视检测用于评估如下几个方面。

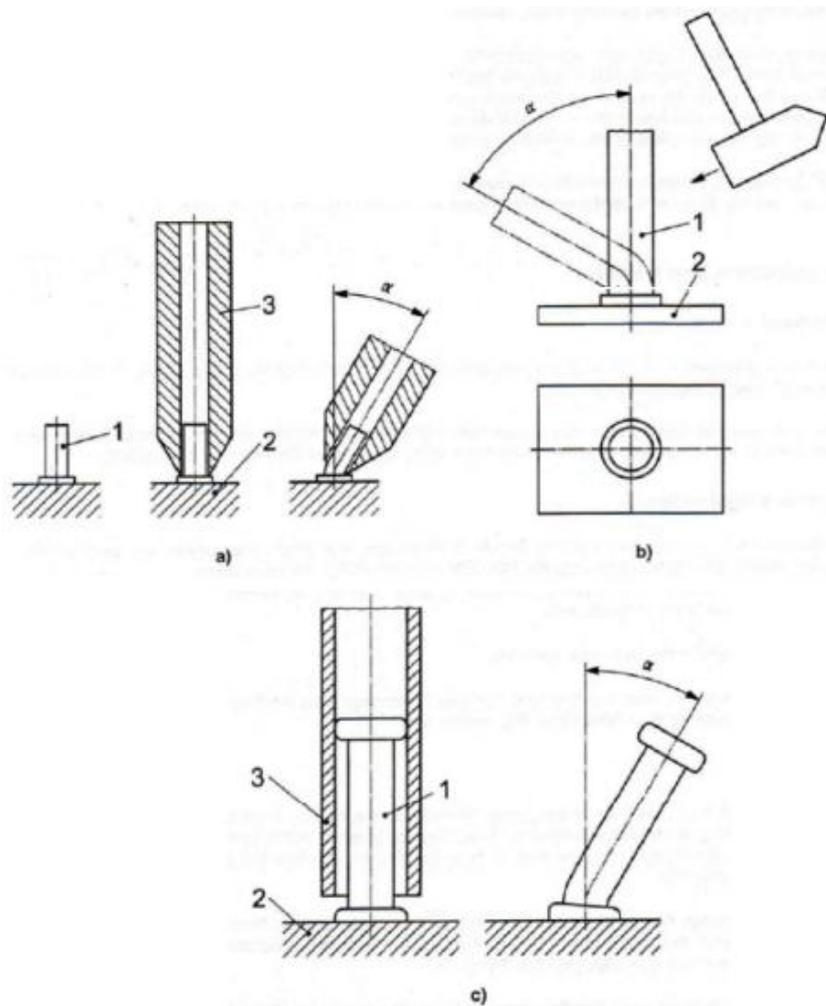
- a) 焊缝的形状及尺寸的均衡性（带瓷环拉弧螺柱焊接的参考值在 ISO 13918 中提供）；
- b) 焊接后螺柱的位置、长度和角度。

5.7.3.2 弯曲实验

弯曲实验是通过对选定焊接参数进行大致检查的一种简单弯曲检验方式。在实验过程中，以一种非限定的方式，对焊接螺柱进行弯曲。如果对偏弧或目视不完整而产生一种焊接质量怀疑时，则应该通过弯曲实验对螺柱的焊接质量进行检验来确定此焊接是否在张力范围之内。具体可以通过以下两种方式进行操作：

- a) 使用带瓷环或气保护的拉弧螺柱焊接，或短周期拉弧螺柱焊接，螺柱弯曲 60° 。使用带凸台的储能螺柱焊接或储能拉弧螺柱焊接，螺柱弯曲 30° ，参照图 11；
- b) 在弹性限度内，使用扭力工具对螺柱施加应力，参照图 11。

注：使用温度 $>100^\circ\text{C}$ ，螺柱的弯曲值参考 ISO 14555 标准。



关键词

- 1. 螺柱
- 2. 焊接工件
- 3. 工具
- α 弯曲角度

图 11 弯曲试验示意图

5.7.3.3 拉力实验

使用适合的扭力装置将螺柱向轴的方向拉直至其断裂为止。该实验只用于温度 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ 的螺栓。

5.7.3.4 扭矩实验

通过对完全拧紧于螺柱上的螺帽施加扭矩“T”来检测焊接的抗力。

5.7.3.5 粗视实验

粗视实验主要是检验成形后螺柱的形状和高度。实验评定是通过一个最大为 10 倍放大率的设备进行检测的。粗视实验仅适用于瓷环保护或气保护拉弧螺柱焊接，和短周期拉弧螺柱焊接工艺。关于样品的选择，可选择通过弯曲实验的螺柱。

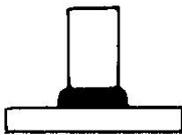
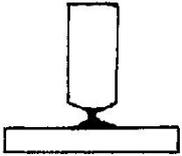
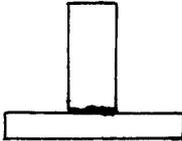
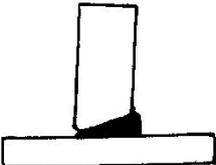
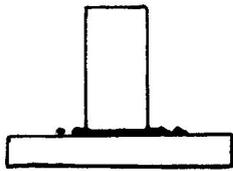
5.7.4 返工方法

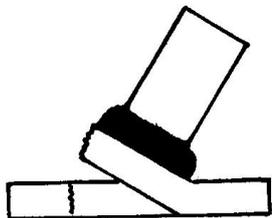
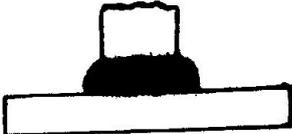
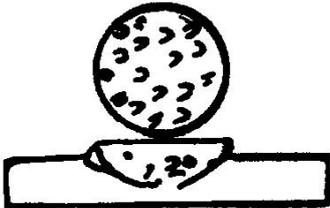
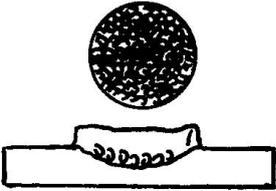
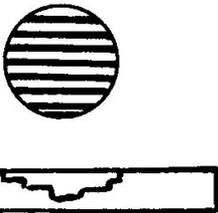
对于虚焊的螺柱：用砂纸将虚焊处修磨平整，使用焊接夹具，用手工螺柱焊枪进行补焊，用螺柱焊专用检具进行检查。

对于烧穿的螺柱：在螺柱焊接凸台和板材之间用混合气体保护焊沿周长补焊四点，焊点高度不能超过螺柱凸台高度；在焊穿的板材背面用混合气体保护焊进行补焊，用螺柱焊专用检具进行检查。

常见螺柱焊的缺陷及校正方法见表 25。

表 25 常见螺柱焊的缺陷及校正方法

1. 外观检验			
序号	一般的外形	可能的原因	校正方法
1.1	焊缝加强高规则、光泽和完整焊接后螺柱长度在公差内 	正确的焊接工艺参数	不需要
1.2	焊缝直径减小 螺柱长度过长 	不适合的浸入工件或提升高度 焊接工艺参数太大	增加浸入尺寸，校验陶瓷环对中，校验提升高度，减小焊接电流或时间
1.3	焊缝直径减小，不规则和浅灰色焊缝加强高螺柱长度过长 	焊接工艺参数太小 耐熔陶瓷环受潮	增加焊接电流或时间 将陶瓷环干燥处理
1.4	焊缝加强高离开中心焊缝咬肉 	电弧偏吹效应 陶瓷环定位不正确	请参见第 2 章有关内容
1.5	焊缝加强高减小，无光泽有大量的侧向喷射 焊接后螺柱长度太短 	焊接工艺参数太高 浸入工件速度太快	减小焊接电流或时间 减小螺栓浸入速度（即调节焊枪阻尼器）
2. 破坏检验			

1. 外观检验			
序号	一般的外形	可能的原因	校正方法
2.1	母材撕裂 	正确的焊接工艺参数	不用校正
2.2	 适当变形后破坏在焊缝加强高	正确的焊接工艺参数	不用校正
2.3	撕裂在焊缝内 较高的气孔率 	焊接的工艺参数太小 材料不适合螺柱焊	增加焊接电流或时间 检验材料化学成分
2.4	破坏在焊缝处 光泽的外形 	螺柱焊剂含量太高 焊接时间太短	校验焊剂数量 增加焊接时间
2.5	母材网格状撕裂 	非金属夹杂物在母材内 母材不适合螺柱焊	参见 ISO 9956-3 标准 选择尽可能韧性好的母材

6 产品质量检测方法

6.1 气密性

6.1.1 气密性要求

铝合金电池托盘根据产品设计和工艺设计不同，涉及铝合金框架气密性和铝合金托盘总成气密性。

6.1.1.1 铝合金框架气密性要求

铝合金框架气密性通常用于检查框架焊接后焊缝的密封性，特别是铝合金托盘总成气密无法检查的焊缝，务必在框架焊接完成后进行密封性能测试。框架气密性主要采用水检法。

a) 铝合金框架气密性试验压力推荐为 10kPa 左右

b) 试验时，应用填充物减少框架内部腔体体积，提高充气速度，达到试验压力后，保持压力不变，检查框架焊缝处无气泡产生；

c) 100%检测。

6.1.1.2 铝合金托盘总成气密性要求

铝合金托盘总成气密性主要用于托盘整体密封性能测试，具体的泄露量需和客户确认。

6.1.2 气密性测试前准备

a) 待测零件应目视检测无缺陷，与气密有关的附件安装齐全；所有连接处密封堵头安装可靠，堵头安装螺钉扭力符合要求，密封测试面安装连接可靠，符合设定密封要求。

b) 与客户确认上盖螺栓压力，并转换为气密检测工装的夹头夹紧力。

c) 检测的温度气压需和客户电池装包处环境要求一致。

6.1.3 气密性检测方法

铝合金电池托盘气密性检测常用检测方法包括水检法、压差法、质量流量法、氦气检测法、氮氢检测法。

6.1.3.1 水检法

水检法原理是工装夹具通过升降机构升出水面，工件由钢结构吊装在工装上，夹紧气缸压紧，封堵气缸进行密封，升降机构下降，工件没入水池中气缸，同时向电池托盘腔体通气，检查工件是否冒气泡，或者在工件表面涂肥皂水，观察是否有气泡产生及气泡的位置来判断设备是否漏气及漏气位置。

6.1.3.2 压差法

压差法又叫绝对压力法，适用于密封测试要求精度不高或低压的工件测试，IP67 防水测试等。

泄漏检测原理：通过调压阀往被测工件内腔充入一定压力的气体（压缩空气、氮气、氦气等），达到设定的压力后，切断被测工件气源气路，保持一定时间使其压力趋向稳定，稳压期间仪器会根据泄露情况优先判断工件是否存在大漏。然后进入检测阶段，压力传感器记录当前的实时压力示值，检测一段时间后，再次读取实时压力值并和此前记录的压力值进行比较，若被测工件有泄露，则两次压力的差值就是该工件在检测周期内的压降，数值越大则表示工件泄露越严重。如果差值在允许范围内，则认为被测工件合格。反之为不合格。

6.1.3.3 质量流量法

质量流量法原理是往参考储气罐和被测工件充入一定压力的气体后，关闭外部起源，直接测量参考储气罐和被测工件系统内部由于泄露造成的气体流量，其不需要进行压力流量换算，因此分辨率不受被测工件容积大小的影响。

质量流量法通常测试过程通常分为 3 个阶段：

a) 充气阶段：这个阶段打开充气阀，关闭参考储气罐和被测工件之间的测试阀，按调压阀设定的压力向参考储气罐和被测工件充气，达到压力平衡后，关闭充气阀；

b) 测量阶段：打开参考储气罐和被测工件之间的测试阀，如果被测工件有泄露，参考储气罐中的气体会经过质量流量传感器补充到被测工件中，最终气体会流向环境，这时质量流量传感器就可以直接测出这个泄漏量；

c) 排气阶段：测量结束后，将工件中的气体排出。

6.1.3.4 氦气检测法

氦气检漏方法是根据质谱学原理，用氦气作为一种追踪气体的气密性检漏技术。氦气检漏仪的主要部件是质谱室。检漏时，从外界捕获的氦气在进入系统后，使不同质量的气体发生电离，变成离子后在磁场旋转并彼此分开，相同质量的氦离子在磁场中聚集在一起形成离子流，氦离子流可以通过一个有特定位置狭缝的挡板，而其它离子则被该挡板阻挡，无法到达收集极。氦离子流被接收极接收再通过测量仪器指示出来，从而实现检漏的功能。

6.2 尺寸

6.2.1 尺寸要求

焊接后的铝合金电池托盘需重点关注的尺寸：上盖安装面的轮廓度、上盖安装孔的位置度、模组安装面的轮廓度及平面度、模组支撑面的轮廓度及平面度、模组安装孔的位置度及相对一致性、挂载孔的位置度等，具体尺寸值以电池托盘客户图纸要求为准。

6.2.2 检测方法

6.2.2.1 在线测量：在线测量主要采用激光雷达、视觉拍照，多目视觉，三坐标；

6.2.2.1 离线测量：离线测量主要采用三坐标、蓝光、检具。

6.3 清洁度

6.3.1 清洁度要求

箱体内部无肉眼可见颗粒物，无焊渣、毛刺、水渍等杂物，最大残留颗粒总重量 ≤ 1 克，金属材料的最大粒径 $\leq 1\text{mm}$ ，非金属材料的最大粒径 $\leq 3\text{mm}$ ，具体参数根据客户的具体要求。

6.3.2 清洁方法

人工擦拭、清洗线，激光清洗及干冰等，具体方法满足客户要求。

附录 A
(资料性)
弧焊工艺焊丝选用

A.1 焊丝选用建议

焊丝选用建议见表 A.1。

表 A.1 焊丝选用建议表

母材												
Al	4 1 4											
AlMn	4 或 5 1 4	3 或 4 3 4										
AlMg <1% ^a	4 或 5 1 4	4 4 4	4 4 4									
AlMg 3%	4 或 5 5 ^b 4 或 5	5 5 ^b 或 3 4	5 5 ^b 4	5 5 ^b 5								
AlMg 5% ^c	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5							
AlMgSi ^d	4 或 5 5 4	4 或 5 5 4	4 或 5 5 4	5 5 4	5 5 4	5 或 4 5 4						
AlZnMg	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5					
AlSiCu <1% ^{e, f}	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4			
AlSiMg ^g	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4		
AlSiCu ^{e, f}	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	
AlCu ^c	Nr ^g	Nr ^g	Nr ^g	Nr ^g	Nr ^g	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	Nr ^g Nr ^g 4
母材	Al	AlMn	AlMg <1%	AlMg 3%	AlMg 5%	AlMgSi	AlZnMg	AlSiCu <1%	AlSiMg	AlSiCu	AlCu	

注 1: 使用 AlSi5 或 AlSi10 焊丝焊接 Mg 含量 $\geq 2\%$ 的母材中, 或使用 AlMg5 焊丝焊接 Si 含量 $\geq 2\%$ 的母材中时, 在焊接熔合线处会沉淀析出大量 Mg_2Si 相, 从而使焊缝产生脆化现象。在承受动载荷或冲击载荷的结构中, 不推荐使用上述母材和焊丝的组合。如果这种情况无法避免, 应使用 AlMg5 或 AlSi5 型焊丝。

注 2: 表中母材取决于化学成分, 与锻件和铸件无关。

注 3: 每栏焊丝类别的选用原则如下:

第一行: 最佳力学性能;

第二行：最佳耐腐蚀性能；
第三行：最佳焊接性能。

- ^a 在无焊丝焊接的条件下，这种合金极易形成凝固裂纹。可通过压紧夹具或提高熔池内 Mg 含量到 3% 以上的方法来预防。
- ^b “5 系”焊丝在 Mg 含量 ≤ 3% 时具有较好的抗晶间腐蚀或应力腐蚀能，在有潜在晶间腐蚀和/或应力腐蚀的环境中，焊丝金属中 Mg 含量应等于或不明显超过母材的 Mg 含量。
- ^c 在确定的环境条件下，如温度范围 ≥ 65℃，Mg 含量 > 3% 的铝合金可能易产生晶间腐蚀和/或应力腐蚀。这种易腐蚀性随含 Mg 量和/或冷作硬化程度的提高而升高。应该考虑到这种焊缝稀释带来的耐腐蚀性能降低的影响。
- ^d 这类合金不推荐采用不填充焊丝的自熔焊（如 TIG 焊），因为这样易形成凝固裂纹。
- ^e 焊丝中 Si 含量的选择应该与铸态母材金属严格搭配。
- ^f 当铸造铝合金为压铸件时，由于气体含量较高而不适合焊接。
- ^g 不推荐，与母材金属不匹配。

A.2 铝及铝合金焊丝选用

铝及铝合金焊丝选用建议见表 A.2。

表 A.2 铝及铝合金焊丝选用建议表

类别	型号	化学成分代号	备注
1 系	SAL1450 SAL1080A	Al99.5Ti Al99.8	Ti 通过晶界强化降低了焊缝金属的裂纹倾向
3 系	SAL3103	AlMn1	
4 系	SAL4043A SAL4046 SAL4047A SAL4018	AlSi5 AlSi10Mg AlSi12 (A) AlSi7Mg	“4 系”焊丝在阳极氧化或暴露在空气中时会变成暗灰色，其强度会随着 Si 的增加而提高。该种焊丝焊接后的焊缝颜色和铸造铝合金母材不搭配。这种合金专门应用在预防由于高稀释及高收缩而形成的凝固裂纹
5 系	SAL5249 SAL5754 SAL556A SAL5183 SAL5087 SAL5356	AlMgMn0.8Zr AlMg3 AlMg5.2Mn AlMg4.5Mn0.7 (A) AlMg4.5MnZr AlMg5Cr (A)	当良好抗腐蚀性和颜色匹配是重要要求时，焊丝的 Mg 含量必须和母材搭配。当焊缝金属的高屈服点和高断裂强度是重要要求时，应使用 Mg 量为 4.5%~5% 的焊丝。 Cr 和 Zr 通过晶界强化降低了焊缝金属的裂纹倾向。Zr 降低热裂倾向

附录 B
(规范性)
缩写符号定义

本文件表 2~表 4、表 6~表 7、表 9~表 10 中图示的符号定义。

A ——气孔涉及的面积

A_n ——金相切片焊缝横跨表面（射线投影面或金相横截面）

A ——角焊缝的标称厚度

b ——焊缝余高的宽度

d ——气孔的直径

d_n ——气孔涉及区域的直径

d_{nc} ——整个气孔区域的圆周直径

h ——缺陷的高度或宽度

l ——焊缝纵向的缺陷的长度

l_n ——焊缝长度

l_p ——投影面积或横截面长度

s ——标称对称焊缝厚度

W_p ——焊缝宽度，或横截面的宽度或高度

t ——管壁厚度或板厚

z ——角焊缝的焊脚长度

s_f ——母材侧熔深

S_n ——板间结合面处的焊缝宽度

a_s ——斜角接头的焊缝厚度

参 考 资 料

- [1] ISO 2553: 2019 焊接及相关工艺-图纸中的符号表示-焊接接头 (Welding and allied processes—Symbolic representation on drawings—Welded joints)

征求意见稿