

- 职业技能培训教材
- 岗位培训教材

LÜHEJIN HANJIE PEIXUN JIAOCHENG

铝合金焊接培训教程



中国劳动社会保障出版社



责任编辑：赵 锋
责任校对：洪 娟
封面设计：邱雅卓
版式设计：沈 悦

ISBN 978-7-5045-7420-6



9 787504 574206 >

定价：22.00 元

职业技能培训教材
岗位培训教材

铝合金焊接培训教程

王炎金 王亚彬 主编

中国劳动社会保障出版社

（北京）

出版人：张敬忠

编辑：王亚彬、王炎金、王亚彬、王炎金

（北京）

（北京）

定价：35.00元

联系电话：010-84322111

中国劳动社会保障出版社

发行所

发行所

010-84322111

图书在版编目(CIP)数据

铝合金焊接培训教程/王炎金,王亚彬主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,2008
职业技能培训教材 岗位培训教材

ISBN 978-7-5045-7420-6

I. 铝… II. ①王…②王… III. 铝合金-焊接工艺-技术培训-教材 IV. TG457.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 167805 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

煤炭工业出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 176 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

定价:22.00 元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

内 容 简 介

本书由长春轨道客车股份有限公司培训中心结合十多年铝合金焊工培训工作经验编写，从焊接材料、设备、工艺、各种焊接方法、焊接质量检验以及职业健康与安全等方面入手，全面介绍了铝合金焊工应该具备的基础理论知识和实际操作技能，是一本铝合金焊接的系统培训教材，体现了铝合金焊接的先进技术。

本书内容紧贴生产实践，使用了丰富的现场操作图片，有很强的实用性，可供从事铝及铝合金焊接生产工作的人员培训使用，也可作为相关人员的参考资料。

本书由王炎金、王亚彬主编，何广忠、宫文彪、丁国华、胡立国、王俊玖、吕钟奇、胡光明、周军年、刘志平参编。此外，本书在编写过程中，得到了中德哈尔滨焊接技术培中心主任王林的指导和帮助。

目 录

第一章	铝及铝合金焊接基础知识	(1)
第一节	铝及铝合金材料	(1)
第二节	铝及铝合金焊接材料	(8)
第二章	铝及铝合金惰性气体保护焊工艺	(13)
第一节	TIG 焊工艺	(13)
第二节	MIG 焊工艺	(16)
第三节	安全操作	(17)
第三章	铝及铝合金焊接准备及焊后质量检验	(19)
第一节	焊前准备	(19)
第二节	焊接变形及控制	(22)
第三节	焊后处理	(23)
第四节	焊缝质量检验	(24)
第五节	焊缝宏观断口检测	(27)
第四章	铝及铝合金手工 TIG 焊设备	(30)
第一节	铝及铝合金 TIG 焊电源	(30)
第二节	IGBT 控制交直流 TIG 焊电源	(31)
第五章	铝及铝合金 MIG 焊设备	(38)
第一节	MIG 焊设备介绍	(38)
第二节	TPS 全数字铝焊机	(39)
第六章	焊接工艺规程	(45)
第一节	焊接工艺规程概述	(45)
第二节	焊接工艺规程的内容	(45)
第七章	铝及铝合金自动焊技术简介	(51)
第八章	铝及铝合金缺陷定义和极限值要求	(53)

第二篇 铝及铝合金焊接实践练习

第九章 铝及铝合金 TIG 焊实践练习	(61)
练习一 TIG 焊接工艺的设备调试	(61)
练习二 建立电弧、形成熔池	(62)
练习三 铝板上的平焊堆焊	(63)
练习四 平焊位置上的单道角焊	(66)
练习五 在铝片上进行平焊位置的单道对接焊	(69)
练习六 在板材上进行平焊位置的多道角焊	(72)
练习七 铝管单焊道和多焊道平焊	(73)
练习八 平焊铝板多道对接焊	(75)
练习九 横焊多焊道角焊和对接焊	(77)
练习十 立式多焊道角焊和对接焊	(79)
练习十一 仰焊多焊道角焊和对接焊	(80)
练习十二 水平固定位置多焊道铝管焊接	(81)
第十章 铝及铝合金 MIG 焊实践练习	(83)
练习一 确定考核 MIG 焊工的设备	(83)
练习二 在平板上引弧和熔敷焊道	(84)
练习三 平焊位置的单道角焊	(87)
练习四 平焊位置的单道对接焊	(89)
练习五 平焊位置的多道角焊	(91)
练习六 铝管平焊位置的单道焊	(93)
练习七 铝板平焊位置的多道对接焊	(94)
练习八 横焊位置的多道角焊和对接焊	(96)
练习九 立向上位置的多道角焊和对接焊	(98)
练习十 仰焊位置的多道角焊和对接焊	(99)
练习十一 管水平固定位置的多道焊	(101)
第三篇 铝及铝合金焊接职业健康与安全环保	
第十一章 铝及铝合金焊接的职业健康和烟尘的危害	(103)
第一节 铝及铝合金焊接的职业健康安全要求	(103)
第二节 焊接烟尘的产生机理	(104)
第三节 焊接烟尘的成分及危害	(104)
第十二章 铝及铝合金焊接烟尘的治理	(108)

第一篇 铝及铝合金焊接基础知识

第一章 铝及铝合金惰性气体保护焊基础知识

第一节 铝及铝合金材料

一、铝及铝合金材料的性能

铝是地球上储量最丰富的金属元素，金属铝可再生利用，铝合金的应用在世界范围内受到越来越高的重视。铝及铝合金具有如下物理特点：密度小（ 2.7 g/cm^3 ）、熔点低（铝的熔点 660°C ）、电阻小（是钢的 $1/4$ ）、导热系数大（是钢的 $3\sim 4$ 倍）、热膨胀系数大（是钢的 2 倍），延展率高、塑性好。

铝及铝合金具有活泼的化学特点，纯铝在空气中是很难存在的。但铝合金在和空气接触时，会形成一层很薄且致密坚硬的 Al_2O_3 薄膜。这层氧化膜的存在，可以防止金属继续氧化，保护金属不受破坏，有利于自然防腐。但表面氧化膜会给焊接带来困难，这是铝及铝合金焊接时的一个重要特点。

铝及铝合金的力学性能随其纯度而变化，纯度越高，强度越低，塑性越高。在以铝为基体的材料中，高纯铝、纯铝和铝合金是有区别的。高纯铝是间接地由铝锭按特殊冶炼方法获取，其纯度至少为 99.9% 。纯铝是一种无合金元素的铝，但有一定量的杂质。纯铝的抗拉强度很低，只有 90 MPa 左右，因而不能用纯铝制造承受载荷的结构零件。生产实际中，铝合金是最重要的铝材料，它是通过向纯铝中加入适量的锰、镁、铜、硅和锌等得到的。铝合金具有较高的强度，若再经过冷加工或热处理，还可进一步提高其抗拉强度，甚至可提高到 $500\sim 600 \text{ MPa}$ ，相当于低合金钢的强度。

在实际生产中，使用的铝合金大多不是二元合金，而是三元或多元合金。通过加合金元素，得到理想的强度。

二、影响铝及铝合金焊接的因素

1. 铝的熔点

纯铝的熔点大约是 660°C ，可焊接的商用铝合金的熔化温度大约为 560°C 。和钢、铜比较（钢的熔化温度大约为 1540°C ，铜的熔化温度大约为 1080°C ），铝在熔化过程中没有颜色变化，在焊接过程中容易产生焊穿。但是，可通过观察熔池判断是否接近铝的熔点。例如，当金属熔化时，TIG 焊（钨极惰性气体保护焊）的熔池呈现亮的外观，并且在电弧下

面形成液体坑。

2. 热传导

铝及铝合金的导热系数大，导热速度是钢的3倍，对于相同厚度的铝合金和钢，铝合金焊接需要的热量更大。对于厚板焊接通常采取焊前对焊接区进行预热，以减少热输入和降低热量的损失，并且当采用TIG焊工艺焊接时，采用预热的方式会得到更好的焊接效果。

3. 热收缩和膨胀

熔化状态的铝合金在凝固结晶过程中，其体积大约减少6%，在此过程中所产生的收缩应力可能会导致焊接接头的变形。焊接输入的热量会使临近焊接区域的金属膨胀，热源离开时，金属冷却产生收缩，加上熔化的金属在冷却过程中的收缩，可使焊接处产生拉应力，增加了裂纹的敏感性。焊接结构件在冷却过程中受到过度限制也可导致焊接裂纹产生。

焊接坡口的形状和焊缝数量是影响变形量的主要因素，双面对接焊的变形量通常比多焊道V形坡口焊的变形量要小得多。焊接速度也是控制变形的决定因素，焊接速度较低时，热输入量多，会导致更大的膨胀，并且在冷却的过程中收缩也较大。热输入量不充足则会导致焊缝熔化不良，产生未焊透和未熔合等缺陷。焊前预热可降低产品的变形程度和产生裂纹的倾向，并能提高焊接速度。

4. 焊接热输入对力学性能的影响

铝合金分为不可热处理的铝合金（如1000、3003、5052和5086）和可热处理的铝合金（如6061、6063、7005和7039）。虽然在2000到7000系列范围内的合金是可热处理的，但是由于焊缝的低延展性，在该范围内的多数合金一般不推荐采用电弧焊连接，而采用电阻焊会得到更好的性能。常采用电弧焊接的铝合金主要有6005、6082、7020、6063、6061、5083、5754。

5. 预热

由于铝合金的热导率高，环境温度较低或材料厚度较大时，为保证焊接质量，一般焊接之前要对焊接区域进行预热。常用的预热方法有火焰加热和履带式陶瓷加热器加热。通常预热到90℃即足以保证开始焊接处有足够的熔深，因而不必在起弧后重新调节电流。一般铝合金预热温度很少超过150℃，因为在较高温度下某些铝合金的性能和热处理状态会受到不利的影响。含4.0%~5.5%镁的铝镁合金（5083、5086和5756）的预热温度一般不应超过90℃，否则会降低其抗应力腐蚀开裂的性能。对于可热处理的合金，预热温度高还会降低接头的延展性，扩大软化区范围。

6. 焊接应力

由于焊接热量的输入、焊接材料的厚度以及焊接设计等因素的影响，在铝合金焊接中所产生的焊接残余应力可能会非常大，这些应力可能会导致焊接件的早期失效。降低焊接残余应力的方法之一是敲击法（用1kg的圆头铜锤敲击焊缝金属），对于薄件一般不适合采用敲击法。薄件降低残余应力时，建议采用热处理方法。加热到适当的温度保温一段时间，使铝合金完全退火可消除残留应力。但是，只有铝合金为O状态（退火状态）时，完全退火消除残余应力的方法才可用。

对于热处理强化铝合金，采用退火处理来消除焊接残余应力会影响到焊接件的力学性能，某些合金可能会降低抗腐蚀性。

对于铝镁合金（5000系列）可以通过加热到低于340℃的温度（达到完全退火的温度）

来降低残余应力。如果可行，可将焊接件整体放入加热炉中进行整体加热。采用局部加热消除残余应力的方法在某些情况下是有效的，但是需要试验后才可采用。

铝镁合金（5000 系列）可进行充分的应力释放，多数情况下，采用焊接后加热到 230℃ 保温 4 h。焊件在加热炉中的时间不能太长，相对而言，冷却的速度不是非常重要。

7. 氧化膜

当铝和铝合金暴露在空气中时，表面会迅速形成一层氧化膜，其熔点为 2500℃，已远远超过铝合金的熔点。氧化膜的存在会影响铝合金的焊接质量，其危害主要有：氧化膜易吸附水分，焊接时容易产生气孔；氧化膜不导电，焊接时会使电弧不稳；氧化膜的密度大，焊接时破碎的氧化膜将沉积在熔池中形成夹杂；氧化膜熔点高，会阻碍填充金属和母材的熔合，易产生未焊透缺陷。因此，焊接之前应严格清理工件表面的氧化膜。去除氧化膜主要有化学清洗和机械清理两种方法。化学清洗是用碱性、酸性或专用清洗剂去除氧化膜，典型化学处理方法见表 1—1。

表 1—1 去除铝表面氧化膜的典型化学处理方法

溶液	浓度	温度 (°C)	容器材料	工艺	目的
硝酸	505 水 50%硝酸	18~24	不锈钢	浸 15 min，在冷水中漂洗，然后热水中漂洗，干燥	去除薄的氧化膜，供熔焊用
氢氧化钠	5%NaOH+95%水	70	低碳钢	浸 10~60 s，在冷水中漂洗	去除厚氧化膜
硝酸	浓硝酸	18~24	不锈钢	浸 30 s，在冷水中漂洗，然后在热水中漂洗，干燥	去除厚氧化膜，适用于所有焊接方法
硫酸 铬酸	硫酸 3.79 L, CrO ₃ 1.28 kg, 水 34.11 L	70~80	衬铝的钢罐	浸 2~3 min，在冷水中漂洗，然后在热水中漂洗，干燥	去除因热处理形成的氧化皮
磷酸 铬酸	磷酸 (75%) 13.3 L, CrO ₃ 0.79 kg, 水 37.9 L	90	不锈钢	浸 5~10 min，在冷水中漂洗，然后在热水中漂洗，干燥	去除阳极化处理镀层

机械去除氧化膜推荐使用钢丝直径为 0.3~0.4 mm 的不锈钢钢丝刷，刷到露出金属光泽为止。

工件经过清理后，在存放过程中会重新生成氧化膜，因此清理后至焊接前的储存时间应尽量短，一般不要超过 24 h。

8. 焊接表面的清理

在所有铝焊接中，不论采用哪种焊接工艺，清理焊接表面是一项非常重要的工作。清理工作必须在焊接之前进行。残留在焊接接头边缘的氧化层、油脂和油膜将导致不良的焊接效果。这些不良效果，会严重影响焊接力学性能。中性、碱性溶液和商用脱脂剂在焊接过程中不会产生有毒的烟气，因此被广泛地用作焊接前的清理溶剂。常用的一种清理方法是用抹布蘸上溶剂（如乙醇或丙酮）擦拭焊接接头的边缘。清理之后，应保证所有焊接表面是干燥的，以防止在金属中产生气孔。还可采用适当的研磨工艺去除铝合金表面的氧化层，例如，用清洁的不锈钢钢丝刷在焊接前对铝表面进行清洁。

三、铝及铝合金材料的焊接性

所谓焊接性，就是材料的抗裂性、焊接结构的安全性、产品应用范围经济性三者的统一。如果材料的化学、冶金和物理性能都能适合于焊接工艺，并且这种焊接接头达到了使用强度参数，就认为这种材料适合于焊接。

由于铝及铝合金所具有独特的物理化学性能，在焊接过程中会产生一系列困难，具体表现在以下几点：

1. 易氧化 铝合金表面总有一层难熔的氧化铝薄膜。这层氧化膜的熔点高达 2500°C ，远远超过铝合金的熔点。在焊接过程中，氧化铝薄膜会阻碍基本金属熔化和熔合，而且氧化膜的相对密度大（约为铝的 1.4 倍）不易浮出熔池，造成熔合不良与焊缝夹渣。氧化膜还会吸附水分，焊接时会使焊缝生成气孔。因此在焊接铝及铝合金时，为了保证焊接质量，焊前必须认真去除焊件表面的氧化膜，并防止在焊接过程中再发生氧化。对熔化金属和处于高温下的金属进行有效的保护是铝及铝合金熔焊的重要特点。

2. 易产生气孔

焊接时产生气孔的气体主要有氢气、一氧化碳气体、氮气。氮不溶于液态铝，而且铝合金中不含碳，因此焊接铝合金时，不会产生氮气孔和一氧化碳气孔，只能产生氢气孔。氢在液态铝中的溶解度为 7 mL/kg ，而在 660°C 凝固温度时，氢的溶解度为 0.4 mL/kg ，使原来溶于液态铝中的氢大量析出，形成气泡。因此在焊接铝时，焊缝很容易产生气孔，尤其是纯铝和防锈铝的焊接，更易产生气孔。为此，在焊接铝合金时，为了减少氢的来源，应限制氢溶入母材金属和填充金属，且应该使用纯度较高的保护气体；焊前对焊件、焊丝、焊条等都应该认真清除氧化膜、潮气和油污；焊接过程尽可能少中断，以防止气孔的形成。另外在选择工艺参数时采用强参数，TIG 焊（钨极惰性气体保护焊）时选用大的焊接电流配合较快的焊接速度。MIG 焊（熔化极惰性气体保护焊）时选用大的焊接电流配合较慢的焊接速度，以提高熔池的存在时间。有利于氢从过饱和固溶状态铝合金焊接金属中逸出，减少氢气孔的产生。

3. 易焊穿

铝及铝合金由固态转变为液态时，没有显著的颜色变化，所以不易判断熔池的温度。另外，温度升高时，铝的机械强度降低，铝在 370°C 时强度仅为 10 MPa ，焊接时会因为不能支撑住液态金属而使焊缝成形不良，甚至形成塌陷或烧穿。为了解决这个问题，焊接铝及铝合金时常常要采用垫板。

4. 热裂纹

铝的线膨胀系数比钢的大将近一倍，而其凝固时的收缩率又比钢大一倍，因此铝焊件的焊接应力大。另外合金的成分对热裂纹的产生有很大影响，当铝及铝合金成分中的杂质超过规定范围时，在熔池中将形成较多的低熔点共晶，两者共同作用就容易在焊缝中产生热裂纹。

焊接裂纹常出现在起弧、熄弧、突然断弧、定位焊、补焊处，因此焊接铝及铝合金时，防止热裂纹应从减少焊接应力、调节熔池金属成分、改善熔池结晶条件、正确选择焊接方法和控制工艺参数等几方面来考虑，只有在热处理强化铝合金焊接时热裂纹倾向才比较大。

5. 接头不等强度

铝及铝合金焊接时，由于焊接热的影响，焊接接头中热影响区会出现软化，强度降低，

力学性能变坏，而使接头与母材无法达到等强度。纯铝和非热处理强化的铝合金，在TIG、MIG、电阻点焊时，焊缝及接头强度分别可达到母材强度的90%、70%、90%以上。主要获得与母材等强度对接接头，应增大焊缝区金属的厚度。

四、铝及铝合金材料标记方法

1. 德国标准标记方法

(1) 先写化学符号。如纯铝：Al99.5。

(2) 然后写合金元素百分比。如AlMg3。

(3) 加工与供货形式写在最前。如：G—铸造（标在最首位，如G—AlSi₁₂）、GD—压力铸件、L—焊剂、E—电工用铝材、GK—冷硬铸、GZ—离心铸件、V—预合金化、VR—高纯度的预合金化、S—焊接填充材料。

(4) 材料状态标在最后。

1) 型材（大写字母）。W—软化退火；F—冷硬化或时效硬化；G—从较高硬化状态进行最后退火。

2) 铸材（小写字母）。g—退火淬火；ho—均匀化；ka—高强时效硬化；ta—部分时效硬化。

2. 国际通用标记方法

1×××：纯Al；

4×××：Al-Si；

5×××：Al-Mg；

6×××：Al-Mg-Si；

7×××：Al-Zn-Mg；

8×××：上述之外；

9×××：预备

其中，×××是0~9的数字组合，如1000、5754等。

3. 型材状态标记

R—热轧状态；O—退火状态；H—加工硬化的；T—淬火、回火等；T1—高温加工（挤压或铸造）冷却后回火等；T3—固溶处理后冷加工；T4—固溶处理后常温时效硬化；T5—高温加工后快冷，然后人工时效硬化；T6—淬火后回火；T7—淬火后，稳定化处理；T8—淬火和回火处理之间，进行冷加工；T9—淬火后回火，再冷加工。

五、铝及铝合金分类

铝及铝合金按国际标准分为八类。这八类铝及铝合金的主要成分和性能特点如下：

1. 1000系列（工业用纯铝）
主要成分：Al（99%以上）。

特点：强度较低，但耐腐蚀性能、焊接工艺性及加工性很好，反光性高，是热和电的良好导体。

主要用途：家庭用品，机器零件装饰品、反射镜等。

2. 2000系列（铝铜合金）

本族主要合金成分：Cu（1.5%~6.0%），属热处理合金。为加强其力学性能，进行淬火处理。

特点：耐腐蚀性差，焊接工艺性在铝合金中是最差的，但切削性比较好。

主要用途：飞机材料，铆钉结构件等。

3. 3000系列（铝锰合金）

本族主要合金成分：Mn（1.0%~1.3%），经过冷轧加工制成各种材质的非热处理合金。

特点:耐腐蚀性、加工性、焊接性和纯铝几乎一样,但是强度稍低(略高于纯铝)。
主要用途:主要用于建材的成形加工材料。常用于制做锅、水壶等容器,以及热交换器零部件等。

4. 4000 系列(铝硅合金)

本族主要合金成分:Si (4.5%~13.5%),为非热处理合金。

特点:熔点低,可作焊接材料。

主要用途:常被用做焊条(电极焊丝)及硬钎焊用填料。常用于制做补强件、热交换器等。

5. 5000 系列(铝镁合金)

本族主要合金成分:Mg (0.2%~5.6%),只添加镁或同时还添加锰的铝合金,为非热处理合金。

特点:耐海水腐蚀、焊接工艺、成形性好,强度比较高。

主要用途:近来多被用做焊接材料。常用在建筑、船舶车辆、机械零件、饮料罐等方面。

6. 6000 系列(铝镁硅合金)

本族主要合金成分:Mg (0.45%~1.5%)、Si (0.2%~1.2%),属热处理合金。

特点:耐腐蚀性好、易成形加工、挤压性能好、强度高(劣于2000系列及7000系列)。

主要用途:结构材料、建筑用窗框、土木建筑用品、螺栓、铆钉等。

7. 7000 系列(铝锌镁合金)

本族主要合金成分:Zn (0.5%~6.1%)、Mg (0.1%~2.9%)、Cu (0.1%~2.0%),属高强度热处理合金。

特点:焊接工艺性、耐腐蚀性差,是现有铝合金中强度最高的材料,被称为硬铝,抗拉强度达500 MPa。

主要用途:飞机结构材料、体育用品材料、车辆结构材料等。

8. 8000 系列

备用系列。

六、铝及铝合金在铁路车辆上的应用

铁道车辆所使用的车体材料,要求加工工艺性能好,耐腐蚀,焊接性能优良。常使用的铝合金材料是5000系列(Al-Mg)合金,6000系列(Al-Mg-Si)合金和7000系列(Al-Zn-Mg)合金。

1. 型材在铝合金车辆中的应用情况

目前铝合金轨道车辆主要分为铁路动车组和城市轨道车辆两种,城市轨道车辆分为A型车、B型车和C型车。这些车辆主要体现为以下参数的不同:

长度上的不同:铁路动车组长度一般在24~26 m之间,A型城轨长度在20~24 m之间,B型城轨长度在18~20 m,C型城轨长度在12~18 m之间。

质量上的不同:铁路动车组车体自重9~11 t,A型城轨车体自重7~10 t,B型城轨车体自重6~8 t,C型城轨车体自重小于6 t。

在选材上,各种车辆模式基本相同:主体结构型材选择6005AT6;对受力较大部位,选择6082T6铝合金;对接触水的部位,选择6060T6铝合金;对枕梁关键受力部位,选择7020T6铝合金。

在闭式型材结构铝合金车体中，主要材料为型材，型材用量占整个结构的 85%，如图 1—1 所示；在板梁结构铝合金车体中，型材占整个结构的 70%，如图 1—2 所示。可见型材的质量直接关系到铝合金车辆的质量。

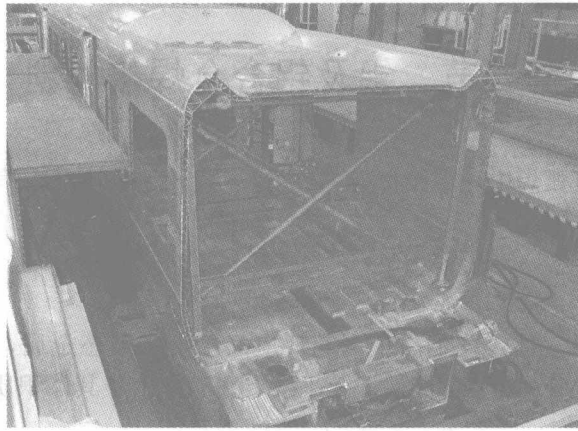


图 1—1 闭式型材结构铝合金车体

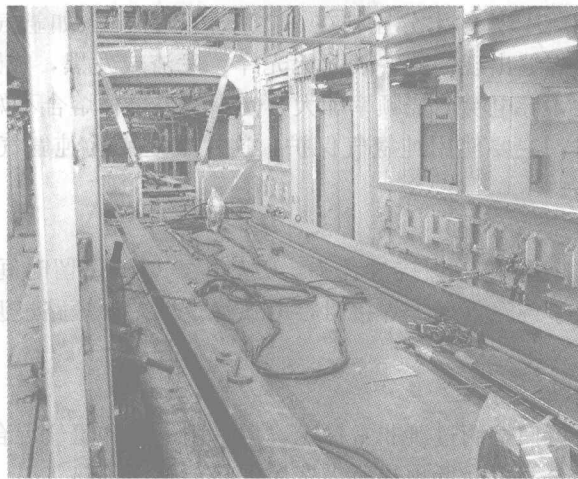


图 1—2 板梁结构铝合金车体

2. 板材在铝合金车辆中的应用

无论何种型式的铝合金车辆，都大量使用了铝合金板材，根据结构受力情况和加工难度，主要使用以下几类材料：

5083、5754H111 铝合金：用于防腐部位和一般结构，其材料特点是易于弯曲成型加工；

7020T6、6082T6 铝合金：用于受力部位，弯曲成型加工较困难；

5083H34、5754H34 铝合金：材料硬度较高，常用于薄壁高强度结构，如地铁裙板和车头蒙皮等。

3. 铸件在铝合金车辆上的应用情况

对于一般外形比较复杂的构件用组焊方案或板件加工的方案工作量太大，因此，在车辆上如各种吊座、横梁等大量采用铸件。

图 10-1 客车车体采用的铝合金是热处理强化型铝合金，它的强度是靠合金元素镶在铝金属晶格之间而提高的，因此能够导致合金元素变化的因素都能够引起金属强度降低。所以铝合金不能用火烤，否则强度会下降。即使必须用火烤，也只能控制温度在 200℃ 以下。

第二节 铝及铝合金焊接材料

在铝及铝合金的氩弧焊中，焊接材料主要指焊丝、保护气体（氩气、氦气和氩气的混合气）和钨极等。

一、保护气体

1. 氩气

氩气（Ar）是惰性气体，既不与金属起反应又不溶于液态金属，能量损耗低，电弧燃烧稳定。在 TIG 焊和 MIG 焊中都能保证几乎没有飞溅。由于其体积质量比空气大，所以保护效果非常好。

在生产实际中，铝合金焊接时，氩气的纯度应大于 99.9%，其中杂质氧和氢含量小于 0.005%，氮含量小于 0.015%，水分控制在 0.02 mg/L 以下。如氩气纯度达不到以上要求会造成合金元素烧损，焊缝出现气孔，表面无光泽、发渣或发黑，成形不良等现象。此外，还会影响电弧的稳定性，导电嘴回烧频率加大，使焊丝与母材熔合不好。

焊接铝合金薄板时，主要使用纯氩气保护，这主要是因为纯氩气保护时的热输入量较小、熔深浅的原故。

2. 氦气

氦气（He）也是惰性气体，焊接过程中，吸热少，熔池停留时间长，因此氦气保护焊接时气孔倾向小。但由于纯氦气保护焊接时，电弧稳定性差、短路过渡形式等缺点，故一般不单独使用。

3. 氩—氦混合气体

采用氩气保护时，可使熔滴过渡非常稳定，但采用氩气和氦气混合气体可改善熔深和抗气孔性能。采用氦气混合气可降低预热所需费用，甚至不用预热。

氩—氦混合气体的组成为 70% 的氩气和 30% 的氦气。使用氩氦混合气体的优势在于它综合了两种保护气体的优点，即氩气的电弧稳定、能形成射流过渡、保护效果好以及氦气的热输入量大、抗气孔能力强。

如果用于大厚度铝合金板材的焊接或散热系数更大的铜合金的焊接时，可以增加氦气的含量，常用的氦气加入量为 50% 和 70%。

4. 氩、氦、氮混合气体

氩、氦、氮混合气体的组成为 1.5% 氮气，30% 的氦气，其余为氩气，加入微量的氮气可以进一步增加焊接热输入量，减小预热温度，改善焊缝成形。

当进行铝及铝合金焊接时，焊接保护气体的选择对生产效率和最终焊缝质量都有着重要影响。

由于铝合金对氢气和氧气的敏感性高，因此要采用氩气和氦气做保护气体。考虑到成本，氩气是铝合金焊接使用最广泛的保护气体，但是使用氦气和氩—氦混合气体也另有优

点，因而在重要结构中要选择使用。这些优点包括：

- (1) 增加熔深和改善焊缝成形。
- (2) 提高焊接速度。
- (3) 可焊接厚度范围大。
- (4) 降低预热温度。
- (5) 减少气孔等焊接缺陷。

当提高氩、氦混合气体中氦的含量时，焊缝熔深将会从较圆的形状变为狭窄的指状，同时会使焊高降低、熔深增加。对于任何厚度的材料，都可以通过向氩气中添加氦气来提高焊接速度。

使用含氦较高的混合气所产生的高热量输入促进了对较厚工件的焊接。然而，除了自动焊以外，高氦含量的混合气通常不推荐使用在厚度小于 3 mm 的材料上。

二、焊丝

在铝合金焊接中，焊缝金属的组织成分决定着焊缝的强度、塑性、抗裂性、耐蚀性等。因此，合理选择焊丝及填充材料是十分重要的。选择焊丝时必须首先考虑基本金属的成分、产品的具体要求及施工条件，除了应满足接头机械性能、耐腐蚀性能外，还应考虑结构的刚性及抗裂性等问题。选择焊丝通常考虑以下几方面因素：

- (1) 与母材的化学成分相兼容，如焊接裂纹倾向。
- (2) 焊缝力学性能要求（需要将焊接热影响区和焊缝金属性能统一计算）。
- (3) 焊接部件或构件的后续处理，如表面处理、阳极氧化和表面装饰抛光。
- (4) 焊缝要求的抗腐蚀能力。
- (5) 最佳焊接性。

最终的选择将根据产品实际需要，对上述几方面进行综合平衡。

表 1—2 提供了各类铝合金焊丝的相关信息，表 1—3 提供了若干条件下铝合金焊丝的选择建议。

表 1—2 各类铝合金焊丝的相关信息

类别	型号	化学成分代号	备注
1×××	SAL1450 SAL1080A	A199.5Ti A199.8	Ti 通过晶界强化降低了焊缝金属的裂纹倾向
3×××	SAL3103	AlMn1	
4×××	SAL4043A SAL4046 SAL4047A SAL4018	AlSi5 AlSi10Mg AlSi12 (A) AlSi7Mg	该成分焊丝在阳极氧化或暴露于空气中时会变成暗灰色，其强度会随 Si 的增加而提高。该种焊丝焊接后的焊缝颜色和基体金属之间有色差问题。这种焊丝专门应用在预防由于高稀释及高收缩而形成的凝固裂纹，常用于铸件焊接
5×××	SAL5249 SAL5754 SAL5556A SAL5183 SAL5087 SAL5356	AlMg2Mn0.8Zr 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。Mg 含量过高、过低均会造成阳极化后的焊缝色差。 当焊缝金属要求屈服强度、断后伸长率为重要指标时，应使用含 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

表 1—3

铝合金焊丝的选择

母材	Al	AlMn	AlMg <1%	AlMg 3%	AlMg 5%	AlMgSi ^d	AlZnMg	AlSiCu <1% ^{e,f}	AlSiMg ^e	AlSiCu ^{e,f}	AlCu ^c
Al	4 1 4										
AlMn	4 或 5 1 4	3 或 4 3 4									
AlMg <1%	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 ^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				
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	4 4 4	
AlSiMg ^e	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	
AlCu ^c		Nr ^g	Nr ^g	Nr ^g	Nr ^g		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. 当母材的 Mg 含量 ≥ 2%，使用型号为 AlSi5 或 AlSi10 焊丝焊接时，过多的 Mg₂Si 会在焊接熔合线处沉淀析出，从而使焊缝产生脆化现象。这种母材和焊丝的组合不推荐在承受动载荷或冲击载荷的结构中使用。如果这种搭配不可避免，应该使用 AlMg5 或 AlSi5 型焊丝。

2. 表中母材取决于化学成分，而与材料形式无关。

3. 每栏焊丝类别的选择出于以下考虑：

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。这种情况下，可通过压紧夹具或在熔池内提高 Mg 含量到 3% 以上的方法来预防。

b 表中的 5 类焊丝在 Mg 含量不大于 3% 时具有较好的抗晶间腐蚀或应力腐蚀性能，在有潜在晶间腐蚀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中的 Mg 含量。

c 在确定的环境条件下，如温度范围 ≥ 65℃，Mg 含量大于 3% 的铝合金可能易产生晶间腐蚀或应力腐蚀。这种易腐蚀性随 Mg 含量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。