

第二章 铝合金车体的设计工艺性技术

第一节 铝型材设计技术

铝合金车体完全不同于碳钢车体的制造，初期国内生产的铝合金车体，只是模仿国外的结构和工艺，但在具体的生产过程中，逐渐意识到铝合金车体制造是一个综合的复杂技术，单纯追求设计技术、工艺技术、质量控制技术都不能获得很好的效果，因此，研究铝合金车体综合技术是制造铝合金车体的关键。铝合金车体的设计技术，一般要求三方面的技术人员均需要掌握，设计人员灵活应用，可提高设计质量，工艺人员掌握该技术可以做好图纸工艺性审查工作，质量人员据此可以在最后环节堵住质量缺陷，因此，铝合金车体设计技术可供设计、工艺、质量等技术人员参考。本处设计技术重点关注的是可以大幅提高生产效率、保证质量的设计技术，其它车体设计技术如计算机辅助设计技术、有限元强度分析技术、强度试验技术等不在此介绍，需要在其它专业理论中学习。

铝合金车体结构主要由铝型材构成，型材断面的设计直接决定了焊接工作量、焊接质量、制造难度和焊接效率。在铝合金车体结构型材设计中，应遵循如下原则：

一、在型材设计中，预留组对、加工基准线，方便后道工序加工

在型材设计中，预先将部件定位基准直接设计到型材上，如在地板中间型材上设计地板中心线、在侧墙型材上设计座椅安装线，节省了画线时间，同时统一了制造过程的基准线，效率高，质量容易保证。图 2-1 为在型材上设计的基准线，该基准线提供了组对基准和安装基准，无论车体工序进行到何工序，该基准线都会存在于结构中，供所有工序做画线参考。这种技术在西门子车体结构设计中广泛使用，易于保证车体制造质量。

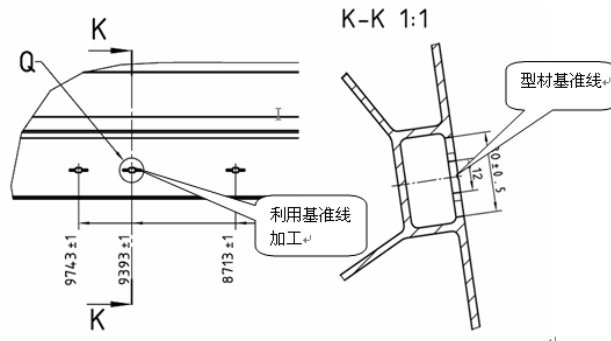


图 2-1 利用型材基准线加工座椅孔

二、结构设计中，要尽量采用宽的型材横截面，减少型材焊接工作量

在产品设计中，设计者要清楚型材横断面尺寸最大可以做到 550mm 宽度，型材的断面尺寸过小，会导致焊缝数量、调修量增加，产品平度下降，造成人力、焊接材料的极大浪费，以下两种地板和车顶板组成工件均存在型材横向尺寸过小的问题，设计上要尽量避免，虽然设计者会考虑利用已有型材模具，会减少型材开模数量，但在实践中要灵活掌握。如果一个产品订单数量非常少，利用原有不合理结构形式是可行的，但产品批量大时，生产效率可能是主要矛盾，这时，结构合理性应该是首要考虑的目标。每多出一倍焊缝，通常生产效率会下降三倍，设计者要在模具成本、生产成本上有一个清晰概念。图 2-2 和图 2-3 示意了铝型材设计宽度过窄的两个例子。

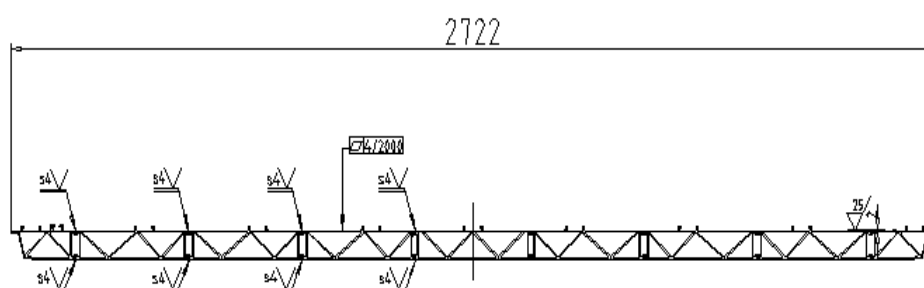


图 2-2 地板组成

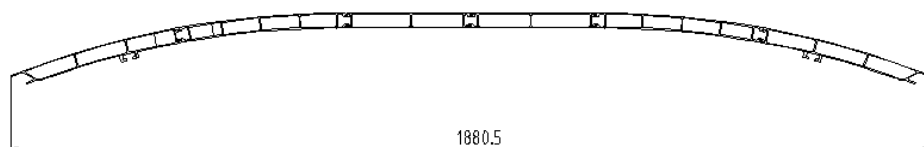


图 2-3 顶板组成

三、型材滑槽、筋位置设计的合理性决定焊接变形的大小，设计中要充分考虑

筋、滑槽位置和结构、挤压工艺均有关系，滑槽数量过多会造成型材挤压的难度，过少不能满足结构强度的要求，应合理地选择滑槽的数量。利用率不高的滑槽且不是关键承力的地方，可以通过焊接或粘接来完成，提高材料的利用率和减少滑槽数量。

滑槽应位于型材腔中各种筋的交会处，若在型材腔的中部，会造成型材表面不平，且不能保证滑槽的强度。滑槽位置见图 2-4，其中图 a 较图 b 合理。



图 2-4 型材筋位置示意

四、块状、条状结构件尽量采用型材模具挤压，避免水刀切割工作量

在某结构上出现块状、条状试件，采用水刀切割，效率低，成本高，如果设计成型材棒料，用机床断开，效率可以提高几十倍，在设计结构中，要清楚一个型材模具的费用和生产效率提高而减少的成本相比是微不足道的，尤其大批量生产更是这样，因此，在结构设计中，要多设计型材结构，简化工序内容。图 2-5 所示的铝块用水刀切割和机床加工大量浪费人力和资源，不如设计成铝合金棒料，利用锯床切割或机加工获得该工件。



图 2-5 水刀切割不合理，应设置型材切割

五、型材宽度公差要合理

型材在宽度方向上如果有焊接，焊后必然收缩，一般 3-4mm 壁厚、400mm 宽型材每道焊缝收缩 1.5mm，据此型材宽度公差应该定义为 $(-1, +3)$ mm 而不是 $(-2, +2)$ mm。图 2-6 标注的公差在生产中会出现很多问题，在生产初期，部件尺寸会偏小，当型材模具用一段时间后，部件尺寸恢复正常。

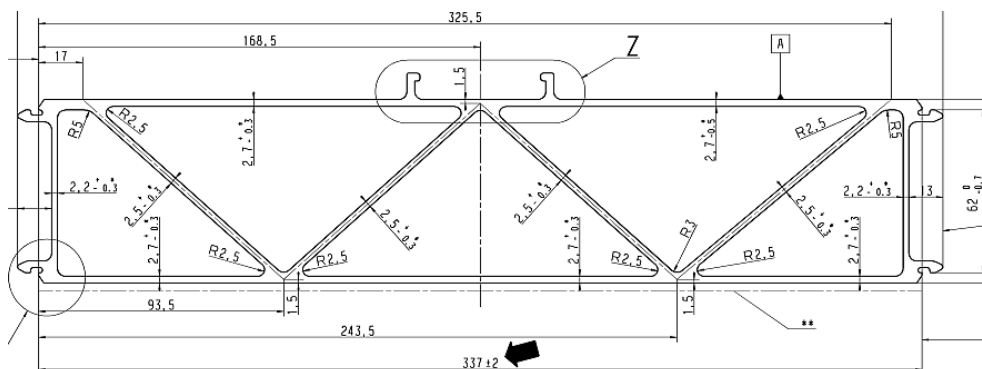


图 2-6 型材公差示意图

六、型材四边壁厚要比中间的筋厚 0.5-1 毫米, 否则焊接变形严重。

图 2-7 所示型材型材四周壁厚 3mm, 中间 2mm, 是一个合理的设计结构。

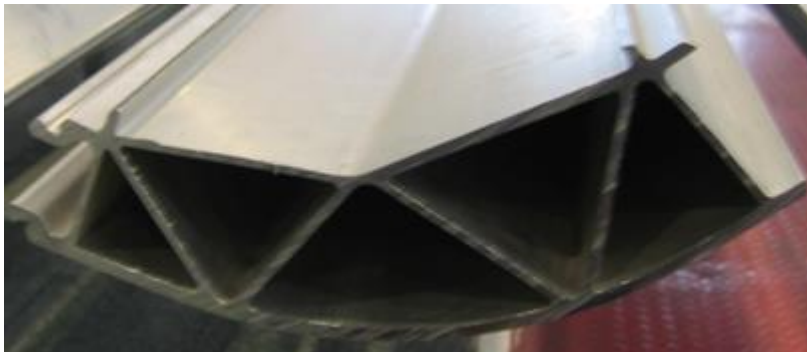


图 2-7 铝合金型材断面图

第二节、产品设计注意细节，保证制造质量

一、设计结构上，要设置各大部件统一基准点，保证各工序统一基准。

一个微小基准孔，体现设计的工艺性。图 2-8 示意了在侧墙、底架上设置的部件中心参考孔，在部件合成时，各部件中心孔位置重合，保证组对过程基准重合。



图 2-8 部件中心孔设置

二、铸铝件和铝结构的连接，合理选用不同的工艺

当结构上选用铸件时，铸件和铝结构的连接是有一定难度的，致密的焊缝组织很难达到，焊补又会产生很多缺陷。因此有时对连接强度要求不高的地方，采用粘接工艺，可以避免铸铝焊接件焊缝致密性不够的问题。图 2-9 示意了在底架地板上粘接铸件的工艺过程。



图 2-9 铝车体和铸件粘接示意

三、各部件形位公差、尺寸公差要求合理，将工艺性和设计精度统一考虑

图 2-10 所示产品技术要求，明确提出尺寸公差、平行度、垂直度、平面度形位公差的具体数值，为制造质量的保证提供了明确的标准。

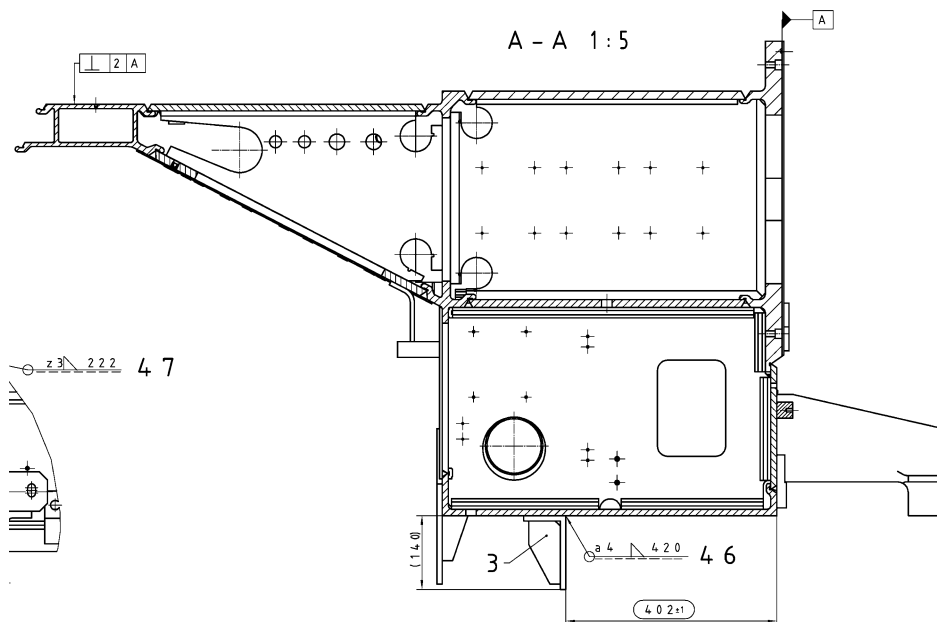


图 2-10 前端部件尺寸要求示意图

四、结构设计过程中，焊接位置要避免焊缝承受横向应力，影响结构安全

由于铝合金焊缝强度只有母材的 60-70%，因此要避免焊缝横向受力。图 2-11 为设计不合理结构，设计导致焊缝承受横向应力，为结构安全留下隐患。

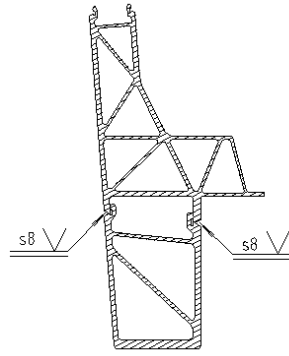


图 2-11 底架边梁存在焊缝不合理

五、设计结构要保证型材宽度、刚度均匀

在型材设计中，要避免型材宽度相差悬殊，影响结构收缩不均匀，焊接变形调整困难。

图 2-12 所示结构设计了两块宽度过小的型材，只有 166mm 宽，这样一来，焊接增加难度，同时焊接变形的调整非常困难，在结构设计上要尽量避免。

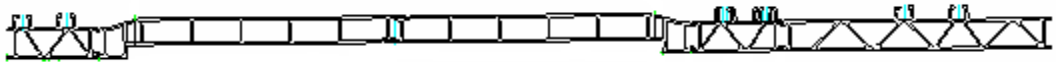


图 2-12 型材宽度相差悬殊，导致结构不对称

六、设计结构要规整，易于制造

有些焊接结构设计随意性强，带来制造成本的大幅上升，焊接质量无法保证，图 2-13 设计应该出一块型材图纸就可以保证形状，拼凑起来的结构在焊接质量和效率上会非常差，设计上尽量避免。

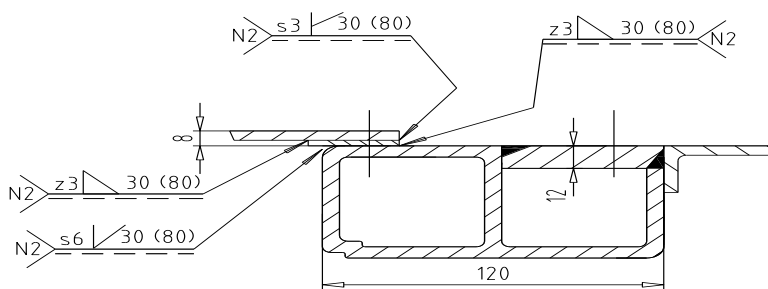


图 2-13 结构设置过于零散

七、在一个结构部件上，要避免钢、铝混合，减少制造工序

铆接结构和焊接结构在一个部件中同时出现，相互制约。先焊接后铆接，焊接变形会影响铆接质量，先铆接后焊接，焊接应力影响铆钉承载状态。设计上应该采用统一连接方式，要么都铆接，要么都焊接。图 2-14 采用铆接和焊接混合连接的方式大大降低生产效率和增

加作业面积，导致生产成本大幅上升。

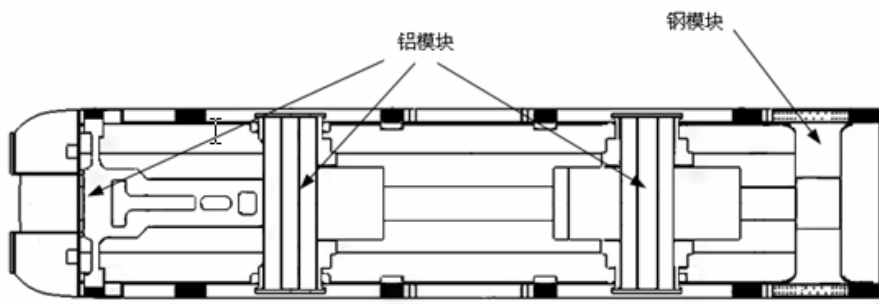


图 2-14 钢模块与铝合金部件混合结构示意图

八、结构设计要考虑易于焊接

焊缝位置尽量避开筋、燕尾槽处，焊接空间要能够满足焊接要求，设计结构要留有足够的空间，满足焊接需要，否则是不能进行焊接的，最小的设计空间如图 2-15 所示，小于此空间的结构是不允许存在的，图 2-16 是焊接困难的位置示意。

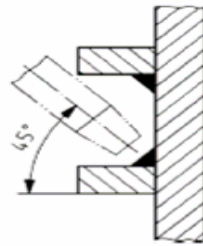


图 2-15 焊接最小空间示意图



图 2-16 焊接困难位置示意

九、焊接结构要对称，以平衡内部应力。

图 2-17 所示结构，在横向、纵向上，结构均对称，内部应力平衡，焊接扭曲变形非常小。

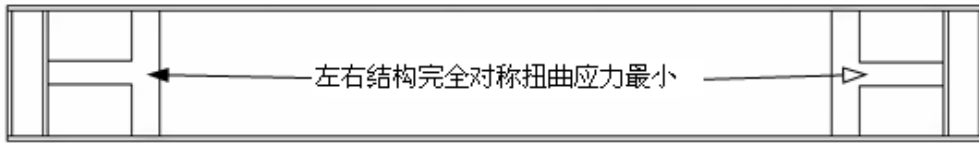


图 2-17 铝合金底架焊接接头分布位置示意图

十、热影响区要避免重合

用于轨道车辆的铝合金材料多是热处理强化型铝合金，焊接加热后必然对其强度产生极大的影响，造成其强度的大大降低，因此要避免在热影响区多次进行焊接。图 2-18 示意了热影响区间距过近的情况。

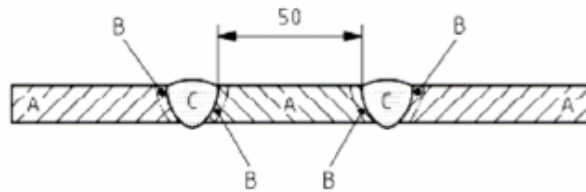


图 2-18 热影响区最小距离示意图

根据 EN15085 标准要求，对于厚度小于 20mm 的铝合金材料，热影响区的最小间距要控制在 50mm 以上。

十一、三条以上的焊缝不允许交叉

铝合金焊接最常见的缺陷就是气孔和裂纹，三条焊缝交叉点最容易产生焊接缺陷，图 2-19 所示交叉焊缝在焊接交叉点处，焊接质量很难保证。如果其中一条焊缝产生了裂纹，很容易导致三条焊缝都发生断裂，因此这种设计结构应当避免。

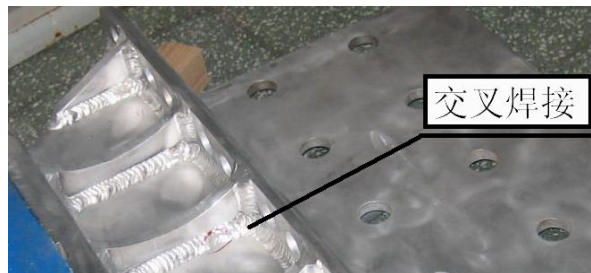


图 2-19 焊缝交叉示意

如果没有办法更改设计结构，也应采取如图 2-20 所示方案，避免焊缝交叉，图 2-20 中的 r 值可根据标准 EN1708 选择。

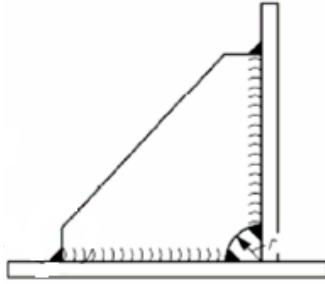


图 2-20 避免焊缝交叉的设计方法示意图

十二、 焊缝不要在板的边缘终止

由于板的边缘通常是应力集中的地方，而焊缝的起弧点和收弧点多是焊接缺欠存在最多的地方，因此焊缝尽量不要在板的边缘终止，可以采取环绕封闭的形式。具体做法如图 2-21 所示。

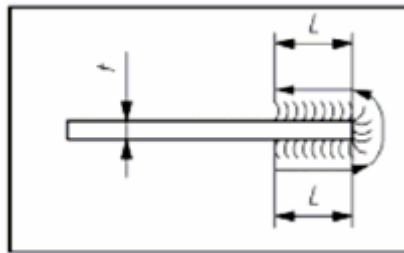


图 2-21 焊缝环绕示意图

第三节 铝合金车体结构设计标准化技术

一、焊接接头的设计标准化

焊接接头的设计要符合标准要求，如果设计采用了标准中没有存在的接头，要经过专业技术讨论论证后，才可实施。

焊接接头的设计（坡口、间隙等）要符合 EN15085 的规定。

二、焊接结构设计要符合标准规定

1. 对接焊接要严格控制两块板板厚差及坡口角度

对接焊接需要具有良好的焊接工艺性，厚板与薄板的板厚差不能超过薄板板厚的四分之一，对接焊缝板厚差不要超过 3 毫米，超过 3 毫米要加斜边过渡，斜边长度为板厚之差的 4 倍，焊接时应保证焊接工具（焊枪、喷嘴、保护罩等）能自由伸入焊接位。因为铝及铝合金

的表面张力较小，熔化金属在自重的作用下，容易下流，所以在许多情况下，必须在焊缝反面安装垫板。薄板焊接时一般不开坡口（手工 MIG 焊，板厚在 2~3mm 以内，自动焊接时在 4mm 以内），板厚在 4 毫米以上的焊接，坡口应大于 50 度，最好为 70 度。

2. 最小焊角的设计

轨道车辆由于需要承受很大的工作应力，焊缝受力加大，角焊缝最小为 3 毫米。对于受力强度不高的焊缝应与主要焊缝同样重视，通常不采用小于 3 毫米的角焊缝。

以上是结构设计中应该遵守的标准规定，大量的信息请查阅相应标准。

三、焊接结构标注标准化

1. 图样上焊缝符号标注

标准应符合 ISO 2553-1992 《熔焊、铜焊和钎焊接头——在图纸上的符号标注法》标准的要求，图 2-22 是焊缝标注示意。

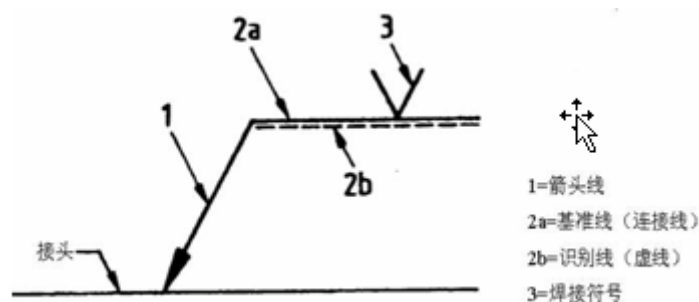


图 2-22 标注示意

—双基准线：一条连续线，一条虚线，在标对称焊缝时，只保留连续线，不画虚线。

—虚线画在连续线的上方或下方均可。而焊缝符号标在连续线上或标在虚线上是有区别的，当焊缝在指引线箭头处时，焊缝符号需标在连续线上，当焊缝在指引线的另一侧时，焊缝符号需标在虚线上。

2. 图样上必须按照 ISO15085-3 标准标注焊缝质量等级；

按照 ISO15085-3 《铁路车辆及焊接部件焊接设计》要求，焊缝质量等级分为 A\B\C1\C2\C3\D 6 个级别，根据焊缝重要程度，需要在焊缝上进行标注。

3. 图样上必须按照 ISO10042 标准标注焊缝检验标准；

4. 图样上必须按照 ISO13920 标准标注焊接公差

特殊要求的公差，要单独标注，形位公差尽量单独标注。

5. 图样上焊缝必须标注焊缝序号和焊缝长度；焊缝长度填写在焊缝基本符号右侧。

6. 焊缝序号

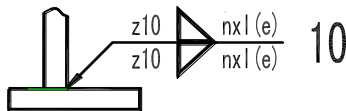
每条焊缝都必须编写焊缝序号，相同焊缝可编写一个序号但焊核直径、焊角高度、焊缝长度等不同，不能编写同样序号。焊缝序号应从明细栏材料明细中开始排列，便于 SAP 自动统计焊接重量。

7. 图样上必须有焊接工程师签字。

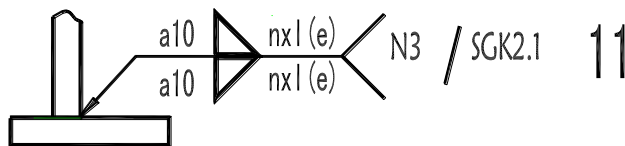
8. 标注示意

图 2-23 是几种情况下的标注示意：

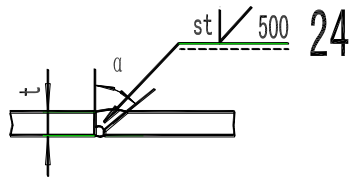
示例 1：



示例 2：



示例 3：



示例 4:

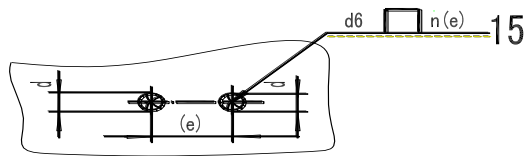


图 2-23 焊接标注示意

第四节 接头设计和接头准备

细致而充分的焊前准备,是实现铝及铝合金焊接成功的重要前提。无论用哪种焊接方法,焊前准备都是适用的。

由于铝及铝合金具有许多特殊的物理化学性能。因此对这些金属焊接结构的设计和生产有特殊的要求。其中主要的要求就是焊接接头的工艺性。对于铝及铝合金,其工艺性就是指保护焊接接头和焊缝反面免受空气作用的可能性及难易程度。焊接时,应保证焊接工具(焊枪、喷嘴、保护罩等)能自由伸入焊接位。在许多情况下,必须在焊缝反面安装垫板,因为铝及铝合金的表面张力较小,液态时在自重的作用下,容易下流。

焊接结构必须避免焊缝过分集中,在焊接时如有条件的话,尽可能采用机械化焊接。机械化焊接可使焊接接头在结构变形很小时,获得比较高的质量,而且还能改善劳动条件,避免焊工吸收过多有毒气体。

熔化焊焊接铝及铝合金,主要采用对接接头。虽然搭接和 T 形接头连接装配也比较简单,但焊接时保护比较困难,特别是保护焊缝反面更加困难。此外,搭接和 T 形连接接头的牢固性比对接接头差,特别是在脉动载荷下更加如此。铝及铝合金不适于采用角接接头。角接和搭接接头,电弧不易穿透焊缝根部,因此氧化膜常常残留在焊缝中。铝及铝合金焊接接头的强度常常低于母材,为了获得与母材等强度的对接接头,应增大焊缝区金属的厚度。为了防止产生冷裂纹,焊接结构必须避免产生应力集中的部位,否则应尽可能使焊缝远离应力集中

部位。在焊接不同厚度的工件时，应使厚件与薄件实现平滑过渡。随着铝及铝合金焊接新方法的不断出现，可设计的焊接接头范围大大扩大了。

铝及铝合金焊接前，需要按照设计要求准备好的接头。机械或水切割法均可用于铝材焊前的接头准备。正确的接头准备对于焊出高质量的焊缝非常重要，可使焊缝质量均匀而且经济。铝及铝合金很容易机械加工，在实际焊接准备中，常常使用剪、切、锯割、车削、铣削和仿形铣，具体采用哪种方法要根据设计要求和材料而定。关于坡口的准备工作，原则上同结构钢焊接时并无不同。薄板焊接时一般不开坡口（手弧焊时在板厚 2~3mm 以内，自动焊时在 4mm 以内），如果采用大功率焊接时，不开坡口而可熔透的厚度还可以增大。厚度小于 2mm 时，还可以采用卷边接头，主要的问题是考虑能充分去除氧化膜。厚板焊接时，为了保证熔透，需要适当开坡口，具体形式由焊件结构形式、板厚、焊接可达性、焊接方法及强度要求共同决定。