

铝及铝合金的焊接

[苏联] B. Л. 罗沙 著



上海科学技术出版社

鋁及鋁合金的焊接

〔苏联〕 B. J. 罗 沙 著
陈德儒 狄瑞棠 虞孟懿 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书先作鋁和鋁合金焊接的一般介紹,再分述电弧焊、气焊、接触焊、冷焊等各种方法,最后叙述质量檢查和修补缺陷。对于选择焊接方法、机具、工艺过程都有比較詳細的介紹。

鋁 及 鋁 合 金 的 焊 接

СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

原、著 者 (苏联) В. Л. Руссо

原出版者 Судпромгиз • 1956年版

譯 者 陈德儒 狄瑞棠 虞孟懿

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可証出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 4 20/32 字數 100,000

1960年7月第1版 1960年7月第1次印刷

印數 1—8,000

統一書号：15119 • 1534

定 价：(十二) 0.54 元

序

近几年来，在造船工业中各种輕合金的应用范围大大地扩大了。利用鋁及鋁合金制造的各种結構，除达到一般的节约目的外，还可以降低結構的重量。現代的技术发展水平有可能創制具有高机械性能的鋁基合金。已有一些合金，其强度可以与某些牌号的低碳鋼媲美。看来，在不久的将来将会創制出性能更好的輕合金。

因此，在制造某些造船結構时，輕合金逐漸代替了鋼。輕合金广泛地用于制造上层建筑、各种外罩、全船通风系統的管子及各式各样的仓面屬具。鋁合金成功地用作主要的船体材料，亦已有报导。

这样就要求我們必須掌握各种牌号鋁合金的焊接，并且要把它应用到生产中去，否則就不可能在造船工业中广泛地应用輕合金。各个造船厂在这方面的經驗往往是不全面的，通常限于一些应用一定牌号合金的个别結構，其适用条件是狹窄的。

現在，許多不同的工业部門都掌握了制造鋁合金結構的各种焊接方法。

但是，在这方面还没有一本綜合苏联和国外技术成就的文献。因此，各工厂在設計輕合金的結構、制定其制造工艺規程和选择最适宜的焊接方法时，經常感到困难。了解已有的焊接鋁合金方法以及应用方面的特点和困难性，可以帮助我們正确地选择結構用材料和获得工艺性最好的焊接接头。

利用已經积累的經驗和創造性地去掌握現有焊接鋁合金的方法，可以擴大鋁合金在設計和製造造船結構方面的使用範圍。同時必須考慮到，如果沒有自動化焊接要在這方面發展是不可想象的。

本書試圖搜集和綜合蘇聯和部分國外工業對於這問題的經驗。書中還敘述了作者親自參加的某些研究工作的結果，例如研究 Д16АМ 和 АМГ 合金的可焊性。

作者以感謝的心情接受各方面的意見。

目 录

序

第一章 鋁及鋁合金	1
1. 鋁及其性能	1
2. 鋁合金	7
3. 鋁及鋁合金的应用范围	16
4. 鋁及鋁合金焊接上的一般問題	23
5. 焊接接头中的裂縫及其产生的原因	36
6. 鋁合金焊接时气孔的形成	43
第二章 电弧焊	46
1. 貝納尔多斯法(用碳极)焊接	46
2. 斯拉維揚諾夫法焊接(金属电极)	62
3. 焊接时采用的夹具	82
第三章 在惰性介質中的电弧焊	85
1. 手工焊	85
2. 机械化焊接	94
3. 鋁合金的电弧切割	98
第四章 气焊	98
1. 概論	98
2. 鋁合金的气焊特点	100
3. 用瓦斯焰钎焊	107
第五章 接触焊	111
1. 鋁合金点焊和縫焊的特点	111
2. 焊接接头(焊接前的准备)	115
3. 焊接规范	121

第六章 冷焊(加壓焊接).....	128
第七章 焊接接頭質量的檢驗和缺陷的修正方法.....	133
1. 焊接接頭的主要缺陷.....	133
2. 檢驗接頭質量和修正缺陷的方法.....	136
参考文献.....	140

第一章 鋁及鋁合金

1. 鋁及其性能

鋁是地球上分布最广的金属之一。地壳内的含铁量若为4.2%，含鋁量则占7.45%。在自然界中遇见的鋁，都是与其他元素结合的各种化合物。其中分布最广的是：冰晶石 $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$ 、鋁矾土 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、高岭石等。在1827年，以金属钾作用于氯化鋁而第一次获得了純鋁。后来就从熔融的复式盐 $\text{AlCl}_3 \cdot \text{NaCl}$ 中用金属钠使鋁析出的方法来提炼鋁。运用这种方法获得的鋁很昂贵，因而曾被认为是一种稀有金属。

在鋁的电解法发明以后，炼出的鋁才迅速增加。现在，大量的鋁系用电解熔融氧化铝的方法而获得的。电解鋁用的设备简图如图1所示。该设备是一个内部铺砌石墨或压制碳板

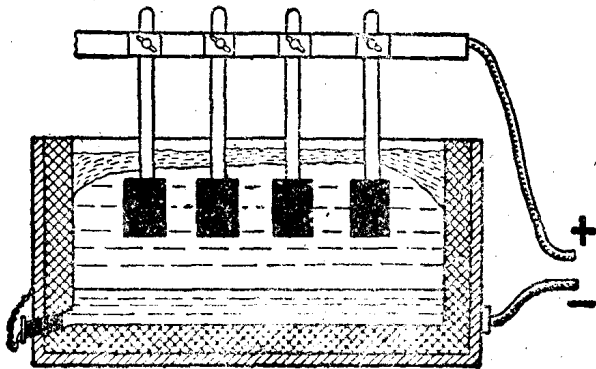


图1 电解鋁的设备示意图

的鋼槽。槽底作为阴极；阳极则是用一个支架联结的几块炭板。槽内装入煅烧和清理天然铝矾土而得的氧化铝与冰晶石的混合物。必须加进冰晶石，是因为纯氧化铝很难熔化。当接通电流时，冰晶石即熔化，氧化铝溶解在其中，并承受电解。此过程在温度约 1000°C 和电流强度约 20000 安培的条件下进行。

析出的纯铝聚集在槽底上，定时从底部取出。视铝析出的程度，向熔融物中加入新的氧化铝。

铝的性能 铝为银白色的轻金属，比重 2.7，熔点 658°C 。铝的导热和导电率良好。对于电流的电阻为 $4 \cdot 10^{-4}$ 欧姆/厘米。铝的导电率仅次于金、银、铜而居第四位。铝大约比铁轻 $2/3$ ，加之铝还具有其他优良的性能，因而就能在工业中广泛应用。

纯铝机械性能的特点是强度较低而塑性高。经碾压和退火的铝的机械性能如下^[1]：强度极限 σ_b ——7.5~10 公斤/平方毫米；屈服点 σ_s ——3 公斤/平方毫米；硬度 H_B ——25；延伸率 δ ——35%；相对收缩率 ψ ——80%。

由于纯铝的强度不高，所以在承受强大外部载荷的结构中应用受到了限制。但是，铝亦象其他一些塑性金属一样，可以用冷作硬化法大大提高它的强度性能。

冷作硬化过程如下：将铝在冷状态下进行碾压，在碾压机碾压的压力作用下产生塑性变形。此时金属最初的晶体结构被破坏，而产生滑移使晶粒碎化。在这样的金属中，由于晶粒间的内摩擦大，故而继续滑移困难。冷作硬化的结果金属就被强化。冷作硬化铝的机械性能如图 2 所示。由图中可以看出金属的强度和塑性的变化与变形的关系。

为了恢复金属的结晶组织和消除因冷作硬化而引起的变

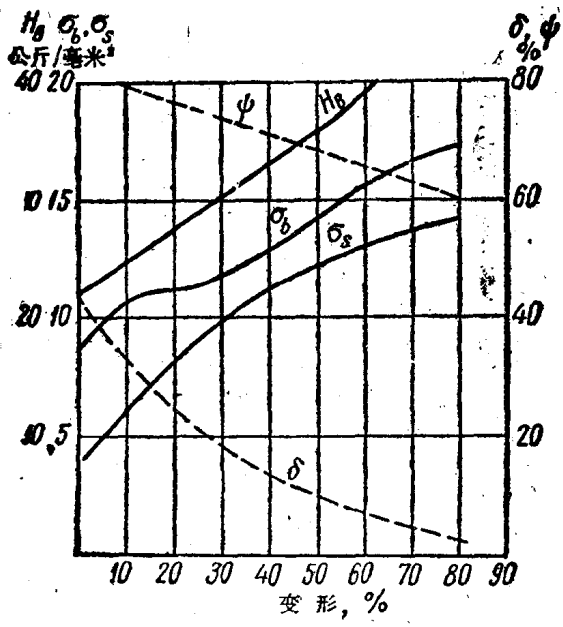


图 2 铝的机械性能与冷作硬化程度的关系

化,通常加热至 300°C 即可。此时发生称为再结晶的过程。

金属再结晶后,其组织是由更均匀的晶粒组成,晶粒的排列与冷作硬化前不同。

铝具有高的热容量与熔化潜热,故在熔化时所需要的热量消耗比铜要多。

在空气中铝被一薄层致密的 Al₂O₃ 薄膜复盖着。这层薄膜能防止酸类进一步腐蚀金属。同时金属愈纯,即金属中所含的各种杂质愈少,则形成保护膜的能力愈显著。

在铝中即使含有极少量的杂质(铁、硅及其他金属),也可提高铝的强度,但同时亦降低它的塑性、抗腐蚀性及其他性能。

各种牌号的铝（按ГОСТ 3549-47）的化学成分载于表1。由该表可看出，铝中含有不同数量的杂质。按照现在生产铝的冶金工艺，这些杂质是不可避免的。铝中最常见的杂质是Fe、Si和Cu。

表 1 各种牌号铝的化学成分

牌 号	铝 (不少于)	杂质% (不多于)				
		铁	硅	铁+硅	铜	其他杂质的总数
AB1	99.9	0.06	0.06	0.09	0.005	0.1
AB2	99.85	0.1	0.08	0.142	0.008	0.15
A00	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	0.3
A0	99.6	0.25	0.2	0.36	0.01	0.4
A1	99.5	0.3	0.3	0.45	0.015	0.5
A2	99.0	0.5	0.5	0.9	0.02	1.0
A3	98.0	1.1	1.0	1.8	0.03	2.0

各种牌号铝的用途，随其所含杂质的百分含量而定。例如，AB1和AB2号铝用于制造化学工业上的器械及无线电工业上的电解质电容器。A0、A1和A2号铝在电气工程上用于制造导电零件及导线等。

铁实际上不溶解于铝，当铝中的含铁量很低时，形成 $Al+Al_3Fe$ 共晶体。所谓共晶体，乃是两种或两种以上晶体的机械混合物，这些晶体是当合金凝固时由液体合金中差不多同时析出的。这个字是由希腊语翻译过来的，含义是“良好的混合”。铁铝共晶体仅含铁1.7%（或7% Al_3Fe ），这由图3所列的铝铁平衡图的一部分可以看出。由于普通牌号铝中的含铁量低，所以不能在金相分析时发现典型的共晶体组织。有时暗色的铝铁夹杂物 Al_3Fe 分布在铝晶粒的边界上，如图4所示。

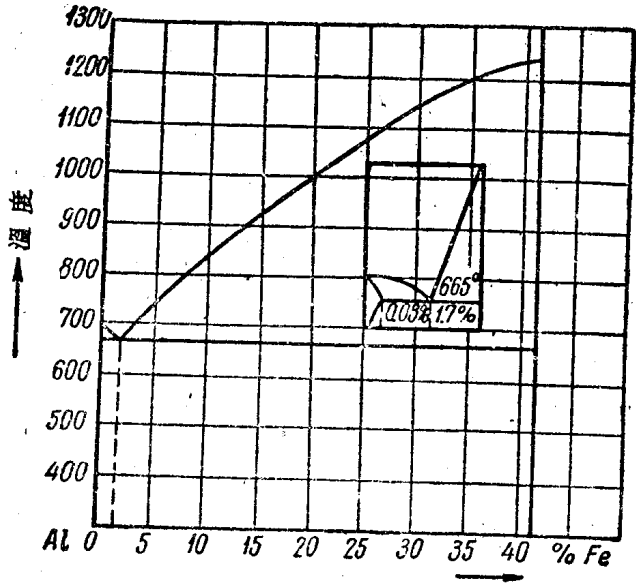


图 3 铝-铁平衡图的一部分

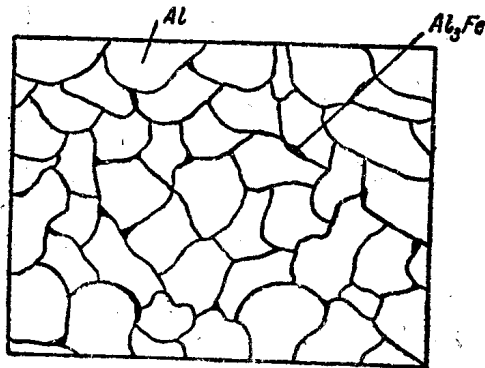


图 4 铝铁夹杂物分布在铝组织上的示意图

硅几乎不溶解于铝(图5), 以夹杂物的形式在組織中与含铁夹杂物交錯分布。鋁中所含的硅和铁夹杂物愈多, 則鋁就愈脆。

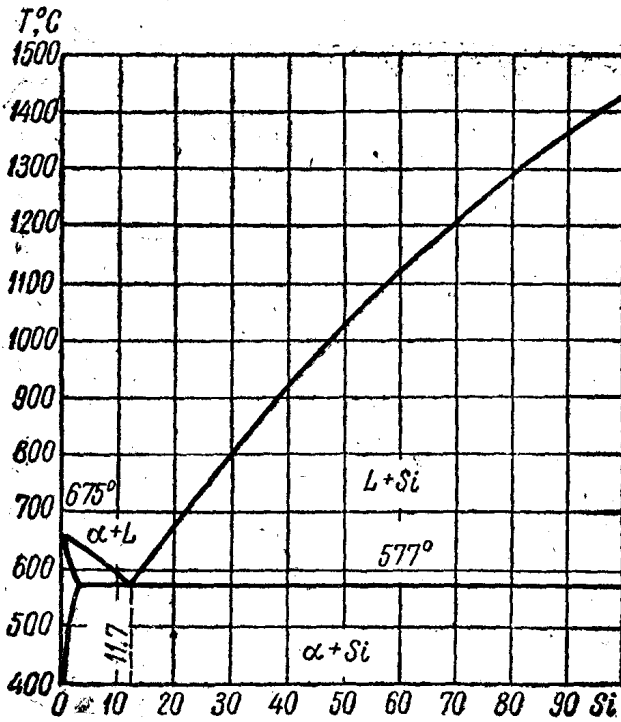


图5 鋁-硅平衡图

当鋁退火时, 分散在組織中的細小硅夹杂物和其他杂质就結合成尺寸稍大的球形部分, 它們分布在晶粒边界上, 恢复了滑移面, 因而使金属的塑性和韧性提高。所以不同的退火温度对金属强度和塑性变化的影响也不同。含有各种杂质的鋁, 其組織較純鋁具有更細的晶粒。

2. 鋁 合 金

向鋁中加入各種不同數量的元素，例如銅、硅、錳、鐵和鉻，可以獲得性能各異的合金。

某些合金就其機械強度來講並不次于某些牌號的低碳鋼。除此而外，差不多所有合金都保持着鋁的良好性能——比重小。因此鋁合金在工業上廣泛用作結構材料。

所有鋁合金可分為兩大類：

第一類 熱處理不能強化的合金，屬於這類的通常包括 AMn (Al-Mn) 和 AMg (Al-Mg) 型的二元合金。它們的特点是強度低或具有中等強度、塑性好、抗腐蝕性高。這類合金的焊接接頭的性​​能通常與被焊接的材料的性能相近。

第二類 熱處理能強化的合金。這類合金，按其性能又可分為三組：

第一組 AB 型的阿維鋁合金 (Al-Mg-Si)。這組合金在自然時效狀態下具有很好的抗蝕性。人工時效後的抗腐蝕性降低，但超過硬鋁型合金的抗蝕性。

第二組 廣泛採用的硬鋁型合金。這組合金具有各種不同的性能，根據這些性能又可將它劃分為三小類：

- 1) 具有良好塑性和緩慢自然時效的硬鋁 (Д18、Д3II)；
- 2) 中等強度的硬鋁 (Д1)；
- 3) 高強度的硬鋁 (Д16、Д17)。

第三組 高強度合金。這類合金中 B95 合金獲得了實際應用 (美國類似成分的合金的牌號為 75S)。以 Al-Cu-Mg-Zn 為基的這種合金，含銅 1.4~2.0%，鎂 1.8~2.8%，錳 0.2~0.6%，鋅 5.0~7.0%，鉻 0.1~0.25% 以及硅和鐵雜質各 $\leq 0.5\%$ 。用這種合金製的板材通常包復純鋁後供應，

但也有不包鋁的板材。

淬火后(淬火规范是加热到 470°C ，然后在水中冷却)于温度 $120\sim 140^{\circ}\text{C}$ 下进行人工时效。经过这样的热处理之后，未包鋁的 B95 合金具有以下性能： $\sigma_b=65$ 公斤/平方毫米； $\sigma_s=60$ 公斤/平方毫米； $\delta=8\%$ ； $H_B=170$ 。

板材的机械性能随板材的厚度而变化，但是从同一厚度板材的任何方向切割下来的试样，其机械性能应相同。

厚度在 10 毫米以下的 B95 合金板材，在退火状态下的 $\sigma_b\leq 25$ 公斤/平方毫米， $\delta=10\%$ 。

合金在人工时效状态的屈服点大于 $2/3 \sigma_b$ 。因而合金能很好地承受压缩。

鑄造合金和专门用途的合金组成单独一组。最普通的鑄造合金是 Al-Si 基的；硅鋁明合金是其中最典型的一种，它具有很好的鑄造性能，故广泛地应用于造船工业中。

对于应该具有高抗蚀性的特形鑄件，必须采用含镁、硅和锰的 Al13 型合金。

专用合金能很好地接受锻压和模压。AK5 合金 (Al-Mg-Cu-Si 系) 具有高的机械性能，在热态下具有良好的塑性。这种合金在正常温度下具有以下性能： $\sigma_b=30$ 公斤/平方毫米； $\delta=12\%$ 和 $H_B=85$ 。此合金有时在造船工业中用来制造螺旋推进器。

工作时受高温 ($200\sim 350^{\circ}\text{C}$) 作用的零件，通常由 AK2 型耐热鋁合金制造。

目前在苏联造船工业中，AM Π 和 AM Γ 型形变合金、硬鋁型的热处理强化合金以及硅鋁明型鑄造合金获得了广泛的使用。

鋁錳合金 合金的物理性能如下：在 20°C 时的比重为

2.73 克/立方厘米；由 20°C 加热到 100°C 时的线膨胀系数为 $24 \cdot 10^{-6}$ ；传热系数为 0.4 卡/平方厘米·秒·°C；导电系数与铜之比为 41~50%。

合金的化学成分载于表 2。虽然锰的溶解度在各种温度下不同，但合金的热处理强化度极小；因此冷作硬化是唯一的强化方法。

合金的组织(在 Fe 和 Si 的含量最小时)是由贫锰的 α 固溶体与 $MnAl_6$ 相组成。

铁是一种有害的杂质。以 $FeAl_3$ 形式存在的铁能溶解于 $MnAl_6$ 中而形成粗晶相，此时所获得的化合物 $[(FeMn)Al_6]$ 沿晶粒边界析出，从而剧烈地降低合金在热变形和冷变形时的强度与塑性。在这种情况下，硅是有益的，因为它与铁结合成易于变形的 $\alpha(AlFeSi)$ 及 $FeSiAl_3$ 相。这些相均匀分布在组织各部分，结果就不会那样剧烈地影响合金的强度性能。

合金的机械性能载于表 2 内。这种合金在具有良好的强度和塑性的同时，还有着很好的抗腐蚀性。

铝镁合金 (AMr) 这种合金具有以下物理性能：比重为 2.65 克/立方厘米；线膨胀系数为 $23 \cdot 10^{-6}$ ；导热系数为 0.28 卡/厘米·秒·°C；导电率与铜之比为 17%。

这种合金是单相的，不能用热处理方法强化。所有 Al-Mg 合金都是均匀的固溶体，在退火时这种固溶体有形成粗晶粒的倾向。向合金成分中加进锰、铬和其他元素，能提高强度，减少形成粗晶粒的倾向，而塑性略为降低。加入达 0.1% 的钛更能促使合金获得细晶粒组织。如果合金中的铁和硅的含量同时增加，则合金的性能变坏。但是加入 0.5~0.8% 的硅，对合金的可焊性会产生有利的影响。由于这个原因，AMr 3 合金中加有硅。硅同镁一起加入就形成固溶体，这样就增

表 2 鋁合金的化學成分及機械性能

合金 類型	合金 牌號	供 應 狀 態	化 學 成 分 %							平均抗 拉強度 的公斤 /毫米 ²	平均 相對 延伸 率%
			Cu	Mn	Mg	Si	Fe	Zn	其 余 雜 質		
硬 鋁	Д17М	退 火	3.4~4.5	0.4~0.8	0.4~0.8	不 大 于 1.0	不 大 于 1.0	不 大 于 0.8	不 大 于 0.1	22	12
	Д17	軋 壓 後							0.1	33	18
	Д17Т	淬 火								34	13
	Д16	軋 壓 後	3.6~4.7	0.3~0.9	1.25~1.75	不 大 于 0.8	不 大 于 0.8	不 大 于 0.3	0.1	36	6
	Д16Т	火 化								47	17
	Д16М	退 火								21	11
鋁 錳 合 金	АМцП	半 冷 作 化	不 大 于 0.2	1.0~1.6	不 大 于 0.05	不 大 于 1.0	不 大 于 1.0	—	0.1	18.0	6
	АМцМ	退 火								12.5	19
鋁 鎂 合 金	АМгМ	退 火	不 大 于 0.1	0.15~0.4	2.0~2.8	不 大 于 0.5	不 大 于 0.5	—	0.1	20	23
	АМгП	半 冷 作 化		減 錳						24	4
硅 鋁 明	Аг8	調 質	—	—	—	14~10	0.08以下	—	—	17/22	3/12
鋅 鋁 合 金	ЦС1	大 型 鑄 件	0.5 以下	0.3 以下	0.2 以下	6~8	0.6 以下	12~14	—	22/30	2/5
	ЦС2	小 型 鑄 件	1.5 以下	0.5 以下	0.25 以下	5~7	1.0 以下	8~11	—	20/23	1/3