



AN JIE

铝及铝合金 焊接指南

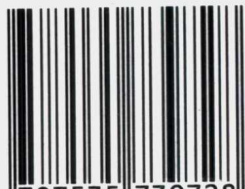
主编 / 黄旺福 黄金刚





责任编辑/徐为 缪峥嵘 赵龙
装帧设计/刘 谊

ISBN 7-5357-3972-5



9 787535 739728 >
TG·16 定价: 22.00 元

第一章 铝及铝合金焊接基础知识

第一节 概 述

虽然用焊接来连接铝及铝合金产品，仅仅只有五六十年的历史，但是在这短短的几十年时间里，已经发展了完善的铝及铝合金焊接工艺技术。焊接技术的发展使可焊接铝及铝合金材料的范围扩大了。现在不仅掌握了热处理不可强化的铝及铝合金的焊接技术，而且已经解决了热处理强化的高强度硬铝合金焊接时的各种难题，且适用于铝及铝合金的焊接方法增多了。现在除了传统的熔焊、电阻焊、钎焊之外，脉冲氩（氦）弧焊、极性参数不对称的方波交流钨极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊、真空及气保护钎焊以及扩散焊等都可以很容易地将铝及铝合金焊接在一起。在大多数情况下，使用焊接其他材料所用的普通设备和工艺，就可以将铝及铝合金进行焊接，有时也需要特殊的设备和工艺。

铝的一般特性：

铝及铝合金具有独特的物理化学性能。它的外观呈银白色，密度小，电阻率小，线胀系数大和导热系数大。表 1-1 为铝及铝合金的物理性能，列出低碳钢相应数据，以资比较。由于铝为

面心立方结构，无同素异构转变，无“延—脆”转变，因而具有优异的低温韧性，在低温下能保持良好的力学性能。此外，铝及铝合金还具有优异的耐腐蚀性能和较高的比强度（强度/密度），对热和光都有良好的反射率。磨削时无火花和无磁性。

表 1-1 铝及铝合金物理性能

合金	密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	比热容 ($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{k})^{-1}$) (100℃)	导热系数 ($\text{W}(\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$) (25℃)	线膨胀系数 ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) (20℃~100℃)	电阻率 ($10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$) (20℃)
纯铝	2.698	900	221.9	23.6	2.665
LF21	2.73	1009	180.0	23.2	3.45
LF3	2.67	880	146.5	23.5	4.96
LF6	2.64	921	117.2	23.7	6.73
LY12	2.78	921	117.2	22.7	5.79
LY16	2.84	880	138.2	22.6	6.1
LD2	2.70	795	175.8	23.5	3.70
LD10	2.80	836	159.1	22.5	4.3
LC4	2.85	—	159.1	23.1	4.2
低碳钢	7.86	496	59.0	13.0	13.0

铝及铝合金很容易加工成形，它可用铸造、轧制、冲压、拔丝、施压、拉形和滚轧等各种办法制成各式各样的制品。它也能用锤击、锻打和挤压的方法制成形状各异的制品。铝及铝合金容易机械加工，且加工速度快，这也是大量使用铝零件的重要因素之一。铝的机械性能，电化学性能，化学或油漆涂饰的变化范围也较宽。

纯铝的熔点为 660℃。而铝合金，随着其含的合金元素的不同，它的熔点在 482℃~660℃ 之间变化。铝及铝合金从常温加热到熔化状态时，没有颜色的变化，这就给怎样判断是否接近熔点变得十分困难。

铝及铝合金的机械性能随其纯度而变化，纯度越高，强度越

低，塑性越高。如工业纯铝热轧板的抗拉强度最低值在 70～110MPa 之间，工业高纯铝的抗拉强度只有 50MPa，而铝镁合金的抗拉强度则在 170MPa 以上。铝及铝合金的另一特点是，随着温度的升高，其抗拉强度降低；温度降低，则抗拉强度就增高，延伸率随之增加。

和钢相比，铝的导热率高，熔焊时，就需要高的热量输入。对大型截面焊接时，需要进行预热。当使用电阻焊时，和焊钢件相比，因铝具有高的导电率，所以需要较大的电流和较短的焊接时间以精确地控制焊接参数。由于铝是无磁性的，当用直流电焊接时，电弧不会有偏吹。因此，它可以用作焊接挡板和夹具。

铝及铝合金，暴露在空气中时，会很快形成一种黏着力强且耐热的 Al_2O_3 氧化薄膜。在焊接前，必须仔细清除这层氧化膜，才能在熔焊时，基体和填充金属熔合良好；在钎焊时，钎料有很好的流动性。氧化膜可用溶剂去除，也可在惰性气氛下，由焊接电弧的作用去除，或者用机械的或化学的方法去除。

氧化膜的存在对铝及铝合金也有保护作用的一面。因为它的组织比较致密，与铝的结合力很强，能够阻止铝金属继续氧化，保护金属不受破坏。并且铝的纯度越高，对抗腐蚀越有利。因为杂质的存在，除了影响氧化膜与金属结合力外，还可能导致其他形式的腐蚀。根据氧化膜的这一特点，对于能促进氧化膜的生成，且不与它起作用的介质，如硝酸、醋酸等，就常以铝作为储存容器，而对薄膜起破坏作用的介质，如盐酸、碱类和食盐等，因能迅速破坏氧化膜，使铝受到腐蚀，是铝的强烈腐蚀剂，因此此类介质的储存就不能用铝作为容器。

虽然在铝及铝合金的焊接过程中会遇到诸多困难因素，但是和其他材料如铜相比，铝及铝合金又具有某些无可比拟的优势。所以在航空、航天、汽车、机械制造、电子、化工、轻工、铁道等方面，铝及铝合金焊接产品都日益获得了广泛的应用，我国地大物博，铝资源十分丰富，并且开发利用的成本较低，铝及铝合金焊接在我国非常有发展前途。

第二节 铝及铝合金的分类及性能、用途

铝及铝合金具有良好的耐蚀性，较高的比强度、导电性和导热性，故在工业中应用广泛。纯铝抗拉强度不高，但塑性好，若所含 Fe、Si 等杂质增加，塑性及耐蚀性降低。在纯铝中加入 Cu、Mg、Mn、Si、Zn、V、Cr 等合金元素后，便形成了铝合金，其物理性能和机械性能可在一个广阔的范围内变化。

根据铝合金的化学成分和制造工艺，可分成变形铝合金和铸造铝合金两大类。图 1-1 为铝合金的二元系状态图，图中最大饱和溶解度 n 是这两类合金成分的分界线。 n 点以右的合金称为铸造铝合金，这类合金中存在着共晶组织，流动性较好，因此适宜于铸造。 n 点以左的合金称为变形铝合金，当合金加热到固溶线 $m-n$ 以上时，可以获得均匀的单相固溶体组织，这种组织的变形能力较好，适于锻造及压延。

变形铝及铝合金按强化方式可分为热处理强化铝及铝合金和非热处理强化铝及铝合金。成分在 m 点以左的合金，其固溶体成分不随温度而变，属于非热处理强化型铝合金。在我国国家标准规定的铝及铝合金中，纯铝及防锈铝不能通过热处理使之强化，属非热处理强化铝及铝合金，而只能用冷作变形强化，焊接性好，并具有良好的耐振性和耐腐蚀性。成分在 m 、 n 之间的铝合金，其固溶体的成分随温度而变，属热处理强化型铝合金，主要包括硬

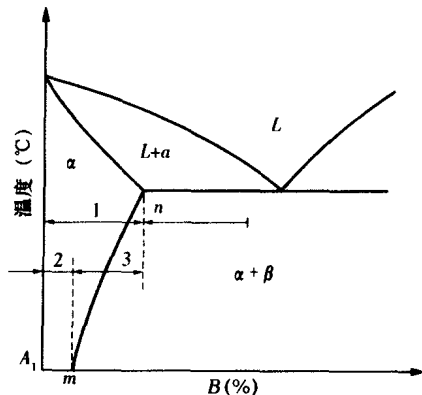


图 1-1 铝合金的二元系状态图

- 1—变形铝合金
- 2—非热处理强化铝合金
- 3—热处理强化铝合金
- 4—铸造铝合金

铝、锻铝和超硬铝，这类合金均可通过热处理（淬火+回火时效）使之强化，其特点是抗拉强度明显提高，但焊接性变差，焊接裂纹倾向较大，焊接接头的力学性能严重下降。

铝及铝合金的分类见图 1-2。

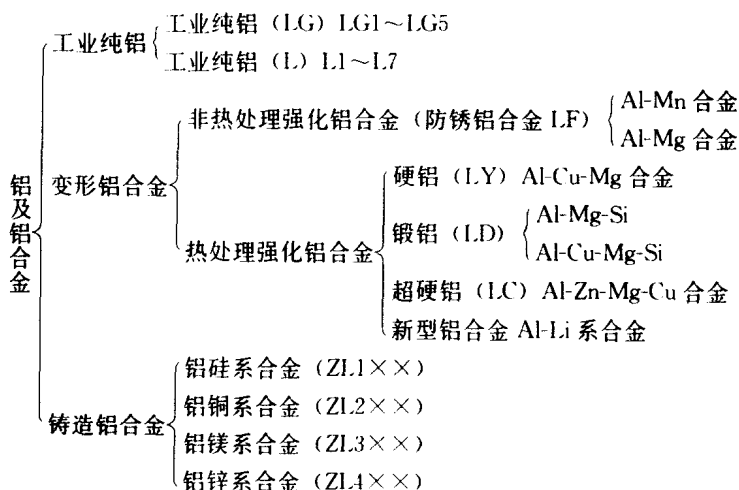


图 1-2 铝及铝合金的分类

一、变形铝及铝合金

变形铝及铝合金的牌号及性能：

国家标准 GB/T3190—1996《变形铝及铝合金化学成分》中所规定的变形铝及铝合金的牌号表示方法见表 1-2。表 1-3 为国产变形铝及铝合金的牌号及化学成分，其新旧牌号对照和中外牌号对照见表 1-4 和表 1-5。

纯铝的纯度很高，工业用纯铝可达 99.9%，一般工业纯铝为 98%~99.7%。高纯铝 (LG1~LG5) 主要用于科学研究，化学工业及其他特殊用途。工业纯铝 (L1~L7) 主要用于铝合金、电线、电缆和日用器皿的制造。纯铝的主要杂质是 Fe 和 Si，是在冶炼时由矿石遗留下来的。增加 Fe 和 Si，虽能提高强度，但却能降低塑性、导电性、抗蚀性和破坏氧化膜。

表 1-2 变形铝及铝合金的牌号表示方法 (GB/T16474—1996)

组 别	牌号系列
纯铝 (铝的质量分数不小于 99.00%)	1×××
以铜为主要合金元素的铝合金	2×××
以锰为主要合金元素的铝合金	3×××
以硅为主要合金元素的铝合金	4×××
以镁为主要合金元素的铝合金	5×××
以镁和硅为主要合金元素的铝合金, 并以 Mg_2Si 相为强化相的铝合金	6×××
以锌为主要合金元素的铝合金	7×××
以其他合金元素为主要合金元素的铝合金	8×××
备用合金组	9×××

注: ①牌号的第 一位数字表示铝及铝合金的级别。

②牌号的第 二位数字表示原始纯铝或铝合金的改型情况, 如字母是 A, 则表示为原始纯铝或铝合金, 如果是 B-Y 的其他字母, 则表示已改型。

③牌号的最后两位数字用以标志同一组中不同的铝合金或表示铝的纯度。

纯铝强度很低 (表 1-6), 不适于做结构材料。退火的铝板抗拉强度为 60~100MPa, 延伸率为 35%~40%, 如果对纯铝进行 60%~80% 的冷变形, 抗拉强度虽然提高很多, 但延伸率却降低到 1%~1.5%, 已开始变脆。

铝锰和铝镁合金属于防锈铝合金, 不能热处理强化, 但强度比纯铝高, 并有优秀的抗蚀性和焊接性能, 故得名。

国产工业用铝锰合金中, 运用最广泛的一种牌号为 LF21, 其锰含量为 1.0%~1.6%, 锰含量大于 1.6% 时, 会形成大量的脆性化合物, 从而降低合金的力学性能。在实际中, 锰的加入量应控制在 1.0%~1.2% 之间。铝锰合金有高于纯铝的强度, 又有高的塑性、抗蚀性和优秀的可焊性, 多以退火、半硬化和硬化状态使用。又因铝锰合金有优秀的压力加工性能, 可以管、板和型材形式应用于油箱、油管等焊接用品方面。国外还大量应用于饮料罐、炊事用具 (器皿) 和建筑用屋面板等。

表 1-3 变形铝及铝合金的化学成分 (GB T3190 1996)

序号	牌号	化学成分 (%) ¹⁾					
		铝	硅	铁	铜	锰	镁
1	1A99	99.99	0.003	0.003	0.005	--	--
2	1A97	99.97	0.015	0.015	0.015	--	--
3	1A95	99.95	0.030	0.030	0.010	--	--
4	1A93	99.93	0.040	0.040	0.010	--	--
5	1A90	99.90	0.060	0.060	0.010	--	--
6	1A85	99.85	0.08	0.10	0.01	--	--
7	1080	99.80	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02
8	1080A	99.80	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02
9	1070	99.70	0.20	0.25	0.01	0.03	0.03
10	1070A	99.70	0.20	0.25	0.03	0.03	0.03
11	1370	99.70	0.10	0.25	0.02	0.01	0.02

序号	化学成分 (%)								
	铬	锌	钙	钒	钛	钒+钛	硼	其他	
								单个	合计
1								0.002	--
2								0.005	--
3								0.005	--
4								0.007	--
5								0.01	--
6								0.01	--
7		0.03	0.03	0.05	0.03			0.02	--
8		0.06	0.03		0.02			0.02	--
9		0.04		0.05	0.03			0.03	--
10		0.07			0.03			0.03	--
11	0.01	0.04	0.03			0.02	0.02	0.02	--

续表 1

序号	牌号	化学成分 (%) ^①				
		铝	硅	铁	硅+铁	铜
12	1060	99.60	0.25	0.35	—	0.05
13	1050	99.50	0.25	0.40	—	0.05
14	1050A	99.50	0.25	0.40	—	0.05
15	1A50	99.50	0.30	0.30	0.45	0.01
16	1350	99.50	0.10	0.40	—	0.05
17	1145	99.45	—	—	0.55	0.05
18	1035	99.35	0.35	0.6	—	0.10
19	1A30	99.30	0.10~0.20	0.15~0.30	—	0.05
20	1100	99.00	—	—	0.95	0.05~0.20
21	1200	99.00	—	—	1.00	0.03
22	1235	99.35	—	—	0.65	0.05

序号	化学成分 (%)										其他	
	锰	镁	铬	镍	锌	钒	钛	钒+钛	硼	钙	单个	合计
	12	0.03	0.03	—	—	0.05	0.05	0.03	—	—		
13	0.05	0.05	—	—	0.05	0.05	0.03	—	—	—	0.03	—
14	0.05	0.05	—	—	0.07	—	0.05	—	—	—	0.03	—
15	0.05	0.05	—	—	0.03	—	—	—	—	—	0.03	—
16	0.01	—	0.01	—	0.05	—	—	0.02	0.05	0.03	0.03	0.10
17	0.05	0.05	—	—	0.05	0.05	0.03	—	—	—	0.03	—
18	0.05	0.05	—	—	0.10	0.05	0.03	—	—	—	0.03	—
19	0.01	0.01	—	0.01	0.02	—	0.02	—	—	—	0.03	—
20	0.05	—	—	—	0.10	—	—	—	铍	0.0008 ²	0.05	0.15
21	0.05	—	—	—	0.10	—	0.05	—	—	—	0.05	0.15
22	0.05	0.05	—	—	0.10	0.05	0.06	—	—	—	0.03	—

续表 2

序号	牌号	化学成分 (%)				
		硅	铁	铜	锰	镁
23	2A01	0.50	0.50	2.2~3.0	0.20	0.20~0.50
24	2A02	0.30	0.30	2.6~3.2	0.45~0.7	2.0~2.4
25	2A04	0.30	0.30	3.2~3.7	0.50~0.8	2.1~2.6
26	2A06	0.50	0.50	3.8~4.3	0.50~1.0	1.7~2.3
27	2A10	0.25	0.20	3.9~4.5	0.30~0.50	0.15~0.30
28	2A11	0.7	0.7	3.8~4.8	0.40~0.8	0.40~0.8
29	2B11	0.50	0.50	3.8~4.5	0.40~0.8	0.40~0.8
30	2A12	0.50	0.50	3.8~4.9	0.30~0.9	1.2~1.8
31	2B12	0.50	0.50	3.8~4.5	0.30~0.7	1.2~1.6
32	2A13	0.7	0.6	4.0~5.0		0.30~0.50
33	2A14	0.6~1.2	0.7	3.9~4.8	0.40~1.0	0.40~0.8

序号	化学成分 (%)							
	镍	铁+镍	锌	钛	铍	其他		铝
						单个	合计	
23			0.10	0.15		0.05	0.10	余量
24			0.10	0.15		0.05	0.10	余量
25			0.10	0.05~0.40	0.001~0.01	0.05	0.10	余量
26			0.10	0.03~0.15	0.001~0.005	0.05	0.10	余量
27			0.10	0.15		0.05	0.10	余量
28	0.10	0.7	0.30	0.15		0.05	0.10	余量
29			0.10	0.15		0.05	0.10	余量
30	0.10	0.50	0.30	0.15		0.05	0.10	余量
31			0.10	0.15		0.05	0.10	余量
32			0.6	0.15		0.05	0.10	余量
33	0.10		0.30	0.15		0.05	0.10	余量

续表 3

序号	牌号	化学成分 (%) (余量为铝) ¹				
		硅	铁	铜	锰	锌
34	2A16	0.30	0.30	6.0~7.0	0.40~0.8	0.10
35	2B16	0.25	0.30	5.8~6.8	0.20~0.40	—
36	2A17	0.30	0.30	6.0~7.0	0.40~0.8	0.10
37	2A20	0.20	0.30	5.8~6.8	—	0.10
38	2A21	0.20	0.20~0.6	3.0~4.0	0.05	0.20
39	2A25	0.06	0.06	3.6~4.2	0.50~0.7	—
40	2A49	0.25	0.8~1.2	3.2~3.8	0.30~0.6	—
41	2A50	0.7~1.2	0.7	1.8~2.6	0.40~0.8	0.30
42	2B50	0.7~1.2	0.7	1.8~2.6	0.40~0.8	0.30
43	2A70	0.35	0.9~1.5	1.9~2.5	0.20	0.30
44	2B70	0.25	0.9~1.4	1.8~2.7	0.20	0.15

序号	化学成分 (%)					
	镁	镍	钛	锆	其他	
					单个	合计
34	0.05	—	0.10~0.20	0.20	0.05	0.10
35	0.05	—	0.08~0.20	0.10~0.25	0.05	0.10
	钒 0.05~0.15					
36	0.25~0.45	—	0.10~0.20	—	0.05	0.10
37	0.02	—	0.07~0.16	0.10~0.25	0.05	0.1
	钒 0.05~0.15		硼 0.001~0.01			
38	0.8~1.2	1.8~2.3	0.05	—	0.05	0.15
39	1.0~1.5	0.06	—	—	0.05	0.10
40	1.8~2.2	0.8~1.2	0.08~0.12	—	0.05	0.15
41	0.40~0.8	0.10	0.15	铁+镍 0.7	0.05	0.10
42	0.40~0.8	0.10	0.02~0.10	铁+镍 0.7	0.05	0.10
	铬 0.01~0.20					
43	1.4~1.8	0.9~1.5	0.02~0.10	—	0.05	0.10
44	1.2~1.8	0.8~1.4	0.10	钛+锆 0.20	0.05	0.15
	铅 0.05	锡 0.05				

续表 1

序号	牌号	化学成分 (%)				
		硅	铁	铜	锰	镁
45	2A80	0.50~1.2	1.0~1.6	1.9~2.5	0.20	1.1~1.8
46	2A90	0.50~1.0	0.50~1.0	3.5~4.5	0.20	0.40~0.8
47	2004	0.20	0.20	5.5~6.5	0.10	0.50
48	2011	0.40	0.7	5.0~6.0	铋 0.20~0.6	
49	2014	0.50~1.2	0.7	3.9~5.0	0.40~1.2	0.20~0.8
50	2014A	0.50~0.9	0.50	3.9~5.0	0.40~1.2	0.20~0.8
51	2214	0.50~1.2	0.30	3.9~5.0	0.40~1.2	0.20~0.8
52	2017	0.20~0.8	0.7	3.5~4.5	0.40~1.0	0.40~0.8
53	2017A	0.20~0.8	0.7	3.5~4.5	0.40~1.0	0.40~1.0
54	2117	0.8	0.7	2.2~3.0	0.20	0.20~0.50
55	2218	0.9	1.0	3.5~4.5	0.20	1.2~1.8

序号	化学成分 (%)								
	铬	镍	锌	钛	锆	钛+锆	其他		铝
							单个	合计	
45		0.9~1.5	0.30	0.15			0.05	0.10	余量
46		1.8~2.3	0.30	0.15			0.05	0.10	余量
47			0.10	0.05	0.30~0.50		0.05	0.15	余量
48		铅 0.20~0.6	0.30				0.05	0.15	余量
49	0.10		0.25	0.15		①	0.05	0.15	余量
50	0.10	0.10	0.25	0.15		0.20	0.05	0.15	余量
51	0.10		0.25	0.15		①	0.05	0.15	余量
52	0.10		0.25	0.15		①	0.05	0.15	余量
53	0.10		0.25			0.25	0.05	0.15	余量
54	0.10		0.25				0.05	0.15	余量
55	0.10	1.7~2.3	0.25				0.05	0.15	余量

续表 5

序号	牌号	化学成分 (%) ^J				
		硅	铁	铜	锰	镁
56	2618	0.10~0.25	0.9~1.3	1.9~2.7	—	1.3~1.8
57	2219	0.20	0.30	5.8~6.8	0.20~0.40	0.02
58	2024	0.50	0.50	3.8~4.9	0.30~0.9	1.2~1.8
59	2124	0.20	0.30	3.8~4.9	0.30~0.9	1.2~1.8
60	3A21	0.6	0.7	0.20	1.0~1.6	0.05
61	3003	0.6	0.7	0.05~0.20	1.0~1.5	—
62	3103	0.50	0.7	0.10	0.9~1.5	0.30
63	3004	0.30	0.7	0.25	1.0~1.5	0.8~1.3
64	3005	0.6	0.7	0.30	1.0~1.5	0.20~0.6
65	3105	0.6	0.7	0.30	0.30~0.8	0.20~0.8
66	4A01	4.5~6.0	0.6	0.20	—	—

序号	化学成分 (%)							
	铬	镍	锌	钛	锆	其他		铝
						单个	合计	
56	—	0.9~1.2	0.10	0.04~0.10	—	0.05	0.15	余量
57	钒	0.05~0.15	0.10	0.02~0.10	0.10~0.25	0.05	0.15	余量
58	0.10	—	0.25	0.15	④	0.05	0.15	余量
59	0.10	—	0.25	0.15	④	0.05	0.15	余量
60	—	—	0.10 ^②	0.15	—	0.05	0.15	余量
61	—	—	0.10	—	—	0.05	0.15	余量
62	0.10	—	0.20	钛+锆 0.10		0.05	0.10	余量
63	—	—	0.25	—	—	0.05	0.15	余量
64	0.10	—	0.25	0.10	—	0.05	0.15	余量
65	0.20	—	0.40	0.10	—	0.05	0.15	余量
66	—	锌+锡 0.10		0.15	—	0.05	0.15	余量

续表 6

序号	牌号	化学成分 (%) ¹			
		硅	铁	铜	锰
67	4A11	11.5~13.5	1.0	0.50~1.3	0.20
68	4A13	6.8~8.2	0.50	铜+锌 0.15	0.50
69	4A17	11.0~12.5	0.50	铜+锌 0.15	0.50
70	4004	9.0~10.5	0.8	0.25	0.10
71	4032	11.0~13.5	1.0	0.50~1.3	—
72	4043	4.5~6.0	0.8	0.30	0.05
73	4043A	4.5~6.0	0.6	0.30	0.15
74	4047	11.0~13.0	0.8	0.30	0.15
75	4047A	11.0~13.0	0.6	0.30	0.15
76	5A01	硅+铁 0.40		0.10	0.30~0.7
77	5A02	0.40	0.40	0.10	或铬 0.15~0.40

序号	化学成分 (%)							
	镁	镍	锌	钛	锆	其他		铝
						单个	合计	
67	0.8~1.3	0.50~1.3	0.25	0.15	铬 0.10	0.05	0.5	余量
68	0.05	钙 0.10	—	0.15	—	0.05	0.15	余量
69	0.05	钙 0.10	—	0.15	—	0.05	0.15	余量
70	1.0~2.0	—	0.20	—	—	0.05	0.15	余量
71	0.8~1.3	0.50~1.3	0.25	—	铬 0.10	0.05	0.15	余量
72	0.05	铍 0.0008 ²	0.10	0.20	—	0.05	0.15	余量
73	0.20	铍 0.0008 ²	0.10	0.15	—	0.05	0.15	余量
74	0.10	铍 0.0008 ²	0.20	—	—	0.05	0.15	余量
75	0.10	铍 0.0008 ²	0.20	0.15	—	0.05	0.15	余量
76	6.0~7.0	铬 0.10~0.20	0.25	0.15	0.10~0.20	0.05	0.15	余量
77	2.0~2.8	铁+硅 0.6	—	0.15	—	0.05	0.15	余量

续表 7

序号	牌号	化学成分 (%) (余量为铝) ¹					
		硅	铁	铜	锰	镁	镍
78	5A03	0.50~0.8	0.50	0.10	0.30~0.6	3.2~3.8	—
79	5A05	0.50	0.50	0.10	0.30~0.6	4.8~5.5	—
80	5B05	0.40	0.40	0.20	0.20~0.6	4.7~5.7	—
81	5A06	0.40	0.40	0.10	0.50~0.8	5.8~6.8	—
82	5B06	0.40	0.40	0.10	0.50~0.8	5.8~6.8	—
83	5A12	0.30	0.30	0.05	0.40~0.8	8.3~9.6	0.10
84	5A13	0.30	0.30	0.05	0.40~0.8	9.2~10.5	0.10
85	5A30	硅+铁	0.40	0.10	0.50~1.0	4.7~5.5	—
86	5A33	0.35	0.35	0.10	0.10	6.0~7.5	—
87	5A41	0.40	0.40	0.10	0.30~0.6	6.0~7.0	—
88	5A43	0.40	0.40	0.10	0.15~0.40	0.6~1.4	—

序号	化学成分 (%)						
	锌	钛	锆	铍	铈	其他	
						单个	合计
78	0.20	0.15	—	—	—	0.05	0.10
79	0.20	—	—	—	—	0.05	0.10
80	—	0.15	—	硅+铁 0.6	—	0.05	0.10
81	0.20	0.02~0.10	—	0.0001~0.005 ^②	—	0.05	0.10
82	0.20	0.10~0.20	—	0.0001~0.005 ^②	—	0.05	0.10
83	0.20	0.05~0.15	—	0.005	0.004~0.05	0.05	0.10
84	0.20	0.05~0.15	—	0.005	0.004~0.05	0.05	0.10
85	0.25	0.03~0.15	—	锆 0.05~0.20	—	0.05	0.10
86	0.50~1.5	0.05~0.15	0.10~0.30	0.0005~0.005 ^②	—	0.05	0.10
87	0.20	0.02~0.10	—	—	—	0.05	0.10
88	—	0.15	—	—	—	0.05	0.15

续表 8

序号	牌号	化学成分 (%)					
		硅	铁	铜	锰	镁	锌
89	5A66	0.005	0.01	0.005		1.5~2.0	...
90	5005	0.30	0.7	0.20	0.20	0.50~1.1	0.25
91	5019	0.40	0.50	0.10	0.10~0.6	4.5~5.6	0.20
92	5050	0.40	0.7	0.20	0.10	1.1~1.8	0.25
93	5251	0.40	0.50	0.15	0.10~0.50	1.7~2.1	0.15
94	5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2~2.8	0.10
95	5154	0.25	0.40	0.10	0.10	3.1~3.9	0.20
96	5154A	0.50	0.50	0.10	0.50	3.1~3.9	0.20
97	5454	0.25	0.40	0.10	0.50~1.0	2.4~3.0	0.25
98	5554	0.25	0.40	0.10	0.50~1.0	2.4~3.0	0.25
99	5754	0.40	0.40	0.10	0.50	2.6~3.6	0.20

序号	化学成分 (%) (续)						
	铬	锰+铬	钛	铍	其他		铝
					单个	合计	
89	...	...	...	...	0.005	0.01	余量
90	0.10	...	...	...	0.05	0.15	余量
91	0.20	0.10~0.6	0.20	...	0.05	0.15	余量
92	0.10	...	...	...	0.05	0.15	余量
93	0.15	...	0.15	...	0.05	0.15	余量
94	0.15~0.35	...	...	...	0.05	0.15	余量
95	0.15~0.35	...	0.20	0.0008	0.05	0.15	余量
96	0.25	0.10~0.50	0.20	0.008	0.05	0.15	余量
97	0.05~0.20	...	0.20	...	0.05	0.15	余量
98	0.05~0.20	...	0.05~0.20	0.0008	0.05	0.15	余量
99	0.30	0.10~0.6	0.15	...	0.05	0.15	余量