

内 容 简 介

本专著叙述了铝、铝合金与铜、钛、各种牌号的钢、镁、银、金以及其它金属的焊接理论基础和工艺。列举了这些异种材料接头的热力学、冶金学基础数据，异种金属的相互作用（扩散、润湿及溶解）和选择填充材料的原则。提供了铝基固溶体的化学分析。探讨了在连接区各种不均匀性的形成和发展条件，阐明了焊接接头强度和塑性、与不均匀性的数量和性质的关系。研究了冷焊和熔焊方法，论述了焊接最佳规范的选择，评价了不同工作条件下焊接接头的性能。

本书可供从事焊接生产的科研人员和工程技术人员阅读，也可供高等学校有关专业的师生参考。

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЇ ССР
ИНСТИТУТ ЕЛЕКТРОСВАРКИ ІМ. Е. О. ПАТОНА
СВАРКА АЛЮМІНІЯ І ЕГО СПЛАВІВ
С ДРУГИМИ МЕТАЛЛАМИ

В. Д. РЯБОВ
КИЇВ НАУКОВА ДУМКА 1983

铝及铝合金与其它金属的焊接

〔苏〕 В. П. 里亚博夫 著

王义衡 赵瑞湘 译

关中原 校

责任编辑：林茂燕



宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

三河县印刷一分厂印刷



开本：850×1168 1/32 印张：7.625 字数：176千字

1990年3月第1版第1次印刷 印数：1—4000册

ISBN 7-80034-234-4/TG·002 定价：4.00元

目 录

序言.....	1
第一章 铝的一般特性以及与其它金属焊接的一些特点.....	3
1 铝与各种元素的相互作用.....	3
2 铝-金属系金属间化合物的性质.....	15
3 铝化物形成的热力学分析.....	22
4 铝与其它金属焊接时的热传导.....	27
第二章 铝与其它金属在熔合线上的扩散过程.....	42
1 Al—Fe, Al—Cu系及其它组合的扩散过程.....	43
2 不同牌号铝合金的扩散过程.....	54
3 利用电子计算机计算双金属中的反应扩散.....	57
4 用隔离层限制扩散.....	60
第三章 过渡边界上的表面现象.....	64
1 熔化的铝对钢的润湿.....	65
2 铝与铁直接焊接时的润湿与漫流.....	68
3 铝在铁上的漫流机理.....	80
* 4 铝在有镀层的铁上的润湿与漫流.....	84
5 铝对铜的润湿.....	87
6 液态铝对钛合金的润湿.....	90
7 铝对钨和钼的润湿.....	92
第四章 被焊金属在铝中的溶解.....	95
1 难熔金属在液态铝中的溶解动力学.....	96
2 各种金属在纯铝中的溶解.....	99
3 不同牌号的钢在铝中的溶解.....	114
4 钢在铝熔融物中的溶解.....	116
5 金属间化合物在液态铝中的溶解.....	117
第五章 不同牌号铝合金的焊接.....	121
1 压焊.....	122
2 熔焊.....	127

第六章 铝和铝合金与各种钢的焊接	144
1 铝与钢的相互作用.....	145
2 压焊.....	158
3 熔焊.....	165
第七章 铝与铜的焊接	175
1 铝与铜的相互作用.....	177
2 压焊.....	182
3 熔焊.....	189
第八章 铝与钛的焊接	195
1 铝与钛的相互作用.....	195
2 压焊.....	197
3 熔焊.....	202
第九章 铝与镁、贵金属、镍和铅的焊接	212
1 铝与镁焊接.....	212
2 铝与银焊接.....	215
3 铝与金焊接.....	220
4 铝与镍和铅焊接.....	224
参考文献	227

序 言

现代机器制造业最迫切的问题之一是在提高结构和设备工作技术性能和可靠性的同时，降低金属消耗量。这就必须广泛采用各种钢和有色金属。通常，利用这些材料制造整个零件是不合理的，因为这些零件仅有一部分结构经受特定的负荷、温度和介质的作用。因此，许多工业部门广泛应用复合结构，异种金属的焊接是焊接科学技术中的最重要问题。铝与其它金属的焊接占有重要的地位。

异种金属的连接，铝是最难焊的一种金属。大家都知道，铝之所以在工业中广泛应用，因为它具有一系列良好的物理化学性能，如密度小，导电性好（约为铜的导电性的65%），令人满意的机械强度，良好的耐腐蚀性。

用铝与其它金属连接制成焊接结构特别合理，因为能充分发挥各自材料的固有特性。例如，铝合金与钢的连接可以使得制品的质量显著降低，而铝与铜的焊接可以大大降低稀缺铜的消耗量。

把各种金属不同的众多性能结合起来的可能性具有很大的理论意义和国民经济意义。例如，对于特殊条件下工作的最新技术装备首要任务是获得不锈钢与铝合金优质焊接接头。许多部门都预感到对异种金属及合金可靠连接方法的需求日益增长。这就是为什么铝和其它金属的双金属连接的焊接结构成了许多国内外机构的研究课题的原因。这些研究机构有：乌克兰科学院巴顿电焊研究所，乌克兰科学院材料研究所，乌克兰科学院金属物理研究所，全苏轻合金研究所，乌拉尔黑色金属研究所，巴伊科夫冶金研究所，国家合金和有色金属加工科学研究设计院，美国航空与宇宙航行局等。在这个领域取得重大成果的有：Г.А. 别尔丘科，Д.И. 拉伊涅尔，Д.М. 拉布金，И.М. 巴夫洛夫，

П. И. 波卢辛, А. В. 拉克杰孟斯基, К. И. 瓦申柯以及 Д. Р. 恩德留斯, Л. Е. 加特舍克, Н. 奥罗克 (英国), Л. 迈耶尔, Т. 霍伊曼, Ф. 阿伊赫戈勒 (德意志联邦共和国), Д. 杨戈, М. X. 斯科特 (美国), К. 莫罗祖米, И. 锡克亚马 (日本)。

铝、铜、铁(钢)、钛和以它们为基的合金, 这些传统金属早已在工程上应用, 但对它们的相互作用还研究得不够。人们早已知道, 在炼钢时把铝作为活泼的脱氧剂和合金元素。在几年前这些金属的彼此连接课题就已对焊接工作者提出来了, 要求系统地研究它们质量比的相互作用和得到性能数据。然而事实上, 直到最近还没有取得这些数据。

取得铝与其它金属的焊接接头是一项比较新的工艺过程, 在过渡线上伴随有复杂的多种现象。尽管同种铝合金材料焊接得到广泛应用, 但在铝和其它金属焊接时对其交界处物理化学过程缺乏系统的研究, 从而成为铝合金与其它金属不同材料焊接不能广泛推广的原因。

铝与其它金属的所有焊接方法, 共同变形法, 熔化法和爆炸法等, 许多理论问题是共同的。

本书概括了乌克兰科学院巴顿电焊研究所以及国内外其它单位完成的铝合金与其它金属焊接形成接头的机理及动力学理论和实验研究的成果〔28, 7, 1487, 159, 177〕。

本书研究了相互接触作用的过程, 阐明了这些过程的规律性, 以寻求铝和铝合金与铜、钢、钛的焊接最佳条件, 制定出各种不同材料组合的焊接工艺方案, 确定了焊接接头在各种环境介质条件下的工作性能。

根据所进行的综合性工作, 建立了铝及铝合金与其它金属焊接冶金的基本原则, 并保证其在具体的工艺过程中得以实现。

第一章 铝的一般特性以及与其它 金属焊接的一些特点

铝是地壳之中分布广泛的一种元素，其蕴藏量（7.5%）比铁（4.2%）、钛（0.6%）、铜（0.01%）大得多。

在各个技术领域中广泛应用的铝，就其重要意义而言，在金属中居第二位，仅次于铁。铝合金有较高的强度，耐腐蚀，密度低，工艺加工性能好。

在化学元素周期表上，铝属第三族元素。它的结晶是面心密排晶格（ГПЧ），晶格常数为 $a = 4.0414 \text{ \AA}^\ominus$ 。铝的电子结构为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ ，原子序数13，原子量26.98，化合价为3。铝具有一个原子量为27的稳定的同位素，铝与元素周期表上各种金属的状态图可以分成三大类^[35, 48]。

1. 铝与各种元素的相互作用

固态和液态的有限溶解度系统 除锂以外I a族元素属于这个系统，铝与I a族元素都不起化学反应。由于这些元素的原子半径与铝的原子半径有很大差异，因此构成了明显的分层。和钠、钾、铷和铯一样，铝与镉、铟、铊、铷和铯构成了固态和液态的有限溶解度系统。

液态的无限溶解度和固态的有限溶解度系统 铝以共晶方式与非过渡的半金属——铍、镓、硅、锗和锡相互作用，也与两个过渡金属——充满d层的锌与汞相互作用。通常，第二种金属在

⊖ 1 $\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$

周期表上的元素离铝越远，在铝中溶解度也越低。惰性气体溶解度最小，接着一边是卤素，另一边是碱元素。虽然多次尝试，但至今为止各种元素在铝中的溶解度之间，没有发现只依赖于被溶元素任何一个原子参数（被溶元素与基本元素之间原子半径差，熔化温度差，类型和参数相同，电子浓度，阴电性等）的单一依赖关系^[35]。

表1列出铝和可以与铝化合的其它金属的基本物理-化学特性及工艺特性。铝的特殊性是与氧有很强的相互作用能力。铝与氧的相互作用经过三个不同过程：在干净的铝表面吸附着一层离解的氧膜(化学吸附)；在前面这层的表面上固定着氧分子(物理

表1 铝与其它一些金属的物理-化学特性和工艺特性

特 性	Al	Cu	Fe	Ti	Ni	Ag	Au	Mg	Be
20°C时密度 (g/cm ³)	2.699	8.94	7.87	4.50	8.90	10.5	19.32	1.7	1.845
温度, 熔化温度 (°C)	660.2	1083	1539	1668	1455	960.8	1063	651	1284
沸腾温度 (°C)	2493	2360	2880	3260	2900	2184	2677	1107	2450
20°C时比热容 (kJ/(kg·°C))	0.90	0.385	0.640	0.54	0.445	0.259	0.134	1.03	2.129
20°C时导热率 (W/m·K)	225.4	387	77.0	18.85	92.5	423	311	157	188.6
20°C时线性热膨胀系数 (°C ⁻¹ × 10 ⁻⁶)	24.3	16.8	11.9	8.15	13.7	19.5	14.2	26	11
20°C时电阻系数 (Ω·cm × 10 ⁸)	2.66	1.72	9.7	45	8.70	1.47	2.25	4.7	3.6
原子序数	13	29	26	22	28	47	79	12	4
原子质量	26.98	63.54	55.84	47.00	58.70	107.87	196.97	24.32	9.01
抗拉强度极限 (MPa)	78—108	216—235	245	245—345	393—491	98—147	138—157	176—245	138
相对延伸率 (%)	40	60	30	40—55	40	40—50	30—50	8—17	2
正弹性模量 (MPa)	70600	128700	196000	108000	201900	74500	77500	42800	295000
布氏硬度 (MPa)	196	343	685	784	588	245	186	294	1372

吸附)；氧化膜增长(氧化反应)。因此，铝在空气中，实际上是在任何气氛中，其表面上都会有气体吸附薄膜。将铝置于相当

高的真空中，也不能排除这种效应，不过反应速度较慢。铝表面产生单分子氧层所需要的时间，在给定温度条件下，取决于周围的大气压力。在空气中室温条件下，大气压为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，按著作^[11]的数据所需时间为 $2.4 \times 10^{-9} \text{ s}$ 。

即使在室温下，铝即已呈现出明显的氧化趋势。铝表面的这种氧化反应，实际上在一小时之后就会停止，形成厚度为 $2.5 \sim 5.0 \text{ nm}$ 的氧化膜。在湿气存在的情况下，氧化膜厚度可达到 10 nm 。在室温下经过14天，氧化膜达到稳定状态。例如，铝合金表面氧化膜大约为 0.02 mm 。由于已经形成的氧化膜把金属与氧可靠地隔开，再进一步的氧化即告停滞。温度升高到 500° C 时，氧化膜厚度在铝表面增长到 30 nm ，在铝合金表面增长到 $40 \sim 50 \text{ nm}$ 。进一步的厚度增长进行得很慢，要继续 $70 \sim 80$ 天，以后实际上增长即停止了。然而在氧化膜破损处，在多数介质中又会很快重新形成氧化膜。新清理过的铝表面，在空气中形成的氧化膜厚度可以达到 $5 \sim 10 \text{ nm}$ 。此外，铝表面的氧化膜有防护作用，因此铝变得更坚固而富于弹性。

在需要连接的铝零件接触表面上存在氧化铝膜却会给焊接、钎焊、热处理带来相当大的困难。因此在焊接、钎焊之前要进行专门的表面准备。我们发现^[189]，打磨过的特别是经过酸洗的铝试件比化学抛光的氧化得快。

关于铝表面薄膜的精确成份及构成的资料很不完整，尽管人们尚未给出 $\text{Al}-\text{O}$ 系状态图，但是确信该系中存在 Al_2O_3 ($52.92\% \text{ Al}$)化合物^[24]，铝氧化的结果往往形成的就是这种化合物。发现 Al_2O_3 具有系列 α 、 β 、 γ 和 γ' 变态组织。 $700 \sim 710^\circ \text{ C}$ 时，氧化膜为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 组织，高于 900° C 时，开始转变成 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 组织。

据报道，在铝中有与 AlO ($62.77\% \text{ Al}$)和 Al_2O ($77.13\% \text{ Al}$)成分相一致的较贫氧的氧化物存在。在 1450° C 温度下， $1.33 \times 10^2 \text{ MPa}$ 真空中加热 $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$ 混合物，然后通以 CO_2 ，发现了亚氧

化铝AlO^[13,165]。根据数据^[24]，在1060~1600°C之间低氧化铝Al₂O是稳定的，是按反应式4Al_{液体}+Al₂O₃⇌3Al₂O生成的。

都知道，形成氧化物的等压势的大小是衡量与氧的化学亲和力的尺度。铝的氧化物Al₂O₃ (图1)具有最大的热动力稳定性^[29,164]。

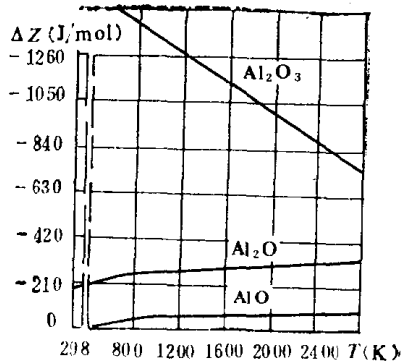


图1 形成铝氧化物的等压势与温度的关系曲线

注意，铝形成的氧化膜，不论在固态铝还是在液态铝中都是不溶的。利用图1的数据可以算出高温焊接条件下，纯铝氧化物的分解压(计算见表2)。

表2 铝氧化物分解压的计算数据

T(K)	4.575T	-ΔZ kJ/mol			lgP _{O₂}		
		Al ₂ O ₃	Al ₂ O	AlO	Al ₂ O ₃	Al ₂ O	AlO
298	1.42 × 10 ³	1.55	0.17	-0.016	-262	-30	+2.8
400	1.9 × 10 ³	1.52	0.18	-0.006	-192	-23.7	+0.78
600	2.85 × 10 ³	1.46	0.21	0.008	-122	-17.7	-0.7
800	3.8 × 10 ³	1.40	0.23	0.024	-88	-14.4	-1.58
1000	4.575 × 10 ³	1.33	0.25	0.039	-70	-10.3	-2.06
1200	5.7 × 10 ³	1.29	0.26	0.052	-53.5	-10.4	-2.2
1600	7.6 × 10 ³	1.14	0.28	0.075	-36	-8.9	-2.3
2000	9.5 × 10 ³	1.00	0.31	0.096	-24.2	-7.9	-241
2600	12.4 × 10 ³	0.81	0.33	0.125	-15.7	-6.50	-242

计算结果(图2)表明,Al₂O₃分解压对数的绝对值比Al₂O和AlO分解压对数的绝对值大得多。后者证明在焊接温度范围内

形成的主要是 Al_2O_3 。

不考虑形成 Al_2O 和 AlO ,就不难确定在任何条件下铝的停止氧化,并将进行氧化物分解。计算表明,在1.33MPa真空条件下,氧的分压为 $P_{O_2}=0.28MPa$,温度为 $3130^{\circ}C$ 时铝的氧化即停止。对于焊接熔池的平均温度($900\sim 950^{\circ}C$)^[132]而言,在真空度为 $359.1\times 10^{-4}Pa$ 时,可能使 Al_2O_3 分解并形成金属铝。

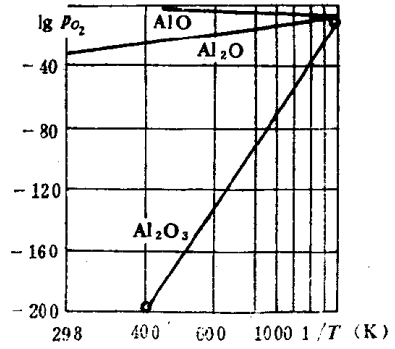


图2 铝氧化物分解压与温度的关系曲线

在实际加热条件下,随着温度的提高,氧化膜厚度明显增厚,当温度达到铝熔点时,氧化膜厚度可以达到 2000 \AA 。

在气氛中有水汽时,铝表面首先吸附水分子,因为水分子与氮、氢、氧无极分子不同,是偶极,有很大的吸附能力。根据文献^[112,158],该过程的第一阶段是在铝表面上吸附水分子(物理吸附),第二阶段是化学吸附,正常温下及有水份时,氧化的结果在铝表面上生成成分复杂的薄薄一层保护性氧化膜: $Al_2O_3 \rightarrow AlOOH \rightarrow Al(OH)_3$ 。著作^[112]的作者认为,第一阶段生成厚度 $8\sim 10nm$ 的非结晶 Al_2O_3 膜,第二阶段生成结晶状一水软铝石 $AlOOH$,第三阶段生成结晶状拜耳型氧化铝 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 。

通过对铝氧化物的有关分析研究表明,在温度 $350\sim 450^{\circ}C$ 范围内,氧化应当符合抛物线规律。当温度高于 $475^{\circ}C$ 时,反应脱离抛物线规律,当温度为 $500\sim 550^{\circ}C$ 时,则变成直线。

当与氧相互作用时,不仅合金基可以氧化,而且合金元素和杂质也可以氧化。作为铝合金的添加元素使用的有硅、铜、镁、

⊖ $1\text{ \AA} = 10^{-10}m$

锰、镍、铍、铬。

合金组分参与氧化并形成氧化膜，依条件的不同而各异。如果在合金中存在铜、锰、硅、铁、锌时，二元铝（固态材料）表面在空气中氧化形成的氧化膜与纯铝表面形成的氧化膜，结构相似。合金中含有0.03% Mg时，氧化膜是 γ - Al_2O_3 ，含0.05~1.5% Mg时，氧化膜由氧化镁尖晶石 $Al_2O_3 \cdot MgO$ 和氧化镁 MgO 组成。含Mg1.5%以上的氧化膜，实际上是纯镁石。添加铍能非常有效地降低Al—Mg合金氧化程度。

不同元素与氧反应的速度不同。铝中存在的少量元素由于有选择的氧化而被集中在表面的反应物中。与此同时，由于表面力的作用，金属中元素的浓度也可能提高。有微量外来元素存在时，氧化物的物理性质，特别是扩散渗透性可能大大改变。这种渗透性在颇大程度上决定了铝氧化反应的动力学，因此，铝中杂质对氧化性质自然有影响。

对液态金属氧化时产生的氧化膜的研究表明，可将全部工业铝合金分成四个基本类别：不含镁的铝合金（纯铝，AM π 等），其表面氧化膜由纯氧化铝（ γ - Al_2O_3 ）组成；含0.01~0.05%镁的合金，其表面氧化膜由 Al_2O_3 和 $MgO \cdot Al_2O_3$ 混合物组成；含0.05~1.5%镁的合金（多数工业合金），其表面氧化膜由 MgO 和 $MgO \cdot Al_2O_3$ 混合物组成；含镁高于1.5%的合金（一些硬铝，马格纳里镁铝铜合金等），其表面氧化膜由 MgO 组成。

就产生在固态金属表面上的氧化膜而言，上述原则多半也是正确的。

根据不同金属氧化物的分解压的数据，可以近似算出合金元素在铝中可能使其氧化的临界浓度。正如计算^[13, 156]所示那样，在纯态下与氧的化学活性比铝低的元素（除去镁、铍、钙以外的多数合金元素），在合金中的浓度接近100%时，都可能被氧化。但它们在铝合金中是不可能被氧化的。

除氧化膜的成分和结构外，焊接时具有重要意义的是它的物

理—化学性能及机械性能。近似评定氧化膜的强度和密度是用皮林格和别德沃尔兹的体积关系式，即 $\rho = V_{M_e m O_n} / m V_{M_e}$ ，这里 $V_{M_e m O_n}$ ——1 mol 体积氧化物； V_{M_e} ——1 mol 体积金属； m ——金属在化合物中所占比例。

如果 $\rho < 1$ ，氧化膜疏松，其中存在拉应力； $\rho \geq 1$ ，氧化膜密实，其中存在压应力。

实验室的研究结果和生产中得出的数据都证明，铝氧化时其表面上产生的氧化膜具有较高的机械强度。

氧化铝 Al_2O_3 的特点是化学稳定性强，不易分解和与其它金属发生反应。铝镁合金产生的氧化物比纯铝产生的氧化物具有更高的化学稳定性。 Al_2O_3 氧化层的密度、厚度、它的晶体结构对水蒸汽及其它气体的吸附能力，可能因氧化条件不同，而起本质上的变化^[106]。例如，同素异型体 $\alpha-Al_2O_3$ 具有六角形晶格，密度为 $4.08g/cm^3$ ， $V_{氧化物}/V_{金属} = 1.28$ 。同素异型体 $\gamma-Al_2O_3$ 具有立方晶格结构，密度为 $3.77g/cm^3$ ， $V_{氧化物}/V_{金属} = 1.5$ 。硬水铝矿 $Al_2O_3 \cdot H_2O$ 和一水软铝石 $Al_2O_3 \cdot H_2O (AlOOH)$ 具有斜方形晶格结构，密度相应为 3.4 和 $3.0g/cm^3$ ， $V_{氧化物}/V_{金属}$ 的比相应为 2.03 和 2.3 。三水铝矿和拜耳型氧化铝 ($Al_2O_3 \times 3H_2O$) 具有单斜晶格结构，密度为 2.2 和 $2.5g/cm^3$ ， $V_{氧化物}/V_{金属}$ 比值为 3.6 和 3.48 。下面列出 Al_2O_3 的机械性能和物理—化学性能^[105]。

温度 (°C)：

熔化温度 2047

沸腾温度 2979

密度 (g/cm^3) 3.79

导热系数 ($W/m \cdot ^\circ C$)，当 t (°C)：

100 30.145

400 19.979

600	9.127
线膨胀系数 α ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 当 t ($^{\circ}\text{C}$):	
100	6.0~7.1
500	8.9~9.7
电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$), 当 t ($^{\circ}\text{C}$):	
20	3.2×10^{12}
100	3×10^{12}
300	1.2×10^{10}
350	3×10^{10}
500	1×10^{10}
600	1.02×10^8
25 $^{\circ}\text{C}$ 纵向弹性模量, MPa	
	-3.80
瞬时强度 (MPa), 当 t ($^{\circ}\text{C}$):	
20	25.86
100	14.901
300	23.128
压缩极限强度 (MPa), 当 t ($^{\circ}\text{C}$):	
25	29.292
400	14.70
600	13.72
莫氏硬度	
	9

但是, 不管化学成分和相的成分如何, 都可以区分出铝表面上氧化物 Al_2O_3 的一些特性。这些特性对焊接过程是很有意义的
(112)。

1. 良好的保护特性。在一定的氧化阶段, 靠这种特性防止铝与气体进一步相互作用。
2. 化学稳定性强。抗分解和不易与其它固态金属相互作用。焊接时从 Al_2O_3 中还原铝, 实际上是不可能的。
3. 熔化温度高——焊接时不会熔化。达到高温之前它是坚

固而稳定的。

4. 在固态铝和液态铝中溶解度很低，而且其成分也不变，结构稳定，耐许多化学试剂。
5. 机械强度较铝高，在厚 1×10^{-2} mm, $\sigma_b \approx 20$ MPa, 塑性低，具有高硬度和脆性，并带有正负电荷。
6. 高电阻。
7. 由于线膨胀系数仅为铝的1/3，所以当铝加热时会使氧化物发生裂纹。
8. 对水蒸汽吸附能力强。吸附在铝的氧化表面上的水蒸汽一直保持至被加热到高温前。（当铝在真空中加热到 350°C 以前）。

表3列出了各种金属润湿 Al_2O_3 氧化膜的边界角数据。从表上数据可以看出，铝的氧化膜在许用的加热温度下，实际上都无法被许多金属所润湿。因此焊接铝时一定要除去氧化膜。

表3 Al_2O_3 润湿边界角数据

液态金属	$t(^{\circ}\text{C})$	介 质	$\theta(^{\circ})$
Al	940	氢 氢	170
	1250		48
Pb	400	氢 还原性介质	144
	350		>90
In	144①	真 空	>90
Sn	232	真 空	90
	800	氢	150
	250	还原性介质	>90
Bi	271①	真 空	90
Ge	959①	真 空	>90
Sn + 10%In	800	氢	138
Zn	450	还原性介质	>90

① 熔化温度

4 可焊铝和变形合金牌号及化学成分 %

标准牌号	Al	合金成分								杂质总和
		Mn	Fe	Li	Mg	Ti	Be	Cu	Zn	

非热处理强化的变形铝合金

ГОСТ	A99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01		
11069-74	АД0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	АД1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	АМЦ	基本成分 1.0~1.5		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	
ГОСТ 4784-74	АМЦС	基本成分 1.0~1.4		0.25~0.45	0.15~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
	АМГ1	—	—	—	—	—	—	—	0.4~1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
	АМГ2	基本成分 0.2~0.6		—	—	—	—	—	1.8~2.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
	АМГ3	基本成分 0.3~0.6		—	—	0.5~0.8	3.2~3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
	АМГ5	基本成分 0.3~0.8		—	—	—	4.8~5.8	0.2~0.10	0.0002~0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1

续表

标 准 牌 号	Al	合 金 成 分										杂 质 总 和			
		Mn	Fe	Li	Mg	Ti	Be	Cu	Zn	Cr	Zr				
AMr6	基本成分	0.5~0.8	—	—	5.8~6.8	0.02~0.10	0.0002~0.005	—	—	—	—	—	—	—	0.1

热 处 理 强 化 的 变 形 铝 合 金

ГОСТ	АД31	基本成分	—	—	0.3~0.7	0.4~0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
4784-74	ΛB	基本成分	—	—	0.50~1.20	0.45~0.90	—	—	—	—	—	0.1~0.5	—	—	—	0.1
	1915	基本成分	0.15~0.35	—	—	1.3~1.8	—	—	—	—	—	—	3.4~4.0	0.08~0.15~0.20	0.22	0.1
ОСТ	1210	基本成分	0.2~0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-90048	—7	基本成分	0.3	—	—	—	0.06	—	—	—	—	6.3	—	0.1	0.17	—
ГТУ	1420	基本成分	1.6~2.3	—	—	1.7~2.3	4.5~6.0	—	—	—	—	—	—	—	0.09~0.15	—
92-28	—76															