



中文版本



朱茂雅克

用于加热的元件的技术

第7章

铝的耐腐蚀性



铝的耐腐蚀性

铝的耐腐蚀性 用的标准合金的化学成分

标准	Si	Cu	Mg	Zn	Mn	Fe	Ni	Sn	Ti	Al
ADC12 (JIS H5302:2000)	9.6-12.0	1.5-3.5	<0.3	<1.0	<0.5	0.6-0.9	<0.5	<0.2	-	残余物

户外使用的铝外壳的普遍的耐腐蚀性

铝腐蚀的基本信息

铝和合金在大气环境、海军、城市和工业环境中通常有良好的耐腐蚀性。在压力下模塑成型，铝外壳可有很多种成型和表面处理，需要少量的及时维护并且抵抗性良好。另外，着眼于可持续发展，铝是其中一种最经济的再循环利用的金属。铝的再熔化仅需要5%的能量，从矿石中制造金属。铝自然地覆盖上一层氧化层，氧化层很多时候保护其被腐蚀。在中性水溶液中 ($4 < \text{pH} < 9$)，这氧化膜有一个 50 \AA 的厚度，并且对金属起保护作用 (钝化)。仅仅在一个非常酸的溶液或者在一个碱性溶液中，铝同样地被腐蚀。氧化层的强度和稳定性取决于周围的环境、合金成分和金属的微观结构 (取决于应用的热处理)。铝的电化学反应受天然氧化膜的影响，控制其腐蚀。

盒子是巨大的并且厚壁的 (2 to 4mm)；于是腐蚀是表面的并且仅仅是影响外观，不会改变机械强度。在中性环境里，钝化铝合金的总体腐蚀率是非常小的，但从不完全为零。从而，它保持每年 $5 \mu\text{m}$ 的数值，因粗糙度变化 (橙皮)，这终究会导致表面状态逐渐地变成一个不美观的表面。

最常见的变化是以点状腐蚀的形式，发展成为不同深度的孔。

这是一个非常复杂的现象，这现象的结构没有完全被限定。

在普通的工业环境中，铝外壳因此不经表面处理而被使用，而不是去毛边和标准的振动打磨。

铝的电偶腐蚀，同样也称为双金属腐蚀

铝外壳可能从属于一个特殊现象，这降低他们的使用寿命，可以直到贯穿外壳或完全锁定闭合螺丝。这是电化或双金属腐蚀。

尽管大多数的标准规定在正确的位置采用适当的防护措施，以避免铝外壳电化腐蚀，但均没有提出一个解决方案或者要求特定的材料或合金成分。然而，即使铝在电化范围里处于一个不利的位置，它大多数情况下被其钝化膜覆盖，这使其相当地显贵，并且使其对腐蚀更不敏感。

电化 (双金属的) 腐蚀是额外的腐蚀，它发生在不同的金属在与电解液 (例如水、海水) 接触的情况下。金属、阳极的腐蚀，是由于通过电解液，正电流阳极流向较少反应 (更优质) 的金属、负极。

这个过程与单一的、非耦合金属的传统腐蚀相类似，但是通常是在更高比率的情况下进行，这取决于阳极和阴极金属电化学反应的不同。

在两种金属之间存在有一个电位差，这取决于金属和溶液这两者。两种不同的金属或者两种合金与相同的介质接触，通常会有两种不同的电位。如果这两种金属是电气性联接的，他们的电位差会导致电化学反应和导致一个电流的循环。

最阴性的金属 (最不优质的) 是正极化的，并且最阳性的金属是负极化。在绝大多数情况下，这结构相当于增加最易腐蚀金属的腐蚀率 (最阴性的)，并且减少最少腐蚀金属 (最阳性) 的腐蚀率。

铝的耐腐蚀性

当以下 4 种情况同时出现时，电化腐蚀才会发生：

- A: 一种电解质桥接两种金属。

当电解质的电导率低，腐蚀局限于两种金属之间的接触区。当电解质的电导率增加时，被腐蚀的表面会加大。

- B: 两种金属之间的电气接触。

如果是在两种金属之间通过一个绝缘体的干预（如氧化铝、磷化、涂料、油等等）而未能有电气接触的，电流不会流动并且没有腐蚀。

- C: 金属之间的电位差能提供一个重要的流电电流。

该值越高，电动势现象就越大。数以百计的毫伏差将导致强烈的电化腐蚀，然而低于 200-300mV 的差别将不会产生显著的结果。这些电化腐蚀电位在表中有列出，表格也给出了金属电位数，并通常参照号称的《标准甘汞电极（S.C.E）》技术来测量。（见下文）

- D: 在两种更优质金属的持续阴极反应。

两种金属的表面比

- 最坏的情况是当一个大的阴极表面（最阳性的材料）被电连接到一个小的阳极表面（最负性的金属）。最负极的金属腐蚀速率可以是 100/1000 倍。

例如，不锈钢螺丝锁紧铝盒将易于腐蚀，因为其表面是不同的。

优质金属的腐蚀，和通过其腐蚀产生的盐的影响

- 不管它的电位，最优质金属的耐腐蚀性能显著地影响着双金属腐蚀的行为。如果最优质的金属被腐蚀，其腐蚀产品也许是通过位移，使大部分可侵蚀的金属加速腐蚀。例如，铜，尽管已被认为是一种优质金属，然而其带铝的流电转矩是很小的，产生的氧化物能腐蚀铝，在设计适用于铜导体的铝外壳的接地端子时，这是极其重要的参数。

防蚀消耗金属涂层

通过向阴极侧施加一个类似或接近阳极分子的电位，电化腐蚀被减少。

主要的设计规则：

- 保护性的元素应在阳极侧，以及比较小。

- 小心使用带有完整涂层的紧固件。

例如：

在钢紧固件的镀锌将会牺牲锌，而不是腐蚀铝（电位差是 100 至 200mV）。

注意：

不要使用镀镍钢紧固件，因为铝和镍之间的电位差（450mV）太高，并且会腐蚀铝。

不锈钢和铝之间电偶腐蚀的具体事项

不锈钢的腐蚀电位为“阴极的”，位于“高贵的”区域，而铝的腐蚀电位为“阳极的”，位于“非高贵的”区域，电位差较大。这意味着与铝接触的位置，在不锈钢上不会发生电化学腐蚀，而铝则会被腐蚀。

铝的耐腐蚀性

虽然铝至不锈钢是阳极的，铝和不锈钢相对的表面面积大，这是可以接受，取决于当地的条件。

在铝片或板或大部件里的不锈钢紧固件通常被认为是安全的。即使在金属之间没有绝缘，但也会很小的腐蚀风险。

相反，在海洋环境中，当使用非绝缘的不锈钢螺丝的时候，已观察到在铝踏板上有严重的局部性的蚀损斑。

减少铝和不锈钢之间电偶腐蚀的机械方法

- 尽可能地采用电绝缘材料，如塑料，来隔离这两种材料。
- 避免相对的较少贵金属（铝）的面积和较贵金属（不锈钢）的大面积。
注：将较大面积的铝与带有裂纹不锈钢部件的小面积耦合，会引起裂缝里面材料的快速侵蚀并腐蚀不锈钢。
- 防止电解质出现在双金属接合点的周围。例如，如果可以的话，两种金属都涂上。
- 在螺钉头和螺纹下面涂上阻蚀剂。
- 装配前，在接触表面涂上绝缘的有机涂层。

在 2% 的盐水溶液中，铝合金（用黄色和蓝色突出标示的名称）和其他普通金属之间的电化电压表

当电流转矩值小于 300mV 时，没有发生明显的腐蚀。300mV

	Pt (铂或铱合金)	Au (金)	Ti (钛)	AlSi 316L (惰性的)	Ag (银)	Ni (镍)	NiCu 30 (蒙奈尔合金 400)	NiCr15 Fe8 (镍铬合金 600)	Cu55 Zn23 Ni22 (黄铜)	Cu (铜)	Al10 Sn66 Pb34	CuAn34 (黄铜)	Cu88 Sn12 (青铜)	Sn (锡)	Pb (铅)	AlCuMg1 (硬铝合金)	软钢/碳钢	AlSi10Mg (铝硅合金)	Al99.5 (铝)	硬钢/硬硬的	AlMg5	ADC12 (铝合金)	Cd (镉)	Fe (铁)	Cr (铬)	AlMgSi0.7 (铝镁硅合金)	Sn75 Zn25	Zn (锌)	AlPVD (物理气相沉积)	Mg (镁)
Pt (铂或铱合金)	0	130	250	250	350	430	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1100	1105	1200	1350	1400	1400	1800		
Au (金)	130	0	110	110	220	300	300	300	320	410	470	520	610	670	710	810	870	935	960	965	970	970	970	975	1070	1070	1230	1270	1820	
Ti (钛)	250	110	0	0	110	180	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	850	855	950	950	1100	1150	1150	1700	
AlSi 316L (惰性的)	250	110	0	0	110	180	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	850	855	950	950	1100	1150	1150	1700	
Ag (银)	350	220	100	100	0	80	80	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	850	850	1010	1050	1050	1600	
Ni (镍)	430	300	180	180	80	0	0	0	20	110	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	770	770	930	970	970	1520	
NiCu 30 (蒙奈尔合金 400)	430	300	180	180	80	0	0	0	20	110	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	770	770	930	970	970	1520	
NiCr15 Fe8 (镍铬合金 600)	430	300	180	180	80	0	0	0	20	110	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	770	770	930	970	970	1520	
Cu55 Zn23 Ni22 (黄铜)	450	320	200	200	100	20	20	20	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	650	655	750	750	910	950	950	1500	
Cu (铜)	570	440	320	320	220	140	140	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	530	535	630	630	780	830	1380	
Al10 Sn66 Pb34	600	470	350	350	250	170	170	170	150	30	0	50	170	200	210	310	400	465	490	495	500	500	500	505	600	600	760	800	1350	
CuAn34 (黄铜)	650	520	400	400	300	220	220	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	410	445	450	450	450	455	550	550	710	750	1300	
Cu88 Sn12 (青铜)	770	640	520	520	420	340	340	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	330	335	430	430	590	630	1180	
Sn (锡)	800	670	550	550	450	370	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	300	300	300	305	400	400	560	600	600	1150	
Pb (铅)	840	710	590	590	490	410	410	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	260	260	265	360	360	520	560	1110	
AlCuMg1 (硬铝合金)	940	810	690	690	590	510	510	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	160	165	260	260	420	460	1010	
软钢/碳钢	1000	870	750	750	650	570	570	550	430	400	350	230	200	150	60	0	65	90	95	100	100	100	105	200	200	360	400	400	950	
AlSi 10Mg (铝硅合金)	1065	935	815	815	715	635	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	35	40	135	135	295	355	355	885	
Al99.5 (铝)	1090	960	840	840	740	660	660	640	520	490	440	320	290	250	150	90	25	0	5	10	10	10	15	110	110	270	310	310	860	
硬钢/硬硬的	1095	965	845	845	745	665	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	30	5	0	5	5	5	10	105	105	265	305	305	855	
AlMg5	1100	970	850	850	750	670	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	0	5	100	100	260	300	300	850	
ADC12 (铝合金)	1100	970	850	850	750	670	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	0	5	100	100	260	300	300	850	
Cd (镉)	1100	970	850	850	750	670	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	0	5	100	100	260	300	300	850	
Fe (铁)	1105	975	855	855	755	675	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	5	0	95	95	255	295	295	845	
Cr (铬)	1200	1070	950	950	850	770	770	770	750	630	600	550	430	400	380	260	200	135	110	105	100	100	100	95	0	160	200	200	750	
AlMgSi0.7 (铝镁硅合金)	1200	1070	950	950	850	770	770	770	750	630	600	550	430	400	380	260	200	135	110	105	100	100	100	95	0	160	200	200	750	
Sn75 Zn25	1350	1230	1110	1110	1010	930	930	930	910	790	760	710	590	650	520	420	360	295	270	265	260	260	260	225	160	160	0	40	40	590
Zn (锌)	1400	1270	1150	1150	1050	970	970	970	950	830	800	750	630	600	560	460	400	335	310	305	300	300	300	295	200	200	40	0	0	550
ZnAl (铝/马基合金)	1400	1270	1150	1150	1050	970	970	970	950	830	800	750	630	600	560	460	400	335	310	305	300	300	300	295	200	200	40	0	0	550
AlPVD (物理气相沉积)	1400	1270	1150	1150	1050	970	970	970	950	830	800	750	630	600	560	460	400	335	310	305	300	300	300	295	200	200	40	0	0	550
Mg (镁)	1800	1820	1700	1700	1600	1600	1600	1600	1520	1500	1390	1300	1180	1150	1110	1010	950	885	860	850	850	850	850	845	845	590	560	560	0	

0-300 mV	301-500 mV	501-800 mV	> 800 mV
----------	------------	------------	----------