

第 14 篇 非 铁 金 属

F1706003
1003

主编单位:

中 南 矿 冶 学 院

编写单位:

冶金工业部钢铁研究院

常 用 符 号 表

A——电流安培	δ ——延伸率 %
a——年	λ ——导热系数 $\text{cal}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C})$
a_K ——冲击韧性 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$	μ ——摩擦系数
c——比热 $\text{cal}/(\text{g}, ^{\circ}\text{C})$	μ ——泊松比
d——日	ρ ——密度 g/cm^3
E——弹性模数 kgf/mm^2	ρ ——电阻率 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
e——热电动势 mV	σ_b ——抗拉强度 kgf/mm^2
F_0 ——试样截面积 mm^2	σ_{bc} ——抗压强度 kgf/mm^2
H——磁场强度 Oe	σ_e ——弹性极限 kgf/mm^2
HB——布氏硬度	σ_p ——比例极限 kgf/mm^2
HM——莫氏硬度	σ_s ——屈服点 kgf/mm^2
HR——洛氏硬度	$\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 kgf/mm^2
HS——肖氏硬度	$\sigma_{-0.2}$ ——抗压屈服强度 kgf/mm^2
HV——维氏硬度	$\sigma_{0.2/10^2}$ ——1000小时变形0.2%的蠕变强度 kgf/mm^2
mV——电压毫伏	σ_{10^2} ——100小时持久强度 kgf/mm^2
Q——热容量 cal/g	σ_{-1} ——疲劳强度 kgf/mm^2
r——转数	ψ ——断面收缩率 %
V——电压伏特(V)	Ω ——电阻欧姆(Ω)
α ——线胀系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	τ_K ——剪切强度 kgf/mm^2
α ——电阻温度系数 $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$	

目 录

常用符号表

第1章 概 述

- 1 非铁金属的分类.....14-1
- 2 非铁金属及其合金的特点.....14-2
- 3 非铁金属及其合金的性能比较.....14-2
 - 3.1 机械性能.....14-2
 - 3.2 耐蚀性能.....14-4
 - 3.3 被切削性能.....14-5

第2章 铝及其合金

- 1 铸造铝合金.....14-5
 - 1.1 分类、化学成分和用途.....14-5
 - 1.2 性能数据.....14-9
- 2 变形铝合金.....14-12
 - 2.1 分类、化学成分和用途.....14-12
 - 2.2 性能数据.....14-20

第3章 镁及其合金

- 1 镁及其合金的分类和特点.....14-30
- 2 铸造镁合金.....14-32
 - 2.1 化学成分和用途.....14-32
 - 2.2 性能数据.....14-33
- 3 变形镁合金.....14-35
 - 3.1 化学成分和用途.....14-35
 - 3.2 性能数据.....14-35

第4章 铜及其合金

- 1 铜及其合金的分类和特点.....14-38
 - 1.1 紫铜.....14-38
 - 1.2 黄铜.....14-39
 - 1.3 青铜.....14-40
 - 1.4 白铜.....14-43
- 2 铸造铜合金.....14-45
 - 2.1 化学成分和用途.....14-45
 - 2.2 性能数据.....14-47
- 3 变形铜合金.....14-50
 - 3.1 化学成分和用途.....14-50
 - 3.2 性能数据.....14-59

第5章 镍及其合金

- 1 化学成分和用途.....14-68
- 2 性能数据.....14-69
 - 2.1 机械性能.....14-69
 - 2.2 物理性能.....14-70
 - 2.3 耐蚀性能.....14-70
 - 2.4 工艺参数.....14-71

第6章 锌、锡、铅及其合金

- 1 锌及其合金.....14-71
 - 1.1 化学成分和用途.....14-71
 - 1.2 性能数据.....14-72
- 2 铅及其合金.....14-74
 - 2.1 化学成分和用途.....14-74
 - 2.2 性能数据.....14-75
- 3 锡基和铅基轴承合金(巴氏合金).....14-76
 - 3.1 化学成分和用途.....14-77
 - 3.2 锡基轴承合金.....14-77
 - 3.3 铅基轴承合金.....14-78
 - 3.4 性能数据.....14-78
- 4 易熔合金.....14-79

第7章 钛及其合金

- 1 分类、化学成分和用途.....14-80
- 2 性能数据.....14-81
 - 2.1 机械性能.....14-81
 - 2.2 物理性能.....14-82
 - 2.3 耐蚀性能.....14-83
 - 2.4 工艺参数.....14-83

第8章 钨、钼、钽、铌及其合金

- 1 化学成分和用途.....14-84
- 2 性能数据.....14-85
 - 2.1 机械性能.....14-85
 - 2.2 物理性能.....14-85
 - 2.3 耐蚀性能.....14-86

- 参考文献.....14-86

第1章 概 述

非铁金属又称有色金属，元素周期表中，除铁外，所有金属均称非铁金属。

非铁金属及其合金有适应特殊要求的性能，比重轻者低于1，重者超过20；能制成轻而坚固的飞行器，也可制成高比重的惯性平衡部件。虽然，钢的抗拉强度和屈服强度比大多数非铁合金高，但按比强度（强度/比重）相比，铝合金（如LY12）、镁合金（如MB7）、钛合金（如TC4）都比铸铁和低合金钢好。普通钢铁容易生锈，铜、铝、镍、钛及其合金则比较耐蚀，在空气中能长时间不腐蚀，不变色；镍合金、钛合金在水中甚至在腐蚀性介质中也长期不被破坏。纯铁1537℃已经熔化，钨合金可在1650~2500℃下工作。用锡、铋、汞等金属能配制成熔点在-60至+230℃间变化的易熔合金，可以制造焊料、铅字、安全塞、保险丝以及低熔点合金冲压模具。铜及铜锍合金，铝及铝镁硅合金等导电性好，大量用作导电材料。镍铬、铜镍锰等合金有大的电阻和小的电阻温度系数。还有些合金有特殊的电、磁、热膨胀等物理性能，适宜制造电工及各种仪器仪表元件。绝大多数滑动轴承是用非铁合金制成的。铅不易被X和γ射线所穿透，是良好的防护材料。非铁金属还是优质合金钢的重要添加元素。

非铁金属产量低，价格高，选用时应作技术经济分析。如用钛制造在氯离子介质中工作的交换器及蒸发器，投资比不锈钢大数倍，但不锈钢零件只能用二年，钛零件可用二十年。

1 非铁金属的分类

非铁金属约有八十余种，可分为：

（1）重金属：比重大于4.5，包括铜、镍、钴、铅、锌、锡、锑、镉、汞等。

（2）轻金属：比重小于4.5，包括铝、镁、钠、钙、钾等。

（3）贵金属：包括金、银及铂族元素。

（4）半金属：指硅、硒、碲、砷、硼等，其物理化学性质介于金属与非金属之间。

（5）稀有金属：有稀有轻金属（如钛、锂、铷、铯、铍等），稀有难熔金属（如钨、钼、钽、铌、锆、铪、钽、铌等），稀有分散金属（如镓、铟、铊、锗等），稀土金属（如钪、钇和镧系元素等）和放射性金属（如镭及锕系元素等）。

按加工方式，非铁合金可分为铸造合金和变形合金。

非铁金属及合金产品、状态代号表示方法见表14·1-1至表14·1-4。

表14·1-1 非铁金属及合金产品代号表示方法

金属及其合金名称	代 号	表示方法说明
纯金属冶炼产品	铜	Cu-1, Cu-2
	铝	Al-1, Al-02
	铅	Pb-1, Pb-2
纯金属加工产品	铜	T1, T2
	铝	L1, L2
	镍	N2, N4
	锌	Zn1, Zn2
	铅	Pb1, Pb2
合金加工产品	黄 铜	H62, HPb59-1 HSn62-1, HMn57-3-1
	青 铜	QSn4-3, QA110-3-1.5 QSi1-3
	白 铜	B16, BMn3-12
	镍合金	NCr9, NMn2-2-1
	铝合金 镁合金 铝合金 锌合金 银合金 金合金 中间合金	LY1, LF2 MB1, MB2 PbSb2 ZnAl10-2 AgCu4 AuNi7.5-1.5 CrSi25
专用合金	轴承合金	ChSnSb11-6 ChPbSb0.25
	印刷合金	IPbSb14-4
	焊 料	HCuZn64 H1AgCu20-15
产品状态代号表示方法	LF1-M QBe2-Y	用汉语拼音字母相应加于产品代号之后，并于中间划一横线

表14·1-2 铸造非铁合金代号表示方法

合金名称	代 号	表示方法说明
铸造铝合金	ZL101	简称铸铝, 以 ZL 表示。 后边三位数中第一位数表示类别: 1 为铝硅系, 2 为铝铜系, 3 为铝镁系, 4 为铝锌系; 第二、三位数为顺序号
	ZL201	
	ZL301	
	ZL401	
铸造镁合金	ZM1 ZM5	简称铸镁, 以 ZM 表示。 后边的数字为顺序号
铸造铜合金	ZHPb59-1 ZQSn5-5-5	类似铜合金加工产品代号, 在代号前加符号“Z”
铸造锌合金	ZZnAl4-1	类似锌合金加工产品代号, 在代号前加符号“Z”
铸造轴承合金	ZChSnSb4-4 (或ZChSn4) ZChPbSb15-10 (或ZChPb3)	“Z”表示铸造, Ch 为轴承中“承”字拼音第一个音节。第一个元素符号为合金基础金属元素, 第二个元素符号为主要添加元素, 其后数字为该合金的成分

注: 铸造方法代号: S—砂型 J—金属型 Y—压力铸造 B—变质处理。

表14·1-3 非铁金属产品状态名称及其代号

名 称	代 号
退火	M
淬火	C
淬火(自然时效)	CZ
淬火(人工时效)	CS
硬	Y
3/4硬、1/2硬、1/3硬、1/4硬	Y ₁ , Y ₂ , Y ₃ , Y ₄
特硬	T
热轧, 热挤	R
优质表面	O
优质表面(退火)	MO
优质表面(淬火)	CO
加厚包铝的	J
不包铝的	B
不包铝(热轧)	BR
不包铝(退火)	BM
不包铝(淬火、冷作硬化)	BCY
不包铝(淬火、表面优质)	BCO
不包铝(淬火、冷作硬化、表面优质)	BCYO
淬火、自然时效、冷作硬化、表面优质	CZYO

表14·1-4 非铁金属合金热处理状态代号

代号	热 处 理 状 态	代号	热 处 理 状 态
T1	人工时效	T6	淬火加完全人工时效
T2	退火	T7	淬火加稳定化回火
T4	淬火	T8	淬火加软化回火
T5	淬火加部分人工时效		

2 非铁金属及其合金的特点(表14·1-5)

表14·1-5 非铁金属及其合金的特点

合 金	主 要 特 点
铝及其合金	比重小(约2.7), 比强度大, 耐蚀性好, 导电, 导热, 无铁磁性, 反光能力强, 塑性大, 易加工成材和铸造各种零件
镁及其合金	比重小(约1.7), 比强度、比刚度大, 能承受大的冲击载荷, 有良好的被切削加工和抛光性能, 对有机酸、碱类和液体燃料有较高的耐蚀性
铜及其合金	有优良的导电、导热性, 有较好的耐蚀性, 有较高的强度、耐磨性和大的塑性, 易加工成材和铸造各种零件
镍及其合金	有高的机械性能, 耐热性能, 有好的耐蚀性以及特殊的电、磁、热膨胀等物理性能
锌及其合金	有较高的机械性能, 熔点低, 易于加工成材及压力铸造
锡、铅合金	熔点低, 导热性好, 耐磨。铅合金耐蚀, 比重小(约11), X射线和γ射线穿透能力小
钛及其合金	比重小(约4.5), 比强度大, 高、低温性能好, 有优良的耐蚀性能
钨、钼、钽、铌及其合金	熔点高(1700℃以上), 可在1000℃以上做结构材料使用, 有高的的高温强度和硬度

3 非铁金属及其合金的性能比较

各种元素物理性能参阅本手册第一篇。

3·1 机械性能(表14·1-6~表14·1-7)

表14-1-6 常用金属元素机械性能

符 号	名 称	σ_b	σ_e	σ_s	δ	ψ	硬 度		
		kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/mm ²	%	%	HB	HS	HM
Ag	银	18	3	3.5	50	90	25	4	2.7
Al	铝	8~11	3.0	3~7	40	85	20~35	4.5	2.9
Au	金	14	1~2	3~4	30~50	90	18	3.5	2.5
Be	铍	19	6	10	0		100		6.5
Bi	铋	0.5~2.0			0	0	9		2
Cd	镉	6.4	0.3	1	20	50	20	6	2
Ce	铈	8.5	0.25				21		2.5
Co	钴	24			5		125		5
Cr	铬	25~30		20	10		70~100		4.5
Cu	铜	22	1.5	6~8	60	75	35	7	3
Fe	铁	25~33	12	12.5	25~55	70~85	50	8	4.5
Mg	镁	17~20	1.2	2~6	15	20	25		2
Mo	钼	70			30		125		8.5
Nb	铌	30		20	28	80		120	6
Ni	镍	40~50	8	12	40	70	60~80	10	5
Pb	铅	1.5	0.25	0.5~1	50	100	4~6	2	1.5
Pd	钯	20			55	90	30		4.8
Pt	铂	15			50	90	25	10	4.3
Rh	铑	50			7		130		6
Sb	锑	0.5~1			0	0	30~60		3
Sn	锡	1.5~2	0.15	0.9~1.5	40	75	5		1.8
Ta	钽	35~45		25	25~50		70		7
Ti	钛	40~45		30~40	30~40	50~70	130~150		
W	钨	100~120		75	0		350		7
Zn	锌	11~15		9~10	5~20		30~42	8	2.5
Zr	锆	30~50		20~30	15~30		120	30	6.5

表14-1-7 常用合金机械性能比较

合 金 代 号	密 度 ρ g/cm ³	E kgf/mm ²	σ_b kgf/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kgf/mm ²	δ %	σ_{-1} kgf/mm ²	$\frac{\sigma_b}{\rho}$	$\frac{\sigma_{0.2}}{\rho}$	$\frac{\sigma_{-1}}{\rho}$	相对刚度 $\frac{E}{\rho^3}$	刚性相同, 相对重量 $\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$
20号钢	7.8	21000	40	20	20	14	5.1	2.6	1.3	44	0.28
15CrA	7.8	21000	65	35	15	26	8.3	4.5	3.3	44	0.28
40CrNiMoA	7.8	21000	100	85	12	41	13	11	5.3	44	0.28
铸 铁	7.2	8400	21	14	—	7	2.9	2	0.97	22	0.35
LY12	2.8	7200	46	38	15	11.5	16.4	13.6	4.1	330	0.15
ZL104	2.7	7200	25	20	4	9	9.3	7.2	3.3	370	0.14
MB7	1.8	4300	30	20	8	13	16.7	11	7.2	730	0.11
ZM5	1.8	4300	25	10	5	10	13.9	11	5.6	730	0.11
H62	8.4	10500	30	15	40	12	3.6	1.8	1.4	17.7	0.38
QA19-4	7.5	11600	55	30	12	21	7.3	4	2.8	27.5	0.33
QBe2	8.2	13300	120	100	2.5	20	14.6	12.2	2.4	24.2	0.34
BZn15-20	8.7	12600	38	14	35	13	4.4	1.6	1.5	19.1	0.37
NCu28-2.5-1.5	8.8	18000	45	24	25	17	5.1	2.7	1.9	26.5	0.34
ZZnAl4-1	6.7	13000	28		2		4.2			43.5	0.29
TC4	4.4	11300	95	85	10	35	21.6	19.3	8	132	0.19

各种合金的持久强度见图14·1-1, 各种材料加工硬化曲线见图14·1-2。

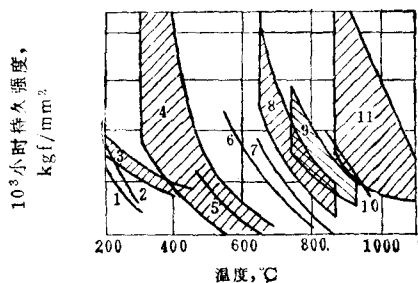


图14·1-1 各种合金的持久强度

1—钽合金 2—铝合金 3—铝(粉末冶金)
4—钛合金 5—碳钢 6—Cr19%、Ni9%
不锈钢 7—Cr17%、Ni12%、Mo2.5%
不锈钢 8—镍合金 9—钴合金 10—铬
合金 11—钼合金

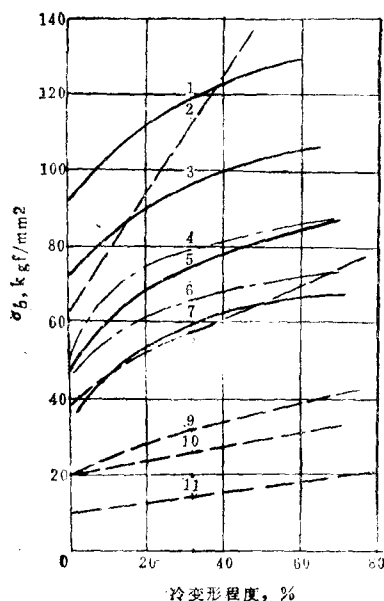


图14·1-2 各种材料加工硬化曲线

1—Ti-8Mn合金 2—18-8不锈钢 3—Ti-2Al-2Mn
合金 4—锆合金 5—纯钛(Ti>99.3%) 6—纯铅
7—纯钛(Ti>99.7%) 8—0.3%磷钢 9—纯铜
10—硬铝(LY12) 11—纯铝(A199)

3.2 耐蚀性能(表 14·1-8)

表14·1-8 常用合金耐蚀性能 (1个月内减重, mg/dm²)

合金种类	流水	100℃ 氧饱和蒸汽	海水	食醋	33% 醋酸	5% 柠檬酸	5% 氯化氢	10% 氯化镁	10% 硫酸钠	5% 硫酸镁	33% 氢氧化钠
99.6%纯铝	污染	氧化	污染	60	60	10	120	20	污染	10	71
硬铝	180	20	20	80	180	10	120	20	不腐蚀	10	74
纯铁	1610	10	360	1000	20230	10750	840	330	250	390	基本上 不腐蚀
3%镍钢	1350	30	450	440	5510	2830	1380	390	300	310	不腐蚀
30%镍钢	不腐蚀	30	不腐蚀	200	590	260	430	80	110	110	不腐蚀
13%铬钢	不腐蚀	10	不腐蚀	200	2320	4220	140	180	不腐蚀	130	不腐蚀
黄铜	氧化	20	基本上 不腐蚀	污染	550	370	490	70	10	20	不腐蚀
磷青铜	30	10	110	50	450	280	3050	40	基本上 不腐蚀	10	10
锰青铜	40	10	120	50	500	290	2100	40	污染	污染	10
铝青铜	污染	20	60	20	430	260	300	10	10	20	污染

3.3 被切削性能(图14.1-3)(表 14.1-9)

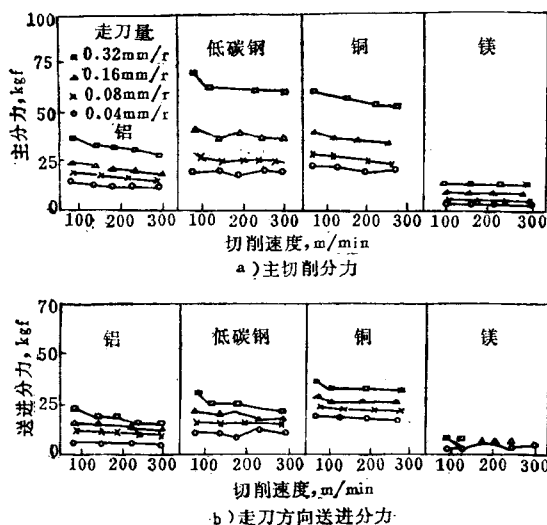


表14.1-9 金属材料车削数据的比较

材 料	进 刀 量 mm	切削速度 m/min	走 刀 量 mm/r
镁 合 金	12.7 以下	~305	0.13~2.5
铝 合 金	6.3	180~305	0.13~0.76
锌 合 金	6.3	75~180	0.13~1.5
钢	6.3	15~60	0.13~2.0
铸 铁	6.3	15~35	0.13~2.0

第2章 铝 及 其 合 金

1 铸造铝合金

1.1 分类、化学成分和用途

铸造铝合金按化学成分可分为：铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金(表14.2-1)。

好的铸造铝合金应有：适量的共晶体，以提高流动性和强度，防止产生冷裂纹和热裂纹；能用热处理或其他方法提高强度；有良好的耐蚀性和被切削性能。选用时，除保证使用性能外，应用工艺性能好的合金(表 14.2-2)。

1.1.1 铝硅合金

铝硅合金(又称硅铝明)为共晶类型合金(图14.2-1)。硅能提高合金强度和耐磨性。共晶合金中，硅成针状成长，易构成粗大组织。过共晶合金中，初晶硅为多角形板状，共晶体中硅为针状，组织粗糙，机械性能低。用钠或钠盐进行变质处理，共晶(或稍过共晶)合金组织由初晶 α 固溶体和细的共晶体所组成，类似为亚共晶合金组织。由

于初晶硅和粗大的共晶体被细化，抗拉强度和塑性亦随之有显著提高(图14.2-2)。用铈作变质剂，工艺简便，效果持续时间长，重熔时可少加或不再加铈进行变质处理。

含5%硅的二元合金(LT1)，强度不高，铸造工艺简单，形成疏松倾向小，耐蚀性好。多用作焊料。

ZL102合金的流动性好，液态吸气性大，凝固后生成大量分散气孔，使铸件密度和收缩率降低。要求高密度的重要铸件应除气或压力下结晶。

含15%硅以上的过共晶铝硅合金(表14.2-3)，耐磨性好，线胀系数小，有良好的流动性和抗裂纹性，可用制造发动机气缸体和活塞。

为了进一步提高铝硅合金强度，向亚共晶(4~10%硅)合金中加入形成强化相的合金元素铜和镁等，制成ZL101、ZL104、ZL105和ZL110等复杂合金，强度高，可热处理强化。

加入少量稀土金属，可细化组织，提高液态合金流动性，提高室温及高温性能。

杂质铁能形成片状或针状 $AlFeSi$ 化合物，

表14-2-1 铸造铝合金的化学成分

组别	代 号	主 要 成 分, %						杂 质 (不大于) %④							
		Si	Cu	Mg	Mn	其 他	Al	铁		Si	Zn	Sn	Pb	杂质总和	
								S	J					S	J
铝 硅 合 金	ZL101	6.0~8.0		0.2~0.4			余量	0.6	1.0	Cu0.2	0.3	0.01	0.05	1.2	1.6
	ZL102①	10.0~13.0					余量	0.8	1.0	Cu0.6	0.3			2.2	2.3
	ZL103	4.5~6.0	1.5~3.0	0.3~0.7	0.3~0.7		余量	0.6	1.2		0.3	0.01	0.05	1.2	1.8
	ZL104	8.0~10.5		0.17~0.3	0.2~0.5		余量	0.6	0.9	Cu0.3	0.3	0.01	0.05	1.2	1.5
	ZL105	4.5~5.5	1.0~1.5	0.35~0.6			余量	0.6	1.0		0.3	0.01	0.05	1.1	1.4
	ZL106	7.0~8.5	1.0~2.0	0.2~0.6	0.2~0.6		余量	0.6			0.2	0.01	0.05	1.0	
	ZL107	6.5~7.5	3.5~4.5				余量	0.5	0.6		0.3	0.01	0.05	1.0	1.2
	ZL108	11.0~13.0	1.0~2.0	0.4~1.0	0.3~0.9		余量		0.7	(Mn) 0.6②	1.0②	0.01	0.05		2.0
	ZL109	11.0~13.0	0.5~1.5	0.8~1.5		Ni0.5~1.5	余量		0.5		0.2	0.01	0.05		1.2
	ZL110	4.0~6.0	5.0~8.0	0.2~0.5			余量		0.8		0.6	0.01	0.05		2.7
	ZL111	8.0~10.0	1.3~1.8	0.4~0.6	0.1~0.35	Ti0.1~0.35	余量		0.4		0.1	0.01	0.05		1.0
铝 铜 合 金	ZL201		4.5~5.3		0.6~1.0	Ti0.15~0.35	余量	0.3		0.3	0.2	(Zr) 0.2		1.0	
	ZL202③		9.0~11.0				余量	1.0	1.2	1.2	0.8			2.8	3.0
	ZL203③		4.0~5.0				余量	0.8	1.0	1.5	0.35	0.01	0.05	2.2	2.5
铝 镁 合 金	ZL301			9.5~11.5			余量	0.3		0.3	0.1		0.05	1.3	
	ZL302	0.8~1.3		4.5~5.5	0.1~0.4		余量	0.5			0.2			0.7	
铝 锌 合 金	ZL401	6.0~8.0		0.1~0.3		Zn9.0~13.0	余量	0.8	1.2					1.8	2.0
	ZL402			0.3~0.8		Zn5.0~7.0 Ti0.1~0.4 Cr0.3~0.8	余量	0.5	0.8	0.3				1.5	1.8

- ① 制造在海水中工作的零件,铜含量不得超过0.3%。
② 不计入杂质总和之内。
③ 金属型铸造时,硅含量允许到3.0%。
④ 其他杂质未列入。

表14-2-2 铸造铝合金的特点和用途

代 号	主 要 特 点	用 途 举 例
ZL101	耐腐蚀性、机械性能和铸造工艺性能良好,线收缩小,变质和不变质处理的铸件均可使用,淬火后可自然时效,易气焊	形状复杂的砂型、金属型和压力铸造零件;如飞机零件、仪器零件、抽水机壳体,工作温度不超过185℃的气化器
ZL102	铸造工艺性能良好,比重小、耐蚀性良好、易气焊、随铸件壁厚增加强度降低的程度小,不能热处理强化,强度低,在铸件壁厚处易生成气孔,被切削性能不佳,变质处理状态下使用	形状复杂的砂型、金属型和压力铸造零件;如仪表壳体、抽水机壳体,工作温度在200℃以下要求高气密性承受低载荷的零件
ZL104	铸造工艺性能良好,耐蚀性尚可,强度高,焊接性能和被切削性能尚可,铸造工艺较复杂,易生成气孔	砂型、金属型和压力铸造的形状复杂,在200℃以下工作的零件,如发动机机匣、气缸体
ZL105	强度高,铸造性能、焊接性能和耐蚀性尚可,被切削性能比ZL104好,形成气孔的倾向比ZL102和ZL104小,塑性比ZL104低,可热处理强化	砂型、金属型和压力铸造的形状复杂在225℃以下工作的零件,如风冷发动机的气缸头,机匣、油泵壳体和仪器零件

(续)

代 号	主 要 特 点	用 途 举 例
ZL109	线胀系数小，强度高，耐磨性好，产生缩孔倾向较小，气密性较高，被切削性能差，可热处理强化	较高温度下工作的零件：如活塞
ZL110	铸造性能好，耐蚀性较差，被切削性能和焊接性能尚可，可热处理强化	砂型和金属型铸造的活塞及其他在高温下工作的零件
ZL201	铸造性能不好，合金有热裂和疏松倾向，气密性较差，耐蚀性低，焊接和被切削性能良好，可热处理强化	砂型铸造在175~300℃下工作的零件。如支臂、挂架梁
ZL203	铸造性能差，有形成热裂和疏松的倾向，气密性尚可，耐蚀性不高，被切削加工性能良好	砂型铸造中等载荷和形状比较简单的零件，如托架和工作温度不超过 200℃ 并要求被切削性能好的小零件
ZL301	强度高，耐蚀性能好，比重小，被切削性能好，焊接性能尚可，在熔融状态下易氧化，铸造性能差，易形成显微疏松，气密性低	砂型铸造在大气或海水中工作的零件，承受大摆动载荷工作温度不超过150℃的零件
ZL302	耐蚀性能好，铸造性能尚可，有氧化、吸气和形成缩孔的倾向，焊接性能良好，被切削性能好，易抛光，不能热处理强化	腐蚀介质作用下的中等载荷零件，在严寒大气中以及工作温度不超过 200℃ 的零件：如海轮配件、零件和各种壳体
ZL401	铸造性能良好，缩孔和热裂倾向较小，铸态下可自然时效，焊接性能和被切削性能良好，耐蚀性能低，比重较大，是一种铸态下高强度合金，砂型铸造须变质处理	压力铸造零件，工作温度不超过 200℃，结构形状复杂的汽车、飞机零件

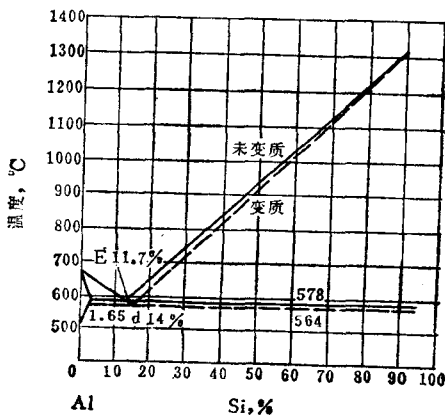


图14-2-1 铝硅合金相图

降低合金强度和塑性(图14-2-3)。加锰、铬或钴等能使 AlFeSi 化合物细化,提高塑性。因此,压力铸造和金属型铸造,杂质铁含量可比砂型铸造略高。

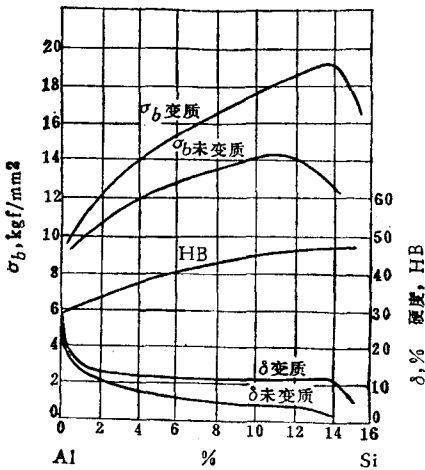


图14-2-2 铝硅合金机械性能

表14-2-3 过共晶铝硅合金常温机械性能举例

合 金 成 分 %				铸 造 方 法	σ_b kgf/mm ²	δ %	HB
Si	Cu	Mg	Ni				
23~25	0.8~1.3	0.8~1.3	0.8~1.3	金属型	18~22	0.1~0.3	90~125
20~22	1.4~1.8	0.4~0.8	1.4~1.6	金属型	18~22	0.1~0.5	90~125
17~19	0.8~1.5	0.8~1.3	0.8~1.3	金属型	18~22	0.2~0.7	90~125

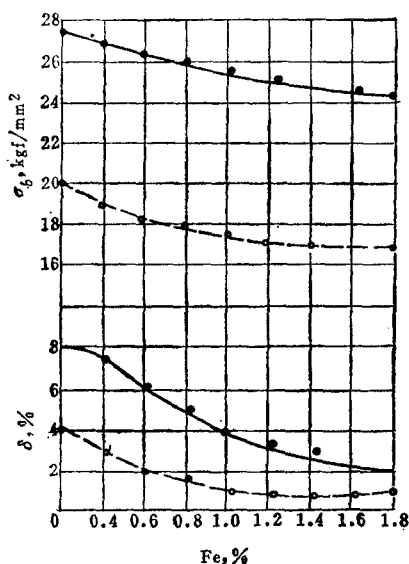


图14-2-3 ZL104合金机械性能与含铁量的关系
——热处理状态 ----铸造状态

1.1.2 铝铜合金

铝铜合金为共晶类型合金（图14-2-4）。理论上只有铜含量大于5.65%的合金才有共晶体，实际上，含2~3%铜的合金，由于不平衡冷却可能出现共晶体 $\alpha + \text{CuAl}_2(\theta)$ 。随着含铜量的增加，共晶体的量也增加。当含铜量超过10~12%之后，共晶体即呈封闭的网状，分布于 α 固溶体晶粒周围。呈网状分布的共晶体，虽然对室温强度提高不大，使延伸率降低，但对高温强度有好的影响。

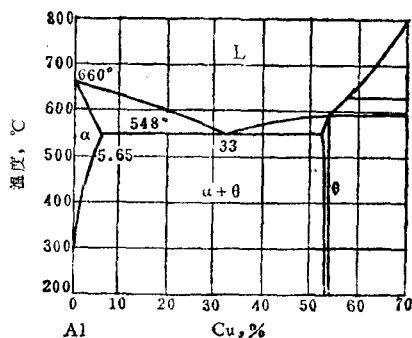


图14-2-4 铝铜合金相图

ZL203在淬火时效状态下，有较高的强度，可作结构材料用。ZL201室温下强度、塑性、耐热性都较好，可作300℃以下工作的零件。合金中杂质硅降低耐热性，铁降低强度。零件要求高强度时，铁含量不宜大于0.2%。合金中加钛细化组织，加锰提高再结晶温度、耐腐蚀性和机械性能。

ZL202含铜量高，塑性低，多用于高温下不受冲击的零件。

1.1.3 铝镁合金

铝镁合金的优点是耐蚀性好，强度大，比重小，缺点是流动性差，形成缩松倾向大，耐热性低，熔铸工艺复杂。

镁与铝形成 $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$ 化合物（图14-2-5）。镁在铝中室温溶解度随冷却速度不同而显著不同。缓冷时溶解度小于1%，铸造状态下能溶解3~6%。含镁小于3%的合金，退火组织是由不平衡的单相 α 固溶体组成。镁含量超过3%的合金，过饱和固溶体在室温中长期停放，或在100℃以下保温会析出 β 相。冷变形能加速其析出过程，析出的 β 相沿晶界形成网膜时，降低晶间腐蚀和应力腐蚀性能。铝镁合金时效强化效果小，为了提高强度和塑性，ZL301合金常在淬火状态下使用。

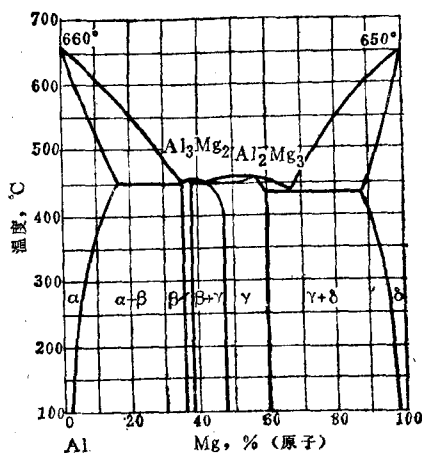


图14-2-5 铝镁合金相图

1.1.4 铝锌合金

锌在铝中溶解度大 (图 14·2-6)。锌含量大于 10% 能显著提高强度, 最大缺点是耐蚀性差, 有应力腐蚀破裂倾向, 铸造时易热裂, 比重大。因此, 常加入硅、铜、镁、铁和锰等元素改善其性能。

ZL401 又称“锌硅铝明”, 铸造性能好, 与 ZL102 和 ZL104 相似, 流动性好, 易充满铸型。缺点是形成气孔倾向大, 需变质处理。硅、铁、铜的含量少时, 易热裂, 不宜用金属型铸造。锌含量偏上限时, 强度大塑性低。锌含量偏下限时, 有中等强度和较高的塑性。合金的最大优点能自行淬火以及在铸态下有高的强度, 不热处理即可应用。为了消除铸造应力, 应进行稳定化处理。

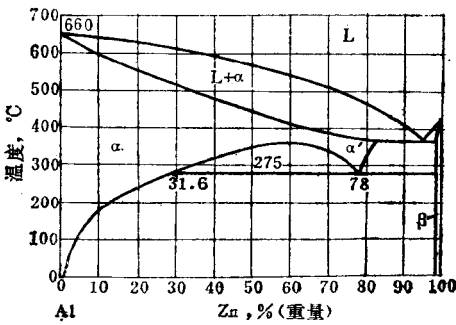


图14·2-6 铝锌合金相图

1.2 性能数据

1.2.1 机械性能 (表14·2-4~6)

表14·2-4 铸造铝合金机械性能

代 号	铸造方法	热 处 理 状 态	机 械 性 能 (不 小 于)			代 号	铸造方法	热 处 理 状 态	机 械 性 能 (不 小 于)		
			σ_b kgf/ mm ²	δ_5 %	HB				σ_b kgf/ mm ²	δ_5 %	HB
ZL101	S、J	—	16	2	50	ZL107	SB	—	17	2	65
	S、J	T2	14	2	45		SB	T6	25	2.5	90
	J	T4	19	4	50		J	—	20	2.5	70
	J	T4	18	4	50		J	T6	28	3	100
	J	T5	21	2	60	ZL108	J	T1	20	—	85
	S	T5	20	2	60		J	T6	26	—	90
	SB	T6	23	1	70	ZL109	J	T1	20	0.5	90
	SB	T7	20	2	60		J	T6	25	—	100
	SB	T8	16	3	55	ZL110	S	—	13	—	80
ZL102	SB、JB	—	15	4	50		J	—	16	—	80
	SB、JB	T2	14	4	50		S	T1	15	—	80
	J	—	16	2	50		J	T1	17	—	90
	J	T2	15	3	50	ZL111	J	—	21	2	80
ZL103	S	—	14	0.5	65		J	T6	32	2	100
	J	—	17	0.5	65	ZL201	S	T4	30	8	70
	S、J	T1	17	—	70		S	T5	34	4	90
	S、J	T2	15	1	65	ZL202	S、J	—	11	—	50
	S	T5	22	0.5	75		S、J	T6	17	—	100
	J	T5	25	0.5	75	ZL203	S	T4	20	6	60
	S、J	T7	21	1	70		J	T4	21	6	60
	S、J	T8	18	2	65		S	T5	22	3	70
ZL104	S、J	—	15	2	50		J	T5	23	3	70
	J	T1	20	1.5	70	ZL301	S	T4	28	9	60
	SB	T6	23	2	70		S、J	—	15	1	55
	J	T6	24	2	70	ZL401	S	T1	20	2	80
ZL105	S、J	T1	16	0.5	65		J	T1	25	1.5	90
	S	T5	20	1	70	ZL402	J	T1	24	4	70
	J	T5	24	0.5	70		S	T1	22	4	65
	S	T6	23	0.5	70						
	J	T7	18	1	65						
ZL106	SB	—	18	1	75						
	SB	T6	25	1	90						

注: ZL101、ZL102和 ZL104 合金可用于压力铸造。

表14-2-5 铸造铝合金高温机械性能

代 号	铸造方法 及热处理 种 类	高 温 短 时 强 度 kgf/mm^2						持久强度 kgf/mm^2 (100小时)			蠕变强度 kgf/mm^2 (300°C, 100小时)	
		100°C	150°C	175°C	200°C	250°C	300°C	200°C	250°C	300°C	总变形	残余变形
ZL101	S, T4 S, T5	18.0 —	16.0 —	— —	16.0 14.0	15.0 11.0	— 9.0	— 6.0	— 4.5	— 2.8	— —	— 1.2
ZL102	S, T2	—	—	—	15.0	13.0	8.0	7.0	4.0	2.8	—	1.2
ZL103	S, T5	—	—	—	18.0	15.0	10.0	9.0	6.0	3.5	—	2.5
ZL104	S, T6	22.0	19.0	18.0	16.0	11.0	10.0	8.0	5.0	2.5	1.0	—
ZL105	S, T5 S, T6	26.0 —	25.0 —	— —	22.0 18.0	18.0 15.0	13.0 11.0	8.0 9.0	4.0 6.0	2.4 3.5	1.5 —	— 2.4
ZL201	S, T4 S, T5	— —	— —	27.0 28.0	27.0 28.0	18.0 20.0	14.0 15.0	— 15.0	11.0 11.5	6.5 6.5	4.0 4.0	— —
ZL203	S, T4	25.0	24.0	—	21.0	15.0	—	—	—	—	—	—
ZL301	S, T4	—	—	—	22.0	15.0	9.0	8.0	4.0	1.5	—	1.0

表14-2-6 铸造铝合金低温机械性能

代 号	试验温度°C	σ_b kgf/mm^2	δ %
ZL102	-50	19.2	7.4
	-74	19.3	6.0
	-140	20.5	6.0
	-183	26.5	5.9
ZL104	-50	23.1	5.0
	-74	23.9	4.8
	-140	23.9	4.8
	-183	27.8	4.8
ZL302	-50	17.8	2.8
	-74	19.2	3.0
	-140	20.0	3.0
	-180	21.5	3.0

1.2.2 物理性能(表14-2-7)

表14-2-7 铸造铝合金物理性能

代号	密度 ρ g/cm^3	线胀系数 α (20~ 100°C) $10^{-6}/^\circ\text{C}$	导热系数 λ (25°C) $\text{cal}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C})$	比热 c (100°C) $\text{cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$	电阻率 ρ (20°C) $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
ZL101	2.66	23	0.36	0.21	0.0457
ZL102	2.65	21.1	0.37	0.2	0.0548
ZL103	2.7	22	0.39	0.22	0.0449
ZL104	2.65	21.7	0.35	0.18	0.0468
ZL105	2.68	23.1	0.38	0.2	0.0462
ZL109	2.68	19	0.28	0.23	0.0594
ZL110	2.89	22.3	—	0.23	0.0721
ZL201	2.78	19.5	0.27	0.20	0.0595
ZL202	2.91	22	0.32	0.23	0.0522
ZL203	2.8	23	0.37	0.2	0.0433
ZL301	2.55	24.5	0.22	0.25	0.0912
ZL302	2.6	20	0.3	0.23	0.0643
ZL401	2.94	24.5	—	0.21	—
ZL402	2.81	24.7	0.33	0.23	0.0493

1.2.3 耐腐蚀性能

ZL301 合金耐腐蚀性能好, 易于阳极化处理。有显著气孔时, 最好涂漆。

ZL101、ZL102、ZL104 及 ZL302 等合金耐腐蚀性能尚可。而 ZL103、ZL201 和 ZL203 等合金耐腐蚀性能较差。特别是 ZL201 和 ZL203 合金在人工时效状态, 耐腐蚀性能更差。使用时应进行表面处理或涂漆。

1.2.4 工艺参数

铸造铝合金的工艺性能比较见表 14-2-8。

铸造铝合金的机械性能与铸件直径(或厚度)有关。一般均随铸件直径的增大而降低(图 14-2-7)

表14-2-8 铸造铝合金工艺性能比较

代 号	流动性	抗形缩 孔倾向	气密性	抗形裂 纹倾向	抗形气 孔倾向	被切削 性能	焊接 性能	耐蚀 性能
ZL101	优	良	优	优	良	中	良	中
ZL102	优	良	优	优	中	劣	良	良
ZL103	良	良	良	中	良	中	良	差
ZL104	优	良	良	优	中	中	中	中
ZL105	良	良	良	良	良	中	良	中
ZL203	差	差	中	劣	中	良	良	差
ZL301	中	劣	劣	中	中	良	中	优
ZL302	中	差	差	中	中	良	良	良

及图14·2-8)。设计零件时,在满足性能要求的前提下,应尽量减小壁厚,外形简单,转角与交接处为圆弧并均匀过渡,零件的厚薄不宜急剧变化。铸造铝合金铸造工艺参数见表14·2-9。

表14-2-9 铸造铝合金铸造工艺参数

代 号	液相点 ℃	固相点 ℃	流动性 mm	浇注温度 ℃	收 缩 率 %
ZL101	620	577	271	690~740	1.1~1.2
ZL102	600	577	420	690~760	0.9~1.0
ZL103	616	577	—	720~750	1.30~1.35
ZL104	600	575	359	700~760	1.0~1.1
ZL105	622	570	344	700~750	1.15~1.2
ZL202	620	540	—	700~740	1.25~1.35
ZL203	630	540	163	700~750	1.35~1.45
ZL301	630	449	318	680~720	1.3~1.35
ZL302	650	550	322	680~730	1.25~1.3
ZL401	575	545	—	680~750	1.2~1.4

铸造铝合金铸件的组织粗糙,有严重偏析和粗大针状化合物(或中间相)存在,为了保证强化相能充分溶解,淬火前加热保温时间长。砂型铸件还要比金属型铸件加热时间长20~30%。

由于铸件形状复杂,热处理时,为了避免淬火时变形,可在温度比较高的水(50~100℃)或油中冷却。淬火后通常用人工时效,以保证高的强度和耐蚀性。也可用等温淬火,介质温度为200~250℃,随后空气冷却。

铸造合金中一般含有较高的合金元素和杂质,组织中低熔点共晶体较多,淬火加热时容易过烧,应严格遵守热处理工艺(表14·2-10)。

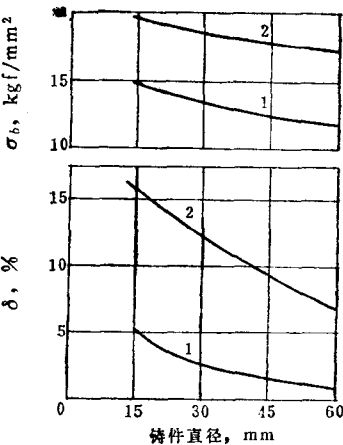


图14-2-7 ZL102合金的机械性能与铸件直径的关系
砂型铸造 1—未变质处理 2—变质处理

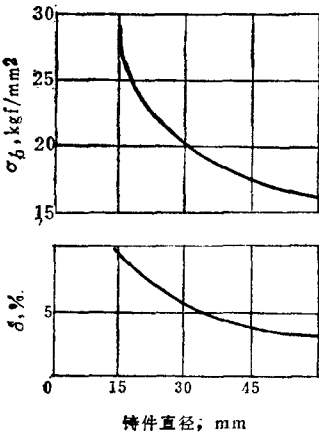


图14-2-8 ZL301合金的机械性能与铸件直径的关系
砂型铸造 T4 状态

表14-2-10 铝合金铸件热处理工艺参数

代 号	热 处 理 状 态	淬 火			时 效			用 途 举 例
		加热温度 ℃	保温时间 h	冷 却 (水中)	加热温度 ℃	保温时间 h	冷 却	
ZL101	T1	—	—	—	230±5	7~9	空冷	改善被切削性能
	T4	535±5	2~6	60~100℃	—	—	空冷	要求高塑性的零件
	T5	535±5	2~6	60~100℃	155±5	2~7	空冷	要求提高屈服强度和硬度的零件
	T6	535±5	2~6	60~100℃	225±5	7~9	空冷	要求高强度和高硬度的零件
	T7	535±5	2~6	60~100℃	250±5	2~4	空冷	
ZL102	T2	—	—	—	290±10	2~4	空冷	轻载荷的零件

(续)

代 号	热 处 理 状 态	淬 火			时 效			用 途 举 例
		加热温度 ℃	保温时间 h	冷 却 (水中)	加热温度 ℃	保温时间 h	冷 却	
ZL103	T1	—	—	—	180±5	3~5	空冷	轻载荷的零件
	T2	—	—	—	290±10	2~4	空冷	要求尺寸稳定并消除应力的零件
	T5	515±5	3~6	60~100℃	175±5	3~5	空冷	在低于175℃下工作重载荷的零件
	T7	515±5	3~6	60~100℃	230±5	3~5	空冷	在175~250℃工作的零件
	T8	510±5	5~6	60~100℃	330±5	3	空冷	要求有高塑性的零件
ZL104	T1	—	—	—	175±5	5~15	空冷	受中等载荷的零件
	T6	535±5	2~6	60~100℃	175±5	10~15	空冷	受重载荷的零件
ZL105	T1	—	—	—	180±5	5~10	空冷	受中等载荷的零件
	T5	525±5	3~5	100℃	160±5	3~5	空冷	受中等载荷的零件
	T6	525±5	3~5	60~100℃	180±5	5~10	空冷	受重载荷的零件
	T7	525±5	3~5	60~100℃	240±10	3~5	空冷	在较高温度下工作的零件：如汽缸头
ZL107	T6	515±5	10	60~100℃	155±5	10	空冷	—
ZL108	T1	—	—	—	200±10	10~14	空冷	—
	T6	515±5	3~8	60~80℃	205±5	6~10	空冷	重载荷高温下工作的零件：如大马力柴油机活塞
ZL109	T6	500±5	5	80℃	185±5	16	空冷	高温高速大马力活塞
ZL110	T1	—	—	—	210±10	10~16	空冷	高温下工作的活塞及其他零件
ZL201	T4	分级加热 535±5 } 545±5 }	7~9 7~9	60~100℃	—	—	—	要求高塑性的铸件
	T5	分级加热 535±5 } 545±5 }	7~9 7~9	60~100℃	175±5	3~5	空冷	要求高屈服极限的零件
ZL202	T2	—	—	—	290±10	3	空冷	消除应力稳定尺寸的零件
	T6	510±5	12	80~100℃	155±5(S) 175±5(J)	10~14 7~14	空冷	要求高强度高硬度的零件
	T7	510±5	3~5	80~100℃	200~250	3	空冷	高温下工作的零件：如活塞
ZL203	T4	515±5	10~15	60~100℃	—	—	—	要求高强度高塑性的零件
	T5	515±5	10~15	60~100℃	150±5	2~4	空冷	要求高屈服极限高硬度的零件
ZL301	T4	435±5	8~20	80~100℃ 或 60℃ 油	—	—	—	要求耐蚀和承受冲击载荷的零件
ZL302	T1	—	—	—	170±5	4~6	空冷	—
ZL401	T2	—	—	—	290±5	3	空冷	消除应力稳定尺寸的零件
ZL402	T1	—	—	—	180±5 或室温	10 21天	空冷	—

2 变形铝合金

2.1 分类、化学成分和用途

变形铝合金包括工业纯铝、防锈铝、硬铝、锻铝、超硬铝、特殊铝合金等(表14·2-11)。

表14-2-11 铝及铝合金加工产品代号和化学成分 (YB 604-66)

组别	代号	主 要 化 学 成 分 %										杂 质 % (不大于)						
		Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ni	Cr	Ti	Be	Al	Fe	Si	Fe+Si	其他杂质	杂质总含	
工业纯铝	L1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.7	0.16	0.16	0.26	—	0.30	
	L2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.6	0.25	0.20	0.36	—	0.40	
	L3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.5	0.30	0.30	0.45	—	0.50	
	L4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.3	0.30	0.35	0.60	0.1	0.7	
	L5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.0	0.50	0.50	0.90	—	1.0	
	L6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	98.8	0.50	0.55	1.0	0.1	1.2	
防锈铝	LF1	—	0.8~1.3	0.9~1.4	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.7	0.7	—	0.1	1.6	
	LF2	—	2.0~2.8	或Cr 0.15~0.4	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.4	0.4	0.6	0.1	0.8	
	LF3	—	3.2~3.8	0.3~0.6	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	—	—	0.1	0.85	
	LF5	—	4.0~5.5	0.3~0.6	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	—	
	LF6	—	5.8~6.8	0.5~0.8	—	—	—	—	—	0.02~0.10	0.0001~0.005	余量	0.4	0.4	—	0.1	—	
	LF7	—	6.0~7.5	0.3~0.6	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	—	—	
	LF10	—	4.7~5.7	0.2~0.6	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.4	0.4	0.6	0.1	1.1	
	LF11	—	4.8~5.5	0.3~0.6	—	—	—	—	—	0.02~0.10或 V0.02~0.20	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.35	
	LF21	—	—	1.0~1.6	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.7	0.6	—	0.1	1.75	
	硬 铝	LY1	2.2~3.0	0.2~0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.4
		LY2	2.6~3.2	2.0~2.4	0.45~0.7	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.3	0.3	—	0.1	0.8
LY3		2.6~3.5	0.3~0.7	0.5~0.8	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.1	
LY4		3.2~3.7	2.1~2.6	0.5~0.8	—	—	—	—	—	0.05~0.4	0.001~0.01	余量	0.3	0.3	—	0.1	0.8	
LY6		3.8~4.3	1.7~2.3	0.5~1.0	—	—	—	—	—	0.03~0.15	0.001~0.005	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.2	
LY7		3.3~4.7	0.4~0.9	0.4~0.9	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.8	0.8	—	—	1.75	
LY8		3.8~4.5	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.2	
LY9		3.8~4.5	1.2~1.6	0.3~0.7	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.2	
LY10		3.9~4.5	0.15~0.30	0.3~0.5	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.2	0.25	—	0.1	0.65	
LY11		3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.7	0.7	—	0.1	1.8	
LY12		3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.5	
LY13		4.0~5.0	0.3~0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	0.6	0.7	—	0.1	1.2	
LY16		6.0~7.0	—	0.4~0.8	—	—	—	—	—	0.1~0.2	—	余量	0.3	0.3	—	0.1	1.05	
LY17		6.0~7.0	0.25~0.45	0.4~0.8	—	—	—	—	—	0.0~0.2	—	余量	0.3	0.3	—	0.1	—	
锻 铝	LD1	—	0.3~0.8	—	—	0.4~0.8	—	—	—	—	—	余量	0.4	—	—	0.1	0.8	
	LD2	0.2~0.6	0.45~0.9	或Cr 0.15~0.35	—	0.5~1.2	—	—	—	—	—	余量	0.5	—	—	0.1	0.8	
	LD5	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8	—	0.7~1.2	—	—	—	—	—	余量	0.7	—	—	0.1	1.1	
	LD6	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8	—	0.7~1.2	—	—	—	—	—	余量	0.7	—	—	0.1	1.1	
	LD7	1.9~2.5	1.4~1.8	—	—	—	—	—	0.01~0.20	0.02~0.10	—	余量	—	0.35	—	0.1	0.95	
	LD8	1.9~2.5	1.4~1.8	—	1.0~1.5	—	—	—	—	—	—	余量	—	—	—	0.1	0.6	
	LD9	3.5~4.5	0.4~0.8	—	1.1~1.6	0.5~1.2	—	1.0~1.5	—	—	—	余量	—	—	—	0.1	0.6	
	LD10	3.9~4.8	0.4~0.8	—	0.5~1.0	0.5~1.2	—	1.8~2.3	—	—	—	余量	—	—	—	0.1	1.2	
	LC3	1.8~2.4	1.2~1.6	0.4~1.0	—	0.5~1.2	—	—	—	—	—	余量	0.7	—	—	0.1	—	
	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	—	—	—	6.0~6.7	—	—	0.02~0.08	—	余量	0.2	0.2	—	0.1	—	
超硬铝	LC5	0.3~1.0	1.2~2.0	0.3~0.8	—	—	5.0~7.0	—	0.10~0.25	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	1.1		
	LC6	2.2~2.8	2.5~3.2	0.2~0.5	—	—	7.0~8.0	—	—	—	余量	0.6	0.4	—	0.3	—		
	LC9	1.2~2.0	2.0~3.0	—	—	—	7.6~8.6	—	0.1~0.25	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	—		
	LC9	1.2~2.0	2.0~3.0	—	—	—	5.1~6.1	—	0.16~0.30	—	余量	0.5	0.5	—	0.1	—		
特殊铝	LT1	—	—	—	—	4.5~6.0	—	—	—	—	余量	0.6	—	—	0.1	0.9		