

有色金属铸造手册

(鋁、鎂合金異型鑄造)

[蘇] H·H·魯勃佐夫主編

机械工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

本手册阐述了铝、镁及其工业用合金的物理化学性质和机械性能；并援引了与这些合金异型铸件各种制造方法有关的一些资料。

本手册可供从事有色合金铸件生产的广大工程技术人员，工厂设计、工艺人员使用，也可供高等学校有关专业的学生参考。

И. Ф. Колобнев, В. В. Крымов,

А. П. Полянский

СПРАВОЧНИК ЛИТЕЙЩИКА

(Фасонное литье из алюминиевых
и магниевых сплавов)

МАШГИЗ 1957

(根据苏联国立机器制造科技书籍出版社一九五七年版译出)

* * *

有色金属铸造手册

(铝、镁合金异型铸造)

[苏] Н. Н. 鲁勃佐夫主编

И. Ф. 柯洛勃涅夫 В. В. 克雷莫夫

А. П. 波良斯基合著

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外南礼士路北口)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $10^{13/16}$ · 插页 2 · 字数 274 千字

1966年5月北京第一版·1966年5月北京第一次印刷

印数 0,001—6,000 · 定价 (科六) 2.10 元

*

统一书号: 15033 · 3722

毛主席語录

一切外国的东西，如同我們对于食物一样，必須經過自己的口腔咀嚼和胃腸运动，送进唾液胃液腸液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我們的身體有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

《新民主主义论》

目 次

第一篇 鋁合金異型鑄造

第一章 鑄造鋁合金的成分、組織與性質	1
1. 概論	1
2. 金屬鋁的性質	2
3. 鑄造鋁合金的分類	5
4. 高硅鑄造鋁合金	9
鋁-硅系二元合金	11
鋁-鎂-硅系三元合金	17
鋁-硅-銅系三元合金	23
鋁-硅-鎂-錳系四元合金	24
鋁-硅-鎂-銅系四元合金	27
5. 鎂含量超過4%的鋁合金	32
鋁-鎂系二元合金	32
鋁-鎂-硅系三元合金	38
6. 銅含量超過4%的鋁合金	41
7. 鋅含量超過3%的鋁合金	44
8. 供鑄造在高溫下工作之零件用的複雜成分合金	48
9. 鑄造鋁合金機械性能的比較	55
10. 鋁合金的高溫機械性能	60
11. 鑄造鋁合金顯微分析的特點	63
12. 鋁合金的鑄造工藝性能	72
流動性	73
收縮	75
合金形成熱裂紋的傾向	78
合金的氣密性	81
鑄件中合金形成氣孔的傾向	82
合金的機械性能隨鑄件厚度而變化的傾向	87

第二章 炉料及其计算	93
1. 炉料的基本性质	93
2. 炉料的计算方法	94
额定化学成分符合 AJ13 及 B9 合金的复杂成分炉料计算	95
3. 精炼剂和变质剂	101
铝合金的变质剂	102
第三章 铝合金的熔炼	104
1. 铝合金熔炼炉	104
坩埚炉	104
熔池式火焰反射炉	110
电阻炉	115
电阻炉的炉衬	119
熔炼铝及其合金的感应炉	120
2. 铝合金的熔炼操作	124
开炉	125
装料	125
3. 中间合金的熔制	126
中间合金质量的检验	129
4. 铝合金的熔制	129
5. 金属液的精炼和除气	132
6. 硅铝明的变质处理	134
金属液质量的检验	136
7. 铝合金废料的重熔	136
废料的数量及分类	136
小块废料的预先加工	140
切屑及锯屑的重熔炼	144
重熔轻合金切屑的机械化装置的特性	144
第四章 造型的特点与造型材料	148
1. 铸造铝合金用的浇注系统的特点	148
2. 铸铝用的型砂和型芯砂及型芯的特性	155
铸造铝合金用型砂的制备特点	159
3. 配制型砂的主要工序	159
型芯砂的配制	160

4. 鋁合金鑄造時造型和鑄型裝配的特點	161
裝配干型鑄型的例子	165
第五章 鑄型澆注與鋁合金鑄件的整修	168
1. 合金澆注的特點	168
2. 殼型鑄造	168
3. 落箱的特點	170
4. 鑄件整修的特點	170
鑄件表面的預先加工	170
澆冒口的切割	171
鑄件的噴砂清理	173
鑄件的整修與清理	173
鉗工工作	173
第六章 鑄件的檢驗與廢品防止法	174
第七章 鋁合金鑄件的热处理	180
1. 总論	180
2. 鑄件熱處理方式的分类	180
第一类退火	180
第二类退火	181
淬火	181
回火	181
化学熱處理	181
3. 鋁合金鑄件熱處理規范的分类	181
熱處理過程的簡述	181
4. 零件熱處理的主要工序	189
5. 某些合金在熱處理過程中強化與軟化的机理	190
6. 鑄造鋁合金熱處理用設備的簡要說明	196
第二篇 鎂合金異型鑄造	
第一章 鑄造鎂合金的成分、組織與性質	199
1. 概論	199
2. 鎂合金在各工業部門中的應用	199
3. 金屬鎂的性質	201
4. 二元鑄造鎂合金的結構和某些性質	202

5. 三元鎂合金的結構与某些性质	212
6. 鎂合金金相分析的特点	220
7. 标准鑄造鎂合金的成分和性质	223
工业鑄造鎂合金在室溫时的性质	223
鎂合金在高温下的机械性能	230
第二章 配料	237
1. 金屬料	237
2. 熔炼鎂合金用的非金屬材料	241
熔剂	241
熔炼鎂合金用的变质剂	248
鎂合金鑄造时用的隔离剂	248
第三章 鎂合金的熔炼与澆注	249
1. 熔炼方法	249
2. 备用合金和中间合金的熔制	252
3. 工作合金的熔制	254
4. 鎂合金的变质处理	257
5. 鑄型的澆注	258
第四章 鑄造鎂合金用造型材料的特性和造型特点	261
1. 对鎂鑄件用型砂和芯砂的要求	261
2. 确定澆注系統各构件的形状和尺寸及其在鑄型中的位置	273
确定直澆口的数目和截面积	273
确定横澆口的尺寸	277
确定水平内澆口的尺寸	278
确定垂直縫 (内澆口) 的尺寸	278
确定垂直内澆口 (垂直集渣筒) 的尺寸	279
3. 鎂合金鑄造时造型和鑄型装配的特点	279
4. 型芯的制造和干燥的特点	279
第五章 鎂合金鑄件的热处理	281
1. 鎂合金热处理的种类和用途	281
2. 鎂合金鑄件加热用主要设备的特性	281
3. 鎂合金鑄件的热处理规范	281
第六章 鎂合金鑄件的缺陷及其預防措施	287

第七章	鎂合金鑄件的檢驗方法	293
第八章	鎂合金零件制造中的安全技术和工业卫生的基本 問題	296

第三篇 輕合金特种鑄造

第一章	輕合金硬模鑄造	305
1.	硬模鑄造的优缺点	305
2.	設計輕合金硬模鑄件的主要数据	306
3.	硬模的結構与制造	308
4.	硬模鑄造工艺	312
5.	硬模鑄造时的缺陷及其防止方法	317
第二章	輕合金压鑄	319
1.	压鑄法的优缺点	319
2.	压鑄机的簡略規格	321
3.	压鑄型	324
4.	压鑄工艺	325
5.	压鑄的缺陷及其防止方法	330
第三章	輕合金离心鑄造	331
	参考文献	335

第一篇 鋁合金異型鑄造

第一章 鑄造鋁合金的成分、組織與性質

1 概 論

鑄造鋁合金用于生產各種不同複雜程度的成型零件。

鋁合金具有許多特性，其中首先應當指出的是流動性大，可以獲得非常精緻的薄壁鑄件。

純鋁就沒有這個特性，加上強度低，只有在很少的情況下才用來鑄造成型零件。例如，鑄造化學設備和電工儀表的零件。

鋁合金還保持着純鋁所具有的主要而良好的物理-化學性質 [6][15][17][21][23][37][38][42]。

大多數鋁合金的機械性能（抗拉強度極限、屈服極限、布氏硬度、延伸率等）依據合金的化學成分、鑄造方法和熱處理種類的不不同而顯著變動。

但是這些合金的主要彈性（法向彈性模數 E 、切變彈性模數 G 和波桑系數 μ ）在各種因素的影響下變化不大。

鑄造鋁合金的優點是：

- 1) 工藝性能良好——流動性大（實際上任何複雜程度的鑄件都可以成型）、綫收縮較小、切削加工性令人滿意；
- 2) 單位强度高；
- 3) 耐蝕性好；
- 4) 導熱性足夠好；
- 5) 導電性高。

鋁的世界產量增長速度如下：

年份	1825	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1943	1957
產量 (噸)	几公斤	75	200	11000	50000	150000	270000	750000	1956000	3000000 以上

在國民經濟各部門，特別在航空工業中，鋁合金有着廣泛的應用，這是因為鋁合金的單位強度超過了碳素鋼的單位強度，而且資源豐富（地殼中鋁含量為 7.5%）。

應當指出，鋁在各生產部門中的應用推廣程度，不僅取決於各種工業的需要，而且取決於鋁及其合金的製備工藝的改進。

沒有鋁及其合金的運用，無論是航空工業、電氣工業或是陸路運輸業，都不可能有發展。

2 金屬鋁的性質

自然界中，鋁呈各種化合物狀態存在：剛玉(Al_2O_3)，長石或矽酸鹽，例如，正長石($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)、霞石[(Na, K) $_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$]、尖晶石($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{R}_n\text{O}_m$)、高嶺土($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、冰晶石($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$)、鋁礞土($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)等[4]。

金屬鋁（純度 99.75%）的密度根據溫度不同[34]具有下列數值：

溫度 (°C)	密度(克/厘米 ³)	溫度 (°C)	密度(克/厘米 ³)
20	2.703	659(液體)	2.382
100	2.69	700	2.371
400	2.62	900	2.316
659(固體)	2.55	1100	2.262

鋁是三價元素，原子半徑為 1.043 Å。結晶結構為面心立方點陣，晶胞中有 14 個原子●，點陣常數隨鋁的純度不同而在 4.041~4.047 Å 範圍內變動。

鋁的粘度在不同溫度下的數值如下[32]：

溫度 (°C)	720	730	765	800
粘度 (泊)	0.0231	0.02096	0.0185	0.01392

鋁的表面張力在 720~800°C 溫度範圍內為 520 達因/厘米。

鋁的熔點根據純度不同在 657~660°C 之間變動，沸點約為 1800~2000°C。熔化潛熱等於 93.96 卡/克，蒸發潛熱為 2200 卡/克。

鋁的鑄態機械性能數值如下：

抗拉強度極限	$\sigma_b = 5 \sim 12$ 公斤/毫米 ²
屈服極限	$\sigma_s = 4 \sim 9$ 公斤/毫米 ²
彈性極限	$\sigma_l = 3 \sim 5$ 公斤/毫米 ²
延伸率	$\delta_5 = 10 \sim 25\%$
布氏硬度	$H_B = 25 \sim 35$ 公斤/毫米 ²
沖擊韌性	$\alpha_k = 30 \sim 35$ 公斤·米/厘米 ²
抗剪強度	$\tau_b = 5 \sim 8$ 公斤/毫米 ²
彈性模數	$E = 6650 \sim 7300$ 公斤/毫米 ²

鋁的化學活性極大，很易使大多數金屬氧化物還原，能同鹵素化合 ($AlCl_3$, AlI_3 , $AlBr_3$)，在高溫下則同硫、氮、磷、氫及碳化合。同鹼起反應便生成鋁酸鹽。鋁很容易氧化，但氧化膜非常致密，防止了鋁繼續氧化。

鋁的比熱和溫度的關係[34]

溫度 (°C)	比熱(卡/克·度)	溫度 (°C)	比熱(卡/克·度)
-253.9	0.0024	+ 200	0.2374
-184.7	0.0967	+ 400	0.2529
-114.3	0.1709	+ 657(固體)	0.2727
- 81.5	0.1867	+ 657(液體)	0.02502
+ 0.1	0.2096	+ 800	0.2571
+ 97.5	0.2248	+1000	0.2667

● 原文如此。實際上，屬於每個晶胞的原子數是 4 個。——校者

鋁的热导率和溫度的关系[34]

溫度 (°C)	热导率 (卡/厘米·秒·°C)	溫度 (°C)	热导率 (卡/厘米·秒·°C)
-150	0.508	+100	0.503
-100	0.492	+200	0.530
-50	0.496	+400	0.546
+20	0.503		

不同溫度时鋁的綫膨脹系数[34]

溫度 (°C)	綫膨脹系数 $\times 10^{-6}$	溫度 (°C)	綫膨脹系数 $\times 10^{-6}$
20~100	23.8	300~400	29.5
100~200	25.5	400~500	31.5
200~300	27.5		

鋁的电导率和溫度的关系[34]

溫度 (°C)	电导率 (欧姆 ⁻¹ × 厘米 ⁻¹ × 10 ⁻⁴)	溫度 (°C)	电导率 (欧姆 ⁻¹ × 厘米 ⁻¹ × 10 ⁻⁴)
-189	156	+100	25.9
-100	65.2	+400	12.5
0	38.2		

各种杂质以及添加剂在固体鋁中的溶解度示于图1。各种气体 (H₂、CH₄、CO等) 亦能溶解于鋁，而且氫气溶解得最多。

氫在鋁中的溶解度和溫度的关系可由下列数字說明。

溫度 (°C)	氫的溶解度 (厘米 ³ /100克)	溫度 (°C)	氫的溶解度 (厘米 ³ /100克)
300	0.001	660(液体)	0.69
400	0.005	700	0.92
500	0.0125	800	1.67
600	0.026	850	2.1
660(固体)	0.036		

碱金屬和碱土金屬 (K、Na、Li、Ca) 的杂质能增大吸氫程度，从而增大了鋁鑄件的孔隙度。

合金含有硅時，鑄件的孔隙度也增大。添加銅、錳、鈮、鎳、鐵、鉻及鈮等元素，則可減小鑄件的孔隙度。

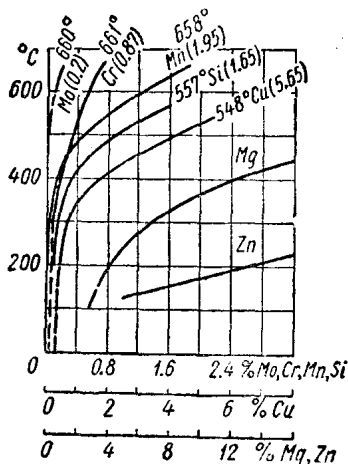


图1 各种合金元素在固态铝内的溶解度变化和温度的关系。

硫或二氧化硫(燃料燃燒的产物)能同铝生成硫化铝(Al_2S_3)。在 1100°C 以下硫化铝呈固态存在，但是其比重小 (2.0)，当铝合金在普通条件下熔炼时，它实际上不影响鑄件的孔隙度。氮、磷和碳的作用与之大致相同。氮同铝生成固态氮化铝 (AlN)，磷同铝生成几种化合物 (Al_3P_7 ; Al_5P_3 ; AlP ; Al_3P)，碳同铝则生成碳化铝 (Al_4C_3)。所有这些化合物都不溶解于液体铝，而且比重比铝小得多，可以采用精炼方法把此类非金属夹杂物从溶液中除掉。应当指出，铝中含有的上述化合物如在万分之几的范围内，则对铝的机械性能几乎无影响。

3 鑄造鋁合金的分類

按由合金組元的本性所決定的物理-化學性質，所有標準鑄造鋁合金可分為五大類(表1)。

鑄造鋁合金的化學成分列於表2。

表 1 主要的标准铝合金的分类

类别	合金系	典型合金牌号	合金的特性
I	Al—Si	AJ12	含 Si 5% 以上的合金具有良好的铸造性能——线收缩小、流动性大、气密性好、热裂倾向小
	Al—Si—Mg	AJ19	
	Al—Si—Mg—Mn	AJ14	
	Al—Si—Cu—Mg	AJ15	
	Al—Si—Cu—Mg—Mn	AJ13	
II	Al—Mg	AJ18	含 Mg 4% 以上的合金，比重最小，有优良的耐蚀性（对大气和海水）
	Al—Mg—Mn—Si	AJ13	
	Al—Mg—Si—Be—Ti	Bn-11-3	
III	Al—Cu	AJ17, AJ112	高铜含量（超过4%）的合金，铸造性能较差，耐蚀性最差
	Al—Cu—Si	AJ17B	
IV	Al—Si—Zn—Mg	AJ11	高锌含量（超过4%）的合金，比重大，铸态机械性能高
	Al—Zn—Mg—Cu	B-15	
V	Al—Cu—Mg—Ni	AJ11	耐热强度大，铸造性能差（易热裂）
	Al—Si—Cu—Ni—Fe	RR53	
	Al—Cu—Mg—Ni—Cr—Mn	B300	
	Al—Cu—Si—Mg—Fe—Cr—Mn	B14A	

表 2 鑄造鋁合金的化學成分 (%)

合金牌號	主要組元 (含量為鋁)					雜 質 (不多于)										計算雜質总量		
	Mg	Si	Mn	Cu	其他組元	鐵		Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Sn	Ni	Ti			
						3	Π											
AJ11	1.25~1.75	—	—	3.75~4.5	Ni 1.75~2.25	0.8	0.8	—	0.7	—	—	0.3	—	—	—	1.5	1.5	—
AJ12	—	10.0~13.0	—	—	—	0.8	1.0	1.5	—	—	0.5	0.8	0.3	—	—	2.2	2.3	2.8
AJ13	0.2~0.8	4.0~6.0	0.2~0.8	1.5~3.5	—	1.0	1.2	1.5	—	—	—	0.30.01	—	—	—	1.3	1.5	1.8
AJ13B	0.2~0.8	4.0~6.0	0.2~0.8	1.5~3.5	—	1.1	1.3	1.5	—	—	—	0.5	0.5	—	—	2.0	2.1	2.3
AJ14	0.17~0.30	8.0~10.5	0.25~0.5	—	—	0.6	0.9	1.2	—	—	0.3	0.30.01	—	0.15	—	1.1	1.4	1.7
AJ14B	0.2~0.4	8.0~11.0	0.2~0.5	—	—	0.9	1.2	1.5	—	—	1.0	0.5	0.3	—	—	2.6	2.8	3.0
AJ15	0.35~0.6	4.5~5.5	—	1.0~2.0	—	0.6	1.0	1.5	—	—	0.5	0.30.1	—	Ti+Cr 0.20	—	1.0	1.3	1.7
AJ16	—	4.5~6.0	—	3.0~5.0	—	1.1	1.4	0.1	—	—	0.3	0.3	—	—	—	1.8	2.0	—
AJ17	—	—	—	4.0~5.0	—	1.0	1.0	0.03	1.2	—	—	0.3	—	—	—	2.2	2.2	—
AJ17B	—	—	—	3.0~5.0	—	1.1	1.3	0.3	1.5	0.5	—	0.5	0.3	—	—	4.0	4.2	—
AJ18	9.5~11.5	—	—	—	—	0.3	0.3	—	0.3	0.1	0.3	0.1	—	Ti0.07 Be0.07	—	1.1	1.1	—
AJ19	0.2~0.4	6.0~8.0	—	—	—	0.6	1.0	1.5	—	—	0.5	0.2	0.30.01	—	—	1.0	1.4	1.9
AJ19B	0.2~0.5	6.0~8.0	—	—	—	1.1	1.2	—	—	—	0.6	1.5	0.5	0.3	—	3.7	3.8	—
AJ110B	0.2~0.5	4.0~6.0	—	5.0~8.0	—	1.2	1.5	—	—	—	0.5	0.6	0.6	0.5	—	2.5	2.7	—

(續)

合金牌号	主要組元 (余量为額)					雜 質 (不多于)										計算杂质总量		
	Mg	Si	Mn	Cu	其他組元	鐵		Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Sn	Ni	Ti	3	K	Al
						3	Al											
AJ11	0.1~0.3	6.0~8.0	—	—	Zn 10~14.0	0.8	1.2	—	—	0.5	0.6	—	—	—	—	1.8	2.0	—
AJ12	—	—	—	9.0~11.0	—	1.0	1.2	—	1.0	—	—	0.5	—	—	—	2.8	3.0	—
AJ13	4.5~5.5	0.8~1.3	0.1~0.4	—	—	0.5	—	—	—	0.1	0.2	—	—	—	—	0.6	—	—
AJ14B	0.2~0.6	6.0~8.0	0.2~0.6	1.5~3.0	—	1.1	1.5	—	—	—	0.5	—	0.3	—	—	1.8	2.6	—
AJ15B	—	3.0~5.0	0.2~0.6	3.5~5.0	—	1.2	1.3	0.5	—	—	2.0	—	0.5	—	—	4.0	4.1	—
AJ16B	—	3.0~5.0	0.2~0.5	2.0~4.0	Zn	1.1	1.2	0.3	—	—	—	—	0.3	—	—	1.7	1.8	—
AJ17B	—	3.0~5.0	0.2~0.6	1.5~3.5	Zn	1.1	1.2	0.3	—	—	—	—	0.3	—	—	1.7	1.8	—
AJ18B	—	1.5~5.0	0.3~0.8	7.5~9.5	Fe	—	—	0.8	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—
B#-11-3	10.5~13	0.8~1.5	—	—	—	0.5	1.0	1.5	—	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—
B-15	1.4~1.75	—	0.2~0.3	0.3~0.6	Zn	0.3	0.5	0.7	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 合金牌号中的字母“B”表示由鑄造铝合金錠(按ГОСТ 1583-53)製造的鑄件。表内“鉄含量”栏内字母表示不同的鑄造方法: 3—砂型鑄造, K—硬模鑄造, Al—压铸。

1. AJ12应用于海水介质的零件时, 杂质銅不应超过0.3%。
2. AJ13B应用于需要塑性的机器零件或仪表零件时, 鉄含量应为0.25~0.5%, 錳含量为0.2~0.6%。
3. AJ14用砂型鑄造时, 在延伸率为2%已足够的场合下, 鉄含量可允許增至0.7%。
4. AJ15中鉄、錳和錳含量总和不应超过0.5%。
5. AJ17和AJ17B用硬模鑄造时, 錳含量可控制在3%以下。
6. AJ11用压铸时, 允許不含錳而錳含量为8~12%。
7. AJ13B, AJ19B及AJ14B用于製造食品器皿时, 鉛含量不得超过0.15%, 錳含量不应大于0.015%。
8. B#-11-3合金是航空工业部(MAII)规定的标准, 而AJ11~AJ118B合金是ГОСТ 2685-53的标准。