
有色金属铸造原理

陶令桓、荣 科、孙凯南、肖柯则 编译



机械工业出版社

有 色 金 屬 鑄 造 原 理

陶令桓、荣 科、孙凱南、肖柯則 編譯



机械工业出版社

1960

出版者的話

本書是以 A. J. Murphy 主編的 [Non-Ferrous Foundry Metallurgy] 一書为基础，并参考其他一些国内外資料編写而成。書中尽可能地編入了近二十年来在有色金屬鑄造方面的理論研究和实际工作經驗。其中叙述了：有色金屬的性質；气体在有色金屬中的溶解；金屬的凝固和結晶；鑄件和鑄錠的熔煉工艺及設備；鑄件的性質和无損檢驗。最后还闡述了工业上常用的一些有色金屬的特性和鑄造要点。

本書可供从事鑄造生产工作的工程技术人員、研究人員及大專学校鑄造专业的师生参考。

書中的金相圖全部印于書后。

NO. 2647

1960年1月第一版 1960年1月第一版第一次印刷

787×1092¹/₂₅ 字数 407 千字 印張18⁸/₂₅ 插頁14 0,001—4,050

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(11) 3.00 元

序 言

本書是以英國 A. J. Murphy 等十五人集體創作的“Non-Ferrous Foundry Metallurgy”一書為主，並參考其他有關資料編譯而成。A. J. Murphy 等人是對有色金屬冶金學和鑄造有研究並富有經驗的人。

在世界各工業國中，有色金屬鑄件一般均只占全部鑄件總重的 6% 左右，數量雖小，但其工業意義卻越來越重要。近二十年來，已對有色金屬和合金給予了較多的注意和研究，因而在理論上奠定了一些基礎，在實踐中也獲得了新的發展。本書就是根據這些研究成果和實際工作經驗編譯的，首先敘述了與鑄造有密切關係的金屬的若干性質（第一、二章）；接着闡明了有色金屬的兩大根本問題——氣體在液態金屬中的溶解以及金屬的凝固和結晶（第三、四章）；然後在第五章中，概要地敘述了鑄件與鑄錠的生產工藝及熔煉設備；在第六章中，討論了鑄件的性質和無損檢驗方法；在第七章中，闡述了工業上最常用的一些有色合金的特性和鑄造要點。

儘管已經把書的內容相當嚴格地限制在有色金屬鑄造冶金學這一比較窄的範圍內，儘管書的篇幅已經不小，但仍然不可能把每一個問題都論述得很詳盡。同時，編譯者因時間與水平所限，未能把內容編寫得更緊湊，把理論與實踐結合得更緊密，使讀者更易于閱讀和掌握。缺點與錯誤在所難免，尚祈讀者指正和批評。

本書有助於工廠企業中從事有色金屬鑄造的工程技術人員提高或鞏固理論水平，改進實際工作，並可作為高等學校機械製造系或冶金系學生學習鑄造原理時的參考書。本書對鑄造研究人員也有相當的參考價值。

目 次

序言	
第一章 金属与合金在液态和固态时的性质概论	7
1-1 液态性质	7
1-2 固态性质	14
1-3 机械性能	23
第二章 液态金属的若干性质	32
1 熔融金属的氧化与金属在熔化时的损耗	32
2 熔融合金的氧化	38
3 熔融金属与非气体物质的反应	38
4 金属的还原, 熔融金属中悬浊物的清除	42
5 液体金属的粘性及其在铸造生产上的意义	43
2-6 液体金属的表面张力	45
2-7 液体金属的流动性	50
2-8 熔融金属的蒸汽压力	52
第三章 金属中的气体	56
3-1 气体的来源	56
3-2 影响金属中气体溶解的因素	64
3-3 化合(复合)气体在金属中的溶解	70
3-4 气体在一些重要金属中的溶解度	72
3-5 化学反应产生的气孔	81
3-6 气体在固体及液体金属中的扩散	85
3-7 金属中放出气体的条件	88
3-8 去除熔融金属中的气体的方法	94
3-9 气体对金属性质的影响	101
第四章 金属的凝固	116
4-1 液态金属的结构	116
4-2 纯金属的宏观组织	117
4-3 合金的宏观组织	114
4-4 晶粒的细化及外来晶核的影响	116
4-5 铸造金属中的枝晶及择优取向	125

再結晶与晶粒長大	124
微觀組織	125
共晶体的組織	126
初次化合物及二次析离	131
4-10 凝固时的容积变化	132
4-11 縮孔	133
4-12 在局部热結点处縮孔的集中	138
4-13 外部收縮	139
4-14 热裂	139
4-15 內应力	142
4-16 逆向偏析	142
4-17 减少鑄件收縮缺陷的方法	146
4-18 鑄件的晶粒大小对多孔性的影响	157
第五章, 有色合金鑄造工艺	161
鑄件生产	161
5-1 耐火材料	161
5-2 鑄造方法	169
5-3 砂型鑄造	170
5-4 鑄造用砂	173
5-5 澆注系统与冒口的設計	185
5-6 鑄件缺陷及其分析	190
5-7 鑄件补漏	191
5-8 壳型鑄造	192
5-9 石膏型鑄造	194
5-10 熔模(失腊)鑄造	194
5-11 金屬型鑄造	201
5-12 离心鑄造	214
鑄錠生产	216
5-13 不連續鑄錠法	216
5-14 半連續和連續鑄錠法	223
5-15 有色金屬錠的生产	227
有色金屬与合金的工业用爐	230
5-16 熔爐分类	230

第六章 鑄件的性能及檢驗	
6-1 生产合格鑄件的冶金原理	
6-2 檢驗鑄件机械性能的目的和方法	
6-3 鑄件性質不稳定的原因	
6-4 鑄件各部机械性能的差別	286
6-5 使用条件对鑄件寿命的影响	268
6-6 測量气体含量的方法	287
6-7 真空凝固法測量气体	287
6-8 气孔率法測量气体	282
6-9 机械加工集气法測量气体	284
6-10 在中性气体或真空中抽气法測量气体	283
6-11 离子轟击真空抽气法測量气体	289
6-12 还原法測量气体	290
6-13 化学方法測量气体	294
6-14 鑄件的无损檢驗	293
6-15 X及 γ 射綫探伤法	295
6-16 射綫之产生	293
6-17 X射綫荧光屏透視探伤法	295
6-18 X及 γ 射綫照相探伤法	303
6-19 射綫之防护	315
6-20 超声波探伤法	316
6-21 檢驗表面缺陷的方法	318
第七章 鑄造合金	321
7-1 銅基合金	321
7-2 鋳基合金	368
7-3 鋁基合金	381
7-4 鎂基合金	407
7-5 鋅基合金	429
7-6 鉛基合金、錫基合金及軸承合金	445

第一章 金屬与合金在液态和固态时的性質概論

本章簡要地叙述金屬与合金的主要性質、它們对熔化与鑄造操作的意义以及对鑄件特性的影响。不准备提供各种性質的全套数据,而是着重在有关数量的量序以及它們在鑄造用的主要金屬与合金中的变化范围。将这些数值与物理定律联系起来,人們就能掌握一般規律,借以指导和解决某些新的技术問題。

表 1-1~1-8 列有 21 种純金屬及 35 种鑄造合金(不包括鍛压加工用的鑄錠合金)的性質,表中所列数据并非是完全绝对的,尤其关于机械性質方面的数据(表 7, 8)即在本書范围内,前后也可能有一定的差别。以下按液态与固态性質分別加以討論。

1-1 液态性質

1. 熔点与熔化潜热(表 1) 純金屬的熔点相差很悬殊,表中所列金屬的熔点范围是从錫的 232°C 到鉻的 1845°C 。純金屬在恒温下熔化与凝固,但大多数合金則在一个温度范围内进行熔化与凝固,凝固范围視具体合金系統以及合金元素的含量而定。例如,在合金系統中溶媒元素的原子价愈高,与溶質元素的原子价相差愈大,則固相綫与液相綫的坡度愈陡,但由于对固相綫的坡度影响更大,致使凝固范围增大。又如溶媒与溶質的原子体积相差愈大,則合金的凝固范围也愈

Cu-Zn 合金就比 Cu-Sn、Cu-Sb 等合金的凝固范围要窄。

凝固范围的寬窄决定着鑄件的凝固机构、宏观組織以及縮松的类

型工艺上的重要性。寬的凝固范围导致“粘糊状”凝

固,縮松与縮孔。窄的凝固范围有利于粒状結晶和

其差也很大,从鉛的 $5.7^{\circ}\text{C}/\text{克}$ 到硅的 393

詞对合金并不适用,因为由于 熔化

表1-1 在熔融状态下的性質

金屬或合金	熔点或凝固 温度范围°C	熔 化 潜 热 卡/克	密 度 (熔 融状态) 克/厘米 ³	凝固时的 体 积 收 缩 %	沸 点 °C	汽 化 潜 热 卡/克	在蒸汽压 力等于1 毫米时的 温度°C
鋁 Al	660.2	93	2.40	(6.0)	(2500)	2570	(1600)
+4%Mg	579~641	(93)					
+10%Mg	499~621	(93)					
+5%Si	577~629	(93)					
+12%Si	574~584	(93)					
+12%Si+1Cu+1 Ni+1Mg+0.5Fe (低膨胀合金)	562						
+12%Si+0.35Mg +0.28Fe+0.3Mn							
+5%Si+1.25Cu+ 0.5Mg	579~627						
+4%Cu	549~646	(93)					
+4%Cu+2Ni+ 1.5Mg+0.4Fe+ 0.4Si(Y合金)	535~629	(93)					
+9~13%Zn							
銻 Sb	630.5	39	6.55	-0.95膨胀	1635	298	(730)
铍 Be	1280	262			(3000)	5910	(1500)
铋 Bi	271.3	12.4	10.1	-3.35膨胀	1560	196	890
镉 Cd	320.9	13.6	8.0	4.75	768	211	395
铈 Ce	(800)				(1400)		
铬 Cr	1845	90			(2330)	1370	(1500)
銅 Cu	1083	48.5	8.3	4.15	(2500)	1250	(1620)
+0.02%P	1083	49.7					
+30%Zn	910~960				1150(Zn)		
+40%Zn	904				1070(Zn)		
+37%Zn+2~3Pb	880~895						
+10%Sn	845~1050						
+10%Al+5Ni+ 5Fe	1044~1090						
+20%Ni+20Zn	1070~1110						
+3.4%Si+1%以下 的Zn	1024						
金 Au	1063	15.5	17	5.1	(2950)	412	(1860)
+8.33%Cu							
鉄 Fe	1535	64.5	6.9	3	(2900)	1570	(1870)
鉛 Pb	327.4	5.7	10.3	3.5	1750	210	(980)
+6%Sb	248~285			3.1			
+3%Sn+11Sb	244			(2.0)			
+8%Sn+17Sb (鑄字合金)	275			(2.0)			
鎂 Mg	650	85.2	1.57	4.1			
+7.5~9%Al, >1 Zn, 0.15~0.4Mn							
+9~10.5%Al, >1 Zn, 0.15~0.4Mn							
+1~2%Mn							
錳 Mn	1260	64					

(續)

金屬或合金	熔点或凝固 溫度範圍°C	熔 化 潜 热 卡/克	密 度 (熔 融状态) 克/厘米 ³	凝固时的 体 积 收 縮 %	沸 点 °C	汽 化 潜 热 卡/克	在蒸汽压 力等于1 毫米时的 溫度 °C
+26~32%Cu+1.3 ~1.5 Si+0.3 Fe +0.5~1.25 Mn (蒙耐尔合金)	1314~1371						
+15%Cr+5Fe (因 康合金 Inconel)	1395						
+15%Cr+20Fe +25~35% Mo+5 Fe (赫斯特合金 “B” Hastelloy B)							
+15~20% Mo+15 Cr+6%Fe+5W (Hastelloy C)							
+10%Si+3Cu (Hastelloy D)							
鉑Pt	1773.5	26	19		(4100)	570	(2650)
硅Si	1440	393			(2600)	2600	(1650)
銀Ag	960.5	25.2	9.4	膨 脹 3.8~5.0	2180	555	1340
+7.5%Cu(标准銀)							
錫Sn	231.9	14.2	6.98	2.8	(2400)	660	(1600)
+7.5Sb+3.5Cu (軸承合金)	241~354			3.0			
鈦Ti(99.9+)	1725				>3000		
鋅Zn	419.5	26.2	6.7	4.2	907	438	490
+3.9~4.3Al+> 0.03Cu							
+3.9~4.3Al+0.75 ~1.25Cu	381						
鉛Zr	(1860)						

注: 括弧內数字为約数。

(凝固)範圍的存在, 合金熔化时所吸收的热量等于眞潜热加上一些随
并存的液相与固相比热而变化的項目之和; 而液相与固相的成分
又随溫度的升高而不断改变着。熔化潜热、熔点溫度与比热三者决定
着熔化某一金屬所需的热量。由于鉛的比热与潜热高, 将一定重量的
鋁合金从室溫加热到 700°C 的澆鑄溫度所需的燃料与将两倍重量以
上的銅合金加热至 1100°C 所需的相等。

2. 比热 表 1-1 中未列比热数据, 但对于多数金屬來說, 液态比
热可用下式求得

$$\text{比热} = \frac{7.15}{\text{原子量}} \text{卡/克}^{\circ}\text{C}$$

算出的数值約較同一金屬固态比热大 20%。

具有高的液态比热的金屬在流經澆注系統時激冷較少，因此即使使用低的澆注溫度也可使金屬完全充滿型腔。反过來說，比热与潜热愈低，則鑄件中所产生的溫度差就愈大，因而也就需要較大程度的补縮。

3. 蒸汽压力（表 1-1） 金屬的蒸汽压力控制着在液态时由于蒸發所引起的金屬損耗率。蒸汽压力愈高，損耗也愈大。蒸汽压力等于金屬液面上的压力时，金屬液即沸騰。

鋅的蒸汽压力特別高，因此当它与高熔点金屬（如銅）做成合金时，应注意避免过多的損耗。应当指出：在同一溫度下，黃銅上鋅的蒸汽压力远較純鋅上的为低；例如，純鋅在 907°C 沸騰（即蒸汽压力达到 760 毫米水銀柱），而 70/30 与 60/40 黃銅必須各自达到 1150°C 与 1070°C 的溫度，它們上面的鋅的蒸汽压力才能达到 760 毫米水銀柱。

水銀、鎢、鎂和鋅均有足够高的蒸汽压力使这些金屬能用蒸餾法来提純。在真空設備中，当液体或固体金屬面上的金屬蒸汽压力达到 2~5 毫米水銀柱时就可获得經濟的生产率。

4. 沸点与汽化潜热（表 1-1） 各种金屬的沸点相差也很悬殊。必須指出：金屬的沸点与熔点之間并不存在簡單的关系，例如，錫的沸点（ 2400°C ）远高于鋅（ 907°C ），但錫的熔点（ 232°C ）却低于鋅（ 420°C ）。金屬溫度接近沸点时蒸發損耗就可能很严重。金屬的汽化潜热要比它的熔化潜热大得多。

5. 凝固时体积的变化（表 1-1） 除了鉍、銻和硅以外，所有金屬在凝固时体积都要收縮，因此补縮就成为鑄造生产的主要問題之一。收縮值变化在鋁的 6% 和鉍的 -3.35%（即膨脹）之間。合金凝固时的收縮值常較其母基純金屬为大；这一現象与其說是由于合金元素对收縮特性的直接影响，毋宁說是由于在凝固範圍內結晶出来的固体物質的固体收縮所产生的副作用。凝固收縮的差別反映在保証获得坚实件所需的冒口的尺寸上面。例如，同一零件用鋁合金鑄造时就比原合金需要更广泛的补縮系統。假如在凝固时放出气体，則鑄件中能有气孔存在，这将改变縮松的大小与分布；在实际生产中，有运用这一原理来改善鑄件的机械性能与耐压程度（參看第三、四

虽然凝固收縮量比較小，但根据鑄件的几何形状也能产生

后果。設想我們在鑄造一个圓球，型內充滿了熔融的金屬，溫度為熔點，凝固收縮率為 2 %。假如熱量均勻地從球的表面散出，而凝固進行時又無外部補縮，那末最後鑄件中心將有一球狀縮孔，其直徑等於圓球直徑的 27 %。

6. 密度 (表 1-1) 所有正常金屬在液態時的密度均比在固態時的小，這與金屬在熔化時發生的膨脹現象相一致。三種在熔化時發生收縮的金屬中，現在只有關於鉍和銻的資料，証實它們在液態時的密度比在固態時大。

金屬或合金的密度影響着鑄造工藝。由於輕金屬的密度小，它在冒口中所產生的靜壓頭也相應地較低，因而補縮效率就差。由此可見，液體金屬的密度影響着冒口的設計與分布。此外，從型與芯中出來的氣體較易串入低密度的液體金屬而造成氣孔，因此在澆鑄鎂等輕金屬時，一般要比澆鑄青銅時用具有更高透氣性的鑄型。

7. 體積膨脹係數 (表 1-2) 表中所列金屬在液態時的體積膨脹係數值均較在固態時的相應值為大。這一係數決定着金屬液體從澆鑄溫度到凝固溫度之間所發生的收縮，因此，除金屬的成分而外，澆鑄溫度愈高，收縮也愈大。在生產鑄件時，這種收縮也必須用額外的液體金屬來補償。當然，在這一階段，凝固還未開始，液體金屬在型腔內仍可暢流無阻，因此縮孔很易消除。

8. 導熱率 (表 1-2)——熱傳導係數 從已有的少量數據來看，液體金屬的導熱率一般要小於固體金屬在溫度剛低於熔點時的導熱率，且鉍是一個例外。導熱率對鑄型中的溫度梯度有一定的影響，從而將改變比熱與金屬組織之間的關係。但在實際上這種影響只是次要的，因為在型腔內所發生的對流與紊流打破了溫度的平衡。

9. 電阻係數 (表 1-2)——電阻率 從表中數據可以看到：對於立方以及六方密集排列晶系凝固的金屬，它們的液相電阻率與固相電阻率在熔點時的比值約等於 2。合金元素的加入將顯著增加金屬阻 (詳見固體金屬性能)。電阻率對生產的直接關係很少，但在設熱熔爐時必須予以考慮，因為感應電爐或電弧爐的熱量輸入與爐電阻直接發生關係。在低頻感應電爐中，熱量的輸入就取決於加

热槽中液体金属的电阻。

10. 粘度 (表1-2) 液体在槽内 (已定温度以及槽的尺寸与形状的条件下) 流动的速度是它的粘度的一个函数。粘度愈大, 流速愈低。粘度随温度的升高而降低, 表2中粘度值相当于各金属熔点以上约50°C的温度。应当注意, 这些粘度值同水在室温时的粘度属同一数序。

铸造工作者关心金属的流动性, 即金属充满型腔的能力, 因为这一性能决定着用它来生产薄断面铸件的适应性。流动性与金属的粘度有关, 但在浇注时所出现的情况却并不是很简单的。金属在型中对流速的相对冷却速度, 型壁的光滑程度, 型壁上出现的固体结晶, 以及在浇注系统中紊流的程度等等, 所有这些因素都影响着金属的流动性。因此, 下一章还有关于液体金属粘度的讨论。

11. 气体溶解度 (表1-2) 气体与熔融金属之间的反应是铸造工作者最关心的问题之一。气体与金属相互作用的结果, 可能形成: (1) 一种或数种化合物; (2) 气体以某种形式溶解于金属中。气体-金属反应之所以重要是由于这样的事实, 即金属在固态时对气体的溶解度远较在液态时为小, 因此在凝固时气体就有从金属中析出的趋势。当析出的气体无法外逸时, 就留在铸件中而成为气孔。

在经常与液体金属接触的较为普通的气体中, 氢易溶于多数有色金属中, 氧在相当数量的金属中有不同程度的溶解度, 而氮则在多数情况下是不可溶解的。在银和铂中, 溶解了的氧和氮在冷却时以化合物的形式从金属中析出, 因此并不引起气孔。氢的溶解度根据同金属相触的氢的分压力以及金属的温度而定, 它们的关系式如下:

$$\log_{10} S/p^{1/2} = -A/T + B$$

式中 S ——在标准温度与压力下每100克金属中气体的溶解度, 厘米³;

p ——气体的分压力, 毫米水银柱;

T ——绝对温度;

A, B ——常数, 视金属以及所考虑的是固体还是液体溶解度而定。

表1-2中列出了氢在液体与固体金属中的溶解度 (p 为760毫米

水銀柱， T 为熔点 $+273^{\circ}$)。合金元素的加入可能使氫在母基金屬中的溶解度增加或减少。一般說来，如果合金元素对氫的溶解度較母基金屬小，則加入后将降低氫的溶解度；反之則增加。黃銅或其他含有多量鋅的高熔点合金，由于鋅有高的蒸汽压力而不易在液态时吸收和保留氫。

水蒸汽、二氧化硫和一氧化碳等化合物气体也存在于爐气中并易为熔融金屬所溶解。化合物气体分解成原子而溶于金屬中，气体的两个組成物之一在金屬中的濃度可借改变另一个的濃度而改变，但它們又同时都随气体的分压力以及熔融金屬的温度的升高而增加。冷却时原有的平衡遭到破坏，逸出的气体可能被正在凝固着的金屬所包留而成为气孔。金屬中所含气体原子的濃度之間的平衡关系乃是包括氧化在內的各种金屬除气方法的基础。

第三章将專論气体在液体金屬中的溶解問題。

1-2 固态性質

1. 原子量 (表1-3) 在科学研究中广泛应用原子百分比来表示合金的成分。原子百分比与重量百分比的关系式如下：

$$y = \frac{100 \frac{x}{A}}{\frac{x}{A} + \frac{100-x}{B}}$$

式中 x ——重量百分比；

y ——原子百分比，均代表原子量为 A 的元素；

B ——二元合金中另一元素的原子量。

很明显，若两种金屬的原子量很接近，則重量百分比与原子百分比的差別就很小，反之則很大。例如在鉛-鋁合金中，含鋁的重量百分比为1时原子百分比为7.2。

2. 晶体結構 (表1-3, 1-4) 大多数普通金屬按面心立方、体心立方或六方密集排列晶格結晶。假如組成二元合金的金屬具有不同的晶体結構，那末就不可能形成一个連續系列的固溶体，而一般将是固溶体与化合物的混合。

有些純金屬在加热与冷却时發生晶格变化 (表1-4)，但多数純金

表 1-3 結晶性質

金屬或合金	原子量 銀=16.00	密度 克/厘米 ³ 磅/吋 ³	晶格類型①	最近原子 間的距離 KX②	晶格常数 KX②	軸比或角度
銀Al	26.97	2.70 0.098	面心立方	2.8577	4.0414	1
+4%Mg	—	2.65 0.096	兩相	—	—	—
+10%Mg	—	2.58 0.093	兩相	—	—	—
+5%Si	—	2.69 0.097	兩相	—	—	—
+12%Si	—	2.66 0.096	—	—	—	—
+12%Si+1Cu+1Ni+1Mg+0.5Fe (低膨脹鋁合金)	—	2.66 0.096	—	—	—	—
+12%Si+0.35Mg+0.28Fe+0.3Mn	—	—	—	—	—	—
+5%Si+1.25Cu+0.5Mg	—	—	—	—	—	—
+4%Cu	—	2.81 0.101	兩相	—	—	—
+4%Cu+2Ni+1.5Mg+0.4Fe+0.4Si (Y合金)	—	—	—	—	—	—
+9~13%Zn	—	—	兩相	—	—	—
銀Sb	121.76	6.62 0.239	菱形	2.8795	4.4976	$\alpha=57^{\circ}6.5'$
銀Be	9.02	1.82 0.066	六方密集	2.2211	2.2810	1.5682
銀Bi	209.00	9.80 0.354	菱形	3.1036	6.7356	$\alpha=57^{\circ}14.2$
銀Cd	112.4	8.65 0.313	六方密集	2.9731	2.9731	1.8859
銀Ce	140.13	6.9 0.25	面心立方①	3.637	5.143	1
銀Cr	52.01	7.19 0.260	面心立方②	2.493	2.879	—
銀Cu	63.54	8.96 0.324	面心立方	2.551	3.608	—
+0.02%P	—	—	單相	—	—	—
+30%Zn	—	8.53 0.308	單相(α)	—	—	—
+40%Zn	—	8.39 0.303	兩相($\alpha+\beta$)	—	—	—
+37%Zn+2~3Pb	—	8.4 0.306	三相($\alpha+\beta+Pb$)	—	—	—
+10%Sn	—	8.78 0.317	兩相	—	—	—
+10%Al+5Ni+5Fe	—	8.73 0.316	單相	—	—	—
+20%Ni+20Zn	—	8.53 0.308	—	—	—	—
+3.4%Si+1%以下的Zn	—	17.7 0.64	面心立方	2.8782	4.0704	1
金Au	197.2	19.32 0.698	單相	—	—	1
+8.33%Cu	—	17.7 0.64	面心立方	—	—	1
銀Fe	55.85	7.87 0.284	面心立方①	2.4777	2.8610	1
銀Pb	207.21	11.34 0.410	面心立方	3.4927	4.9345	1

(續)

金 屬 或 合 金	原 子 量 氧=16.00	密 度 克/厘米 ³ 磅/吋 ³	晶 格 類 型 ^①	最 近 原 子 間 的 距 離 KX ^②	晶 格 常 數 KX ^②	軸 比 或 角 度
+6% Sb	—	10.88 0.393	兩 相	—	—	—
+3% Sn+11% Sb	—	10.24 0.38	—	—	—	—
+8% Sn+17% Sb	—	9.73 0.35	—	—	—	—
鍍 Mg	24.32	1.74 0.063	六 方 密 集	3.1906	3.2030	1.6235
+7.5~9% Al+>1% Zn, 0.15~0.4 Mn	—	1.80 0.065	—	—	—	—
+9~10.5% Al+>1% Zn, 0.15~0.4 Mn	—	1.81 0.066	—	—	—	—
+1~2% Mn	—	1.76 0.064	—	—	—	—
鍍 Mn	54.93	7.43 0.268	立 方 (α) ^① (復雜多原子立方)	2.24	8.804	1
鍍 Ni	58.69	8.90 0.322	面 心 立 方 ^①	2.487	3.517	1
+26~32% Cu+1.3~1.5 Si+0.3 Fe+0.5	—	8.84 0.319	—	—	—	—
-1.25 Mn	—	—	—	—	—	—
+15% Cr+5 Fe	—	8.51 0.307	—	—	—	—
+15% Cr+20 Fe	—	8.25 0.298	—	—	—	—
+25~35% Mo+5 Fe	—	9.24 0.334	—	—	—	—
+15~20% Mo+15 Cr+6% Fe+5 W	—	8.94 0.323	—	—	—	—
+10% Si+3 Cu	—	7.8 0.282	—	—	—	—
鍍 Pt	195.23	21.45 0.775	面 心 立 方	2.769	3.916	1
鍍 Si	28.06	2.33 0.084	金 剛 石 立 方	2.3458	5.4173	1
鍍 Ag	107.88	10.49 0.379	面 心 立 方	2.8835	4.0779	1
+7.5% Cu	—	10.35 0.373	兩 相	—	—	—
鍍 Sn	118.70	7.30 0.264	體 心 立 方 ^①	3.0161	5.8194	0.5456
+7.5% Sb+3.5 Cu	—	7.39 0.267	—	—	—	—
鍍 Ti(99.9%)	47.90	4.51 0.165	六 方 密 集 ^①	2.915	2.953	1.602
鍍 Zn	65.38	7.13 0.258	六 方 密 集 ^①	2.6595	4.9368	1.8563
+3.9~4.3% Al+>0.03 Cu	—	6.6 0.24	兩 相	—	—	—
+3.9~4.3% Al+0.75~1.25 Cu	—	6.7 0.24	—	—	—	—
鍍 Zr	91.22	6.5 0.23	六 方 密 集 ^①	3.166	3.223	1.590

① 參考表 4。

② KX=1.002 Å, Å(埃)=1×10⁻⁸厘米。