

К.И. 波尔特諾伊 著
А.А. 列別杰夫

镁合金手冊

工藝与性質

冶金工业出版社

75.74

75.74
305

鎂合金手冊

(工艺与性質)

К.И. 波尔特諾伊

著

A.A. 列別杰夫

林

斐

譯

冶金工业出版社

內容提要

本手冊闡述鎂及其工業用合金的物理化學性質和機械性能，以及生產鑄件和壓力加工半成品的基本問題。

本手冊的讀者對象是廣大工程技術人員和科學研究工作人員。

К.И. ПОРТНОЙ и А.А. ЛЕБЕДЕВ

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

(Свойства и технология)

СПРАВОЧНИК

Металлургиздат Москва 1952

鎂合金手冊

К.И. 波爾特諾伊 著 林 斐 譯
А.А. 列別杰夫

冶金工業出版社出版(北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

中央民族印刷廠印刷 新華書店發行

1959年8月第一版

1959年8月 北京年一次印刷

印數4,010冊

開本 850×1168 • 1/32 • 500,000 字 • 印張 20 1/2

統一書號 15002 · 1688 定價 2.50 元

序 言

本手冊适用于許多工业部門的广大專家——設計師、工艺師、工程師、工厂試驗室工作者、科学工作者和大学生。書內簡要地引述了鎂的物理化学性質和机械性能，以及二元或更复杂的鎂合金的平衡圖和性質，同时也簡要地引述了鎂合金零件的生产和加工工艺。

手冊中的材料是著者将最近 25 年来鎂合金文献中的数据和試驗研究資料，以及生产方面的著作加以系統化之后整理成的。

著者希望手冊中的材料有助于各个工业部門更广泛地采用鎂合金，更正确地利用其无可置疑的优点。本書承蒙博士 С. М. 沃罗諾夫 (Воронов) 教授、技术科学副博士 М. В. 沙罗夫 (Шаров) 副教授、总工程师 И. М. 卡申柯 (Кашенко)、总冶金师 Б. Т. 克雷辛 (Крысин)、中心試驗室主任 Г. Г. 基达利 (Китари)、技术科学博士 В. М. 古西柯夫 (Гуськов) 教授，以及全苏鋁鎂科学研究所的許多位研究員在評閱时提出宝贵意見，著者謹向他們表示深切的感謝。著者特別感謝博士 В. И. 米海叶娃 (Михеева) 教授帮助校訂“二元和三元系平衡圖”一章。

讀者如对本書提出意見，著者将不胜感謝。来信請逕寄出版社。

表和圖中的符号

- E ——法向彈性模量 (公斤/公厘²)
 G ——抗剪彈性模量 (切變彈性模量) (公斤/公厘²)
 μ ——波桑系数 (以相對單位計)
 $\sigma_{\text{нп}}$ ——抗拉比例極限 (公斤/公厘²)
 $\sigma_{\text{—нп}}$ ——抗压比例極限 (公斤/公厘²)
 $\left. \begin{matrix} \sigma_{0.2} \\ \sigma_{0.1} \\ \sigma_{0.05} \end{matrix} \right\}$ ——抗拉屈服点 (产生延伸塑性变形 0.2, 0.1 或 0.05% 时的应力) (公斤/公厘²)
 $\left. \begin{matrix} \sigma_{0.2} (c) \\ \sigma_{0.1} (c) \\ \sigma_{0.05} (c) \end{matrix} \right\}$ ——抗压屈服点 (产生擴張塑性变形 0.2, 0.1 或 0.05% 时的应力) (公斤/公厘²)
 σ_b ——抗拉强度極限 (公斤/公厘²)
 σ_{bc} ——抗压强度極限 (公斤/公厘²)
 S_k ——拉伸抗断强度 (公斤/公厘²)
 $S-k$ ——壓縮抗断强度 (公斤/公厘²)
 δ ——在 $l=5d$; $l=10d$ 的試样拉断后的延伸率 (分別以 δ_5 和 δ_{10} 表示) (%)
 ψ ——拉断后縮頸收縮率 (%)
 ψ_b ——均匀收縮率 (%)
 ψ_k ——壓縮縮短率 (%)
 $t_{\text{нп}}$ ——抗扭比例極限 (公斤/公厘²)
 $t_{0.3}$ ——抗扭屈服点 (产生切變塑性变形 0.3% 时的应力) (公斤/公厘²)
 τ_b ——抗扭强度極限 (公斤/公厘²)
 φ ——破裂时的扭轉角 (度)
 $\tau_{\text{срз}}$ ——抗剪强度 (公斤/公厘²)
 a_n ——試样抗弯冲击韌性 (公斤公尺/公分²) ; 試样尺寸

10×10×55 公厘，試樣上半圓切口深度 2 公厘，
半徑 1 公厘

H_B ——布氏硬度（小球直徑 $d=10$ 公厘，載荷 $P=500$
或 1000 公斤）（公斤/公厘²）

σ_y ——疲勞限度（持久限度）（公斤/公厘²）

$\sigma_{\text{пл}}$ ——蠕變極限（公斤/公厘²）

目 录

序言	6
第一章 镁合金的应用范围和镁对现代技术的意义	1
第二章 镁和镁合金中主要合金组元的物理化学性质和机械性能	3
1. 镁的物理化学性质	3
2. 铸造镁和变形镁的机械性能	13
3. 镁合金中主要合金组元的物理化学性质	16
第三章 二元和三元镁基合金的平衡图、结构和性质	20
一 二元合金	20
1. 镁-铝	20
2. 镁-钡	32
3. 镁-铋	33
4. 镁-氢	35
5. 镁-镉	36
6. 镁-钙	38
7. 镁-硅	43
8. 镁-镧	46
9. 镁-铈	47
10. 镁-锰	50
11. 镁-铜	54
12. 镁-镍	58
13. 镁-锡	60
14. 镁-铅	63
15. 镁-银	64
16. 镁-铟	68
17. 镁-铊	70



1101067

18. 鎂-鋅	77
19. 鎂-鋇	84
20. 鎂鎳、鎂金、鎂鈮、鎂鈷、鎂鉀、鎂鈉、鎂鎳、 鎂汞、鎂鋁和鎂鉍合金	85
二 三元系平衡圖	91
1. 鎂-鋁-鋅	91
2. 鎂-鋁-鈹	102
3. 鎂-鋁-鐵	102
4. 鎂-鋁-鎘	102
5. 鎂-鋁-硅	106
6. 鎂-鋁-鋰	107
7. 鎂-鋁-銅	111
8. 鎂-鋁-鎳	112
9. 鎂-鋁-銀	112
10. 鎂-鋁-銻	116
11. 鎂-鋁-鉍	116
12. 鎂-鋁-鉍	117
13. 鎂-鈹-鋅	119
14. 鎂-鎘-鉛	119
15. 鎂-鎘-鉍	119
16. 鎂-鎘-鋅	121
17. 鎂-鈣-鋅	122
18. 鎂-硅-鋅	123
19. 鎂-鋰-銀	123
20. 鎂-銅-硅	126
21. 鎂-銅-鋅	126
22. 鎂-錫-鋅	127
23. 鎂-鉛-錫	127
24. 鎂-鉛-銻	129
25. 鎂-銀-鉍	129

26. 鎂-銻-錳	130
27. 鎂-銻-鋅	131
28. 鎂-銻-鋅	134
三 某些金屬間化合物的性質和金相分析	134
1. 金屬間化合物的微觀硬度	135
2. 金屬間化合物的生成熱	135
3. 鎂合金的金相分析	136
第四章 工業鎂合金和某些新鎂合金的組成、結構和性質	143
一 工業用鑄造鎂合金的機械、物理和工藝性質	144
1. 以鎂-硅系為基體的合金 Мл1	144
2. 以鎂-錳系為基體的合金 Мл2	148
3. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 Мл3	154
4. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 Мл4	160
5. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 Мл5	175
6. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 Мл6	191
二 工業用變形鎂合金的機械、物理和工藝性質	205
1. 以鎂-錳系為基體的合金 МА1	205
2. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 МА2	216
3. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 МА3	227
4. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 МА4	241
5. 以鎂-鋁-鋅系為基體的合金 МА5	247
6. 以鎂-錳-銻系為基體的變形鎂合金 МА8	254
三 某些新型鎂合金	265
1. 鎂-銻-錳系耐熱鎂合金	265
2. 鎂-鋅-銻系鎂合金	272
3. 摻有鋁、鎳、銀及其他元素的鎂-鋁系合金	275
四 鎂合金中的雜質	278
五 工藝性質測定方法簡述	282
第五章 熱處理	289

第六章 熔煉	303
一 配制鎂合金用的配料	303
二 熔劑	309
三 合金的配制	323
四 合金的變質處理和減低其氧化性	335
五 金屬的澆鑄	343
六 熔煉工具	345
七 切屑的重熔	362
第七章 砂型鑄造	364
一 造型材料	364
二 造型	394
三 澆注系統的設計	398
第八章 金屬型鑄造	419
第九章 壓力鑄造	426
第十章 鑄錠	439
第十一章 鎂合金鑄件缺陷的分类	450
一 砂型鑄造和金屬型鑄造時的缺陷	450
二 壓力鑄造缺陷	480
三 鑄件的 X 光檢驗	483
第十二章 鎂合金的壓力加工	485
一 壓制	485
二 軋制	494
三 鍛造和模壓	504
四 鎂合金壓力加工時的缺陷	520
第十三章 切削加工	527
一 車床和立式車床加工	527
二 銑切加工	534
三 鑽孔	538
四 鉗孔	545
五 鉸孔	547

六 其他切削加工	549
第十四章 焊接和缺陷的修补	554
第十五章 腐蚀和防蚀方法	566
第十六章 塗漆	582
第十七章 镁合金零件的设计	590
附录1 镁合金的化学分析与光谱分析	605
一 化学分析	605
二 光谱分析	634
附录2 在鑄造車間和机械加工車間使用镁合金的安全技术基本 問題	638
参考文献	646

第一章 鎂合金的应用范围和鎂 对現代技术的意义

鎂是自然界中分布最广的元素之一。鎂的矿藏实际上是无限多的。

鎂的化合物存在于地壳中（重量占2.35%），海水中（0.14%）、盐泉及湖水中。

近年来，鎂合金在各种發动机、机器、仪器、配件和其他制品的結構中，应用越来越广泛。

鎂和鎂合金作为各种結構材料，日益引人注目，可以用其下列性質作解釋：1）比重小；2）机械性能較高；3）比鋁合金有較大的承受冲击載荷的能力；4）对碱、煤油、汽油和矿物油具有化学稳定性；5）用一般切削工具加工的性質良好，因而可以使用最高的切削速度（与其他种金屬相比）；6）易于精整加工（磨光、拋光等），而且生产合金和鑄造零件的設備簡單。

鎂合金可以用作結構材料 鎂合金的比重小（1.8），机械性能較高，因而可以用来減輕發动机、机器、零件和部件的重量。

減輕机器和發动机的重量，能够提高它們的效率，降低燃料消耗量和增大發动机及运输机械的載重量与速度。

如果目的不在于減輕重量，还可以利用鎂合金的体积比鋼大这一点，来簡化結構和降低造价。

在这种情况下，使用鎂合金合理，是因为某种結構的剛度与其截面尺寸的立方成正比，即当截面增大至2倍时，剛度将增大至8倍。

这样就有可能减少剛性构件的数量和大大縮减鉚焊工序。

鎂合金承受冲击載荷的能力，使人們有可能利用鎂合金来制造受猛烈碰撞的零件（如炮輪、飞机輪、汽車輪、装卸用和工厂

用的滾柱式傳送帶輪等)。

鎂合金的这个特性与其彈性模量小有关，因为彈性形变功与彈性模量成反比。

鎂合金可用于仪器制造业、紡織工业、电影器械制造业、冶金工业及其他工业部門。在金屬型鑄造和压力鑄造方面所获得的成就，为大批生产仪器制件、照相机零件、望远鏡零件、电影放映机零件、无綫电与通訊器械零件、光学仪器零件等提供了广阔的可能性。

鎂合金制件能够应用于卷烟工业(卷烟机零件)、采矿工业(風鎬和風鑽的手柄)，摩托車工业(發动机匣、分配盒盖、軸承体、傳动匣及其他零件)、紡織工业(亞麻粗紡机和粗紡机的第一和第二捻整經卷綫筒、各种綫軸、紗管、細紡机的罩、盖、角鉄、軸瓦、刷握、注潤滑剂杯、支柱、离心机体以及其他零件)。

仪器制造业、紡織工业、汽車制造业及其他工业部門，对上述零件的需要量数以千万和万万計，用鎂合金来制造这些零件将产生巨大的国民經济效果。

由于鎂对燃料、矿物油和碱等具有高度的化学稳定性，所以鎂合金可以用来制造保存和运送这些液体的导管、箱子和貯罐。

如所周知，鎂合金的耐蝕性次于鋁合金，但是，如能保证鎂合金制造工艺适当，并正确采用防止鎂合金制件腐蚀的一般方法，則鎂合金制件可以長时期在大气条件下使用。

鎂的粉末在燃燒时放出大量的热和發出閃耀的白光，这一性質被广泛用于焰火术和軍用信号彈和燃燒彈等。

在冶金中鎂可以用作脫氧剂，例如在熔化生鉄时，而在制取鈹、鉻、鋁、鈦以及其他难还原的金屬时，又可用作还原剂。此外，鎂粉在化学工业中可用于除掉各种有机产物的水份和合成有机制剂。

第二章 鎂和鎂合金中主要合金組元的物理化学性質和机械性能

1. 鎂的物理化学性質

鎂 的 性 質

表1

性 質	量 綱	量 值
原子序	—	12
原子价	—	2
原子量	—	24.323
原子体积	公分 ³ /克原子	13.99
泊桑系数	—	0.33
声在固体鎂中的傳播速度	公尺/秒	4800
在 0°C 时的电导率	公尺/欧姆·公厘 ²	23
电阻温度系数 α (由 0 至 100°C)	10 ⁻³	3.9
电阻率 ρ (20°C)	欧姆·公厘 ² /公尺	0.047
导热率	卡/公分·秒·度	0.376
开始再結晶 (最低) 温度	°C	150
熔点	°C	650±1
液态的体膨胀系数 $\beta_{\text{ж}}$ (在 651—800°C 时)	10 ⁻⁶	380
熔化潜热 (99, 93 Mg)	卡/克	~70
沸点	°C	1107±3
沸腾时的汽化潜热	卡/克	1350
25°C 时的熵	卡/克原子·度	7.76
蒸气的比热 C_p	卡/克·度	0.208
升华热	卡/克	1396
氧化物 (MgO) 生成热 Q_p	卡/克原子	145.8
結晶时的收縮率	%	3.97—4.2
在固态下的收縮率 (由 650 到 20°C)	%	2.0
磁化率 ψ	10 ⁻⁶	+0.55
标准电极电位:		
1) 氢电极	伏特	-1.55
2) 甘汞电极	伏特	-1.83

表2

鎂的結晶結構

結構类型	配 位 数	在25°C时的晶 格常数 (Å)		$\frac{c}{a}$	原子間距离 (Å)		配位数为12 的原子直徑 (Å)
		a	c		d ₁	d ₂	
密集六方晶格	6+6	3.2030	5.2002	1.6235	3.1906	3.2030	3.20

空間群 D_{6h}^4

$$\text{基点: } (0, 0, 0) \pm \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2} \right)$$

表3

不同純度的鎂的比重

Mg 的純度 (%)	在 20°C 时的比重	狀 态
99.99	1.7388	变 形
99.95	1.7387	变 形
99.94	1.7386	变 形
99.90	1.7381	变 形
99.90	1.737	砂 型 鑄

表4

鎂在高温下的密度

材 料 的 状 态	温 度 (°C)	密 度 (克/公分 ³)
在 熔 点 时	650	1.572
液 态	670	1.562
液 态	700	1.544

表5

鎂在不同溫度時的電阻率

	温 度 (°C)						
	-192	-78	0	100	200	300	400
电阻率 ρ (欧姆·公厘 ² /公尺)	0.01333	0.03053	0.04312	0.05915	0.07576	0.09536	0.11393

表6

鎂的熱容量

	温 度 (°C)									
	-186 至-79	0	18—99	100	200	300	400	500	600	650以上
原子热容量 (卡/克原子·度)	4.598	5.648	5.983	6.241	6.525	6.755	6.945	7.117	7.271	7.396
比热 (卡/克·度)	0.189	0.232	0.246	0.256	0.268	0.278	0.285	0.295	0.299	0.3

表7

鎂的热膨胀系数平均值

$$L_t = L_0[1 + (24.80 + 0.00961)10^{-6}]$$

温度范围 (°C)	1°C 的热膨胀系数			温度范围 (°C)	1°C 的热膨胀系数		
	鑄造鎂	变形鎂	平均值		鑄造鎂	变形鎂	平均值
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$		$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
20—100	26.1	25.8	26.0	20—200	27.0	26.8	26.9
100—200	27.8	27.6	27.7	20—300	28.0	27.8	27.9
200—300	29.7	29.5	29.6	20—400	28.9	28.8	28.8
300—400	31.6	31.5	31.5	20—500	29.9	29.7	29.8
400—500	33.5	33.4	33.4				

表8

在由 0 至 t° 时固体鎂的綫膨胀 (在 20°C 長度 1 公尺)

	温 度 (°C)					
	0 至 —190	0—100	0—200	0—300	0—400	0—500
綫膨胀 (公厘)	-4.01	2.59	5.39	8.36	11.53	14.88

表9

鎂 的 表 面 張 力

温 度 (°C)	量 值 (达因/公分)
681	563
894	502

表10

鎂的化合物生成热效应

名 称	分 子 式	生 成 反 应	量 值 (千卡/克分子)
氯化鎂	MgCl_2	$\text{Mg} + \text{Cl}_2$	+ 151.0
氧化鎂	MgO	$\text{Mg} + 1/2\text{O}_2$	+ 145.8
氢氧化鎂	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Mg} + \text{O}_2 + \text{H}_2$	+ 217.3
氮化鎂	Mg_3N_2	$3\text{Mg} + \text{N}_2$	+ 119.7
硫酸鎂	MgSO_4	$\text{Mg} + \text{S}_{\text{斜方}} + 2\text{O}_2$	+ 302.3
碳酸鎂	MgCO_3 (沉淀)	$\text{Mg} + \text{C} + 3\text{O}$	+ 266.6