

专业技术学习资料



# 有色合金铸造 经验选编

譚丕財、欧阳范文、石显峰等編



国防工业出版社

# 有色合金鑄造經驗選編

譚丕財、歐陽范文、石昱峰等編

國防工業出版社

1966

## 內 容 簡 介

本书是各厂有色合金鑄造方面的生产实践和科学实验經驗的选編，是由合金材料、合金熔炼和特种鑄造工艺三方面的 14 篇文章組成。书中介紹了耐高溫和高气密性合金材料、炉前断口分析方法、六氟乙烷精煉、低压鑄造、半液体模压、細孔鑄造、压力下結晶和敷砂离心鑄造等方面实用資料。

本书可供鑄造专业技术人員和工人閱讀，亦可供有关院校师生参考。

## 有色合金鑄造經驗选編

譚丕財、欧阳范文、石显峰等編

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

850×1168  $\frac{1}{32}$  印張 4  $\frac{1}{16}$  插頁 6 113 千字

1966 年 5 月第一版 1966 年 5 月第一次印刷 印数：0,001—1,000 册

統一书号：N15034·1145 定价：(科四)0.65 元

## 序

近年来，在党的正确领导下，我国的有色合金鑄造技术，随着现代工业水平的不断提高，正沿着自己的道路飞跃地向前发展着。在鑄造生产领域中出现了不少的研究成果，国内外一些先进工艺已得到应用和推广，很多大型、复杂、薄壁和高性能、高精度鑄件的特种鑄造技术已被掌握，满足了我国生产高性能产品的要求。这些成就是坚决贯彻社会主义建设总路线的结果，是毛泽东思想的胜利。

在一九六五年十二月份召开的有色合金鑄造經驗交流会议上，广泛地交流了經驗。为了使这些經驗普遍用于生产，为广大技术人員和工人所掌握，我們組織編写了这本选編。

参加本书編写工作的有：卫振国、王世庆、王秋穗、石显峰、邓必禧、孙 斌、朱肇容、肖自强、金同康、陈斌球、張文信、張耕莘、張福卿、楊振京、侯傳洛、赵志远、欧阳范文、唐萌政、高庚坤、黃洪波、梁兴堂、董潤卿、譚丕財等同志；协助本书編写工作的有：万菱青、王启富、李治卿、李玉本、陈洪貴、周德成、張宗祿、黃亮光、熊 玲等同志。

由于時間仓促和編写人員水平所限，书中很可能有不当之处，請讀者批評指正。

短技班联合办公室

1966年2月

# 目 录

|         |   |
|---------|---|
| 序 ..... | 3 |
|---------|---|

## 合 金 材 料

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 镁稀土系MZ3 铸造镁合金 .....   | 5  |
| 高强度高气密性铸造铝合金 .....    | 26 |
| 轻合金加钎工艺试验 .....       | 35 |
| AJ18 合金及其熔炼和热处理 ..... | 39 |

## 合 金 熔 炼

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 工频感应电炉在熔炼铝、铜合金上的应用 ..... | 48 |
| 铝合金炉料的查表法配料 .....        | 58 |
| 铝合金熔炼质量的炉前断口检查 .....     | 68 |
| 用六氟乙烷处理MJ15 镁合金 .....    | 85 |

## 特种铸造工艺

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 铝、铜合金低压铸造 .....           | 93  |
| 铝、铜合金的半液体模压和活塞压力下结晶 ..... | 106 |
| 铝合金压力下结晶工艺 .....          | 110 |
| 铝合金细孔铸造 .....             | 120 |
| 大型铜套的离心铸造 .....           | 131 |
| BM保护剂在镁合金型砂中的应用 .....     | 140 |

## 合 金 材 料

### 鎂稀土系 MZ3 鑄造鎂合金

鑄鎂合金作為一種最輕的結構材料在工業上得到了廣泛的使用。目前各廠生產的主要有 MJ15、MJ17-1 兩種合金，但是，這類鎂-鋁-鋅系合金熱強性能不高，如 MJ15 屬於一般常溫合金，在 150°C 溫度下就迅速軟化，而且在生產鑄件時容易產生顯微疏松缺陷。加了少量鈣的 MJ17-1 合金也只能用於 200°C 以下工作的零件，但鑄造性能不良。這類合金的使用範圍受到了一定的限制。

試制成功的 MZ3 是一種鎂-稀土-鋅-鎳系新型鑄造鎂合金。它含有 2.5~4.0%RE<sup>●</sup>，0.2~0.7%Zn 以及 0.2~1.0%Zr。經試驗證明，這種合金具有優越的高溫性能。從拉伸強度來看，雖然室溫下較上述兩種合金為低，但是在高溫下則相反，見表 1 所示。如果從高溫下長期工作的零件首先必須具備的持久強度和蠕變強度來看，MZ3 合金要比 MJ17-1 高得多。從表 1 可以看出，MZ3 在 250°C 下的性能相當於 MJ17-1 在 200°C 時的性能，或者在相同 200°C 溫度下，MZ3 的持久、蠕變性能較 MJ17-1 要高出一倍；因此推薦 MZ3 可用於在 250°C 下長期工作的零件。

此外，MZ3 合金沒有類似 Mg-Al-Zn 系合金所固有的顯微疏松傾向，合金的組織十分致密，氣密性高，所以也適用於耐壓附件的零件。

● RE 代表混合稀土金屬，一般含有 45~55%Ce，其他為 La、Nd、Pr、Sm 等稀土元素。

表 1 几种铸镁合金的机械性能

| 合 金 牌 号 | 室 温                   |                       |          | 150°C                 |                       |          | 200°C                 |                       |          | 250°C                 |                       |          | 300°C                 |                       |          |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|
|         | $\sigma_b$            |                       | $\delta$ | $\sigma_b$            |                       | $\delta$ | $\sigma_b$            |                       | $\delta$ | $\sigma_{100}$        |                       | $\delta$ | $\sigma_b$            |                       | $\delta$ |
|         | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | %        | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | %        | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | %        | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | %        | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | 公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | %        |
| MJ5-T4  | 24                    | 7                     | 20.5     | 13.0                  | 14.0                  | 14.0     | 5.0                   | 0.8                   | 11.0     | 13.5                  | —                     | —        | 9                     | 15                    | —        |
|         | 18                    | 5                     | 15.5     | 6.5                   | 12.5                  | 9.0      | 5.5                   | 2.5                   | 10.0     | 12.5                  | —                     | —        | 8                     | 14                    | —        |
| MZ3     | 13                    | 3                     | 13.0     | 6.0                   | 13.0                  | 10.0     | 9.0                   | 5.0                   | 12.5     | 13.0                  | 5.0                   | 2.5      | 11.0                  | 17                    | 2.5      |

MZ3 的主要合金元素为稀土元素，而我国拥有极为丰富的稀土资源，为这一类含稀土镁合金的大量生产和使用提供了有利条件。

### 合金的性能和組織

#### 一、合金的机械、物理和工艺性能

##### (一) 技术条件规定的化学成分和机械性能

暂行技术条件 HCLB 55-65 规定的化学成分见表 2，机械性能见表 3。

表 2 化学成分

| 合金元素，%  |         |         |    | 杂质，%(不大于) |      |     |      |        |        |
|---------|---------|---------|----|-----------|------|-----|------|--------|--------|
| 稀土元素总量  | 铝       | 锌       | 镁  | 铁         | 硅    | 铜   | 镍    | 其他杂质总量 | 全部杂质总量 |
| 2.4~4.0 | 0.2~1.0 | 0.2~0.7 | 余量 | 0.03      | 0.03 | 0.1 | 0.01 | 0.13   | 0.3    |

表 3 机械性能

| 抗拉强度<br>公斤/毫米 <sup>2</sup><br>不小于 | 延伸率<br>( $L=5d$ )<br>%<br>不小于 | 持久强度(100小时)<br>公斤/毫米 <sup>2</sup> | 蠕变极限(100小时内永久变形0.2%时)，公斤/毫米 <sup>2</sup> |     |     |  |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|--|
|                                   |                               | 试验温度，°C                           |                                          |     |     |  |
|                                   |                               | 200                               | 250                                      | 200 | 250 |  |
| 12                                | 1.5                           | 9                                 | 5                                        | 5   | 2.5 |  |

注：1. 用砂型单独浇铸或铸件附带试样测定。

2. 铸造状态不经热处理。

(二) 除了 HCLB 55-65 规定的主要性能指标以外，测定了其他室温全面性能 (见表 4)。

表 4 MZ3 合金室温机械性能<sup>①</sup>

| E <sup>②</sup>     | G    | $\sigma_{0.2}$ | $\sigma_{0.2}$ | $\sigma_b$ | $H_B$ | $\delta_{10}$ | $\psi$ | $\sigma_{-1}$ <sup>③</sup> |
|--------------------|------|----------------|----------------|------------|-------|---------------|--------|----------------------------|
| 公斤/毫米 <sup>2</sup> |      |                |                |            |       | %             |        | 公斤/毫米 <sup>2</sup>         |
| 4500               | 1600 | 5.3            | 9.8            | 13.6       | 55    | 2.5           | 3.2    | 7                          |

① 5 根试样的平均值。

② E 的测定是在预加负荷 200 公斤减少了滞弹性的影响以后再测定的。

③ 用单臂旋转光滑试样测定。

## (三) 高温机械性能

表5所列MZ3合金的高温瞬时、抗蠕变性能和持久强度随温度的变化而改变的情况。从图1中可更明显地看出，在低于250°C时，合金的拉伸强度随温度的提高而下降得并不显著，而只有在300°C时才有明显的降低，塑性大大增加。

表5 MZ3合金的高温性能

| 试验温度<br>°C | $\sigma_b$         | $\sigma_{0.2}$ | $S_K$ | $\delta_{10}$ | $\psi$ | $\sigma_{100}$     | $\sigma_{0.2/100}$ |
|------------|--------------------|----------------|-------|---------------|--------|--------------------|--------------------|
|            | 公斤/毫米 <sup>2</sup> |                |       | %             |        | 公斤/毫米 <sup>2</sup> |                    |
| 100        | 15.4               | 8.6            | 17.4  | 7.0           | 8.2    | —                  | —                  |
| 150        | 14.3               | 6.8            | 18.6  | 13.0          | 22.0   | —                  | —                  |
| 200        | 14.9               | 7.0            | 19.0  | 14.3          | 29.1   | >9                 | >5                 |
| 250        | 15.0               | 7.3            | 21.0  | 15.0          | 32.2   | >5                 | >2.5               |
| 300        | 10.9               | 5.7            | 22.4  | 26.7          | 68.4   | >2.5               | —                  |

曾作了17个炉次的75根试样的持久性能试验，在所作温度和典型性能负荷下全部超过100小时未断裂；蠕变性能作了14个炉次62根试样，其残余变形在鉴定温度和负荷下，远小于0.2%，看来MZ3合金的持久、蠕变性能尚有潜力。

## (四) 物理性能

MZ3合金的线膨胀系数、比热、比重见表6。

表6 MZ3合金的物理性能

| 比 重      | 1.80克/厘米 <sup>3</sup>       |
|----------|-----------------------------|
| 线膨胀系数    |                             |
| 室温-100°C | $23.6 \times 10^{-6}$ 厘米/°C |
| 室温-200°C | $25.1 \times 10^{-6}$ 厘米/°C |
| 室温-300°C | $25.9 \times 10^{-6}$ 厘米/°C |
| 比热       |                             |
| 100°C    | 0.248卡/克·°C                 |
| 200°C    | 0.250卡/克·°C                 |
| 300°C    | 0.260卡/克·°C                 |

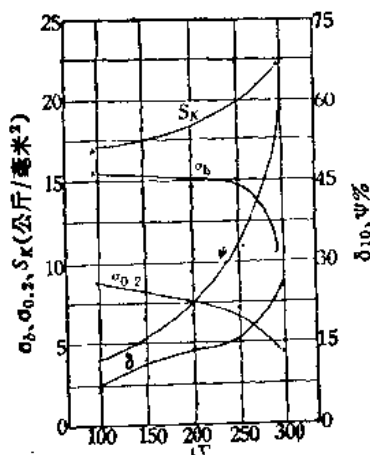


图1 温度对MZ3合金高温瞬时性能的影响

### (五) 焊接性能

焊补工艺试验是在  $250 \times 250 \times 10$  毫米的铸造板形试样上进行的。每块试板补焊 5 处，在焊补之前，在钻床上加工成  $\phi 30 \times 5$  毫米的人为缺陷，然后用氩弧焊补焊。检验表面缺陷表明，内部钨丝夹杂和其他夹杂均符合标准，焊接性能良好。焊缝接头进行了机械性能试验，强度较高。

### (六) 抗腐蚀性能

对合金在铸态、淬火、淬火时效、退火等四种状态作了如下两种试验，并与 MJ15 镁合金进行了对比：

1. 析氢腐蚀；
2. 熔剂腐蚀。

由于合金在高温下应用，因此在  $300^\circ\text{C}$  下长期处理后也作了试验，按标准方法所作的结果见表 7。

从试验结果可以看出，MZ3 在上述各种状态下的抗腐蚀性均优于目前广泛使用的 MJ15 镁合金。即使在  $300^\circ\text{C}$  温度下经过 100 小时长期处理之后，其析氢量也只有  $0.88$  毫升/厘米<sup>2</sup>，远低于 MJ15 合金任何状态下的析氢量。

表 7 MZ3 和 MJ15 在各种热处理状态下析氢量的比较

| 热处理状态                         | 析氢量,<br>毫升/厘米 <sup>2</sup> |      |
|-------------------------------|----------------------------|------|
|                               | MZ3                        | MJ15 |
| 铸态                            | 0.42                       | 12.0 |
| T4①                           | 0.39                       | 42.0 |
| T6②                           | 0.45                       | 17.5 |
| T2③                           | 0.81                       | —    |
| $300^\circ\text{C}$ 处理 100 小时 | 0.88                       | —    |

- ① T4—— $570^\circ\text{C}$ ，18 小时空气冷却。
- ② T6——T4 处理后，再进行  $205^\circ\text{C}$  时效 16 小时。
- ③ T2—— $325^\circ\text{C}$  处理 3～5 小时。

试验证明，MZ3 合金有这样好的抗腐蚀性能在很大程度上与合金中含有锆元素有关。由于锆的存在，大大降低了杂质的含量（详见合金成分的控制一节），特别是对镁合金抗腐蚀性能影响很大的铁杂质。当加入锆之后，一般合金中铁的含量均降低至  $0.004\%$  以下。同时，随着锆含量的增加，抗腐蚀性能有显著的提高，见图 2。因此从抗腐蚀性

能这一点看来,也希望合金中鋳含量更高一些。

用硝酸銀滴定法做了熔剂腐蝕試驗,共做了5个炉次的25个試样,内部沒有发现熔剂夹杂。

### (七)鑄造性能

在合金鑄造性能方面测定了流动性、热裂倾向和綫收縮等三个主要項目。从表8中可以看出在750°C溫度下澆注的流动性棒长为300毫米左右,与MJ15合金的流动性相近。綫收縮测定数据为1.2~1.3%左右。从热裂环澆注情况来看,出現裂紋的最大环寬为15毫米以下,証明热裂傾向較低。

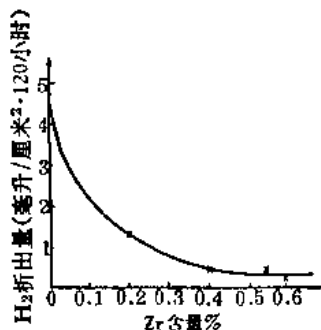


图2 MZ3合金中Zr含量对抗腐蝕性能的影响

表8 MZ3合金的鑄造性能

| 炉号  | 合金成分③   |         | 鑄造性能             |                        |                                           |
|-----|---------|---------|------------------|------------------------|-------------------------------------------|
|     | RE<br>% | Zr<br>% | 流动性①<br>(按棒长度毫米) | 热裂傾向②<br>(出現裂紋的最大环寬毫米) | 綫收縮<br>$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_1}$ |
| A34 | 2.89    | 0.55    | 307              | 15                     | 1.33                                      |
| A37 | 2.95    | 0.55    | 297              | <12.5                  | 1.22                                      |

① 澆注溫度为 750°C。

② 澆注溫度为 720°C。

③ 合金中鋳甚稳定,故未測定。

## 二、合金元素对机械性能的影响

在技术条件範圍内各种成分的变动对机械性能的影响,主要取各元素含量的上下限。各炉的化学成分见表9,机械性能见表10。

从表9、10可以看到:在滿足技术条件規定的成分範圍内,所有上下限均能得到合格的室溫性能和良好的高溫性能。同时,可以看到:稀土金屬在上限时,延伸率較显著地降低,而耐热性

能有提高的趋势。室温拉伸强度在很大程度上决定于合金中的鋳含量。鋳在合金中对机械性能看不出什么影响。

表 9 上下限成分炉次的化学成分

| 炉 号 | 化 学 成 分, % |      |      |       |
|-----|------------|------|------|-------|
|     | RE         | Zn   | Zr   | Fe    |
| 29  | 3.91       | 0.64 | 0.53 | 0.004 |
| 30  | 2.75       | 0.68 | 0.52 | 0.006 |
| 31  | 2.85       | 0.39 | 0.33 | 0.004 |
| 32  | 3.82       | 0.40 | 0.28 | 0.004 |
| 33  | 3.95       | 0.26 | 0.46 | 0.008 |
| 34  | 2.54       | 0.27 | 0.50 | 0.006 |

表10 化学成分对MZ3合金机械性能的影响

| 炉<br>号 | 室温性能                                |               | 250°C 的蠕变性能                            |       |       | 250°C 持久性<br>能持續時間,<br>小时① |
|--------|-------------------------------------|---------------|----------------------------------------|-------|-------|----------------------------|
|        | $\sigma_b$<br>公斤<br>毫米 <sup>2</sup> | $\delta$<br>% | 負荷2.5公斤/毫米 <sup>2</sup> , 100小时的变形量, % |       |       |                            |
|        |                                     |               | 总变形量                                   | 弹性变形  | 残余变形  |                            |
| 29     | 14                                  | 1.9           | 0.075                                  | 0.054 | 0.021 | 235                        |
| 30     | 13.7                                | 2.6           | 0.098                                  | 0.069 | 0.029 | 163                        |
| 31     | 12.9                                | 2.3           | 0.095                                  | 0.063 | 0.03  | 207                        |
| 32     | 12.6                                | 1.6           | 0.055                                  | 0.053 | 0.002 | 254                        |
| 33     | 13.0                                | 1.7           | 0.059                                  | 0.055 | 0.004 | >278②                      |
| 34     | 13.6                                | 3.3           | 0.053                                  | 0.050 | 0.003 | 212                        |

① 負荷为 5 公斤/毫米<sup>2</sup>, 經100小时持久試驗后, 負荷增加至 6.5 公斤/毫米<sup>2</sup>, 經200小时試驗后, 在試样仍未断裂的情况下, 繼續增加至 7.5 公斤/毫米<sup>2</sup>, 直至断裂的小时数。

② 三个試样到达二次加負荷之后, 278小时仍未断裂, 停止試驗。

为了更清楚地看出鋳对室温性能的影响, 表 11 中列出了几炉相同稀土金屬含量, 不同鋳含量的室温拉伸性能。鋳含量与断口組織、性能的关系见图 3 和图 4。由图可見, 鋳含量愈高, 所得試样的断口愈細, 机械性能愈高。因此在熔炼合金时, 应注意炉料的成分和清理, 严格控制工艺过程, 以获得高鋳含量的优质合金。

表11 不同鋅含量对室温拉伸性的影响

| Zr 含 量, % | 机 械 性 能                         |                |
|-----------|---------------------------------|----------------|
|           | $\sigma_b$ , 公斤/毫米 <sup>2</sup> | $\delta_5$ , % |
| 0.22      | 12.3                            | 2.3            |
| 0.33      | 12.9                            | 2.5            |
| 0.39      | 12.9                            | 2.7            |
| 0.44      | 14.7                            | 3.3            |
| 0.55      | 14.9                            | 3.7            |

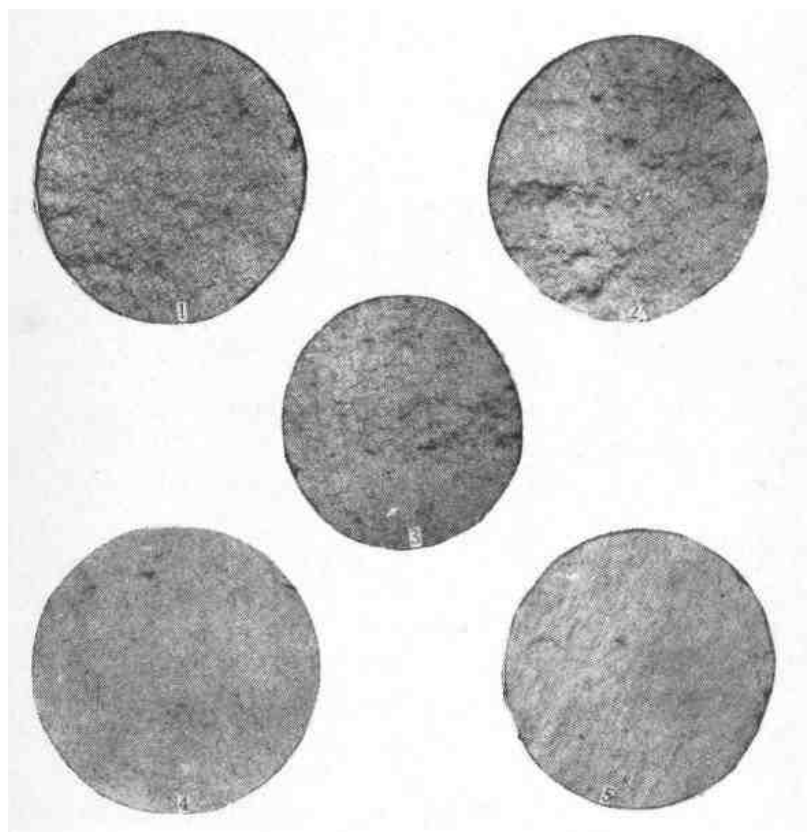


图3 不同含鋅量的砂模試棒断口組織

1—0.22%Zr; 2—0.33%Zr; 3—0.39%Zr; 4—0.44%Zr;  
5—0.55%Zr.

### 三、合金的金相組織

MZ3鎂合金采用混合稀土金屬作为主要添加元素。混合稀土金屬中除了含有50~60%鈾以外，尚有鐳 (La)、釹 (Nd)、鐑 (Pr)、鈺 (Sm) 等稀土元素。从已有的平衡图来看，鎂与各稀土元素均形成金屬間化合物  $Mg_2(RE)$ 、 $Mg_3(RE)$  以及  $Mg_{12}(RE)$  等，十分相似。

目前 Mg-Ce 平衡图有多种，但在富鎂一角基本上是相同的。从图 5 看出，鈾在鎂中的溶解度很小，在共晶温度 590°C 时約为 1.6%，但随着温度的降低溶解度剧烈下降：

|       |           |
|-------|-----------|
| 590°C | 1.6% Ce   |
| 550°C | 1.0% Ce   |
| 500°C | 0.5% Ce   |
| 337°C | <0.15% Ce |

从状态图看出，在 614°C 有一包晶反应，生成物为  $Mg_3Ce$  化合

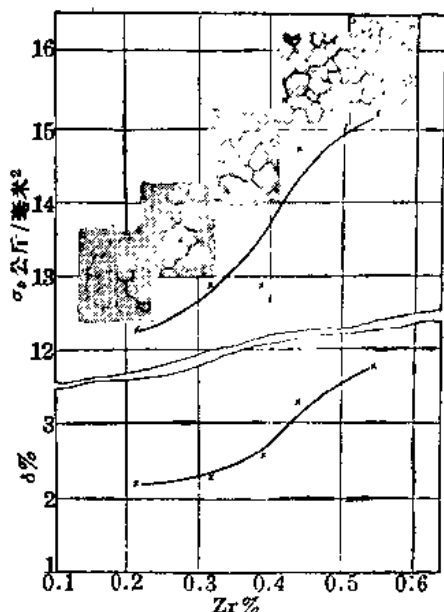


图 4 含鋯量对合金室温拉伸性能和金相組織的影响

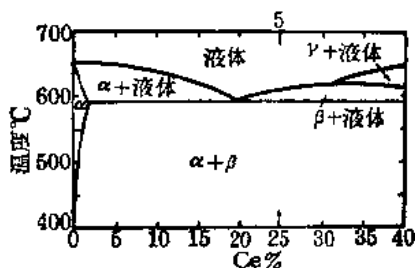


图 5 鎂-鈾平衡图富鎂部分

物。随着温度的下降， $\alpha$  固溶体自溶液中析出（亚共晶成分），而溶液中含铈量逐步提高。当溶液中含铈量达到 21% 时，在 590°C 产生共晶反应，共晶体（ $\alpha + \text{Mg}_2\text{Ce}$ ）直接自液相析出。MZ3 合金含有 2.5~4.0% RE，从金相组织观察到除  $\alpha$  固溶体以外，尚有共晶体在枝晶间分布，见图 6。当在 325°C 温度下进行 3~5 小时退火处理之后， $\text{Mg}_2(\text{RE})$  自晶粒内部析出，见图 7。在工作温度（250°C）下作 100 小时持久试验之后，也出现大量析出物，见图 8。

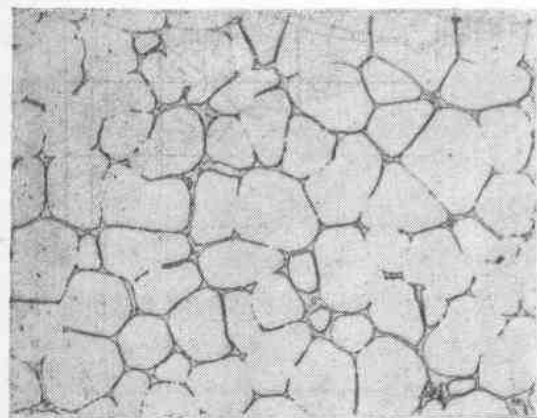


图 6 MZ3 合金铸态组织 ×200

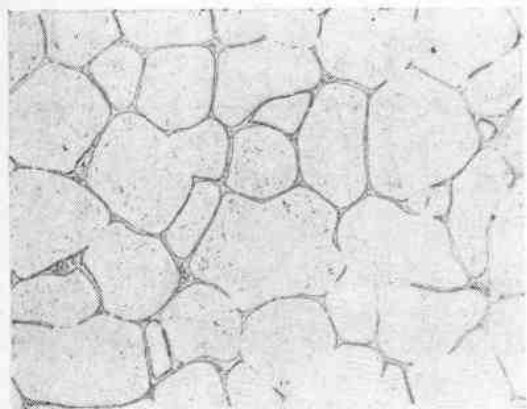


图 7 MZ3 合金退火后的组织 ×200

由于共晶温度较高（590°C），因此需要采取较高的热处理温度（570°C）来进行固溶强化。铸件热处理工艺比较复杂，因此除了有一些铸件由于受力情况必须进行淬火时效以外，一般都可以在铸态下使用。复杂的铸件可在 325°C 温度下退火处理 3~5 小时，以消除铸件内应力。

锆加入到合金中主要是细化组织，提高机械性能。目前 Mg-Zr 二元平衡图也有多种，

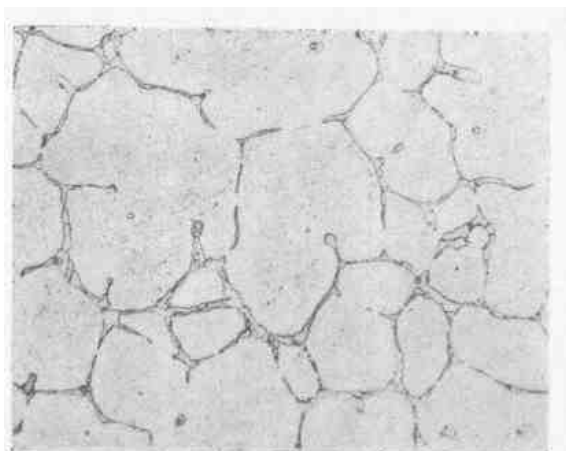


图8 MZ3合金經250°C、100小时持久試驗后的組織  $\times 200$

其差异也較大。图9所示为目前用得較為广泛的 Mg-Zr 平衡图的富鎂一角。从图可見：鋯在液态鎂中的溶解度极为有限，在包晶溫度 654°C 时为 0.58%，当溫度升高时液相綫十分陡直，溶解度数据为：

|       |          |
|-------|----------|
| 700°C | 0.60% Zr |
| 760°C | 0.64% Zr |
| 781°C | 0.65% Zr |
| 900°C | 0.67% Zr |

当含鋯的熔液在冷却过程中，包晶点以右，即含鋯量高于 0.58% 的成分中， $\alpha$  Zr 由过饱和的溶液中首先析出。由于鋯与鎂均为密排六方晶格，同时晶格常数又十分相近，因此，首先析出的  $\alpha$  Zr 微粒成为合金液在冷却结晶过程中的结晶核心，为合金組織細化創造了充分有利的条件。

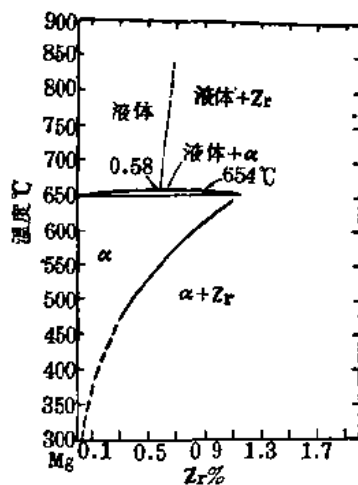


图9 鎂-鋯平衡图

在鋯含量低于包晶点，即小于 0.58% 时，晶粒也得到不同程

