

# 高强度铸造锌基合金的研制

陕西省机械研究所 卜明权

本文就高强度铸造锌基合金的化学成分、热处理工艺等对力学性能及金相组织的影响进行了探讨。在与ZSn6-6-3摩擦磨损性能对比的基础上,得出该合金是一种良好的耐磨材料,可代替锡青铜制造耐磨件,在工业生产中有很大的实用价值和应用潜力。

## Manufacture of High Strength Cast Zinc-Base Alloy

Bu Mingquan

(Machinery Institute of Shaanxi Province)

This article has made an approach on the influence of chemical composition, and heat treatment process of high strength cast zinc-base alloy to the mechanical properties and metallography structure. In the meantime, on the basis of the test compared with ZSn-6-6-3 friction abrasion property, it has been got out that the alloy is a good abrasion-resistant material, it may take the place of tin-bronze to make abrasion-resistant parts, and there is great practical value and applied potentiality in the industrial production.

铸造锌基合金近年来国外发展迅速,已形成包括:ZA-8、ZA-12、ZA-27的系列合金。这一系列合金以其优良的力学性能、铸造工艺性能、熔配工艺简便、能耗低、无污染、原材料丰富、使用性能好、成本低等一系列优点,成为铜合金的竞争对象,引起国内外材料研究者的极大关注。

据悉近年来有的国家有将这一系列合金的部分合金进行标准化的趋势,西德、日本、美国等已进入工业性生产;国内铸造工作者近年来就其性能及应用也进行了一些探讨,取得可喜的进展。总的来看,国内研究工作尚处于试验阶段、实验室工作时期。因此开展锌铝系列合金的研究及应用推广,将有其显著的经济效益和实际生产意义。

### 一、冶金学依据

目前所研究和应用的铸造锌合金,多为锌铝系合金,Zn-Al二元合金是配制各种高强度锌合金的基础。

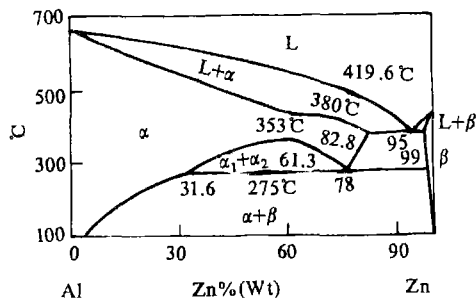


图1 Zn-Al二元相图

由图1可见,该合金不形成金属间化合物,液态无限互溶,而且在相当宽的锌含量范围内,其凝固区间很宽。这对铸造性能是一个重要因素,该合金在5%Al (380°C)处有一共晶反应和22%Al (275°C)处有一共析反应。从

相图可以看出该系合金可以进行热处理。浇注和热处理冷却速度改变时,可以引起不同的强化机理。

由于结晶温度区间很宽,初晶形成枝晶骨架产生偏析、疏松缺陷,共析体在合金中占很大比例,所以共析反应对合金性能影响很大,通常的铸造条件下,共析反应进行不完全。因此铸态各相处于不平衡状态,故能产生时效效应,在室温继续进行分解。

合金元素Re、Ti、B、Zr、Co、Li、Ni、Mg等能以金属间化合物的形式强化合金,改善其综合性能。

### 二、试验条件

本试验所用材料为:1# 锌 Al-00、Al-Cu50%、Al-10%Mn、Al-5%Ti (Co),工业纯镁。试验所用熔炼设备为7.5kW坩埚电阻炉,石墨坩埚。

拉伸试样(如图2),采用直接铸成,尺寸为 $\phi 12\text{mm} \times 60\text{mm}$ ;冲击试样为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ ;压缩试样用1:3,其尺寸为 $\phi 10\text{mm} \times 30\text{mm}$ ,硬度试样为 $\phi 18\text{mm} \times 10\text{mm}$ ;均由 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 200\text{mm}$ 铸条加工而成。金相试样取至拉伸试样切头。

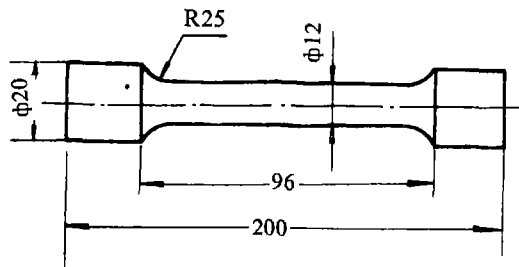


图2 拉伸试样图

### 三、试验结果及讨论

试验所得该合金湿砂型铸态力学性能与锡青铜对比如表 1 所示。

高强度锌基合金的比重约为  $4.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点约为  $382\sim 490^\circ\text{C}$ 。

#### 1. 化学成分对力学性能的影响

表 1 铸态力学性能对比

材 料 性 能	高强度锌基合金	锡青铜
$\sigma_b(\text{MPa})$	263~412	126~215
$\delta(\%)$	1~3	8~10
HB	110~130	60~80
$a_K(\text{kJ}/\text{m}^2)$	147~323	—
抗压强度(MPa)	径向 505	206
	轴向 392~785	—

表 2 铝含量对力学性能的影响

性 能 成 分	$\sigma_b(\text{MPa})$	$\delta(\%)$	HB
24 %	363	1.7	107
26 %	363	1.8	104
27 %	382	1.5	120
31 %	412	1.9	130

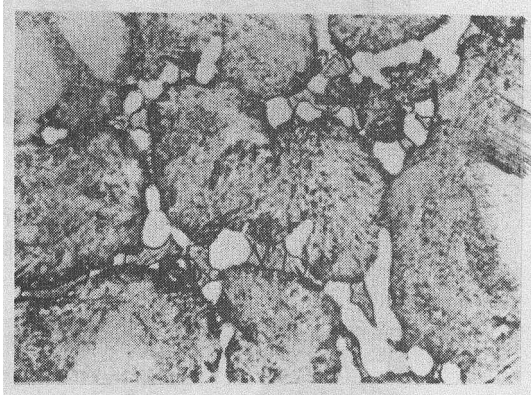


图 3 铸态金相组织 500×

表 3 铜对力学性能的影响

性 能 成 分	$\sigma_b(\text{MPa})$	$\delta(\%)$	HB
1.6 %	363	1.60	113
2.0 %	363	1.30	111
2.5 %	392	1.88	130

#### (1) 铝对力学性能的影响

铝是锌基合金的主要强化元素。铝能细化晶粒，改善力学性能。铝对力学性能的影响如表 2 所示。

由表可见，铝增加，强度有所提高，而延伸率基本上没有变化，因此铸造锌铝系列合金有向高铝发展的趋势。

图 3 为其铸态金相组织。基本为  $\alpha$  相，系 Zn 在 Al 中的固溶体，白色心部为初生富铝相，次外部为  $\eta$  相，系 Al 在 Zn 中的固溶体，即富 Zn 区，分布于晶界的白亮部分为

材料工程

三元共晶体。

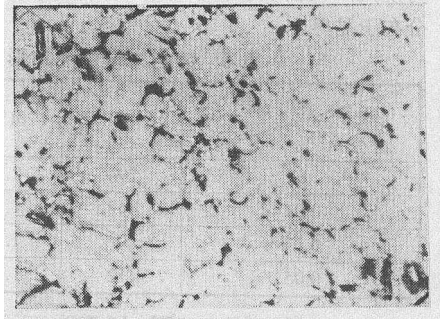


图 4 铜相组织 300×

表 4 锰对力学性能的影响

性 能 成 分	$\sigma_b(\text{MPa})$	$\delta(\%)$	HB
0.30	353	1.0	125
0.40	363	1.8	—
0.45	363	1.5	109
0.50	412	1.7	131
0.55	353	1.2	—
0.65	412	1.9	130

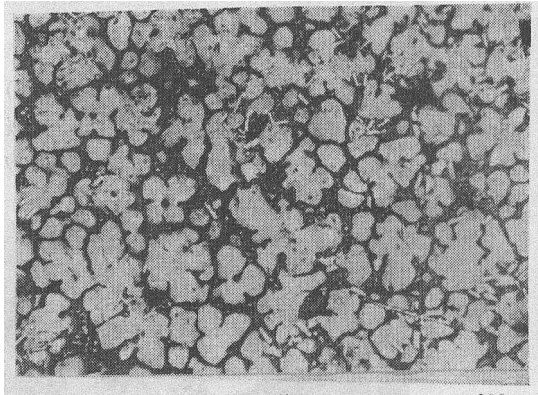


图 5 锰相形貌 300×

表 5 钛对力学性能的影响

性 能 成 分	$\sigma_b(\text{MPa})$	$\delta(\%)$	HB
0.03 %	353	1.0	137
0.05 %	412	1.7	131
0.06 %	382	1.6	130

#### (2) 铜对力学性能的影响

铜对性能的影响如表 3 所示。由表可见，铜对力学性能的影响不太显著。铜在锌基合金中呈金属间化合物 ( $\text{CuAl}$ ) 来影响固态反应。从图 4 中可见，铜相主要分布于晶界，为白块、点状物所组成的三元共晶体和沿相边缘分布的连续、断续的白色点、条二元共晶体。铜量的变化可抑制共析相量，加入铜可延缓共析反应。铜在锌基合金中主要形成耐磨硬质点相，改善力学性能，提高耐磨性。

#### (3) 锰对力学性能的影响

锰量与力学性能的关系见表 4。锰对力学性能的影响不大，但可提高硬度。在合金中锰形成金属间化合物 ( $\text{MnAl}_6$ )。能提高锌合金的耐磨性。锰相的形貌见图 5。

为规则的大白块和棒状组织，也有少量的针状组织，主要分布于晶界。

表 6 镁对力学性能的影响

成分 % \ 性能	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB
0	294	2.65	97
0.01	363	1.80	109
0.03	36	1.60	112
0.05	412	1.90	130

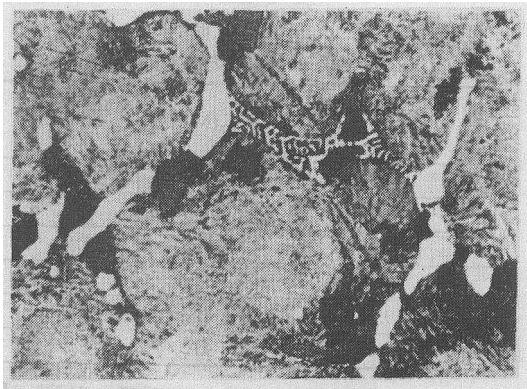


图 6 镁相组织 500×

(4) 钛对力学性能的影响

试验表明钛对力学性能无显著影响（见表 5）。钛在合金中主要是细化晶粒，并形成耐磨硬质相，镶嵌在  $\alpha$  基体上，呈耐磨支撑点，提高耐磨性。其相结构为  $TiAl_3$  (或  $TiZn_3$ )，通常形态为小块状、十字花状或条状。

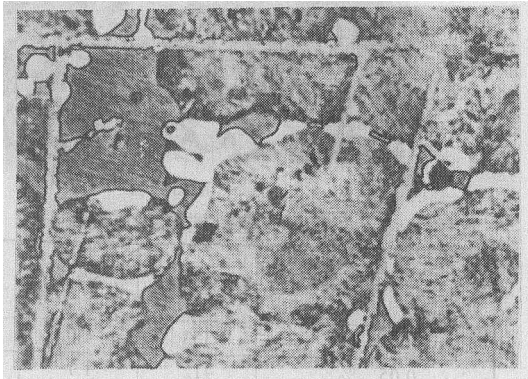


图 7 铁相形貌 500×

表 7 铁对力学性能的影响

成分 % \ 性能	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB
0.02	412	1.9	130
0.05	353	1.0	137
0.07	353	1.5	131

(5) 镁对力学性能的影响

镁能细化晶粒，亦可固溶于  $\alpha$  相，镁对力学性能影响较显著，随镁量提高，锌合金强度提高，而塑性略有降低（见表 6）。镁相形貌见图 6，经能谱分析该组织为  $Mg_2Si$ ，分布于晶界，呈“人”形花纹。

(6) 铁对力学性能的影响

在所试铁含量范围内，铁对锌基合金力学性能无明显影响。其金相组织如图 7 所示，经能谱分析该组织为  $(MnFeSi) Al_6$  相。

2. 热处理对力学性能的影响

热处理对力学性能的影响见表 8。该合金在铸态下各相处于不平衡状态，故能产生时效作用，室温下继续进行共析分解，会造成尺寸偏差，因此探索热处理工艺，以期改变组织结构，改善力学性能，稳定几何尺寸。

表 8 不同热处理工艺对力学性能的影响

状态 \ 性能	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB
铸态	393.2	1.40	129
退火	352	2.26	98
淬火	389.3	1.44	171
正火	437.3	1.30	130
淬火+人工时效	319.6	1.63	91
人工时效	295.1	2.62	90.5

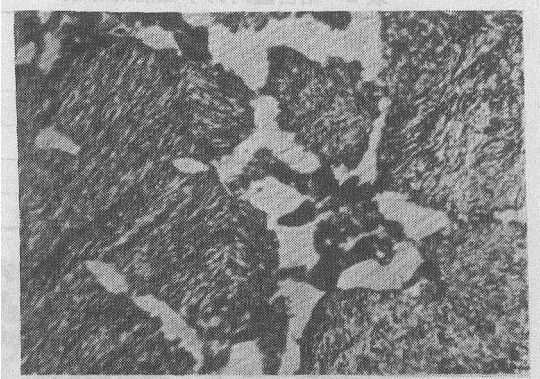


图 8 退火组织 500×

(1) 退火状态

合金经  $360^\circ C \times 2h$  退火后，其共析相  $\alpha + \eta + (CuAl + Al)$  呈层片状结构。塑性提高，强度下降，但仍比锡青铜高 1 倍。退火组织见图 8。

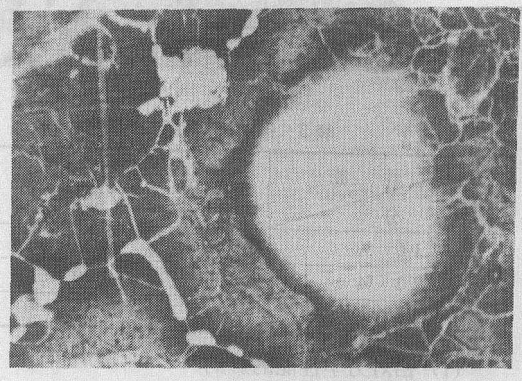


图 9 淬火组织 500×

(2) 淬火状态

合金经  $360^\circ C \times 2h$  后，水淬，其基体组织细化呈细小粒状，还有未固溶的  $CuAl$  相和  $CuAl$  相的网状组织， $MnAl$  相呈花瓣状（图 9）。由于这几个组成相硬度均较高，加之形成网状化合物，所以淬火状态的硬度显著提

高，而强度不变。

### (3) 正火状态

在正火的保温过程中，二元和三元共晶体均溶于 $\alpha$ 、 $\eta$ 固溶体中，而在随后的冷却时，CuAl相不同程度地从固溶体中析出，最终组织为具有隐型细小片状的 $\alpha+\eta$ +CuAl共析体，MnAl相为花瓣状（图10）。这种细小颗粒状隐型组织，既有淬火状态的细小颗粒特点，又有退火状态层片状特点，因此合金的强度和硬度均有提高，且塑性基本上保持不变。

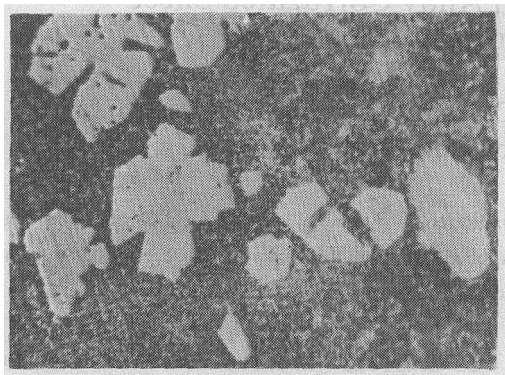


图10 正火组织 250×

### (4) 淬火+人工时效

合金经360℃×2h淬火后，在250℃下时效，其组织粗大化（图11），强度、硬度均下降，而塑性略有提高。

### (5) 人工时效

铸态试样在250℃下进行时效，其组织除 $\alpha$ 和 $\eta$ 相外，三元共晶体依然存在，二元共晶体CuAl相大量析出（图12），因此合金的强度、硬度显著下降，但塑性增加。

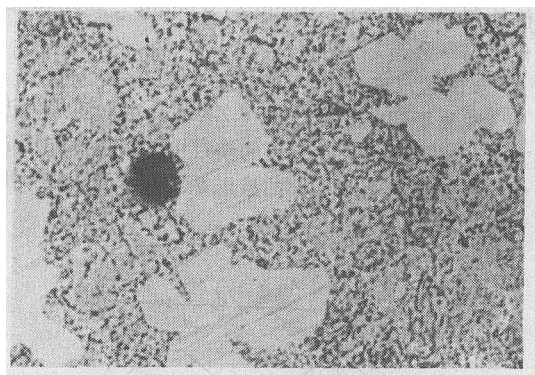


图11 淬火+人工时效 500×

锌合金经退火，人工时效之后塑性显著提高，但它是以牺牲强度为代价的。淬火处理后，强度和塑性无明显变化，而硬度显著提高，作为耐磨件是一种可行的工艺。合金经正火处理，硬度和塑性基本不变，而强度有所提高，此工艺可作为获得良好综合性能工艺。

### 3. 磨损性能

试验设备：M-200 磨损试验机，滑动摩擦；负载500MPa；速度400次/分；20<sup>#</sup>机油；室温；对磨付材料GCr15。

试验结果如图13，由图可见，在最初的3×10<sup>6</sup>摩擦磨损中，锌合金耐磨性约为锡青铜的4倍多。磨损周次达7.5×10<sup>6</sup>次后，锌基合金耐磨性仍远高于锡青铜。在9×10<sup>6</sup>磨损期，锌合金耐磨性约为锡青铜的2.5倍，说明锌合

金持久耐磨性良好。

锌基合金中加入Mn、Ti后可细化晶粒，同时Mn、Ti中极小部分固溶于 $\alpha$ 相，可强化基体，而绝大部分则形成金属间化合物MnAl<sub>6</sub>、TiAl<sub>3</sub>（或TiZn<sub>5</sub>）分布于 $\alpha$ 基体上，在摩擦磨损过程中对轴起支撑作用，形成凹凸不平的状态，可能起到贮油作用，因而在短时缺乏良好润滑情况下，表现所谓“自润滑”和“应急作用”的能力，有利于提高耐磨性。

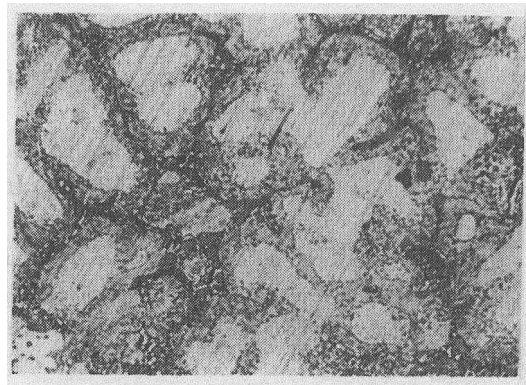


图12 人工时效组织 250×

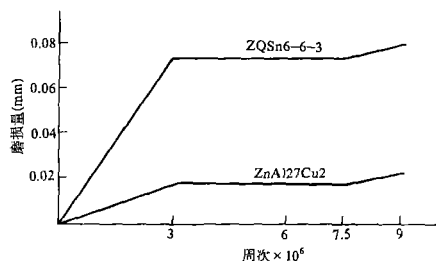


图13 磨损曲线

## 四、结束语

1. 高铝锌合金是一种综合性能优良的工程材料。其铸造性能、耐磨性能优于铸造锡青铜。

2. 所试高铝锌合金湿砂型铸态组织为 $\alpha+\eta+(CuAl+Al)$ 二元共晶+ $(\alpha+CuAl+\eta)$ 三元共晶+MnAl<sub>6</sub>+TiAl<sub>3</sub>（或TiZn<sub>5</sub>）。

3. 高铝锌合金组织结构是软基体上镶嵌坚硬的MnAl<sub>6</sub>、TiAl<sub>3</sub>（或TiZn<sub>5</sub>）等金属间化合物。耐磨性和自润滑能力优于锡青铜，是一种较好的轴承材料。

4. 适当的热处理工艺，可改善高铝锌合金的组织，改善力学性能，稳定几何尺寸。

5. 适当的工艺措施可消除“曳拉”缺陷。添加适量的合金元素可消除比重偏析，成分偏析。

6. 配制高铝锌合金时，所用设备简单，材料来源广泛，成本低，经济效益显著，具有实际生产意义和推广应用价值。

（本文为第三届全国有色金属应用技术交流会的优秀论文一编者）

参考文献(略)