

现代铸造合金及其熔炼技术丛书



# 铸造锌、铜合金

耿浩然 王守仁 王艳 等编著



化学工业出版社



现代铸造合金及其熔炼技术丛书



# 铸造锌、铜合金

耿浩然 王守仁 王艳 等编著



化学工业出版社

·北京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

铸造锌、铜合金/耿浩然, 王守仁, 王艳等编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 8  
(现代铸造合金及其熔炼技术丛书)  
ISBN 7-5025-9192-3

I. 铸… II. ①耿…②王…③王… III. ①锌合金-铸造②铜合金-铸造 IV. TG291

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 095509 号

---

现代铸造合金及其熔炼技术丛书

**铸造锌、铜合金**

耿浩然 王守仁 王艳 等编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 项 激

责任校对: 王素芹

封面设计: 尹琳琳

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 365 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9192-3

定 价: 32.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换





《现代铸造合金及其熔炼技术丛书》

编辑委员会

顾问：贾 均 马家骥 王执福

主任：耿浩然

副主任：滕新营 李长龙 丁宏升

委员：（按汉语拼音排列）

陈广立 陈俊华 陈瑞润 丁宏升 耿浩然 郭忠全 惠林海

吉蕾蕾 李长龙 李 辉 李永生 刘 玲 刘 鹏 刘亚妹

吕振宇 孙 宾 孙春静 陶珍东 滕新营 王 彬 王 飞

王桂青 王桂珍 王吉岱 王 瑞 王守仁 王 艳 王致明

徐福松 杨中喜 张 芬 张景德 张希胜 赵秀阳 赵忠魁



# 前 言

随着科学技术的进步,基础理论研究的不断深入,锌及其锌合金、铜及其铜合金在机械工业、化学工业、汽车及航空航天等领域得到广泛应用。特别是近年来,出现了许多关于锌及其锌合金、铜及其铜合金的新技术、新材料和新设备仪器,为研究生产性能优良、质量优的锌及其锌合金、铜及其铜合金材料奠定了基础。中国加入WTO以后,已经成为国际上重要的锌、铜铸件生产出口基地,金属材料产业将得到进一步发展,这对铸件质量和性能以及熔炼技术提出了新的和更高的要求。在上述情况的背景下,我们编写了这本书,以期推进我国锌合金、铜合金的研究及生产应用的进一步发展。

本书涉及的铸造锌、铜合金及其熔炼技术是重要而实用的工程技术,铜合金和锌合金是重要的、用途广泛的一类金属工程材料。目前,锌合金、铜合金及其熔炼技术虽在相关专业技术书或手册中有所介绍和论述,但讲述得不系统,不完整,内容过于陈旧,不能适应国内现代教育、科学技术发展和生产实际的要求。

本书参考了国内外多年来的科研、教学成果和经验,系统、全面地论述有关铜、锌合金材料及熔炼技术、热处理和表面处理技术等方面的知识,介绍了国内外最新的该类合金材料及熔炼技术方面的研究成果和应用实例,并附有国内外锌合金和铜合金牌号、化学成分的资料,给出了来自实践的丰富的试验和生产数据,加强了实用性,突出了先进性。考虑到知识的系统性和市场的需求,对铸铜、铸锌合金材料及其熔炼技术作系统、全面地介绍,补充最新的研究成果是必要的。

本书的特点是重视理论联系实际,编写中力求深入浅出地阐明有关基础理论和基本概念,将先进性、科学性与实用性相结合,以充分反映国内外当代有关的先进技术及发展趋势,因此,本书既有一定的学术价值,又有重要的工程应用前景。

本书可作为大专院校机械工程、材料科学与工程、金属材料工程、材料成形与控制工程等专业的教材或参考书,也可供设计与科研单位、各工业部门中从事该专业的科技人员和铸造工作者使用或参考。

本书的第1章和附录由耿浩然和张芬编写;第2、3、4章由耿浩然、王艳和王飞编写,第5、6、8章由耿浩然、王守仁和惠林海编写;第7章由王守仁编写,第9章由耿浩然和郭忠全编写。全书由耿浩然总策划和统稿,王守仁和王艳对本书进行了全面审阅和修改。参加本书编写和整理的还有滕新营、刘玲、陈广立、孙春静、陶珍东、杨中喜、王瑞、李辉、王彬、王桂珍、郭华、王致明、吉蕾蕾、徐福松、李永生、刘亚妹、陈昕、耿亚伦、刘军、杨洁等。

本书谨向所有参考文献作者致以衷心的感谢!书末列有主要参考文献,但限于

篇幅，未能悉数列出，祈请未列入的作者谅解，并深致歉意。

本书在编写和出版的过程中，得到了编者所在单位领导的关心指导与大力支持，谨致衷心感谢！

由于编者学识水平所限，书中不当之处在所难免，竭诚希望读者不吝批评指正。

**编著者**

**2006年6月于济南**



# 目 录

## 第 1 篇 锌合金及其熔炼技术

<b>第 1 章 铸造锌合金材料</b> .....	3
1.1 概述 .....	3
1.1.1 锌的存在形式及基本属性 .....	3
1.1.2 铸造锌合金的特点 .....	3
1.1.3 合金牌号 .....	5
1.1.4 铸造锌合金的分类 .....	5
1.1.5 铸造锌合金的特点及其应用 .....	7
1.1.6 我国锌加工业的现状与发展前景 .....	7
1.2 锌铝系合金 .....	9
1.2.1 铝元素的基本性质 .....	9
1.2.2 锌铝合金的优势 .....	9
1.2.3 锌铝合金的基本性质和特点 .....	9
1.2.4 锌铝合金的显微组织 .....	10
1.2.5 锌铝合金的力学性能及晶间腐蚀 .....	13
1.2.6 锌铝合金的应用 .....	20
1.2.7 铸造锌铝合金的耐热性 .....	22
1.3 压铸用锌合金 .....	24
1.3.1 压力铸造的基本概念及原理 .....	24
1.3.2 压铸锌合金的组织结构及基本特点 .....	26
1.3.3 力学性能随温度的变化 .....	26
1.3.4 掺杂元素在压铸锌合金中的作用 .....	27
1.3.5 压力铸造的基本设备 .....	31
1.3.6 锌合金压铸的工艺参数 .....	37
1.4 锌合金其他铸造成形技术及特点 .....	39
1.4.1 砂型铸造 .....	39
1.4.2 挤压铸造 .....	39
1.4.3 永久性铸造 .....	41
1.4.4 半固态铸造 .....	42
1.4.5 离心铸造 .....	43
1.5 铸造锌基复合材料的组织与性能 .....	45
1.5.1 金属基复合材料的概念、类型及复合原则 .....	45
1.5.2 增强体的类型及基本性质 .....	47
1.5.3 铸造锌基复合材料的力学性能 .....	53
1.5.4 铸造锌基复合材料的高温性能 .....	57
1.5.5 铸造锌基复合材料的摩擦磨损行为 .....	60
<b>第 2 章 锌合金的熔炼与铸造</b> .....	64
2.1 熔体特点及熔炼过程原理 .....	64
2.1.1 锌及其合金熔炼基本知识 .....	64
2.1.2 熔体特点 .....	65
2.1.3 熔炼设备 .....	69
2.1.4 熔炼过程原理 .....	69
2.2 熔体的精炼处理 .....	71
2.2.1 影响熔炼损耗的因素 .....	71
2.2.2 净化处理 .....	71
2.2.3 设备对精炼的作用 .....	72
2.2.4 精炼剂 .....	72
2.3 熔体的细化、变质处理 .....	74
2.3.1 变质、细化的概念 .....	74
2.3.2 含钛细化剂 .....	75
2.3.3 稀土元素 .....	76

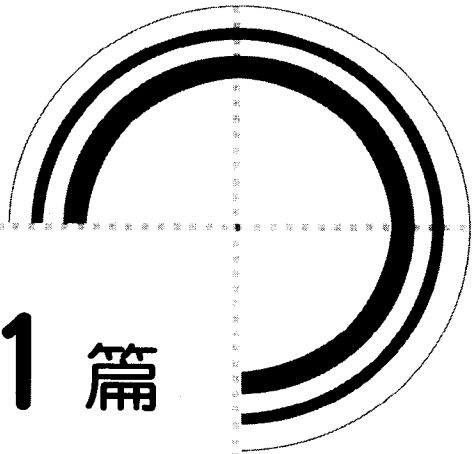
2.4 ZA-27 合金的熔炼工艺及特点	76	2.5 炉前检验	79
2.4.1 中间合金熔炼工艺	76	2.5.1 温度测量	79
2.4.2 纯金属熔炼	77	2.5.2 化学成分分析	80
2.4.3 低温直接熔炼新工艺	77	2.5.3 炉前试验	80
2.4.4 热速处理工艺	77		
<b>第3章 锌合金的热处理和表面处理</b>	<b>81</b>		
3.1 稳定化热处理	81	3.4.1 电镀	85
3.2 均匀化热处理	84	3.4.2 涂漆	86
3.3 强化热处理	84	3.4.3 金属喷镀	87
3.4 表面处理	85	3.4.4 阳极氧化处理	87
<b>第4章 锌合金的质量控制</b>	<b>90</b>		
4.1 质量检查	90	4.2.2 锌基合金模具成形后缺陷 分析	95
4.2 铸造缺陷分析	91	4.2.3 热型连铸锌铝合金的缺陷 分析	97
4.2.1 锌合金压铸件铸造缺陷形成 及解决方法	91		

## 第2篇 铜合金及其熔炼技术

<b>第5章 概述</b>	<b>105</b>		
5.1 铜的自然属性	105	5.4 铜的回收利用	107
5.2 铜的储量	105	5.5 铜合金	107
5.3 铜的主要用途	106		
<b>第6章 铜及铜合金性能</b>	<b>108</b>		
6.1 纯铜	108	6.3.5 特殊黄铜	142
6.1.1 概述	108	6.4 白铜	146
6.1.2 牌号	108	6.4.1 概述	146
6.1.3 性能	108	6.4.2 牌号	146
6.1.4 铜的合金化	118	6.4.3 性能	146
6.1.5 铜合金的分类及编号	118	6.4.4 白铜的合金元素与杂质对其 性能的影响	147
6.2 青铜	119	6.4.5 特点和用途	147
6.2.1 概述	119	6.5 艺术铜合金	148
6.2.2 牌号	119	6.5.1 紫铜	148
6.2.3 锡对青铜性能的影响	119	6.5.2 黄铜	148
6.2.4 青铜性能	119	6.5.3 青铜	148
6.2.5 合金及杂质元素对锡青铜 性能的影响	123	6.5.4 白铜	151
6.2.6 特殊青铜	124	6.6 铜合金的应用和发展趋势	151
6.3 黄铜	131	6.6.1 引线框架铜合金材料	151
6.3.1 概述	131	6.6.2 铬锆镁铜合金	153
6.3.2 牌号	134	6.6.3 高强铍铜合金	154
6.3.3 锌对铜合金性能的影响	134	6.6.4 接触线铜合金	155
6.3.4 普通黄铜	135	6.6.5 其他合金开发应用	155



<b>第7章 铜及铜合金的熔炼与铸造</b>	157
7.1 原材料和回炉料	157
7.2 中间合金	158
7.2.1 牌号和化学成分	158
7.2.2 中间合金的熔炼工艺	158
7.3 熔剂	161
7.4 熔炼准备	165
7.4.1 炉料和辅助材料的准备	165
7.4.2 熔炉及熔炼工具的准备	165
7.4.3 配料	166
7.5 熔炼工艺	169
7.5.1 紫铜的熔炼	170
7.5.2 锡青铜和铅青铜的熔炼	174
7.5.3 铝青铜的熔炼	178
7.5.4 铍青铜和铍青铜的熔炼	179
7.5.5 黄铜的熔炼	180
7.5.6 白铜和铜锰合金的熔炼	183
7.5.7 熔炼工艺参数对铸造铜合金性能的影响	186
7.5.8 炉前控制和检验	186
7.6 配料原则	189
7.6.1 配料计算	190
7.6.2 化学成分调整	191
7.6.3 熔炼时金属的损耗	193
7.7 熔炼用炉	194
7.7.1 筑炉耐火材料	194
7.7.2 锅式炉	195
7.7.3 坩埚炉	195
7.7.4 反射炉	195
7.7.5 有铁芯工频感应电炉	196
7.7.6 无铁芯感应电炉	201
7.7.7 真空炉	207
7.7.8 电渣炉	208
7.8 熔炼新技术及发展趋势	211
7.8.1 高铬含量铜铬合金的真空熔炼新技术	211
7.8.2 高铍含量铍青铜熔炼新技术	211
7.8.3 高强度高导电铜基复合材料的新制备技术	212
<b>第8章 铜合金的热处理</b>	215
8.1 热处理工艺分类	215
8.2 热处理工艺操作	216
8.2.1 铸造铜合金热处理工艺及操作	216
8.2.2 变形铜合金热处理工艺及操作	217
8.2.3 铸造铍青铜的热处理规范	219
8.3 热处理质量检验及控制	220
8.3.1 检验项目	220
8.3.2 热处理缺陷及控制方法	222
8.4 表面处理	223
<b>第9章 铜合金铸件缺陷、防止及修复</b>	228
9.1 常见的铸件缺陷及其防止	228
9.2 铸件的修补	229
<b>参考文献</b>	234



# 第 1 篇

## 锌合金及其熔炼技术

中国有色金属出版社  
北京





# 第 1 章

## 铸造锌合金材料

### 1.1 概述

#### 1.1.1 锌的存在形式及基本属性

自然界中未曾发现过自然锌，锌往往是以硫化矿物和氧化矿物的形式存在。在硫化矿物中，锌主要是以闪锌矿形式存在，而在氧化矿中主要以菱锌矿和异极矿的形式存在。在现代炼锌工业所采用的原料，绝大部分是硫化矿物。同时，自然界中很少存在单一的锌矿床，一般多与其他金属伴生，如铅锌矿、铜锌矿及铜铅锌矿等。

锌是一种具有金属光泽的银白色金属。其熔点为  $419.5^{\circ}\text{C}$ ，沸点为  $907^{\circ}\text{C}$ 。在未合金化时，它是一种较软的金属，其强度和硬度值要比锡和铅大，但比铝和铜要小。锌是同素异晶型金属，在低于  $170^{\circ}\text{C}$  时，主要以  $\mu$  形式存在，在  $170\sim 330^{\circ}\text{C}$  范围以  $\beta$  形式存在，在  $330\sim 419^{\circ}\text{C}$  范围以  $\alpha$  形式存在。 $\mu$  相具有密排六方结构，因此室温下锌通常形成六面体晶体，在断裂面出现结晶状。一般讲，锌的晶格常数  $a$  及  $c$  分别为  $0.2665\text{nm}$  和  $0.4947\text{nm}$ ， $c/a$  的理论值为  $1.856$ 。每个锌原子周围有  $12$  个邻位原子，其中  $6$  个原子的间距为  $0.2665\text{nm}$ ，另外  $6$  个为  $0.2907\text{nm}$ 。在六方基面中，原子之间的结合力要比层间强。这就是锌各向异性的根源所在。锌晶体学的另一个很重要的方面是高温条件下原子在晶格中的易动性及纯锌在室温条件下变形后的再结晶。某些合金元素如镉、铜等形成锌的固溶体，锌金属的再结晶温度则会提高。对纯锌而言，几乎不发生加工硬化，因为再结晶会使加工造成的应力得到松弛。由于锌的恢复特性及加工硬化程度很小，因此其蠕变抗力或在长期作用下承受变形的能力较小。这就是纯锌不能用作工程材料的原因，但是如果加入某些合金元素如  $\text{Ti}$  及  $\text{Cu}$  等，蠕变抗力会增加许多倍。

#### 1.1.2 铸造锌合金的特点

铸造锌合金的生产历史较长，主要适用于压力铸造或重力铸造，用来浇注汽车、拖拉机等机电部门的各种仪表壳体类铸件，或浇注各种起重设备、机床、水泵等的轴承，并且近些年来又发展了高铝的高强度、高耐磨性的铸造锌合金。商品锌因含有杂质，因而性脆而硬度高。但在大于  $100^{\circ}\text{C}$  温度下变形，能被压成薄板或拉拔成金属丝。加热到  $250^{\circ}\text{C}$  后，这种锌又会变脆，在钵中能研成粉末。所以锌的延展性与杂质和温度是有关系的。锌与其他金属一

样有加工硬化的特点,在机械加工硬化后可在低温状态退火处理,以恢复其延展性。实验表明,1.5mm厚的纯锌片,在125℃保温0.5h后,基本可以软化。由于其蠕变抗力低,因而不能直接用于承载。锌的延展性比铜小,但是比锡大。含有细晶粒的锌容易被轧。金属中晶粒大小视冷却条件不同而定,若熔化温度较高即超过熔点甚多并且冷却缓慢时,其晶粒会变得粗大。金属锌的临界剪切应力较低,它取决于应变率及温度。单晶锌在自身重力作用下会弯曲,其临界剪切应力不超过 $0.0785\text{MN}/\text{m}^2$ 。

随着温度的升高,锌的热导率下降,而比热容增高。单晶金属锌的热导率比多晶金属锌高。热导率随晶体方向不同而不同。对定向凝固的铸造金属,由于热膨胀的各向异性,会引起变形应力。含有杂质的金属锌的电阻较大。冷轧锌的电阻比热轧锌的电阻要略大一些。锌的抗磁性随晶体方向不同而不同。锌具有电热性,当锌试样的两个端部置于不同温度时,试样内部有电流通过。

铸造锌合金的缺点是耐蚀性差,在长期使用过程中,易发生老化现象。合金的老化使铸件变脆,性能急剧下降。同时铸件发生变形、膨胀,严重时可发生开裂。锌合金的这种现象通常认为主要是晶间腐蚀所引起的。锌合金的老化大大阻碍了这类合金的广泛应用,因此提高锌合金的抗老化能力,防止和推迟锌合金的老化就成了研究、生产这类合金的基本课题。在我国,锌是非铁金属工业中重点发展的主要金属之一。用锌合金取代铜合金和铝合金,在节约能源和降低原材料成本以及合理使用本国资源方面具有重要意义。我国是世界上锌资源最丰富的国家,储量占世界总储量的46%,不仅能满足国内的需求,而且还可大量出口,所以锌合金具有广阔的发展前景。

锌的物理性能列于表1.1。

表 1.1 锌的物理性能

性 能	数值或表达式	
体膨胀系数(293~523K)/ $10^{-6}\text{K}^{-1}$	0.9	
线膨胀系数(293~373K,多晶体) / $10^{-6}\text{K}^{-1}$	多晶体	39.7
	a 轴	14.3
	c 轴	60.8
表面张力/ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$	在熔点温度时	782
	450℃时	755
电阻率/ $10^{-2}\mu\Omega\cdot\text{m}$	固态(293K)	5.96
	液态(692.7K)	37.4
原子序数	30	
相对原子质量	65.37	
原子价	2	
晶体结构:密排六方	$a=0.2664\text{nm},c=0.49469\text{nm},c/a=1.856$	
孪晶面	(1012)	
尺寸/nm	原子半径	0.1332
	离子半径 $\text{M}^{2+}$	0.075
熔点/℃	419.5	
沸点/℃	907	
熔化潜热(692.7K)/ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	7.28	
蒸发热(1180K)/ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	114.7	

性 能	数值或表达式	
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	固态(25℃)	7.14
	固态(419.5℃)	6.83
	液态(419.5℃)	6.62
	液态(800℃)	6.25
摩尔热容/ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$	固态(298~692.7K)	$c_p = 22.40 + 10.05 \times 10^{-3} T$ (T为热力学温度, K)
	液态	$c_p = 31.40$
	气态	$c_p = 20.80$
标准电极(对 $\text{H}_2$ 电极)/V		-0.762
热导率/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	固态(291K)	113
	固态(697.7K)	96
	气态(697.7K)	61
	气态(1023K)	57
弹性模量(短期内承载)/MPa		$7 \times 10^4$

### 1.1.3 合金牌号

我国原来的铸造锌合金的标准(GB 3062—1982、GB 1175—1974)已不适应铸造锌合金发展的需要,全国铸造标准化技术委员会在1992年和1997年分别完成了压铸锌合金和铸造锌合金标准的修订工作,新修订的标准(GB/T 1175—1997、GB/T 13818—1992)参考了美国 and 德国有关标准。锌及锌合金牌号表示方法见表1.2。铸造锌合金各国的牌号对比见表1.3。

表 1.2 锌及锌合金牌号表示方法

牌号名称	牌号举例	表示方法说明
铸造锌合金	ZZnAl4Cu1Mg	<p>           Z Zn Al 4 Cu 1 Mg            —加有少量镁            —铜的名义百分含量            —铜的元素符号            —铝的名义百分含量            —铝的元素符号            —基体金属锌的元素符号            —铸造代号         </p>
锌锭	Zn99.95	表示锌含量不低于99.95%

### 1.1.4 铸造锌合金的分类

锌合金种类很多,分类方法也不尽相同,按习惯和应用方式,大致有三种分类方法。

#### (1) 按合金成分分类

锌合金按成分可分为四类: Zn-Al系、Zn-Cu系、Zn-Pb系和 Zn-Pb-Al系等。

Zn-Al系合金一般含有少量的 Cu、Mg 以提高强度和改善耐蚀性。Zn-Cu合金一般还含有 Ti, 也称 Zn-Cu-Ti系合金,该合金是抗蠕变合金,有时为进一步改善抗蠕变性能也加入少量 Cr。Zn-Pb系合金一般用作冲制电池壳,并可制成各种小五金及体育运动器材等。Zn-Pb-Al系合金用于镀锌行业。近些年有些镀锌行业人员主张取消 Al,单纯使用 Zn-Pb合金。



表 1.3 铸造锌合金各国的牌号对比

合金牌号 (GB/T 1175—1997)	合金代号	相近国外牌号				
		美国	俄罗斯	德国	英国	日本
ZnAl4Cu1Mg	ZA4-1	AG41A	ЦАМ4-1	GD-ZnAl4Cu1	BS1004B	ZDC1
ZnAl4Cu3Mg	ZA4-3	—	—	G-ZnAl4Cu3 GK-ZnAl4Cu1	—	—
ZnAl6Cu1	ZA6-1	—	—	G-ZnAl6Cu1 GK-ZnAl6Cu3	—	—
ZnAl8Cu1Mg	ZA8-1	ZA8	ЦАМ9-1.5	—	—	—
ZnAl9Cu2Mg	ZA9-2	—	—	—	—	—
ZnAl11Cu1Mg	ZA11-1	ZA11	—	—	—	—
ZnAl11Cu5Mg	ZA11-5	—	ЦАМ10-5	—	—	—
ZnAl27Cu2Mg	ZA27-2	ZA-27	—	—	—	—

### (2) 按加工方式分类

按加工方式，锌合金主要分为三类：铸造合金、变形合金和热镀锌合金。

铸造合金又分为压力铸造合金、重力铸造合金等。其中，Zn-Al 合金和 Zn-Cu-Ti 合金既可直接铸造，又可进行变形加工。Zn-Al 合金因其具有超塑性曾引起人们大力关注。

变形锌合金可分为三类：轧制锌合金，锌合金板、带、箔都是轧制生产的，这类锌合金已形成了国际标准和国家标准；挤压锌合金，该合金的主要用途是替代黄铜，一般情况下挤压锌合金的挤压力比正常生产实践中的挤压黄铜大，所以该合金的发展受到了一定的限制；拉拔线、棒的锌合金，这类合金通过拉拔制成线棒后，主要用作热喷涂金属线、焊接用焊料、焊丝，以及制钉、螺钉、网等。

变形锌合金目前使用最广泛的是 Zn-Cu-Ti 系合金和 Zn-Pb 系合金。其中 Zn-Cu-Ti 系合金主要用来替代黄铜，如制作拉链、千层锁、日用五金等。Zn-Pb 系合金主要用于冲制电池壳、焊接电池壳、制作体育运动器材部件、小五金件及用于照相制版等。

### (3) 按性能和用途分类

① 抗蠕变锌合金。也就是前述的 Zn-Cu-Ti 合金，它可通过变形生产所需要的零件，也可以直接压铸制品。

② 超塑性锌合金。指 Zn-Al 二元合金。它在一定的组织条件和变形条件下，能呈现出极高的断后伸长率（简称为伸长率）。对于加工一些形状复杂的零件，有独到之处。该合金在美国、英国和日本研究较多，并得到了应用。超塑性锌合金的抗拉强度可以超过铜、铝合金，甚至达到或超过软钢水平，在 270℃ 左右呈现超塑性，极易加工成形，同时还兼有锌的耐腐蚀、成本低的优点。

③ 阻尼锌合金。也叫减振锌合金，是一种 Zn-Al 系合金，它可以降低工业噪声和减轻机械振动，是一种有发展前景的新型结构材料。

④ 模具锌合金。该合金在日本、西欧成功地应用于汽车制造行业，日本还制定了该合金的国家标准 ZAS（冲压用锌合金）。

⑤ 耐磨锌合金。主要用作轴承材料，该合金具有摩擦因数低，对油有较高的亲和力、力学性能优异等特点。

⑥ 防腐锌合金。指牺牲阳极和作为喷镀、热浸镀等用的锌合金。



⑦ 结构锌合金。主要用来制造结构零件，一般为 Zn-Cu-Ti 合金和 Zn-Al 合金。

⑧ 热镀锌合金锭。镀锌行业分电镀和热浸镀两种，其中热浸镀锌占生产能力的 70% 以上。热浸镀锌钢材的板、管、丝、带等型材具有明显优势，用量也最大，特别是钢带热浸镀，不但用锌量大，生产的自动化程度也较高。热镀锌合金锭是以锌为基体，加入铝、铅、镉等合金元素，经高温熔炼、铸锭而得到的系列合金产品。它主要用于带钢的热浸镀。带钢热镀锌始于窄带钢，逐渐扩展到宽带钢。目前我国已成功开发了多系列热镀锌合金，包括 Zn-Al-Re、Zn-Al-Mg、Zn-Al-Si、Zn-Al-Pb、Zn-Al-Sb、Zn-Al-Pb-Sb、Zn-Al-Mg-Si 等几十个品种。

### 1.1.5 铸造锌合金的特点及其应用

铸造锌合金有很多突出的特点。

① 锌合金流动性和凝固特性优良，可铸造出极薄（壁厚 1.5~2mm）、尺寸精确和表面光洁的零件，这一点是铝合金和铜合金所无法比拟的。

② 熔点低，熔炼时不易氧化，消耗能源少，设备寿命长，生产成本低。

③ 适合各种方法铸造成形，如压力成形、重力铸造（金属型铸造、石膏型铸造以及砂型铸造）和离心铸造等。

④ 加工性能好，切削加工效率高，刀具磨损小，零件表面粗糙度小。

⑤ 零件表面可以进行各种装饰加工，如电镀、涂漆、阳极氧化、着色、抛光等。

目前工业生产用铸造锌合金各国均形成了自己的标准，比较规范。铸造锌合金锭主要用于铸造厂生产压力铸造件、重力铸造件和热镀锌件。

### 1.1.6 我国锌加工业的现状与发展前景

锌加工产品的品种减少，但产量增加。产品单一，主要是低档的电池锌饼。20 世纪 80~90 年代，我国的锌加工产品 96% 以上是电池锌片、锌饼以及微晶锌板、锌条、胶印锌板，小量为超型性锌合金板、锌铜和锌铜钛带，以后由于印刷业的电脑排版和 PS 铝板的广泛应用，微晶锌板、胶印锌片和锌条已基本淘汰。锌铜钛和锌铜合金得不到发展，工艺落后的焊接电池锌筒已经消失。因此除了用小量超塑性锌合金板深加工产品外，锌加工工业产品几乎只有低附加值的粗加工的电池外壳坯料、锌饼和少量用于叠片电池（6F22）的 0.25mm 锌带。目前我国的电池锌饼产量没有统计资料，但根据有关的电池产量和进出口数量的推算，2002 年我国电池锌饼的产量约为 22 万吨。

我国的工艺设备落后，产品质量不稳定。锌加工的许多中小企业，至今还采用落后的铸块或立式半连铸一块轧成板一分剪成条一冲制锌饼，产品质量差，消耗高。我国锌资源丰富，有大量的锌锭出口，虽然锌锭质量已达到国际先进水平，但出口的锌基本是初级产品或低档普通产品。

在锌加工工业方面，我国具有很大的资源优势，具有很好的前景。在自身的基础上，重视高新技术的开发、生产，采用世界上先进的技术和设备，对我国的炼锌行业会有积极的推动作用。

党的十六大指明了我国走新型工业化的道路：坚持信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势

得到充分发挥的新型工业化路子。我国锌加工工业必将迅速健康地发展。具体措施如下。

### (1) 调整重组将使优势企业规模扩大实力增强

党的改革、调整、重组的经济政策推动下，我国锌加工工业改变了原来以几个产量上万吨的国有企业为主的格局，出现了多种经济性质的企业共同发展的局面。目前锌加工企业数量多、规模小、经营分散、产品单一雷同，导致恶性竞争、市场混乱，而工艺技术较低、产品质量不够稳定、物质消耗大、环保不好，这是市场经济发展不够成熟的现象。随着企业重组和市场竞争，将出现规模大、实力强、集约化程度高、技术优、品种多和质量好的优势龙头企业，劣势企业将被淘汰出局。现今国外装备先进、年产量达几万吨的锌加工企业有德国莱茵、美国贝尔、英国伦敦，以及法国和加拿大等国的大公司。国内已有锌带连铸轧机列和90t有芯感应炉的先进生产技术，可以适应市场需要，生产技术高、品种多、附加值高的锌板、带、片、箔和整体锌筒及深冲五金产品，替代进口，进而出口。现在，电池锌饼早已不只是锌加工厂（公司）生产了，电池、五金等企业也在制造电池锌饼和锌筒。像英国永备牌、印尼的ABC牌电池公司一样，香港松柏电池公司和厦门三圈日化公司也投资自产电池锌饼了。

### (2) 开发高技术、高附加值的新材料

我国锌加工业大量生产电池锌饼，支持我国成为电池产量和出口产量均居世界第一功不可没，但电池锌饼毕竟只是电池外壳体的坯料，是技术含量不高的粗加工产品，增值不大。一些炼锌大厂曾一度利用自身的优势生产锌饼，随着锌锭价格市场化，锌饼因附加值不高而停产了。许多个体企业因锌饼易制，也参与了生产。众多企业生产经营雷同的产品，必然造成市场竞争恶化。锌加工冶金企业，应当发挥自身优势，开发高技术、高附加值的新品种、新材料和代铜产品，向深度加工要效益。超塑性锌铝镁合金是高科技产品，但若只生产板材，则产量、产值和利润都不可能高，因为用途不广，市场容量不大。北京超塑新技术公司不限于生产板材，最主要的是超塑成形机械加工难以制造的复杂制品，如纺织机上的大型易耗件槽筒，已大批生产供应纺织厂。这应该成为我国锌加工业科技含量高、深加工程度大、附加值高的典范。

### (3) 采用先进适用的技术

应当根据我国锌加工业的情况，选用先进适用技术。现在，先进国家的锌加工厂都选用感应电炉-双钢带式连铸轧生产锌带，生产的锌板、带、片、箔、饼、筒，产量大、质量好、消耗低，最适合锌加工，但投资大，每吨产品需几千元。广州锌片厂引进的双钢带式连铸机和国内配套的设备组成的生产线，都是先进的设备，应当很好地利用起来。生产电池锌饼、锌筒，建议大力推广广州番禺大石联益五金厂研制的四轮轮带式连铸轧生产线，设备包括12t柴油炉、轮带式连铸机、自动升降架、1台大转矩两辊热轧机、飞剪机、卷取机和电气系统，连铸锌带经一个道次的热连轧（压缩量可达78%），便成为各种规格的电池锌饼厚度。产品规格为2.8mm×160mm~13mm×160mm，最大卷重1.4t，生产能力2t/h。不必去毛边，成卷的连铸轧锌带可方便地自动冲制电池锌饼，年产锌饼能力9000t。该生产线结构紧凑，占地面积小，制造、安装、使用和维护方便，最适合中小型锌加工企业和电池厂生产电池锌饼。