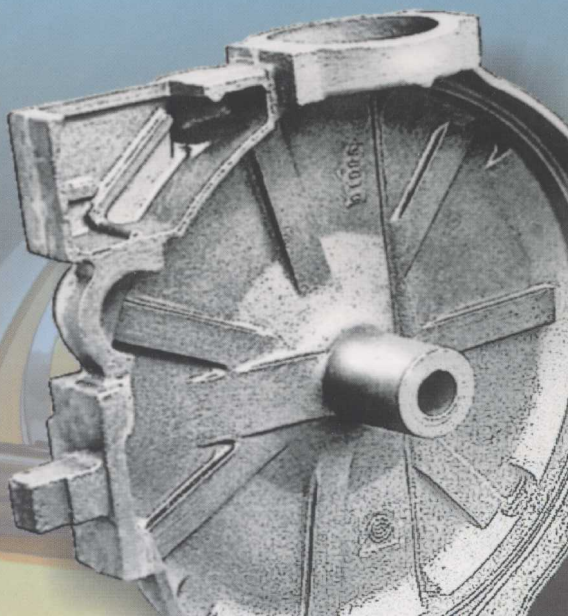


实用铸造技术丛书

实用有色合金铸造技术

SHI YONG YOU SE HE JIN ZHU ZAO JI SHU

聂小武 编著



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

实用铸造技术丛书

实用有色合金铸造技术

聂小武 编著

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目(CIP)数据

实用有色合金铸造技术 / 聂小武编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2009.1

(实用铸造技术丛书)

ISBN 978-7-5381-5642-3

I. 实… II. 聂… III. 有色金属合金-铸造 IV. TG29

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 186268 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 13

字 数: 330 千字

印 数: 1~4000

出版时间: 2009 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2009 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 秦丽娟

封面设计: 留藏设计工作室

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978-7-5381-5642-3

定 价: 28.00 元

联系电话: 024-23284372

邮购热线: 024-23284502

E-mail: elecom@mail.lnpgc.com.cn

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

前 言

在材料成型工艺发展的过程中，铸造是历史最悠久的一种工艺，在我国已有 6000 多年的历史了。如今，铸造业对我国国民经济的发展起着重要的作用，在汽车、钢铁、造船、纺织、航空航天等工业的重、大、难装备中，铸件都占有很大比重，为国民经济发展作出了很大贡献。但是，我们也应该清醒地看到，目前，我国铸造技术的现状与工业发达国家相比仍有较大的差距。

“问渠哪得清如许，为有源头活水来”。技术是工程的基础，科学是技术的源泉，科学与技术相互促进，但直接作用于生产实际的是技术，材料科学的问题归根到底要落实到制备工艺上。铸造技术既是一门手艺，需要很强的实践经验，操作者的技能和素质直接影响铸件的质量；也是一门发展的学科，需要科学理论作指导。因此，提高铸件生产质量，既要注重实践经验的总结，又要发展铸造工艺理论。多年来，铸造工作者为提高铸件质量，总结了大量的新技术和新工艺，丰富并发展了铸造技术理论。

在上述背景下，我们编写了本书。本书的特点是将理论与实践相结合，侧重实用，追踪最新的工艺、技术、方法。通过系统地讲解实际生产过程，提供真实可信的数据资料，以理论为基础，重点介绍实际生产技术，配以生产实例进行讲解和分析，反映近几年的新技术、新方法、新材料，对实际生产起指导作用，让铸造工作者得到借鉴，在生产中少走些弯路、少碰些钉子。本书的突出特点是以铸造过程的质量为主，突出铸造过程的操作技能、质量控制和检验，突出用铸造专业知识对工序操作进行指导，增加科学性，减少盲目性，以保证最终铸造出优质产品。

本书既有作者多年来在铸造生产一线的经验和对铸造工艺理论的探索，同时还参考了国内外最新的有色合金铸造技术研究成果和应用实例，试图为铸造工作者提供丰富翔实的经验，体现了

新颖性、先进性和可操作性，突出了实用性。

本书的主要读者为生产一线的铸造工作者，也可供铸造管理人员参考，同时，可供机电产品设计人员以及大中专院校的铸造与机械制造专业师生参考。

感谢硕士研究生吴琳、赖加福、李昂南等为本书整理了大量资料。

作者衷心地希望此书能够为铸造工作者提供帮助。由于编者水平有限，书中难免存在不足和不妥之处，真诚希望读者不吝批评指正。

编著者

目 录

前 言	1
-----------	---

第一篇 总 论

第一章 金属学基础知识	1
第一节 元素的分类	1
第二节 晶体与非晶体	2
第三节 有色金属与黑色金属	2
第二章 有色合金熔炼基础知识	6
第一节 液态金属的性质	6
第二节 充型能力与流动性	10
第三章 有色合金的凝固及铸造性能	17
第一节 液态金属的结晶过程	17
第二节 铸件的凝固方式及凝固方向	19
第三节 铸件的收缩规律	23
第四节 缩孔及缩松的形成规律	28
第五节 铸件应力的形成及防止措施	35
第四章 熔炼有色合金用炉	45
第一节 对熔炼设备的基本要求	45
第二节 熔炼炉的分类和选用	46

第二篇 铸造有色合金及其熔炼

第五章 铸造铝合金分类及性能	59
第一节 铸造铝合金概述	59
第二节 Al-Si 系合金	63
第三节 Al-Cu 系合金	67
第四节 Al-Mg 系合金	70

第五节	Al-Zn 系合金	72
第六章	铸造铝合金的熔铸工艺	77
第一节	铝合金配料工艺	77
第二节	铝合金熔炼及浇注工艺	82
第三节	典型铝合金熔炼工艺	95
第七章	铸造铝合金铸件的热处理工艺	105
第一节	铝合金热处理工艺分类	105
第二节	铝合金热处理工艺参数及操作	107
第三节	铝合金热处理质量控制	114
第八章	铸造铜合金分类及其性能介绍	118
第一节	纯铜	121
第二节	青铜	122
第三节	黄铜	127
第四节	白铜	131
第五节	特殊用途铜合金	133
第九章	铸造铜合金的熔炼工艺	134
第一节	铜合金的氧化特性	134
第二节	铜合金的熔炼工艺	135
第三节	典型铜合金熔炼工艺	141
第十章	铸造铜合金铸件的热处理工艺	149
第十一章	铸造镁合金分类及其性能	155
第一节	铸造镁合金概述	155
第二节	Mg-Al 系合金	159
第三节	Mg-Zn-Zr 系合金	160
第四节	Mg-RE-Zr 系合金	162
第十二章	铸造镁合金的熔炼工艺	164
第一节	镁合金的熔炼特性	164
第二节	镁合金的熔炼工艺	165
第三节	镁合金熔炼的质量控制	191

第十三章	铸造镁合金铸件的热处理工艺	201
第一节	镁合金热处理的分类	201
第二节	镁合金热处理的工艺参数	202
第三节	镁合金热处理的质量控制	205
第十四章	铸造锌合金的性能、熔炼及热处理工艺	210
第一节	锌合金概述	211
第二节	锌合金的熔炼工艺	215
第三节	锌合金铸件的热处理工艺	222
第十五章	铸造钛合金的性能、熔炼及热处理工艺	225
第一节	铸造钛合金概述	225
第二节	钛合金的熔炼工艺	230
第三节	钛合金铸件的热处理工艺	237
第十六章	铸造轴承合金的性能及其熔炼工艺	242
第一节	轴承合金概述	242
第二节	锡基和铅基轴承合金	244
第三节	铝基轴承合金	252
第四节	铜基轴承合金	254

第三篇 有色合金铸件的铸造工艺

第十七章	有色合金铸件的铸造工艺方案设计	255
第一节	铸造工艺方法的选择	255
第二节	铸件浇注位置及分型面的选择	260
第三节	铸造工艺设计的主要参数	265
第四节	造型的基本操作	270
第五节	典型零件工艺方案设计案例一	286
第六节	典型零件工艺方案设计案例二	291
第十八章	浇注系统、冒口及冷铁的设计	299
第一节	液态金属在浇注系统中的流动情况	300
第二节	浇注系统的类型及应用范围	305

第三节	有色合金铸造浇注系统的尺寸计算	309
第四节	有色合金铸造的冒口设计	312
第五节	有色合金铸造的冷铁设计	314
第六节	有色合金铸件常见缺陷的防止	316
第十九章	有色合金铸件工艺装备设计	332
第一节	砂型铸造工艺装备设计	332
第二节	金属型铸造工艺装备设计	343
第三节	压铸型铸造工艺装备设计	354
第二十章	铸件清理	368
第二十一章	铸件的检验及缺陷挽救	373
第一节	铸件质量的检验	373
第二节	铸件的挽救技术	395
参考文献		404

第一篇 总 论

第一章 金属学基础知识

本章简要介绍元素的种类以及有色金属、黑色金属、晶体、非晶体等基本概念。

第一节 元素的分类

根据元素周期表，按照元素的物理化学性质，可将元素分为惰性气体元素（包括 He、Ne、Ar、Kr、Xe 和 Rn，共 6 种）、非金属元素（包括 B、C、Si、N、P、As、O、S、Se、Te、F、Cl、Br、I、At 和 H，共 16 种）和金属元素（其余的元素）。

通常，金属元素按照其外观特征可分为两大类，即黑色金属和有色金属。黑色金属元素包括 Fe、Cr 和 Mn，其余的金属元素则称为有色金属元素。由于黑色金属中以 Fe 应用最广泛，习惯上，人们将有色金属元素又称为非铁金属元素。

有色金属元素可以按照元素的资源开发、生产及应用情况分为普通金属元素（包括 Al、Mg、Na、Cu、Pb 等）、贵金属元素（包括 Au、Ag、Ru、Rh 等）和稀有金属元素（包括 Be、Sc、Po、Zr 等）3 大类。实际上，这种划分的方法是比较粗略的。某些非金属元素（如 Si、Se、Te、As、B）的性质介于金属和非金属之间，有时也被列入有色合金元素中。

第二节 晶体与非晶体

物质按其形态不同,可分为固体、液体和气体。而固体又可分晶体和非晶体。物质内部结构中的质点(原子、离子或分子)按一定规则次序排列的固体叫晶体。晶体一般具有规则的外形、固定的熔点和各向异性。例如,铝的平衡结晶具有规则的八面体形状,熔点为 660°C ,铝单晶的强度极限和延伸率随着方向不同而大不相同。凡质点在物质内部做不规则的即处于混乱状态排列的物质叫非晶体,如玻璃、松香等。

晶体通常又可分为金属晶体和非金属晶体,纯金属及合金都属于金属晶体,其原子间主要以金属键结合,而非金属晶体主要以离子键和共价键结合。如食盐 NaCl (离子键)、金刚石(共价键)都是非金属晶体。

整个固体的结构为同一个空间点阵所贯穿的晶体称为单晶体。一般物质是由很多不同的单晶体小颗粒组合而成,这种晶体即为多晶体。多晶体内,每个晶粒的结晶方位彼此不同,晶体的方向性被互相抵消,在宏观上不显示各向异性。实际晶体由于结晶及其他加工条件的影响,所得到的晶体在外形上发生扭曲,在内部结构上产生很多缺陷。例如,在普通的铸造条件下,纯铝的晶粒并不为八面体形,而为树枝状,晶粒内部的结晶方位并不严格一致,存在大量的亚晶界、位错和其他缺陷。

第三节 有色金属与黑色金属

一、有色金属的分类

金属材料是指金属元素与金属元素,或金属元素与少量非金属元素所构成的,具有一般金属特性的材料,统称为金属材料。

金属材料按其所含元素数目的不同，可分为纯金属（由一个元素构成）和合金（由两个或两个以上元素构成）。合金按其所含元素数目的不同，又可分为二元合金、三元合金和多元合金。

有色纯金属分为 5 类：①重有色金属，即密度在 4.5g/cm^3 以上的有色金属，如 Cu、Ni、Pb、Zn、Sn 等；②轻有色金属，即密度在 4.5g/cm^3 以下的有色金属，包括 Al、Mg、Na、K、Ca、Sr、Ba 等，特点是密度小、化学活性大，与 O、S、C 和卤素形成的化合物都相当稳定；③贵有色金属，包括 Au、Ag、Pt 等，它们在地壳中含量少，开采和提取比较困难，共同特点是熔点高、化学性质稳定，能抵抗酸、碱腐蚀（Ag 和 Pd 除外），价格比较贵；④半金属，一般指 Si、Se、Te、As、B 等，此类金属的物理性能介于金属与非金属之间，如 As 是非金属，但能传热导电；⑤稀有金属，通常是指那些在自然界中含量少、分布稀疏或难从原料中提取的金属，如 W、Ti 等。

以一种有色金属元素为基本元素，再添加一种或几种其他元素所组成的合金称为有色合金。有色合金按合金系统可分为重有色金属合金、轻有色金属合金、贵金属合金、稀有金属合金等。按照制备工艺方法的不同，有色合金可以分为三大类：

（1）变形有色合金：主要指通过压力变形加工成型材料或制品，一般添加的元素含量较少，高温下能形成单相固溶体，具有良好的变形能力。

（2）粉末冶金用有色合金：一般原材料为元素粉末，经过冷压、热压或烧结等工艺制成型材或毛坯件，近年来国内外发展很快，有广泛的应用领域。

（3）铸造有色合金：通过熔炼成液态后填充型腔，冷却后制成型材或毛坯件。铸态有色合金一般添加的元素含量较多，室温下具有两相（或更多相）的铸态组织，能够生产出复杂的零件。工程应用中要综合考虑其铸造性能和力学性能。

二、有色金属及其产品牌号的命名原则

有色金属及合金产品牌号的命名，规定以汉语拼音字母或国际元素符号作为主题词代号，表示其所属大类，如用 L 或 Al 表示铝，T 或 Cu 表示铜。主题词之后，用成分数字顺序结合产品类别来表示。即主题词之后的代号可以表示产品的状态、特征或主要成分，如 LF 为防 (F) 锈的铝 (L) 合金；LD 为锻 (D) 造用的铝 (L) 合金；LY 为硬 (Y) 的铝 (L) 合金，这三种合金的主题词是铝合金 (L)。又如 QSn 为青 (Q) 铜中主要的添加元素属锡 (Sn) 的一类；QAL9-4 为青 (Q) 铜中含有铝 (Al)，成分中添加元素铝为 9%，其他添加元素为 4%，这两种合金的主题词是青 (Q) 铜。因此，产品代号是由标准 (GB 340—1981) 规定的主题词汉语拼音字母、化学元素符号及阿拉伯数字相结合的方法来表示。

有色金属及合金产品的状态、加工方法、特征代号，采用规定的汉语拼音字母表示。如热加工的 R (热)，淬火的 C (淬)，不包铝的 B (不)，细颗粒的 X (细) 等。但也有少数例外，如优质表面 O (形象化表示完美无缺) 等。

按照 GB/T 8063—1994 规定，铸造有色纯金属牌号由“Z”和相应纯金属的化学元素符号，及表明产品纯度百分含量的数字或用一短横线加序号组成。而铸造有色合金牌号则由“Z”和基体金属的化学元素符号、主要合金化学元素符号 (其中混合稀土元素符号统一用 RE 表示)，以及表明合金化学元素名义百分含量的数字组成。合金化元素多于 2 个时，合金牌号中应列出足以表明合金主要特性的元素符号及其名义百分含量的数字，并按其名义百分含量递减的次序排列，当名义百分含量相等时，则按元素符号字母顺序排列；当需要表明决定合金类别的合金化元素首先列出时，不论其含量多少，该元素符号均应紧置于基体元素符号之后。

本书所涉及的合金均为比较常用的铸造有色合金，为方便阐述，按照合金中的基体元素将其分为铸造铝合金、铸造铜合金、铸造镁合金、铸造锌合金、铸造钛合金及铸造轴承合金等。而铸造轴承合金则是指用于浇注滑动轴承的 Sn 基和 Pb 基等合金。

第二章 有色合金熔炼基础知识

液体介于气体和固体之间，大量的实验数据证明它更接近于固体，特别是当其处于接近熔点时更是如此。铸造生产中要将液态金属浇入铸型，充满所设计的型腔，便牵涉到液态金属在铸型中的流动，这一过程对铸件的质量影响很大。充型过程可能导致各种类型的缺陷，如冷隔、浇不足、夹杂、气孔、金属豆、夹砂、黏砂等缺陷。液态合金的工艺性能是指符合某种生产工艺要求所需要的性能，液态合金在铸造生产过程中所表现出来的工艺性能，常称为铸造性能，铸造性能是表示合金铸造成型获得优质铸件的能力。铸造性能是一个非常重要的工艺性能，对铸件质量、铸造工艺及铸件结构有显著的影响，铸造性能对铸件质量影响很大，其中流动性和收缩性影响最大，用来衡量铸件质量。所以，掌握液态金属的性质、充型能力有利于确定合理的浇注工艺参数。

第一节 液态金属的性质

金属熔化后，在熔点以上不高的温度范围内，液体状态的结构有以下特点。

(1) 原子间仍保持较强的结合能。因此，原子排列在较小距离内仍具有一定规律性，且其平均原子间距增加不大。金属固体是由许多晶粒组成的，液体则是由许多原子集团组成，在原子集团内保持固体的排列特征，而原子集团之间的结合则因受到破坏而与固体不同。这种仅在原子集团内的有序排列称为近程有序排列。

(2) 由于液体中原子热运动的能量较大，每个原子在三维方

向都有相邻的原子，经常相互碰撞，交换能量。在碰撞时，有的原子将一部分能量传给别的原子，而本身的能量降低了。结果是每时每刻都有一些原子的能量超过原子的平均能量，有些原子的能量则远小于平均能量。这种能量的不均匀性称为能量起伏。

(3) 液体中存在的能量起伏造成每个原子集团内具有较大动能的原子能克服邻近原子的束缚（原子间结合所造成的势垒），除了在集团内产生很强的热运动（产生空位及扩散等）外，还能成簇地脱离原有集团而加入到别的原子集团中，或组成新的原子集团。因此，所有原子集团都处于瞬息万变的状态，时而长大时而变小，时而产生时而消失，此起彼落，犹如在不停顿地游动。这种结构的瞬息变化称为结构起伏。

上述三个特点决定了液态金属的基本特征：有固定的体积、有很好的流动性、各种物理化学性质接近于固态，而远离气态。

目前，国内外对液态金属的性质做了大量的研究，这里只介绍液态金属的黏滞性、表面现象及基本物理性质。

一、液态金属的黏滞性

液态金属的黏滞性是指流体流动时，在流体内部显示出的内摩擦力，黏滞性不仅影响液态金属在铸型中的流动特性、充型能力，还会影响金属液中的气体、夹渣的排除，对铸件凝固的补缩也会有影响。黏滞性在流体力学中有两个概念，一个是动力黏度，另一个是运动黏度。动力黏度：用牛顿液体黏滞流动定律，可表示为：

$$\eta = \frac{F(x)}{S \frac{dv_x}{dy}}$$

式中 η ——黏滞系数，又称为动力黏度；

S ——液层之间的接触面积；

$F(x)$ ——作用于液体表面的力；

dv_x/dy ——各层之间的速度梯度。

这个表达式仅反映了宏观的外在规律，没有反映微观的内在规律。根据弗伦克尔的液态结构理论，黏滞系数可用下式表示：

$$\eta = \frac{2\tau_0 kT}{\delta^3} e^{\frac{U}{kT}}$$

式中 τ_0 ——原子在平衡位置的振动时间；

k ——波尔兹曼常数；

T ——热力学温度；

U ——原子离位的激活能；

δ ——相邻原子平衡位置的平均距离。

上式表明，黏滞性与 δ^3 成反比，与激活能 U 成正比。 U 和 δ 都反映了原子间结合力的强弱，因此，黏滞性的本质是原子间结合力的大小。

运动黏度：动力黏度与密度的比值，即

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

式中 η ——运动黏度；

ρ ——液体密度。

上式表明，运动黏度相同时，密度大者，运动黏度小，即流体质点保持其自身运动方向的倾向大。

工程上采用的是可用仪器直接测量得出的黏度即相对黏度来评价液态金属的黏滞性。它是在规定的条件下，用特定的黏度计，相对于水的黏度而直接测出的。根据测量条件不同，各国采用的相对黏度单位也不同，我国采用恩氏黏度。该方法对低熔点不易氧化的液态金属是适用的，但绝大多数金属和合金由于在液态时的温度较高，易和容器材料发生氧化或结晶作用，因此，测量的误差较大。其他测量方法有悬桶法、悬球法、钟摆法等。

影响液态金属黏滞性的因素有：①金属本身物理特性的影响。由两个金属本身的物理特性决定着液态金属黏度的大小，其一是作为几何因素的原子体积，其二是作为能量因素的熵的绝对值。