

国家机械工业委员会统编

有色金属熔炼工艺学

徐志平主编

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

有色金属熔炼工艺学

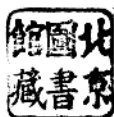
(初级工适用)

国家机械工业委员会统编

b756/09



机械工业出版社



B 522089

本书为机械工人技术理论培训教材，主要讲解有色金属熔炼技术。内容包括有色金属及其合金的基本知识，熔炼中使用的工具和仪表，熔炉及维护用的材料，常用有色金属合金及熔炼，有色金属合金的铸造性能，以及安全技术知识等。可供有色金属熔炼工人阅读，也可供有关人员参考。

本书由四川省绵阳市第二重型机器厂王云祥编写，由四川省乐山市东风电机厂廖进高、四川省绵阳市东方电机厂林凤盛、曹士珍审稿。

有色金属熔炼工艺学

(初级工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：李铭杰 版式设计：乔玲
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：陈松
责任印制：郭炜

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街25号）
(北京市书刊出版业登记证出字第017号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787 × 1092 1/32 · 印张 7 7/8 · 字迹 173 千字
1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷
印数 60,001—15,000 · 定价：3.10元

ISBN 7-111-01137-6/TF·9

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材18种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易，教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 有色金属及合金	5
第一节 金属	5
第二节 常用有色金属元素	7
第三节 有色金属合金分类及应用	51
第四节 金属炉料	65
复习题	77
第二章 工具和测温仪表	78
第一节 常用工具	78
第二节 测温仪表	86
复习题	102
第三章 熔炉及修炉材料	103
第一节 概述	103
第二节 熔炉的分类	105
第三节 常用熔炉的结构	107
第四节 操作和维护	116
第五节 修炉材料	126
复习题	133
第四章 常用有色金属合金及熔炼	135
第一节 青铜	135
第二节 黄铜	149
第三节 轻合金	157

第四节	熔剂	169
第五节	合金熔焊的一般方法	175
复习题	179
第五章	有色金属合金的铸造性能	181
第一节	铸造性能	181
第二节	常用合金的铸造性能	203
第三节	金属型铸造	207
第四节	其他铸造方法	218
第五节	铸造缺陷	231
复习题	233
第六章	安全技术知识	235
第一节	安全技术的重要意义	235
第二节	生产中的安全规程	237
复习题	244

绪 论

一、我国有色金属合金熔炼技术的发展

中国是世界文明发达最早的国家之一，已有了将近4000年有文字可考的历史。我国古代劳动人民很早就掌握了青铜铸造技术。作于公元前5世纪的《考工记》中已记载了各种用途合金的不同成分。书中指出：“金有六齐，钟鼎之齐，六分其金而锡居其一；斧斤之齐，五分其金而锡居其一；戈戟之齐，四分其金而锡居其一；大刃之齐，三分其金而锡居其一；削、杀、矢之齐，五分其金而锡居其二；鉴燧之齐，金锡半。”可见古人已能按不同器物的需要用不同的成分来达到不同的性能要求。

在青铜的熔炼技术上，《考工记》中也有科学的记载：“凡铸金之状，金与锡黑浊之气竭，黄白次之，黄白之气竭，青白次之，青白之气竭，青色次之，然后可铸也。”这段精彩的叙述，说明了我国古代冶炼技术能凭烟气的变化，正确控制青铜的熔炼。

根据最近考古发现，在河南浙川古文化遗址中发现了相当夏朝的青铜器，在4000多年前的甘肃齐家文化遗址中也发现了红铜器，到殷商时代进入了历史上的青铜时期，当时已能铸出高1370mm，重875kg的司母戊大方鼎这样精美的大型青铜铸件。商末周初，是古代青铜铸造最发达的时期，代表作品有造型雄伟、冶炼精良、花纹细腻而光洁的商四羊方尊。西周早期的凤纹卣，造型优美，工艺精巧。

1980年冬在陕西临潼县东的秦始皇陵出土的两乘大型彩绘铜车马，其中二号铜车马通长317cm，车高106.2cm。据研究，它们制作于公元前3世纪，车的结构完全模拟实物，与真车无异，除部分金银饰件外，其余全部为青铜铸件，而且按其不同的使用性能选用不同的合金比例。铜车马制作精美，比例恰当，装饰华丽，是我国古代科技艺术宝库中极为珍贵的遗产。

我国西汉时铸造的“透光”镜，不但花纹精细，更巧妙的是在日光照射下，镜面反射光照在墙壁上，能把镜背面的花纹、图案清晰地显现出来，在国际冶金界被誉为“魔镜”。

建于1416年的武当山金殿，矗立在武当山天柱峰悬崖峭壁之上，被认为是“天上的瑶台金阙”。整个金殿通高5.5m，宽5.8m，从门窗、梁柱、菩萨到香案供桌全部用黄铜铸造，模仿明代木结构的重檐庑殿式样，用榫卯拼接而成。金殿的结构件数量繁多，大小悬殊，殿内铜像重达1700kg，最小件则不足0.5kg，整个建筑装配得严丝合缝，说明当时的铸造匠已具有高超的技术。

考古发现的文物充分显示了中华民族卓越的创造才能。直至明代以前，我国有色金属合金的冶炼技术一直走在世界各国的前列，勤劳勇敢的中国人民对人类作出过巨大的贡献。到了近代，由于封建制度的腐败，列强的侵略，使我国的科学技术发展停滞落后了。

中华人民共和国成立后，有色金属合金铸造工业得到了迅速发展，成为国民经济发展中不可缺少的部分。现在我国已能铸出重达27t的大型铜合金螺旋桨，重达2t多的大型铝铸件，700kg多的复杂镁铸件，直径达4m的大型铜蜗轮，

重达5000kg的轧钢机压下螺母等，标志着我国的有色金属铸造工业达到了新的水平，逐步走向世界的先进行列。

二、国内外有色金属合金熔炼技术动态

1. 有色金属合金在国民经济中的地位和作用 铜及其合金具有优良的导电、导热性能，良好的抗蚀性、耐磨性，足够的机械性能，在人民生活和机械制造工业中被广泛应用。它在整台机器设备上的比例不大，但又不能缺少。如用做转轴和轴承座之间的轴瓦或轴套等。锡和铅的使用也很广泛，锡基合金和铅基合金是优良的耐磨材料，用来制造各种受力大的轴承，在各类工程机械和矿山设备上，应用更广。如果没有铝、镁及其合金，就不可能有现代的航空和宇航事业。炼铝的历史不过百余年，但它们以高的比强度而得到广泛的应用，飞机制造中铝、镁合金铸件占相当大的比重，人造卫星及导弹中铝、镁合金所占比重高达90%以上。铝及铝合金在民用工业中被用来制作日用器具，以及运输机、汽车、拖拉机、船舶及仪表工业中的重要结构件。它是最年轻的结构材料，具有高的比强度和抗蚀性，在国防工业中主要用来制造飞机、导弹上的重要结构件。

可见有色金属合金不仅在古代而且在现代都被广泛应用，它们在国民经济中占有重要的地位，起着重要的作用。

2. 熔炼技术动态 由于有色金属合金在国民经济中的重要地位，所以它的熔炼技术也在不断发展，无论是国内还是国外，都在从熔炼、铸造工艺和设备等方面对合金的生产进行研究，以获得优质的合金，从而满足使用的要求，而且材料消耗、能源消耗以及生产成本都在朝着更少更低的方向发展。

从熔炼设备来看，有较普遍使用的坩埚炉（燃料多用焦

炭，也有用柴油和重油的，还有用人工煤气、天然煤气的)和大容量的反射炉。电炉的种类更多，有熔炼铝、镁、锌合金的电阻坩埚炉，近期出现的红外加热炉，还有工频、中频、高频感应炉，熔量可从几十公斤到几吨，还有用于高级合金熔炼的真空炉等。一般根据不同的质量要求采用不同的设备(熔炉)进行生产。

熔炼工艺也随合金种类的不同而不同，对有特殊要求的合金可加入如 Ti、Li 等元素来改善合金的性能，有的还采用变质处理、热处理等方法来提高合金性能，以满足对合金的特殊要求。合金的精炼方法很多，其主要目的是去气、除渣(氧化夹杂)。例如，采用易挥发的精炼剂(如氟盐、氟盐等)，加入精炼剂造渣；吹入氮、氩等惰性气体精炼。对于要求高的特殊合金采用真空处理或真空熔炼。

由于有色合金的特点，为获得较满意的铸件，除现在一些工厂常用的砂型铸造、金属型铸造、低压铸造、离心铸造等方法外，还有双柱塞压铸、反压(差压)铸造、真空吸铸、真空复膜铸造、挤压铸造和高压挤压铸造(液态模锻)等较先进的铸造方法，提高了铸件的质量，满足某些特殊要求。

可见有色金属合金的生产在国民经济中占有重要地位。我们要热爱这项事业，为我国冶金工业和机械工业的发展，为有色金属合金铸造业的发展作出贡献。

第一章 有色金属及合金

第一节 金 属

一、地壳中元素的分布

我们把具有相同核电荷数（即质子数）的同一类原子称为元素，如氧元素就是所有氧原子的总称，碳元素就是所有碳原子的总称，铜元素即所有铜原子的总称。

自然界一切物质均由化学元素组成；一切元素均由许多微粒即分子组成，而分子则是由更小的微粒即原子组成。物质的总类虽然很多，有几百万种以上，但是组成物质的元素并不多，到目前为止，已经知道的元素有109种，其中人工合成元素有15种。元素一般都以两种形态存在，一种是以单质的形态存在，叫做元素的游离态；一种是以化合物的形态存在，叫做元素的化合态。如氧气里的氧元素就是游离态的，二氧化碳，四氧化三铁里的氧元素就是化合态。各种元素在地壳中的分布见图1-1，可见地壳主要是由氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、氢等元素组成的。含量最多的元素是氧，其次是硅。氧几乎占地壳的一半，它在自然界里起

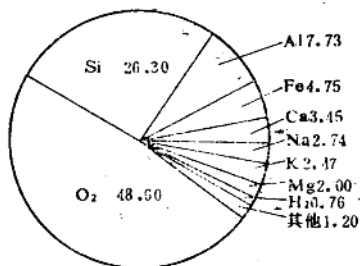


图1-1 地壳中含各种元素的质量百分比

着重要作用。其他如碳、氢和氮对动植物有着非常重要的作用，但在地壳里的质量百分比却较小，碳是 0.087%，氢是 0.76%，氮是 0.03%。从图中还可看出，地壳中有色金属的含量较大，但由于它们的分布和存在形式、开采和冶炼都较困难，所以就显得贵重了。

二、金属、非金属及其特征

元素按其性质可分成两大类，即金属元素和非金属元素。在已发现的 109 种元素中有非金属元素 21 种，其余为金属元素。但是在金属和非金属元素之间也没有明显的界线，21 种非金属元素之中有 11 种部分地具有金属性质，如 I (碘)、Br (溴)、Si (硅)。

1. 金属的特征 金属是不透明的，光不能穿过金属本身，每种金属能反射的光均具有特有的光彩，所以金属都具有特殊的金属光泽和不同的颜色，如 Fe (铁)——灰钢色、Sn (锡)——银白色、Cu (铜)——玫瑰红色。但除 Au (金)、Ag (银)、Ni (镍)、Sn (锡)、Cr (铬)、Pt (铂) 外，所有的金属在空气中都很快被氧化，表面覆一层氧化物薄膜，并失掉本身的光泽。普通金属中最硬的是 Cr (铬)，最软为 Na (钠)。大部分金属都可以锻造和辗、轧，即可进行冷态压力加工或热态压力加工，只有某些脆性金属 Sb (锑)、Bi (铋)、Mn (锰) 例外。在常温下，除水银外，所有金属都是固态。金属是电和热的良导体，这是使用中的重要性质。

2. 非金属的特征 与金属相反，非金属不具有金属性质，不易传递热量和传导电流，没有金属光泽等。

三、金属的分类

金属材料的分类方法很多，可按冶炼方法、化学成分、金相组织、质量要求和用途的不同等进行分类，比较常用的

是按化学成分和用途分类。通常分为黑色金属和有色金属。

1. 黑色金属 铁及含碳铁合金钢和生铁都称为黑色金属。

2. 有色金属 除黑色金属以外的金属即称为有色金属(也称为非铁金属)。有色金属又可按其不同的性质分成几类。

(1) 按密度分: 密度在 5 或 6 g/cm^3 以上的称重有色金属, 如 Cr(铬)、Ni(镍)、Co(钴)、Sn(锡)、Sb(锑)、Zn(锌)。

密度在 5 或 6 g/cm^3 以下的称轻有色金属, 如 K(钾)、Ca(钙)、Al(铝)、Mg(镁)、Na(钠)。

(2) 按含量分: 在地壳中含量稀少或提取困难的金属称稀有金属, 如 Ti(钛)、Mo(钼)、Zr(锆)。其中还包括 $57 \sim 71$ 的 La(镧)系 15 种稀土金属及放射性元素 U(铀)、Th(钍)。

(3) 按金属自身的价值分: 金属价值昂贵的称为贵金属, 如 Au(金)、Ag(银)、Pt(铂)。

(4) 还可按熔点分类: 易熔金属: Zn(锌)、Pb(铅)、Sn(锡)。中等可熔金属: Al(铝)、Mg(镁)。难熔金属: Cu(铜)、Ni(镍)。

第二节 常用有色金属元素

一、金属的性能

1. 金属的物理性能

(1) 密度: 是一个物体的质量与同等体积水的质量的比值。习惯上称密度是单位体积的质量, 单位为 g/cm^3 。金属材料的密度直接关系到零件的重量, 特别是航空制造业及

导弹、宇航器、人造卫星等设计和制造中，零件的重量关系极大。在不少精密机械中，某些高速运转的零件，也要求能尽量减轻重量。

(2) 熔点：是指金属及合金熔化时的温度。工业上常将易熔合金用来制造熔断器和防火安全阀等零件，而难熔合金则用来制造要求耐高温的零件，广泛用于火箭、导弹、燃气轮机、喷气飞机等方面。

(3) 热膨胀性：当金属及合金受热时，一般体积都要胀大（即几何尺寸要伸长），称为热膨胀性。通常广泛应用的是线膨胀系数。如在精密仪器和精密机床的零件中，为了保持其高度精确性，就要求采用线膨胀系数很小的精密合金来制造。

(4) 磁性：通常把金属能导磁的性能叫做磁性。如 Fe(铁)、Ni(镍)、Co(钴)等均具有较高的导磁性，称为磁性金属。它们是制造电机和通讯器材中不可缺少的材料。相反，机械制造业中有些零件要求无磁性，如电机上的护环，就需选用无磁性的材料。

(5) 导热性：金属能传导热量的性质即所谓导热性，是金属的一个重要性能。当金属零件在加热或冷却时，由于零件表面和内部的温度不同（温差），因而膨胀也不一样，这时金属内部就会产生一种内应力。如果内应力大于金属的强度时，金属内部就发生裂纹。金属的导热性愈差，则内外温差愈大，相应地产生的内应力也愈大，金属零件在加热和冷却时，也就容易发生裂纹。导热性好，零件容易散热，表面和内部的温度差小，内应力小，不易产生裂纹。

(6) 导电性：金属传导电流的能力叫做导电性。Ag(银)的导电性最好，Cu(铜)、Al(铝)其次，所以工业上

常用 Cu (铜) 和 Al (铝) 及它们的合金兼作导电的结构材料。有时也需要一些导电不良 (即电阻很高) 的合金材料, 如用来制作电热元件的材料。

2. 金属的化学性能 金属的化学性能主要是指金属或合金的化学稳定性。

(1) 耐腐蚀性: 是指金属抵抗各种介质侵蚀的能力。一般金属零件均受空气中氧、水蒸气等的侵蚀, 有些设备还受酸、碱的腐蚀, 如果使用材料的耐腐蚀性差, 就容易产生锈蚀现象。据估计, 工业上每年因锈蚀而损失的金属大约相当于总产量的 1% 左右, 是一极大的浪费和损失。所以改善金属的耐腐蚀性能, 对于延长金属材料使用寿命, 具有现实的经济意义。

(2) 抗氧化性: 是指金属在室温或高温条件下, 抵抗氧化作用的能力。现代工业中使用的设备, 有许多是在高温下工作的零件。如工业锅炉、热加工机械、汽轮机、喷气发动机、火箭、导弹等, 通常要求这些零件的材料有良好的抗氧化性能, 否则表面就会很快被氧化剥落而损坏。制造这些零件须采用耐热材料。

3. 金属的机械性能 任何机械零件或工具在使用过程中, 都会受到各种形式外力的作用。如起重机上的钢绳受到悬吊物拉力的作用; 钢轨受到火车的压力; 柴油机上的连杆在其传递动力时, 不仅受到拉、压力的作用, 而且还要承受冲击力的作用; 轴类零件要受到弯曲、扭力的作用等。所有这些都要求金属材料具有一种能抵抗外力而不产生超过允许的变形或不被破坏的能力, 这种能力就是材料的机械性能。

金属材料在外力作用下所引起变形和破坏的过程, 大致可分为三个阶段: 弹性变形阶段; 弹-塑性变形阶段; 断裂。

一般的断裂有两种形式：断裂之前没有明显塑性变形阶段的，称脆性断裂；经过大量塑性变形之后才发生断裂的，称韧性断裂。

(1) 弹性：物体在外力作用下产生变形，当外力卸除后，变形便消失，即自然恢复到原始状态，这种特性称为弹性。这种弹性变形只有在某一极限应力以下才能实现。

固体材料在弹性变形阶段所表现出的性能、通常用弹性模量、比例极限和弹性极限来表示。

1) 弹性模量：一定的物体受某一外力作用而产生弹性变形，而当外力和变形总是成比例地增长，即应力（单位面积上的内力）和应变（单位长度上的变形）成正比时，这个正比例系数就称为弹性模量，用 E (N/mm^2) 表示。它随温度的升高而逐渐降低。

2) 比例极限：在弹性变形阶段，应力和应变成正比时的极限应力，称为比例极限，用 σ_p (N/mm^2) 表示。

3) 弹性极限：固体材料承受不产生永久变形的最大应力，就称为弹性极限，用 σ_e (N/mm^2) 表示。实际上是表示材料弹性变形的极限能力。

(2) 强度：强度是物体在外力作用下，抵抗产生塑性变形和断裂的特性。

1) 屈服极限：金属材料承受载荷而载荷不再增加或缓慢增加时，仍继续发生明显的塑性变形，这种现象习惯上称为“屈服”。发生屈服现象时的应力，即开始出现塑性变形的应力，称为“屈服点”，用 σ_s (N/mm^2) 表示，它表示材料抵抗微量塑性变形的能力。工程上常规定以产生残余塑性变形的某规定值（如0.2%）时的应力大小，作为“屈服极限”或称“条件屈服强度”，可用 $\sigma_{0.2}$ (N/mm^2) 表示，它