

GONG CHENG CAI LIAO JI CHENG XING GONG YI

工程材料 及成形工艺

卢志文 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TB3

122

工程材料及成形工艺

主 编 卢志文
副主编 赵亚忠 黄本生 梁秀山 韦志锋
参 编 张力重 任义磊 田光辉
冀秀焕 丁延松
主 审 关绍康



机械工业出版社

本教材针对机械类及近机类专业对材料知识的要求,介绍了材料科学的基本知识和材料成形工艺,使学生掌握现代机械制造的基本过程,突出了知识的系统性和实用性。

全书共14章,第1章介绍了工程材料的生产加工过程;第2~6章介绍了工程材料的基本理论知识,其中包括材料的结构、组织、相变、性能及强化处理;第7~9章介绍了金属材料、非金属材料及复合材料的成分、组织、性能及应用;第10~13章介绍了材料的成形方法;第14章介绍了材料的选择方法。每章后都有复习思考题,供选用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形工艺/卢志文主编. —北京:机械工业出版社,2004.10
ISBN 7-111-15367-7

I. 工... II. 卢... III. 工程材料-成型-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第102248号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王海峰 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年7月第1版·第2次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.5印张·431千字

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书针对机械类及近机类专业人员对材料知识的要求，并结合该专业的知识结构特点，以及学生的接受能力，来组织取舍所涉及的内容。

本教材以材料基本知识为基础，着重介绍了金属材料的有关知识及制备技术，并涵盖了非金属材料及复合材料。本书包括两大部分，一是材料科学，二是材料成形工艺。材料科学的主要内容是：在系统地介绍了材料结构、组织、性能之间关系的基础上，介绍了常用材料的性能及应用；材料成形工艺主要介绍了将材料制备成零件毛坯的过程，使学生掌握现代机械制造的基本过程，突出了知识的系统性和实用性。

全书共14章，第1章介绍了工程材料的生产加工过程；第2~6章介绍了工程材料的基本理论知识，其中包括材料的结构、组织、相变、性能及强化处理；第7~9章介绍了金属材料、非金属材料及复合材料的成分、组织、性能及应用；第10~13章介绍了材料的成形方法；第14章介绍了材料的选择方法。

本书的特点是：一、从整体上讲述了材料成分、组织结构、加工工艺及宏观性能之间的关系，为材料的使用打下了基础。二、从更广阔的视野上讲述了材料的生产、加工及使用全过程。使学生了解天然材料是怎样被加工处理成原料，原料又是如何被制造成零件的；并结合材料的使用及失效讲述了选材的基本知识，这是本书的特色。三、本教材突出了重点，对材料学基本知识及常用材料的性能及用途进行了重点介绍，力求做到主干分明、易学实用。

本书可作为普通高等院校和高职高专院校机械类及近机类专业的通用教材，也可供工程技术人员参考。

参加本书编写的人员有：南阳理工学院卢志文（第5章、第6章、第8章）、赵亚忠（第1章、第14章）、梁秀山（第12章）、张力重（第11章）、任义磊（第9章、第13章）、田光辉（第10章）；西南石油学院黄本生（第2章、第3章）；重庆科技学院韦志锋（第2章、第4章）；河南工业职业技术学院冀秀焕和丁延松（第7章）。

本书由卢志文任主编，赵亚忠、黄本生、梁秀山、韦志锋任副主编。本书由卢志文、赵亚忠进行统稿，由郑州大学关绍康教授主审。

本书的编写力求适应机械类及近机类专业的应用实际，并适应高等教育的改革和发展。但由于编者水平有限，失误或不足之处在所难免，恳请读者批评指正，也请各位专家学者不吝赐教。

本书编写得到了全国有关院校专家、老师的大力支持，并参考了诸多文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

目 录

前言

第 1 章 工程材料生产工艺概述 1

- 1.1 工程材料的分类 1
- 1.2 工程材料的生产工艺概述 3
- 复习思考题 11

第 2 章 工程材料的性能 12

- 2.1 工程材料的力学性能 12
- 2.2 工程材料的物理性能 22
- 2.3 工程材料的化学性能 23
- 2.4 工程材料的工艺性能 24
- 复习思考题 24

第 3 章 材料的结构 25

- 3.1 晶体的结构 25
- 3.2 实际金属的晶体结构 32
- 3.3 非金属材料的结构 38
- 复习思考题 39

第 4 章 金属与合金的结晶 40

- 4.1 纯金属的结晶 40
- 4.2 合金的结晶 43
- 4.3 合金性能与相图的关系 51
- 4.4 铁碳合金相图 52
- 复习思考题 62

第 5 章 金属材料热处理 63

- 5.1 钢在加热和冷却时的组织转变 63
- 5.2 钢的常规热处理 69
- 5.3 钢的表面热处理和化学热处理 75
- 5.4 热处理工艺及其应用 77
- 5.5 非铁合金的热处理 79
- 5.6 常用热处理设备 80
- 5.7 其它热处理工艺 82
- 复习思考题 83

第 6 章 工程材料的表面处理 84

- 6.1 表面处理的分类及表面预处理 84
- 6.2 电镀和化学镀 85
- 6.3 气相沉积 88
- 6.4 化学转化膜技术 89
- 6.5 热喷涂技术 90
- 6.6 激光表面改性处理 91
- 复习思考题 92

第 7 章 钢铁材料 93

- 7.1 钢 93
- 7.2 铸铁 116
- 复习思考题 123

第 8 章 非铁合金及粉末冶金材料 124

- 8.1 铝及铝合金 124
- 8.2 铜及铜合金 131
- 8.3 钛及钛合金 135
- 8.4 轴承合金 136
- 8.5 镁及镁合金 138
- 8.6 粉末冶金材料 141
- 复习思考题 142

第 9 章 非金属材料及复合材料 143

- 9.1 高分子材料 143
- 9.2 陶瓷材料 152
- 9.3 复合材料 153
- 复习思考题 160

第 10 章 铸造 161

- 10.1 铸造工艺基础 161
- 10.2 砂型铸造 168
- 10.3 铸造工艺 172
- 10.4 铸件的结构工艺性 180

10.5 特种铸造	185	12.5 焊接结构工艺设计	234
复习思考题	190	12.6 粘接简介	238
第 11 章 金属塑性成形	191	复习思考题	241
11.1 塑性变形基本理论	191	第 13 章 非金属材料成型	242
11.2 金属塑性成形的基本生产方式	194	13.1 高分子材料成型	242
11.3 自由锻	197	13.2 陶瓷成型	248
11.4 锤上模锻	202	13.3 复合材料成型	249
11.5 板料冲压	208	复习思考题	252
11.6 新型压力加工方法	211	第 14 章 机械零件用材及其成形	
复习思考题	213	工艺的选择	253
第 12 章 焊接与粘接	214	14.1 材料的失效形式	253
12.1 焊接的类型、特点及应用	214	14.2 选材的基本原则和方法	259
12.2 熔焊过程与焊接质量	215	14.3 典型零件的材料及成形工艺选择	269
12.3 常用焊接方法	223	复习思考题	272
12.4 常用材料的焊接	231	参考文献	273

第 1 章 工程材料生产工艺概述

1.1 工程材料的分类

1.1.1 材料简述

人类生活在材料组成的世界里，无论是经济活动、科学技术、国防建设，还是人们的衣食住行都离不开材料。材料是人类赖以生存并得以发展的物质基础。正是材料的发现、使用和发展，才使人类在与自然界的斗争中走出混沌蒙昧的时代，发展到科学技术高度发达的今天。因而可以认为，人类的文明史就是材料的发展史，并往往以所使用的材料来划分人类的社会时期，如石器时期、青铜器时期和铁器时期等。

材料是组成所有物体的基本要素，狭义的材料仅指可供人类使用的材料，是指那些能够用于制造结构、零件或其它有用产品的物质。

人类使用的材料可分为天然材料和人造材料。天然材料是所有材料的基础，就是在科学技术高速发展的今天，仍在大量使用水、空气、土壤、石料、木材、生物、橡胶等天然材料。在漫长的人类社会初期，人们只会用天然材料。随着社会的发展，人们开始对天然材料进行各种加工和处理，使它更适合于人们使用，这就是人造材料。经过加工和处理，人造材料具有了天然材料无法比拟的优越性能。人造材料从最初的木材、石器、陶器，到青铜器和铁器，直到现在具有各种优越性能合金、高分子材料、复合材料等，得到飞速的发展。人造材料成为人类必不可少的重要材料。在我们生活、工作中所见的材料，人造材料占有相当大的比重。我们住的房子、用的工具、穿的衣服、骑的车子，各种设备和设施、各种先进的武器、各种精密的仪器等，几乎都是由人造材料制成的。

工程材料属于人造材料，它主要是指用于机械工程、建筑工程以及航空等领域的材料。工程材料按其性能特点分为结构材料和功能材料两大类。结构材料以力学性能为主，兼有一定的物理、化学性能。功能材料以特殊的物理、化学性能为主，如那些要求具有电、光、声、磁、热等功能和效应的材料。本书中只讲述结构材料。

从使用角度来看，人类使用的工程材料必须具备以下几个要点。

1.1.1.1 一定的组成和配比

材料的使用性能主要取决于组成它的各成分，以及各成分之间的配比。其中材料的力学性能、热性能、电性能、耐腐蚀性能等为主要成分所支配，而次要成分可用来改善加工性能、使用性能或赋予某种特殊性能。

1.1.1.2 成形加工性

作为有用的材料应具有一定的形状结构特征，它是通过成形加工获得的。因此，作为材料，必须具备在一定温度和一定压力下加工成某种形状的能力。成形加工包括熔融状态下的一次加工，也包括冷却后进行的车、铣、刨、磨等二次加工。不具备成形加工性，就不能成为有用的材料。

1.1.1.3 形状保持性

任何材料都以一定的形状出现,并在该形状下使用。因此,材料应具有在使用条件下,保持既定形状,又可供实际使用的能力。

1.1.1.4 经济性

由该材料制得的产品质优价廉,富有竞争性,在经济上能够被社会和人们所接受。

1.1.1.5 回收再生性

作为任何一种材料的产品,在其原料生产过程中,材料制造过程中,施工过程中,使用过程中,废弃物处理过程中,都应对维护人类健康、保护生态环境负责。

所以工程材料可以这样来表述:工程材料是以一种化学物质为主要成分,并含有次要成分所组成的,可以在一定条件下加工成所需形状,在使用过程能有效保持形状,并能满足某些工况下使用要求的产品或制品。其生产过程必须实现最高的生产率、最低的原材料成本和能耗,产生最少的环境污染物,其废物应可以回收再利用。

1.1.2 工程材料分类

工程材料种类很多,用途极为广泛,有许多不同的分类方法,比较科学的方法是按其化学组成进行分类,如图 1-1 所示。

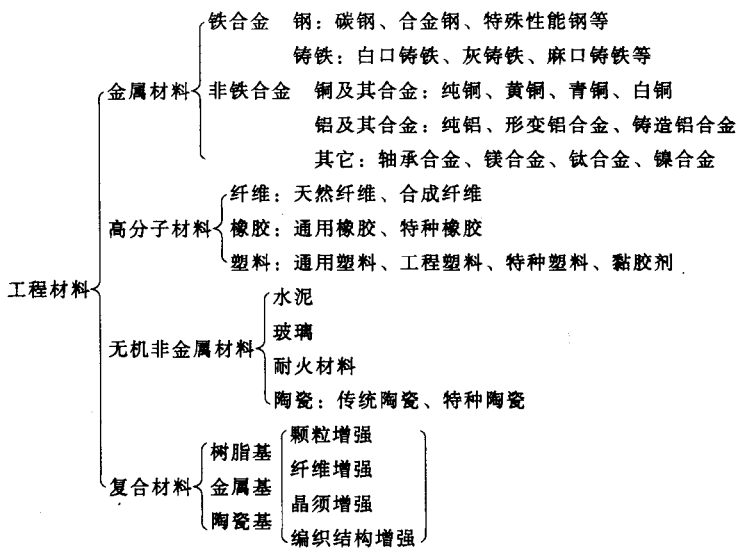


图 1-1 工程材料的分类

金属材料常指工业上所使用的金属或合金的总称。对纯金属而言,自然界中目前存在的大约有 70 种,常见的金属有铁、铜、锌、铅、铝、锡、镁、镍、钼、钛、金、银等。合金是指由两种以上的金属、金属与非金属结合而成的,且具有金属性质的材料。常见的合金有铁与碳所形成的碳钢、铜与锌所形成的黄铜等。

金属及合金具有下列共同的特性: ① 固体状态下具有晶体结构; ② 具有独特的金属光泽且不透明; ③ 是电和热的良导体; ④ 强度高。

金属材料包括钢铁、有色金属及其合金,由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及加工工艺性能,并能采用比较简单和经济的方法制成零件,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

无机非金属材料主要指水泥、玻璃、陶瓷材料和耐火材料等。它们不可燃,不老化,而

序号	材料	矿物名	主要成分	冶金方法	反应式
2	铜	铜矿	Cu ₂ S、Cu ₂ O	火法冶金	$2\text{Cu}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$ $\text{FeS} + \text{Cu}_2\text{O} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{FeO}$ $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} = 6\text{Cu} + \text{SO}_2$
		火法炼铜的工艺流程： 精铜矿→熔炼→冰铜→粗铜→火法精炼→电解精炼→纯铜			
3	铝	铝土矿	Al ₂ O ₃	电解法	$2\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\text{C} = 4\text{Al} \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + 4\text{CO} \uparrow$
		铝的生产工艺流程： 铝土矿→提取 Al ₂ O ₃ →电解→浇注铝锭			
4	镁	菱镁矿、白云石、光卤石	碳酸镁、氯化钾、氯化镁等	电解法 热还原法	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Mg}$ $2(\text{CaO} \cdot \text{MgO}) + (x\text{Fe})\text{Si} + n\text{Al}_2\text{O}_3 =$ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 + x\text{Fe} + 2\text{Mg}$
		镁的生产工艺流程： 白云石→煅烧→焙烧→制球→氯化→电解→精炼→纯镁			
5	钛	钛铁矿、金红石	FeTiO ₃ TiO ₂	还原法	$\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} = \text{Ti} + 2\text{MgCl}_2$ $\text{TiCl}_4 + 4\text{Na} = \text{Ti} + 4\text{NaCl}$
		钛的生产流程： 钛矿→选矿→钛精矿→富钛料→氯化→粗 TiCl ₄ →纯 TiCl ₄ →镁还原→海绵钛→钛锭			

冶金后获得的金属或合金一般以锭状供应，如铝锭、生铁锭；有些为后道工序添加其它元素的合金，常破碎后以碎块状供应。

1.2.1.2 热加工

经过冶金过程，我们得到了合金原料或金属锭。为了使金属获得所需的形状和结构，需要对金属材料进一步进行加工处理，这一过程称为材料的成形，其成形方法可分为热加工成形和冷加工成形。如在成形过程中使用模或型时，成形过程有时也称作成型。

热加工是把金属生产成零件毛坯的过程。金属材料的热加工是材料的重要加工工序，主要包括铸造、锻压、焊接、热处理。经过热加工，材料成为零件或毛坯，它一方面使材料获得一定的形状、尺寸，同时赋予材料最终的成分、组织和性能。

将所需的各种金属原材料及辅料，按照一定的配比装入熔炉中，用一定的方法重新进行熔化，得到熔融的金属液；然后将金属液浇注到与零件的形状、尺寸相适应的铸型空腔中，冷却凝固后获得零件或其毛坯的生产方法，称为铸造。如内燃机的气缸体和气缸盖、机床的床身和箱体、涡轮机的机壳等复杂机件，所用毛坯都是铸造生产出来的。铸造的特点是使金属一次成形，能够制成形状复杂，特别是具有复杂内腔的铸件。

对金属锭或其它坯料施加外力，使其产生一系列的塑性变形，直到使其获得所需形状和尺寸的加工方法，称为压力加工。它是生产各种型材、毛坯或零件的主要成形方法。各种车辆、飞行器、轮船、枪炮、机器设备，以及日常用的厨具，其中的很多零部件，都是用压力加工的方法生产出来的。

焊接是一种永久性连接金属工件的方法。它的连接强度高，方法多样，操作灵活，是材

料成形中必不可少的成形方法。焊接在桥梁、船舶、建筑、机械制造等行业中有广泛的应用。

将制成的零件或毛坯加热到一定的温度，进行必要的保温，然后以适当的速度冷却，使其得到所需的组织和性能，这样的工艺过程称为热处理。热处理不仅可使金属材料获得最终的组织和性能，在材料成形加工过程中，热处理也发挥着重要的作用。

1.2.1.3 机加工

对毛坯进行各种切削加工，使其形状、结构、尺寸、精度等都达到零件要求的加工过程，称为机加工。机加工的主要加工方法有车削、铣削、刨削、磨削、镗削、拉削等。机加工生产的零件精度及表面粗糙度，一般高于铸造或压力加工。通常机加工是材料的最后成形工序，机加工后材料就成为零件，组成机器或结构的一部分，供现场使用。

1.2.1.4 钢铁材料的生产工艺过程

钢铁材料是以铁和碳元素为主要成分，同时含有其它元素的金属材料。在现代的所有工程材料中，钢铁材料是使用量最大，应用面最广的金属材料。

钢铁材料的一般生产过程见图 1-2 所示。

1. 炼铁

高炉炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭、石灰石。炼铁时，把铁矿石、焦炭、石灰石按一定配比装入高炉内，同时把预热过的空气从进风口鼓入炉内。在冶炼过程中，铁矿石中的铁被还原出来，成为生铁。高炉炼铁是铁的冶金过程，其产物主要是生铁。由于高炉炼铁时用焦炭作为还原剂和热源，冶炼出的生铁中碳的质量分数约为 4.3%，并含有 Mn、Si、S、P 等杂质元素。根据含硅量的高低，生铁可分为两大类：硅的质量分数高于 1.5% 的称为铸造生铁，低于 1.5% 的称为炼钢生铁。

2. 炼钢

由于冶炼出的生铁中含有过多的碳和杂质元素，其性能不能达到生产上的要求，工业上还有一个炼钢的过程。炼钢的基本原料是生铁和废钢，根据材料及工艺要求，还需加入各种铁合金或金属、各种造渣剂等辅助材料。将生铁和废钢、合金及辅料加入转炉、平炉或电弧炉中进行脱碳，降低铁液中的含碳量，并去除大部分有害元素，同时调整成分，从而得到合格的钢液。除原材料对钢的质量有影响外，炼钢设备和工艺对钢的性能也有一定的影响，所以应按不同钢种及其质量要求，合理地制定炼钢工艺并选择合适的炼钢炉。

3. 钢锭及型材的生产

把炼好的钢液浇注到锭模中凝固，形成钢锭，这种生产方式称为模铸。钢锭脱模后，多数又加热到一定温度，再轧制成棒坯、方坯或板坯等，称为半成品。

目前，越来越多的半成品由连铸方式生产，即将钢液浇注到连铸机的结晶器中，随着钢液的凝固，拉出各种形状的半成品长钢坯。连铸是钢铁工业发展的趋势，它和传统的模铸相比，具有可简化生产工序，提高生产效率；提高金属收得率；降低能耗；铸坯质量好，性能稳定，内部组织均匀、致密，偏析少等优点。

随后半成品经各种压力加工工序——热轧、冷轧、锻压、挤压和拉拔等，制成棒、板、钢轨、管材、线材等型材。钢材热轧的效率，产量大，成本低，是生产各种钢材最主要的方法。但在高温下钢表面产生氧化皮，使热轧钢材表面粗糙，尺寸波动大。所以，生产表面质量优良和尺寸精确的板、管、带以及薄壁管、薄钢带等精细产品，均采用冷轧方法。型材

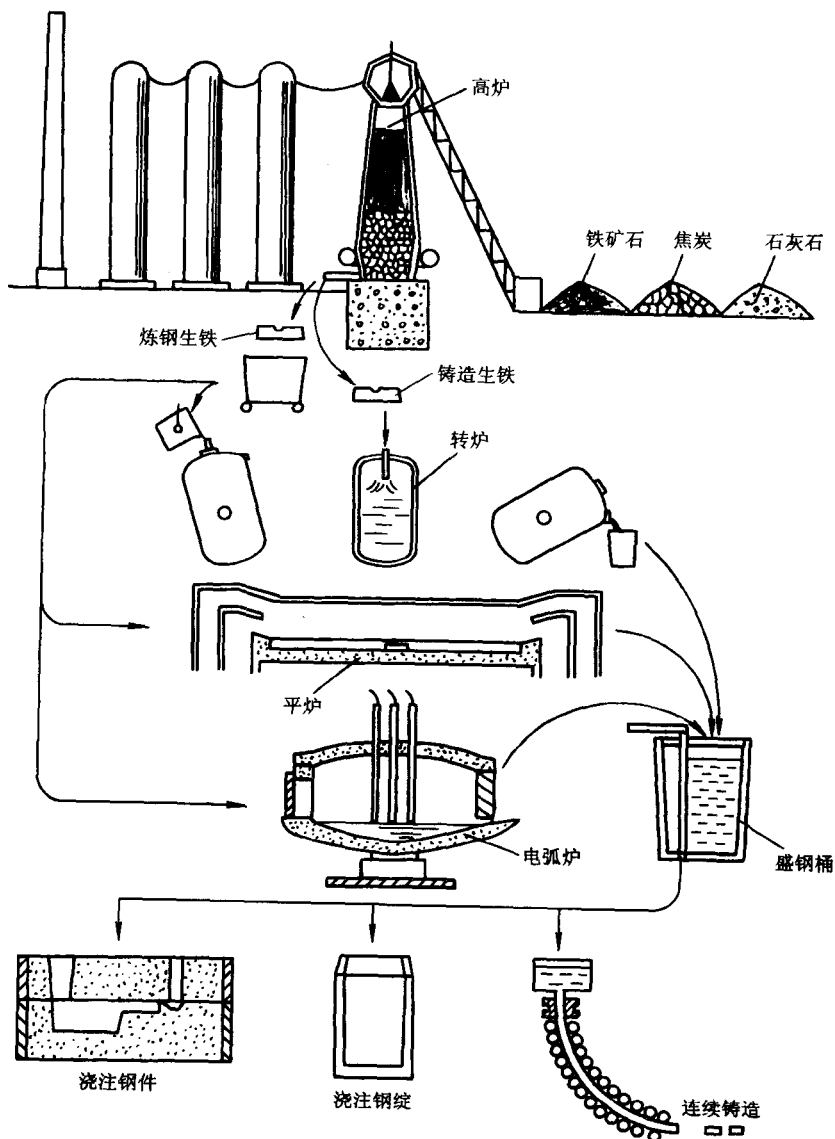


图 1-2 钢铁材料的生产过程

可以作为成品，在很多领域都有广泛的应用。

钢铁冶炼的金属产品主要为生铁、各种铁合金、钢锭和型材。

4. 钢铁材料的铸、锻、焊等热加工成形

钢厂生产的各种形状的型材，已是经过压力加工成形的材料。下面讲述钢铁材料的铸、锻、焊等其它成形过程。

为了得到形状复杂，成本低廉而批量不大的钢铁零件或结构，一般都要采用铸造成形方法。铸造时所用的金属炉料一般有铸造生铁、含有其它元素的铁合金以及废钢。其中铸造生铁和铁合金都是钢铁冶金生产的成品，废钢主要是型材生产过程中产生的下脚料。将这些原料通过铸造的方法生产出铸件。

根据需要，也可采用锻压的方法生产锻压件。锻压件的原料是钢铁冶金生产的钢锭或型

材，也可以是铸造的毛坯。通过锻压，用固态塑性变形的方式将各种坯料加工成所需的结构和形状。

用焊接进行连接时，原料可以是铸造毛坯，锻压毛坯，也可以是型材。

为了满足零件或结构的最终性能要求，或是为了成形加工需要，对钢铁件还应进行各种各样的热处理。

5. 机械加工

经过铸、锻、焊成形的零件毛坯，一般都要进行机械加工，获得最终的结构、形状、尺寸及精度，使毛坯转化为零件。

1.2.1.5 非铁合金的生产过程

与钢铁材料相比，非铁合金的产量和使用量都较低。但由于它们具有特殊的性能，是现代工业中不可缺少的材料。除冶金外，非铁合金的成形加工过程与钢铁相近，下面只简单介绍它们的冶金过程。

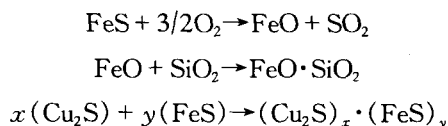
1. 铜的冶金过程

从铜矿石和精矿石中制备铜的方法有两种，一种是火法炼铜法，另一种是湿法炼铜法。

湿法炼铜是用溶剂浸泡铜矿石，使铜从矿石中浸出，再从浸出溶液中将金属铜析出。所用溶剂只溶解金属而不溶解脉石，常用的溶剂有稀硫酸、硫酸铁溶液及碳酸铵溶液等。

火法炼铜是在高温下使铜矿石先熔炼成冰铜，再将其吹炼成粗铜。目前炼铜采用火法炼铜较多，它适于处理硫化矿、氧化矿及其混合矿，而且能顺利提取矿石中的贵金属。下面仅对火法炼铜进行介绍。

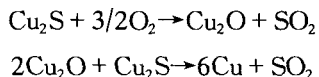
冰铜的冶炼在鼓风炉中进行。主要原料有：硫化铜和氧化铜矿、焦炭、 SiO_2 。在加热冶炼过程中，发生三方面作用：一方面使矿石脱水，也使其中的硫酸盐及碳酸盐分解；当炉内鼓入空气时，对于硫化铜矿而言，氧与铁化合生成氧化亚铁（ FeO ）， FeO 又和溶剂作用生成熔渣被除去；在炉子下部没有起反应的 FeS 和 Cu_2S 结合成冰铜。加热冶炼过程中所发生的反应如下：



最后获得的冰铜，其主要成分是由 Cu_2S 和 FeS 组成的合金。

下一步是将冰铜吹炼成粗铜。目前大工厂使用水平式吹炉。吹炼之前先将炉子预热，然后加入熔融冰铜和熔剂，并开始鼓风。

在吹炼时，除进一步除去硫化铁外，还使硫化亚铜氧化生成氧化亚铜，它再与未经氧化的硫化亚铜反应生成粗铜，其反应为：



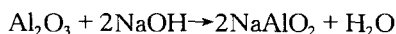
最后获的铜为粗铜，粗铜中铜的质量数为98.5%~99.5%。粗铜除含铜外，还含有金、银、铋、锡、铅、硒、碲，并溶有一定的气体。只有经过精炼过程，去除粗铜中杂质，才能得到更为纯净的紫铜。

2. 铝的冶金过程

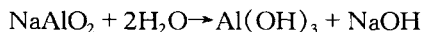
铝锭的生产是先以铝矿石为原料生产氧化铝，再用电解法制铝，最后浇注成铝锭。

(1) 氧化铝的制备 氧化铝的制备方法有湿碱法和干碱法。

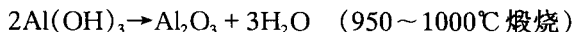
1) 湿碱法。该法是将铝矿石磨细，和氢氧化钠溶液一起在一定温度和压力下反应生成铝酸钠，杂质沉积于容器底部而去除，反应式如下：



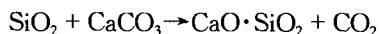
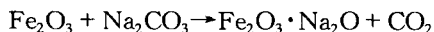
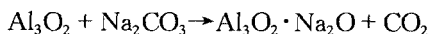
将以上得到的铝酸钠溶液放出过滤，加水稀释，降压和降温后，并加入少量氢氧化铝做结晶核心并进行搅拌，发生以下反应：



其次，将氢氧化铝在 950~1000℃ 温度下煅烧，制得氧化铝，反应如下：

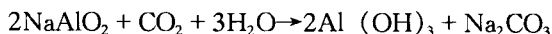


2) 干碱法。是将磨碎的矿石、碳酸钙和碳酸钠混合并加热到 1100℃ 发生反应，烧结成块出炉，反应式如下：



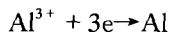
再将块状磨细，加入稀氢氧化钠溶液， $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ 与溶液中水反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而去除， $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 直接沉淀下来而去除。

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ 进入溶液，此时通入二氧化碳，便发生以下反应，生成氢氧化铝：



最后通过煅烧氢氧化铝就制得氧化铝。

(2) 电解制备铝 电解制备铝的原料为湿碱法和干碱法制取的氧化铝。电解液主要由冰晶石 (Na_3AlF_6)、少量氯化钠、氟化铝等组成。氧化铝在 900℃ 左右被离解成 Al^{3+} 和 AlO_2^- ，它们在电流作用下，正离子到阴极，负离子到阳极。其化学式为：



电解得到的铝沉积在槽底，达到一定高度可出铝，其含铝量（质量分数）^①达 99.7%。

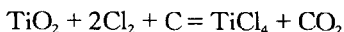
3. 钛的冶金过程

钛冶金包括钛生产和钛白生产两个过程。钛矿 90% 用于生产钛白，只有 5% 用于生产金属钛。制取金属钛的原材料主要是金红石，其主要成分是 TiO_2 ，其次是高钛渣或人造金红石。下面只对金属钛的生产作简单介绍。

钛提取冶金过程包括富钛料制取、四氯化钛制取、金属钛的生产三个过程。

以钛铁矿为原料，用各种方法去除其中的铁及其它杂质，制取钛渣或人造金红石等富钛原料，供制取粗四氯化钛时使用，称为富钛料制取。

粗四氯化钛生产采用氯化法，将富钛原料配上还原剂，在 800~900℃ 下通氯制得。氯化过程的主要化学反应为：



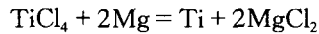
粗四氯化钛一般含 TiCl_4 98%，必须除去其中的杂质。其除去杂质的过程称为精制。对不溶

① 本书中含量一词使用较多，如无特别说明，含量均指质量分数。

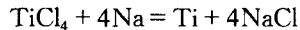
于四氯化钛的物质，用沉降、过滤等方法去除；对溶解于四氯化钛的气体，用沸腾分离或分馏等方法去除。

生产金属钛的原料用 TiCl_4 ，是因为 TiCl_4 比 TiO_2 更易被还原。生产上制取金属钛的主要方法有镁热还原法和钠热还原法。

镁热还原法是以镁作还原剂还原 TiCl_4 ，反应在 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 惰性气体保护下进行，其反应为：



钠热还原法是以钠作还原剂，反应在 $820\sim 880^\circ\text{C}$ 惰性气体保护下进行，其反应为：



由于钛熔点高，还原制得的金属一般为海绵体，称为海绵钛。将海绵钛进一步精制提纯，去除其中的各种杂质，才获得致密的金属钛。

4. 镁的冶金过程

生产镁使用的原料为菱镁矿 (MgCO_3)、白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)、光卤石 ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 和卤水 (MgCl_2) 等。

工业上生产镁有两大类方法：熔盐电解法和热还原法。熔盐电解法是将氯化镁原料提纯成无水氯化镁，或将含镁原料转化成无水氯化镁，在熔融状态下电解出金属镁。热还原法是在高温下用硅铁等还原剂还原煅白 ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$)，来制取金属镁。

其中电解法炼镁，生产成本低，适合于大型镁厂，大部分镁都是用电解法生产的。下面只对熔盐电解法中卤水脱水电解法炼镁进行简要介绍。

该法以卤水为原料，经过净化、浓缩、脱水，得到纯净无水氯化镁，然后在熔融状态电解，制取金属镁，简称卤水炼镁。

卤水是含 MgCl_2 430g/L 并含有其它杂质的水溶液。它是由海水提取 NaCl 、 KCl 后制成，也可由菱镁矿等矿物与盐酸反应制取。将卤水经过去除杂质，并蒸发浓缩去掉大量水分后，制成含结晶水的氯化镁颗粒，然后在热空气中和 HCl 气体中进行脱水，将结晶水全部脱去，制得无水氯化镁。

将无水氯化镁加入电解槽内进行电解。电解槽内电解质呈熔体状态，温度为 $720\sim 730^\circ\text{C}$ ，成分为 MgCl_2 、 CaCl_2 、 KCl 、 NaCl 等。电解时其阳极反应为： $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mg}$ ；其阴极反应为： $2\text{Cl}^- + 2\text{e} = \text{Cl}_2$ 。镁呈液态在阴极上析出，并被循环的电解质带到集镁室，被抽取后送去精炼铸锭。

1.2.2 高分子材料

高分子化合物是由低分子化合物组成，是大量低分子的聚合物，简称高聚物。

有机材料都是以基本有机原料为基础生产出来的。基本有机原料都是天然的资源，如农林产品、煤、石油和天然气等。这些有机原料经过脱氢、裂解和合成等化学加工，而得到甲醇、甘油、乙醛、丙酮、苯酚、氯乙烯等低分子有机化合物。低分子有机化合物经过加聚或缩聚反应，由单体结合而成高聚物，成为高分子化合物。

例如，合成树脂的生产工艺流程包括原料的制备，催化剂的配制，单体的聚合、分离、回收精制、后处理等。根据聚合方式的不同，合成树脂的生产工艺流程可分为本体聚合流程、悬浮聚合流程、乳液聚合流程、溶液聚合流程和气相聚合流程等。

一般有机高分子材料的成型都是与其合成反应同时进行。其成型方式多样，有注射成型、吹塑成型、模压成型等，有的甚至还可以采用粉末压制后再烧结合型。高分子材料也可以采用车、铣、刨、磨等机械加工方法成型。

1.2.3 陶瓷材料

所谓陶瓷是指以天然硅酸盐或人工合成化合物为原料，经过制粉、配料、成形、高温烧结而制成的无机非金属材料。

陶瓷材料的一般工艺流程为：主要成分和搀杂成分→混合→预烧合成→粉碎→造粒→成形→烧结→冷加工。

工业陶瓷分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。普通陶瓷是指粘土类陶瓷，由粘土、长石、石英等烧制而成，其质地坚硬、耐腐蚀、不氧化、不导电，能耐一定的高温，加工成形性好。工业使用的普通陶瓷主要有：绝缘用的电瓷、耐酸碱化学瓷、承载的结构零件用瓷等。特种陶瓷有氧化铝陶瓷、氧化硅陶瓷、碳化硅陶瓷、氮化硼陶瓷等，主要用于高温、机械、电子、宇航、医学工程等领域。

1.2.4 粉末冶金材料

粉末冶金材料是用金属粉末、金属与非金属粉末作原料，通过配料、压制成型、烧结和后处理等工艺过程而形成的材料。

粉末冶金的步骤有：一是原料粉末的制备，二是粉末成型为所需形状的坯块，三是坯块的烧结，四是产品的后序处理。

成型的目的是制得一定形状和尺寸的压坯，并使其具有一定的密度和强度。成型的方法基本上分为加压成型和无压成型。加压成型中应用最多的是模压成型。

烧结是粉末冶金工艺中的关键性工序。成型后的压坯通过烧结使其得到所要求的最终性能。除普通烧结外，还有松装烧结、熔浸法、热压法等特殊的烧结工艺。

烧结后的处理，可以根据产品要求的不同，采取多种方式。如精整、浸油、机加工、热处理及电镀等。有些材料在烧结后要进行硫化处理。硫及大部分硫化物都具有一定的润滑性能，特别是在干摩擦的条件下，具有很好的抗咬合性。因此经硫化处理的产品一般作为减磨材料应用。

粉末冶金工艺有许多优点。由于用粉末冶金方法能压制最终尺寸的压坯，而不需要或很少需要随后的机械加工，故能大大节约金属，降低产品成本。绝大多数难熔金属及其化合物、硬质合金、多孔材料、金属陶瓷等只能用粉末冶金方法来制造。

1.2.5 复合材料

复合材料是由两种以上性能不同的物质组成的固体材料。复合材料一般有两个基本相：一相是连续相，称为基体；另一相是分散相，称为增强剂。复合材料的性能取决于各相的性能、相的比例、各相间界面的性质，以及增强剂的几何特征。其中增强剂的几何特征包括增强剂的尺寸、形状及其在基体中的分布和取向等因素。

复合材料的非金属基体主要有合成树脂、碳、石墨、橡胶、陶瓷；金属基体主要有铝、镁、铜及它们的合金；增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、碳化硅纤维、有机纤维、石棉纤维、晶须、金属丝及硬质颗粒等。

一般来说，对于以颗粒、晶须、短纤维为增强体的复合材料，基体的成形方法，也适用于以该类材料为基体的复合材料；而以连续纤维为增强体的复合材料，其成形工艺往往需要

采取特殊的工艺措施。

各种工程材料的生产是十分复杂的过程，本章仅对其基本工艺过程进行了简化的描述。每种材料的具体生产工艺，可参照本书其它章节或专业著作。

复 习 思 考 题

1. 什么是工程材料？工程材料是如何分类的？
2. 简述钢铁的生产过程。
3. 什么是冷加工？
4. 什么是热加工？
5. 从原材料到机械零件都要经过哪些生产工艺过程？