

全国高等职业教育“十三五”规划教材

机械工程材料

徐 荣 主编

Jixie Gongcheng Cailiao



中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

育“十三五”规划教材

第 1 章

本课程是机械类专业的一门专业基础课，也是机械类专业的一门专业必修课。本课程主要介绍机械材料的基本概念、分类、性能、应用及选材原则。通过本课程的学习，使学生掌握机械材料的基本知识，了解机械材料的性能特点，并能根据机械零件的工作条件合理选材。本课程的教学重点是机械材料的性能特点、应用及选材原则。本课程的教学难点是机械材料的性能特点、应用及选材原则。

机械工程材料

主 编 徐 荣

副主编 陈 亮 赵 捷

主 审 侯克青

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书根据任务驱动教学模式进行编写,将教材与教法有机地结合起来,按照“项目(主题学习单元)—任务(学习型工作)”为序构建教材结构,具有较强的可操作性。全书共设有七个项目,在简要介绍机械工程材料及其生产相关知识的基础上,较系统地介绍了金属材料的性能、微观结构、强化与表面处理,并讲述了常用金属材料、常用非金属材料、机械工程材料及其强化方法的选择等基本理论与基本知识。

本书可作为高职高专院校机械类、近机类专业的教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书以及企业职工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 徐荣主编. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2018. 2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3880 - 1

I. ①机… II. ①徐… III. ①机械制造材料 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第003285号

书 名 机械工程材料
主 编 徐 荣
责任编辑 何 戈
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 255 千字
版次印次 2018年2月第1版 2018年2月第1次印刷
定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书根据教育部及人力资源和社会保障部对高职高专高技能人才培养的要求,针对高职高专教育特点,遵循高职高专教材“必需、够用”的原则,在借鉴各高职高专院校金工课程教学改革经验的基础上,结合教学改革“基于工作过程”“教、学、做一体化教学”的特点编写而成。本书可作为高职高专院校机械类、近机类专业教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书以及企业职工的培训教材。

在编写过程中,本书以专业人才培养方案为依据、以岗位需求为基本出发点、以学生发展为本位设计教材内容,根据任务驱动教学模式的要求,将教材与教法有机地结合起来,按照“项目(主题学习单元)—任务(学习型工作)”为序构建教材结构,具有较强的可操作性。全书共设有七个项目:机械工程材料及其生产概述、金属材料的性能、金属材料的微观结构、金属材料的强化与表面处理、常用金属材料、常用非金属材料、机械工程材料及其强化方法的选择。在每个项目之下设有不同的学习任务,每个学习任务都从知识要点、技能目标切入,以学习型工作任务为主线,依照“任务导入、任务分析、相关知识、任务实施”四大环节,使学生较系统地掌握机械工程材料的基本理论和基本知识;掌握常用机械工程材料的成分、组织、性能与热处理之间的关系及其用途;初步具有合理选用机械工程材料,正确确定热处理方法的能力。每项任务完成之后,都配有一定数量的思考与练习题,以帮助学生进一步理解和巩固所学知识,做到温故知新,培养分析问题与解决问题的能力,为后续课程的学习和从事工业生产、技术及管理工作奠定基础。

参加本书编写的有:长治职业技术学院徐荣(项目一、项目四、项目七)、长治职业技术学院赵菊莲(项目二)、大同煤炭职业技术学院王梅香(项目三)、河南工业和信息化职业学院赵捷(项目五)、长治职业技术学院陈亮(项目六、附

录)。徐荣任主编并负责全书的统稿和定稿工作,陈亮、赵捷任副主编。全书由长治职业技术学院侯克青教授主审。

在本书编写过程中得到了有关院校、企业、科研单位的帮助与指导,在此一并致谢。

限于编者水平,书中难免存在错误和不足之处,恳请广大读者指正。

编者

2017年6月

项目一 机械工程材料及其生产概述	1
任务一 机械工程材料与机械制造过程	1
任务二 机械工程材料的生产过程	4
项目二 金属材料的性能	11
任务一 金属材料的力学性能	11
任务二 金属材料的物理性能与化学性能	22
任务三 金属材料的工艺性能	25
项目三 金属材料的微观结构	28
任务一 纯金属的晶体结构	28
任务二 纯金属的结晶	32
任务三 合金的晶体结构	35
任务四 合金的结晶及铁碳合金相图	38
项目四 金属材料的强化与表面处理	49
任务一 细晶强化	49
任务二 形变强化	52
任务三 钢的热处理强化	56
任务四 金属的表面处理技术	79
项目五 常用金属材料	84
任务一 工业用钢	84
任务二 工业铸铁	98
任务三 常用有色金属材料	107
任务四 粉末冶金材料简介	117
项目六 常用非金属材料	122
任务一 高分子合成材料	122
任务二 陶瓷材料与复合材料	129

项目七 机械工程材料及其强化方法的选择.....	135
任务一 选材的一般原则.....	135
任务二 典型零件的选材分析.....	139
任务三 典型工具的选材分析.....	143
任务四 机械工程材料的应用实例.....	146

附录.....	153
附表 I 常用钢的临界点.....	153
附表 II 常用结构钢退火及正火工艺规范.....	154
附表 III 常用工具钢退火及正火工艺规范.....	155
附表 IV 常用钢种回火温度与硬度对照表.....	156

参考文献.....	157
-----------	-----

项目一 机械工程材料及其生产概述

在生活、生产和科技各个领域,用于制造结构件、机器、工具和功能器件的各类材料统称为工程材料。工程材料的发展与国民经济的发展有密切的关系,从日常生活用具到高、精、尖的产品,从简单的手工工具到复杂的飞机、机器人,都是由不同种类、不同性能的工程材料加工成的零件经组合装配而成的。

工程材料按其应用领域可分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料、航空航天材料等多种类别。本书主要介绍机械制造业中广为使用的机械工程材料。

机械工程材料是机械产品制造所必需的物质基础,是机械工业的“粮食”。材料、能源和信息被称为现代社会的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步,因此许多国家都把材料科学作为重点发展科学之一,使之成为新技术革命的坚实基础。对于从事机械工程技术或管理的人员,了解机械工程材料的性能及其应用非常重要。

本项目共分两项基本任务。

任务一 机械工程材料与机械制造过程

【知识要点】 机械工程材料的发展历程;机械工程材料的分类;机械制造工艺流程;钢铁冶炼过程;钢的铸锭方法;钢材的生产。

【技能目标】 了解机械工程材料的种类;了解机械工程材料在机械制造业中的作用与地位;了解机械工程材料的发展趋势。



任务导入

材料的使用与人类进步密切相关,标志着人类文明的发展水平。人类社会所谓的石器时代、陶器时代、青铜器时代和铁器时代,就是按生产活动中起主要作用的材料划分的。如今人类已跨入了人工合成材料的新时代。



任务分析

机械工业正向着高速、自动、精密方向快速发展,机械产品更新换代的速度不断加快,机械工程材料的使用量越来越大,在产品的设计与制造过程中所遇到的有关机械工程材料及其强化方面的问题日益增多。因此,合理选用材料及其强化方法,对充分发挥材料潜力、保证材料性能、提高产品质量、节约材料、降低成本等都起着重大作用。



相关知识

一、机械工程材料的发展历程

根据对大量出土文物的考证,我国早在 4 000 年前就已开始使用天然存在的红铜,到公元前 16 世纪的殷商时代开始在生产工具、武器、生活用具及礼器等方面均大量使用青铜(铜锡合金)。如重达 832.84 kg 的后母戊鼎,不仅体积庞大,而且花纹精巧,造型美观,充分反映出当时高超的冶铸技术和艺术造诣。到春秋时期,我国已能对青铜冶铸技术做出规律性的总结,如《周礼·考工记》中的“六齐”规律(青铜各组成元素的 6 种配比),是世界上最早的合金工艺总结。

我国还是生产铸铁最早的国家,早在 2 500 年前的周代就已发明了生铁冶炼技术,开始用铸铁制作农具,如河北武安出土的战国期间的铁铧,经金相检验证明是可锻铸铁。随后出现了炼钢、锻造、钎焊和退火、正火、淬火、渗碳等热处理技术。出土的文物如西汉的钢剑、书刀等,经金相检验发现其内部组织接近于现代淬火马氏体和渗碳体组织,说明我国在西汉时已相继采用了各种热处理技术并已具有相当高的水平。明代科学家宋应星所著《天工开物》一书,详细记载了冶铁、铸造、锻造、淬火等各种金属加工制造方法,是举世公认的最早涉及材料及其成形方法的科学技术著作之一。在陶瓷及天然高分子材料(如丝绸)方面,我国也曾远销欧亚诸国,踏出了举世闻名的丝绸之路,为世界文明史添上了光辉的一页。19 世纪以来,机械工程材料获得了高速发展。到 20 世纪中期,金属材料的使用达到鼎盛时期,由钢铁材料所制造的产品约占机械产品的 95%。

1903 年世界上第一架飞机所用的主要结构材料是木材和帆布,飞行速度仅 16 km/h;1911 年硬铝合金研制成功,金属结构取代木布结构,使飞机性能和速度获得一个飞跃;喷气式飞机超过音速,高温合金材料制造涡轮发动机起到重要作用;当飞机速度达到 2~3 倍音速时,飞机表面温度会升到 300 °C,飞机材料只能采用不锈钢或钛合金;至于航天飞机,机体表面温度会高达 1 000 °C 以上,只能采用高温合金材料及防氧化涂层。目前,玻璃纤维增强塑料、碳纤维高温陶瓷复合材料、陶瓷纤维增强塑料等复合材料在飞机、航天飞行器上已获得广泛应用。

二、机械工程材料的分类及其发展趋势

机械工程材料按其组成元素及原子间的结合特点不同可分为金属材料(指以金属元素为主构成并具有金属特性的固态物质,包括钢铁材料、非铁金属材料、粉末冶金材料)、有机高分子材料(以有机高分子化合物为主构成的材料,包括塑料、橡胶、合成纤维、胶粘剂等)、陶瓷材料(以金属和非金属元素的无机化合物所构成的材料)及复合材料(由几种不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料)四大类,它们各自具有不同的性能特点,见表 1-1;若按机械工程材料的使用性能或用途特点,可分为结构材料(作为承力结构使用的材料)与功能材料(具有光、电、磁、热、声等特殊性能的材料)两大类。

由于金属材料工业已形成了庞大的生产能力,并且质量稳定,性能价格比具有一定的优势,所以金属材料仍占据着材料工业的主导地位。

表 1-1

工程材料的原子间结合键及其性能特点

种类	结合键	熔点	弹性模量	强度、硬度	塑性韧性	导电性 导热性	耐热性	耐蚀性	其他性能
金属材料	金属键	较高	较高	较高	良好 (铸铁等除外)	良好	较高	一般	密度大,不透明,有金属光泽
高分子材料	共价键 分子键	较低	低	较低	变化大	绝缘 导热差	较低	高	密度小,热膨胀系数大,抗蠕变性能低,易老化,减摩性好
陶瓷材料	离子键 共价键	高	高	抗压强度与硬度高,抗拉强度低	差	绝缘 导热差	高	高	耐磨性好,热硬性高,抗热振性差
复合材料	取决于 组成物	能克服单一材料的某些弱点,充分发挥材料的综合性能							

三、机械制造工艺流程

机械制造工艺是指将各种原材料、半成品加工成为机械产品的方法和过程。机械制造一般工艺流程如图 1-1 所示。

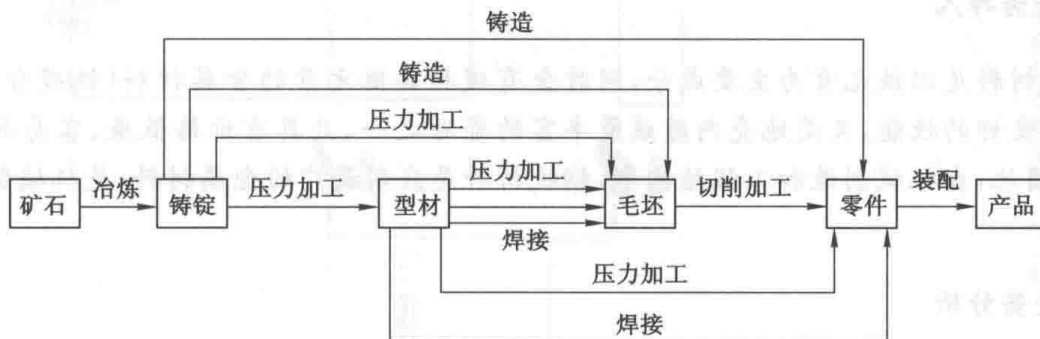


图 1-1 机械制造一般工艺流程图

机械工业生产的原材料主要是以钢铁为主的金属结构材料,既包括由冶金厂直接供应的棒、板、管、线材、型材等(经切割、焊接、冲压、锻造或下料后直接进行机械加工),也包括生铁、废钢、铝锭、电解铜板等(二次熔化后进行铸造或铸锭后锻造等)。随着机械工程材料结构的不断调整,各种特种合金、金属粉末、工程塑料、工程陶瓷和复合材料的应用比例也不断增大。

目前,机械产品更新换代的速度不断加快,对制造工艺提出了更高的要求。新能源、新材料、微电子、计算机等高新技术的不断引入,为新型加工方法的出现提供了技术储备。新型材料的出现,使传统的常规成形工艺如铸造、锻压、焊接、热处理、机械加工等的技术构成逐渐发生变化,也导致某些新型加工技术的产生和发展。



任务实施

(1) 机械工程材料按其组成特点分为金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。其中,金属材料目前占据着材料工业的主导地位。

(2) 金属毛坯的成形一般有铸造、锻造、冲压、焊接和轧材下料五种常用方法。

(3) 零件的机械加工是指采用切削、磨削和特种加工等方法,逐渐改变毛坯的形状、尺寸及表面质量,使其成为合格零件的过程。



思考与练习

(1) 试举出你所了解的反映我国古代在材料方面成就的例子。

(2) 说明机械工程材料在机械制造过程中的作用和地位。

(3) 简述机械制造一般工艺流程。

任务二 机械工程材料的生产过程

【知识要点】 高炉炼铁;炼钢;钢的浇铸;钢的压力加工。

【技能目标】 熟悉钢铁冶炼的基本过程与基本原理;了解钢的铸锭方法及其特点;了解常用冶金产品的种类及其生产方法。



任务导入

钢铁材料是以铁元素为主要成分,同时含有碳和其他元素的金属材料(铁碳合金)。由于铁具有良好的性能,又是地壳内蕴藏最丰富的资源之一,且具有价格低廉、容易加工成形等特点,因此,在机械制造和工程结构中,钢铁材料是应用最广的金属材料,是机械制造业的支柱。



任务分析

工业上按碳的含量多少将钢铁材料分为钢(含碳量低于 2.11%)和生铁(含碳量大于 2.11%)两大类。现代钢铁联合企业的生产流程是:高炉炼铁→铁水预处理→氧气转炉炼钢→炉外精炼→连铸→钢坯热装热送→连轧。

钢材的一般生产流程如图 1-2 所示。



相关知识

一、高炉炼铁

自然界中的铁多以各种氧化物(如 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 等)的形式存在于铁矿石(含铁量大于 30% 就有开采价值)中,通过铁矿勘探→采矿→矿石破碎→选矿→精矿粉烧结和球团化→高炉炼铁等过程生产出生铁水。高炉炉体结构如图 1-3 所示,炼铁的主要任务就是把铁矿石中的铁从其氧化物中还原出来,并与脉石(除铁外其他元素的氧化物,如 SiO_2 、 MnO 、 Al_2O_3 等)分离,从而获得一定成分的生铁。

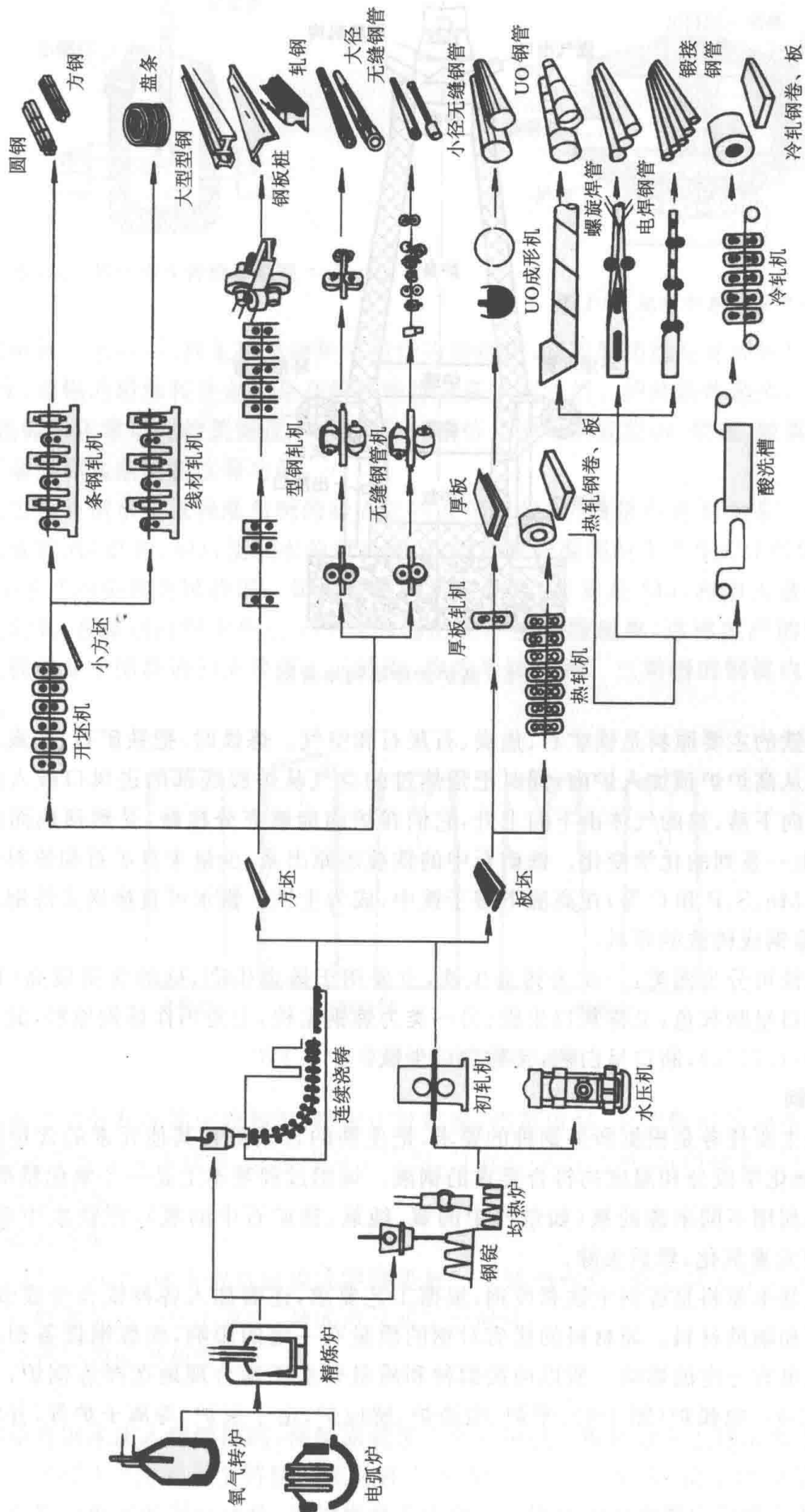


图1-2 钢材的生产流程示意图

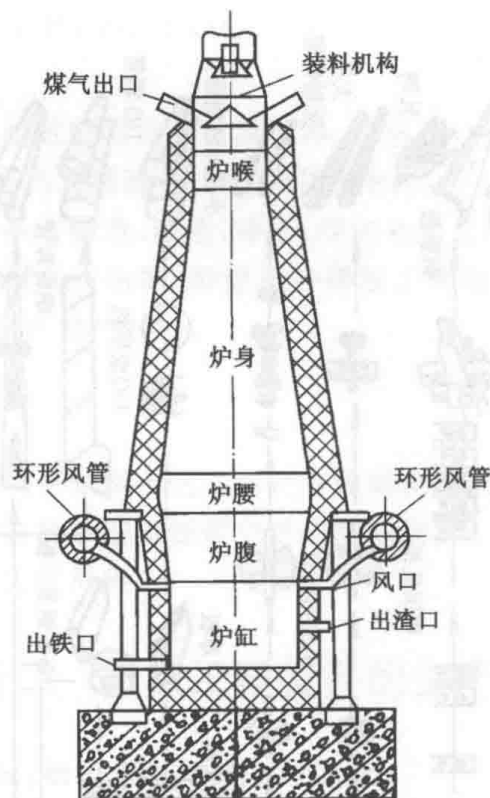


图 1-3 高炉炉体结构示意图

高炉炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭、石灰石和空气。炼铁时，把铁矿石、焦炭和石灰石按一定配比从高炉炉顶加入炉内，同时把预热过的空气从炉腹底部的进风口鼓入炉内。因为炉料由上向下落，热的气体由下向上升，它们在炉内能够充分接触，受到预热而逐渐升高温度，并产生一系列的化学变化。铁矿石中的铁被还原出来，少量来自矿石和燃料中的杂质元素（如 Si、Mn、S、P 和 C 等）在高温下溶于铁中，成为生铁。铁水可直接送去炼钢或铸成生铁块，作为炼钢或铸铁的原料。

高炉生铁可分为两类：一类为铸造生铁，主要用于铸造生产，硅的含量较高（1.25%~3.75%），断口呈暗灰色，又称灰口生铁；另一类为炼钢生铁，主要用作炼钢原料，硅的含量较低（0.60%~1.75%），断口呈白色，又称白口生铁。

二、炼钢

炼钢的主要任务是根据所炼钢种的要求，把生铁的含碳量和其他元素的含量降低到规定范围，得到化学成分和温度均符合要求的钢液。炼钢过程基本上是一个氧化精炼过程，其基本原理是利用不同来源的氧（如空气中的氧、纯氧、铁矿石中的氧），把铁水中多余的 C、Si、Mn、P 等元素氧化，然后去除。

炼钢的基本原料是炼钢生铁和废钢，根据工艺要求，还需加入各种铁合金或金属，以及各种造渣剂和辅助材料。原材料的优劣对钢的质量有一定的影响，而炼钢设备和冶炼工艺对钢的性能也有一定的影响。所以应按钢种和质量要求正确合理地选择炼钢炉，如氧气顶吹转炉（图 1-4）、电弧炉（图 1-5）、平炉、电渣炉、感应炉、电子束炉、等离子炉等，并制订相应的冶炼工艺。

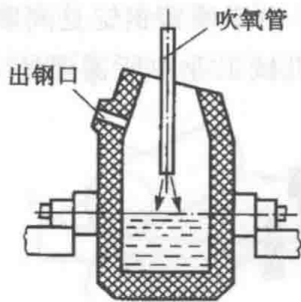


图 1-4 氧气顶吹转炉示意图

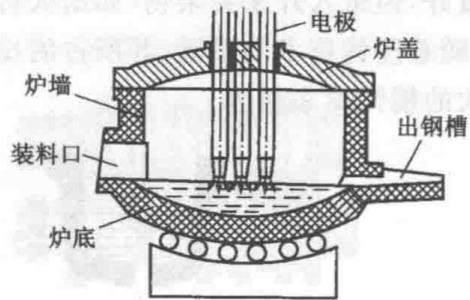


图 1-5 电弧炉构造示意图

现代炼钢工艺中,几种主要炼钢炉只是作为初炼炉,其主要功能是完成熔化和初调钢液成分、温度,而钢的精炼和合金化是在炉外精炼装备中完成的。炉外精炼是提高钢材内在质量、保证连铸机正常运行的关键技术,多种炉外精炼技术可实现脱碳、脱硫、脱磷、脱氧、去除微量有害杂质和夹杂物变性等功能。

脱氧工艺及钢水脱氧程度与钢的凝固结构及钢材性能、质量有密切关系。若加入足够数量的强脱氧剂(如 Si、Al),使钢水脱氧良好,在钢锭模内凝固时不产生 CO 气体,钢水保持平静,这样生产的钢称为镇静钢。如果控制脱氧剂种类(主要是 Mn)和加入量使钢水中残留一定量的氧,在凝固过程中形成 CO 气泡逸出而产生沸腾现象,这样生产的钢称为沸腾钢。脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间的钢,称为半镇静钢。三类钢的钢锭内部结构如图 1-6 所示。

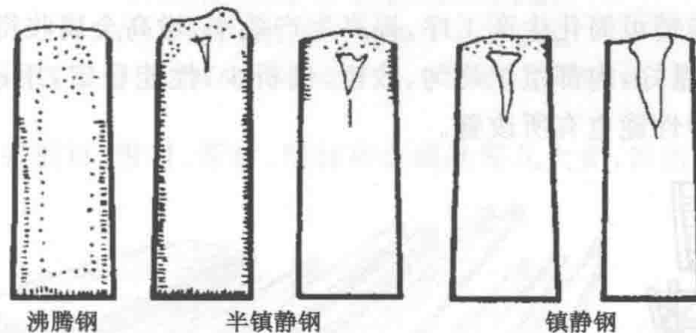


图 1-6 三类钢锭内部结构示意图

镇静钢的成分和性能比较均匀,组织比较致密,质量较好,大多数机械制造用钢都使用镇静钢;沸腾钢内部杂质较多,化学成分不均匀,且有许多小气泡,虽经热轧后可以焊接,但质量仍不如镇静钢。

三、钢的浇铸

炼钢得到的钢液,除少数直接铸成零件毛坯——铸钢件外,绝大部分是先浇铸成钢锭,然后再通过轧制等压力加工方法,制成钢材或大型锻件。

钢的浇铸分为模铸和连铸。

(一) 模铸法

模铸是将钢水注入钢锭模内,待凝固脱模后成为钢锭。模铸分为上铸法和下铸法两种,其浇铸方法如图 1-7 所示。上铸法的工艺操作简单,外来夹杂物少,钢水收得率高,但浇注时钢水飞溅影响钢锭的表面质量,增加修磨工作量。下铸法钢水在模内平稳上升,钢锭的表

面质量好,但带入外来夹杂物(如耐火材料微粒)的机会多。由于模铸钢锭是间歇生产,生产率低,随着连铸技术的发展,其所占的比例将逐渐减小,但机械工业中所需要的大型锻件仍需用大的模铸锭来制造。

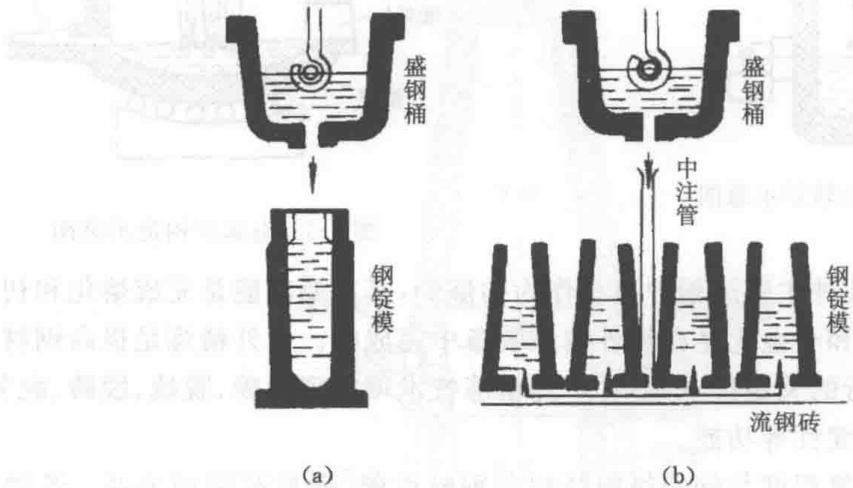


图 1-7 模铸示意图

(a) 上铸法;(b) 下铸法

(二) 连铸法

连铸是将钢水从钢包经过中间包浇入连铸机的结晶器中,从结晶器的另一端连续拉出钢锭,再经过二次冷却和矫直而得到连铸坯,如图 1-8 所示。连铸是钢铁工业发展的趋势,和传统的模铸相比,连铸可简化生产工序,提高生产效率,增高金属收得率,直接热送轧制以降低能耗。连铸坯质量好,内部组织均匀、致密,偏析少,性能稳定,用连铸坯轧出的板材横向性能优于模铸,深冲性能也有所改善。

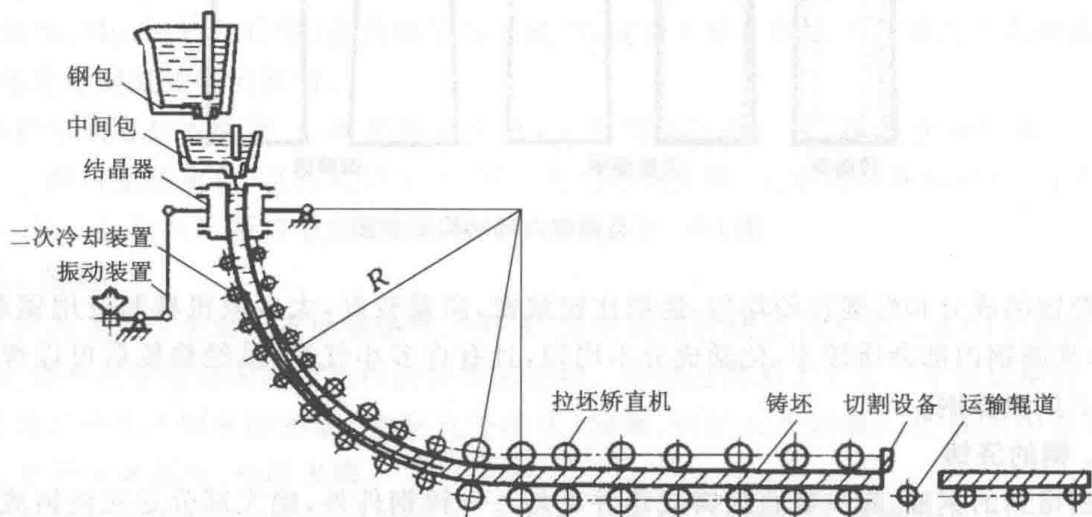


图 1-8 弧形连铸机铸钢法示意图

四、钢的压力加工

钢锭或连铸坯经过轧制等压力加工方法可得到各种形状和规格的钢材(称为冶金加工产品)。塑性变形有助于消除铸态组织(金属由液态冷凝形成的组织)中的粗晶粒、孔隙和疏

松,并能减轻偏析。经热压力加工的钢材其塑性优于铸态。

生产钢材的压力加工方法主要有轧制、拉拔、挤压等,如图 1-9 所示。

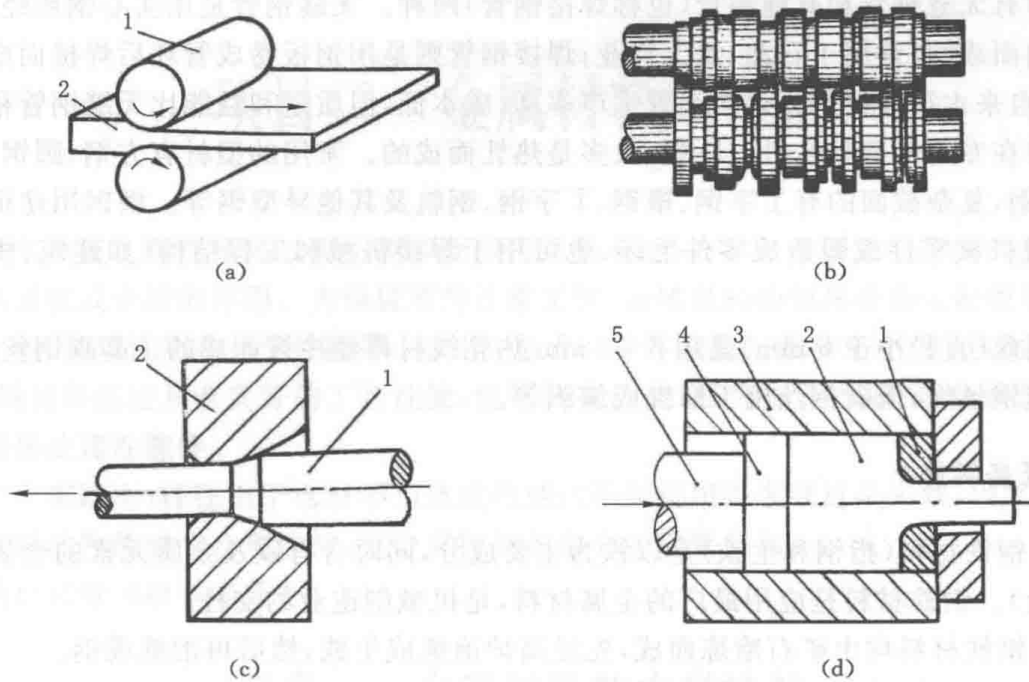


图 1-9 压力加工方法示意图

(a) 板材、带材轧制示意图:1——光轧辊;2——钢坯。

(b) 型材轧制示意图(型槽轧辊及其孔型)。

(c) 冷拉示意图:1——坯料;2——冷拉模。

(d) 挤压示意图:1——挤压模;2——坯料;3——挤压筒;4——挤压垫;5——挤压棒

常用的钢材规格有板材、带材、管材、型材和金属丝等几大类,如图 1-10 所示。

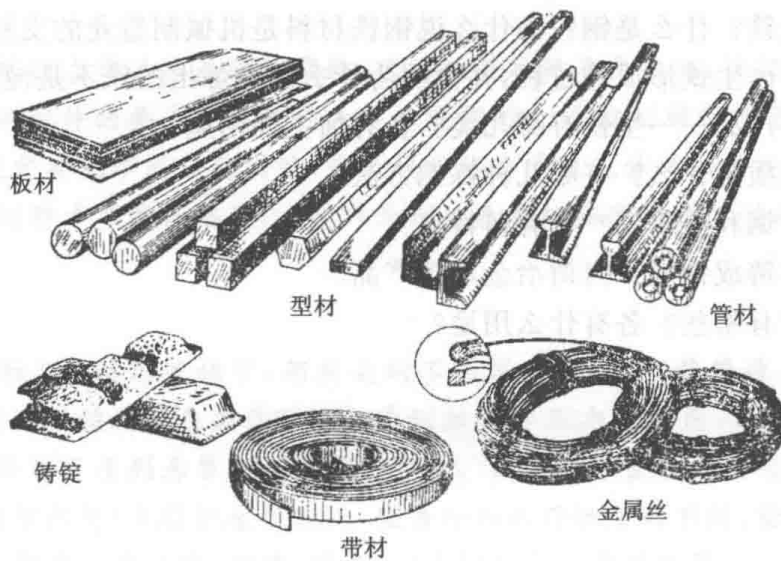


图 1-10 常用冶金产品

板材一般分为厚板($>4\text{ mm}$)和薄板($\leq 4\text{ mm}$),又分为冷轧板和热轧板,常用于造船、锅炉和压力容器的制造。

带材的厚度较薄(一般不大于几毫米),宽度较窄(不大于几百毫米),而长度很大(可达10 m以上),许多零件都可用带材直接加工制成。

管材有无缝钢管和有缝钢管(也称焊接钢管)两种。无缝钢管是用实心钢坯经穿孔机穿孔后轧制而成的,常用于石油、化工行业;焊接钢管则是用钢板卷成管坯后焊接而成的,供煤气公司、自来水行业使用。焊接钢管生产率高,成本低,但质量和性能比无缝钢管稍差。

型材在专门的型材轧机上轧制,大多是热轧而成的。常用的型材有方钢、圆钢、扁钢、角钢、六角钢,复杂截面的有工字钢、槽钢、T字钢、钢轨及其他异型钢等。型钢用途很广,可直接切削成机械零件或锻造成零件毛坯,也可用于焊接机械和工程结构(如建筑、桥梁、车辆等)。

金属丝(直径小于6 mm)是用6~9 mm 热轧线材再经冷拔而成的。高碳钢丝用来制作小弹簧或钢丝绳,低碳钢丝用于捆绑或编织等。



任务实施

(1) 钢铁材料(指钢和生铁)是以铁为主要成分,同时含有碳及杂质元素的金属材料(即铁碳合金)。钢铁材料是应用最广的金属材料,是机械制造业的支柱。

(2) 钢铁材料均由矿石冶炼而成,先经高炉冶炼成生铁,然后再冶炼成钢。

(3) 冶金厂供给用户的冶金产品主要有金属铸锭和冶金加工产品两大类。金属铸锭是用冶炼成一定化学成分的金属浇铸成的铸锭(如铸造生铁锭、青铜铸锭、铸铝锭等),一般供用户重新熔化后铸造零件毛坯用。冶金加工产品是将冶炼成一定化学成分的金属浇铸成锭后,再经轧制等压力加工方法加工成的各种规格的金属料,常用冶金加工产品有板材、带材、管材、型材和线材等几大类。



思考与练习

- (1) 什么是生铁? 什么是钢? 为什么说钢铁材料是机械制造业的支柱?
- (2) 简述高炉内生铁形成的过程,并说明为什么高炉炼出的铁不是纯铁而是生铁。
- (3) 高炉主要产品——生铁有哪几类? 各有何主要用途?
- (4) 炼钢的实质是什么? 有哪几种炼钢方法?
- (5) 何谓镇静钢和沸腾钢? 各有何特点?
- (6) 钢液怎样铸成钢锭? 何谓冶金加工产品?
- (7) 常用钢材有哪些? 各有什么用途?