



21世纪大学生工程素质训练丛书

GONGCHENG XUNLIAN

工程训练

(机械类)

主 编 邢书明

副主编 宋志坤 韩同样 孔繁征 张若达



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪大学生工程素质训练丛书

工 程 训 练

(机械类)

主编 邢书明

副主编 宋志坤 韩同样 孔繁征 张若达

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以机械工程的设备使用、工艺设计和操作技能训练为重点,系统介绍了机械工程系统中的毛坯制造、焊接与连接、切削加工和数控技术、性能调整、钳工装配和质量检验六大基本环节的基础知识、基本训练和拓展训练,提供了数百道思考题引导学生感悟提高,注重体现研究型工程训练的思维过程和“做学融合、知行统一”的教学理念。

本书适于普通高等学校和职业技术学校机械类和近机类各专业进行工程训练使用,也可供相关领域开展职业培训和工程素质教育参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练(机械类)/邢书明主编. —北京:国防工业出版社,2009.3

(21世纪大学生工程素质训练丛书)

ISBN 978-7-118-06176-5

I. 工... II. 邢... III. 机械制造工艺—高等学校—教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 011889 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 字数 617 千字

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

工程训练的本质任务是素质和能力的培养。在大力倡导和实施素质教育的今天,工程训练在高级工程技术和创新型人才培养中的地位愈加重要,各高校都在围绕工程训练的教学理念、内容体系、评价方法和教材建设等方面开展了一系列的教学改革与研究探索。很多高校都在针对自己的特点,编写了相应的工程训练教材。这些教材各有特点,满足了不同高校的需要。本教材是在充分总结近年来工程训练教学改革与实践的宝贵经验,最大程度地借鉴了同类教材的优点编写而成的。本教材的主要特点是:

(1)内容包括了机械工程系统中的毛坯制造、焊接与连接、切削加工、性能调整、钳工装配和质量检验等机械工程的六大基本环节。每个环节都沿着“知识准备—基本训练—拓展训练—感悟提高”的四个层次组织材料,试图体现研究型工程训练的思维过程。

(2)充分体现“做学融合、知行统一”的研究型工程训练的教学理念。在训练项目的选择和安排上,注重从识图开始的目标驱动下的自主探究式训练。每个训练项目基本都包括技术分析、加工方案的制订、设备和工具的选择、加工操作要领四个基本内容,以此来引导学生自主探究与操作训练。

(3)每章都有大量的拓展型思考题,进一步引导学生思考感悟、总结提高,努力为后续课程的学习埋下伏笔。

(4)补充了质量检验和技术经济分析的训练,以强化学生的质量意识、技术经济一体化意识和跟踪现代技术的意识。

全书共分9章,第1章以导论形式,对工程训练、机械工程、工程图、工程材料等相关基本知识进行了概括介绍;第2章至第8章分别介绍毛坯制造、焊接与连接、材料与零件改性、切削加工、数控加工、钳工装配、质量检验等机械制造工程链中主要环节的基本知识,并在此基础上,通过大量训练项目引导学生进行基本训练、拓展训练和感悟提高;第9章以学生熟悉的典型机械产品为对象,引导学生进行机械工程系统的综合训练,作为全书的总结。

本书由长期工作在工程训练一线的教师和工程师联合编写。第1、2、3、9章由邢书明编写,第4、6章由宋志坤编写,第5章由韩同样编写,第7章和第8章由孔繁征编写。全书由邢书明和张若达统稿并审改。硕士生刘毓参加了部分审改工作,李长春教授对教材的编写工作提了很多宝贵的建议。编写过程参考了大量相关书籍,在此一并深表谢意。

由于编写水平所限,不当之处请读者批评指正。

邢书明

2008年11月于北京交通大学红果园

目 录

第1章 绪论	1	2.3.2 锻造毛坯制造拓展 训练	72
1.1 机械工程训练的目的、内容和 意义	1	2.3.3 板料冲压拓展训练	79
1.2 机械工程概论	2	2.4 思考与感悟提高	83
1.3 机械工程材料概论	5	第3章 焊接与连接	84
1.3.1 机械工程材料的发展与 分类	5	3.1 材料连接的基础知识	84
1.3.2 机械工程材料的性能 及其评价指标	5	3.1.1 焊接技术的基础知识	84
1.3.3 材料的成分、组织及性能之 间的关系	7	3.1.2 胶接技术	100
1.3.4 常用机械工程材料的成分、 特性及应用范围	8	3.1.3 机械连接技术	104
1.4 机械工程常见图纸	13	3.1.4 材料连接缺陷与检验	108
1.4.1 零件图	13	3.2 材料连接基本训练	108
1.4.2 毛坯图	21	3.3 材料连接拓展训练	124
1.4.3 装配图	24	3.4 思考与感悟提高	132
1.4.4 设备安装图	27	第4章 材料与零件改性	134
1.5 思考与感悟提高	28	4.1 材料与零件改性的基础知识	134
第2章 毛坯制造	30	4.2 热处理改性基本训练	139
2.1 毛坯制造的基础知识	30	4.3 热处理拓展训练	143
2.1.1 切割下料制备毛坯	31	4.4 思考与感悟提高	147
2.1.2 铸造方法制备毛坯	31	第5章 切削加工	149
2.1.3 锻造方法制造毛坯	38	5.1 切削加工的基础知识	149
2.1.4 板料冲压制造毛坯	43	5.1.1 切削加工的基本概念	149
2.2 毛坯制造基本训练	45	5.1.2 金属切削的基本规律	153
2.2.1 铸造毛坯制造基本 训练	45	5.1.3 切削加工基本设备、工具 及其选用	160
2.2.2 锻造毛坯制造基本 训练	59	5.1.4 切削加工的工艺过程和 生产组织	197
2.2.3 板料成形基本训练	65	5.2 切削加工基本训练	199
2.3 毛坯制造拓展训练	69	5.3 切削加工拓展训练	218
2.3.1 铸造毛坯制造的知识 拓展	69	5.4 思考与感悟提高	228
		第6章 数控加工与特种加工	233
		6.1 数控加工的基础知识	233
		6.1.1 数控加工概述	233
		6.1.2 常见数控加工方法	243
		6.2 特种加工	258

6.3	数控加工基本训练	260	8.1	质量检验概述	319
6.4	数控加工与特种加工拓展 训练	270	8.2	机械零件常规质量检验的器具和 检验方法	321
6.5	思考与感悟提高	278	8.3	机械零件检验	335
第7章	钳工与装配	281	8.4	焊缝及铸锻毛坯质量检验	341
7.1	钳工与装配的基础知识	281	8.5	思考与感悟提高	344
7.1.1	钳工工艺	281	第9章	机械工程综合训练	345
7.1.2	装配的基础知识	310	9.1	训练任务和要求	345
7.2	钳工与装配基本训练	312	9.2	训练过程和指导意见	345
7.3	思考与感悟提高	317	9.3	思考与感悟提高	349
第8章	质量检验与控制	319	参考文献	350	

第1章 绪 论

本章在简要介绍机械工程训练的目的、内容、特征和意义后,概括介绍了机械工程学科及其专业背景、机械工程材料以及工程图纸等最基本的专业背景知识,旨在为随后进行的工程训练奠定必要的相关知识基础。

1.1 机械工程训练的目的、内容和意义

工程训练可以理解为在工程活动中开展训练的一种教学活动,是一种以使学生具有工程特长和工程技能为目的而有计划、有步骤地开展的训练活动。它的本质任务是素质和能力的培养。为了完成好这一任务,必须了解工程训练的教育教学特征。

工程训练的教育特征主要是专业性、体验性、实践性、训练性和培育性五个方面。专业性特征是指工程训练承认其所培养人才的大类专业背景,并在符合其大类专业背景的平台上实施实践能力和工程素质的培养。不承认专业背景的广义工程训练是很难组织的。体验性特征是指工程训练中绝大部分内容是对已有知识和技术的亲身体验,缺乏“体验”意识的工程训练是无法达到预期目的的。实践性特征无需解释,但工程训练的训练性特征则值得强调。“训练”是一种有目的、有计划的系列实践活动,这一特征要求参与工程训练的教师和学生都应首先明确每个训练内容的目的和训练计划,并通过采取积极有效的教学方法使目标得以实现。培育性特征是指工程训练是一个过程,在这一过程中,不仅需要学生自身努力,还需要有专门的人员和环境进行培养指导,进行因材施教。这五个特征综合起来就决定了工程训练是一个有组织、有计划、目标明确的大规模实践教学活动。

工程训练教学方面的特征突出表现在:教学方式以学生为中心的自主性和研究性;教学内容的综合性、设计性和探索性;教学管理上的开放性和教学组织的合作性。明确这些教学特征,有利于开展研究型工程训练。

机械工程训练是面向机械类学生的一种工程训练,在大学里经常将其作为一门课程列入培养计划。机械工程训练的内容包括机械工程系统链中的机械设计、毛坯制造、加工成形、钳工装配、质量检验和成本分析等主要环节。机械工程训练的根本目的和教学目标是:培养学生在机械工程领域的基本工程素质和能力,了解机械制造的基本工艺方法,树立“设计—制造—装配—检验—技术经济分析”的机械工程系统概念和工程意识,激发创新精神,锻炼创新思维和应用知识的能力。

机械工程训练的教学方法不同于理论教学和实验课教学。本教材总体上遵循“做学融合,知行统一”的教学理念,采取案例式、探究式学习方法,按照“知识准备—基本训练—拓展训练—感悟提高”的四步曲循序渐进地进行。训练过程要求学生要首先明确目标,目标激发兴趣;然后在兴趣驱动下,针对具体案例进行必要的基础知识学习和基本工程技能的训练;最后,在拓展训练和思考感悟中扩大视野,激发创新,形成素质和能力。

知识准备环节是针对参加机械工程训练的学生专业知识少、对机械工程的专业背景和工程应用了解不多的实际情况,在进行规定任务的案例式训练前,进行必要的知识准备。知识准备的内容主要是训练所需材料、工具、设备的基本知识,训练内容和目标所涉及的基本工艺知识和概念体系等。知识准备的方法主要是课前自学和现场讲解。

有了必要的知识准备后,学生首先在教师的引导下,以选定的训练项目或案例为对象,完成规定

的训练任务,这就是基本训练。在此过程中,准备阶段的相关知识得到应用和发展,并体验到了相关的基本工程能力与素质要求。

在完成基本训练后,还需要针对工程内涵更加丰富、难度更高、涉及的知识面更广的训练项目或案例进行拓展性的研究式训练,重点训练学生迎接挑战、大胆创新的优良潜质。最后,还要求学生结合思考题对整个训练过程进行回顾与总结、体验与感悟、评价与提高。

1.2 机械工程概论

从学科的角度看,机械工程是一门属于工学类的一级学科;从工程的角度看,机械工程是众多工程中的一种。要进行机械工程训练,需要首先理解什么是“机械”和“机械工程”。

“机械”一词是机构(mechanism)和机器(machine)的总称。机械有三个共同特征:一是人为的实物构件的组合;二是各部分之间具有确定的相对运动;三是能代替人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能。凡是具备上述三个特征的物体都是机械。

不同国家不同时期对“机械”一词的理解与解释有所不同,对机械的本质特征随着人类文明的发展而不断加以完善。基于现在的认识,我们不妨给机械下一个定义:机械是通过巧妙的设计实现各部分间确定的相对运动,能够代替人工完成有用的机械功或转换机械能的多个实物构件的集合体,它一般都包括发动机、传动机构和工作机三个基本部分。这个定义强调了现代“机械”的三大属性:设计性、系统性和高效性。

基于这些解释,可以引出机械工程的定义:机械工程是以机构和机器为基本对象的一门科学。各类和各种不同机械均属机械工程技术的范畴。

机械工程就是以有关的自然科学和技术科学为理论基础,结合在生产实践中积累的技术经验,研究和解决开发、设计、制造、安装、运用和修理等各种机械中的理论和实际问题的一门应用学科。现代机械工程有五大服务领域:研制和提供能量转换机械;研制和提供用以生产各种产品的机械;研制和提供从事各种服务的机械;研制和提供家庭和个人生活中应用的机械;研制和提供各种机械武器。

机械工程的基本对象“机械”,是现代社会进行生产和服务的五大要素(人、资金、能源、材料和机械)之一,并参与能量和材料的生产。完全可以说,机械是工业之母。

石器时代人类制造和使用的各种石斧、石锤和木质、皮质的简单工具是机械的先驱。17世纪以后,资本主义商品经济在英、法等国迅速发展,许多人致力于改进各产业所需要的工作机械和研制新的动力机械——蒸汽机。18世纪后期,蒸汽机的应用从采矿业推广到纺织、面粉和冶金等行业。制作机械的主要材料逐渐从木材改为金属。机械制造工业开始形成,并逐渐成为重要产业。机械工程从分散性的、主要依赖匠师个人才智和手艺的技艺发展成为有理论指导的、系统的和独立的工程技术。

蒸汽机的发明和发展,促进了矿业、工业生产、铁路及搬运机械的动力化,蒸汽机几乎成了19世纪唯一的动力源。但蒸汽机及其锅炉、凝汽器和冷却水系统等机器体积庞大、笨重,应用不便。19世纪末,电力供应系统和电动机开始发展和推广。20世纪初,电动机已在工业生产中取代了蒸汽机,成为驱动各种工作机械的基本动力。发电站初期应用蒸汽机为原动机,20世纪初,出现了高效率、高转速、大功率的汽轮机,也出现了适应各种水力资源的大小功率水轮机。19世纪后期发明的内燃机经过逐年改进,成为轻而小、效率高、易于操纵并可随时启动的原动机。内燃机最初用于驱动没有电力供应的陆上工作机械,以后又用于汽车、移动机械(如拖拉机、挖掘机械等)和轮船,20世纪中期开始用于铁路机车。内燃机和以后发明的燃气轮机和喷气发动机,还是飞机、航天器等成功发展的基础技术因素之一。

机械加工技术的发展保证了发展生产所需要的各种机械装备的供应。工业革命以前,机械大都是由木工手工制成的木结构,金属(主要是钢和铁)仅用以制造仪器、钟表、锁、泵和木结构机械上的小型零件。金属加工主要靠机匠的精工细作以达到需要的精度。随着蒸汽机的广泛使用以及随之出现的矿山、冶金、轮船和机车等大型机械的发展,需要成形加工和切削加工的金属零件越来越多,所用金属材料由铜、铁发展到以钢为主包括铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工、机床、刀具、量具等在内的机械加工技术及其设备得到了迅速发展,从而保证了发展生产所需要的各种机械装备的供应。同时,随着生产批量的增大和精密加工技术的发展,也促进了批量生产方法的形成,如零件互换性生产、专业分工和协作、流水加工线和流水装配线等不断增多。

机械工程的基础理论逐步完善。18 世纪以前,机械匠师全凭个人经验、直觉和手艺进行机械制作,与科学几乎无关。直到 18 世纪至 19 世纪才逐渐形成围绕机械工程的基础理论。动力机械最先与科学相结合,如蒸汽机的发明人 T. 萨弗里和瓦特应用物理学家 D. 帕潘和 J. 布莱克的理论,物理学家 S. 卡诺、W. J. M. 兰金和开尔文在蒸汽机实践的基础上建立起一门新的学科——热力学等。19 世纪初,研究机械中机构结构和运动等的机构学第一次被列为高等工程学院的课程。从 19 世纪后半叶起已开始在设计计算中考虑材料的疲劳。随后断裂力学、实验应力分析、有限元法、数理统计、电子计算机等相继被用在设计计算中。

19 世纪下半叶,机械工程成为一门独立学科。进入 20 世纪,随着机械工程技术的发展和知识总量的增长,机械工程开始分解,陆续出现了专业化的分支学科。分解趋势在 20 世纪中期达到最高峰。由于机械工程的知识总量已扩大到远非一个人所能全部掌握,所以一定的专业化是不可避免的。但是过度的专业化造成知识过分分割,视野狭窄,不能统观和统筹稍大规模工程的全貌和全局,并且会缩小技术交流的范围,阻碍新技术的出现和技术整体的进步,对外界条件变化(如新技术、新材料和新产品的出现,材料与半成品的供应及价格变化等)的适应能力很差。封闭性专业的专家们掌握的知识过狭、考虑问题过专,在协同工作时配合协调困难,也不利于继续自学提高。因此,从 20 世纪中后期开始,机械工程又出现了综合的趋势。人们更多地关注基础理论,拓宽专业领域,合并分化过细的专业。

机械工程与相关学科的交叉产生了机电一体化。机电一体化是机电一体化技术和机电一体化产品的统称,是在机电产品中引入微电子器件和技术之后形成的。机电一体化技术又称机械微电子技术,是机械工程、微电子技术、信息处理技术等多种技术融合成的一种系统技术。机电一体化产品是运用机电一体化技术设计、生产的一种带有软、硬件系统的多功能的单机或成套装置,通常由机械本体、微电子装置、传感器和执行机构等组成,它包括商品生产用的机器人、自动生产线和工厂等,商品流通用的数控包装机械及系统、微机控制交通运输机具和数控工程机械设备等,商品储存销售用的自动仓库、自动称量和销售及现金处理系统等,社会服务用的自动化办公机械和医疗及环保等自动化设施等,以及家庭、科研、农林牧渔、航空航天及国防等用的各种机电一体化产品。机电一体化技术涉及的学科有机械工程、电工与电子技术和共性技术。机电一体化使机械工业的技术结构、产品结构、功能和构成、生产方式和管理体系等发生巨大变化。

工程技术的发展在提高人类物质文明和生活水平的同时,也对自然环境造成了破坏。20 世纪中期以来,最突出的问题是资源,尤其是能源的大量消耗和对环境的污染。未来,机械新产品的研制将以降低资源耗费,发展纯净的再生能源,治理、减轻以至消除环境污染作为重要任务。

综合上述可见,机械工程的技术内涵极其丰富,构成了一个庞大的系统。从工程技术的角度看,机械工程系统包括设计、选材、制造、装配、测量、运用、维修、回收与再生等一系列基本环节。相应地,机械工程的工作内容包括研究、设计、生产新一代机械产品以及改进现有机械产品。机械产品的生产包括生产设施、生产计划、制造工艺、工装模具、劳动定额和材料定额、组织加工、装配、试车和包装发运、对产品质量进行有效的控制以及研究产生的环境污染和自然资源过度耗费方面的问题及其

处理措施。

正是由于机械工程系统完整、内涵丰富、外延广阔,有“工业之母”之美称,在高等教育的工程训练中,绝大多数都选择机械工程作为主要的训练载体对学生进行工程意识、工程素质和工程技能的培养。

机械工程是一个古老而年轻的学科。说它古老是因为它历史悠久,说它年轻是因为它在现代科学技术日新月异的今天,仍然处于一个生命力旺盛的成长期。这种持久旺盛的生命力主要来源于机械工程与众多学科十分紧密的联系,如图 1-1 所示。图中虚线框内的每一个领域都是机械工程的学科内涵,虚线框外是主要的相关学科和技术领域。正是这种学科间的交叉与联系赋予了机械工程强大的生命力,它使机械工程在人类文明和社会发展的历史长河中经久不衰,始终发挥着不可替代的重要作用。

从学科的角度看,目前的机械工程作为工学门类中的一级学科,包含机械制造及其自动化、机械设计及理论、机械电子工程以及车辆工程四个二级学科。机械工程的学科内容按工作性质分为以下六个方面:

(1)建立和发展可实际和直接应用于机械工程的工程理论基础,如工程力学、流体力学、工程材料学、材料力学、燃烧学、传热学、热力学、摩擦学、机构学、机械原理、机械零件、金属工艺学和非金属工艺学等。

(2)研究、设计和发展新机械产品,改进现有机械产品和生产新一代机械产品,以适应当前和未来的需要。

(3)机械产品的生产,如生产设施的规划和实现、生产计划的制订和生产调度、编制和贯彻制造工艺、设计和制造工艺装备、确定劳动定额和材料定额以及加工、装配、包装和检验等。

(4)机械制造企业的经营和管理,如确定生产方式、产品销售以及生产运行管理等。

(5)机械产品的应用,如选择、订购、验收、安装、调整、操作、维修和改造各产业所使用的机械产品和成套机械设备。

(6)研究机械产品在制造和使用过程中所产生的环境污染和自然资源过度耗费问题及处理措施。

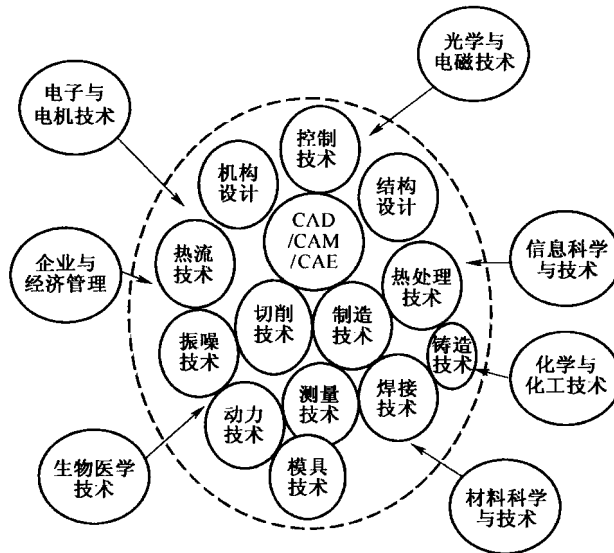


图 1-1 机械工程的内涵及与相关学科的联系

从图 1-1 可见,机械工程的密切相关学科主要是材料科学与技术、电子与电机技术、光学与电磁技术、信息科学与技术、化学与化工技术、企业与经济管理等。其中材料科学与技术为机械选材与毛坯制造提供技术保障,电子与电机技术为提升机械系统的动力机械水平提供有力的支撑,光学与电磁技术和信息科学与技术为机械的检测与控制功能的实现提供技术保证,化学与化工技术和生物医学技术经常可以为机械制造技术提供新思路,企业与经济管理为机械工程的实现和组织运行提供科学依据。机械工程学科的许多新兴方向都是学科交叉的产物。

1.3 机械工程材料概论

由图 1-1 可见,材料科学与技术是机械工程一个重要的相关技术。可以说,离开了材料技术,也就不可能有机械工程。作为一个机械工程领域的技术人员,必须对机械工程材料有基本的了解。在工程训练中,也必须牢固树立材料观,才能正确运用材料。

材料是人类用以制作有用物件的物质。在各种工程领域应用的材料统称为工程材料,用于机械工程领域的材料称为机械工程材料。正确选用材料是机械工程领域的工程技术人员必备的能力之一,了解机械工程材料的特性和用途是正确选材的基础,这里对常见的机械工程材料进行概括的介绍。

1.3.1 机械工程材料的发展与分类

人类先后经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代,发展到现在的钢铁时代和新材料时代。新材料时代包括高分子时代、半导体时代、先进陶瓷时代、复合材料时代。现代机械工程材料根据其化学成分特点可以分为金属材料、无机非金属材料(陶瓷)、有机高分子材料、复合材料四大类。

金属材料是指其化学组成为金属元素的一大类工程材料,如各种形状尺寸的钢、铁、铝、铜等。由于金属材料主要通过金属键结合而成,有比高分子材料高得多的模量,有比陶瓷高得多的韧性、可加工性、磁性和导电性,所以,金属材料是最主要的机械工程材料。

陶瓷是泛指一切经高温处理而获得的无机非金属材料。除先进(特种)陶瓷外,还包括玻璃、搪瓷、水泥和耐火材料等。从狭义上讲,用无机非金属化合物粉体,经高温烧结而成,以多晶聚集体为主的固态物均称为陶瓷,即先进陶瓷。先进陶瓷的化学键是由共价键与离子键组成,具有优良的耐高温、耐磨、耐腐蚀的特点。

有机高分子材料是具有很高分子量的化合物,一个分子往往含有几十万、几千万甚至更多的原子,这些分子是形状细长的链,链相互纠缠,分子间吸引力非常强,因此使高分子材料具有一定的强度和弹性。高分子材料受热时,长链不易传热,熔化前有一个软化过程,因而具有良好的可塑性,同时它还具有良好的电绝缘性。这些特殊性能使高分子材料成为现代的新型优质材料。有机高分子材料主要包括塑料、橡胶、纤维、液晶材料等。

复合材料是指由两种或两种以上不同材料混合而成的一类新材料。在新制成的材料中,原来各材料的特性得到了充分的应用,而且复合后可望获得单一材料得不到的新功能材料。根据复合材料中主要组元的类别分为金属基、陶瓷基和高分子基复合材料;根据增强组元的尺寸和形貌特点又分为颗粒增强复合材料、纤维增强复合材料和层状复合材料。

机械工程材料类别的不断丰富和发展为机械工程领域的选材提供了足够的空间。正确合理地选材的主要依据是材料的性能。所以在这里有必要简要介绍机械工程材料的性能及其主要指标和评价方法。

1.3.2 机械工程材料的性能及其评价指标

材料的性能是多方面的,仅工程材料而言,其主要的性能就包括强度、硬度、刚度、塑性、弹性和

韧性等众多方面。不同的性能用不同的实验方法评价,并用专门的指标进行定量表征。

1. 材料的强度——材料抵抗破坏的能力,即所能承受的极限应力

材料的强度表示材料抵抗变形和断裂的能力,可以用其单位面积所能承受的极限载荷来定量表征。由于载荷类型和破坏形式不同,其评价指标有抗拉强度、抗剪强度、屈服强度、断裂强度、疲劳强度等多种。值得注意的是,材料的强度单位是应力单位,一般用 MPa,不是力的单位。

材料服役过程典型的载荷形式有拉伸、压缩、扭转、弯曲等。相应地就有抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度等一系列强度指标。给定材料的这些强度指标都需要在专门的实验设备和实验条件下测量得到。不同的强度指标之间还有一定的联系,有的还可以进行数量换算。其中最常用的是抗拉强度。抗拉强度表示材料在拉伸载荷作用下被拉断前所承受的最大应力值,也就是材料抵抗外力而不致断裂的极限应力值,一般用 $\sigma_b = p_b/A_0$ 表示,式中, p_b 为极限载荷, A_0 为试样的初始横截面积。相应地抗压强度、抗弯强度就是指材料在压缩或弯曲载荷作用下断裂前所承受的最大应力值。

如果一个零件虽然没有断裂,但发生了明显的不可恢复的变形(称为塑性变形),这个零件也已经不再能发挥预期的功能。所以,材料开始明显塑性变形的抗力是工程上关注的一个重要指标,称为材料的屈服强度,用 σ_s 表示, $\sigma_s = p_s/A_0$, 式中, p_s 为发生屈服的最小载荷。材料的屈服强度是设计和选材的主要依据之一,零件的许用应力必须小于所用材料的屈服强度。对于没有明显屈服现象的材料,国家标准规定,以产生一定的微量塑性变形的极限应力值来表示,这一强度称为条件屈服强度,用 $\sigma_{0.02}$ 表示。脆性材料看不到明显的塑性变形,所以有 $\sigma_b = \sigma_s$ 。

如果材料承受载荷的大小和方向随时间作周期性变化,它往往在远小于强度极限甚至小于屈服极限的应力下就发生断裂,这种现象称为疲劳。材料经无数次应力循环而不发生疲劳断裂的最高应力值,称为疲劳极限,用 σ_{-1} 表示。材料经受 10^7 次应力循环而不致断裂的最大应力值为条件疲劳极限。陶瓷和高分子材料的疲劳抗力很低,金属材料疲劳强度较高,纤维增强复合材料也有较好的抗疲劳性能。

2. 材料的塑性——材料发生永久变形而不破坏的能力

材料发生塑性变形的能力称为塑性,一般用拉伸实验中的延伸率和断面收缩率表示。延伸率定义为拉断后的试样长度和试样原始长度之差与试样原始长度比值的百分数,一般用 δ 表示;而断面收缩率定义为拉断后的试样断口截面积和试样原始横截面积之差与试样原始横截面积比值的百分数,一般用 ψ 表示。 δ 和 ψ 越大,塑性越好; $\delta < 5\%$ 的材料一般都视为脆性材料。

材料的塑性是判断材料能否进行塑性加工的依据,同时塑性也是材料服役可靠性的一个方面。塑性高的材料在断裂前有较大的变形,这种变形容易被发现,可以及时采取措施预防灾难性事故出现。但是,也必须注意到,对于形状尺寸要求严格的零件,服役过程的塑性变形将成为其失效形式之一。所以,选材时,对材料塑性的要求要合理,并不都是塑性越高越好。

3. 材料的刚度和弹性

材料受力时,一般都会发生一定的变形。如果这种变形在载荷消除后又会消失,则这种变形称为弹性变形。如果这种变形在载荷消除后不能消失,而永久地保留下来,则这种变形称为塑性变形。

材料抵抗弹性变形的能力称为刚度,用弹性模量来表示,即发生单位变形所需的应力。通常用弹性模量表征材料的刚度,其数学表达式为 $E = \sigma/\epsilon$, 单位为应力单位,如 GPa、MPa。材料不产生塑性变形的情况下,所能承受的最大应力称为比例极限,用 $\sigma_p = p_p/A_0$ 表示。比例极限也叫做弹性极限,用 $\sigma_e = p_e/A_0$, 它是材料不产生永久变形的最大应力。式中, p_p 、 p_e 分别为不产生塑性变形的最大载荷和发生弹性变形的最大载荷。两者数值上基本相同。

材料的抗拉强度、屈服强度、塑性、弹性和刚度数据均可以利用材料试验机在拉伸实验中得到。拉伸实验方法和所用试样的要求在国标中有明确规定。

4. 材料的硬度

材料抵抗外物压入的能力称为硬度,它是一个综合性能指标。可以用布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等表示。其中布氏硬度适用于未经淬火的钢、铸铁、有色金属或质地轻软的轴承合金,用 HB 表示。洛氏硬度常用标尺有 B、C、A 三种,分别用 HRB、HRC 和 HRA 表示。HRB 用于轻金属或未淬火钢;HRC 用于较硬的材料,如淬硬钢制品;HRA 用于硬而薄的试件。维氏硬度主要用于科学试验,用 HV 表示。它的压力一般可选 5kg、10kg、20kg、30kg、50kg、100kg、120kg 等,小于 10kg 的压力可以测定显微组织硬度。

材料的硬度需要用专门的仪器来测定,用来测定材料硬度的设备称为硬度计。

5. 材料的韧性

材料的韧性反映材料断裂过程消耗能量的高低,也就是从能量角度评价材料抵抗破坏的能力。常用材料断裂前吸收变形能量的能力——韧度来评价材料的韧性。韧度大小表述材料韧性的好坏。在冲击载荷作用下材料抵抗变形和断裂的能力称为冲击韧度,用 α_k 值表示,其大小等于冲击破坏所消耗的功 W_k 与标准试样断口截面积 A 的比值,单位是 J/cm^2 。 α_k 值低的材料称为脆性材料,这种材料断裂时无明显变形,有金属光泽,呈结晶状。 α_k 值高的材料称为韧性材料,韧性材料断裂前有明显塑变,断口呈灰色纤维状,无金属光泽。

材料的韧性需要用专门的试验机进行测定。测定材料冲击韧性的试验机称为冲击试验机。国家标准对冲击韧性实验方法和试样要求有明确规定。

上述性能都与材料的受力有关,故此统称为力学性能。除此之外,机械工程材料也还有物理方面的一些性能,如热学性能、电学性能、磁学性能等。相应的性能指标有密度、电导率、磁导率、热导率等。这些性能指标在功能材料中是非常重要的,在一般机械零件中不受关注,故此这里不做介绍。

1.3.3 材料的成分、组织及性能之间的关系

材料的性能是由化学成分、内部结构和微观组织决定的。它们之间的联系可以用如图 1-2 所示的四面体来表示。此图告诉我们,在工艺条件不变的前提下,材料的成分决定了其内部组织结构,进而决定了性能。对于相同化学成分的材料而言,加工工艺不同,其内部结构和组织就不同,进而性能也不同。

内部结构是指从微观上看,构成材料的原子之间的联系方式。金属材料的内部结构一般都是晶体结构。常见的晶体结构包括体心立方、面心立方和密排六方三种,如图 1-3 所示。内部组织是指材料内部的显微组成,如相和晶粒的尺寸、形态和分布。一般来说,内部组织越细密,力学性能就越好。

材料的内部结构和显微组织是在结晶过程中形成,并在随后的加工过程中是可以变化的。结晶是指由一种原子排列状态(晶态或非晶态)过渡为另一种原子规则排列状态(晶态)的转变过程,也就

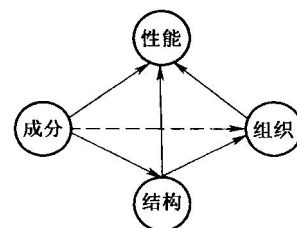
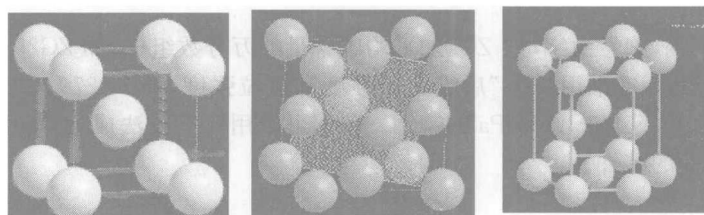


图 1-2 材料成分组织与性能的关系



(a) 体心立方晶结构 (b) 面心立方晶体结构 (c) 密排六方晶体结构

图 1-3 常见的三种晶体结构

是常说的凝固。为了获得高性能,必须对凝固或结晶过程进行有效的控制。

实际晶体材料中,某些原子偏离排列规则,出现不完整区域,这就是晶体缺陷。晶体缺陷包括三维方向尺寸都很小的点缺陷(如空位、间隙原子);三维空间的某一方向尺寸很大,而的其他两个尺寸小的线缺陷(如位错);以及两个方向尺寸很大,而第三方向的尺寸很小的面缺陷(如晶界、表面)。

材料中的相是指化学成分相同、晶体结构相同但与其他部分有明显分界的均匀组成部分。合金中有两类基本的相结构——固溶体和金属间化合物。组元通过溶解形成一种成分和性能均匀、且结构与组元相同的固相称为固溶体,表示为 A(B)。A 表示溶剂,B 表示溶质。如钢铁材料中的铁素体、奥氏体都是碳在铁中的固溶体。

金属间化合物是合金的组元相互作用形成的具有金属特性、而晶格类型和特性又完全不同于任一组元的化合物,也称中间相,如钢铁材料中的渗碳体。这种相的特点是熔点和硬度高、脆性大。

此外,合金中还有机械混合物,是固溶体与化合物的机械混合,它不是一种单一相。如钢铁材料中的珠光体,它是固溶体铁素体和化合物渗碳体的机械混合物。

描述平衡条件下相和相变与温度、成分、压力之间的关系图称为相图——平衡图。相图从平衡的角度反映了成分与相组成的关系,根据相图可以分析不同成分的合金在不同温度下的相组成。

1.3.4 常用机械工程材料的成分、特性及应用范围

1. 碳钢

钢的化学组成是以铁为基体,碳为主要合金元素,还含有其他杂质或合金元素。不同的合金元素在钢中作用不同。如 Mn 在碳钢中有脱氧、强化和提高加工性能的三大益处;Si 的有益作用是脱氧、降低脆性和固溶强化。所以,Mn 和 Si 这两个元素一般不认为是杂质,而是合金元素。但碳钢中的 S 导致热脆,P 导致冷脆,O 使强度、塑性降低,N 导致蓝脆,H 易带来氢脆、白点,这些都是有害元素,也就是杂质,所以希望它们的含量越低越好。

钢的分类方法很多,常见的是根据化学成分、杂质含量以及用途分类。根据碳含量的高低将碳钢分为低碳钢($C \leq 0.25\%$)、中碳钢($0.25\% < C \leq 0.6\%$)和高碳钢($C > 0.6\%$)三大类;根据其中杂质含量的高低又分为普碳钢、优质碳素钢、高级优质碳素钢;按用途分为碳素结构钢、碳素工具钢和铸钢。

普通碳素结构钢的牌号用其最低的屈服极限表示,如 Q235 是指屈服强度最低 235MPa 的普通碳素结构钢;优质碳素结构钢用平均碳含量的万分数的数字表示,如 08F、20A、45、15Mn。其中字母“F”表沸腾钢。后有“A”表示高级优质钢,后面有 Mn 表示含 Mn 量高。

碳素工具钢的含 C 量一般在 $(0.65 \sim 1.35)\%$ 范围,用以制作刀具、量具、模具。其钢号用平均碳含量的千分数的数字和字母“T”一起表示,如 T10A 表示 $1.0\%C$ 的高级优质碳素工具钢。不同牌号的碳素工具钢性能和用途不同,如 T7、T8 的强度、韧性较高,可制作冲头、凿子、榔头;T9、T10、T11 的强度、韧性适中,可制作钻头、刨刀、丝锥、手锯及冷作模具;T12、T13 的硬度很高、韧性低,可制作锉刀、刮刀、量规。

铸钢是指铸造碳钢,牌号由字母“ZG”加平均碳含量的万分数组成,如 ZG25 表示平均含碳量为 $0.25\%C$ 的铸钢。新的标准采用“ZG”后缀屈服强度和抗拉强度,如 ZG270-450 表示屈服极限不小于 270MPa、抗拉强度不小于 450MPa 的铸钢。铸钢可以用铸造方法成型,适用于形状复杂,需要一定强度、塑性和韧性的零件。

2. 合金钢

合金钢是指合金元素含量总和超过 1% 的钢。合金结构钢的牌号中,碳含量用万分数(两位),合金含量用百分数表示。合金含量小于 1.5% 不标数字。如 40Cr 表示 C 含量为 0.4% ,主要合金元素 Cr 含量小于 1.5% 的合金钢;20Cr3MoWVA 表示 C 含量为 0.2% ,Cr 含量为 3% ,Mo、W、V 含

量小于 1.5% 的高级优质合金钢。

合金钢根据用途分为合金工具钢、模具钢、量具钢、不锈钢等。

(1) 合金工具钢。合金工具钢是一类具有特殊性能的钢。碳含量大于 1.0% 时不标注。用来制造各种切削刀具的合金工具钢称为刀具钢。刀具钢性能要求是：高硬度 ($\geq 60\text{HRC}$)，主要取决于碳含量；高耐磨性，靠高硬度和析出细小均匀硬碳化物来达到。碳素工具钢因热硬性、淬透性差，只用于制造小尺寸的手工工具和低速刀具。低合金工具钢是在碳素工具钢基础上加入少量合金元素 ($\leq (3\sim 5)\%$) 形成。刀具钢的成分特点是高碳，碳含量一般在 $(0.75\sim 1.5)\%$ 范围，并含有含量低于 1% 的 Cr、Mn、Si、W、V 等合金元素。应用最多的刀具钢是 9SiCr，用于制造形状复杂、要求变形小的低速刀具，如丝锥、板牙等。高速钢也是一种刀具钢，用来制造高速切削刀具用钢，俗称锋钢。其性能特点是高热硬性 (达 600°C)、高淬透性、脆性大且无法通过热处理改善。其成分特点是：高碳，含 C 量 $(0.70\sim 1.5)\%$ ；高合金元素含量，主要合金元素是 Cr、W、Mo、V。常用的高速钢钢号为 W18Cr4V (18-4-1) 和 W6Mo5Cr4V2 (6-5-4-2)。用于高速切削刀具，如车刀、刨刀、铣刀、钻头。

(2) 模具钢。模具钢是用以制造模具的钢种。制造金属冷成型模具的钢种称为冷作模具钢。模具钢的性能要求是：高硬度和耐磨性；足够的强度和韧性。常用的碳素工具钢和低合金工具钢主要用于小尺寸、形状简单、受力不大的模具。Cr12 型冷作模具钢的成分特点是高碳 [含 C 量为 $(1.4\sim 2.3)\%$]、高铬 [含 Cr 量为 $(11.5\sim 13)\%$]，主要合金元素是 Cr、Mo、V。用来制造使加热金属或液态金属成型用模具的钢种称为热作模具钢，如热锻模钢 5CrNiMo、5CrMnMo，前者用于大型热锻模，后者用于中小型热锻模。压铸模钢常用 3Cr2W8V。模具钢一般均为过共析钢。

(3) 量具钢和不锈钢。量具钢是制造各种量具用钢，如千分尺、卡尺、块规、塞规等。量具钢的性能要求是高硬度和耐磨性、高的尺寸稳定性、足够的韧性。低碳钢渗碳、中碳钢表面淬火，碳素工具钢、低合金工具钢可以用于尺寸小、形状简单、精度要求不高的量具。滚动轴承钢、冷作模具钢用于制造精密量具。

不锈钢具有抵抗腐蚀的特性，用于制造接触腐蚀介质的量具、器皿和零件。

3. 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11% 并含有较多 Si、Mn、S、P 等元素的多元铁基合金。铸铁具有许多优良的性能及生产简便、成本低廉等优点，因而是应用最广泛的材料之一。例如，机床床身、内燃机的汽缸体、缸套、活塞环及轴瓦、曲轴等都是由铸铁制造的。工业上使用的铸铁主要是灰铸铁，其中的碳以石墨形式存在。铸铁力学性能低、耐磨性能好、消振性能好、切削性能好。此外，铸铁的铸造性能好，可以成形各种复杂薄壁零件毛坯。

根据石墨的形态不同，铸铁分为普通灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。

普通灰铸铁中的石墨是片状的，是最常用、成本最低的铸铁。

可锻铸铁的石墨呈团絮状，是由白口铸铁经石墨化退火后获得的。其强度为碳钢的 $(40\sim 70)\%$ ，接近于铸钢，用于制造形状复杂且承受振动载荷的薄壁小型件，如汽车、拖拉机的前后壳壳，管接头，低压阀门等。

球墨铸铁是石墨呈球形的灰口铸铁，它由液态铁水经球化处理得到。球铁的强度是碳钢的 $(70\sim 90)\%$ 。其突出特点是屈强比 ($\sigma_{0.2}/\sigma_b$) 高，为 $0.7\sim 0.8$ ，而钢一般只 $0.3\sim 0.5$ 。球墨铸铁可进行各种热处理，常用来制造承受震动、载荷大的零件，如曲轴、传动齿轮等。

蠕墨铸铁中的石墨是蠕虫状的。蠕墨铸铁的强度、塑性和抗疲劳性能优于灰铸铁，其力学性能介于灰铸铁与球墨铸铁之间，常用于制造承受热循环载荷的零件和结构复杂、强度要求高的铸件，如钢锭模、玻璃模具、柴油机汽缸、汽缸盖、排气阀、液压阀的阀体、耐压泵的泵体等。

4. 铝及铝合金

有色金属的产量和用量不如黑色金属多,但由于其具有许多优良的特性,如特殊的电、磁、热性能,耐蚀性能及高的比强度(强度与密度之比)等,已成为现代工业中不可缺少的金属材料。

铝及铝合金是最常用的有色金属。纯铝具有银白色金属光泽,密度小,熔点低(只有 660.4℃),导电、导热性能优良。抗大气腐蚀性能好,易于加工成形。铝合金既具有高强度又保持纯铝的优良特性。铝合金常加入的元素主要有 Cu、Mn、Si、Mg、Zn 等,此外还有 Cr、Ni、Ti、Zr 等辅加元素。铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。根据国家标准 GB/T 16474—96 规定,变形铝及铝合金可直接引用国际四位数字体系牌号或采用国标规定的四位字符牌号,如 6061、7075 等。GB 3190—82 中的旧牌号仍可继续使用。常用变形铝合金有防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金四类:

(1)防锈铝合金:牌号是 LF+序号,主要是 Al-Mn 和 Al-Mg 系合金。Mn 和 Mg 的主要作用是提高抗蚀能力和塑性,并起固溶强化作用。防锈铝合金锻造退火后组织为单相固溶体,抗蚀性、焊接性能好,易于变形加工,但切削性能差,不能进行热处理强化,常利用加工硬化提高其强度。常用的 Al-Mn 系合金是 LF21(3A21),其抗蚀性和强度高于纯铝,用于制造油罐、油箱、管道、铆钉等需要弯曲、冲压加工的零件。常用的 Al-Mg 系合金是 LF5(5A05)。

(2)硬铝合金:牌号是 LY+序号,主要是 Al-Cu-Mg 系合金,并含少量 Mn。可进行时效强化,也可进行变形强化。强度、硬度高,加工性能好,耐蚀性低于防锈铝。

(3)超硬铝合金:牌号是 LC+序号,属 Al-Zn-Mg-Cu 系合金,并含有少量 Cr 和 Mn。时效强化效果超过硬铝合金。热态塑性好,但耐蚀性差。

(4)锻铝合金:牌号是 LD+序号。其中 Al-Cu-Mg-Si 系锻铝合金可锻性好,力学性能高,用于形状复杂的锻件和模锻件,如喷气发动机压气机叶轮、导风轮等。Al-Cu-Mg-Fe-Ni 系耐热锻铝合金,常用牌号有 LD7(2A70)、LD8(2A80)、LD9(2A90)等。它用于制造(150~225)℃下工作的零件,如压气机叶片、超声速飞机蒙皮等。

铸造铝合金包括四类:Al-Si 系,代号为 ZL1+两位数字顺序号;Al-Cu 系,代号为 ZL2+两位数字顺序号;Al-Mg 系,代号为 ZL3+两位数字顺序号;Al-Zn 系,代号为 ZL4+两位数字顺序号。

Al-Si 系铸造铝合金又称硅铝明。其中 ZL102(ZAlSi12)是含 12%Si 的铝硅二元合金,称为简单硅铝明。在普通铸造条件下,ZL102 的内部组织几乎全部为共晶体,由粗针状的硅晶体和 α 固溶体组成,强度和塑性都较差。生产上通常用钠盐变质剂进行变质处理,得到细小均匀的共晶体加一次 α 固溶体组织,以提高性能。加入其他合金元素的铝硅铸造合金称复杂(或特殊)硅铝明。Al-Si 系铸造铝合金的铸造性能好,具有优良的耐蚀性、耐热性和焊接性能。它用于制造飞机、仪表、电动机壳体、汽缸体、风机叶片、发动机活塞等。

Al-Cu 系铸造铝合金耐热性好,强度较高;但密度大,铸造性能、耐蚀性能差,强度低于 Al-Si 系合金。常用代号有 ZL201(ZAlCu5Mn)、ZL203(ZAlCu4)等。

Al-Mg 系铸造铝合金的耐蚀性好,强度高,密度小;但铸造性能差,耐热性低。常用牌号有 ZL301(ZAlMg10)、ZL303(ZAlMg5Si1)等。

Al-Zn 系铸造铝合金的铸造性能好,强度较高,可自然时效强化;但密度大,耐蚀性较差。常用牌号有 ZL401 等。

5. 铜及铜合金

纯铜呈紫红色,故又称紫铜,具有面心立方晶格,无同素异构转变,无磁性。纯铜具有优良的导电性和导热性,在大气、淡水和冷凝水中有良好的耐蚀性,塑性好。铜合金常加合金元素为 Zn、Sn、Al、Mn、Ni、Fe、Be、Ti、Zr、Cr 等。加入合金元素后,既提高了强度,又保持了纯铜特性。铜合金分为黄铜、青铜、白铜三大类。

黄铜是以 Zn 为主要合金元素的铜合金。黄铜按化学成分可分为普通黄铜和特殊黄铜;按工艺可分为加工黄铜和铸造黄铜。Cu-Zn 的二元合金称为普通黄铜。加工普通黄铜的牌号规则是: H (黄)+ 表示铜平均百分含量的数字,如 H68。单相黄铜塑性好,常用牌号有 H80、H70、H68,适于制造冷变形零件,如弹壳、冷凝器管等。两相黄铜热塑性好,强度高,常用牌号有 H59、H62,适于制造受力件,如垫圈、弹簧、导管、散热器等。

在普通黄铜的基础上加入 Al、Fe、Si、Mn、Pb、Sn、Ni 等元素形成特殊黄铜。加工特殊黄铜的牌号的编号规则是: H+ 主加元素符号+铜平均百分含量+主加元素平均百分含量,如 HPb59-1。特殊黄铜强度、耐蚀性比普通黄铜好,铸造性能得到改善。常用牌号有 HPb63-3、HAl60-1-1、HSn62-1、HFe95-1-1、ZCuZn38Mn2Pb2、ZCuZn16Si4 等,主要用于船舶及化工零件,如冷凝管、齿轮、螺旋桨、轴承、衬套及阀体等。

白铜是以 Ni 为主要合金元素的铜合金,分普通白铜和特殊白铜。普通白铜是 Cu-Ni 二元合金,具有较高的耐蚀性和抗腐蚀疲劳性能及优良的冷热加工性能。普通白铜牌号: B+ 镍的平均百分含量,如 B5。常用牌号有 B5、B19 等。它用于在蒸汽和海水环境下工作的精密机械、仪表零件及冷凝器、蒸馏器、热交换器等。特殊白铜是在普通白铜基础上添加 Zn、Mn、Al 等元素形成的,分别称锌白铜、锰白铜、铝白铜等。其耐蚀性、强度和塑性高,成本低。常用牌号有 BMn40-1.5 (康铜)、BMn43-0.5 (考铜)。它用于制造精密机械、仪表零件及医疗器械等。

青铜是除黄铜和白铜外的其他铜合金的统称。加工青铜的牌号为: Q+ 主加元素符号及其平均百分含量+其他元素平均百分含量,如 QSn4-3 (含 Sn4%、Zn3%)。常用青铜有锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等。锡青铜是以 Sn 为主加元素的铜合金,Sn 含量一般为(3~14)%。锡青铜铸造流动性差、铸件密度低、易渗漏,但体积收缩率在有色金属中最小。锡青铜具有良好的耐蚀性,在大气、海水及无机盐溶液中的耐蚀性比纯铜和黄铜好;但在硫酸、盐酸和氨水中的耐蚀性较差。常用加工锡青铜的牌号有 QSn4-3、QSn6.5-0.4、ZCuSn10Pb1 等。它主要用于耐蚀承载件,如弹簧、轴承、齿轮轴、蜗轮、垫圈等。铝青铜是以 Al 为主加合金元素的铜合金,Al 含量为(5~11)%。强度、硬度、耐磨性、耐热性及耐蚀性高于黄铜和锡青铜,铸造性能好,但焊接性能差。常用牌号有 QAl5、QAl7、ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 等。它主要用于制造船舶、飞机及仪器中的高强度、耐磨、耐蚀件,如齿轮、轴承、蜗轮、轴套、螺旋桨等。铍青铜是以 Be 为主加合金元素的铜合金,Be 含量为(1.7~2.5)%。它具有高的强度、弹性极限、耐磨性、耐蚀性,良好的导电性、导热性、冷热加工及铸造性能,但价格较贵。常用牌号有 QBe2、QBe1.7、QBe1.9 等。它用于重要的弹性件、耐磨件,如精密弹簧、膜片,高速、高压轴承及防爆工具、航海罗盘等重要零件。

6. 轴承合金

制造滑动轴承的轴瓦及其内衬的耐磨合金称为轴承合金。滑动轴承是许多机器设备中对旋转轴起支撑作用的重要部件,由轴承体和轴瓦两部分组成。与滚动轴承相比,滑动轴承具有承载面积大、工作平稳、无噪声及拆装方便等优点。

当轴高速旋转时,轴瓦与轴颈发生强烈摩擦,承受轴颈施加的交变载荷和冲击力。对轴承合金的性能要求是:足够的强韧性,以承受轴颈施加的交变冲击载荷;较小的热膨胀系数,良好的导热性和耐蚀性,以防止轴与轴瓦之间咬合;较小的摩擦系数,良好的耐磨性和磨合性,以减少轴颈磨损,保证轴与轴瓦良好的跑合。为满足上述性能要求,轴承合金的组织应是软的基体上分布着硬的质点或硬的基体上分布着软的质点。当轴旋转时,软的基体(或质点)被磨损而凹陷,减少了轴颈与轴瓦的接触面积,有利于储存润滑油和轴与轴瓦间的磨合,而硬的质点(基体)则支撑着轴颈,起承载和耐磨作用。软基体(或质点)还能起嵌藏外来硬杂质颗粒的作用,以避免擦伤轴颈。

锡基轴承合金是以 Sn 为主并加入少量 Sb、Cu 等元素组成的合金,熔点较低,是软基体硬质点组织类型的轴承合金,典型牌号有 ZSnSb11Cu6。锡基轴承合金具有较高的耐磨性、导热性、耐蚀性