



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

金属塑性加工概论

王庆娟 刘世锋 刘莹莹 郝九生 编



冶金工业出版社

www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

金属塑性加工概论

王庆娟 刘世锋 刘莹莹 郝九生 编



冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书共分7章,系统阐述了金属塑性加工所涉及的基本原理和工艺,主要包括:金属材料成型概述、金属塑性加工原理、轧制成型原理、轧制成型工艺、挤压与拉拔成型、锻造与冲压成型和有色金属塑性加工。全书本着深入浅出,理论与工艺并重的原则,在内容上力求系统性、先进性和实用性。每章后附有习题,便于学生练习和巩固所学知识。

本书可供冶金工程、金属材料工程、管理、机械制造、热能等专业师生阅读,也可供材料加工工程专业及有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属塑性加工概论/王庆娟等编. —北京:冶金工业出版社,
2015.12

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7099-9

I. ①金… II. ①王… III. ①金属压力加工—高等学校—
教材 IV. ①TG301

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第289275号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7099-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015年12月第1版,2015年12月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;14.25印张;341千字;217页

32.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

金属材料是目前用量最大、使用最广的材料，其中 90% 以上的金属材料都要经过塑性成型加工过程，因此金属塑性加工在冶金工业中占有重要地位。本书是为适应专业改革及培养 21 世纪复合型人才的需要，根据专业设置和大纲要求而编写的，旨在通过本书的学习，使学生建立金属塑性加工的整体知识结构，较系统地掌握材料加工的基本理论和工艺技术。

本书将塑性加工原理与工艺融为一体，其内容以塑性加工技术为主，在简要介绍金属材料分类和塑性加工方法的基础上，着重阐述金属材料轧制、挤压、拉拔、锻造、冲压技术的基本原理和生产工艺。本书为高等学校非金属塑性加工专业学生学习塑性加工原理与技术的教学用书，可满足与材料加工相关的工科及管理专业选修课和通识课需要。本书适于冶金工程、金属材料工程、管理、机械制造、热能等专业师生阅读，也可供材料加工专业及有关科技人员参考。

本书第 1 章和第 2 章由西安建筑科技大学王庆娟编写，第 3 章由陕西钢铁集团有限公司郝九生编写，第 4 章由西安建筑科技大学刘世锋编写，第 5~7 章由西安建筑科技大学刘莹莹编写。全书由王庆娟负责统稿和审定。在编写过程中，得到西安建筑科技大学冶金工程学院全体同仁的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！编写时参考了许多文献资料，在此向文献资料作者表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验所限，加之编写时间仓促，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 8 月

目 录

1 金属材料成型概述	1
1.1 材料概述	1
1.2 金属材料	2
1.2.1 钢铁材料	2
1.2.2 有色金属材料	5
1.2.3 新型金属材料	8
1.3 金属材料的性能	11
1.3.1 力学性能	11
1.3.2 工艺性能	14
1.4 金属材料成型方法	14
1.4.1 金属材料成型的地位和作用	14
1.4.2 金属加工方法的分类	15
1.4.3 金属的塑性成型及其特点	16
1.4.4 金属塑性成型的分类	16
习题	19
2 金属塑性加工原理	20
2.1 金属塑性加工的物理本质	20
2.1.1 单晶体的塑性变形	21
2.1.2 多晶体的塑性变形	23
2.2 金属塑性加工的组织性能变化	26
2.2.1 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	26
2.2.2 冷变形金属在加热时的组织与性能变化	28
2.2.3 金属热态下的塑性变形	29
2.2.4 金属塑性的影响因素	32
2.3 金属塑性加工力学基础	35
2.3.1 点的应力分析	35
2.3.2 应力状态和主应力图示	37
2.3.3 主变形和主变形图示	39
2.3.4 金属塑性变形的不均匀性	42
2.4 金属在加工变形中的断裂	45
2.4.1 金属锻压时的断裂	45

2.4.2 轧板时的边裂和薄件的中部开裂	47
2.4.3 挤压和拉拔时产生的主要断裂	48
2.4.4 影响断裂类型的因素	49
习题	50
3 轧制成型原理	51
3.1 轧钢生产系统	51
3.2 轧钢生产工艺	51
3.3 轧制钢材的品种及用途	54
3.3.1 型钢	54
3.3.2 板带钢	56
3.3.3 管材	56
3.4 轧制设备	57
3.4.1 轧钢机的基本组成	57
3.4.2 轧钢机的分类	60
3.5 轧制理论基础	62
3.5.1 纵轧变形区及变形表示方法	63
3.5.2 轧制过程建立条件	65
3.5.3 轧制金属变形规律	69
3.5.4 轧制压力工程计算	72
3.5.5 轧制力矩的确定	78
3.5.6 斜轧原理	81
习题	84
4 轧制成型工艺	86
4.1 板带材轧制	86
4.1.1 概述	86
4.1.2 板带轧制技术的发展	87
4.1.3 热轧中厚板生产	90
4.1.4 热连轧薄板带钢生产	97
4.1.5 冷轧板带材生产	105
4.1.6 板带高精度轧制及自动控制	112
4.2 型材轧制	120
4.2.1 型材分类及特征	120
4.2.2 型材轧机	122
4.2.3 型材生产工艺	123
4.2.4 型钢生产发展趋势及新技术	128
4.3 管材轧制	129
4.3.1 钢管技术要求	131

4.3.2 管材主要生产方法	131
4.3.3 管材生产基本工艺流程	145
习题	148
5 挤压与拉拔成型	149
5.1 挤压的基本概念和适用范围	149
5.2 挤压成型的基本方法	149
5.3 挤压成型的特点	150
5.4 挤压成型设备及工具	152
5.4.1 挤压成型设备	152
5.4.2 挤压成型工具	153
5.5 挤压成型工艺	158
5.6 拉拔成型的基本概念和适用范围	159
5.7 拉拔的基本方法	160
5.8 拉拔成型的特点	161
5.9 拉拔成型设备及工具	161
5.9.1 拉拔成型设备	161
5.9.2 拉拔成型工具	167
5.10 拉拔成型工艺	169
习题	169
6 锻造与冲压成型	171
6.1 锻造成型的概念、特点及应用范围	171
6.1.1 锻造成型的概念及特点	171
6.1.2 锻造成型的应用范围	172
6.2 锻造成型的基本方法	172
6.3 锻造成型设备及工具	175
6.3.1 锻造成型设备	175
6.3.2 锻造成型工具	179
6.4 锻造成型工艺	186
6.5 冲压成型的概念、特点及应用范围	187
6.5.1 冲压成型的概念及特点	187
6.5.2 冲压成型的应用范围	187
6.6 冲压工序分类	188
6.6.1 基本工序	189
6.6.2 组合工序	192
6.7 冲压成型设备及工具	193
6.7.1 冲压成型设备	193
6.7.2 冲压成型工具	194

6.8 冲压成型工艺	195
习题	196
7 有色金属塑性加工	197
7.1 轻金属典型加工工艺	197
7.1.1 铝及铝合金板带材生产工艺	197
7.1.2 铝及铝合金管、棒、线材生产工艺	201
7.2 重金属典型加工工艺	204
7.2.1 铜及铜合金板带材生产	204
7.2.2 铜及铜合金管棒材挤压、拉拔工艺	208
7.3 稀有金属生产工艺	210
7.3.1 钛及钛合金熔炼工艺	210
7.3.2 钛及钛合金锻造工艺	212
7.3.3 钛及钛合金管材生产工艺	214
7.3.4 钛及钛合金棒线材生产工艺	215
习题	216
参考文献	217

1.1 材料概述

材料是人类制造用于生活和生产的物品、器件、构件、机器以及其他产品的物质。材料是人类赖以生存和发展的物质基础，也是社会现代化的物质基础与先导。材料、能源、信息和生物技术是 21 世纪中国国民经济建设的支柱产业，其中材料占有十分突出的地位，其他三个方面的发展，在一定程度上依赖于材料科学的进步。因此，世界各国都把新材料的研究开发作为重点发展的关键技术之一。

一般认为材料按成分可以分为金属材料、无机非金属材料和高分子材料三大类。此外，将两种或两种以上的材料复合而成的复合材料，具有许多单一材料所不具有的优点，被广泛地应用于国民经济和国防领域。因此，往往将复合材料也算作一大类材料，即认为材料由四大类组成，如图 1-1 所示。材料决定着社会和经济的发展，在所有的材料中，目前金属材料用量最大、使用最广。金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称，包括纯金属、合金、金属间化合物和特种金属材料等。在化学元素周期表中，金属元素共列出 86 种，其中黑色金属元素 3 种，有色金属元素 83 种。

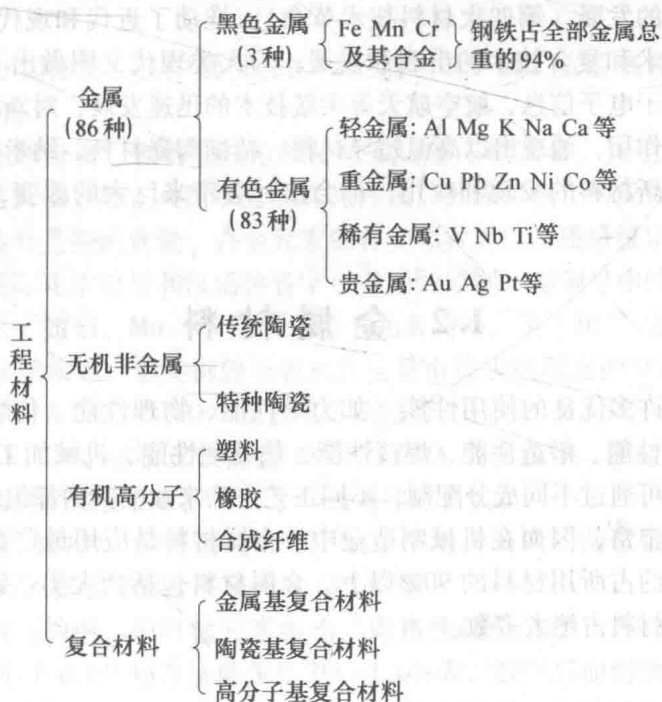


图 1-1 材料的分类

根据材料的用途,还可以将材料分为两类,即结构材料与功能材料。其中结构材料以力学性能为主要要求指标,用以制造以受力为主的构件。根据用途不同,对结构材料同时也要求具有物理或化学性能,如热导率、耐腐蚀和耐高温等性能。功能材料则是利用材料特有的物理或化学性能,以实现能量转换、储存、输送或完成特定动作功能的一类材料。同样,根据使用场合不同,对功能材料同时也要求具有一定的力学性能,如强度、耐磨性等。另一种分类方法是根据材料的具体应用领域,将其细分为电子信息材料、能源材料、生态环境材料、生物医用材料、化工材料、航天航空材料、机械工程材料以及建筑材料等。

材料是人类社会进步的里程碑。从石器时代到青铜器时代,再到铁器时代,人类社会每一次飞跃性的进步,都与材料和材料技术的发展密切相关,材料在其中发挥了先导性甚至是决定性的作用。

大约从公元前4000年开始,人类从漫长的石器时代进入青铜器时代,所使用的工具由石器进化到金属。以铜的熔炼技术和铸造技术的出现为契机,人类开始掌握对自然资源进行加工的技术,产生了革命性的变化。因此,可以认为从石器时代进入青铜器时代,人类历史上产生了第一次材料技术革命。换一种角度看,正是由于第一次材料技术革命,使人类得以从漫长的石器时代进化到青铜器时代,人类的生产和社会活动产生了一次质的飞跃。从公元前1350~1400年前后开始,由于铁的大规模冶炼技术和锻造技术的发展,导致人类从青铜器时代进入铁器时代,首先是工具与武器得到飞跃发展,生产率水平大幅度地提高。可以认为,以大规模炼铁技术和锻造技术为代表的材料加工技术的出现和发展,促成了人类历史上的第二次材料技术革命。

公元1500年前后,合金化技术的出现与发展(第三次材料技术革命),以及20世纪初期合成材料技术的发展(第四次材料技术革命),推动了近代和现代工业的快速发展,尤其是材料合成技术和复合技术的出现和发展,为人类现代文明做出了巨大的贡献。20世纪后期以来,由于电子信息、航空航天等尖端技术的迅速发展,对新材料的研究与开发起到了很强的促进作用,涌现出以高温超导材料、精细陶瓷材料、纳米材料为代表的新材料。显然,每一种新材料的发现和应⤵用,都会给社会带来巨大的改变,把人类文明推向前进。

1.2 金属材料

金属材料具有许多优良的使用性能(如力学性能、物理性能、化学性能等)和加工工艺性能(如铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、机械加工性能等)。特别可贵的是,金属材料可通过不同成分配制,不同工艺方法来改变其内部组织结构,从而改善性能。加之其矿藏丰富,因而在机械制造业中,金属材料是应用最广泛、用量最多的材料,在机械设备中约占所用材料的90%以上。金属材料包括两大类:钢铁材料和有色金属,其中又以钢铁材料占绝大多数。

1.2.1 钢铁材料

钢是经济建设中极为重要的金属材料。它是以铁、碳为主要成分的合金,其含碳量小

于2.11%，为了保证其韧性和塑性，含碳量一般不超过1.7%。

1.2.1.1 钢的分类

生产上使用的钢材品种很多，为了便于生产、选用与研究，有必要对钢加以分类。钢的分类方法很多，常用的有以下几种。

(1) 按用途分类。按钢材的用途可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢三大类。

结构钢用于制造各种机器零件及工程结构。制造机器零件的钢包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢及滚动轴承钢等。用作工程结构的钢包括碳素钢中的甲类钢、乙类钢、特类钢和普通低合金钢。

工具钢用于制造各种工具。根据工具钢的不同用途可分为刀具钢、模具钢与量具钢。

特殊性能钢是具有特殊物理和化学性能的一类钢。可分为不锈钢、耐热钢、耐磨钢与磁钢等。

(2) 按化学成分分类。按钢的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。

碳素钢按钢的含碳量可分为低碳钢（含碳量不大于0.25%），中碳钢（含碳量为0.25%~0.6%）和高碳钢（含碳量大于0.6%）。

合金钢按钢的合金元素含量可分为低合金钢（合金元素总含量不大于5%），中合金钢（合金元素总含量在5%~10%之间）与高合金钢（合金元素总含量大于10%）。

此外，根据钢中所含主要合金元素种类的不同，也可分为锰钢、铬钢、铬镍钢及铬锰钛钢等。

(3) 按质量分类。主要是按钢中的磷、硫含量来分类，可分为：普通钢（含磷量不大于0.045%、含硫量不大于0.055%，或磷、硫含量均不大于0.050%），优质钢（磷、硫含量均不大于0.040%）和高级优质钢（含磷量不大于0.035%，含硫量不大于0.030%）。

(4) 按冶炼方法分类。按炉别可分为转炉钢和电炉钢。按脱氧程度可分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。

(5) 按金相组织分类。钢的金相组织随处理方法不同而异。按退火组织分为亚共析钢、共析钢和过共析钢，按正火组织分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢及奥氏体钢。

我国钢材的编号是按碳含量、合金元素的种类和数量以及质量级别来编号的。依据国家标准规定采用国际化学符号和汉语拼音字母并用的原则。即钢号中的化学元素采用国际化学元素符号表示，如Si、Mn、Cr等。仅稀土元素例外，用“RE”表示其总含量。

(1) 普通碳素结构钢。该类钢牌号表示方法是由代表屈服点的字母（Q）、屈服点数值、质量等级符号（A、B、C、D）及脱氧方法符号（F、b、Z、TZ）等四部分按顺序组成。如Q235-A、F，表示屈服点数值为235MPa的A级沸腾钢。质量等级符号反映碳素结构钢中磷、硫含量的多少，A、B、C、D质量依次升高。

(2) 优质碳素结构钢。该类钢的钢号用钢中平均含碳量的两位数字表示，单位为万分之一。如钢号45，表示平均含碳量为0.45%的钢。

对于含锰量较高的钢，须将锰元素标出。即指含碳量大于0.6%且含锰量在0.9%~1.2%者及含碳量小于0.6%且含锰量在0.7%~1.0%者，数字后面附加汉字“锰”或化学元素符号“Mn”。如钢号25Mn，表示平均含碳量为0.25%，含锰量为0.7%~1.0%的钢。

沸腾钢、半镇静钢以及专门用途的优质碳素结构钢，应在钢号后特别标出，如15g即

平均含碳量为 0.15% 的锅炉钢。

(3) 碳素工具钢。碳素工具钢是在钢号前加“碳”或“T”表示，其后跟以表示钢中平均含碳量的千分之几的数字。如平均含碳量为 0.8% 的该类钢，记为“碳 8”或“T8”。含锰量较高者须注出。高级优质碳素工具钢则在钢号末端加“高”或“A”，如“碳 10 高”或“T10A”。

(4) 合金结构钢。该类钢的钢号由“数字+元素+数字”三部分组成。前两位数字表示平均含碳量的万分之几，合金元素以汉字或化学元素符号表示，合金元素后面的数字表示该元素的近似含量，单位是百分之几。如果合金元素平均含量低于 1.5% 时，则不标明其含量。当平均含量大于或等于 1.5% 至 2.0% 时，则在元素后面标“2”依次类推。如为高级优质钢，在钢号后面应加“高”或“A”。如 36Mn2Si 表示含碳量为 0.36%，含锰量为 1.5%~1.8%，含硅量为 0.4%~0.7% 的钢。

(5) 合金工具钢。该类钢编号前用一位数字表示平均含碳量的千分之几。当平均含碳量大于或等于 1.0% 时，不标出含碳量。如“9Mn2V”钢的平均含碳量为 0.85%~0.95%，而“CrMn”钢中的平均含碳量为 1.3%~1.5%。高速钢的钢号，一般不标出含碳量，仅标出合金元素含量平均值的百分之几，如“W6Mo5Cr4V2”。

(6) 滚动轴承钢。该类钢在钢号前冠以“滚”或“G”，其后为“铬(Cr)+数字”来表示，数字表示铬含量平均值的千分之几。如“滚铬 15”(GCr15)，即是铬的平均含量为 1.5% 的滚动轴承钢。

(7) 不锈钢及耐热钢。这两类钢钢号前面的数字表示含碳量的千分之几，如“9Cr18”表示该钢平均含碳量为 0.09%。但碳含量不大于 0.03% 及 0.08% 者，在钢号前分别冠以“00”及“0”，如“00Cr18Ni10”。

(8) 铸钢。铸钢的牌号前面是“ZG”二字，后面第一组数字表示屈服点，第二组数字表示抗拉强度。如“ZG200-400”表示其屈服强度为 200MPa，抗拉强度为 400MPa。

1.2.1.2 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金。它还含有硅、锰、磷、硫及某些合金元素。铸铁的成分大致为：含 C 量为 2.5%~4.0%，含 Si 量为 1.0%~3.0%，含 Mn 量为 0.5%~1.4%，含 P 量为 0.01%~0.5%，含 S 量为 0.02%~0.20%。与钢相比，主要区别在于铸铁含碳、硅较高，含硫、磷杂质元素较多，所以，铸铁与钢的组织 and 性能差别较大。

铸铁是一种使用历史悠久的最常用的金属材料。中国是世界冶铸技术的发源地，早在春秋时期，铸铁技术就已有有了很大的发展；并用于制作生产工具和生活用具，比西欧各国约早 2000 年。直到目前，铸铁仍然是一种重要的工程材料。中国铸铁的年产量达到数百万吨，它广泛应用于机械制造、冶金矿山、石油化工、交通运输、造船、纺织机械、基本建设和国防工业等部门。据统计，按质量百分比计算，在农业机械中铸铁件约占 40%~60%，汽车、拖拉机中约占 50%~70%，机床制造中约占 60%~90%。铸铁之所以获得广泛的应用，是因为它的生产设备和工艺简单、价格低廉。铸铁还具有优良的铸造性能，良好的减磨性、耐磨性、切削加工性及缺口敏感性等一系列优点。工业上常用的铸铁有灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和特殊性能铸铁等。

1.2.2 有色金属材料

除了钢铁材料外,其他的金属及合金是不以铁为基体的,称为有色金属及合金。有色金属在国民经济各个部门的应用十分广泛,并具有特殊的重要性,各国都重视和发展有色金属工业。有资料显示,有色金属产量约为世界钢产量的5%。有色金属及合金的种类很多,其产量和使用量不及钢铁,但由于它们具有某些独特的性能和优点,因而成为现代工业中不可缺少的材料。

由于各国地理位置、矿产分布和生产状况等的不同,对有色金属的分类并不统一。一般按有色金属的密度、经济价值、在地壳中的储量及分布情况和被人们发现及使用的年代等分为五大类,即轻有色金属、重有色金属、稀有金属、贵金属和半金属。稀有金属又分为稀有轻金属、稀有高熔点金属、稀有分散金属、稀土金属和稀有放射性金属五个类别。

1.2.2.1 轻有色金属

轻有色金属一般是指密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下的有色金属,其包括铝、镁、钛、钠、钾、钙、锶、钡等。这类金属的共同特点是密度小($0.53\sim 4.5\text{g}/\text{cm}^3$),化学活性大,氧、硫、碳和卤素化合物都相当稳定。这类金属多采用熔盐电解法和金属热还原法提取。其中铝是当代生产量和应用量最大的有色轻金属,镁是实用金属中最轻的金属,钛被称为“太空金属”和“崛起的第三金属”。

A 铝及铝合金

铝是地壳中储量最丰富的元素之一,约占全部金属的 $1/3$ 。由于制取铝的技术在不断提高,使铝成为价廉而应用广泛的金属。其特点如下:铝的相对密度为2.7,是铜的 $1/3$,属于轻金属。熔点是 660°C 。铝的导电性和导热性都很好,仅次于银和铜。因此,铝被广泛用于制造导电材料和热传导器件。

铝在大气中有良好的耐腐蚀性。由于铝和氧亲和力强,能生成致密、坚固的氧化铝(Al_2O_3)薄膜,可以保护薄膜下层金属不再继续氧化。

纯铝比较软,富有延展性,易于塑性成型。根据不同的用途,可以在纯铝中添加各种合金元素,满足更高的强度和其他各种性能。根据铝合金的成分及工艺特点,可将铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金,如图1-2所示。

变形铝合金的分类方法很多,目前,世界上绝大部分国家通常按以下三种方法进行分类。

(1) 按合金状态图及热处理特点分为可热处理强化铝合金和不可热处理强化铝合金两大类。不可热处理强化铝合金(如纯铝、Al-Mn、Al-Mg和Al-Si系合金)和可热处理强化铝合金(如Al-Mg-Si、Al-Cu和Al-Zn-Mg系合金)。

(2) 按合金性能和用途可分为:工业纯铝、光辉铝合金、切削铝合金、耐热铝合金、低强度铝合金、中强度铝合金、高强度铝合金(硬铝)、超高强度铝合金(超硬铝)、锻造铝合金及特殊铝合金等。

(3) 按合金中所含主要元素成分可分为:工业纯铝(1×××系),Al-Cu合金(2×××系),Al-Mn合金(3×××系),Al-Si合金(4×××系),Al-Mg合金(5×××系),Al-Mg-Si

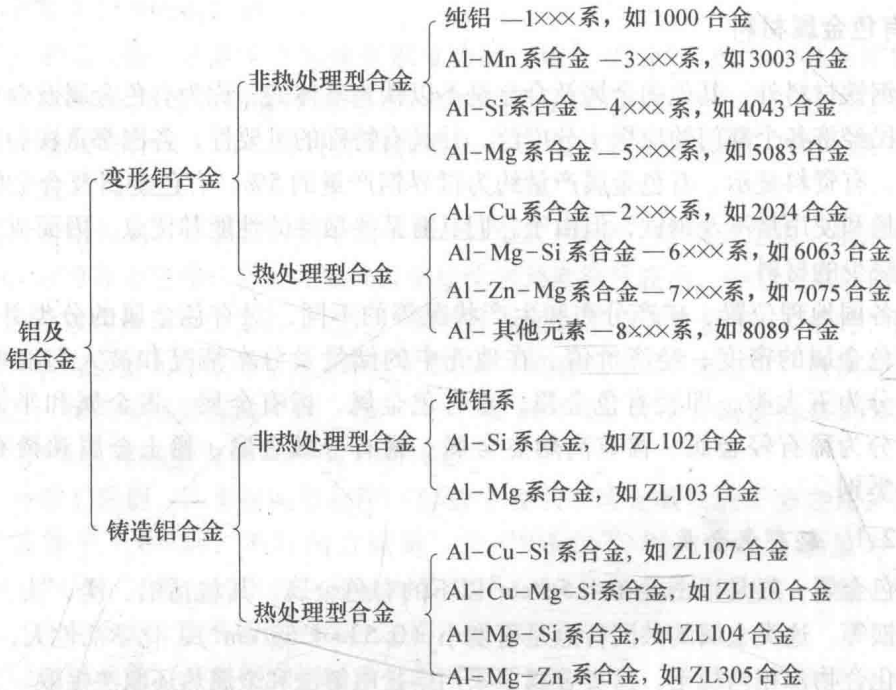


图 1-2 铝及铝合金的分类

合金 (6×××系), Al-Zn-Mg 合金 (7×××系), Al-其他元素合金 (8×××系) 及备用合金组 (9×××系)。

铸造铝合金具有与变形铝合金相同的合金体系, 具有与变形铝合金相同的强化机理 (除应变强化外), 它们主要的差别在于, 铸造铝合金中合金化元素硅的最大含量超过多数变形铝合金中的硅含量。铸造铝合金除含有强化元素之外, 还必须含有足够量的共晶型元素 (通常是硅), 以使合金有相当的流动性, 易于填充铸造时铸件的收缩缝。

B 镁及镁合金

镁的密度大约是铝的 2/3, 是铁的 1/4。其特点是: 密度小 ($1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 左右), 比强度高, 比弹性模量大, 散热好, 消震性好, 承受冲击载荷能力比铝合金大, 耐有机物和碱的腐蚀性能好。镁合金是以镁为基加入其他元素组成的合金。主要合金元素有铝、锌、锰、铈、钍以及少量锆或镉等。目前使用最广的是镁铝合金, 其次是镁锰合金和镁锌合金。主要用于航空、航天、运输、化工、火箭等工业部门。

C 钛及钛合金

钛是 20 世纪 50 年代发展起来的一种重要的结构金属, 钛合金因具有比强度高、耐腐蚀性好、耐热性高、低温性能好等特点而被广泛用于各个领域。钛是同素异构体, 熔点为 1668°C , 在低于 882°C 时呈密排六方晶格结构, 称为 α 钛; 在 882°C 以上呈体心立方晶格结构, 称为 β 钛。利用钛的上述两种结构的不同特点, 添加适当的合金元素, 使其相含量逐渐改变而得到不同组织的钛合金 (titanium alloys)。室温下, 钛合金有三种基体组织, 钛合金也就分为以下三类: α 合金, $(\alpha+\beta)$ 合金和 β 合金, 中国分别以 TA、TC、TB 表示。

1.2.2.2 重有色金属

重有色金属一般是指密度在 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的有色金属，其包括有铜、镍、铅、锌、钴、锡、铋、汞、镉和铟。一般用火法冶炼和湿法冶炼。这类金属的共同特点是密度较大，化学性质比较稳定，多数金属被人类发现与使用较早，如铜、锡、铅被称作金属元老。其中，最常用的是铜及其合金。

A 纯铜（紫铜）

紫铜就是工业纯铜，相对密度为 8.96，熔点为 1083°C 。在固态时具有面心立方晶格，无同素异构转变。塑性好，容易进行冷—热加工。经冷变形后可以提高纯铜的强度，但塑性显著下降。

纯铜的性能受杂质影响很大。它含的杂质主要有 Pb、Bi、O、S 和 P 等。Pb 和 Bi 基本上不溶于 Cu，微量的 Pb 和 Bi 与 Cu 在晶界上形成低熔点共晶组织（Cu+Bi 或 Cu+Pb），其熔点分别为 270°C 和 326°C 。当铜在 $820\sim 860^\circ\text{C}$ 范围进行热加工时，低熔点共晶组织首先熔化，造成脆性断裂，即称为“热脆性”。又由于 O、S 与 Cu 形成 Cu_2O 与 Cu_2S 脆性化合物，在冷加工时产生破裂，即称为“冷脆性”。因此，在纯铜中必须严格控制杂质含量。

工业纯铜按杂质含量的多少分为四种：T1、T2、T3、T4。“T”为铜的汉语拼音字头，其后的数字越大，纯度越低。

B 黄铜

Cu-Zn 合金或以 Zn 为主要合金元素的铜合金称为黄铜。它的色泽美观，加工性能好。按化学成分的不同，黄铜可分为普通黄铜和特殊黄铜两类。工业中应用的普通黄铜，根据室温下的平衡组织分为单相黄铜和双相黄铜：当黄铜中含锌量小于 39% 时，在室温下的组织是单相 α 固溶体，称为单相黄铜；当含锌量为 39%~45% 时，室温下的组织为 $\alpha+\beta$ ，称为双相黄铜。

黄铜的耐蚀性好，超过铁、碳钢和许多合金钢。铸造黄铜的铸造性能较好，它的熔点比纯铜低，且结晶温度间隔较小，有较好的流动性和较小的偏析，并且铸件组织致密。

常用的黄铜有 H70、H62 等。“H”为“黄”的汉语拼音字首，数字表示平均含 Cu 量。例如，H70 表示平均含 Cu 量为 70% 的黄铜。如为铸造产品，则在 H70 前加“Z”（铸）字，如 ZH70。

在普通黄铜中加入其他元素所组成的多元合金称为特殊黄铜。常加入的元素有铅、锡、硅、铝、铁等，相应地称这些特殊黄铜为铅黄铜、锡黄铜。

C 青铜

青铜系指 Cu-Sn 合金，是人类应用最早的一种合金，工业上习惯称含有 Al、Si、Pb、Mn、Be 等的铜基合金为青铜。所以，青铜包括有锡青铜、铝青铜及铍青铜等。

1.2.2.3 贵金属

贵金属包括金、银和铂族元素（铂、铑、钌、钇、钼、铱）。由于它们对氧和其他试剂的稳定性，而且在地壳中含量少，开采和提炼也比较困难，价格也比一般金属高，因而得名贵金属。贵金属的特点是密度大（ $10.4\sim 22.4\text{g}/\text{cm}^3$ ），熔点高（最高可达 3000°C ），化学性质稳定，抗酸、碱，难于腐蚀（银和钯除外）。

粒，晶粒直径小于 $5\mu\text{m}$ 。一般金属的晶粒平均直径在 0.1mm 左右，约减小到 $5\mu\text{m}$ 以下时，金属合金就获得细晶超塑性。

2) 相变超塑性。在金属合金发生固态相变的温度附近，反复地进行加热和冷却循环，在此过程中对金属合金施加一定的外力而引起的超塑性变形，称为相变超塑性或动态超塑性。

超塑性现象不仅可以应用在金属及合金的形变加工，而且利用超塑性还可以实现固态下金属及合金的接合。

(2) 金属玻璃。金属玻璃又称为非晶态合金。所谓非晶态，是相对晶态而言，它是物质的另一种结构状态，传统的玻璃就是典型的非晶态。它不像晶态那样，原子在三维空间做有规则的周期性重复排列，而是一种长程无序、短程有序的结构。1959年美国加州理工学院的杜威兹(Duwez)采用合金从熔化状态喷射到冷的金属板上方法处理Au-Si二元合金，经X射线衍射测试发现此二元合金不是晶态，而是非晶态。人们用超高速冷却的方法(冷速达到每秒100万度或更高)，使凝固后的Au-Si合金中的原子仍基本上保持着原来液态时的堆积状态，并没有发生结晶过程。因此，将这种合金称为非晶态合金。非晶态合金的出现，对传统金属及合金结晶概念产生了巨大冲击，引起科技界专家的关注。自60年代以来，对非晶态合金的制备方法、结构及性能等进行了大量研究。制成的非晶态合金有很多种，一般是由过渡族金属元素(或贵金属)与类金属元素组成的合金。所以，人们把非晶态合金又称为“玻璃态金属”或“金属玻璃”。金属玻璃是目前材料科学中广泛研究的一个新领域，也是一类发展较为迅速的新材料，其根本原因是金属玻璃的物理、化学性能比相应的晶态合金更佳。

(3) 超导材料。超导，又称超导电性，当前是指某些材料被冷却到低于某个转变温度时电阻突然消失的现象。具有超导性的材料即被称为超导材料。零电阻和完全抗磁性是超导材料的两个最基本的宏观特性。除此之外，还有约瑟夫森(Josephson)隧道效应和磁通量子化。

由于超导材料没有电阻，在很多方面会引起重大突破，应用前景广阔。从1911年到现在，人们对超导现象进行了大量的研究，在数千种物质中发现了超导电性。如可制造超导变压器、超导电缆、超导电动机、超导磁悬浮列车、超导电磁炮等，对国民经济和国防建设具有重大战略意义。超导材料之所以在几十年时间里没有得到广泛应用，其原因在于难以制造工程用的超导材料，又难以保持很低的工作温度，还有人们对超导的机制认识不很清楚。1935年伦敦兄弟写出了第一个超导体的电动力学方程，并推出穿透深度效应。1950年皮帕德推广伦敦理论，提出相干长度的概念。1957年巴丁、库柏、徐瑞佛合作提出微观超导体理论，即BCS理论，人们才真正弄清了超导的本质。这样，超导理论才获得重大突破。特别是近20多年来，超导技术在理论、材料、应用和低温测试方面都取得了很大的进展，有的已开始实际应用，并逐步商品化。超导材料的发现是20世纪物理学的一项重大成就，它为人类展现出前景十分广阔的崭新的技术领域，必将引发一场科学技术革命。

(4) 形状记忆合金。形状记忆合金(Shape Memory Alloy)是指某些合金材料在某一温度下受外力而变形，当外力去除后，仍保持其变形后的形状，但当温度上升到某一温度，合金材料会自动恢复到变形前原有的形状，并对以前的形状保持记忆，这种合金材料