

21世纪高等学校应用型特色系列教材

[高校教材]

镁合金锻压成形与模具

罗大金 程贵生 主编

吕玉荣 陈振兴 李聚群 副主编



中国轻工业出版社

21 世纪高等学校应用型特色系列教材

镁合金锻压成形与模具

罗大金 程贵生 主编

吕玉荣 陈振兴 李聚群 副主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

镁合金锻压成形与模具/罗大金, 程贵生主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2010. 1

(21 世纪高等学校应用型特色系列教材)

ISBN 978-7-5019-7375-0

I. ①镁… II. ①罗…②程… III. ①镁合金-锻压-高等学校-教材②镁合金-压铸模-高等学校-教材 IV. ①TG319

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 201239 号

责任编辑: 王 淳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 燕 杰 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.75

字 数: 504 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7375-0 定价: 39.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

90930J2X101ZBW

镁合金成形技术系列教材

序

材料是社会现代化和高新技术的先导,是人类生存发展的物质基础,镁材是新世纪一种极其具有发展前景的新型绿色材料,我国镁的矿藏量世界第一,原镁产量世界第一,原镁出口量世界第一。我国镁材的开发和应用与经济发达国家如美、日、英、澳相比,相对较落后,而国家高新技术发展计划(863计划)十分重视这一工作,为完成这一工程,我们作为全国高校里第一个创办镁合金科学和技术的有关学科教学的学校,现着手编写符合高等职业技术教育的系列教材,首先出版《镁合金压铸工艺与模具》、《镁合金锻压成形工艺与模具》、《镁合金液态模锻工艺与模具》和《镁合金焊接和防腐》和《模具 CAD/CAE/CAM》五本。它填补了职教教材的空白,同时又有所创新,它们的特点是:

(1) 紧扣金属镁和镁合金的特性和加工技术来制定教材内容。

(2) 简单扼要、概括综合了镁合金成形技术。强调实际应用,符合职业教育的基本要求。

(3) 分别介绍了当前镁合金成形技术的主要方式、基础知识、三种工艺和模具的特点及应用。

(4) 不同工艺和模具有它的形似性,又各有其特殊性,每本书尽量避免个别内容的重复,又不失它的完整性和系统性。因此在编写过程中重点介绍了它的独特性,比较了它们的相似性。

(5) 前四本书构成了当今镁及镁合金的一般知识和主要成型方面的基本内容。

(6) 模具 CAD/CAE/CAM 以塑料模的计算机应用为主,同时与压铸、锻造、挤压和冲压模具相配。

参加编写该系列教材的院校有鹤壁职业技术学院、河南机电高等专科学校、开封大学、洛阳理工学院、安徽机电职业技术学院、台州学院、温州职业技术学院、台州职业技术学院等院校。

由原河南科技大学教授,现为鹤壁职业技术学院专职常驻特聘教授罗大金为首组成系列教材编委会。

编委会

2009 年元月

前 言

镁合金是继钢、铁、铝、锌、铜金属材料之后又一新型工业材料。镁及其合金因具有密度小、比强度大、比刚度高、抗振性能好、可回收利用等优点，因此格外引人注目。同时，与地壳中其他金属含量相比，镁元素在地壳中的含量仅在铝、铁之后，位居第三。占地球面积 70% 的海洋也是一个天然的镁资源宝库。据测算，每立方米海水之中约含有 1.3kg 的镁，仅是死海一处的镁若能全部开发，就可供人类使用 22000 年。而现在常用的铜、铅、锌矿藏的开采只能维持几十年，铝、铁也只能维持 100~300 年。我国目前在镁工业方面有三项“世界冠军”，第一是资源大国，储存量位居世界首位；第二是原镁生产大国，产量占全球的三分之二；第三是镁矿石出口大国，占世界总产量的 80%~85%。

我国镁的深加工技术很落后，品质不够稳定。针对世界经济发展状况和我国镁工业的现状，国家政府部门已经投入了大量的资金进行有关问题的研究与开发，已取得一定的成效。

我国的镁质产品制件将会在交通、运输、电子信息、航空航天、医疗环保等方面逐步开始和扩大应用。因此，我国特别需要从事这方面工作的工程技术和现场指导的技术人才。

镁合金压力铸造虽是当前应用最广的成形工艺，但由于铸造中的空洞、杂质、晶粒粗大等不可避免的缺陷，大大降低了镁合金的力学性能指标，严重地限制了铸造镁合金零件的应用。尤其是在交通工具、航空航天等领域的应用。与铸造镁合金相比，镁合金锻压成形的零件在组织上更加细化，成分上更加均匀，内部更致密。因此变形镁合金具有高强度和高延伸率等优点，能够满足更高的受力设计要求。

镁合金的固态成形方法有锻造、冲压、挤压、轧制、拉拔等。前三者工艺用来成形零件，后三者用来成形型材。

本书共分 10 章，分别介绍了变形镁合金的一般情况，重点介绍了模锻、冲压、挤压三种工艺及其模具设计。

由罗大金、程贵生任主编，罗大金提出编写大纲和有关资料，并统稿。程贵生编写序、前言和第 1 章，李建伟编写第 2 章，陈艳艳编写第 3 章，李聚群编写第 4 章，相晓红编写第 5 章，吕玉荣编写第 6 章，崔国英编写第 7 章，陈振兴编写第 8 章，邵雨露编写第 9 章，王德俊编写第 10 章。

在编写过程中借鉴了国内外镁材的科研成果和成形技术方面的资料，在此一并表示感谢。

由于本书要体现镁科学技术，又要介绍适合镁合金成形技术的特点。因此编写难度较大，缺乏经验，肯定有不足之处，敬请读者指正。

编者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 变形镁合金概述	1
1.1 变形镁合金的发展现状	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 变形镁合金的应用	2
1.2 变形镁合金的牌号和分类	4
1.2.1 变形镁合金的牌号	4
1.2.2 变形镁合金的分类	5
1.3 镁合金固态成形的理论基础	7
1.3.1 固态成形的基本概念	7
1.3.2 固态成形的力学基础	9
1.3.3 镁合金固态成形的特点	12
1.4 镁合金固态成形技术	14
1.4.1 锻造	14
1.4.2 挤压	14
1.4.3 冲压	14
1.4.4 轧制	15
第 2 章 镁合金模锻工艺	17
2.1 镁合金的可锻性	17
2.2 镁合金的锻造方式	17
2.2.1 自由锻造	17
2.2.2 模型锻造	17
2.2.3 等温锻造与等温精锻	18
2.3 镁合金锻造工艺	20
2.3.1 锻造的主要工序	20
2.3.2 锻件的热处理	23
2.3.3 镁合金锻后的性能变化	24
2.3.4 镁合金锻件缺陷及其防止措施	24
2.4 锻模设计基础	25
2.4.1 锻模分类	25
2.4.2 模膛及模锻工步分类	26
2.5 模锻设备	28
2.5.1 锻锤	28
2.5.2 热模锻压力机	30
2.5.3 螺旋压力机	32

2.5.4 平锻机	33
第3章 锻模设计	36
3.1 锤上模锻锻模设计	36
3.1.1 锤上模锻的特点	36
3.1.2 锻件图的设计	37
3.1.3 锤上模锻工步选择	46
3.1.4 终锻模膛的设计	54
3.1.5 预锻模膛的设计	57
3.1.6 制坯模膛设计	62
3.2 热模锻压力机锻模设计	67
3.2.1 锻件图特点	67
3.2.2 模膛的设计	68
3.3 平锻机上锻模设计	72
3.3.1 锻件图设计特点	72
3.3.2 模锻工步的确定	74
3.4 摩擦压力机模锻设计	77
3.4.1 锻件图设计特点	77
3.4.2 锻模设计特点	78
第4章 冲裁工艺与冲模设计	81
4.1 冲裁变形过程分析	81
4.1.1 冲裁变形过程	81
4.1.2 冲裁变形力曲线	82
4.1.3 冲裁零件断面形状	82
4.2 冲裁件质量分析	82
4.2.1 间隙对切断面质量的影响	83
4.2.2 间隙对尺寸精度的影响	83
4.2.3 刃口状态对断面质量的影响	85
4.3 凸、凹模间隙值的确定	86
4.3.1 间隙对冲裁过程的影响	86
4.3.2 间隙值的确定	86
4.4 凸、凹模刃口尺寸计算	91
4.4.1 尺寸计算原则	91
4.4.2 尺寸计算方法	92
4.5 冲裁力的计算	96
4.5.1 冲裁变形力	96
4.5.2 卸料力及推件力	98
4.5.3 冲裁时的总压力	99
4.6 冲裁件的排样	100
4.6.1 排样目的	100

4.6.2	排样方法	100
4.6.3	排样工艺参数	101
4.6.4	条料宽度的计算	102
4.6.5	条料在板料上的排样	105
4.6.6	材料的利用率	106
4.7	冲裁模的分类及结构分析	106
4.7.1	冲裁模的分类	106
4.7.2	冲裁模的结构分析	107
4.7.3	冲裁模设计的一般程序	114
4.7.4	冲裁模的总体设计	121
第5章	弯曲工艺与弯曲模具设计	126
5.1	弯曲变形过程分析	126
5.1.1	弯曲变形过程	126
5.1.2	弯曲的应力应变	127
5.2	弯曲件的回弹及减少回弹的方法	129
5.2.1	影响回弹的因素	129
5.2.2	回弹值的确定	130
5.2.3	减少回弹的措施	131
5.3	最小弯曲半径	133
5.3.1	含义和作用	133
5.3.2	最小弯曲半径的确定	133
5.3.3	影响最小弯曲半径的因素	134
5.4	弯曲件毛坯尺寸的计算	135
5.4.1	变形中性层位置的确定	135
5.4.2	弯曲件毛坯尺寸的计算	136
5.5	弯曲力的计算	138
5.6	弯曲件的工序安排及模具设计	140
5.6.1	常见弯曲件的工序安排	140
5.6.2	V形件的弯曲	140
5.6.3	U形件的弯曲	142
5.6.4	帽罩形件的弯曲	142
5.6.5	Z形件的弯曲	144
5.6.6	圆筒形件的弯曲	144
5.6.7	其他形状的弯曲件	145
5.7	弯曲模工作部分尺寸设计	146
5.7.1	凸、凹模的圆角半径及弯曲凹模的深度	146
5.7.2	凸、凹模间隙	147
5.7.3	凸、凹模工作部分的尺寸与公差	148
第6章	拉延工艺及模具设计	150

6.1 拉延变形过程分析	150
6.1.1 拉延变形过程	150
6.1.2 拉延过程中毛坯的应力与应变状态	152
6.2 圆筒形件的拉延	154
6.2.1 毛坯尺寸的计算	154
6.2.2 拉延系数和拉延次数	155
6.2.3 以后各次拉延的特点	161
6.2.4 以后各次拉延的方法	161
6.2.5 压边力、拉延力和拉延功的计算	162
6.2.6 凸、凹模工作部分设计	167
6.3 带凸缘筒形件的拉延	172
6.3.1 小凸缘件的拉延	172
6.3.2 宽凸缘件的拉延	172
6.4 矩形件的拉延	175
6.4.1 矩形件拉延的特点	175
6.4.2 毛坯计算方法	176
6.4.3 高矩形件拉延工艺过程	180
6.4.4 模具间隙、圆角半径的确定	182
6.5 拉延工作中的润滑、退火与酸洗	183
6.5.1 润滑	183
6.5.2 退火	184
6.5.3 中间退火	184
6.5.4 酸洗	186
6.6 拉深模具的分类及典型结构	187
6.6.1 首次拉深模	187
6.6.2 后续各工序拉延模	188
6.7 拉延件的废品种类、产生原因及预防方法	189
第7章 其他成形方法及模具	191
7.1 局部成形和翻边	191
7.1.1 局部成形	192
7.1.2 翻边	193
7.2 缩口和胀形	199
7.2.1 缩口	200
7.2.2 胀形	202
7.3 校平和整形	204
7.3.1 校平	204
7.3.2 整形	206
7.4 旋压和强力旋压	206
7.4.1 旋压	206

7.4.2 强力旋压（亦称旋薄）	207
第8章 镁合金冲压板材的技术特点	212
8.1 镁合金板材的冲压成形性能	212
8.1.1 镁合金板材的拉伸试验及性能指标	212
8.1.2 镁合金的杯突试验	214
8.1.3 镁合金的扩孔试验	215
8.1.4 镁合金的拉深试验	216
8.1.5 镁合金的弯曲实验	217
8.2 镁合金板材的成形极限曲线	220
8.2.1 镁合金板材的成形极限试验原理和方法	220
8.2.2 镁合金试验结果	222
8.2.3 影响镁合金板材成型极限图的因素	223
8.2.4 FLD曲线在 MAZ31 镁合金板材冷成型中的应用	224
8.3 镁合金冲压技术	226
8.3.1 冲压模具的设计和制造	226
8.3.2 冲压工艺参数的选择	226
8.4 手机外壳和笔记本电脑外壳的冲压工艺	229
第9章 镁合金挤压工艺	233
9.1 概论	233
9.1.1 挤压基本类型	233
9.1.2 镁合金挤压技术的特点	234
9.1.3 镁合金的挤压工艺	234
9.2 挤压的基本原理	240
9.2.1 挤压的变形过程	240
9.2.2 挤压变形时的应力与应变	241
9.2.3 挤压变形时金属的流动	242
9.2.4 镁合金挤压制品的组织与性能	244
9.3 挤压变形力的计算	252
9.3.1 挤压力的确定	252
9.3.2 影响单位挤压力的主要因素	253
9.3.3 黑色金属挤压变形力的计算	260
9.3.4 有色金属及镁合金挤压力的计算	266
9.4 挤压设备的选择	268
9.4.1 冷挤压变形力-行程曲线分析	268
9.4.2 挤压工艺对设备的要求	269
9.4.3 挤压设备的选用	271
9.4.4 主要挤压机介绍	274
9.5 挤压工艺设计	276
9.5.1 挤压件图的设计	276

9.5.2	毛坯尺寸的计算	282
9.5.3	许用变形程度	284
9.6	镁合金挤压实例	289
9.6.1	镁合金散热片挤压成形工艺	289
9.6.2	其他镁合金挤压管材及型材的开发	290
第 10 章	挤压模具	292
10.1	挤压模具结构分析	292
10.1.1	挤压工艺对模具的要求	292
10.1.2	挤压模具与冲模比较	292
10.1.3	挤压模具分类	292
10.1.4	挤压模具零件的分类	295
10.2	挤压模具工作零件设计	296
10.2.1	正挤压模具工作零件设计	296
10.2.2	反挤压模具工作零件设计	300
10.2.3	组合凹模设计	307
10.2.4	卸件和顶出装置的设计	313
10.2.5	承压垫板的设计	315
10.2.6	模具导向装置的设计	316
10.3	镁合金挤压模具的特点	317

第 1 章 变形镁合金概述

1.1 变形镁合金的发展现状

1.1.1 概述

镁及其合金是目前最轻的金属结构材料，具有密度低、比强度和比刚度高、阻尼减振性好、导热性好、电磁屏蔽效果佳、机加工性能优良、零件尺寸稳定、易回收等优点，在航空、航天、汽车、计算机、电子、通信和家电等行业已有多年的应用历史。尽管如此，由于受材料制备、加工技术、抗腐蚀性能以及价格等因素的制约，镁合金尤其是变形镁合金的应用量仍远远落后于钢铁和铝合金。在材料领域里还没有任何材料像镁那样，发展潜力和实际应用现状之间存在如此大的差异，其主要原因之一是过去镁没有找到巨大的应用市场。近年来，对汽车轻量化和环保要求的不断提高以及能源日趋紧张，激发了人们对镁的极大兴趣，对镁的需求迅速增加，刺激了镁工业的迅速发展，人们也逐步认识到应该强化镁在汽车、交通等民用领域中的应用研究，必须改变过去那种强调以航空、航天工业作为镁工业持续发展动力源泉的思想。

大多数镁合金具有密排六方结构，因此人们一直认为镁合金是一种难以塑性变形、压力加工成形性能差的金属材料。同时，大多数镁合金又具有较好的铸造性能，使得目前镁合金产品以铸件，特别是压铸件居多，塑性加工产品极少。然而，铸件的力学性能不够理想，产品形状尺寸存在一定的局限性且容易产生组织缺陷，导致镁合金的使用性能和应用范围受到很大限制。因此，变形镁合金的研究已成为世界镁工业发展中的重要方向，并已经取得了很多重要的成果。图 1-1 为镁合金成形技术发展状况示意图，与目前较成熟的镁合金铸造技术（包括提高镁合金抗蠕变性能技术、先进薄壁铸造和触变铸造技术等）相比，镁合金的锻造、挤压、轧制、拉拔、冲压等塑性加工技术与超塑成形技术的发展则相对缓慢，造成这种局面的主要原因有以下几点：

- ① 镁合金的塑性变形能力较差，采用传统的塑性加工技术难以解决这一问题；
- ② 对镁合金的塑性变形理论研究不够深入，变形镁合金的研制缺乏理论指导；
- ③ 未能发展出行之有效的变形镁合金加工成形新技术；
- ④ 相对于铸造产品而言，变形镁合金的成本更高。

图 1-2 对比了变形镁合金和铸造镁合金的强度指标，由图可见变形镁合金的力学性能

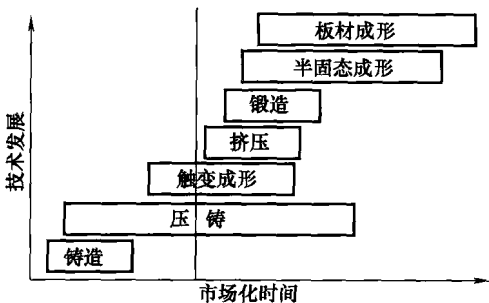


图 1-1 镁合金成形技术发展示意图

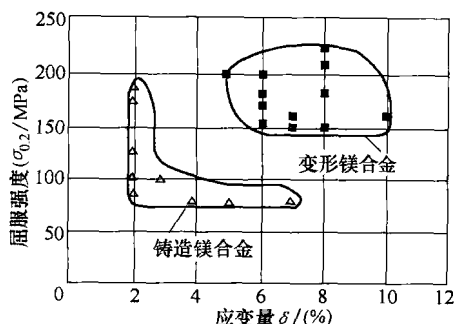


图 1-2 变形镁合金和铸造镁合金屈服强度的对比

明显优于铸造镁合金。研究表明，镁合金在热变形（如挤压、轧制、锻造等）后组织得到显著细化，铸造组织缺陷被消除，从而产品的综合力学性能大大提高。通过塑性加工可以生产出尺寸、规格多样的棒、管、型材、线材、板材及锻件产品，并且可以通过调整塑性变形和热处理工艺来控制材料的组织和性能，获得比镁合金铸件更高的力学性能，同时可以满足不同场合对镁合金结构件使用性能的要求，扩大镁合金的应用范围。国际镁协会（International Magnesium Association, IMA）在 2000 年提出了一项发展镁合金材料的长远计划，即研究和开发新型变形镁合金，开发变形镁合金加工新技术、新工艺，生产高质量的变形镁合金产品，这也代表了当今国际镁工业的发展趋势。

1.1.2 变形镁合金的应用

变形镁合金一般是指可用挤压、轧制、锻造等塑性成形方法加工成形的镁合金。从 20 世纪 40 年代开始，变形镁合金已经开始应用于汽车、航空、航天、国防军工等领域；进入 20 世纪 90 年代后期，变形镁合金产品开始用于汽车、交通车、电子以及其他民用产品领域。

1.1.2.1 变形镁合金在航空航天领域中的应用

镁合金由于密度低，能够有效减轻零部件的质量，很早就应用于航空、航天工业。特别是 Mg-Li 系列合金具有很高的比强度、比刚度和塑性，是航空航天领域最具有前途的金属结构材料之一。座舱架、吸气管、导弹舱段、壁板、蒙皮、直升机上机闸等大都采用 Mg-Li 合金制件。

采用镁合金部件替代铝合金，可以解决铝合金机翼的疲劳问题。早在 20 世纪 20 年代，镁合金锻件已开始用于制造飞机螺旋桨，当时每架 B-36 重型轰炸机使用了 4086kg 镁合金薄板；喷气式歼击机“洛克希德 F-80”的机翼也是使用镁合金制作的，由于采用了镁合金，使其结构零件的数量从 47758 个减少到 16050 个；“德热米奈”飞船的启动火箭“大力神”中曾使用了 600kg 的变形镁合金；“季斯卡位列尔”卫星中也曾使用了 675kg 的变形镁合金；直径约 1m 的“维热尔”火箭壳体是用镁合金挤压管材制造的。我国研制的航空机轮及刹车装置上也使用了镁合金。

随着镁合金制备技术的发展，材料的性能如比强度、比刚度、耐热强度和抗蠕变性能等不断提高，其应用范围也不断扩大。目前其应用领域包括各种民用、军用飞机的发动机零部件、螺旋桨、齿轮箱、支架结构以及火箭、导弹和卫星的一些零部件等。

1.1.2.2 变形镁合金在汽车工业中的应用

采用镁合金制造汽车零部件具有一系列优点，如：可以显著减轻车身质量、降低油耗、减少尾气排放量、提高零部件的集成度、降低零部件加工和装配成本、提高汽车设计的灵活性等。据估计，机动车辆每减重 10% 可以节省燃料 5.5%，相应地也可以减少废气

排放量。在汽车上使用镁合金零件可以提高汽车抗振及耐碰撞性能,改善汽车的刚度,提高废旧零部件的回收率,提高汽车的安全性和可操作性。在汽车工业中,变形镁合金板材可用于制备车身零部件,锻件可用于制备汽车底盘承载件。德国大众(奥迪)汽车公司开发了镁合金汽车覆盖件的热冲压成形技术,成功地加工出了汽车内门板。与钢门相比,采用内镁外铝的混合车门可减重50%,与铝门相比可减重20%。此外,从冲压性能角度考虑,镁合金板材冲压杯形件时在448K时的极限拉深比可达2.0,在498K时可达3.0,超过了钢板和铝板在室温下的极限拉深比(两者分别为2.2和2.6)。Volkswagen 1L新款样车的设计中使用了更多的镁合金,该车选用了镁合金管材作空心支架,碳纤维增强复合材料作覆盖件,与铝合金空心支架相比减重了13kg。

目前影响变形镁合金在汽车工业广泛应用的关键因素是缺少工业化的生产技术,未能很好地解决塑性变形能力差和腐蚀问题。另外,产品的价格偏高,质量稳定性也有待进一步提高。

1.1.2.3 变形镁合金在3C领域中的应用

随着现代电子技术的发展,对电子器件用结构材料及部件的性能提出了越来越高的要求。传统的塑料和铝材已逐渐难以满足电子器件轻、薄、小型化以及安全、环保的发展要求,从而变形镁合金成为制造电子器件壳体的理想材料。近十年来,世界上电子工业发达的国家,特别是日本和欧美一些国家在镁合金产品的开发方面开展了大量工作,并取得了重要进展。一大批重要的电子产品在使用镁合金后,取得了理想的效果。1998年以后日本所有的笔记本电脑厂商均推出镁合金外壳的机型,目前38cm以下的机种已全面使用镁合金作为外壳。我国的联想、华硕等笔记本电脑1999年也部分采用了镁合金外壳。采用镁合金制造相机的顶盖、前盖、反光镜箱和机身,提高了相机的刚度、精度和耐久度,并使得相机质量变轻、结构变小,且易于携带,目前主要用于数码相机的机壳制造。但是,这些产品大都采用压铸法制造,存在产品规格尺寸受限、力学性能差等局限。采用塑性加工技术生产该类产品的,不仅可提高产品性能和质量,还可提高生产效率。因此,变形镁合金在3C领域中具有广阔的应用前景。

鉴于变形镁合金塑性成形技术的限制,目前采用塑性成形的方法制造该类产品还只是处于实验室研究阶段,工业化生产尚未见报道。

1.1.2.4 变形镁合金在国防军工领域中的应用

国防军工领域很早就已开始应用变形镁合金产品。20世纪40年代开始采用变形镁合金制造装填器杆(挤压件)、航空火箭发射器(挤压件)、地面导弹发射器(挤压件)、T-31型20mm加农炮(挤压及铸造件)、SIG33 15cm枪托架(铸造和锻造件)等。随后,变形镁合金又被用于制造控制系统雷达(多种方法制造)、M113运输机地板(有花纹的金属板)、M113壳体结构件(Mg-Li合金板材)和底板炮手站台(挤压件)、M116运输机仓顶拱部件和底板(挤压件和板材)、迫击炮基板(锻件)、XM102 105mm榴弹炮炮架架尾(板材)、民兵导弹牵引车(板材和挤压件)、野外保养隐蔽所和直升机部件(挤压件)等。20世纪80年代以后,为了实现武器轻量化,镁合金在军事领域中的应用进一步扩大。

1.1.2.5 变形镁合金在其他领域中的应用

在办公、家用和体育用品方面,由于经过塑性变形后的镁合金产品具有高的强度和刚

度,以及轻巧、美观、可回收等优点,可替代许多塑料制品,成为近年来变形镁合金材料不可忽视的一个应用领域。在办公设备方面,变形镁合金用于制备铅笔刀(挤压件)、打印机卷轴(挤压件)、磁带卷轴(板材及挤压件)、记录磁盘(板材)等。此外,变形镁合金还被应用于电力工业、家庭消费品、家具、车床设备、办公室设备、光学设备、运动器械和医疗器械等众多领域,应用非常广泛。

在工具方面,镁合金锻件可以作为钳子和扳手的把手,也可以作为固定扳手、棘轮扳手、轻便的工具等。

在家庭消费品方面,镁合金被用于制造手提箱(板材和挤压件)、公文袋(挤压件)、梯子(挤压件)、折叠椅(挤压件)、化妆品罐、打火机外壳、安全帽等。

在运动器械方面,采用镁材的零部件有淡水用独木舟和船体(板材和挤压件)、背包架(挤压件)。与一般铝合金相比,采用高强度镁合金材料制成的网球拍、弓箭手柄具有更好的抗拉、抗扭强度及耐疲劳极限。

在自行车领域,由于镁合金密度小、比强度高、耐冲击、阻尼性好,制造的自行车轻便、舒适。镁合金自行车车架仅重 1.4kg,整车重 4kg。目前已开发出符合 ASTM B107 规范要求的镁合金管材和棒材,成品车有镁合金登山车、折叠车、轮椅车,零件有曲柄、竖管、夹器、车圈和车架附件。

1.2 变形镁合金的牌号和分类

1.2.1 变形镁合金的牌号

镁合金牌号的表示方法有多种,国际上最常用的是美国 ASTM 标准。按 ASTM 规定:镁合金名称由字母-数字-字母三部分组成,第一部分由两个代表主要合金元素的字母组成,字母的顺序按在实际合金中含量的多少排列,含量高的化学元素在前,如果两种元素的含量相同,则按英文字母的先后顺序排列;第二部分由代表两种主要合金元素在合金中含量的数字组成,表示该元素在合金中的名义成分,用质量分数表示,四舍五入到最接近的整数;第三部分由指定的字母如 A、B、C 和 D 等组成,表示合金发展的不同阶段,大多数情况下,该字母表征合金的纯度,区分具有相同名称、不同化学组成的合金,“X”表示该合金仍是实验性的。例如,AZ91D 表示合金 Mg-9Al-1Zn,但该合金的实际化学成分中含铝 8.3%~9.7%、含锌 0.40%~1.0%;该合金中,A 代表铝,Z 代表锌,铝和锌的含量经四舍五入后分别为 9%和 1%,D 表示是第四种登记的具有这种标准组成的镁合金。ASTM 标准中镁合金牌号中的字母所代表的合金元素见表 1-1。

ASTM 镁合金命名法中还包括表示镁合金性质的代码系统,通常在镁合金牌号后加一横杠,接着由一个字母和一位或两位数字组成。如 AZ91D-F 表示铸态 Mg-Al-Zn 合金。镁合金牌号中的性质代码见表 1-2。

中国在变形镁及镁合金牌号的表示方面有新、旧两种牌号,旧的牌号为 GB/T 5153—1985,新的牌号为 GB/T 5153—2003,新的牌号规定镁合金名称也由字母-数字-字母三部分组成。由于目前我国许多企业还在使用国外标准或中国的旧标准,故本书中主要采用旧的国内牌号。国内新、旧牌号的对照见表 1-3。

表 1-1 镁合金牌号中的元素代码

英文字母	元素符号	中文名称	英文字母	元素符号	中文名称
A	Al	铝	M	Mn	锰
B	Bi	铋	N	Ni	镍
C	Cu	铜	P	Pb	铅
D	Cd	镉	Q	Ag	银
E	RE	混合稀土	R	Cr	铬
F	Fe	铁	S	Si	硅
G	Mg	镁	T	Sn	锡
H	Th	钍	W	Y	钇
K	Zr	锆	Y	Sb	锑
L	Li	锂	Z	Zn	锌

表 1-2 镁合金牌号中的性质代码

代码			性质	代码			性质
一般分类	F		铸态	T 细 分	T1		冷却后自然时效
	O		退火、再结晶(对锻制产品而言)		T2		退火态(仅指铸件)
	H		应变硬化		T3		固溶处理后冷加工
	T		热处理获得不同于 F、O 和 H 的稳定性质		T4		固溶处理
	W		固溶处理(性质不稳定)		T5		冷却和人工时效
H 细分	H1		应变硬化		T6		固溶处理和人工时效
	H2		应变硬化和部分退火		T61		热水中淬火和人工时效
	H3		应变硬化后稳定化		T7		固溶处理和稳定化处理
					T8		固溶处理、冷加工和人工时效
					T9		固溶处理、人工时效和冷加工
					T10		冷却、人工时效和冷加工

表 1-3 中国新、旧镁合金牌号对照表

新牌号	M2M	AZ40M	AZ41M	AZ61M	AZ62M	AZ80M	ME20M	ZK61M	Mg99.50	Mg99.00
旧牌号	MB1	MB2	MB3	MB5	MB6	MB7	MB8	MB15	Mg1	Mg2

我国变形镁合金的旧牌号由两个汉语拼音和阿拉伯数字组成，牌号中阿拉伯数字表示合金名称相同、化学成分不同的合金。例如，MB1、MB2 分别表示 1 号、2 号变形镁合金。目前国内的变形镁合金牌号主要有 MB1、MB2、MB3、MB4、MB5、MB6、MB7、MB8、MB11、MB14、MB15、MB22、MB25 等。表 1-4 列出了国内主要变形镁合金的牌号和化学成分。表 1-5 给出了 MB22 和 MB25 变形镁合金的化学成分。MB22 为镁-钇-锌-锆系热强变形镁合金，MB25 为镁-锌-锆-钇系变形镁合金。

1.2.2 变形镁合金的分类

变形镁合金的分类依据一般有两种：合金化学成分和是否可热处理强化。按化学成分变形镁合金主要可分为以下几类。

1) 镁-锂系合金

该合金系的美国牌号主要有 LA141A、LS141A，是迄今为止最轻的金属结构材料。在镁中加入锂元素，可使镁的性质发生特殊的改变，随着锂含量的增加，合金的密度降低，塑性增加。Mg-Li 合金主要应用于航空和民用领域，如计算机壳体材料、环形组件的外罩、加速箱箱体材料和导弹发射装置上部分瞄准装置材料、人造卫星及航空器部件。

表 1-4 国内主要变形镁合金的牌号及化学成分 (摘自 GB/T 5153—1985)

合金代号	主要成分(质量分数)/%						杂质(质量分数)(不高于)/%							
	Al	Mn	Zn	Ce	Zr	Mg	Al	Cu	Ni	Zn	Si	Be	Fe	其他杂质
变形镁合金 (YB627-66)														
一号镁合金 MB1	—	1.3~ 2.5	—	—	—	余量	0.3	0.05	0.01	0.3	0.15	0.02	0.05	0.2
二号镁合金 MB2	3.0~ 4.0	0.15~ 0.5	0.2~ 0.8	—	—	余量	—	0.05	0.005	—	0.15	0.02	0.05	0.3
三号镁合金 MB3	3.5~ 4.5	0.3~ 0.6	0.8~ 1.4	—	—	余量	—	0.05	0.005	—	0.15	0.02	0.05	0.3
五号镁合金 MB5	5.5~ 7.0	0.15~ 0.5	0.5~ 1.5	—	—	余量	—	0.05	0.005	—	0.15	0.02	0.05	0.3
六号镁合金 MB6	5.0~ 7.0	0.2~ 0.5	2.0~ 3.0	—	—	余量	—	0.05	0.005	—	0.15	0.02	0.05	0.3
七号镁合金 MB7	7.8~ 9.2	0.15~ 0.5	0.2~ 0.8	—	—	余量	—	0.05	0.005	—	0.15	0.02	0.05	0.3
八号镁合金 MB8	—	1.5~ 2.5	—	0.15~ 0.35	—	余量	0.3	0.05	0.01	0.3	0.15	0.02	0.05	0.3
十五号镁合金 MB15	—	—	5.0~ 6.0	—	0.3~ 0.9	余量	0.05	0.05	0.005	0.1 (Mn)	0.05	0.02	0.05	0.3

表 1-5 MB22 和 MB25 两种变形镁合金的化学成分

合金名称		合金牌号	技术标准	元素含量(质量分数)/%						
				Y	Zn	Zr	Mg			
二十二号镁合金		MB22	LTJ 401—1984	2.9~3.5	1.2~1.6	0.45~0.8	余量			
二十五号镁合金		MB25	Q/6S333—1983	0.7~1.7	5.5~6.4	≥0.45	余量			
杂质含量(质量分数)(不大于)/%										
Cu	Fe	Si	Ni	K	Na	Ca	Mn	Be	Al	其他
0.01	0.01	0.01	0.005	0.2	0.05	0.02	—	—	—	—
0.05	0.05	0.05	0.005	—	—	—	0.1	0.02	0.05	0.2

2) 镁-锰系合金

该合金系的美国牌号主要包括 M1、ZM21、ZM31 等，国内牌号有 MB1、MB8 等。该类合金具有较高的耐腐蚀性能，无应力腐蚀倾向，焊接性能良好。可以加工成各种不同规格的管、棒、型材和锻件，其板件可用于飞机蒙皮、壁板及内部构件，模锻件可制作外形复杂构件，管材多用于汽油、润滑油等要求抗腐蚀性的管路系统。

3) 镁-铝-锌-锰系合金

该合金系的美国牌号主要包括 AZ31、AZ61、AZ63、AZ80 等，国内牌号主要有 MB2、MB3、MB5 等。此类合金具有较好的室温力学性能和良好的焊接性能，可制成形状复杂的锻件和模锻件，用于制造飞机内部构件、舱门、壁板及导弹蒙皮等。

4) 镁-锌-锆系合金

该合金系的美国牌号主要包括 ZK60、ZK61 等，国内牌号主要有 MB15、MB18、MB21、MB22、MB25，除 MB15 以外，其余可归为试验合金，也可归为含稀土镁合金。