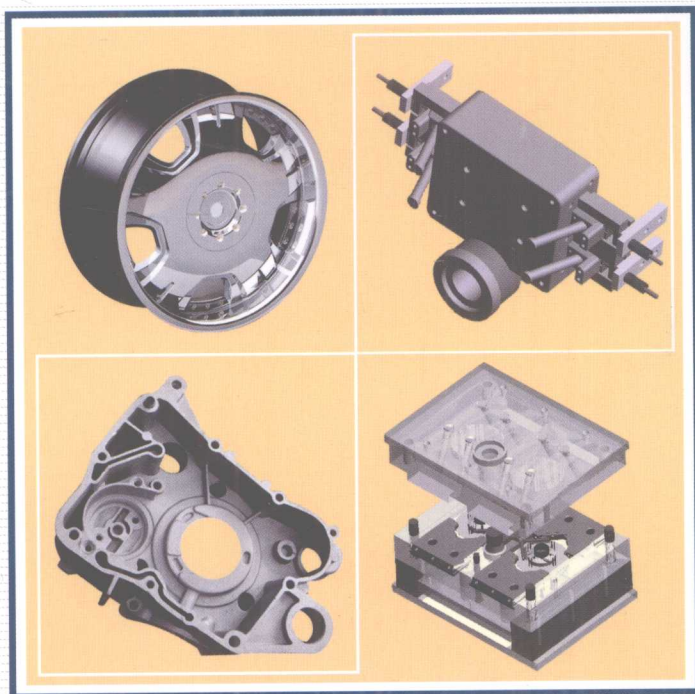


普通高等教育“十一五”规划教材

# 锻造与压铸模

吕野楠 主编



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

普通高等教育“十五”规划教材

本书是教育部“十五”规划教材... 锻造与压铸模... 吕野楠主编

# 锻造与压铸模

吕野楠 主编

图书在版编目(CIP)数据

锻造与压铸模 / 吕野楠主编. —北京: 国防工业出版社, 2001.

ISBN 7-118-0009-9

Ⅰ. 锻... Ⅱ. 吕... Ⅲ. ①锻造—高等学校—教材 ②压铸—高等学校—教材

ISBN 7-118-0009-9

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第16530号

国防工业出版社 地址: 北京215信箱 邮编: 100048

发行部电话: (010) 8841424

国防工业出版社

北京市海淀区中关村南路57号 邮编: 100048

发行部电话: (010) 8841424

发行部电话: (010) 8841424

本书287×1092 1/16 印张15.1 字数328千字

2001年1月第1次印刷 印数1—4000册 定价24.00元

## 国防工业出版社

发行部电话: (010) 8841424

发行部电话: (010) 8841424

发行部电话: (010) 8841424

## “十二五”普通高等教育

# 内容简介

本书从实用角度出发,主要讲解锻造与压铸成形工艺的基础知识,重点介绍压铸模具的设计方法。锻造工艺篇,系统全面介绍了锻造成形工艺及典型的成形方法,主要包括:锻前准备、自由锻造工艺、锤上模锻、特种锻造工艺;压铸工艺及压铸模具设计篇,系统全面介绍了压铸成形基础、压铸模设计、压铸模材料与压铸机等主要内容。本书重点内容是自由锻造工艺与压铸模设计。本教材力求深入浅出,多加入实例,使实践经验融入理论教学,为模具设计专业学生扩展知识面提供理论帮助。

本书可作为普通高等学校、高职院校相关专业教材,也可作为职工培训、自学教材,对从事模具设计、材料成形等相关行业的技术人员也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

锻造与压铸模/吕野楠主编. —北京:国防工业出版社,2009.1

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06009-6

I. 锻... II. 吕... III. ①锻造—高等学校—教材  
②压铸模—高等学校—教材 IV. TG31 TG241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 162200 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)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{1}{4}$  字数 279 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 24.00 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

京北 发行业务:(010)68472764

# 《锻造与压铸模》

## 编委会

主 编 吕野楠

副主编 丁 韧 张 宇

编 委 牛卉原 高显宏 王雁彬

主 审 孙 红

## 《前言》

会委编

按照现代模具技术人员必须具备的成形工艺及模具设计技术和能力的培养目标要求,本书根据当前高职高专教育的特点,遵循理论联系实际,体现实用性、综合性原则,认真总结和充分吸收企业的成功经验,汲取了国内同类教材的精华编写而成。参考学时数为40学时~60学时。

本书有以下特点。

1. 将锻造工艺、压铸成形原理和压铸模具设计等关联内容进行有机融合、优化,以适应高职高专教学改革的需要。
2. 以培养应用型人才为目标,贯彻高职高专教育基础理论“以应用为目的”,以“必须、够用为度”的原则,精选内容,突出实用性,体现高职高专教育的特色。
3. 采用国际单位制,尽量采用已正式颁布的最新国家标准和有关的技术规范、数据。
4. 每个章节都配有一定量的思考题,以深化教学内容,注重联系生产实际,加强应用理论知识解决实际问题能力的训练。

参加本书编写工作的有吕野楠(第0章、第5章、第6章),丁韧(第1章、第2章),张宇(第3章),牛卉原(第7章),高显宏、王雁彬(第4章)。本书由吕野楠任主编,丁韧、张宇任副主编。孙红任主审。

本书在编写过程中,得到了沈阳飞机工业(集团)有限公司、沈阳一一七厂、南昌航空大学、辽宁省交通高等专科学校、沈阳装备制造学校等企业及院校的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。本书编写过程中参考了一些国内同类著作,在此特向有关作者致谢。

本书可作为普通高等学校、高职院校相关专业教材,也可作为职工培训、自学教材,对从事模具设计、材料成形等技术人员也有重要的参考价值。

由于编者水平有限,难免有不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者



# 目 录

## 第一篇 锻造工艺

第0章 绪论	1
0.1 压力铸造技术与压铸模	1
0.2 锻造技术与锻模	2
0.3 模具技术的发展方向	2
0.4 锻造加工金属零件的优势	3
0.5 锻造方法分类及锻件应用范围	4
第1章 锻前准备	6
1.1 锻造用材料	6
1.1.1 钢锭的内部结构	6
1.1.2 大型钢锭的主要缺陷	6
1.1.3 型材的常见缺陷	7
1.2 下料方法	8
1.2.1 剪切法	8
1.2.2 冷折法	11
1.2.3 锯切法	11
1.2.4 砂轮片切割法	11
1.2.5 气割法	12
1.2.6 其他下料方法	12
1.3 锻前加热	13
1.3.1 锻前加热的目的及方法	13
1.3.2 金属锻造温度范围的确定	16
思考题	19
第2章 自由锻造工艺	20
2.1 概述	20
2.2 自由锻造工序及锻件分类	21
2.2.1 自由锻造工序	21
2.2.2 自由锻件分类	23

2.3	自由锻造基本工序分析	26
2.3.1	锻粗	27
2.3.2	拔长	31
2.3.3	冲孔	42
2.3.4	扩孔	45
2.3.5	弯曲	47
2.3.6	错移	48
	思考题	49
<b>第3章</b>	<b>锤上模锻</b>	<b>50</b>
3.1	锤上模锻特点及应用范围	50
3.2	锤上模锻方式与变形特征	51
3.2.1	开式模锻	52
3.2.2	闭式模锻	54
3.3	模锻件分类	56
	思考题	58
<b>第4章</b>	<b>特种锻造工艺</b>	<b>59</b>
4.1	摆动辗压	59
4.1.1	摆动辗压的工作原理	59
4.1.2	摆动辗压的特点	60
4.1.3	摆动辗压的分类与应用范围	61
4.1.4	摆动辗压工艺实例	61
4.2	旋转锻造	62
4.2.1	旋转锻造原理及工艺特点	62
4.2.2	旋转锻造工艺方法分类	64
4.2.3	旋转锻造工艺实例	65
4.3	液态模锻	65
4.4	等温(热模)锻造	70
4.4.1	等温锻与热模锻原理	71
4.4.2	等温锻造分类	71
4.4.3	等温锻造的工艺特点	72
4.4.4	等温锻件与模具设计的一般原则	74
4.5	辊锻	77
4.5.1	辊锻工艺的分类及特点	77
4.5.2	辊锻的基本原理	78
4.5.3	辊锻工艺与模具设计	79

思考题	81
<b>第二篇 压铸工艺及压铸模具设计</b>	
<b>第5章 压铸成形基础</b>	<b>82</b>
5.1 金属成形技术	82
5.1.1 金属液态成形技术	82
5.1.2 压铸成形在工业生产中的重要地位	83
5.2 压铸成形基础	84
5.2.1 压铸的基本原理与工艺过程	84
5.2.2 金属液充填铸型的特点	87
5.2.3 压铸成形的优缺点	89
5.2.4 压铸件的结构工艺性	89
5.2.5 压铸合金及其性能简介	94
5.3 压铸工艺参数	96
5.3.1 压力	96
5.3.2 速度	99
5.3.3 时间	101
5.3.4 温度	103
5.3.5 压铸涂料	105
思考题	107
<b>第6章 压铸模设计</b>	<b>108</b>
6.1 压铸模的结构组成	108
6.2 压铸模零部件设计	109
6.2.1 分型面及其选择	109
6.2.2 成形零部件的结构设计	112
6.2.3 成形零件工作尺寸计算	118
6.2.4 结构零件的设计	122
6.3 浇注系统和排溢系统的设计	128
6.3.1 浇注系统的组成	128
6.3.2 内浇口的分类与设计	129
6.3.3 横浇道设计	133
6.3.4 直浇道	134
6.3.5 排溢系统的设计	140
6.4 侧向分型与抽芯机构的设计	144
6.4.1 侧向抽芯机构的分类及组成	145



118	6.4.2	抽芯力与抽芯距的确定	146
	6.4.3	斜导柱侧向抽芯机构	147
	6.4.4	弯销侧向抽芯机构	153
	6.4.5	斜滑块侧向抽芯机构	156
58	6.4.6	齿轮齿条侧向抽芯机构	157
58	6.4.7	液压侧向抽芯机构	159
58	6.5	推出机构设计	161
58	6.5.1	推出机构的组成和分类	161
58	6.5.2	脱模力的确定	162
48	6.5.3	常用推出机构	162
48	6.5.4	其他推出机构	166
78	6.6	加热与冷却系统设计	167
98	6.6.1	加热方法	167
98	6.6.2	冷却方法	168
40		思考题	171
98		<b>第7章 压铸模材料与压铸机</b>	172
98	7.1	压铸模常用材料	172
101	7.1.1	压铸模材料选择应注意的问题	172
101	7.1.2	压铸模主要零件的材料选用及热处理要求	172
102	7.1.3	压铸模成形零件的表面强化	173
101	7.2	压铸机及其选用	174
108	7.2.1	压铸机的结构与工作原理	174
801	7.2.2	压铸机的基本机构	177
901	7.2.3	压铸机的选用	179
109	7.3	国产压铸机型号及主要技术参数	185
109	7.3.1	热压室压铸机	185
111	7.3.2	卧式冷压室压铸机	186
118	7.3.3	立式冷压室压铸机	186
121		思考题	187
121		<b>参考文献</b>	188

# 第一篇 锻造工艺

## 第0章 绪论

在现代机械制造业中,模具工业已成为国民经济中一个非常重要的行业。许多新产品开发和生产在很大程度上依赖于模具的设计和制造技术,特别是在汽车、轻工、电子和航天等领域中尤为重要。模具设计与制造能力的强弱和水平的高低,已经成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志之一,它关系着产品质量和经济效益的提高,直接影响了国民经济中许多行业的发展。

### 0.1 压力铸造技术与压铸模

压力铸造技术是在普通铸造技术基础上发展起来的一种先进工艺,已有很长的发展历史。它是将熔融的液态金属注入压铸机的压室,通过压射冲头(活塞)的运动,使液态金属在高压作用下高速通过模具浇注系统并充填模具型腔,在压力下金属开始结晶,迅速冷却凝固成铸件。和普通铸件相比,压铸件内部组织致密,力学性能优良,尺寸精度高,表面质量好。压铸工艺在机械工业、航天工业、汽车制造业和日用轻工业中,都占有重要地位。

近年来,由于汽车和摩托车工业的迅速发展,推动了压铸件生产的发展。因而,在压铸模具结构的复杂程度、制造工艺、产品的外观质量和尺寸精度等方面,均有明显提高,已经基本上能够满足汽车、家电、轻工等工业压铸件的要求。汽车、摩托车上配套的铝合金压铸件大部分已实现了国产化。有些厂家已把 CAD/CAM 技术应用于压铸模型腔设计、型面造型与加工编程系统,广泛地采用了电火花和数控铣加工技术,保证了型腔尺寸的精度。在模具钢的选用方面,3Cr2W8V 已较少应用,而普遍采用 H13 和 ASSAB8407 等材料,并经热处理和表面氮化处理,大幅度提高了模具寿命。在设计模具时,注重解决热平衡问题,水平也有较大的提高。国内在 10000kN 以上大型压铸机的应用方面也有所发展,已开始采用了真空高压铸造技术及液态模锻技术。

压铸设备正向大型化、全自动化发展,卧式冷压室压铸机的锁模力达到 44000 kN,先进的压铸机的压铸性能可达到如下指标:慢压射速度在 0m/s~0.6m/s 无级可调,能实现匀速运动和等加速运动;快压射速度可超过 10m/s,能实现一级或多级速度段运动,控制精度达到 2%;建压时间最短可小于 30ms,慢压射转换到快压射的过渡时间小于 20ms;压射终了和增压终了时的压力冲击峰值小于 20%,具有压射终了时的制动减速功能;压射

比压在 60MPa~160MPa 无级可调,一次压射后的压力波动小于 15%。

我国的压铸模与国外相比仍有较大差距,反映在以下三个方面。

(1) 使用寿命。大中型铝合金压铸模的寿命,国外为 10 万次~15 万次,国内一般在 3 万次~8 万次,有时甚至不到 3 万次。

(2) 表面质量。国内的压铸件往往线条不清晰,水流纹不理想,表面粗糙度值也较大。与进口压铸件对比,差距明显。

(3) 使用可靠性。国产模具的使用可靠性不稳定,运转中故障较多,返修量大,单产量不如进口模具高。另外,大型汽车零件压铸模,国内基本上还不能自行制造,主要依赖于进口。铜合金和镁合金压铸模亦是薄弱环节。

## 0.2 锻造技术与锻模

锻造工艺不仅能合理利用金属的塑性,省时节能地获得产品的形状,而且还能改变金属的内部组织,提高原始金属本身的承载能力,进而收到节材的效果。锻压已不再是一种加工零件毛坯的手段,用它直接成形产品的实例越来越多,也越来越精密。

模锻工艺是在自由锻工艺基础上发展起来的一种先进工艺。它是将金属加热,使其具有较高的塑性,然后置于锻模模膛中,由锻造设备施加压力,使金属发生塑性变形并充填模膛,得到所需形状并符合技术要求的模锻件。与自由锻件相比,模锻件尺寸精度高、加工余量小、表面质量好,可提供形状复杂的毛坯。随着模锻件所占有的经济技术优势明显提高,锻模设计技术也日益得到重视。尤其是精密模锻工艺的应用,使模锻件少、无切屑加工成了现实,甚至可以使锻件不再机械加工。目前,已能够将精锻件的公差控制在 0.01mm~0.05mm,德国已将汽车传动用的十字轴、内外螺旋齿轮,实现了锻件不再机械加工的精密锻造。锻造用的坯料可以是粉末烧结件,也可以是喷射成形制坯,即铸锻复合工艺。铸锻复合工艺的半固态成形是一种既节能又可得到相对精密且性能好的工件的方法。另外,采用半固态成形又是一种低纤维复合材料与颗粒强化复合材料成形的好方法。

在经济发达国家中,模锻件平均占锻件总质量的 70% 以上,尤其是在先进的汽车制造业中,模锻件已占锻件总质量的 90%。近年来,我国锻造工艺和模锻技术也得到了重视和发展,模锻件占锻件总质量比例已达 50% 以上。但因为模具结构复杂、制作周期长、投入成本高,只有在经济发展到一定程度,产品占领了较大市场形成大批量生产的条件下,模具的优势才能得到充分的发挥。因此,模具在生产中所占比例,在某种意义上代表了个国家经济发展的水平,是工业发达程度的标志之一。

## 0.3 模具技术的发展方向

20 世纪 80 年代以来,我国的模具工业发展十分迅速,一直以每年约 15% 的增长速度发展。在过去的 10 余年间,我国的模具工业和模具技术得到了快速发展。但与工业发达国家相比仍存在较大差距,还不能完全满足国民经济高速发展的需要。模具技术的主要

发展方向包括以下几点。

(1) 提高大型、精密、复杂、长寿命模具的设计制造水平。目前,现代模具制造新技术、新工艺、新设备、新材料在模具制造中得到广泛推广和应用。数控加工技术、实型铸造技术、刃口堆焊技术日趋成熟。实型铸造技术是提高模具尺寸精度、减少模具加工余量、缩短模具制造周期的有效途径。

(2) 在模具设计制造中广泛应用 CAD/CAE/CAM 技术。目前,大型覆盖件模具生产厂家都已采用 CAD/CAM 技术,从产品设计到模具制造实现了一体化。产品造型、工艺成形等工作可在计算机上完成,从数控编程到数控加工实现了 DNC 加工,在计算机硬件和软件配备上也接近国际水平。例如,在 CAD 方面,UG、Pro/Engineer、I-DEAS、Euclid-IS 等著名软件在国内的模具工业中应用相当广泛。

(3) 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率。模具标准件在模具行业中得到广泛应用,特别是在缩短模具制造周期、提高质量和降低成本等方面作用显著。国内已有相当数量的模具标准件生产厂家。

模具标准件生产近年来有较大的发展,除了反映在标准件生产厂家有较多增加外,标准件品种也有所扩展。以往模具标准件主要是两大类:冷冲模架和注射模架,还有一些导向件(导柱、导套)、顶杆、杆管和模具弹簧类等,品种比较单一。

(4) 发展优质模具材料和先进的表面处理技术,进一步研究和开发模具的抛光技术和设备,特别是锻模和压铸模工作时与炽热金属接触时间长,要求更高的热硬性、导热性和抗热疲劳能力。基体钢是模具新钢种之一,它是在高速钢基体成分上调整合金及碳元素含量,使淬火后组织中过剩碳化物以过饱和状态溶于基体中的合金钢,它的疲劳强度和韧性都有较大提高,在挤压模中有广泛的作用。真空热处理和模具表面强化处理也能提高模具寿命。

(5) 大力发展快速制造原型和快速制造模具技术,研究和应用模具的快速成形技术、高速测量技术与逆向工程。相当多的生产厂家拥有大型的高精度三坐标测量机、快速成形机,并具有数字扫描功能。

(6) 开发新的成形工艺和模具,发展超塑性模具。在特定的内部条件(如组织和晶粒度)及外部条件(如变形温度和速度)下,在拉伸试验中金属的变形抗力大大降低,伸长率显著提高,这种现象称为超塑性。目前,已发现 150 多种金属能够显现超塑性效应。超塑性变形机理与普遍塑性变形机理有着明显的区别,在深入研究理论的同时,更应注重推广超塑性模具的应用。

## 0.4 锻造加工金属零件的优势

锻造是一种借助工具或模具在冲击或压力作用下加工金属机械零件或零件毛坯的方法。与其他加工方法相比,锻造加工生产率最高,锻件的形状、尺寸稳定性好,并有最佳的综合力学性能。锻件的最大优势是韧性高,纤维组织合理,件与件之间性能变化小;锻件的内部质量与加工历史有关,不会被任何一种金属加工工艺超过。图 0-1 所示为铸造、机械加工、锻造三种金属加工方法得到的零件低倍宏观流线。

锻件的优势是由于金属材料塑性变形后,消除了内部缺陷,如锻(焊)合空洞,压实疏



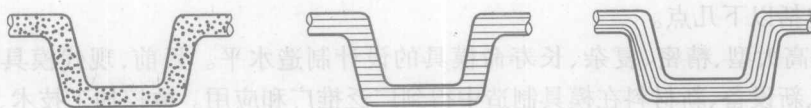


图 0-1 三种加工方法所得零件低倍宏观流线示意图

松,打碎碳化物、非金属夹杂并使其沿变形方向分布,改善或消除成分偏析等。而铸造工艺得到的铸件,尽管能获得较准确的尺寸和复杂的形状,但难以消除疏松、空洞、成分偏析、非金属夹杂等缺陷;虽然铸件的抗压强度高,但韧性不足,难以在受较大拉应力条件下使用。机械加工获得的零件,尺寸精度最高,表面光洁,但金属内部流线被切断,容易造成应力腐蚀,承载拉压交变应力的能力较差。

## 0.5 锻造方法分类及锻件应用范围

锻造是将金属坯料加热使其具有较高的塑性,然后放在锻造设备上,利用工具或模具对其施加压力,迫使其产生塑性变形,从而获得所需形状和尺寸的锻件。

锻造工艺根据使用工具和生产工艺的不同,可分为自由锻造、模锻造和特种锻造。

(1) 自由锻造。借助简单工具,如锤、砧、型砧、摔子、冲子、垫铁等对铸锭或棒材进行墩粗、拔长、弯曲、冲孔、扩孔等方式生产零件毛坯。加工余量大,生产效率低;锻件力学性能和表面质量受生产操作工人的影响大,不易保证,只适合单件或极小批量或大锻件的生产。不过,模锻造的制坯工步有时也采用自由锻造。

自由锻造设备根据锻件质量大小而选用空气锤、蒸气—空气锤或锻造水压机等。

(2) 模锻造。将坯料放入上、下模块的型槽(按零件形状尺寸加工)间,借助锻锤、压力或液压机产生的向下冲击或压力成形为锻件。模锻造件加工余量小,只需少量的机械加工(有的甚至不加工)。模锻造生产效率高,内部组织均匀,件与件之间的性能变化小,形状和尺寸由模具保证,受操作人员的影响较小。模锻造要借助模具,加大了投资,因此不适合单件和小批量生产。模锻造还常需要配置自由锻造或辊锻设备制坯,尤其是曲柄压力机和液压机上模锻造。

模锻造常用的设备主要是模锻锤、曲柄压力机、模锻液压机等。

(3) 特种锻造。有些零件采用专用设备可以大幅度提高生产率,锻件的各种要求(如尺寸、形状、性能等)也可以得到很好的保证。如螺钉,采用墩头机和搓丝机,生产效率成倍增长。利用摆动辗压生产盘形件或杯形件,可以节省设备吨位,即用小设备干大活。利用旋转锻造生产棒材,其表面质量高,生产效率也较其他设备高,操作也方便。特种锻造有一定的局限性,特种锻造机械只能生产某一类型产品,因此适合于生产批量大的零配件。

锻造工艺在锻件生产中起着重大作用。工艺流程不同,得到的锻件质量(指形状、尺寸精度、力学性能、流线等)有很大的差别,使用设备类型、吨位也相去甚远。工艺流程的安排是否合理,不仅影响锻件的质量,还影响生产成本;合理的工艺流程应该是得到的锻件质量最好,成本最低,操作方便、简单,而且能充分发挥出材料的潜力。

锻件应用的范围很广,几乎所有运动的重大受力构件都由锻造成形,不过推动锻造



(特别是模锻)技术发展的最大动力是来自汽车制造业和航空制造业。锻件尺寸、质量越来越大,形状越来越复杂、精细,锻造的材料日益广泛,锻造的难度更大。由于现代重型工业、交通运输业对产品追求的目标是长的使用寿命,高度的可靠性,如航空发动机,推重比越来越大,一些重要的受力构件,如涡轮盘、轴及压气机叶片、盘、轴等,使用温度范围变得更宽,工作环境更苛刻,受力状态更复杂而且受力急剧增大。这就要求承力零件有更高的抗拉强度、疲劳强度、蠕变强度和断裂韧性。

随着科技的进步,工业化程度的日益提高,要求锻件的数量逐年增长。目前,全世界仅钢模锻件的年产量就在 1000 万 t 以上。

锻件的生产工艺过程包括:原材料选择、锻造工艺制定、锻造实施、锻后热处理、检验等。其中,锻造工艺制定是核心环节,需要根据锻件的形状、尺寸、材料、性能要求等因素,综合考虑锻造温度、速度、变形量等,制定合理的锻造工艺。此外,锻后热处理也是影响锻件性能的关键因素,需要根据锻件的化学成分、组织状态等,选择合适的热处理工艺,以获得所需的力学性能。

### 1.1.1 锻件内部的缺陷

锻件在锻造过程中,由于受到不均匀的加热、冷却、变形等因素,内部会产生各种缺陷,如裂纹、气孔、夹杂物等。这些缺陷会降低锻件的力学性能,甚至导致锻件在使用过程中发生断裂。因此,在锻件的生产过程中,必须严格控制工艺参数,并采取有效的措施,防止缺陷的产生。

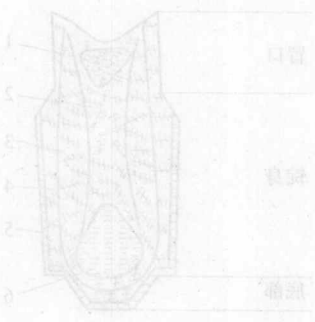


图 1-1 锻件内部的缺陷  
1-1 裂纹; 2-2 气孔; 3-3 夹杂物; 4-4 缩孔

锻件内部的缺陷主要分为三类:裂纹、气孔和夹杂物。裂纹是由于锻件在锻造过程中受到不均匀的加热、冷却、变形等因素,导致内部产生应力集中,从而形成的。气孔是由于锻件在锻造过程中,由于加热不均匀,导致内部产生气体,从而形成的。夹杂物是由于锻件在锻造过程中,由于原材料中含有杂质,或者在锻造过程中,由于工艺控制不当,导致内部产生夹杂物,从而形成的。这些缺陷会降低锻件的力学性能,甚至导致锻件在使用过程中发生断裂。因此,在锻件的生产过程中,必须严格控制工艺参数,并采取有效的措施,防止缺陷的产生。

### 1.1.2 大型锻件的主要缺陷

大型锻件在生产过程中,由于受到不均匀的加热、冷却、变形等因素,内部会产生各种缺陷,如裂纹、气孔、夹杂物等。这些缺陷会降低锻件的力学性能,甚至导致锻件在使用过程中发生断裂。因此,在大型锻件的生产过程中,必须严格控制工艺参数,并采取有效的措施,防止缺陷的产生。此外,锻后热处理也是影响锻件性能的关键因素,需要根据锻件的化学成分、组织状态等,选择合适的热处理工艺,以获得所需的力学性能。

# 第1章 锻前准备

## 1.1 锻造用材料

锻造用材料准备,主要包含两项内容:一是选材;二是按锻件大小切成一定长度的毛坯。锻造用原材料可分为锻造用钢和锻造用有色金属。锻造用钢按加工状态分为钢锭、轧材、挤压棒材和锻坯等。大型锻件和某些合金钢的锻造一般直接用钢锭锻制,中小型锻件一般用轧材、挤压棒材和锻坯生产。

模锻件的质量除与原材料有关外,还与锻造工艺有关,因此,为便于进行锻件质量分析,对所加工的坯料首先应有所了解。

### 1.1.1 钢锭的内部结构

钢锭内部组织结构,取决于浇注时钢液在锭模内的结晶条件,即结晶热力学和动力学条件。钢液在钢锭内各处的冷却与传热条件很不均匀,钢液由模壁向锭心、由底部向冒口逐渐冷凝选择结晶,从而造成钢锭的结晶组织、化学成分及夹杂物分布不均。从钢锭纵剖面结构示意图1-1可知,钢锭表层为细小等轴结晶区(亦称激冷区),向里为柱状结晶区,再往里为倾斜树枝状结晶区,心部为粗大等轴结晶区。由于选择结晶的缘故,心部上端聚集着轻质夹杂物和气体,并形成巨大的收缩孔,其周围还产生严重疏松。心部底端为沉积区,含有密度较大的夹杂物或合金元素。因此,钢锭的内部缺陷主要集中在冒口、底部及中心部分,其中冒口和底部作为废料应予以切除。如切除不彻底,就会遗留在锻件内部而使锻件成为废品。钢锭底部和冒口占钢锭质量的5%~7%和18%~25%。对于合金钢,切除的冒口占钢锭的25%~30%,底部占7%~10%。

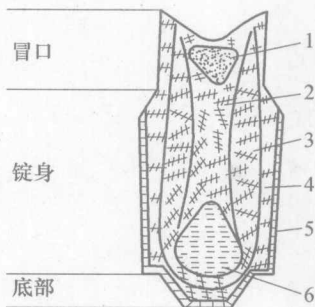


图1-1 钢锭纵剖面组织结构  
1—冒口缩孔; 2—等轴粗晶区;  
3—倾斜柱晶区; 4—柱晶区;  
5—激冷区; 6—底部沉积区。

### 1.1.2 大型钢锭的主要缺陷

钢锭的常见缺陷有偏析、夹杂、气体、气泡、缩孔、疏松、裂纹和溅疤等。这些缺陷的形成与冶炼、浇注和结晶过程密切相关,并且不可避免。钢锭越大,缺陷越严重,往往是造成大型锻件报废的主要原因。为此,应当了解钢锭内部缺陷的性质、特征和分布规律,以便在锻造时选择合适的钢锭,制定合理的锻造工艺规范,并在锻造过程中消除内部缺陷和改善锻件的内部质量。

### 1.1.3 型材的常见缺陷

铸锭经过轧制、挤压或锻造加工后,组织结构得到改善,性能相应提高。通常,变形越充分,残存的铸造缺陷就越少,材料质量提高的幅度也越大。但在轧、挤、锻过程中,材料有可能产生新的缺陷。常见的缺陷如下。

(1) 划痕(划伤)。金属在轧制过程中,由于各种意外原因在其表面划出伤痕,深度常达 $0.2\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 。

(2) 折叠。轧制时,轧材表面金属被翻入内层并被拉长,折缝内由于有氧化物而不能被锻合,结果形成折叠。

(3) 发裂。钢锭皮下气泡被轧扁、拉长、破裂形成发状裂纹,深度为 $0.5\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ 。在高碳钢和合金钢中容易产生这种缺陷。

(4) 结疤。浇注时,钢液飞溅而凝固在钢锭表面,在轧制过程中被辗轧成薄膜而附于轧材表面,其厚度约为 $1.5\text{mm}$ 。

(5) 碳化物偏析。通常在含碳量高的合金钢中容易出现这种缺陷。其原因是钢中的莱氏体共晶碳化物和二次网状碳化物在开坯和轧制时未被打碎和不均匀分布所造成的。碳化物偏析会降低钢的锻造性能,容易引起锻件开裂,热处理淬火时容易局部过热、过烧和淬裂,制成的刀具在使用时刃口易崩裂。为了消除碳化物偏析所引起的不良影响,最有效的办法是采用反复镦一拔工艺,彻底打碎碳化物,使其均匀分布,并为其后的热处理做好组织准备。

(6) 白点。白点是隐藏在钢坯内部的一种缺陷。它在钢坯的纵向断口上呈圆形或椭圆形的银白色斑点,在横向断口上呈细小裂纹,显著降低钢的韧性。白点的大小不一,长度由 $1\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 不等或更长。一般认为,白点是由于钢中存在一定量的氢和各种内应力(组织应力、温度应力、塑性变形后的残余应力等),并在其共同作用下产生的。当钢中含氢量较多和热压力加工后冷却太快时容易产生白点。

氢在钢中的溶解度是随温度下降而减小的,氢来不及逸出钢坯时,将聚集在钢中空隙处而结合成分子状态的氢,并形成巨大压力,导致产生白点。对钢锭来说,由于其内部有许多空隙,所析出的氢不会形成很大的压力,故对白点不敏感。铁素体钢和奥氏体钢因冷却时无相变发生,也不易形成白点。氢在莱氏体钢中能形成稳定的氢化物且由于复杂碳化物的阻碍,也不产生白点。尺寸较大的珠光体钢坯、马氏体钢坯,则容易形成白点。

为避免产生白点,首先应提高钢的冶炼质量,尽可能降低氢的含量;其次在热加工后采用缓慢冷却的方法,让氢充分逸出和减小各种内应力。

(7) 非金属夹杂。在钢中,通常存在着硅酸盐、硫化物和氧化物等非金属夹杂物,这些夹杂物在轧制时被辗轧成条带状。夹杂物破坏了基体金属的连续性,严重时会引起锻造开裂。

(8) 粗晶环。铝合金、镁合金挤压棒材,在其横断面的外层环形区域,常出现粗大晶粒,故称为粗晶环。粗晶环的产生原因与很多因素有关,其中主要是由于挤压过程中金属与挤压筒之间的摩擦过大,表层温降过快,破碎的晶粒未能再结晶,在其后淬火加热时再结晶合并长大所致。有粗晶环的棒料,锻造时容易开裂,如粗晶环留在锻件表层,将会降低锻件的性能。因此,锻造前通常需将粗晶环车去。

由以上所述可知,划痕、折叠、发裂、结疤和粗晶环等均属于材料表面缺陷,锻前应去除,以免在锻造过程中继续扩展或残留在锻件表面上,降低锻件质量或导致锻件报废。

碳化物偏析、非金属夹杂、白点等属于材料内部缺陷,严重时将显著降低锻造性能和锻件质量。因此,在锻造前应加强质量检验,不合格材料不应投入生产。

## 1.2 下料方法

原材料在锻造之前,一般需按锻件大小和锻造工艺要求分割成具有一定尺寸的单个坯料。当以铸锭为原材料时,由于其内部组织、成分不均匀,通常要用自由锻方法进行开坯,然后以剁割方式将锭料两端切除,并按一定尺寸将坯料分割开来。当以轧料、挤压棒材和锻坯为原材料时,其下料工作一般在锻工车间的下料工段进行。常用的下料方法有剪切法、冷折法、锯切法、砂轮切割法、气割法和车削法等,视材料性质、尺寸大小和对下料质量的要求进行选择。

### 1.2.1 剪切法

剪切下料生产率高、操作简单、切口无金属损耗,因而得到广泛应用。剪切下料通常是在专用剪床上进行,也可以借助剪切模具在一般曲柄压力机、液压机和锻锤上进行。

图 1-2 所示为剪切下料的工作原理。它是通过一对刀片作用给坯料以一定的压力  $P$ ,在坯料内部产生剪断所需应力而实现的。由于两刀片上的作用力  $P$  不在同一垂直线上,因而产生力矩  $P \cdot a$ ,使坯料发生倾转,此力矩被另一力矩  $T \cdot b$  所平衡。为防止倾转过大而造成倾斜剪切,常采用压板施加压紧力  $Q$ ,以减小坯料的倾角  $\varphi$ 。

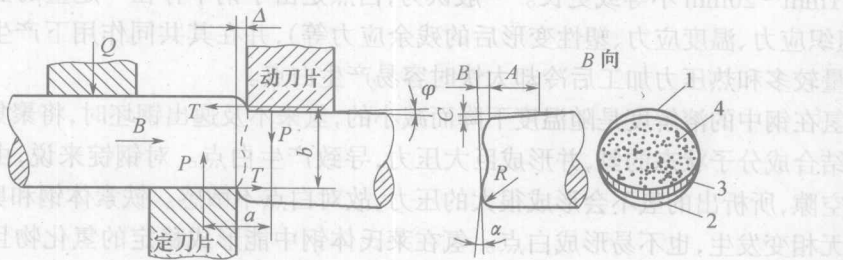


图 1-2 剪切下料示意图

1—压缩区; 2—拉缩区; 3—塑剪区; 4—断裂区。

剪切下料过程可分为三个阶段,如图 1-3 所示。剪切第一阶段,刀刃压进棒料,塑性变形区不大,由于加工硬化的作用,刃口端处首先出现裂纹。剪切第二阶段,裂纹随刀刃的深入而继续扩展。剪切第三阶段,在刀刃的压力作用下,上下裂纹间的金属被拉断,造成 S 形断面。

剪切下料方法的缺点如下。

- (1) 坯料局部被压扁。
- (2) 坯料端面不平整。
- (3) 剪切面常有毛刺和裂纹。