

主编 姚泽坤

Materials Science

高等学校教材·材料科学与工程

锻造工艺学与模具设计

(第3版)

MATERIALS
SCIENCE &
ENGINEERING
TEXTBOOKS
FOR
HIGHER
EDUCATION

西北工业大学出版社

高等学校教材·材料科学与工程

锻造工艺学与模具设计

(第3版)

姚泽坤 主编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书系统地介绍了在不同打击速度的锻压设备（锤、曲柄压力机、螺旋压力机、液压机）上生产锻件的工艺过程及模具设计等。其内容以锤上模锻工艺及模具设计为主线，同时还介绍了下料、加热、自由锻、锻后处理方法等。此外，对锻模计算机辅助设计（CAD）做了简单介绍。

本书可作为高等院校金属材料塑性加工专业的教材，亦可供工厂和研究所有关工程、科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锻造工艺学与模具设计/姚泽坤主编. —西安:西北工业大学出版社, 2013. 7
ISBN 978 - 7 - 5612 - 3727 - 4

I. ①锻… II. ①姚… III. ①锻造—工艺学 ②锻造—工艺学②锻模—设计
IV. ①TG316②TG315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169078 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:22

字 数:530 千字

版 次:2013 年 8 月第 3 版 2013 年 8 月第 6 次印刷

定 价:38.00 元

前 言

锻造工艺学是研究金属材料体积成形原理、方法和质量控制的技术科学。自 20 世纪 80 年代实行改革、开放以来,锻造工业和其他工业一样得到了较快发展。锻造技术、应用基础理论的研究工作异常活跃,许多新材料不断涌现,新的锻造工艺、技术日益完善。为了反映十多年来锻造学科的发展,我们对《锻造工艺学与模具设计》(第 2 版)进行了修订。

全书共分 11 章,内容以金属材料锻造过程为主线,按设备类型设立章节,重点叙述了自由锻、锤上模锻锻件的设计,变形工步的拟订以及锤用锻模的设计,锻模的延寿途径等。书中将液压机上模锻单设一章,是考虑到等温模锻技术已成为大型锻件和难变形材料的主要成形方法之一,其内容还要不断扩充。

本书的编写分工如下:第一、九章由西北工业大学王敏编写;第二章和第十章的第七、八节由西北工业大学郭鸿镇编写;第三章和第十章的第三、四节由南昌航空工业学院王家宣编写;绪论,第四章、第八章和第十章的第二节由西北工业大学姚泽坤编写;第五、七章和第十章的第五、六节由西北工业大学傅增祥编写;第六、十一章和第十章的第一节由南昌航空工业学院王高潮编写。全书由姚泽坤任主编,并负责统稿,进行校核。西安交通大学陈金德教授审阅了全书,在此表示衷心的感谢。

讲授本书内容时,各校可根据具体情况选择主要部分(如第二、三、四、九章),第三章的第五节和第八、十、十一章可作简单介绍或自学。

由于学术水平所限,书中不足难以避免,恳请读者不吝赐教。

编 者

2012 年 11 月

自序

借《锻造工艺学与模具设计》再次修订出版之际,与广大读者和同行交流一下近年来锻造行业的发展,笔者认为是有必要的。随着对外贸易的不断扩大,我国的机械制造业有了飞跃发展,特别是作为机器制造业龙头的毛坯热加工企业,迎来了黄金发展期。由此,锻造技术也受到了相当的重视,很多锻造企业渴求锻造技术人员并对他们赋予很高的期望,对设备的更新改造也投入了相当大的财力。但是,在发展的同时,要特别关注当今世界工业发达国家锻造行业的发展趋势,以避免低水平重复建设。

锻压、铸造及焊接等材料加工行业是制造业的重要组成部分。据统计,全世界 75% 的钢材经塑性加工成形,其余为焊接和铸造成形。

锻压及铸造、焊接等材料加工技术是国民经济发展的主体技术和基础技术,新一代材料加工技术也是先进制造技术的重要内容。航空锻压代表着锻压技术发展的前沿。

进入 21 世纪以来,锻压技术和锻压加工产品的发展总趋势正朝着优质轻量化、大型整体化、功能梯度化、精密净形化、高效低成本化、多学科复合化的方向发展。

1. 优质轻量化

为了提高结构效益、降低能源消耗和减少污染,对锻压加工产品的优质、轻量化提出了迫切要求。例如,在汽车工业中为了使整车质量减轻 40%~50%,黑色金属用量将大幅度减少,镁及铝合金的用量将显著增加。在航空工业中则迫切需要增加钛合金、复合材料等轻质、高强、高韧材料的用量,用高性能的铝合金、钛合金、高温合金(包括粉末合金)、超高强度钢、金属间化合物及各类复合材料来制造飞机的关键部件和发动机的旋转部件的数量日益增大,要求重要的航空锻件能够达到高强、高韧、抗蠕变、抗疲劳、耐腐蚀和高损伤容限等性能及工程上的“零缺陷”。对于高性能的难变形材料锻件,需要发展等温锻压、超塑性锻压、热等静压、粉末锻压、功能梯度锻件(包括双性能、双合金锻件)成形等新的工艺技术,用这些新技术可使锻件获得均匀、优良的组织与性能,并具有较高的几何尺寸精度。

2. 大型整体化

大型整体结构锻件是实现飞机主承力结构整体化的必要条件。将传统的多件组合构件(如梁、框、轴等)改为整体构件,避免螺栓连接的薄弱面,进而设计更合理的构件剖面,可大大减轻飞机结构质量和提高飞机结构效益,并提高飞机零部件的安全可靠性。高推重比的发动机则需要整体叶盘之类的关键部件。因此,锻件的大型化和整体化是航空航天制造业的一个重要发展方向,对提高我国飞机的性能具有深远的意义。另外,大型发电设备制造业也急需开

发大型锻件,以提高发电效率。

美国、俄罗斯、法国、英国之所以能研制出高性能军机及大型宽体民机,就是依仗其拥有 45 000~75 000 t 的模锻水压机,因而能生产出高质量的精密化的大型整体锻件。苏联生产了世界上投影面积最大的钛合金、铝合金大型整体模锻件和盘件,以及数以十万计的高温合金涡轮盘锻件。美国 Wyman-Gordon 公司提供了目前最大的钛合金隔框无毛边模锻件,生产的 F-22 飞机机身上的 4 个整体式钛合金隔框,其中最大的“583”框锻件的质量为 2 770 kg,投影面积为 5.53 m²。图 1 所示为法国生产的大型整体铝合金隔框锻件。

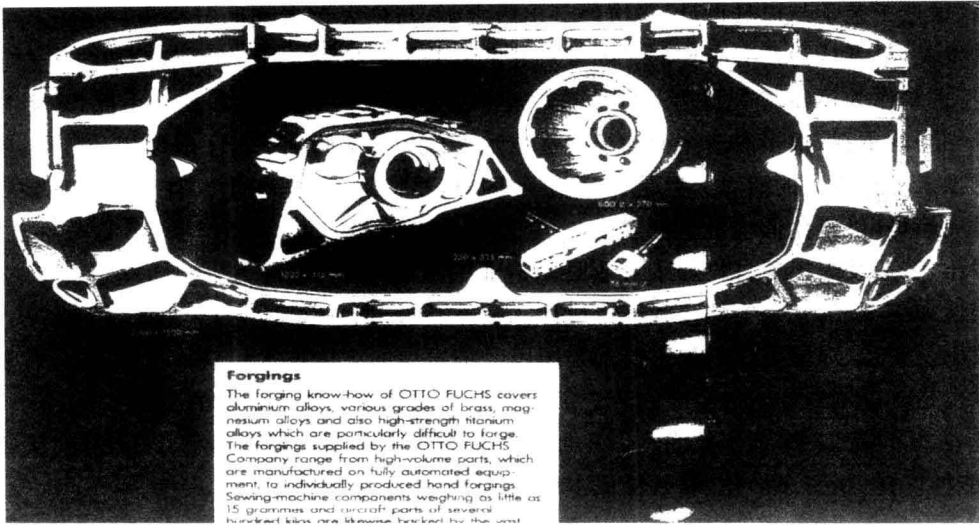


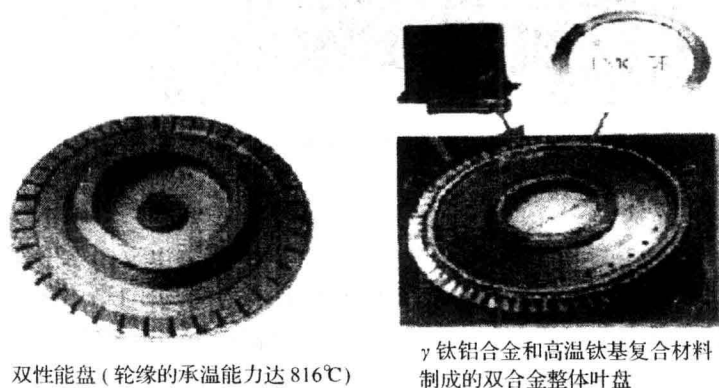
图 1 法国生产的大型整体铝合金隔框锻件(2 000 mm×1 500 mm)

为了满足我国航空航天及民用锻件大型整体化的需要,3.5万吨离合器式螺旋压力机、3万吨钢丝缠绕挤压机、4.5万吨钢丝缠绕模锻液压机及 8 万吨模锻液压机相继建成投产。这必然会提升我国大规格锻件的质量,对重型和大型机械的发展带来深远的影响。因此,需要研究大型整体锻件的普通模锻技术;除在巨型模锻液压机上采用普通模锻工艺生产大型模锻件外,还可采用等温超塑性锻压技术生产较大型整体锻件(锻压力是普通模锻的 1/5~1/10),对特大整体锻件,也可采用大锻件+焊接的成形技术。

3. 功能梯度化

有些机械零件的工作环境复杂,其不同部位的工作温度高低、载荷大小、应力性质均不同,所以要求的性能也是不同的。如发动机涡轮叶片,由于高温、高压气流垂直冲刷叶身部分,要求抗剪切应力高,最好是柱状晶;而叶身根部和榫头部分,因为叶尖的高频振动,要求它有疲劳抗力高的细晶组织。又如喷气发动机中的涡轮盘和压气机盘在工作状态存在大的温度梯度和应力梯度,盘体(盘心至盘辐的整体部分)与轴相连,要承受固定在盘缘榫齿上的叶片高速旋转产生的离心拉应力,以及由于沿轮盘半径和厚度方向受热不均匀而产生的热应力,应力较大但温度较低;盘缘与叶片相连,受到叶片旋转产生的离心拉应力、温度应力和叶片振动产生的应

力,受力较小但温度较高。因此要求盘体有高的室温拉伸强度、塑性和低周疲劳强度,而盘缘要求有高的室温拉伸强度、断裂韧性和蠕变持久强度。性能要靠相应的组织来满足,粗晶组织有高的室温拉伸强度、断裂韧性和蠕变持久强度,适用于盘缘;细晶组织有高的室温拉伸强度、塑性和低周疲劳强度,适用于盘体。生产具有不同组织、不同性能要求的整体锻件是有重大意义的。双性能压气机钛合金盘、双合金高温合金涡轮盘已相继问世。多性能复合盘也正在研制之中,图2所示为双性能涡轮盘和双合金性能整体叶盘。



双性能盘(轮缘的承温能力达816℃)

γ 钛铝合金和高温钛基复合材料制成的双合金整体叶盘

图2 双性能涡轮盘和双合金性能整体叶盘

按现代损伤容限设计理念设计推重比为10以上的发动机涡轮转子零件(如涡轮盘)时,要求从盘缘到盘心采用多层、多特性复合结构。不同层上用不同的材料,以满足涡轮盘温度梯度和应力梯度大的这种特殊的工作环境。

4. 精密净形化

任何新工艺、新技术应在保证产品质量与数量的前提下,在材料、设备、工具、能源、劳动力总耗中求极小值,即追求工艺的经济性。我国生产的许多航空大锻件(指在10 t以上的锻锤和万吨水压机上生产的锻件)的材料利用率不到10%,一些高筋薄腹板复杂结构件的锻件材料利用率仅为2%~3%,锻件的“肥头大耳”问题是造成锻件成本昂贵、锻件冶金质量低下的重要原因。

随着钛合金、高温合金等耐高温、难切削贵重材料的大量采用,近无余量精密成型技术将成为21世纪材料成型的主要技术。要实现锻件的精密化,须注重研究重型水压机和锻锤上生产小余量大锻件的技术,发展径向精锻或多向模锻技术,推广等温精锻和热模锻压技术,研究并应用在电动螺旋压力机及机械压力机上精锻叶片的技术。西北工业大学材料学院与航空一集团红原航空锻铸公司合作,用等温精锻技术生产出某飞机钛合金精锻结构件(见图3),腹板最薄处达0.25 mm,非加工面达到70%以上,材料利用率达到60%以上,表面粗糙度可达0.04 μm 。

5. 高效低成本化

为了提高锻件的生产效率和降低成本,需要研究和发展省力成形、局部连续变形及短流程快速成形技术,包括异形精密环形件轧制技术、盘件的等温辗压技术、强力旋压技术、辊锻技

术、液态模锻技术、激光成形技术、喷射成形技术等。



图3 某飞机钛合金精锻结构件

6. 多学科复合化

多学科复合化锻压新技术发展的一个重要方向,这里有热加工(锻、铸、焊、热处理)以及材料科学与物理、化学、数学之间的广泛交叉和复合,从而促进许多材料成形新工艺、新装置的出现。例如超塑成形/扩散连接、热机械处理、半固态加工、激光成形以及计算机模拟和物理模拟等。

借本书修订再版之际,笔者对2007年版《锻造工艺学与模具设计》(第2版)作了部分改动,并再次作了文字修订,力求减少错误,为从事锻造工程工作的技术人员和材料加工工程专业的学生提供一本对锻造工艺及锻模设计内容叙述全面的、有价值的专业书。

编者

2012年11月

目 录

绪论	1
第一章 锻造用材料准备	5
第一节 锻造用钢锭与型材	5
第二节 下料方法	8
思考题	13
第二章 锻前加热	14
第一节 锻前加热的目的及方法	14
第二节 金属加热时产生的变化	16
第三节 金属锻造温度范围的确定	23
第四节 金属的加热规范	26
第五节 金属的少无氧化加热	34
思考题	37
第三章 自由锻造工艺	38
第一节 概述	38
第二节 自由锻工序特点及锻件分类	40
第三节 自由锻基本工序分析	44
第四节 自由锻工艺规程的制定	64
第五节 大型自由锻件锻造工艺特点	75
思考题	83
第四章 锤上模锻	84
第一节 锤上模锻特点及应用范围	84
第二节 锤上模锻方式与变形特征	85
第三节 模锻件分类	90
第四节 模锻件图设计	92
第五节 模锻变形工步的确定	109
第六节 坯料尺寸的确定	119
第七节 模锻锤吨位计算	120

第八节 锤锻模型槽设计	125
第九节 锤锻模结构设计	147
第十节 锤锻模设计实例	162
第十一节 锤锻模材料选择、使用与维护	172
第十二节 锤锻模的失效形式与延寿途径	174
思考题	177
第五章 热模锻曲柄压力机上模锻	178
第一节 曲柄压力机上模锻的特点及应用范围	178
第二节 锻件图设计特点	181
第三节 变形工步、工步图设计及坯料尺寸计算	182
第四节 变形力计算与设备吨位选择	187
第五节 锻模结构设计	187
第六节 工艺举例	192
思考题	193
第六章 平锻机上模锻	195
第一节 工艺特点及应用范围	195
第二节 平锻机模锻工步及锻件分类	196
第三节 锻件图设计	198
第四节 顶墩规则及聚集工步计算	200
第五节 通孔锻件和盲孔锻件的工步计算	204
第六节 管类平锻件的工艺特点	207
第七节 平锻设备吨位的确定	208
第八节 平锻机上模锻的锻模结构	208
思考题	216
第七章 螺旋压力机上模锻	217
第一节 螺旋压力机工作特点及应用范围	217
第二节 锻件图设计特点	219
第三节 螺旋压力机吨位的确定	221
第四节 螺旋压力机用锻模结构设计	222
第五节 典型锻件工艺举例	228
思考题	230
第八章 液压机上模锻	231
第一节 液压机上模锻成形的特点	233
第二节 锻件图设计及工艺特点	234
第三节 液压机吨位计算	236

第四节 液压机上模锻锻模设计及材料选择·····	238
思考题·····	240
第九章 模锻后续工序·····	241
第一节 切边与冲连皮·····	241
第二节 锻件冷却与热处理·····	251
第三节 锻件表面清理·····	259
第四节 精压与校正·····	261
第五节 锻件质量检验·····	267
思考题·····	271
第十章 专用锻造工艺·····	273
第一节 摆动辗压·····	273
第二节 环件辗轧·····	276
第三节 液态模锻·····	280
第四节 等温(热模)锻造·····	285
第五节 辊锻·····	291
第六节 热挤压·····	295
第七节 精密模锻·····	306
第八节 粉末锻造·····	311
思考题·····	315
第十一章 锻模计算机辅助设计·····	316
第一节 基本概念·····	316
第二节 锻模 CAD 系统的组成与开发·····	317
第三节 锻模 CAD 系统的开发方法·····	318
第四节 锻模 CAD 实例·····	322
思考题·····	337
参考文献·····	339

绪 论

一、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。图绪-1所示为铸造、锻造、机械加工三种金属加工方法得到的零件低倍宏观流线。



图绪-1 三种加工方法所得零件低倍宏观流线示意图

锻件的优势是由于金属材料通过塑性变形,消除了内部缺陷,如锻(焊)合空洞、压实疏松、打碎碳化物、非金属夹杂,并使之沿变形方向分布,改善或消除成分偏析等,得到了均匀、细小的低倍和高倍组织。而铸造工艺得到的铸件,尽管能获得较准确的尺寸和比锻件更为复杂的形状,但难以消除疏松、空洞成分及非金属夹杂偏析等缺陷;铸件的抗压强度虽高,但韧性不足,难以在受拉应力较大的条件下使用。用机械加工方法获得的零件,尺寸精度最高,表面光洁,但金属内部流线往往被切断,容易造成应力腐蚀,承载拉压交变应力的能力较差。

二、锻造方法分类、锻造工艺的作用及锻件应用范围

锻造生产根据使用工具和生产工艺的不同而分为自由锻、模锻和特种锻造。

1. 自由锻造

自由锻造一般是指借助简单工具,如锤、砧、型砧、摔子、冲子、垫铁等对铸锭或棒材进行锻造粗、拔长、弯曲、冲孔、扩孔等方式生产零件毛坯。其特点是加工余量大,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,不易保证尺寸精度及内部质量。这种锻造方法只适合单件或极小批量或大锻件的生产;不过,模锻的制坯工步有时也采用自由锻。

自由锻设备依锻件质量大小而选用空气锤、蒸-空气锤或锻造水压机。

自由锻还可以借助简单的模具进行锻造,亦称胎模锻,其效果要比人工操作效率高,成形效果亦大为改善。

2. 模锻

模锻是指将坯料放入上、下模块(按零件形状尺寸加工)的型槽间,借助锻锤锤头、压力机滑块或液压机活动横梁向下的冲击或压力成形为锻件。锻模的上、下模块分别固紧在锤头和底座上。模锻件余量小,只需少量的机械加工(有的甚至不加工)。模锻生产效率高,内部组织

均匀,件与件之间的性能变化小,形状和尺寸主要是靠模具保证,受操作人员的影响较小。模锻须要借助模具,加大了投资,因此不适合单件和小批量生产。模锻还常需要配置自由锻或环锻设备制坯,尤其是曲柄压力机和液压机上模锻。

模锻常用的设备主要是模锻锤、曲柄压力机、摩擦压力机、电动(或液压)螺旋锤、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,采用镦头机和搓丝机,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,因此只适合于生产批量大的单一品种零配件。

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。有些锻件的特殊性能要求只能靠更换强度更高的材料或新的锻造工艺解决,如航空发动机压气机盘、涡轮盘,在使用过程中,盘缘和盘毂温度梯度较大(高达 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$),为适应这种工作环境,出现了双性能盘,通过锻造工艺和热处理工艺的适当安排,生产出的双性能盘确实能同时满足高温和室温两种性能要求。工艺流程安排恰当与否,不仅影响质量,还影响锻件的生产成本;最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。

对工艺重要性的认识是随着生产的深入发展和科技的不断进步而逐步加深的。等温锻造工艺的出现,解决了锻造大型精密锻件和难变形合金需要特大吨位设备和成形性能差的困难。锻件所用材料、锻件形状千差万别,所用工艺不尽相同,如何正确处理这些问题正是从事锻造业工程师的任务。

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交通工具的制造业——汽车制造业和后来的飞机制造业。锻件尺寸、质量越来越大,形状越来越复杂,锻造的材料日益广泛,锻造的难度就更大。这是由于现代重型工业、交通运输业对产品追求的目标是高度的可靠性和长的使用寿命。如航空发动机的推重比要求越来越大。一些重要的受力构件,如涡轮盘、轴、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等综合性能。

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。到20世纪末,飞机上采用的锻压(包括板料成形)零件占85%,汽车占60%~70%,农机、拖拉机占70%。目前全世界仅钢模锻件的年产量就在2000多万吨。

三、锻造业的历史沿革及发展

锻造在机器制造业中有着不可替代的作用,正如前面所论述的,由锻造方法生产出来的锻件,其性能是其他加工方法难以与之匹敌的。锻造(主要是模锻)的生产效率是相当高的,一个国家的锻造水平,反映了这个国家机器制造业的水平。

几千年前,锻造技术就被人们所掌握。早期的锻造产品是武器、首饰和日用品,其中最为著名的要数陕西秦始皇兵马俑坑出土的公元前200年以前锻制的三把合金钢宝剑,其中一把

至今仍光艳夺目,锋利如昔;另一件锻制品要数在同一历史时期(即公元前几世纪至公元三世纪)生产出来用作船锚的德里铁柱,其直径为 400 mm,长达 7.25 m。

锻造真正获得较大发展是在工业化革命时期,1842 年,内史密斯(Nasmith)发明了双作用锤,这种锻锤具备现代直接在活塞杆上固定锤头的锻锤结构的所有特点。接着,1860 年,哈斯韦尔(Haswell)发明了第一台自由锻水压机。这些设备的出现标志着锻压技术成为一门具有影响力的学科的开始。

促使锻压真正成为一门学科是屈雷斯卡(Tresca)和密赛斯(Mises),他们先后在 1864 年和 1913 年发现了金属进行塑性变形的条件,即屈服准则。此后,许多学者对金属塑性变形进行了详细的理论研究,其中较为著名的是苏联学者古布金(С. И. ГУБКИН),较为全面、系统地论述了压力加工原理,从而奠定了压力加工学科的理论基础。

锻压经过 100 多年的发展,今天已成为一门综合性学科。它以塑性成形原理、金属学、摩擦学为理论基础,同时涉及传热学、物理化学、机械运动学等相关学科,以各种工艺学,如锻造工艺学、冲压工艺学等为技术,与其他学科一起支撑着机器制造业。锻压这门较老的学科至今仍朝气蓬勃,在众多的金属材料和成形加工的国际、国内学术交流会议上仍十分活跃。

我国是一个发展中国家,经过半个多世纪的建设,锻造工业可以说是从无到有、从小到大、从大到强发展起来的。目前,有万吨以上锻压机床 30 余台,模锻液压机最大吨位达到 800 000 kN,自由锻液压机最大吨位达到 180 000 kN,对击锤达到 100 t·m,年生产锻件能力达到 6×10^6 t。大型锻压设备台、套数成倍增加,几十条锻件生产线已被建立起来,为我国机器制造业持续高速发展奠定了雄厚的基础。

至 2012 年,与发达工业国家相比,我国锻造设备无论是数量、吨位、种类还是性能都跃居世界前列,世界上最大吨位(800 000 kN)的液压机已建成投产,在此之前,世界上最大的模锻水压机安装在苏联,为 750 000 kN,而当时美国拥有的模锻水压机为 450 000 kN。

从锻造发展趋势看,模锻生产占主导地位,如 1979 年,苏联模锻件产量就已占全部锻件的 67.5%,日本占 55%,美国占 73%,而我国只占 26%,约 3×10^5 t,但到 2011 年,我国模锻件产量就达到 6×10^6 t。

随着我国跻身世界钢铁生产大国的行列,2010 年年产钢材产量突破 8×10^8 t,汽车制造业、飞机制造业以及发电设备、机车、轮船制造业的飞速发展,对锻件需求量日益增大,必然促进锻造技术的发展,使锻压业与飞跃发展的制造业相适应。

四、锻压技术面临的任务与挑战

我国的经济体制发生了根本的变化,由过去的计划经济过渡到现在的市场经济。锻压生产虽然生产效率高,锻件综合性能高,节约原材料和机械加工工时,但生产周期较长,成本较高,处于不利的竞争地位。铸造、焊接、机械加工都加入了竞争。锻造生产要跟上当代科学技术的发展,须要不断改进技术,采用新工艺、新技术,进一步提高锻件的性能指标;同时要缩短生产周期,降低成本,使之在竞争中处于优势地位。

当代科学技术的发展对锻压技术本身的完善和发展有着重大的影响,这主要表现在以下几个方面。

首先,材料科学的发展对锻压技术有着最直接的影响。材料的变化、新材料的出现必然对锻压技术提出新的要求,如高温合金、金属间化合物、陶瓷材料等难变形材料的成形问题。锻

压技术也只有在不断解决材料带来的问题的情况下才能得以发展。

其次,新兴科学技术的出现,即当前主要的是计算机技术在锻压技术各个领域的应用。如锻模计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术,锻造过程的计算机有限元数值模拟技术,无疑会缩短锻件生产周期,提高锻件设计和生产水平。

第三,机械零件性能的更高要求。现代交通工具如汽车、飞机、机车的速度越来越高,负荷越来越大。除更换强度更高的材料外,研究和开发新的锻造技术,挖掘原有材料的潜力也是一条出路,如近年来出现的等温模锻、粉末锻造,以及适应不同温度-载荷的双性能锻件锻造工艺等。我国已能用整体毛坯生产钛合金双性能压力机盘;俄罗斯能生产出高温合金双性能叶片。

目前,锻造业面临的问题大概可以归纳为如下几个方面。

(1) 原材料质量不稳定,尤其是大规格棒材、型材,致使大型重要模锻件生产前仍需要在制坯阶段加以改锻。由于锻造存在遗传性,不改锻往往会造成性能不合格或勉强达标,同时也加长了生产周期。

(2) 年产万吨以上模锻件的生产厂家不多,专一品种锻件生产厂家更少,不利于锻件规模化生产,而小企业生产设备简陋、检测设备、仪器少且不全,难以保证锻件质量。

(3) 机器生产厂家目前仍不能实现优质优价,不利于技术进步。

(4) 专业技术人员集中在一些大型国营锻造生产厂家,不利于锻造行业整体进步。

锻造业既面临着发展机遇,也面临着挑战。要想有较大的发展,锻造工艺技术必须要先行发展,不断完善和提高。这也是摆在从事锻压技术的每一位工程技术人员、管理人员和科研人员面前的共同任务。

五、本课程的性质及任务

“锻造工艺学”是利用塑性成形原理,研究如何利用各种锻造工艺有效生产锻件的一门技术科学,实践性较强;同时也是探讨理论知识与生产实际结合的一门应用技术。要掌握好这门技术除须要学好“塑性成形原理”“金属学”等有关理论课程外,还要重视实践性教学环节,如生产劳动实习、工艺实验、课程设计、毕业专题等。此外,还应重视计算机辅助设计和制造等课程。锻造生产已经积累了丰富的经验,有的升华为理论,又指导锻造生产,因此,从中可以学到分析问题、解决生产实际问题的方法。

第一章 锻造用材料准备

锻前材料准备主要包含两项内容：一是选择材料；二是按锻件计算的坯料大小切成一定长度的毛坯。目前，锻造用原材料主要包括碳素钢、合金钢、不锈钢、高温合金、有色金属及其合金等。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冶炼有关外，还与锻造工艺有关，因此，为便于进行锻件质量分析，首先应对所加工的坯料有所了解。

第一节 锻造用钢锭与型材

一、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。钢液在钢锭模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。从钢锭纵剖面组织结构示意图 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。如果切除不彻底，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%。

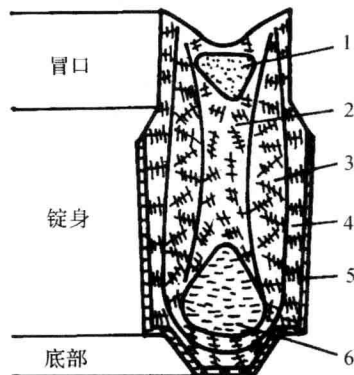


图 1-1 钢锭纵剖面组织结构示意图

- 1—冒口缩孔；2—等轴粗；
- 3—倾斜柱晶区；4—柱晶区；
- 5—激冷层；6—底部沉积区

二、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，且无法避免。钢锭愈大，缺陷愈严重，这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. 偏析

偏析是指钢锭内部各处成分与杂质分布不均匀的现象,包括枝晶偏析(指晶体范围内化学成分的不均匀性)和区域偏析(指宏观范围内的不均匀性)等。偏析是由于选择性结晶、溶解度变化、密度差异和流速不同造成的。偏析会造成力学性能不均和裂纹缺陷。钢锭中的枝晶偏析现象可以通过锻造、再结晶、高温扩散和锻后热处理得到消除,而区域偏析很难通过热处理方法消除,只有通过多方向反复锻-拔变形才能使其化学成分趋于均匀化。

2. 夹杂

不溶解于金属基体的非金属化合物叫做非金属夹杂物,简称夹杂。常见的非金属夹杂有硫化物、氧化物、硅酸盐等。夹杂分内在夹杂和外来夹杂两类。内在夹杂是指冶炼和浇注时的化学反应产物;外来夹杂是指冶炼和浇注过程中由外界带入的砂子、耐火材料及炉渣碎粒等杂质。

夹杂是一种异相质点,它的存在对热锻过程和锻件质量均有不良影响,它破坏金属的连续性,在应力作用下,在夹杂处产生应力集中,会引起显微裂纹,成为锻件疲劳破坏的疲劳源。如低熔点夹杂物过多地分布于晶界上,在锻造时会引起热脆现象。可见,夹杂的存在会降低可锻性和锻件的力学性能。

3. 气体

钢液中溶解有大量的气体,在凝固过程中,大量的气体会析出,但总有一些仍然残留在钢锭内部或皮下形成气泡。钢锭内部的气泡只要不是敞开的,或虽敞开但内壁未被氧化,均可以通过锻造锻合,但皮下气泡却常常容易引起锻件表面裂纹。

在钢锭中常见的残存气体有氧、氮、氢等。其中,氧和氮在钢锭里最终以氧化物和氮化物存在,形成钢锭内的夹杂。氢是钢中危害性最大的气体,它在钢中的含量超过一定极限值($2.25 \sim 5.625$) $\times 10^{-2}$ cm³/g时,会在锻后冷却过程中,在锻件内部产生白点和氢脆缺陷,使钢的塑性显著下降。

4. 缩孔和疏松

从钢液冷凝成为钢锭,将发生物理收缩现象,如果没有钢液补充,钢锭内部某些地方将形成空洞。缩孔是在冒口区形成的,此区凝固最迟,由于没有钢液补充而造成不可避免的缺陷。缩孔的大小与位置和锭模结构及浇注工艺有关。如果锭模不适当,冒口保温不佳等,有可能深入到锭身形成二次缩孔(即缩管)。一般情况下,锻造时将缩孔与冒口一并切除,否则因缩孔不能锻合而造成内部裂缝,导致锻件报废。

疏松是由于枝晶间钢液最后凝固收缩造成的枝晶间空隙和钢液凝固过程中析出气体构成的显微孔隙。这些孔隙在区域偏析处较大者变为疏松,在树枝晶间处较小的孔隙则变为针孔。疏松使钢锭组织致密程度下降,破坏了金属的连续性,影响锻件的力学性能。因此,在锻造时要求大变形,以便锻透钢锭,将疏松消除。

5. 溅疤

当钢锭采用上注法浇注时,钢液将冲击钢锭模底而飞溅起来附着在模壁上,溅珠和钢锭不能凝固成一体,冷却后就形成溅疤。钢锭上的溅疤在锻造前必须铲除,否则会在锻件上形成严重的夹层。

一般来说,钢锭越大,产生上述缺陷的可能性就越多,缺陷性质也就越严重。