



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

# 锻造工艺与模具设计

(第2版)

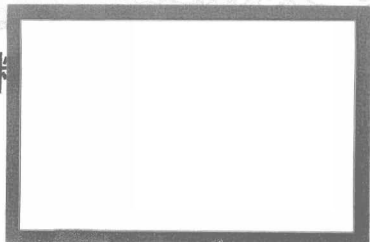
◎主 编 齐卫东



DUANZAO GONGYI  
YU MUJU SHEJI



全国高等院校“十二五”特色精



# 锻造工艺与模具设计

(第2版)



◎主 编 齐卫东

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 提 要

本书从实用的角度出发,对锻造技术做了全面、系统的介绍。全书共分11章,主要内容包括锻造用原材料及坯料制备;锻造加热规范;自由锻、模锻工艺及锻模设计;模锻后续工序;特种锻造等。本书理论联系实际,具有较强的实用性。

本书可作为高等院校模具、材料成型与控制、机械类等专业的教材,也可供有关科技人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

锻造工艺与模具设计 / 齐卫东主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2012.7

ISBN 978-7-5640-6458-7

I. ①锻… II. ①齐… III. ①锻造-工艺学-高等学校-教材②锻模-设计-高等学校-教材 IV. ①TG316②TG315.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第179750号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 283千字

责任编辑 / 张旭莉

版 次 / 2012年7月第2版 2012年7月第1次印刷

张慧峰

印 数 / 1~1500册

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 43.00元

责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

## 出版说明>>>>>

北京理工大学出版社为了顺应国家对机电专业技术人才的培养要求，满足企业对毕业生的技能需求，以服务教学、立足岗位、面向就业为方向，经过多年的大力发展，开发了近30多个系列500多个品种的高等教育机电类产品，覆盖了机械设计与制造、材料成型与控制技术、数控技术、模具设计与制造、机电一体化技术、焊接技术及自动化等30多个制造类专业。

为了进一步服务全国机电类高等教育的发展，北京理工大学出版社特邀请一批国内知名行业专业、高等院校骨干教师、企业专家和相关作者，根据高等教育教材改革的发展趋势，从业已出版的机电类教材中，精心挑选一批质量高、销量好、院校覆盖面广的作品，集中研讨、分别针对每本书提出修改意见，修订出版了该高等院校“十二五”特色精品课程建设成果系列教材。

本系列教材立足于完整的专业课程体系，结构严整，同时又不失灵活性，配有大量的插图、表格和案例资料。作者结合已出版教材在各个院校的实际使用情况，本着“实用、适用、先进”的修订原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，力求提高学生的实际操作能力，使学生更好地适应社会需求。

本系列教材在开发过程中，为了更适宜于教学，特开发配套立体资源包，包括如下内容：

- ▶ 教材使用说明；

- 电子教案，并附有课程说明、教学大纲、教学重难点及课时安排等；
- 教学课件，包括：PPT 课件及教学实训演示视频等；
- 教学拓展资源，包括：教学素材、教学案例及网络资源等；
- 教学题库及答案，包括：同步测试题及答案、阶段测试题及答案等；
- 教材交流支持平台。

北京理工大学出版社



# Qianyan

## 前言 >>>>>>

锻造作为金属加工的主要方法和手段之一，在国民经济中占有举足轻重的地位，是装备制造业，特别是机械、汽车行业，以及军工、航空航天工业中不可或缺的主要加工工艺。随着经济结构调整的不断深化，特别是作为支柱产业的汽车制造业的大发展，为我国的锻造业营造了非常好的机会。

本书从实用的角度出发，广泛吸收国内外锻造技术的先进经验，对锻造工艺及模具做了全面、系统的介绍。全书共分11章，主要内容包括锻造用原材料及坯料制备；锻造加热规范；自由锻、模锻工艺及锻模设计；模锻后续工序；特种锻造等。本书理论联系实际，具有较强的实用性。

本书可作为高等院校模具、材料成型与控制、机械类等专业的教材，也可供有关科技人员参考。

本书由天津理工大学齐卫东教授主编，在编写过程中，得到了许多大专院校模具专业教师和相关企业同行的支持和帮助，在此一并表示感谢。

编者

143 ..... 锻造用材料准备 9.5  
 144 ..... 锻造用材料准备 10.5  
 145 ..... 锻造用材料准备 11.5  
 146 ..... 锻造用材料准备 12.5

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	4.7 切割 .....	56
1.1 锻造加工金属零件 的优势 .....	1	4.8 错移 .....	57
1.2 锻造方法分类及锻件 应用范围 .....	1	<b>第 5 章 自由锻工艺过程</b> .....	59
<b>第 2 章 锻造用材料准备</b> .....	4	5.1 自由锻件的分类 .....	59
2.1 锻造用钢锭与型材 .....	4	5.2 自由锻工艺规程 的制定 .....	63
2.2 下料和下料方法 .....	7	5.3 自由锻工艺规程编制 举例 .....	73
2.3 模锻时的润滑 .....	9	5.4 胎模锻造 .....	77
2.4 钢的软化退火 .....	12	<b>第 6 章 模锻成形工步分析</b> .....	80
2.5 钢的磷化处理 .....	13	6.1 模锻的分类及特点 .....	80
<b>第 3 章 锻造的加热规范</b> .....	20	6.2 开式模锻 .....	82
3.1 一般加热方法 .....	20	6.3 闭式模锻 .....	89
3.2 少无氧化加热 .....	23	6.4 挤压 .....	93
3.3 钢加热时的性能变化 .....	27	6.5 顶墩 .....	99
3.4 钢的加热规范及 锻造温度范围 .....	30	<b>第 7 章 锤上模锻</b> .....	104
<b>第 4 章 自由锻主要工序分析</b> .....	40	7.1 锤上模锻的特点 .....	104
4.1 自由锻工序分类 .....	40	7.2 模锻锤 .....	105
4.2 镦粗 .....	41	7.3 锻件分类 .....	107
4.3 拔长 .....	46	7.4 锻件图设计 .....	108
4.4 冲孔 .....	51	7.5 模锻工步的选择 .....	116
4.5 扩孔 .....	53	7.6 模膛设计 .....	123
4.6 弯曲 .....	55	7.7 毛坯尺寸的确定 .....	141
		7.8 设备选择 .....	142

7.9	锻模结构设计	143	9.7	摩擦压力机上模锻 实例	191
7.10	锻模材料选择、 使用与维护	153	<b>第10章</b>	<b>锻件的冷却和 后续工序</b>	193
7.11	锤用锻模设计实例	157	10.1	锻件的冷却	193
<b>第8章</b>	<b>热模锻曲柄压力机 上模锻</b>	166	10.2	切边与冲连皮	196
8.1	热模锻压力机的 模锻特点	166	10.3	锻件热处理	197
8.2	锻件分类	168	10.4	表面清理	199
8.3	模锻工步的选择	169	10.5	校正	200
8.4	锻件图设计	171	10.6	精压	202
8.5	模膛设计	172	10.7	锻件主要缺陷及 质量检验	204
8.6	锻模结构	175	<b>第11章</b>	<b>特种锻造</b>	212
8.7	毛坯尺寸的确定	178	11.1	精密模锻	212
8.8	设备选择	180	11.2	冷锻、温锻及 等温锻造	218
8.9	热模锻曲柄压力机 上模锻实例	180	11.3	超塑性模锻	222
<b>第9章</b>	<b>摩擦压力机上模锻</b>	182	11.4	辊轧工艺	224
9.1	摩擦压力机的 模锻特点	182	11.5	径向锻造	231
9.2	锻件分类	183	11.6	液态模锻	233
9.3	锻件图设计	184	11.7	半固态金属触变 锻造	234
9.4	模膛设计	186	<b>参考文献</b>		236
9.5	锻模结构	188			
9.6	设备选择	190			



## 第1章 绪论

### 1.1 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。

锻件是由于金属材料通过塑性变形后，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。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、成分偏析、非金属夹杂等缺陷；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。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。

### 1.2 锻造方法分类及锻件应用范围

锻造生产根据使用工具和生产工艺的不同而分为自由锻造、模锻和特种锻造。

自由锻造：一般是指借助简单工具，如锤、砧、型砧、棒子、冲子、垫铁等对铸锭或棒材进行锻粗、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。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造。

自由锻造设备依锻件质量大小而选用空气锤、蒸汽-空气锤或锻造水压机。

自由锻造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。

模锻：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。模锻的上、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。模锻需要借助模具，加大了投资，因此不适合单件和小批量生产。模锻还经常需要配置自由锻或辊锻设备制坯，尤其是曲柄压力机和液压机上的模锻。

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。

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。利用摆动碾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的产品，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。有些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 $300\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），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来自交通工具制造业——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、精细，锻造的材料日益广泛，锻造的难度更大。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、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。据有关调查表明,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1 000万吨以上。

## 第2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、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。

### 2.1 锻造用钢锭与型材

#### 2.1.1 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 2-1 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切除；如果切除不彻底，就会遗留

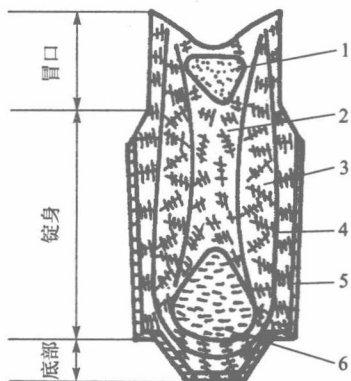


图 2-1 钢锭纵剖面组织结构

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

夹杂物分布不均。从钢锭纵剖面结构示意图 2-1 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%。

## 2.1.2 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。钢锭愈大,缺陷愈严重,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. 偏析

偏析是指各处成分与杂质分布不均匀的现象,包括枝晶偏析(指钢锭在晶体范围内化学成分的不均匀性)和区域偏析(指钢锭在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,只有通过反复锻-拔变形工艺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,夹杂的存在会降低锻造性能和锻后的力学性能。

### 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,但皮下气泡容易引起裂纹。

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 $(2.25 \sim 5.625) \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$ 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(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。

疏松是由于晶间钢液最后凝固收缩造成的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,在树枝晶间处较小者则变为针孔。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。

## 2.1.3 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0.2~0.5 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,深度约为0.5~1.5 mm。在低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 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,是由于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锻-拔工艺,彻底打碎碳化物,使之均匀分布,并为其后的热处理作好组织准备。

### 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,长度为1~20 mm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,并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。有粗晶环的棒料在锻造时容易开裂,如果粗晶环留在锻件表层,将会降低锻件的性能。因此,锻造前通常须将粗晶环车去。

在上述缺陷中,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。

## ❖ 2.2 下料和下料方法 ❖

原材料在锻造之前必须要按锻件的大小和工艺要求切割成一定尺寸的坯料。



对于铸锭，则要先以自由锻进行开坯，然后将锭料以剁割方法切除两端，或按一定尺寸将坯料分割。常用的下料方法如下。

### 2.2.1 剪切

剪床下料是锻造生产中应用较普遍的一种方法，具有生产效率高、操作简单、断口无金属消耗、模具费用低等优点。但坯料局部被压扁，端面不平整，有时还带有毛刺和裂纹等。

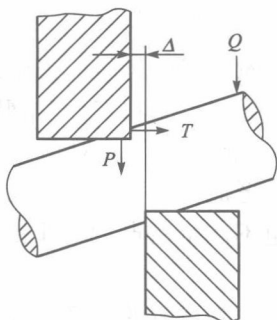


图 2-2 坯料剪切示意  
P—剪切力；T—水平阻力；  
Q—压板阻力

剪切过程如图 2-2 所示，在剪切初期，刀刃切入棒料产生加工硬化，刃口处出现裂纹，随着刀刃的切入加深，使裂纹扩展，最后在刀刃的压力下，上下两裂纹间的金属被拉断，造成 S 形断面。

根据材料的性质，可选取冷剪切或热剪切。对于低、中碳的结构钢、截面尺寸较小的棒材常用冷剪切，而对于工具钢、合金钢或截面尺寸较大的棒料或钢坯，则要采用热剪切。为保证坯料质量，要控制好刀片刃口的间隙  $\Delta$  和剪切时坯料的预热温度。其预热温度据钢的化学成分和截面尺寸大小，在  $400\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  间选定，对于低、中碳钢棒料，由于它较软，预热温度偏高时，反而效果不好，易磨损刃口，如预热到  $250\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  时，因钢的蓝脆效应，使变形抗力增大、塑性降低，得到光滑的断口，可提高剪切质量。对于刃口间隙，可从表 2-1 中参考选取。一般刃口间隙  $\Delta$  应为材料厚度的  $2\% \sim 4\%$ ，表 2-1 中所列数据适用于冷剪切，随加热温度的增高，可酌减  $\Delta$  值。

表 2-1 剪切时刃口间隙选取范围

坯料直径 /mm	<20	20~30	30~40	40~60	60~90	90~ 100	100~ 120	120~ 150	150~ 180	180~ 200
刀片间隙 /mm	0.1~ 1	0.5~ 1.5	0.8~ 2.0	1.5~ 2.5	2.0~ 3.0	2.5~ 3.5	3.0~ 4.0	3.5~ 5.0	4.5~ 8.0	7.0~ 12

剪床可剪断直径 200 mm 以下的棒料，在没有剪床时，也可用冲床来剪切直径为 50 mm 以下的棒料，也可借助模具在锻锤或液压机上进行剪切。

### 2.2.2 冷折法

其工作过程如图 2-3 所示，利用预先开出的缺口，在受力时，产生应力集中而引起脆断得到坯料的方法叫冷折法。冷折法下料生产率高，断口金属损耗



小, 工具简单。冷折法的缺口可用气割、锯切或电火花切割等法开出, 电火花切割的缺口质量最好。缺口尺寸一般可取  $b=3\sim 8\text{ mm}$ ,  $h=\sqrt[3]{H}$  (mm), 式中  $H$  为坯料直径或厚度。

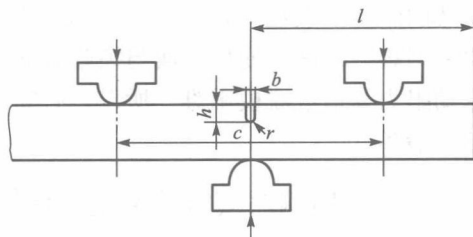


图 2-3 冷折法示意

冷折法很适用于硬度较高的高碳钢和合金钢, 但要求对坯料预热到  $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 一般低、中碳钢无需预热, 而缺口高度  $h$  则要稍大一些。

无论是剪切或冷折法下料, 其长度精度都稍差, 误差可达几毫米。

### 2.2.3 锯切

用锯床下料是应用最普遍的方法, 下料精确、端面平整, 适合于各种金属材料在常温下切割。缺点是效率低、锯条(片)的厚度为  $2\sim 8\text{ mm}$ , 锯口损耗大, 锯条或锯片磨损严重。

常用的锯床有圆片锯、带锯、弓形锯等。圆片锯锯片厚为  $3\sim 8\text{ mm}$ , 可锯切直径为  $750\text{ mm}$  的材料; 弓形锯是往复运动, 适合于锯切直径小于  $100\text{ mm}$  的坯料, 锯条厚为  $2\sim 5\text{ mm}$ ; 带锯可锯切直径为  $350\text{ mm}$  以内的棒料, 锯条厚为  $2\sim 2.2\text{ mm}$ , 其生产率较高。

### 2.2.4 砂轮切割

利用高速旋转的薄片(片厚  $2\sim 3\text{ mm}$ ) 砂轮, 切割坯料的方法称砂轮切割。

这种方法设备简单、操作方便、生产率高、断口整齐、尺寸精确, 且不受材料硬度的限制, 但砂轮片损耗大、易崩碎、噪声大, 切割时有粉尘, 要注意通风。它适合于切割硬而塑性较差的高温合金、钛合金的小截面材料。

### 2.2.5 气割

因为其他方法会受到设备功率和下料截面尺寸的限制, 对于大截面坯料切割可用气割下料。气割是利用气焊的割炬, 通以适当比例的氧和乙炔气来进行的。受气割条件(被割金属的燃点必须低于其熔点等)影响, 气割适合于切割低、中碳钢和部分低合金钢。对于高碳钢和某些低合金钢则要预热到  $700\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$  后, 才可切割。气割设备简单, 便于野外操作, 适于各种截面, 缺点是切割面不平整、精度差、断口金属耗损大、生产率低。

## ❖ 2.3 模锻时的润滑 ❖

模锻时接触面上的单位压力一般在  $800\sim 1\ 200\text{ MPa}$ , 有的高达  $2\ 500\text{ MPa}$ 。