



21 世纪高等院校应用型规划教材

锻造工艺与模具设计

主编 齐卫东



21 世纪高等院校应用型规划教材

锻造工艺与模具设计

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。

本书可作为高职高专及本科院校模具、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. —北京:北京理工大学出版社,
2007.9

ISBN 978-7-5640-1082-9

I. 锻… II. 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. TG316 TG315.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第146427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/保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/15.25

字 数/300千字

版 次/2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷

印 数/1~2000册

定 价/26.00元

责任校对/张宏

责任印制/李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

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。

本书可作为高职高专及本科院校模具、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，田作奎任副主编。齐卫东编写第 1、2、3 章，田作奎编写第 4、5 章，王肖锋编写第 6、9 章，吕贵才编写第 7 章的 7.1~7.8 节，王永州编写第 7 章的 7.9~7.11 节和第 8 章，葛为民编写第 10、11 章。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。

为了进一步与使用本书的读者沟通，编者开设了模具人·中国网站（www.moldman.cn），希望借助这一平台为大家提供更多的资源和交流合作的机会。

编者

目 录

| | |
|------------------------------|------|
| 第1章 绪论 | (1) |
| 1.1 锻造加工金属零件的优势 | (1) |
| 1.2 锻造方法分类及锻件应用范围 | (1) |
| 第2章 锻造用材料准备 | (3) |
| 2.1 锻造用钢锭与型材 | (3) |
| 2.1.1 钢锭的内部结构 | (3) |
| 2.1.2 大型钢锭的主要缺陷 | (4) |
| 2.1.3 型材的常见缺陷 | (5) |
| 2.2 下料和下料方法 | (6) |
| 2.2.1 剪切 | (7) |
| 2.2.2 冷折法 | (7) |
| 2.2.3 锯切 | (8) |
| 2.2.4 砂轮切割 | (8) |
| 2.2.5 气割 | (8) |
| 2.3 模锻时的润滑 | (8) |
| 2.3.1 传统用钢热模锻润滑剂和温锻润滑剂 | (9) |
| 2.3.2 新型绿色钢热模锻润滑剂 | (10) |
| 2.4 钢的软化退火 | (11) |
| 2.5 钢的磷化处理 | (12) |
| 2.5.1 钢质坯料的一般磷化处理工艺 | (13) |
| 2.5.2 钢质坯料的快速磷化处理工艺 | (14) |
| 2.5.3 磷化处理操作过程要点 | (15) |
| 2.5.4 磷化膜品质不良的形式及防治措施 | (16) |
| 第3章 锻造的加热规范 | (18) |
| 3.1 一般加热方法 | (18) |
| 3.1.1 燃料加热 | (18) |
| 3.1.2 电加热 | (19) |
| 3.2 少氧化加热 | (21) |
| 3.2.1 快速加热 | (21) |

| | | |
|------------|------------------|-------------|
| 3.2.2 | 介质保护加热 | (21) |
| 3.2.3 | 少无氧化火焰加热 | (22) |
| 3.3 | 钢加热时的性能变化 | (24) |
| 3.3.1 | 加热对钢的力学性能的影响 | (24) |
| 3.3.2 | 加热过程中钢的氧化 | (25) |
| 3.3.3 | 加热过程中钢的脱碳 | (26) |
| 3.3.4 | 加热过程中的过热和过烧 | (26) |
| 3.3.5 | 加热过程中的金属内部裂纹 | (27) |
| 3.4 | 钢的加热规范及锻造温度范围 | (28) |
| 3.4.1 | 钢的加热规范内容 | (28) |
| 3.4.2 | 加热规范类型 | (30) |
| 3.4.3 | 钢的加热规范 | (32) |
| 3.4.4 | 加热温度测定 | (33) |
| 3.4.5 | 钢的锻造温度范围 | (35) |
| 第4章 | 自由锻主要工序分析 | (38) |
| 4.1 | 自由锻工序分类 | (38) |
| 4.1.1 | 自由锻工艺特征 | (38) |
| 4.1.2 | 自由锻工序分类 | (38) |
| 4.2 | 镦粗 | (39) |
| 4.2.1 | 平砧镦粗 | (40) |
| 4.2.2 | 垫环镦粗 | (43) |
| 4.2.3 | 局部镦粗 | (44) |
| 4.3 | 拔长 | (44) |
| 4.3.1 | 拔长时的锻造比 | (44) |
| 4.3.2 | 拔长变形特点 | (45) |
| 4.3.3 | 影响拔长质量的工艺因素 | (46) |
| 4.3.4 | 芯轴拔长 | (47) |
| 4.4 | 冲孔 | (48) |
| 4.4.1 | 实心冲子冲孔 | (48) |
| 4.4.2 | 空心冲子冲孔 | (50) |
| 4.4.3 | 在垫环上冲孔 | (50) |
| 4.5 | 扩孔 | (50) |
| 4.5.1 | 冲子扩孔 | (50) |
| 4.5.2 | 芯轴扩孔 | (51) |

| | | |
|------------|------------------|-------------|
| 4.6 | 弯曲 | (52) |
| 4.7 | 切割 | (53) |
| 4.8 | 错移 | (54) |
| 第5章 | 自由锻工艺过程 | (56) |
| 5.1 | 自由锻件的分类 | (56) |
| 5.1.1 | 饼块类锻件 | (56) |
| 5.1.2 | 空心类锻件 | (57) |
| 5.1.3 | 轴杆类锻件 | (57) |
| 5.1.4 | 曲轴类锻件 | (58) |
| 5.1.5 | 弯曲类锻件 | (59) |
| 5.1.6 | 复杂形状锻件 | (60) |
| 5.2 | 自由锻工艺规程的制定 | (60) |
| 5.2.1 | 自由锻件图的制定与绘制 | (61) |
| 5.2.2 | 确定钢坯的质量与规格 | (63) |
| 5.2.3 | 变形工艺过程的制定 | (66) |
| 5.2.4 | 锻造比的确定 | (67) |
| 5.2.5 | 自由锻设备能力选定 | (70) |
| 5.3 | 自由锻工艺规程编制举例 | (71) |
| 5.4 | 胎模锻造 | (74) |
| 5.4.1 | 胎模锻的特点 | (74) |
| 5.4.2 | 胎模分类 | (75) |
| 第6章 | 模锻成形工步分析 | (77) |
| 6.1 | 模锻的分类及特点 | (77) |
| 6.1.1 | 模锻的分类 | (77) |
| 6.1.2 | 模锻的特点 | (77) |
| 6.1.3 | 模具对金属变形的影响 | (78) |
| 6.2 | 开式模锻 | (79) |
| 6.2.1 | 开式模锻成形过程的分析 | (79) |
| 6.2.2 | 开式模锻时影响金属成形的主要因素 | (83) |
| 6.3 | 闭式模锻 | (86) |
| 6.3.1 | 闭式模锻的变形过程分析 | (86) |
| 6.3.2 | 闭式模锻时影响金属成形的主要因素 | (88) |
| 6.4 | 挤压 | (90) |
| 6.4.1 | 挤压的应力应变分析 | (91) |

| | | |
|------------|------------------|--------------|
| 6.4.2 | 挤压时凹模模膛内金属的变形 | (91) |
| 6.4.3 | 挤压时常见缺陷分析 | (93) |
| 6.5 | 顶镦 | (96) |
| 6.5.1 | 顶镦 | (96) |
| 6.5.2 | 电热镦粗 | (98) |
| 6.5.3 | 在带有导向的模具中镦粗 | (99) |
| 第7章 | 锤上模锻 | (101) |
| 7.1 | 锤上模锻的特点 | (101) |
| 7.2 | 模锻锤 | (102) |
| 7.2.1 | 蒸汽-空气有砧座模锻锤的结构特点 | (102) |
| 7.2.2 | 模锻锤的操纵特点 | (103) |
| 7.3 | 锻件分类 | (104) |
| 7.4 | 锻件图设计 | (105) |
| 7.4.1 | 分模面位置的选择 | (105) |
| 7.4.2 | 加工余量和公差的确 | (107) |
| 7.4.3 | 模锻斜度的选择 | (109) |
| 7.4.4 | 圆角半径的确定 | (110) |
| 7.4.5 | 冲孔连皮 | (111) |
| 7.4.6 | 技术条件 | (112) |
| 7.5 | 模锻工步的选择 | (113) |
| 7.5.1 | 模锻变形工步与模膛的分类 | (113) |
| 7.5.2 | 模锻工步的选择 | (113) |
| 7.5.3 | 几种模锻方式的选用 | (118) |
| 7.6 | 模膛设计 | (120) |
| 7.6.1 | 终锻模膛设计 | (120) |
| 7.6.2 | 预锻模膛设计 | (125) |
| 7.6.3 | 制坯模膛设计 | (129) |
| 7.7 | 毛坯尺寸的确定 | (138) |
| 7.7.1 | 长轴类锻件 | (138) |
| 7.7.2 | 圆饼类锻件 | (138) |
| 7.8 | 设备选择 | (139) |
| 7.9 | 锻模结构设计 | (140) |
| 7.9.1 | 模膛的布排 | (140) |
| 7.9.2 | 错移力的平衡与锁扣设计 | (144) |

| | | |
|-------------|--------------------------|-------|
| 7.9.3 | 脱料机构设计 | (147) |
| 7.9.4 | 模具强度设计 | (148) |
| 7.9.5 | 模块尺寸及校核 | (149) |
| 7.10 | 锻模材料选择、使用与维护 | (150) |
| 7.10.1 | 锻模材料选择 | (150) |
| 7.10.2 | 锤锻模的使用与维护修理 | (152) |
| 7.11 | 锤用锻模设计实例 | (154) |
| 第8章 | 热模锻曲柄压力机上模锻 | (163) |
| 8.1 | 热模锻压力机的模锻特点 | (163) |
| 8.1.1 | 模锻特点 | (163) |
| 8.1.2 | 应用范围 | (164) |
| 8.2 | 锻件分类 | (165) |
| 8.3 | 模锻工步的选择 | (166) |
| 8.4 | 锻件图设计 | (168) |
| 8.5 | 模膛设计 | (169) |
| 8.6 | 锻模结构 | (172) |
| 8.7 | 毛坯尺寸的确定 | (175) |
| 8.8 | 设备选择 | (176) |
| 8.9 | 热模锻曲柄压力机上模锻实例 | (177) |
| 第9章 | 摩擦压力机上模锻 | (179) |
| 9.1 | 摩擦压力机的模锻特点 | (179) |
| 9.2 | 锻件分类 | (180) |
| 9.3 | 锻件图设计 | (181) |
| 9.4 | 模膛设计 | (183) |
| 9.5 | 锻模结构 | (185) |
| 9.6 | 设备选择 | (187) |
| 9.7 | 摩擦压力机上模锻实例 | (188) |
| 第10章 | 锻件的冷却和后续工序 | (190) |
| 10.1 | 锻件的冷却 | (190) |
| 10.1.1 | 锻件冷却常见缺陷产生原因及防止 | (190) |
| 10.1.2 | 锻件的冷却方法 | (192) |
| 10.1.3 | 锻件的冷却规范 | (192) |
| 10.2 | 切边与冲连皮 | (193) |
| 10.2.1 | 切边与冲连皮的方法 | (193) |

| | | |
|-------------|-------------|--------------|
| 10.2.2 | 切边模和冲连皮模 | (193) |
| 10.2.3 | 切边力与冲连皮力的计算 | (194) |
| 10.3 | 锻件热处理 | (194) |
| 10.3.1 | 中小锻件热处理 | (194) |
| 10.3.2 | 大型锻件热处理 | (195) |
| 10.4 | 表面清理 | (196) |
| 10.5 | 校正 | (197) |
| 10.5.1 | 热校正与冷校正 | (198) |
| 10.5.2 | 校正模 | (198) |
| 10.6 | 精压 | (199) |
| 10.6.1 | 精压的分类 | (199) |
| 10.6.2 | 影响精压件精度的因素 | (201) |
| 10.7 | 锻件主要缺陷及质量检验 | (201) |
| 10.7.1 | 锻件的主要缺陷 | (201) |
| 10.7.2 | 锻件质量检验 | (204) |
| 第11章 | 特种锻造 | (208) |
| 11.1 | 精密模锻 | (208) |
| 11.1.1 | 精锻工艺特点 | (208) |
| 11.1.2 | 锻件图的设计 | (208) |
| 11.1.3 | 坯料的准备 | (211) |
| 11.1.4 | 精锻的模具及使用设备 | (212) |
| 11.1.5 | 精锻工艺流程 | (214) |
| 11.2 | 冷锻、温锻及等温锻造 | (214) |
| 11.2.1 | 冷锻 | (214) |
| 11.2.2 | 温锻 | (217) |
| 11.2.3 | 等温模锻 | (217) |
| 11.3 | 超塑性模锻 | (218) |
| 11.3.1 | 金属超塑性种类 | (218) |
| 11.3.2 | 超塑性成形工艺特点 | (219) |
| 11.3.3 | 超塑性模锻工艺流程 | (219) |
| 11.3.4 | 超塑性成形模具及设备 | (220) |
| 11.4 | 辊轧工艺 | (220) |
| 11.4.1 | 辊锻 | (221) |
| 11.4.2 | 横轧工艺 | (222) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 11.4.3 环形件轧制 (扩孔工艺) | (225) |
| 11.4.4 齿轮轧制 | (225) |
| 11.5 径向锻造 | (226) |
| 11.5.1 原理 | (227) |
| 11.5.2 径向锻造工艺 | (227) |
| 11.5.3 径向锻造的优点与应用 | (228) |
| 参考文献 | (229) |

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好、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、摔子、冲子、垫铁等对铸锭或棒材进行镦粗、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300~400℃），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1000万t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

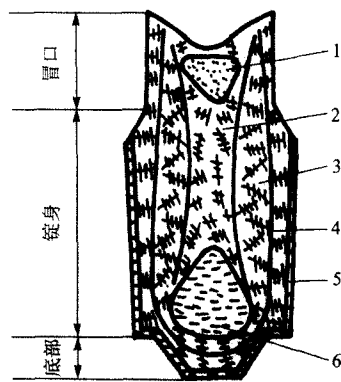


图 2-1 钢锭纵剖面组织结构

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

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 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