

模具设计丛书

先进锻模56例 设计应用评析

田福祥 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模具设计丛书

先进锻模 56 例 设计应用评析



机械工业出版社

前 言

锻模在现代工业中应用广泛。现有相关的设计手册和书籍中，设计规范、图表和数表占主体，实用模具结构，特别是针对具体模具的评述分析较少。

本书以实用为目的，广泛吸收生产实践中的先进经验，精选 56 例新颖、先进、实用的锻模结构，包括开式锻模、闭式锻模、齿轮精密锻模、等温锻模、锻件切边模和冲孔模、棒料精密剪切模、圆柱齿轮和锥齿轮精密锻模，以及齿轮锻模的齿形设计、打模电极设计等。每个实例有各自的特点和新颖之处，许多模具构思巧妙。

本书以模具结构设计为主线，突出实用性，力求成形工艺与模具结构相结合，设计规范与设计技巧相结合，理论知识与实践经验相结合，避开繁冗抽象的理论叙述，力求简明、直观、实用。针对一些模具及其构件的特殊性，还论述了模具加工工艺、装配和调整技巧，使模具设计与模具制造紧密结合。

全书按模具结构特点分为 9 章，前两章为设计基础，其余各章均为模具设计应用实例。每个实例为一节，对具体锻件给出具体的锻模结构，论述锻件的成形工艺性、成形工步、模具的设计思路、模具结构特点、模具工作过程、关键技术，以及可能出现的问题和解决方法。后 7 章每章最后一节为模具设计计算示例，针对典型制件，展示工艺计算和模具设计的详细过程：制件工艺性分析、挤压件设计、坯料的计算和制备、成形工步设计、变形程度计算、挤压力计算、润滑剂和设备选择、模具结构设计。

实践中许多锻件的形状或尺寸相近，材料或成形工艺性相同或相近。因此本书的目的在于：设计人员设计模具时，可根据制品的形状、尺寸、批量、材质和设备等条件，借鉴本书中相应或相近的实例，触类旁通，合理地设计锻件，确定分型面的位置和形状、成形工艺条件（温度、润滑和成形力等）、成形工步、模具结构和型腔组合形式、脱模机构和机械化程度等。从而借他山之石，攻我山之玉，取得事半功倍之效。

作者以精品的标准撰写本书，但因时间和作者水平所限，书中可能有疏漏或不足之处，作者愿与读者探讨，纠正谬误，为模锻技术发展尽绵薄之力。

本书既可供模具设计人员使用，也可供高等院校师生的课堂教学、课程设计和毕业设计参考。

作 者

目 录

前言

第 1 章 锻模总论.....	1
1.1 模锻工艺概述.....	1
1.2 锻模类别及术语.....	4
1.3 锻模常用材料和热处理要求.....	10
1.4 塑性变形指标.....	10
1.5 当量线膨胀率的计算.....	12
1.6 模锻力的计算.....	13
参考文献.....	13
第 2 章 锻模重要基础零部件设计.....	14
2.1 预应力组合凹模最佳设计.....	14
2.2 垫板尺寸简便设计计算方法.....	25
2.3 弹性夹套设计.....	28
2.4 自动返回顶料器结构设计.....	29
参考文献.....	30
第 3 章 开式锻模.....	31
3.1 八角锤体预锻模和终锻模.....	31
3.2 拼装式固定钳口锻模.....	36
3.3 顶件器自动返回双向顶件深模膛锻模.....	37
3.4 自动回转夹钳定位锻件的锻模.....	39
3.5 气门弹簧座冷锻模.....	40
3.6 磁极热锻模.....	41
3.7 偏心轮温锻模.....	42
3.8 具有活动模芯的汽车调整背母锻模.....	44
3.9 磁极高速温挤压模具.....	45
3.10 设计计算示例：汽车转向节热锻模.....	46
参考文献.....	51
第 4 章 闭式锻模.....	52
4.1 水平分模圆柱齿轮坯闭式锻模.....	52
4.2 水平分模从动锥齿轮坯闭式锻模.....	54
4.3 水平分模拉杆球头精锻模.....	56
4.4 同步器锥毂坯预锻模和终锻模.....	57
4.5 有补偿空间的圆柱齿轮坯锻模.....	59
4.6 垂直对合凹模双法兰锻件闭式锻模.....	61
4.7 摩托车齿坯镶拼式温锻模.....	62
4.8 无拔模角、无毛边锻模.....	64
4.9 设计计算示例：摩托车档位齿轮闭式温锻模.....	65
参考文献.....	68

第 5 章 圆柱齿轮精密锻模设计	69
5.1 圆柱齿轮热精锻-冷推挤工艺和模具	69
5.2 带强力脱模装置的内齿轮精锻模	70
5.3 驱动齿轮高速冷挤压模具	73
5.4 圆柱齿轮精锻模渐开线齿形设计	75
5.5 设计计算示例：模具渐开线齿形拟合及线切割加工	76
参考文献	79
第 6 章 锥齿轮精密锻模设计	80
6.1 螺旋弹簧浮动凹模行星齿轮闭式锻模	80
6.2 碟形弹簧浮动凹模的行星齿轮闭式锻模	82
6.3 液压浮动凹模行星齿轮闭式锻模	84
6.4 汽车差速器半轴齿轮锻模	85
6.5 汽车后桥从动弧齿锥齿轮闭式锻模	87
6.6 弧齿锥齿轮打模组合电极	90
6.7 锥齿轮锻模齿形和电极齿形设计	91
6.8 锥齿轮锻件切边模结构设计	95
6.9 设计计算示例：锥齿轮锻件切边模刃口设计和加工	96
参考文献	99
第 7 章 等温锻模	100
7.1 等温变形工艺基础	100
7.2 工作口在侧面的感应加热模具装置	102
7.3 工作口在感应器上方的等温挤压模具	104
7.4 带硅碳棒加热器的模具装置	106
7.5 带电阻丝加热器的模具装置	107
7.6 镁合金弹簧汽室支架等温挤压模具	108
7.7 铝合金壳体件等温锻模	110
7.8 铝合金筒形机匣等温精密锻模	111
7.9 设计计算示例：钛合金压气机盘等温锻模	112
参考文献	114
第 8 章 锻件切边模和冲孔模	115
8.1 轴承座切边-冲孔复合模	115
8.2 气动顶出活扳手扳体切边模	117
8.3 半轴凸缘热切边模	118
8.4 连杆冲孔-切边-校正复合模	119
8.5 德式钳工锤冲孔-整形模	121
8.6 设计计算示例：八角锤切边-冲孔复合模	122
参考文献	124
第 9 章 棒料精密剪切模	125
9.1 棒料剪切模设计要点	125
9.2 杠杆机构径向夹紧棒料精密剪切模	126
9.3 齿轮-齿条-凸轮径向夹紧棒料精密剪切模	129
9.4 径向夹紧芯轴支撑管材精密剪切模	130
9.5 气动出料封闭式棒料剪切模	132
9.6 自动送料封闭式棒料剪切模	133

9.7 电动出料封闭式棒料剪切模.....	135
9.8 棒料双件精密剪切模.....	136
9.9 弹射出料套筒式棒料剪切模.....	138
9.10 设计计算示例：径向轴向加压棒料精密剪切模.....	140
参考文献.....	141
附 录	142
附录A 常用钢材在高温下的强度极限 σ_b 和锻造温度范围.....	142
附录B 常用黑色金属的力学性能	143
附录C 常用有色金属的力学性能.....	144

第 1 章 锻模总论

1.1 模锻工艺概述

模锻工艺是金属毛坯在外力作用下发生变形充满模膛，获得所需形状、尺寸并具有一定力学性能的模锻件的锻造生产工艺。根据模锻时锻件是否形成横向飞边，模锻工艺可分为开式模锻、闭式模锻和闭塞式模锻。

1.1.1 开式模锻

开式模锻（有飞边模锻）如图 1-1a 所示，分型面与模具运动方向垂直，在模锻过程中分型面之间的距离逐渐缩小，锻件周围沿分型面形成横向飞边，依靠飞边的阻力使金属充满模膛。

开式模锻过程可分为自由锻锻、模膛充满和打靠三个阶段，如图 1-2 所示。开式模锻依靠飞边的阻力使金属充满模膛，因此飞边金属的损耗不可避免。

第一阶段为自由锻锻阶段（见图 1-2a），从毛坯与上模膛表面（或冲头表面）接触开始到坯料金属与模膛最宽处侧壁接触为止。在这一阶段，金属充满模膛中某些容易充满的部分。

第二阶段为模膛充满阶段（见图 1-2b），从毛坯金属与模膛最宽处侧壁接触开始到金属完全充满模膛为止。在这一阶段，随着桥部金属变薄，金属流入飞边的阻力增大，迫使金属流向凸台和角部，完全充满模膛。

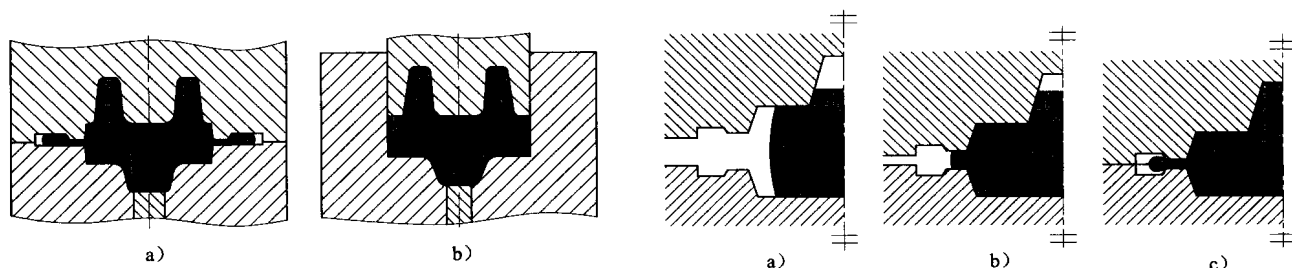


图 1-1 开式和闭式模锻
a) 开式模锻 b) 闭式模锻

图 1-2 开式模锻成形过程
a) 自由锻锻 b) 模膛充满 c) 打靠

第三阶段为打靠阶段（见图 1-2c），金属已完全充满模膛，上、下模面打靠，多余金属被挤入飞边槽，锻件达到设计高度。

开式模锻能锻造各种复杂的锻件，适应面广，且下料无需十分精确，锻造时模壁对变形金属的侧向压力小，模具寿命高。但是开式模锻件尺寸精度低，锻后需要进行切边精整等工序，由于开式模锻时金属流线在飞边附近汇集，锻件切边后，流线末端外露，会使零件的抗应力、抗腐蚀能力降低；由于飞边金属的损耗是不可避免的，因而开式模锻材料利用率低。

1.1.2 闭式模锻

闭式模锻即无飞边模锻，如图 1-1b 所示。分型面与模具运动方向平行，在模锻过程中分型面之间的间隙保持不变，不形成飞边。如果间隙和毛坯体积过大，则在模膛充满后出现纵向毛刺。

闭式模锻按变形金属充满模膛的方式可分为锻粗式和锻粗压入式两类。

1. 锻粗式闭式模锻

锻粗式闭式模锻也称闭式锻粗。闭式锻粗分整体闭式锻粗和局部闭式锻粗两类。前者以坯料外径定位，而后者以坯料的不变形部分定位。闭式锻粗变形过程可以分为三个阶段（见图 1-3）：开式锻粗阶段、充满角隅阶段、挤出端部毛刺阶段。

（1）开式锻粗阶段（见图 1-3a） 开式锻粗为自由锻粗，从坯料与冲头或上模膛表面接触开始到坯

料金属与模膛（最宽处）的侧壁接触为止。

（2）充满角隙阶段（见图 1-3b） 从毛坯的鼓形侧面与凹模侧壁接触开始，到整个侧表面与模壁贴合且模膛角隙完全充满为止。在这一阶段中，变形金属的流动受到模壁的阻碍，变形金属各部分处于不同的三向压应力状态。随着毛坯变形程度的增加，模具承受的侧向压力逐渐增大，直到模膛完全充满为止。

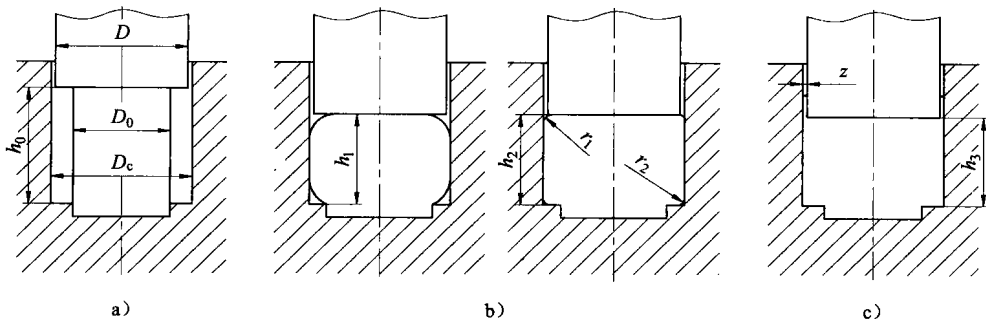


图 1-3 闭式锻粗时充满模膛的三个阶段

a) 开式锻粗阶段 b) 充满角隙阶段 c) 挤出端部毛刺阶段

（3）挤出端部毛刺阶段（见图 1-3c） 充满模膛后的多余金属在继续增大的压力作用下被挤入凸、凹模之间的间隙中，形成环形纵向毛刺。首先，对于形状特别复杂的闭式模锻件，某些角部在变形的第二阶段结束时不能完全充满，需要继续加大压力，在凸、凹模间形成端部环形纵向毛刺，才能把金属挤入未充满的角隙，得到合格的锻件。其次，当坯料尺寸偏差较大时，多余金属也只有被挤进凸、凹模间的间隙才能达到锻件所要求的尺寸。因此，闭式模锻的第三阶段往往是不可缺少的。

2. 锻粗压入式模锻

以环形件为例，其锻粗压入式闭式模锻过程可以分为三个阶段，如图 1-4 所示。

第一阶段：如图 1-4a 所示，坯料冲孔和锻粗与开式模锻无甚差别仅结束时间略长，因为无飞边，坯料体积比开式模锻小，其鼓形与模壁接触较迟。

第二阶段：如图 1-4b 所示，金属流动特性与开式的不同，模壁限制了径向流动，只能向模膛上下底部充填。当金属与底部接触时，第二阶段结束。

第三阶段：如图 1-4c 所示，模膛内各圆角半径处被充满。

闭式模锻坯料金属在封闭的模膛中成形，可以得到几何形状、水平方向的尺寸精度最大限度地接近于产品零件的锻件。同开式模锻相比，它可大大提高材料利用率。在曲柄压力机上闭式模锻，因机器有固定下死点，所以要求下料体积精度高，否则会出现闷车或欠锻现象；在螺旋压力机上闭式模锻，因机器无固定下死点，下料精度不高时也不会出现闷车或欠锻现象，但难以保证锻件设计高度。由于闭式模锻无飞边槽容纳多余金属，其模具寿命不如开式模锻高。

1.1.3 闭塞式模锻

闭塞式模锻（也称为闭模挤压或可分凹模模锻）是具有可分凹模的闭式模锻。图 1-5 是闭塞式模锻成形过程示意图。先将可分凹模闭合，并对闭合的凹模施以足够的合模力，然后用一个冲头

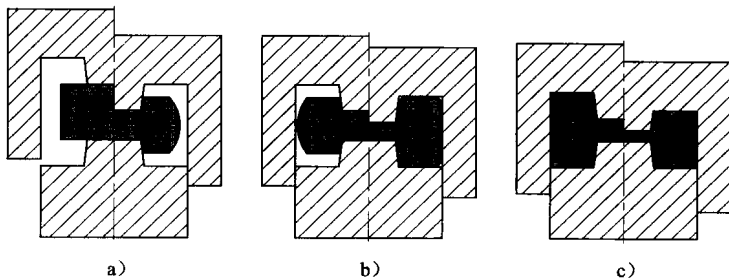


图 1-4 锻粗压入时充满模膛的三个阶段

a) 坯料中部锻粗 b) 模壁限制径向流动 c) 模膛充满

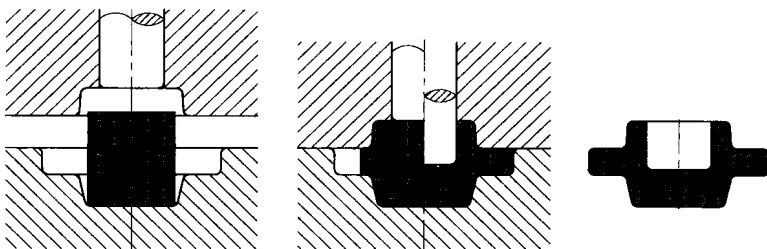


图 1-5 闭塞式模锻成形过程示意图

或多个冲头, 从一个方向或多个方向将模膛内的坯料挤压成形。对不同形状的零件, 闭式模锻时金属的变形流动情况不同。冲头下部(或前端)被挤的金属或仅径向流动, 或同时沿径向和轴向流动。

闭式模锻是从径向挤压发展过来的, 最初用于生产十字轴等带有枝叉的锻件, 近年来已开始用于生产锥形齿轮、轮毂螺母等零件。由于闭式模锻时在一次变形工序中可以获得较大的变形量和复杂的型面, 因此特别适合复杂形状零件的成形。本书第4章给出多个新颖实用的闭式锻模的模具结构。

1.1.4 热锻、温锻和冷锻

以锻造时坯料的加热温度范围为标准, 锻造可分为热锻、温锻和冷锻。不同的锻造温度对锻件的组织性能的影响不同, 因此应根据锻件材料的特性和对锻件性能的要求选择适当的锻造温度。

1. 冷锻

冷锻是指在室温或低于工件回复温度下进行的锻造, 包括锻、各种模锻、压印及挤压等。冷锻产品有销、钉、螺栓、螺母、铆钉等小件, 以及汽车驱动轴、压力容器等大件。冷锻对锻造设备和坯料下料精度要求高, 具有产品精度高、劳动条件好等优点。

毛坯在冷锻变形前必须进行以下三种处理:

(1) 毛坯软化退火处理 目的是改善材料冷挤压性能, 提高毛坯材料塑性, 降低硬度和变形力, 消除内应力和降低冷挤压时的单位挤压力, 提高模具使用寿命。

(2) 毛坯表面处理 毛坯表面要求良好的表面处理。通常表面处理为氧化处理, 过程为: 碱洗→热水洗→冷水洗→氧化→干燥。

(3) 毛坯润滑处理 目的是减小挤压力和模具磨损, 避免粘模、划痕等缺陷。通常毛坯润滑处理为磷化、皂化或采用涂覆植物油润滑方式。

冷锻工艺最适用于硬度为 75~87HBW 的低碳钢, 也能用于铜、铝、不锈钢和某些镍合金。其它有色金属和合金, 如钛、铍、镁及高熔点金属和合金在室温下很难成形, 会产生裂纹, 需采用温、热成形方法。

冷锻模具的工作特点和要求:

1) 作用在模具上的单位压力较大, 有时可达到 2500~3000MPa, 模具必须具有足够的强度。

2) 模具连续工作时, 模具工作表面温度上升, 有时瞬时温度上升到 300℃ 以上。

3) 由于变形时金属与模具的接触面产生很大的摩擦, 模具的工作表面承受很大的摩擦载荷, 故要求模具的工作表面有良好的耐磨性和耐粘附性。

4) 模具工作部分应避免出现尖角或退刀槽, 尽量采用光滑的圆角过渡。对承受内压力较大的凹模, 应采用预应力圈结构, 以防凹模过量地变形与开裂。为了防止因模具工作部分形状突变而引起的应力集中, 常将凸、凹模做成组合结构。

5) 冷锻模具材料要求具有足够的强度和硬度, 较好的韧性, 较大的疲劳强度, 较好的热处理淬透性和抗回火稳定性, 热处理变形小, 以及良好的机械加工性能等。

2. 热锻

热锻是指终锻温度高于再结晶温度的锻造。坯料因加热至较高温度, 变形抗力较小, 因此热锻允许较大的变形量和较小的设备吨位。但因热锻一般是在高温下进行, 所得产品表面品质和尺寸精度较差, 往往需要切削加工等后续工序。

3. 温锻

温锻是在冷锻基础上发展起来的一种工艺, 其变形温度介于室温和再结晶温度之间。一方面, 由于加热降低了变形抗力, 故降低了对坯料的要求, 特别是对塑性较差、难以冷锻成形的材料, 温锻可使其产生一定程度的变形, 对锻压设备和模具强度有利; 另一方面, 由于变形温度较低, 使锻件精度和强度均可达到与冷锻件相近的程度, 氧化和脱碳也很少。

此外, 按照机械加工余量的大小, 锻造可分为普通模锻和精密模锻。精密模锻同样分为开式和闭式两种。开式精密模锻, 其锻件的余量、公差和飞边比普通开式模锻要小得多。闭式模锻, 尤其是中小型锻件的闭式模锻均为精密模锻。

按锻压设备类型的不同, 模锻工艺可分为锤上模锻、热模锻压力机模锻、平锻机模锻、螺旋压力机模

锻、水压机模锻、高速钢模锻和其它专用设备模锻。

1.1.5 锻件类别

锻件种类繁多, 为便于工艺及模具设计, 很有必要将锻件进行分类。按不同的分类标准, 锻件的分类也不同。按基本工艺可分为自由锻件、胎模锻件、模锻件和特种锻件四大类, 每一大类又可分为若干小类; 按锻件的精确程度可分为粗锻件、普通锻件、半精锻件和精密锻件; 按锻件轮廓形状可分为密集形锻件、盘形锻件、长杆形锻件和枝芽类锻件四大类。

1.2 锻模类别及术语

锻模是金属在热态或冷态下进行体积成形时所用模具的统称, 是进行模锻生产的关键要素之一。

1.2.1 锻模类别^[1]

按设备不同, 锻模可分为锤用锻模、螺旋压力机用锻模、热模锻压力机用锻模、平锻机用锻模、水压机用锻模、高速锤用锻模、摆动辗压机用锻模、辊锻机用锻模、孔型斜轧和楔横轧用锻模、自动镦锻机用锻模等。

按工艺用途, 锻模可分为锻造模、预锻模具、终锻模具、挤压模具、精锻模具、辊锻模、镦锻模、摆辗模、校正模、压印模、精锻模、精整模、粉末压制、切边模具、冲孔模具、等温锻模、超塑性锻模、压印模、切边模等。

按锻模结构, 锻模可分为开式锻模、闭式锻模、整体锻模和组合锻模。

按分型面数量, 锻模可分为单向分型面锻模和多向分型面锻模。

1.2.2 锻模及其零件术语

- (1) 锻模 (Forging die) 模锻时使坯料成形而获得锻件的工艺装备。
- (2) 开式锻模 (Open forging die) 金属流动不完全受模膛限制的模具。
- (3) 闭式模锻 (Closed forging die) 金属流动完全受模膛限制的模具。
- (4) 锤锻模 (Hammer forging die) 在模锻锤上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具。
- (5) 机械压力机锻模 (Mechanical press forging die) 在机械压力机上使用的锻模。
- (6) 平锻模 (Upset forging die) 在水平锻造机上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具。
- (7) 辊锻模 (Forge rolling die) 在辊锻机上将毛坯纵轧成形的扇形模具。
- (8) 螺旋压力机锻模 (Screw press die) 在螺旋压力机上使坯料成形为模锻件或其半成品的模具。
- (9) 冷锻模 (Cold heading die) 在冷锻机上使坯料切断、预成形、成形为模锻件的模具。
- (10) 高速锤锻模 (High speed hammer forging die) 在高速锤上使坯料成形为模锻件的模具。
- (11) 校正模 (Straightening die) 用于校正已成形的锻件成为具有准确的形状和尺寸的模具。
- (12) 压印模 (Coining die) 使锻件表层变形产生凹凸印纹的模具。
- (13) 切边模 (Trimming die) 切除锻件飞边的模具。
- (14) 冲孔模 (Piercing die) 切除孔内连皮等使锻件具有透孔的模具。
- (15) 挤压模 (Extrusion die) 使金属挤压成形的模具。
- (16) 精锻模 (Precision forging die) 锻制精密锻件的模具。精密模锻件是指在形状尺寸精度方面高于普通模锻件的锻件。
- (17) 精压模 (Sizing die) 对锻件进行少量压缩, 以提高锻件局部或整体的尺寸精度的模具。
- (18) 多向锻模 (Multi-ram forging die) 能从垂直和水平 (或倾斜) 方向分别或同时对金属毛坯施加压力, 使毛坯能多向成形的模具。
- (19) 闭塞锻模 (Core forging die) 具有锻件外廓形状的模膛先闭合, 然后将冲头压进模膛内部, 使金属充满模膛的同时冲出锻件孔部所用的模具。
- (20) 胎模 (Loose tooling) 在自由锻设备上锻造模锻件时使用的模具。

(21) 锻模模块 (Forging die block) 模锻时承受某一变形工步全部锻压力并带有工作部分的模具主体。

(22) 锻模镶块 (Forging die insert) 对模锻的复杂或易损工作部位分开制造, 然后镶入的模块零件。

(23) 飞边槽 (Flash cave) 在分型面沿模膛周围设置的用于保证模膛充满和容纳在成形过程中产生多余材料的凹槽, 它由飞边桥和飞边仓组成。

(24) 飞边桥 (Flash land) 飞边槽中和模膛紧相连接的间隙面, 多余金属越过该间隙面挤出而形成飞边, 它可产生阻力使金属充满模膛。

(25) 飞边仓 (Cutter or flash gutter) 围绕着飞边桥外周的凹槽, 用于容纳多余的金属材料。

(26) 阻力沟 (Resistance slot) 在飞边桥部或在模膛难充满处的外边沿垂直预金属流动方向局部设置的小沟槽。它可以增加水平方向的流动阻力, 以利于金属流向难充满的模膛部分。

(27) 排气孔 (Vent hole) 在锻模上为排除锻造时滞留于模膛内的空气而开设的小孔。

(28) 导柱 (Guide pin or pillar) 与导套 (或孔) 相配合, 用以确定模具运动部分的相对位置, 保证运动导向精度的圆柱形零件。

(29) 导套 (Guide bushing) 与导柱相配合, 用以确定模具运动部分的相对位置, 保证运动导向精度的圆筒形零件。

(30) 衬套 (Bushing tube) 为提高导套等零件的寿命或减小摩擦而设置的起衬垫作用的圆筒形零件。

(31) 垫板 (Bolster plate) 加在凸、凹模支撑面与模座间的平板, 承受和分散凸模或凹模作用在模座上的压力。

(32) 模座 [Die mounting base (plate)] 将模具运动或静止部分的零件都安装在运动或静止的模具底座上, 该底座称为模座。

(33) 模架 (Die sets) 除直接起作用的零件外, 由导向装置与上下模座等构成的组合体。

(34) 顶杆 (Ejector pin) 将锻件由模具顶出的杆形零件。

(35) 模膛 (Impression) 为了使被锻金属获得一定的形状和尺寸, 在模块上加工出的成形凹槽。

(36) 分型面 (Die parting face) 上下模或凸、凹模的分界面。分型面可以是平面也可以是曲面。

(37) 预锻模膛 (Blocking impression or rougher) 为了改善终锻时金属的流动条件, 避免产生充填不满和折叠, 使锻坯最终成形前获得接近终锻形状的模膛, 可以提高终锻模膛的寿命。

(38) 终锻模膛 (Finishing impression or finisher) 模锻时最后成形用的模膛, 和热锻件上相应部分的形状、尺寸一致。

(39) 定位键 (Locating key) 用以确定模具镶块等零件位置的一种定位零件。

(40) 键槽 (Key seat) 在模座或垫板上加工的用以安放定位键的凹槽。

(41) 制坯模膛 (Blanking impression) 按锻件变形要求, 对坯料体积进行合理分配的模膛, 它可以分为滚压模膛、拔长模膛、卡压模膛、弯压模膛、压扁台、镦粗台。

(42) 镦粗台 (Upset die) 为镦粗坯料而在锻模分型面局部设置的平台, 兼有去除坯料氧化皮作用。

(43) 压扁台 (Flattening die face) 为压扁坯料而在锻模分型面的局部设置的长方形平台, 兼有去除坯料氧化皮的作用。

(44) 拔长模膛 (Drawing impression) 使坯料某部分长度增加横截面减小的模膛。

(45) 滚压模膛 (Edge rolling impression, gathering impression) 用来减小坯料某部分的横截面积, 以增加另一部分横截面积, 使坯料体积分配符合锻件轴向分布要求的模膛, 坯料在该模膛内成形时要反复翻转 90°。

(46) 卡压模膛 (亦称压肩模膛) (Fullering impression) 使坯料局部高度略为减小, 而宽度增加, 头部得到少量聚料的模膛。坯料在该模膛内只锤击一次。

(47) 弯曲模膛 (Bending impression) 使坯料弯曲成与锻件水平投影形状相近似的模膛, 其坯料应翻转 90°放到下一模膛中去。

(48) 成形模膛 (Forming impression) 使坯料变形成与锻件水平投影形状相近似并作不大的轴向流

动的制坯模膛。在成形模膛锻出的坯料应翻转 90°放到下一模膛中去。

(49) 模锻模膛 (Die forging impression) 使坯料获得与锻件形状接近或完全一致的模膛, 它可分为预锻模膛和终锻模膛。

(50) 切断模膛 (Cut-off die) 一料多件锻造时, 用以从棒料上把已锻成的锻件分离的模膛。

(51) 劈料台 (Cleaver divider) 它是预锻模膛的一部分, 用以劈开叉部金属, 避免内角处充不满。

(52) 钳口 (Gate) 为了便于夹持锻坯, 取出锻件, 在模膛的出口处设置的凹腔。

(53) 浇口 (Sprue) 钳口与模膛间的沟槽称为浇口, 它不仅作浇注铅样或金属盐样的注入口, 还增加了锻件与钳夹头连接的刚度, 有助于锻件出模。

(54) 浇道 (Runner) 多件同时模锻时, 为浇注铅样或金属盐样在两个终锻模膛间开设的浇料通道。

(55) 燕尾 (Dovetail or shank) 锻模上用楔铁与锤头或砧座相连接的部分。

(56) 检验角 (Matched edge or match line) 在锻模上加工出相互垂直的两个斜面, 它是模膛加工的划线基准, 也是上下模对模的基准。

(57) 承击面 (Striking surface) 上、下锻模接触的表面。

(58) 锁扣 (Lock or kick crank) 为防止锻锤打击时产生上、下模错移, 而在上、下模加工出凸凹相配的凸台和凹挡。

(59) 平衡锁扣 (Counter lock) 模锻打击力方向有弯曲时, 为平衡水平分力所设置的锁扣。

(60) 侧锁扣 (Side lock) 在模块两侧设置的锁扣。

(61) 角锁扣 (Corner lock) 在模块角部设置的锁扣。

(62) 镦粗模 (Upsetting die) 完成镦粗制坯工步的模块。

(63) 卡压模 (Fullering die) 具有卡压模膛用以卡压制坯工步的模块。

(64) 成形模 (Forming die) 完成成形制坯工步的模块。

(65) 弯曲模 (Bending die) 具有弯曲模膛用以完成弯曲制坯工步的模块。

(66) 预锻模 (Blocking die) 具有预锻模膛用以完成预锻工步的模块。

(67) 终锻模 (Finishing die) 具有终锻模膛用以完成终锻工步的模块。

(68) 导向装置 (Guiding device) 用以保证上、下模工作时互相对正的装置。机锻模的导向装置一般由导柱、导套等零件组成。

(69) 紧固装置 (Fixing device) 用以将模块或其它零件固定于上、下模座的装置。

(70) 压板 (Clamp plate) 将模块等零件紧固于模座上的紧固零件。有斜面压板和直面压板等形式。

(71) 后定位面 (Rear-locating face) 模架后方的定位基准称为后定位面。

(72) 侧定位面 (Side-locating face) 模架侧向的定位基准称为侧定位面。

(73) 顶出器 (Ejecter) 把锻件从模膛中顶出的机构。

(74) 顶出杠杆 (Ejection lever) 把压力机顶杆的动作均匀传递到锻件的顶出器的杠杆。

(75) 多臂顶出杠杆 (Multi-arm ejection lever) 能同时推出多个锻件顶出器的顶出杠杆。

(76) 顶出环 (Ejection ring) 起顶出作用的环状零件, 用于回转体锻件的顶出。

(77) 顶出板 (Ejection plate) 将压力机顶杆的动作传递给各个顶出器的板状零件。

(78) 凸模体 (凸模夹持器) [Body of punches (holder of punches)] 将凸模夹紧固定成一整体, 使它和平锻机主滑块一起运动的模体, 有整体凸模体和组合式凸模体。

(79) 凸模柄 (Punch shank) 将凸模接长和固定到凸模体上的连接柄, 其作用是简化模具制造及节约模具钢。

(80) 凹模体 (Die body) 将凹模镶块及所加工的各个模膛连接成可以开闭的组合模块。由静止凹模体和活动凹模体组成一副完整的凹模体, 前者装于机座专用槽内, 后者装于设备的活动部分上。

(81) 凸模镶块 (Punch insert) 组合凸模上局部可换的拼接镶块, 它和凸模本体用不同材料制成, 以提高凸模使用寿命, 节约贵重材料。

(82) 凹模镶块 (Die insert) 凹模镶块多制成半圆柱体, 也有制成立方体的, 其上的模膛可全部或局部采用镶块, 镶块与凹模体的连接方式采用螺钉紧固。

(83) 积聚模膛 (聚集模膛) (Gathering impression) 使毛坯的局部横截面积增大, 以获得锻件粗大部分的模膛。

(84) 穿孔模膛 (Piercing impression) 将不透孔毛坯穿成透孔毛坯的模膛。

(85) 切边模膛 (Trimming impression) 切除锻件飞边的模膛。

(86) 切断模膛 (Cutting impression) 将锻件或工艺料头从棒料上剪断的模膛。

(87) 夹紧模膛 (Gripping impression) 将毛坯局部夹紧, 以免凸模加压时毛坯移动, 影响成形。夹紧模膛可以是光滑的或带凸纹的, 也可和卡细镶块结合在一起使用。

(88) 卡细模膛 (Necking impression) 利用活动凹模将棒料和已成形锻件的连接处夹细的模膛。

(89) 扩径模膛 (Expanding impression) 利用凸模将棒料或空心毛坯的内孔及外周直径扩大的模膛。

(90) 管坯镦粗模膛 (Tube upsetting impression) 对空心管坯进行镦粗使其横截面积增大、长度或高度减小的模膛。

(91) 后挡板 (Rear stop) 与棒料后端面接触, 以保证棒料送进定位正确的一种辅助装置。

(92) 制坯型槽 (Blanking groove) 使毛坯沿长度方向进行金属体积分配的型槽, 可以为模锻制坯。

(93) 预成型型槽 (Performing groove) 使锻件获得接近锻件形状的辊锻型槽, 其作用相当于锤锻模的预锻模膛。

(94) 成型型槽 (Finishing groove) 使制件获得热辊锻件最终形状的类型槽, 可分为开式型槽、闭式型槽、开式与闭式的组合型槽。

(95) 扇形模块 (Fanlike die block) 辊锻型槽加工在两个侧面呈扇形的模块上, 其内径和轧辊直径相同, 外径即分型面, 扇形模块可用压铁和螺钉固定在轧辊上。

(96) 型槽系 (System of grooves) 为获得一定形状的辊锻件所需要的型槽组合系列。

(97) 凸模套 (Punch case) 压装在凸模外部的圆筒状零件。

(98) 凸模芯 (Punch insert) 压装在凸模内部的嵌件, 是凸模的主要工作部分。

(99) 凸模芯垫 (Punch insert supporter) 压装在凸模套内, 位于凸模芯后边的圆筒形零件。

(100) 凸模后垫 (Punch supporter) 在机床的凸模夹持器内, 整个凸模后边的圆筒形零件。

(101) 凸模推杆 (Punch knock-out pin) 在凸模上装置用来推出坯料的销钉。

(102) 凹模垫 (Die supporter) 位于凹模底部起支撑作用的零件。

(103) 凹模套 (Die case) 压装在凹模外部起增强作用的圆筒状零件。

(104) 凹模芯 (Die insert) 压装在凹模套内的带模膛的凹模嵌件。

(105) 凹模顶料杆 (Die knock-out) 在凹模内设置的顶出坯料的零件。

(106) 镦六角模 (Upsetting hexagon die) 将坯料镦成六角形的模具。

(107) 缩径模 (Reducing die) 使坯料直径变小, 用来得到尺寸准确的制件杆部的模具。

(108) 整形模 (Sizing die) 用于变形量小, 但能提高冷镦制件尺寸形状精度的整形模具。

(109) 成形模 (Forming die) 使坯料镦成所需形状的模具。

(110) 镦球模 (Upsetting barril die) 将坯料镦成桶形或球形的模具。

(111) 初镦模 (First upsetting die) 对坯料进行初步镦锻加工的模具。

(112) 终镦模 (Final upsetting die) 对坯料进行最终镦锻加工的模具。

(113) 切料刀 (Cutter) 装在模具上用来剪断线材或棒料的刀具。

(114) 切料凹模 (Quills) 配合切料刀将线材或棒材切断的筒形零件。

(115) 限位销 (Stop pin) 限定送料长度的装置。

(116) 导料管 (Feeding pipe) 送料时起导向作用的管子。

(117) 送料轮 (Drawing-inroller) 送料用的滚轮。

(118) 传递夹钳 (Transfer finger) 将坯料夹紧送至模具适当位置的夹钳。

(119) 夹钳体 (Pincers body) 夹钳的主体零件。

(120) 夹钳片 (Pincers slice) 安装在夹钳体上, 夹持坯料的零件。

(121) 简单切边模 (Simple trimming die) 只用于完成切边工序的简单模具。该种模具结构简单, 制造调整方便, 用于中小批量生产。

(122) 简单冲孔模 (Simple piercing die) 只用于完成冲孔工序的简单模具。该种模具结构简单, 制造调整方便, 用于中小批量生产。

(123) 切边-冲孔连续模 (Progressive die for trimming and piercing) 在压力机一次行程内能在模具的一个工位完成锻件的切边和另一工位完成冲孔的模具。

(124) 切边-冲孔复合模 (Compound die for trimming and piercing) 在压力机的一次行程中, 在一个工位上完成切边和冲孔的模具。

(125) 凸模夹持器 (Punch holder) 用于紧固凸模的零件。

(126) 凹模钳口 (Front gate of die) 凹模上用以安放锻件加料头的凹穴。

(127) 凹模刃口 (Cutting edge of die) 切边时, 凹模上直接起剪切作用的工作部分。凹模刃口的轮廓线按锻件图在分型面上的轮廓线制造。

(128) 直刃口 (Straight cutting edge) 凹模刃口的上部一段做成无斜度的刃口。这种刃口形式可增加刃口强度且便于修复。

(129) 斜刃口 (Declivous cutting edge) 凹模刃口做成一定斜度的刃口。

(130) 波浪式刃口 (Wavelike cutting edge) 将凹模刃口端面分段做成剪切斜面, 形成波浪状的刃口。

(131) 卸料装置 (Stripper) 用于卸掉箍在凸模上的锻件的装置, 可分为刚性卸料装置和弹性卸料装置。

(132) 卸飞边装置 (Stripper for flash) 用于卸掉箍在凸模上的飞边的装置, 分为刚性卸飞边装置和弹性卸飞边装置。

(133) 凹模座 [Die socker (die holder)] 用来固定凹模的模座。

(134) 热校正模 (Hot straightening impression) 在热态下校正锻件的模具。

(135) 冷校正模 (Cold straightening impression) 在室温下校正锻件的模具。

(136) 全校正模膛 (Full straightening impression) 用于对锻件整体校正的模膛。

(137) 局部校正模膛 (Locally straightening impression) 用于对锻件局部校正的模膛。

(138) 热压印模 (Hot-coining die) 在热态下进行压印用的模具。

(139) 冷压印模 (Cold-coining die) 在室温下进行压印用的模具。

(140) 单面压印模 (Single-side coining die) 对制件单面压印用的模具。

(141) 双面压印模 (Double-side coining die) 能同时对制件两面进行压印的模具。

(142) 体积精压模 (Body-sizing die) 对锻件整个体积都同时进行精压的模具。

(143) 平面精压模 (Plane-sizing die) 对锻件的一对或数对平行平面进行精压的模具。

(144) 热挤压模 (Hot extrusion die) 对加热到再结晶温度以上的金属进行挤压的模具。

(145) 冷挤压模 (Cold-extrusion die) 对再结晶温度以下, 一般是室温的金属进行挤压的模具。

(146) 温挤压模 (Warm-extrusion die) 在高于室温而低于再结晶温度的某个温度范围内进行金属挤压成形的模具。

(147) 反挤压模 (Backward extrusion die) 挤压时, 金属的流动方向与凸模的运动方向相反的模具。

(148) 正挤压模 (Forward extrusion die) 挤压时, 金属的流动方向与凸模的运动方向相同的模具。

(149) 复合挤压模 (Compound extrusion die) 挤压时, 一部分金属的流动方向与凸模的运动方向相同, 而另一部分金属的流动方向则相反的模具。

(150) 整体挤压凹模 (Solid extrusion die) 由一个整体构成的凹模。其特点是结构简单, 制造方便。

(151) 组合凹模 (Ombine die or assembly) 在凹模外围压配有预应力圈的组合体。

(152) 预应力圈 (Shrink ring, container ring) 为提高凹模强度, 防止凹模开裂, 夹于凹模外部的过盈配合套圈, 因使凹模产生预制应力, 故称为预应力圈。

(153) 凸(凹)模成形工作带 [Forming working straight of punch (die)] 正挤压时凹模或反挤压时凸模对工件起定径作用的部分。

(154) 凸(凹)模矫正工作带 [Izing straight of punch (die)] 用凸、凹模上在成形工作带后面为矫正成品尺寸及形状精度而设的刃带。

(155) 模锥角 (Extrusion angle of die) 正挤压凹模的入口角。

(156) 芯轴 (Mandril) 正挤压空心件时与凹模一起组成环形挤压入模口的轴形零件。

(157) 摔子(模) (Swaging die) 用于锻造回转体或对称件的简单胎模, 有整形用和制坯用之分。

(158) 扣模 (Buckling die) 近似于锤锻模成形模膛用途的胎模, 多用于简单非回转体轴类锻件成形。

(159) 垫模 (Cushion type die) 只有下模, 上模即为平砧的胎模。

(160) 套模 (Sloove type die) 闭式锻造用, 一般由套筒及上、下模垫组成。

(161) 合模 (Closed die of loose tooling) 有飞边锻造用的胎模, 其作用与终锻模相似, 有导向装置。

(162) 漏模 (Through cutting die) 冲切用胎模, 用于切边、冲孔及冲切外边。

(163) 下料模 (Cropping die for billet shearing) 在自由锻锤上剪断坯料用模具。

(164) 固定模 (Fixed die) 在自由锻设备上锻造模锻件时使用的固定胎模的模具。

(165) 型砧 (Mould block) 固定模中仅用来制坯的模具。

(166) 锻模中心 (Center of the forging die) 锤锻模燕尾中心线与键槽轴线的交点, 它与锤杆中心必须重合。

(167) 锻模中心间距 (Center of the forging die) 多工位锻模各模块的中心间距离。

(168) 中心 (Center of die cavity) 终锻或预锻是金属变形抗力的作用点, 称为模膛中心。

(169) 模壁厚度 (Side thickness of die) 模膛至模具侧面的壁厚及模膛之间的壁厚称为模壁厚度, 模壁最小厚度一般是根据模膛深度、模壁斜度、模膛底部的圆角半径及模膛在分型面上的形状来决定的。

(170) 内圆角半径 (Fillet radius) 与模锻件上的外圆角半径相对应的模膛内凹处的圆角半径。

(171) 外圆角半径 (Round radius) 与模锻件上的内圆角半径相对应的模膛内凸处的圆角半径。

(172) 模锻斜度 (Draft angle) 为了使锻件易于从模膛中取出, 锻件与模膛侧壁接触部分需带一定斜度, 这一斜度称为模锻斜度。

(173) 分模线 (Parting line) 分模轮廓线 (终锻模膛与分边交接处所构成的轮廓线) 在视图平面上的投影。

(174) 模膛排列 (Arrangement of die cavity) 各模膛在锻模上的布置。

(175) 模膛深度 (Depth of die cavity) 由分型面至模膛底部的距离。

(176) 顶出行程 (Ejection stroke) 顶出器在工作过程中可移动的距离。

(177) 模具闭合高度 (Die shut height) 模具工作刚结束时, 上模座的上表面与下模座的下表面间的距离。

(178) 模具闭合高度允许调节量 (Adjustable range of shut height) 模具的闭合高度可以通过压力机上的连杆或其它调节机构进行调整, 其可调整的范围称为模具闭合高度的允许调节量。

(179) 模具最大(最小)闭合高度 [Maximum (minimum) shut height of die] 压力机滑块在下死点, 模具闭合高度调节向上(下)达到最大(最小)时的模具闭合高度。

(180) 模具开启高度 (Operation space of die) 滑块或锤头处于最上位置时, 上、下模面间的距离。

(181) 凸凹模间隙 (Clearance between punch and die) 凹模和凸模工作部分垂直于运动方向的平面投影轮廓的单边距离。

(182) 压力中心 (Center of load) 锻压力合力的作用点。

(183) 计算毛坯 (Reform configuration) 假想的具有圆形或方形横截面的坯料，它的轴向各横截面积等于锻件在相应长度上截面积与飞边面积之和。计算毛坯的形状说明了锻件沿长度上金属的分布情况。

(184) 计算毛坯杆部 (Rod of preform configuration) 计算毛坯中，直径或边长小于其平均直径或边长的部分。

(185) 计算毛坯头部 (Head of preform configuration) 计算毛坯中，直径或边长大于其平均直径或边长的部分。

1.3 锻模常用材料和热处理要求

选用高品质、高性能、高精度的模具材料，高效率、高速度、低成本地生产高品质的模具，是当前模具制造业的发展趋势之一。表1-1的锻模常用材料按设备（蒸汽锤、压力机、平锻机）和模具工作条件（热挤压模和冷挤压模）综合分类。当锻件体积大、批量大、形状复杂、变形量大、精度高时，要选用好材料。

表 1-1 锻模常用材料^[2]

序号	设备或模具工作条件	模具零件名称	材料牌号	硬度 (HRC)
1	蒸汽锤模锻	上、下模	5CrNiMo, 5CrMnMo 5Cr3Mn1SiMo1V, 3Cr2W8V, 12CrMo	型槽 35~44 燕尾 30~39
2	热模锻曲柄压力机, 螺旋压力机, 辗锻机	上、下模座	5CrNiMo, 5CrMnMo, 40Cr	44~52
		镶块	5CrNiMo, 4Cr5W2VSi, 3Cr2W8V	44~50
		推杆	3Cr2W8V	48~54
3	平锻机	冲头 (凸模)	8Cr3, 3Cr2W8V	35~42
		凹模	6CrW2Si, 8Cr3, 基体钢	35~42
4	热挤压模 (挤压钢、镍或钛合金)	凸模、推杆	4Cr5MoSiV, 3Cr2W8V	48~52
		凹模	3Cr2W8V, 4Cr5MoSiV	46~50
		预应力模套	4CrNiMo, 40Cr	42~46
5	冷挤压模 (挤压钢及合金钢)	凸模、推杆	W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2, 基体钢	58~62
		凹模	W18Cr4V, Cr12MoV	58~62
		凹模镶块	硬质合金 YG15, YG20	
		预应力凹模中间模套	40CrNiMo	44~50
		预应力凹模外模套	40Cr, 5CrMnMo, 45	42~46

1.4 塑性变形指标

锻造所用的金属材料主要有两种：一种是钢锭或有色金属锭；一种是轧制而成的各种棒材（俗称圆钢）、管材和板材，其中棒材用得最多。

金属在锻压变形过程中，主要是塑性变形，同时也有弹性变形。外力消除后弹性变形消失，塑性变形保留下来。在高温下，金属的弹性变形很小，工程上可忽略不计。锻压加工的变形主要是指塑性变形。在生产中，表示宏观变形量大小的指标有压下量、锻比（挤压比）、断面收缩率等。

1.4.1 压下量

在压缩、镦粗和锻轧等工步中，在锻压力方向上坯料尺寸的相对变化量称为压下量。压下量分为相对变形量（工程应变）和对数变形量（真实应变），分别用 ε 和 e 表示。设坯料的初始高度为 H_0 ，压缩变形后的高度为 H_1 ，坯料压缩过程中瞬时高度为 h ，瞬时高度变化为 dh ，则相对变形量和对数变形量分别为

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$$

(1-1)

$$e = \int_{H_1}^{H_0} \frac{dh}{h} = \ln \frac{H_0}{H_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

显然，相对变形量是高度变化量与初始高度之比；对数变形量为变形后高度与初始高度之比的自然对数，它是无数个微小相对变形量连续积累（相加）的结果。

对数变形量真实地反映了实际变形的大小，具有可加性，即分次压缩的对数变形量之和等于总的对数变形量。而相对变形量则不然，它只在小变形量时，与对数变形量接近。例如高度 100mm 的坯料压缩到高 80mm，再压缩至 60mm 时，两次压缩的对数变形量 e_1 、 e_2 和总变形量 e 分别为

$$e_1 = \ln \frac{100}{80} \times 100\% = 22.31\%, \quad e_2 = \ln \frac{80}{60} \times 100\% = 28.77\%, \quad e = \ln \frac{100}{60} \times 100\% = 51.08\%$$

而两次压缩的相对变形量 ε_1 、 ε_2 和总变形量 ε 分别为

$$\varepsilon_1 = \frac{100-80}{100} \times 100\% = 20\%, \quad \varepsilon_2 = \frac{80-60}{80} \times 100\% = 25\%, \quad \varepsilon = \frac{100-60}{100} \times 100\% = 40\%$$

显然， $e = e_1 + e_2$ ，而 $\varepsilon = 40\% \neq \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 45\%$ 。相对变形量的缺陷是忽略了变化的基高对应变的影响，从而造成总应变不等于各阶段应变之和。由于相对变形量计算简单，工程上常采用相对变形量进行计算。

一些金属材料的许用压下量（锻粗率）列于表 1-2。

表 1-2 一些金属材料的许用压下量（锻粗率）

材料	钢						有色金属			
	10	15	35	45	15Cr	35CrMo	纯铝	5A02	2A12	黄铜
锻粗率 ε (%)	75~81	70~73	63	40~45	53~60	50~60	92~96	88~92	50	73~80

1.4.2 锻比

在钢锭开坯锻造和坯料拔长时，变形量常用锻比表示。锻比 K 为锻前钢锭平均截面积 A_0 与锻压后锻坯平均截面积 A_1 之比，即

$$K = \frac{A_0}{A_1} \quad (1-3)$$

1.4.3 断面收缩率

在挤压中，毛坯的尺寸、形状变化的大小为变形程度，也称为变形率，通常用断面收缩率度量。断面收缩率是挤压前、后的横断面积差与挤压前（毛坯）横断面积的比，定义为

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 A_0 ——毛坯横断面积 (mm^2)；

A_1 ——制件横断面积 (mm^2)。

对于圆截面挤压件（见图 1-6~图 1-8），断面收缩率可简化为（推导从略）以下各式。

正挤压空心件（见图 1-6）：

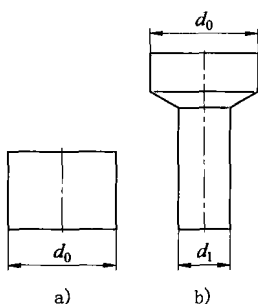


图 1-6 圆截面正挤压
实心件和坯料
a) 坯料 b) 成形工件

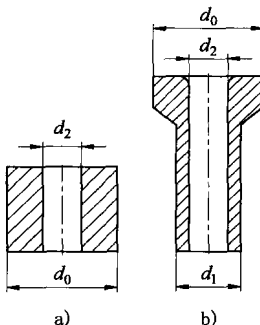


图 1-7 圆截面正挤压
空心件和坯料
a) 坯料 b) 成形工件

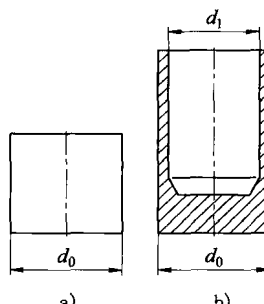


图 1-8 圆截面反挤压
空心件和坯料
a) 坯料 b) 成形工件