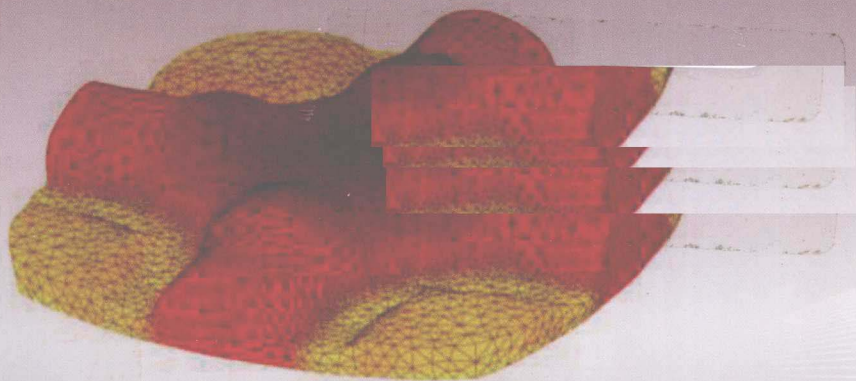


MUDUAN SHIYONG JISHU

模锻实用技术

程里 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模 锻 实 用 技 术

程 里 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书采取理论分析与实际经验相结合的方法,按模锻工艺流程和锻模设计流程对模锻生产进行了全面而系统的讲解。其主要内容包括模锻生产工艺、锤上模锻、热模锻压力机上模锻、摩擦压力机上模锻、平锻机上模锻、锻后工序、辊锻制坯及型槽设计、典型锻模零件设计实例。本书内容翔实,实用性强,涵盖模锻生产实践环节和知识点,着力于弥合锻造专业教育和实际应用之间的缝隙,以培养模锻综合实践能力为目的,所列实例具有代表性、普遍性,在实际模锻生产中具有较高的指导意义。

本书可供锻造工程技术人员,特别是刚从事锻造技术工作的人员阅读使用,也可供锻造工人及高等院校相关专业在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模锻实用技术/程里编著. —北京:机械工业出版社, 2010.3

ISBN 978-7-111-30045-8

I. ①模… II. ①程… III. ①模锻—基本知识
IV. ①TG316.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 039780 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:王治东

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:路恩中 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年6月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·22印张·440千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30045-8

定价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

经常和即将毕业到企业从事锻造工作的学生在一起交流，其话题总离不开企业锻造工作究竟怎么回事？学校学的专业知识究竟如何组织、如何用？感到学生有一种对未来工作的恐慌和茫然。因而觉得有必要编著一本实用指导书，以帮助锻造专业的学生和从事模锻的技术人员进行实现自我培养、自我训练，遇到实际问题有依靠，迅速完成从理论到实践的过渡，尽快胜任模锻技术工作。

模锻技术人员的工作兼有现场工程师和设计工程师双重职责。具体而言：

1) 模锻技术属于工程应用技术范畴，应用技术的特点在于其综合性和实用性。因此，模锻实用技术是模锻生产中技术可行性、生产经济性和质量的稳定性的综合体现，并不盲目追求技术上的“先进性”，更多地考虑技术上的合理性、知识的正确和灵活应用。因此，实际生产中必须真正了解生产现场布置、模锻及辅助设备、生产管理、工人技术水平以及生产习惯情况，才能根据锻件的形状特点和现有设备情况，选择合理的模锻工艺流程和工艺参数，生产经济和高质量的产品。

2) 一定要有独立、完整的完成典型模锻零件全过程设计的工作经历，包括锻件设计、工艺流程（工序、设备、流转及生产率等），以及全套模具设计（下料、制坯、预锻、终锻切边清理设计），经试锻、改进和不断完善并且批量生产。只有亲自体验，感觉才真切，才能编制出合理的工艺规程来。

一个合格的模锻技术人员的成长过程分为以下三个阶段：

1) 模仿阶段：主要是传帮带，比照图样模仿原来的产品怎样做，模仿老师怎样做，模仿手册或书上怎样说，在模仿中进步，在模仿中成长。

2) 体验阶段：随着一定的工作积累，开始思考如何把这种模仿和专业知识结合起来，在实践中不断去体会，去验证和修正，相同的体验形成经验，变成知识模块固化下来。

3) 体认阶段：就是体察和认知，即能够把经验里面的规律挖掘出来，不但知其然，还能知其所以然。这时候，就可以活学活用这些经验，还能够把其他人的经验转化为自己的，形成自己的模锻实用体系。

本书可供锻造工程技术人员，特别是刚从事锻造技术工作的人员阅读使用，也可供锻造工人及高等院校相关专业在校师生参考。

本书由重庆理工大学程里研究员级高工编著。第1章讲述了模锻生产、模锻经济技术分析以及模锻件的结构工艺性。第2章至第5章讲解了锤上锻模、热模锻压力机上模锻、摩擦压力机上模锻以及平锻机上模锻的锻件设计、工艺选择、锻模设

计及锻模结构及紧固。第6章锻后工序讲解了切边冲孔模设计、锻件清理、校正及精压。第7章讲解了辊锻制坯及型槽设计。第8章详细讲解了典型模锻件的工艺选择及锻模设计内容。

本书作者曾长期在专业锻造厂生产一线从事技术工作，在锻造理论研究和实际应用技术的结合上做了大量工作，希望通过自己对锻造的认识和理解，给予广大读者有益的帮助。由于受个人视野和专业范围所限，难免存在不足与错漏，敬请批评指正。

程里

目 录

前言

第1章 模锻生产工艺	1
1.1 模锻成形方法	1
1.1.1 开式模锻成形过程和金属流动	2
1.1.2 闭式模锻成形过程和金属流动	7
1.1.3 挤压成形过程和金属流动	9
1.2 模锻生产	11
1.2.1 模锻工艺过程	11
1.2.2 模锻车间和机组	18
1.2.3 模锻设备	21
1.3 模锻工艺方案选择	24
1.3.1 工艺方案选择	24
1.3.2 模锻经济技术分析	26
1.3.3 模锻工艺规程	27
1.4 模锻件工艺结构性	31
1.4.1 锻件的形状与工艺性	31
1.4.2 锻件结构要素	34
1.4.3 锻件图与零件图	44
第2章 锤上锻模	48
2.1 模锻锤及其锻造工艺特点	48
2.2 模锻工艺选择	52
2.2.1 锤锻模锻件分类	52
2.2.2 锻件图	55
2.2.3 锤上模锻成形方案	67
2.2.4 坯料计算	72
2.2.5 模锻锤吨位确定	78
2.3 锤上模锻型槽设计	80
2.3.1 终锻工序和型槽的选择	80
2.3.2 预锻工序和型槽的选择	85
2.3.3 制坯工序和型槽的选择	89
2.3.4 切断型槽	113
2.4 锻模结构与型模布置	115
2.4.1 锤上锻模安模空间和紧固方式	115

2.4.2 型模布置	118
2.4.3 模块尺寸	126
2.4.4 镶块锻模	130
2.5 锻模的冷却和润滑	132
第3章 热模锻压力机上模锻	135
3.1 热模锻压力机及其锻造工艺特点	135
3.2 热模锻压力机模锻工艺	138
3.2.1 热模锻压力机模锻件的分类及锻件图的设计	138
3.2.2 热模锻压力机上成形工步选择	141
3.2.3 坯料计算	149
3.2.4 热模锻压力机公称压力确定	152
3.3 热模锻压力机型槽设计	153
3.3.1 终锻工步与型槽设计	153
3.3.2 预锻工步与型槽设计	155
3.3.3 制坯工步与型槽设计	158
3.4 热模锻压力机模具结构及紧固	163
第4章 摩擦压力机上模锻	171
4.1 摩擦压力机及其锻造工艺特点	171
4.2 摩擦压力机模锻工艺选择	174
4.2.1 锻件分类和锻件图的设计	174
4.2.2 开式锻模设计	179
4.2.3 自由锻制坯	182
4.2.4 闭式锻模设计	187
4.2.5 精锻模设计	189
4.2.6 摩擦压力机公称压力选择	191
4.3 模具结构设计	193
第5章 平锻机上模锻	199
5.1 平锻机工作原理和操作方法	199
5.2 平锻工艺选择	204
5.2.1 平锻件设计	204
5.2.2 平锻工艺过程	208
5.2.3 墩锻工步设计	210
5.2.4 冲孔工步及预锻成形	215
5.2.5 坯料计算	219
5.2.6 平锻机公称压力选择	220
5.3 平锻型槽设计	221
5.3.1 终锻、预锻型槽设计	221
5.3.2 墩锻型槽设计	222

5.3.3 夹紧型槽设计	225
5.3.4 扩径型槽设计	227
5.3.5 卡细型槽设计	227
5.3.6 切边型槽设计	228
5.3.7 穿孔型槽设计	229
5.3.8 切断型槽设计	231
5.4 平锻模具结构及紧固	232
第6章 锻后工序	250
6.1 切边和冲孔模设计	250
6.1.1 切边冲孔设备	250
6.1.2 切边模	252
6.1.3 冲孔模	262
6.1.4 切边模、冲孔模的形式选择	263
6.1.5 切边压力机公称压力选择	266
6.2 锻件校正	266
6.3 锻后热处理和锻件清理	270
6.4 锻件精压	273
第7章 辊锻制坯及型槽设计	278
7.1 辊锻变形特点及参数	279
7.2 辊锻工艺及型槽设计	282
7.2.1 辊锻毛坯图设计	282
7.2.2 确定辊锻道次 n 和各辊锻工步延伸系数的分配	284
7.2.3 型槽孔型系的选择	287
7.2.4 制坯辊锻型槽设计	290
7.2.5 各工步辊锻纵向尺寸的计算	299
7.2.6 辊锻机规格的选择	301
第8章 典型锻模零件设计实例	305
8.1 锤上模锻典型锻模零件设计实例	305
8.1.1 常啮合齿轮工艺及锻模设计	305
8.1.2 汽车连杆工艺及锻模设计	308
8.1.3 汽车前轴分段模锻工艺及锻模设计	319
8.1.4 多拐曲轴模锻工艺及锻模设计	321
8.2 热模锻压力机上模锻典型锻模零件设计实例	325
8.2.1 中间常啮合齿轮模锻工艺及锻模设计	325
8.2.2 左右转向节臂模锻工艺及锻模设计	326
8.3 摩擦压力机模锻典型锻模零件设计实例	335
8.3.1 M-20 型小轿车连杆	335
8.3.2 后桥半轴	337

8.3.3 十字节轴	337
8.3.4 齿轮坯	338
8.4 平锻典型锻模零件设计实例	339
8.4.1 水箱拉杆锻模	339
8.4.2 汽车半轴平锻工艺	341
参考文献	343

第 1 章 模锻生产工艺

模锻是模型锻造的简称。模锻是为了解决自由锻生产率低、精度差等问题，实现锻件规模化、专业化生产的需要，在自由锻和胎模锻基础上发展起来的在锻模上成型的方法。如果没有模锻工业成批锻出千万件形状完全一致的锻件，汽车工业的大规模机械化生产将是不可想象的。

锻模一般由上模和下模两部分组成，锻模上、下模均开有型槽（亦称模膛、模腔或模槽），型槽的空腔形状和尺寸与锻件的形状和尺寸相同。模锻时坯料放在下模上，随着上、下模合模施加压力（一次或多次），金属坯料在型槽的约束和限制下，产生塑性变形、流动并充填型槽，最后获得与型槽形状一致的锻件。

由于模锻时金属在型槽内成形，因而模锻件成形速度快，生产效率高，可进行成批、大量生产；锻工操作较容易，劳动强度低；模锻件尺寸较精确，能锻造出自由锻造很难锻出的形状，外形美观呈流线形，表面质量较好，加工余量较小，甚至不需要再进行机加工（如连杆杆身及曲轴拐颈部位），可以节省金属材料；易于实现工艺过程的机械化和自动化；同时模锻可使金属流线分布更为合理、组织更加致密，从而提高零件的力学性能，延长零件的使用寿命。

由于模锻件有这些优点，因而它被广泛用于重量轻、强度高、安全度和可靠性要求高的零件毛坯制作，如齿轮、轴、联轴节、叶片、曲轴、连杆和臂杆、高压阀体等，都广泛应用模锻件。

但是，由于模锻件是在模锻设备上整体塑性成形，因而模锻件生产受到模锻设备吨位限制，模锻件的重量一般在 250kg 以下。模锻设备投资较大，模具费用较昂贵，工艺灵活性较差，生产准备周期较长。同时，锻模形状复杂、制造困难，要求用较好的材料，制造费用高。因此，只有当生产批量较大、经济核算合理时才适宜采用。

1.1 模锻成形方法

按目前实际生产中主要采用的方式，模锻可分为开式模锻（见图 1-1）与闭式模锻（见图 1-2）。开式模锻要形成飞边（也称毛边），因而称为有飞边模锻；而闭式模锻在正常情况下不产生飞边，因而又称为无飞边模锻。

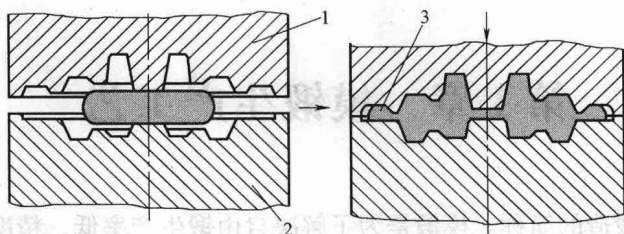


图 1-1 开式模锻

1—上模 2—下模 3—飞边

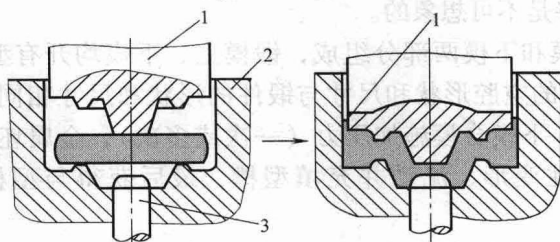


图 1-2 闭式模锻

1—凸模 2—凹模 3—飞边

1.1.1 开式模锻成形过程和金属流动

开式模锻是最广泛使用的模锻方法，适用于各种类型的锻件和各种类型的锻压设备。开式模锻之所以称作“开式”模锻，就是在模锻全过程中，型槽四周一直敞开着，开式模锻的终锻型槽在整个分型面上都有飞边槽（也称毛边槽），是多余金属流出的地方。由于飞边槽的存在，当上下锻模接近时，飞边减薄，金属流入飞边比充满型槽困难，迫使金属流入并充满型槽。开式模锻的优点在于飞边起到了调节补偿、缓冲作用，保证了生产工艺的稳定性和复杂平面图的锻件成形，但是其飞边材料损耗为锻件重量的 10% ~ 50%，平均约为 30%，而材料费占模锻件成本的 60% ~ 70%。

1. 开式模锻的充形过程

开式模锻的变形过程如图 1-3 所示，在一般情况下，可以划分为三个阶段：自由变形（自由锻）阶段、形成飞边和充满型槽阶段和锻足（打靠）阶段。各变形阶段相应的工作行程分别为 ΔH_I 、 ΔH_{II} 和 ΔH_{III} ，总的工作行程 $\Sigma \Delta H = \Delta H_I + \Delta H_{II} + \Delta H_{III}$ 。

开式模锻模具的分型面与模具运动方向垂直，模锻过程中分型面之间的距离逐渐减小，在模锻的第 II 阶段（充满阶段）形成横向飞边，依靠飞边的阻力使金属

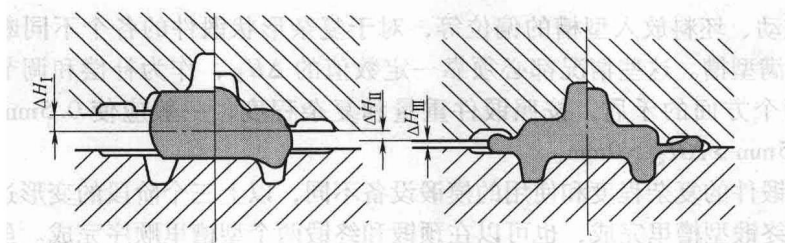


图 1-3 开式模锻的变形过程

充满型槽。

(1) 自由变形阶段 由上模型槽表面与坯料接触开始 (ΔH_I)，至坯料变形后与飞边槽开口处接触为止 (ΔH_{II})。这个阶段坯料的变形与自由锻变形工序相同，分别相当于自由锻粗、局部锻粗、开式冲孔和挤入等。这个阶段的变形抗力相对于后两个变形阶段是最小的，而且尚未形成飞边损耗。在实际生产中，此阶段使金属最大限度地充满型槽最为有利。或者终锻前采用预成形工步，使坯料断面在终锻时，能以锻粗和冲孔方式代替挤入方式填充型槽。

(2) 形成飞边和充满型槽阶段 由金属横向流入飞边槽开始 (ΔH_{II})，至金属完全充满型槽为止 (ΔH_{III})。在这个阶段中，金属有两种流动：一种是金属横向挤入飞边槽形成飞边。在飞边槽桥部由于摩擦和飞边的变形产生横向流动阻力，随着飞边的增宽、变薄和降温，横向流动阻力迅速增大，影响变形抗力也迅速增大。当飞边增宽至桥部宽度后，飞边继续变薄和降温，继续使横向流动阻力和变形抗力有所增大。另一种发生的金属流动，迫使金属挤入具有较小主压应力的型槽未充满部位。这个阶段的变形抗力、消耗的变形功和飞边损耗，都随此阶段变形行程 ΔH_{II} 的增加而急剧增加。因此，应尽可能减小此阶段的变形行程 ΔH_{II} 。变形行程 ΔH_{II} 的大小决定于型槽断面的几何形状和尺寸、第 I 阶段变形后型槽断面的充满程度和飞边的横向流动阻力等因素，此外还与模锻设备的工作特性有关。采取增大飞边横向流动阻力的工艺措施，可以在一定限度内减小 ΔH_{II} 和减少飞边损耗。

(3) 锻足阶段 由金属完全充满型槽开始 (ΔH_{III})，至上、下模完全闭合（打靠）为止，将多余金属由飞边挤出，保证锻件高度尺寸。在这个阶段中，变形仅发生在飞边桥部附近的椭圆形区域内，其他区域为不变形的刚性区。在此阶段，由于飞边继续变薄和降温，变形抗力继续增大，达到开式模锻的最大值，开式模锻所需的变形力即按此值计算。从降低变形力、减少变形功和飞边损耗来看，都要求 ΔH_{II} 尽可能小些。但从保证锻件的成形和模锻成批生产的稳定性来看，都不能没有这个阶段（即应使 $\Delta H_{III} > 0$ ）。因为实际生产中有一些工艺因素经常是在一定范围内波动的，例如型槽的磨损、实际锻造温度的波动、实际坯料的体积（或断面面

积)的波动、坯料放入型槽的偏位等,对于复杂形状锻件的各个不同断面,不可能同时充满型槽。这些情况都必须靠一定数值的 ΔH_{II} ,作为补偿和调节环节。统一以上两个方面的矛盾,按照锻件重量和复杂程度,一般应使 $0.5\text{mm} > \Delta H_{\text{II}} > 0\text{mm}$, $2.5\text{mm} > \Delta H_{\text{II}} > 0\text{mm}$ 。

由于锻件的复杂程度和使用的模锻设备不同,以上三个阶段的变形过程,可以只在一个终锻型槽里完成,也可以在预锻和终锻两个型槽里顺序完成。虽然在单型槽单击或多击和多型槽单击或多击的各种情况下,开式模锻的三个变形阶段的具体情况是有差异的,但总是要经历并完成这三个阶段的变形过程。改善开式模锻变形过程的基本原则之一,就是扩大 ΔH_{I} ,缩短 ΔH_{II} ,保证必要的较小的 ΔH_{III} 。

开式模锻若不能完成上述三个阶段的变形过程,则会造成模锻件的两种常见缺陷:充不满与锻不足(欠压)。充不满是上下模已闭合,而第II阶段变形尚未完成。造成充不满的基本原因是 ΔH_{I} 太短,第II阶段变形开始太早和飞边横向流动阻力太小。锻不足多发生在设备吨位不足的情况下,或飞边流动阻力过大,造成设备吨位不足。

2. 金属平面流动

观察生产中使用过的各种开式模锻锻模(见图1-4),由于金属剧烈流动,在预锻和终锻型槽的凸起部位和飞边桥部的表面留下了磨损痕迹。这些流动痕迹反映了模锻时金属流动变形的一些特性。

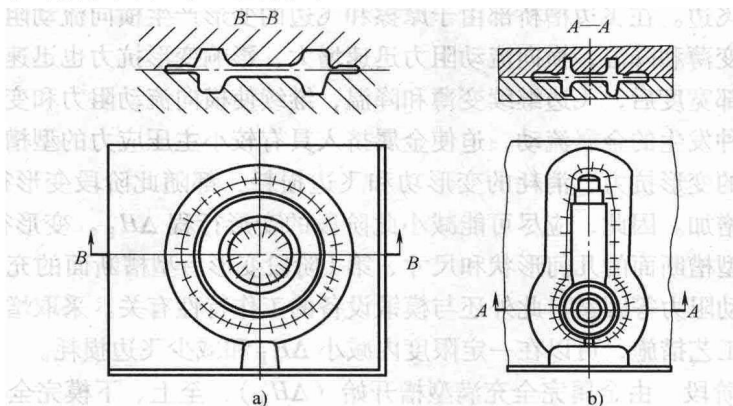


图1-4 终锻型槽流动磨损痕迹示意图

a) 齿轮锻件 b) 拉杆锻件

图1-4a所示为典型的短轴线类回转体(饼类)锻件,金属是以轴线为中心沿半径方向对称流动,由圆心向外发散分布,这种特性称为轴对称变形。图1-4b反映了长轴线类锻件模锻时金属的变形特性,在锻件端部(尤其在大头部位)具有轴对称变形特性,但在杆部流痕与轴线方向垂直分布,说明金属沿轴线方向没有流

动，而只在垂直于轴线的平面内流动，这种特性称为平面变形。在图 1-5 中给出了体积模锻时金属流动的平面和方向。这样可以将实际上是立体的（三维）模锻变形过程，简化为平面（二维）的问题，即以断面来进行分析。

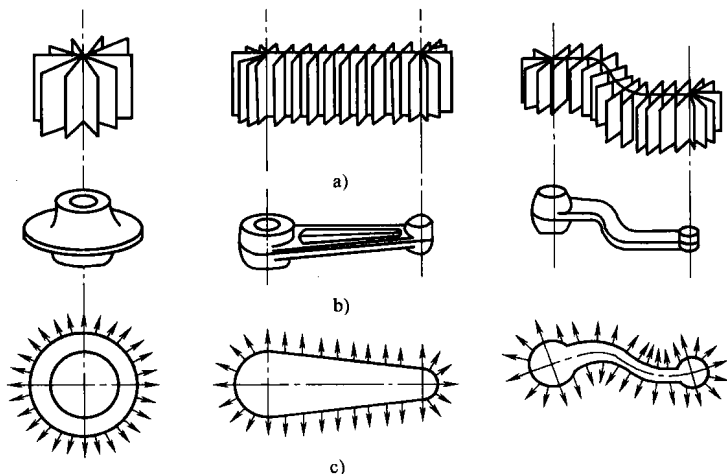


图 1-5 金属流动的平面和方向

a) 流动平面 b) 锻件形状 c) 流动方向

用断面表示开式模锻的变形过程，对于轴对称变形和平面变形，二者的情况是相似的，都是将简单几何形状的坯料断面（如椭圆断面、矩形断面等），变形为相应的带有飞边的锻件断面（即带有飞边槽的型槽断面），如图 1-6 所示。二者的差别主要在于：平面变形的断面面积变形前后相等，而轴对称变形是变形前后体积相等，反映在断面上则金属离心向外流动时断面积减小，反之向心挤入流动时断面积增大。

3. 型槽充型的三种形式

模锻核心内容是迫使坯料塑性流动时能尽可能好地充满锻模型槽。

在开式模锻成形过程中，金属坯料以变形、挤入和流动充填型槽，经常采用的加压方式有三种：镦粗、冲孔（劈叉）、压入。其中，以镦粗变形的变形抗力最小，冲孔（劈叉）变形的变形抗力次之，挤入变形的变形抗力最大。在实际工作中，短轴线类回转体（饼类）锻件的充填方式如图 1-7 所示，长轴线类（杆类）锻件充填方式如图 1-8 所示。

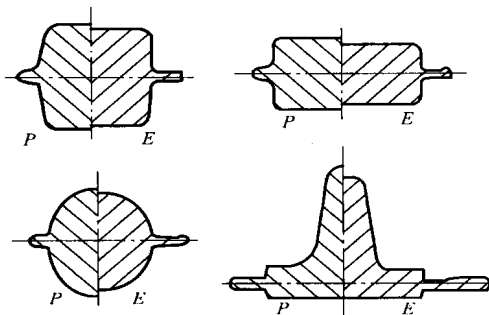


图 1-6 锻件及锻坯横截面示例

P—锻坯形状 E—锻件形状

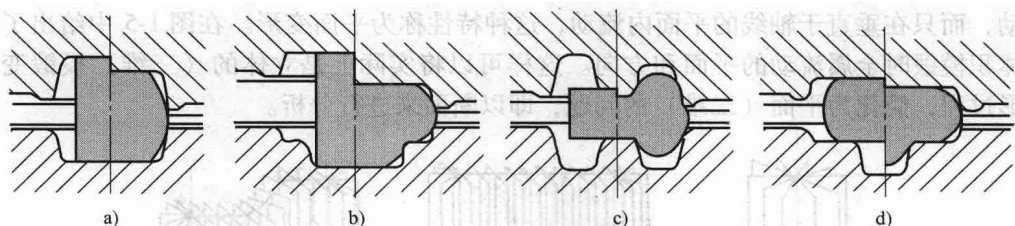


图 1-7 短轴线类回转体（饼类）锻件充填方式

a) 自由锻粗 b) 局部锻粗 c) 开式冲孔 d) 挤入

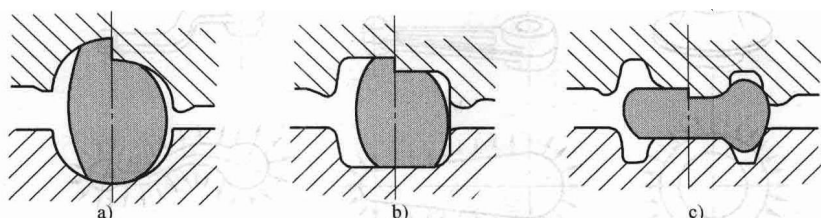


图 1-8 长轴线类（杆类）锻件充填方式

a) 椭圆→圆 b) 椭圆→矩形 c) 矩形→工字型

对于复杂断面的型槽，终锻前采用预成形工步，使坯料断面在终锻时，能以锻粗和冲孔代替挤入可以改善金属充满型槽的程度。

4. 飞边槽

飞边槽的尺寸选择原则是既能保证金属较好地充满终锻型槽，又能只有较少的金属损耗在毛边上。

图 1-9 所示为对照图 1-3 开式模锻变形过程的锤上模锻时锻造变形力-行程曲线。 P_0 点为锻模与毛坯开始接触。在 P_1 点以前，金属在型槽中流动的阻力不大。达 P_1 点开始形成飞边， P_1 点后金属开始从型槽流向飞边，此时流动阻力增大，变形力显著上升，迫使金属流向型槽内尚未充满的地方。达 P_2 点后，型槽已完全充满，但上、下模尚未打靠。此时，型槽内的多余金属将继续挤入飞边槽。由于位于飞边桥部的金属厚度不断减少和温度降低，金属的流动阻力显著增大，从而使锻造变形力急剧上升，达 P_3 点时模锻结束。

合理的飞边槽尺寸，应使在 P_1 点时金属流入飞边的阻力大于金属充满型槽的阻力。而合理的锻坯形状和尺寸，应使 P_1 点的压力增大，即金属流入飞边以前，型槽已基本充满；并使 P_3 点

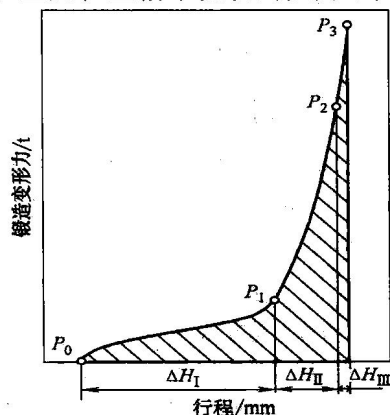


图 1-9 变形力-行程曲线

靠近 P_2 点,即当型槽完全充满后,上下模分型面恰好打靠。

影响阻流作用大小的主要参数是桥部的宽高比 b/h_{f} 和桥部高度 h_{f} 。 b/h_{f} 越大, h_{f} 越小,则阻流作用越大。相对而言, b/h_{f} 是比桥部高度 h_{f} 影响更大的因素,增大 b/h_{f} ,可以较大地加强阻流作用,从而更有利于型槽充满或减少飞边损耗,而且在 $b/h_{\text{f}} \approx 5$ 时所需的变形能量最小。但过大的 b/h_{f} 除了有增大变形力和变形功的坏作用之外,没有什么好处。生产实践经验也表明, $b/h_{\text{f}} = 4 \sim 6$ 比较适宜。

1.1.2 闭式模锻成形过程和金属流动

闭式模锻亦称无飞边模锻,坯料在封闭型槽内以镦粗或挤压的方式变形成锻件。同开式模锻相比,闭式模锻比采用开式模锻所需的变形力和变形功约低 30% ~ 50%,可大大提高金属材料的利用率和锻件精度,锻件表面质量好,金属纤维分布更加合理,尤其对一些塑性较差的材料成形更为有利。但是闭式模锻对下料、制坯及坯料定位等要求较高,锻件出模困难,因而一般只适用于轴对称变形或近似轴对称变形的锻件,应用最多的是短轴线类的回转体锻件。

1. 闭式模锻的充形过程

闭式模锻变形过程分为三个阶段(见图 1-10):开式镦粗阶段、充满角隙阶段和挤出端部飞边阶段。

(1) 开式镦粗阶段 开式镦粗即为自由镦粗,即由开始变形 (ΔH_{I}) 至金属基本充满型槽 (ΔH_{II})。从坯料与冲头或上型槽表面接触开始到坯料金属与型槽(最宽处)的侧壁接触为止。在这一阶段中,金属充满型槽中某些容易充满的部分。此阶段结束后继续变形时,变形抗力将急剧增高。

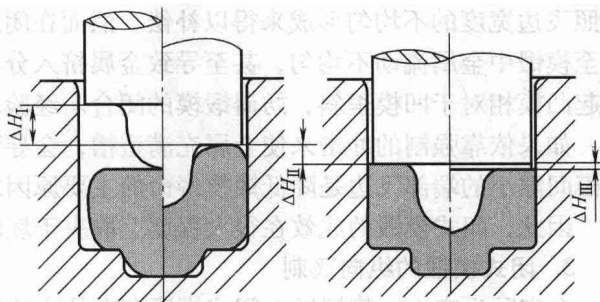


图 1-10 开式模锻的变形过程

(2) 充满角隙阶段 即从毛坯的鼓形侧面与凹模侧壁接触开始 (ΔH_{II}) 到金属完全充满型槽为止 (ΔH_{III}) 的阶段。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三向压应力状态。随着毛坯变形程度的增加,模壁承受的侧向压力逐渐增大,直到型槽完全充满。在该阶段开始时,坯料的变形区位于未充满处附近的两个刚性区之间。在此阶段结束时的变形力比第 I 阶段末可增大 2 ~ 3 倍,变形区随着变形过程的进行逐渐缩小,最后消失,但变形量 ΔH_{II} 却很小。

(3) 挤出端部飞边阶段 即从充满型槽后 (ΔH_{III}) 的多余金属在继续增大的压力作用下挤入凸、凹模之间的间隙中,形成环形纵向飞边。飞边不仅增大了能量消耗,而且会加速模具的磨损,因此镦粗式闭式模锻的最佳模锻力应是指最难成

形的四角充满后模锻过程立即停止时动力。

闭式模锻一般适用于轴对称变形或近似轴对称变形的锻件，应用最多的是短轴线类的回转体锻件。

闭式模锻型槽的受力状况与锻件的高径比 H/D 有关， H/D 越小，型槽受力状况越好，因此， H/D 越小的锻件，更适宜采用闭式模锻。

2. 闭式模锻的精确定位

金属在闭式模锻的变形流动填充型槽主要有镦锻成形（整体或局部）和挤压成形的两种形式。整体镦锻成形（见图 1-11a）是以坯料外径定位，金属在镦粗过程中分流挤入轮毂和轮缘部位；而局部镦锻成形（见图 1-11b）是以坯料不变形部位定位，主要是局部镦粗和冲孔两种变形。

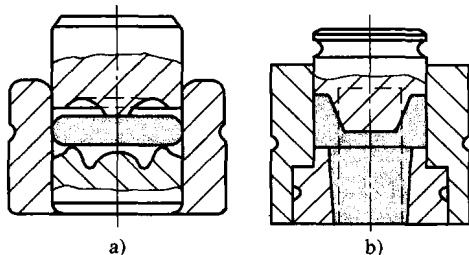


图 1-11 整体镦锻和局部镦锻

a) 整体镦锻 b) 局部镦锻

在开式模锻中，坯料在型槽中定位不准确，甚至明显地偏移也不会影响型槽充满或影响很小，这是因为开式模锻依照飞边宽度的不均匀形成来得以补偿。然而在闭式模锻中，不精确的坯料定位会导致模锻中金属流动不均匀，甚至导致金属挤入分型面而形成端部纵向飞边，进而引起凸模相对于凹模歪斜，妨碍锻模的闭合。经验表明，当形成了局部的端部飞边后，如果依靠强制的冲击来使金属充满型槽，会导致锻模严重损坏。同时，楔入凸凹模间隙小的端部飞边是降低锻模寿命的主要原因之一。

因此，闭式模锻的成效在很大程度上取决于坯料在型槽中精确定位的可能性。

3. 闭式模锻的纵向飞刺

在实际生产中，模锻锤上闭式模锻存在的主要问题是锻模寿命低和产生较大的纵向飞刺，纵向飞刺清除比较困难。有些适量加大余量，零件允许在分模处有少量的充不满，例如螺母的顶镦成形（见图 1-12），即使形成的纵向飞刺也只能允许很小的高度。

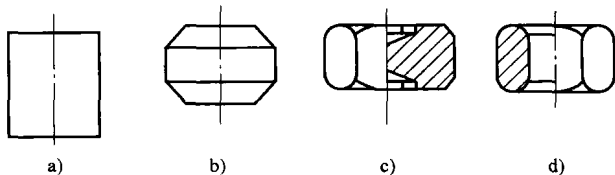


图 1-12 螺母顶镦成形

a) 下料 b) 镦粗 c) 压角 d) 冲孔