

【锻工实用手册丛书】

主 编 李德仁

锻工 DUANGONG

简明实用手册

JIANMING SHIYONG SHOUC

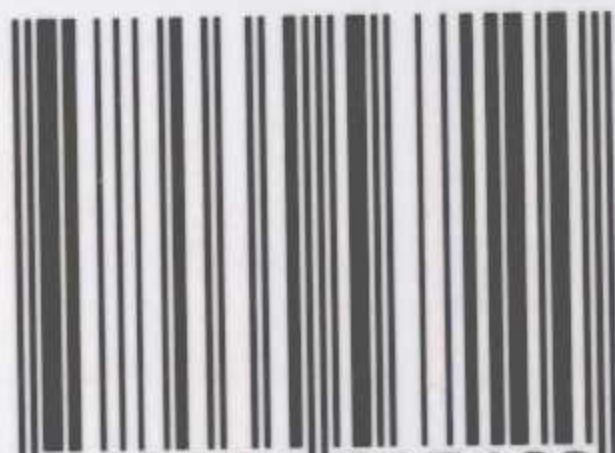
凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

- ／ 电工简明实用手册
- ／ 车工简明实用手册
- ／ 数控车工简明实用手册
- ／ 钳工简明实用手册
- ／ 铣工简明实用手册
- ／ 焊工简明实用手册
- ／ 钣金工简明实用手册
- ／ 模具工简明实用手册
- ／ 涂装工简明实用手册
- ／ 电镀工简明实用手册
- ／ 维修电工简明实用手册
- ／ 热处理工简明实用手册
- ／ 制冷设备维修工简明实用手册
- ／ 家用电器维修工简明实用手册
- ／ 铆工简明实用手册
- ／ 水电工简明实用手册
- ／ 检验工简明实用手册

- ／ 电焊工简明实用手册
- ／ 汽车维修工简明实用手册
- ／ 锻工简明实用手册

JIGONG SHIYONG SHOUCONGSHU

ISBN 978-7-5345-6710-0



9 787534 567100 >

定价：26.00 元（精）

技工实用手册丛书

锻工简明实用手册

主编 李集仁

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

锻工简明实用手册 / 李集仁主编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2009. 10

(技工实用手册丛书)

ISBN 978-7-5345-6710-0

I. 锻… II. 李… III. 锻工—技术手册 IV. TG31-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159192 号

技工实用手册丛书
锻工简明实用手册

主 编 李集仁
责任编辑 孙广能
责任校对 郝慧华
责任监制 曹叶平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009)
网 址 <http://www.pspress.cn>
集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009)
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京紫藤制版印务中心
印 刷 盐城印刷总厂有限责任公司

开 本	850 mm×1 168 mm	1/64	印 张	9.125
插 页	4		字 数	410 000
版 次	2009 年 11 月第 1 版		印 次	2009 年 11 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-6710-0

定 价 26.00 元(精)

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

目 录

第一章 常用锻压设备	1
第一节 空气锤	1
一、工作原理与基本构造	1
二、主要技术参数	1
三、常见故障及其排除措施	3
第二节 蒸汽-空气自由锻锤	4
一、主要技术参数	4
二、常见故障及其排除措施	6
第三节 自由锻液压机	9
一、主要技术参数	9
二、常见故障及其排除措施	11
第四节 蒸汽-空气模锻锤	12
一、主要技术参数和生产能力	12
二、常见故障及其排除措施	13
第五节 热模锻压力机	18
一、主要技术参数和生产能力	18
二、常见故障及其排除措施	20
第六节 螺旋压力机	23
一、主要技术参数	23
二、常见故障及其排除措施	23
第七节 平锻机	25
一、主要技术参数和工作能力	25

二、常见故障及其预防排除措施	28
第八节 切边曲柄压力机	30
一、主要技术参数	30
二、常见故障及其预防排除措施	31
第二章 常用锻件材料准备	32
第一节 锻造用原材料的三种形态	32
一、轧制材料的品种和规格	32
二、常用中、小型锻坯的品种和规格	33
三、钢锭	33
第二节 常用钢的鉴别方法	34
一、火花鉴别法	34
二、光谱分析法	36
第三节 下料	37
一、下料方法及其特点	37
二、锯切和片砂轮切割	38
三、剪切和精密剪切	40
四、其他下料方法	44
第四节 原材料和毛坯的质量要求	48
一、原材料的冶金质量要求	48
二、锻件毛坯的下料质量要求	49
第三章 坯料的加热	52
第一节 加热目的和加热方法	52
一、加热的目的和要求	52
二、加热方法	52
第二节 钢在加热时的物理、化学变化	55
一、氧化和脱碳	56

二、过热和过烧	59
三、导温性的变化	61
四、加热时产生的内应力	62
第三节 钢的锻造温度范围和加热规范	63
一、锻造温度范围	63
二、加热规范	67
第四节 有色金属的锻造温度范围和加热规范	78
一、铝合金锻造温度范围和加热规范	78
二、铜合金锻造温度范围和加热规范	80
三、钛合金锻造温度范围和加热规范	82
第四章 自由锻和胎模锻	85
第一节 基本知识	85
一、自由锻和胎模锻的特点	85
二、自由锻件的分类及工艺特点	85
三、自由锻造的工序	88
四、锻造比	91
五、锻造流线	92
第二节 自由锻件设计	93
一、自由锻件结构要素的设计	93
二、自由锻件的加工余量和公差	102
三、自由锻件其他技术要素的确定	108
四、锻件图	109
第三节 锤上自由锻造	109
一、常用工具	109
二、锻粗	111
三、拔长和芯轴拔长	114

四、冲孔和扩孔	117
五、弯曲	122
六、错移	123
第四节 水压机上自由锻造	124
一、常用工具	125
二、镦粗	126
三、拔长	128
四、错移	135
五、扩孔	136
六、切割	137
第五节 自由锻工艺规程的制订	139
一、坯料尺寸的确定	140
二、自由锻变形工艺的制订与举例	142
第六节 胎模锻造	151
一、胎模锻的种类	151
二、胎模锻锻件设计	154
三、各类锻件常用的胎模锻工艺	167
四、胎模锻设备吨位的确定	170
五、胎模设计	171
第五章 锤上模锻	186
第一节 锤上模锻的特点及应用	186
一、模锻工艺的分类及成形特点	186
二、锤上模锻的特点及应用	191
第二节 锻件设计	192
一、分模线选择	192
二、锻件公差与机械加工余量	195

三、模锻斜度	213
四、圆角半径	215
五、连皮与盲孔	216
六、机加工定位基准	219
七、锻件功能分类	221
八、锻件技术要求	222
九、绘制锻件图的一般规定	222
十、锻件图示例	223
第三节 模锻变形工步设计、毛坯尺寸计算和锻锤吨位 选择	225
一、模锻件分类	225
二、模锻变形工步与模膛的分类	227
三、模锻工步的选择	229
四、几种模锻方法的选用	235
五、毛坯尺寸的确定	237
六、锻锤吨位的确定	243
第四节 锤锻模设计	244
一、终锻模膛与预锻模膛	244
二、制坯模膛设计	257
三、锤锻模结构与模块尺寸	271
四、锤锻模设计实例	292
第六章 压力机上模锻	303
第一节 热模锻压力机上模锻	303
一、热模锻压力机上模锻特点和锻件设计	303
二、变形工步设计和设备吨位的确定	308
三、模膛设计	315

四、锻模设计	322
五、热模锻压力机上模锻实例	336
第二节 螺旋压力机上模锻	343
一、螺旋压力机上模锻特点和锻件设计	343
二、模锻变形工步设计和设备吨位的确定	351
三、制坯工艺	352
四、锻模设计	366
五、螺旋压力机上模锻实例	382
第三节 平锻机上模锻	387
一、平锻机上模锻特点和锻件设计	387
二、平锻机变形工步设计和设备吨位的确定	398
三、平锻模膛设计	413
四、平锻模结构尺寸设计	423
五、平锻机模锻实例	438
第七章 高合金钢及有色金属的锻造	442
第一节 高速工具钢的锻造	443
一、基本组织和性能	443
二、碳化物对高速钢性能的影响	443
三、高速钢的锻造方法	445
四、锻前加热、锻后冷却和热处理	447
五、常见锻造缺陷的产生和预防措施	449
第二节 奥氏体型不锈钢的锻造	455
一、基本组织和性能	455
二、锻前加热、锻后冷却和热处理	456
三、锻造要点	458
第三节 马氏体型不锈钢的锻造	460

一、基本组织和性能	460
二、锻前加热、锻后冷却和热处理	460
三、锻造要点	462
第四节 铁素体型不锈钢的锻造	462
一、基本组织和性能	462
二、锻前加热、锻后冷却和热处理	463
三、锻造要点	464
第五节 高温合金的锻造	465
一、基本组织和性能	465
二、锻前加热、锻后冷却和热处理	467
三、锻造要点	471
四、典型缺陷及预防措施	473
第六节 有色金属的锻造	475
一、铜及铜合金	475
二、铝及铝合金	481
三、镍及镍合金	487
四、钛及钛合金	488
第八章 锻件的锻后工序	494
第一节 切边和冲孔	494
一、热冲切和冷冲切	494
二、切边、冲孔模	495
三、切边和冲孔力计算	508
第二节 校正和精压	508
一、校正	508
二、精压	510
第三节 锻件的冷却和清理	516

一、锻件的冷却	516
二、锻件的清理	519
第四节 锻件热处理和余热处理	530
一、锻件热处理	530
二、锻件余热处理	536
第九章 锻件缺陷及其产生的原因	539
第一节 自由锻件的缺陷及其产生的原因	539
第二节 模锻件的缺陷及其产生的原因	543
第十章 锻模使用及防护	550
第一节 锻模安装、调整、试模及使用方法	550
一、锻模安装及调整	550
二、试模	551
三、锻模的使用方法	552
第二节 锻模的失效	555
一、锻模的失效形式及分析	555
二、锻模失效的防护	557
三、锻模的维护和修复	561
第三节 金属锻造时的摩擦与润滑	562
一、金属热成形时的摩擦	563
二、防护润滑剂的分类及应用	564

第一章 常用锻压设备

第一节 空气锤

一、工作原理与基本构造

空气锤是利用压缩空气传递能量的一种锻锤，可以完成全部自由锻造工序和用于胎模锻。其结构如图 1.1-1。主要由锤身、工作部分、配气机构和传动机构组成。

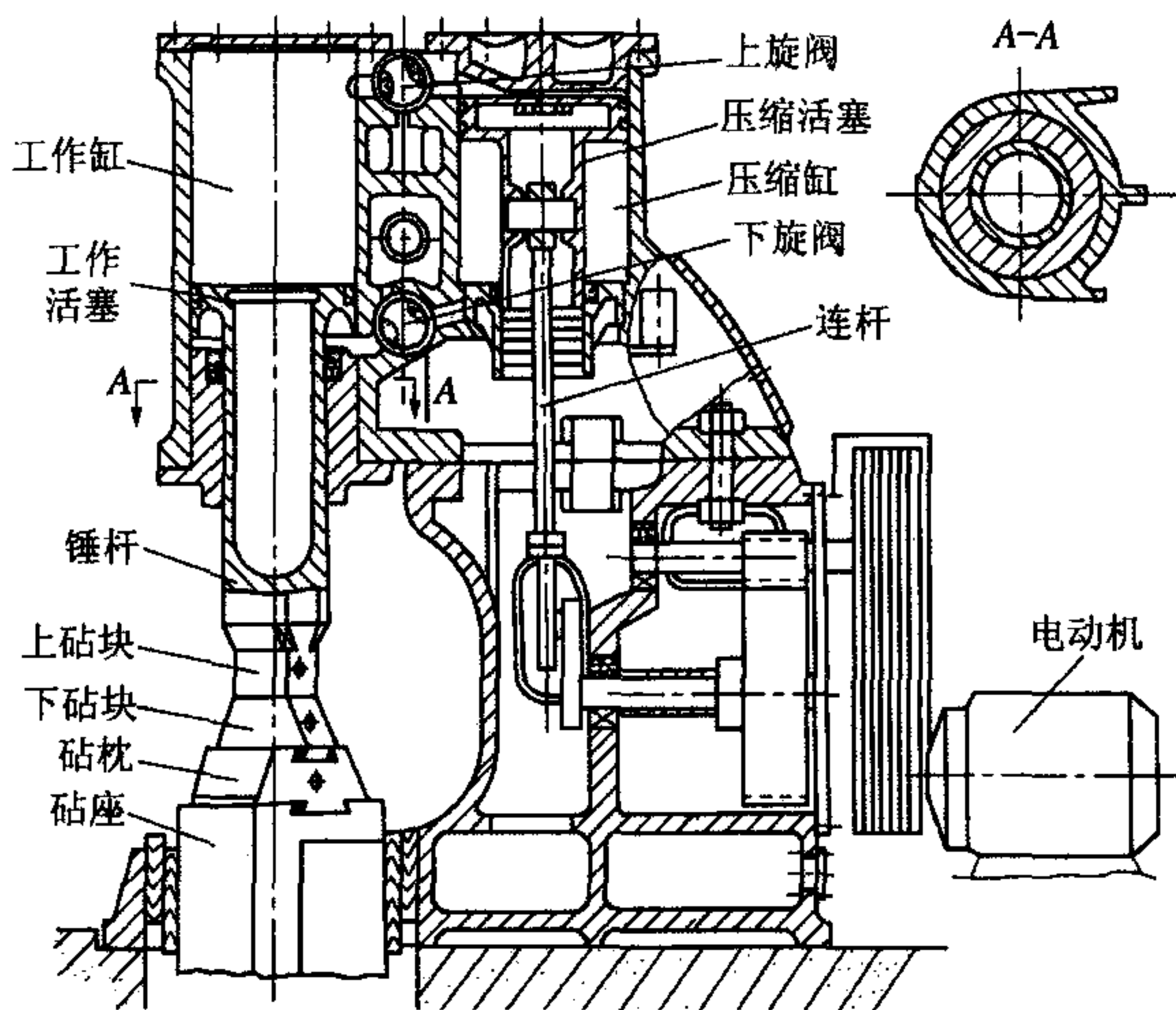


图 1.1-1 C41-750 型空气锤

二、主要技术参数

常用空气锤的型号和技术参数见表 1.1-1。

表 1.1-1 空气锤的主要技术参数

规格		型 号	C41-40	C41-65	C41-75	C41-150	C41-200	C41-250	C41-400	C41-560	C41-750	C41-1000
落下部分质量/kg			40	65	75	150	200	250	400	560	750	1 000
锤头最大行程/mm			270	280	350	350	420	560	700	600	835	950
锤击次数/次/min			245	200	210	180	150	140	120	115	105	95
锤击能量/N·m			530	850	1 000	2 500	4 000	5 600	9 500	13 700	19 000	27 000
下砧面至工作缸下盖距离/mm			245	280	300	380	420	450	530	600	670	820
锤杆中心线至锤身距离/mm			235	290	280	350	395	420	520	550	750	800
砧块平面尺寸 长×宽/mm			120×50	140×65	145×65	200×85	210×95	220×100	250×120	300×140	330×160	365×180
能锻方钢最大边长/mm			52	65	65	130	150	175	200	270	270	380
能锻圆钢最大直径/mm			68	85	85	145	170	200	220	280	300	400
电动机	型 号		J02-62 -6	J02-52 -6	J02-52 -4	J02-62 -4	J02-72 -6	J02-71 -4	J02-82 -6	J82-6	J02-93 -6	J02-92 -6
	功率/kW		4.5	7.5	7.5	17	22	22	40	40	55	75
外形尺寸	前后/mm		1 136	1 867	1 480	2 375	2 420	2 665	3 215	3 360	4 010	4 125
	左右/mm		650	1 600	1 510	1 085	955	1 155	1 364	1 425	1 290	1 500
	高/mm		1 430	1 784	1 890	2 150	2 300	2 540	2 750	3 082	3 175	3 405
质 量	带砧座/kg		1 480	2 730	2 330	5 130	8 900	8 000	15 010	18 000	26 000	34 000
	不带砧座/kg		1 000	1 650	1 430	3 330	6 000	5 000	9 010	9 600	14 750	19 000

三、常见故障及其排除措施(表 1.1-2)

表 1.1-2 空气锤的常见故障及其排除措施

事故、现象	产生原因	排除措施
锤杆漏气及漏油	① 密封圈磨损,不能起密封作用 ② 导轨套内密封块拉力弹簧折断,压不紧密封块,失去密封作用 ③ 锤杆受磨刮起槽,或有碰毛伤痕	① 取出密封圈刮修或换新 ② 调换导套内拉力弹簧 ③ 用油石修磨锤杆上磨损槽或伤痕
固定锤杆导套(工作缸下盖)的螺杆松动或折断	① 螺母松动使螺杆受力不均 ② 密封垫片损坏使螺杆倾斜 ③ 锤头行程过大,工作活塞与导套撞击,使固定螺杆折断	① 经常检查,保证固定导轨套螺母旋紧 ② 调换新的垫片 ③ 检查下砧块到导套下端面距离,如果上下砧块修磨量过大,则要调换砧块
锤头与工作缸上盖撞击	① 工作缸上盖漏气,破坏了缓冲空腔:螺母松动、垫片损坏 ② 缓冲部分球形止回阀损坏 ③ 锤头上堵盖松动,空气跑入锤杆空心部分	① 检查漏气原因:旋紧螺母、调换新的垫片 ② 检修止回阀损坏部分 ③ 加工堵盖与配合面,热装后铆死
锤头只上升不下降	① 锤杆导套内的导板磨损毛伤,卡住锤杆 ② 锤杆下部被镦粗 ③ 工作活塞的活塞环折断。断口弹出插入进气口,卡住锤头(多见) ④ 固定上砧块斜楔脱出,刮伤导套导板卡住锤头(多见)	① 用油石修磨光导套的导板 ② 拆下锤杆磨削镦粗部分,并可预磨一段锥度 ③ 拆下工作缸上盖可看出活塞环是否插入进气口。为此要拆下气阀取出活塞环 ④ 拆下锤杆和导板,打紧斜楔,修磨导板

(续表)

事故、现象	产生原因	排除措施
工作缸过分发热(超过正常温升 100℃)	① 新换的活塞环太紧或受力不均 ② 压缩缸和工作缸等润滑油供给故障,摩擦加大,温度升高 ③ “吊起”时间太久,压缩空气不循环	① 拆下活塞环,按标准磨修尺寸,重装 ② 清理油路和注油口,保证供油 ③ 尽量缩短“吊起”时间
锤头动作不正常	① 上下旋阀位置变动。联动杠杆或链条的调节螺钉松动,或拆装锤时未按原销钉位置装配 ② 双阀式下阀的止回阀阀杆(对三阀式是中阀止回阀)或弹簧断裂(多见)	① 调整旋阀芯位置。拆出上下气门芯,按气阀后盖处的“刻线”标记重装,或按空气锤使用说明书图示的上下气阀位置调整,并固定好杠杆或链条的调节螺钉 ② 调换新阀杆或新弹簧

第二节 蒸汽-空气自由锻锤

一、主要技术参数(表 1.2-1)

表 1.2-1 蒸汽-空气自由锻锤的主要技术参数

落下部分质量/t	1	2	2	3	3	5	5
结构形式	双柱式	单柱式	双柱式	单柱式	双柱式	双柱式	桥式
最大打击能量/N·m	35 300	—	70 000	120 000	152 200	—	180 000
打击次数/(次/min)	100	90	85	90	85	90	90
锤头最大打击速度/(m/s)	7.6	—	8.9	—	9.05	8.4	8.4

(续表)

落下部分质量/t	1	2	2	3	3	5	5
锤头最大行程/mm	1 000	1 100	1 260	1 200	1 450	1 500	1 728
气缸直径/mm	330	480	430	550	550	660	685
锤杆直径/mm	110	280	140	300	180	205	203
下砧面至立柱开口距离/mm	500	1 934	630	2 310	720	780	—
下砧面至地面距离/mm	750	650	750	650	740	745	737
两立柱间距离/mm	1 800	—	2 600	—	2 700	3 130	4 850
上砧面尺寸/mm	230× 410	360× 490	520× 290	380× 686	590× 330	400× 710	380× 686
下砧面尺寸/mm	230× 410	360× 490	520× 290	380× 686	590× 330	400× 710	380× 686
导轨间距离/mm	430	—	550	—	630	850	737
砧座质量/t	12.7	19.2	28.94	30	45.8	68.7	75
机器总质量/t	27.6	44.8	57.94	61.1	77.38	120	138.52
外形尺寸/mm (长×宽×地面高)	2 780× 1500× 4 880	3 750× 2 100× 4 361	4 600× 1 700× 5 640	4 900× 2 000× 3 810	5 100× 2 630× 6 380	6 030× 3 940× 7 400	6 260× 2 600× 7 510

二、常见故障及其排除措施(表 1.2-2)

表 1.2-2 蒸汽-空气自由锻锤的常见故障及其排除措施

序号	故 障	原 因	排 除 措 施
1	锤头运动无力 甚至开不动	① 滑阀调整螺丝松动 ② 排气管曲折过多或过急,有时排气阀芯脱落使排气不畅通 ③ 盘根螺钉紧固不良,致使锤杆偏斜 ④ 润滑不良,盘根损坏,增加对锤杆的摩擦力 ⑤ 活塞与缸的间隙过大,上下空间串气 ⑥ 滑阀与滑阀套间隙过大串气 ⑦ 活塞与锤杆脱落 ⑧ 活塞与缸的间隙过小,形成过大阻力 ⑨ 活塞胀圈开口卡住气道口 ⑩ 管道内有残渣或铁片卡住阀门	① 把调整螺丝调好 ② 减少曲折或急转弯,排气阀芯用卡子固定不使脱落 ③ 紧盘根螺钉时要均匀一致,以使锤杆不偏斜 ④ 保持润滑良好 ⑤ 镗缸加套,使间隙保持正常 ⑥ 修换滑阀套 ⑦ 重新热套安装 ⑧ 镗缸,一般保持间隙在 1~2.5 mm ⑨ 将胀圈开口从气道口取出 ⑩ 清除管道残渣和铁片
2	活塞撞击缸盖	① 配气操纵系统调整不当 ② 刀形杆弧度不对,不能保证配气要求	① 调整配气操纵机构 ② 校正刀形杆弧度
3	操纵手柄沉重 不灵活	① 销套处摩擦过大 ② 盘根使用过久或润滑不良	① 加装滚动轴承,减少摩擦 ② 更换盘根

(续表)

序号	故 障	原 因	排 除 措 施
4	锤头卡死不动	① 由于偏心锻造使气缸套严重磨损,致使胀圈脱落卡在缸内 ② 锤头与导轨间隙过小或导轨松动 ③ 气缸与立柱配装精度不够 ④ 胀圈锻裂 ⑤ 胀圈口卡在气道口处 ⑥ 盘根法兰不正	① 严格执行操作规程,控制偏心打击。缸套磨损严重时应及时更换 ② 调整锤头与导轨间隙 ③ 调整气缸与立柱的水平位置 ④ 更换胀圈 ⑤ 在活塞的胀圈槽内打定位销子 ⑥ 压正法兰
5	锤杆盘根漏气	盘根质量差或坏损	采用高压石棉铜丝布 V 形盘根效果较好
6	锤头导轨的梯形导面拉毛发生卡锤头现象	① 间隙过小 ② 缺油,润滑不良	① 调整间隙 ② 每班均应加油
7	锤杆折断	① 偏心锻造 ② 冷锻 ③ 材料不良 ④ 锤头与导轨间隙过大	① 控制偏心锻造 ② 避免冷锻 ③ 锤杆换用较好材料。断杆可用 MD 2 焊条焊接,焊前预热至 400℃ 左右,焊后用石棉布包扎缓慢冷却 ④ 调整导轨间隙

(续表)

序号	故障	原因	排除措施
8	锤的立柱与气缸的连接螺钉经常折断	锻造时螺钉受力不均	螺钉上加缓冲弹簧,使之受力均匀
9	锤头燕尾裂	① 固定砧块斜键与砧块斜面或锤头燕尾斜面的斜度不一致 ② 燕尾圆角半径过小,加工有刀痕产生应力集中 ③ 锻造时,砧块斜键在热状态下打入锤头燕尾中,停锻锤头冷却后应力过大	① 专配斜键,使斜度完全一致 ② 燕尾圆角半径适当加大,可加大到15 mm,并将加工刀痕磨去 ③ 停锻后,尤其是节日或星期日应将键打松 ④ 换配新锤头时,长度可加长一个燕尾高度,以便断裂后将坏燕尾刨去,重新开燕尾。如此,一个锤头可加工三次,第三次用过之后,可刨去燕尾,用电渣焊接长一段再开燕尾
10	活塞脱落	活塞与锤杆装配不良	把锤杆尾部的锥度改用直杆效果较好。活塞内孔研磨,使之接触严密,约550℃热装

(续表)

序号	故障	原因	排除措施
11	上、下砧块表面不接触	上、下砧高度不够,活塞下降时卡在缸底上	换新砧头或将锤头中的斜套拉出,在下部加垫 30~50 mm 厚的垫套,可继续使用
12	上、下砧块错牙	① 斜铁磨损或断裂 ② 砧座移动	① 更换斜铁或加垫片调整 ② 检查砧座位置

第三节 自由锻液压机

一、主要技术参数

单臂式自由锻液压机的主要技术参数见表 1.3-1。

双柱下拉式自由锻液压机的主要技术参数见表 1.3-2。

三梁四柱式自由锻液压机的主要技术参数见表 1.3-3。

表 1.3-1 单臂式自由锻液压机的主要技术参数

公称压力/kN	3 150	5 000	8 000
液体工作压力/MPa	20.0 或 32.0		
最大行程/mm	700	800	1 000
净空距/mm	1 700	1 800	2 000
工作缸中心线到机架内侧表面的距离/mm	800	800	1 000
工作台尺寸/mm	3 350×1 000	3 600×1 100	3 800×1 200
工作台行程/mm	1 000	1 400	1 600
锻造次数/(次/min)	30~90	24~90	15~80

表 1.3-2 双柱下拉式自由锻液压机的主要技术参数

公称压力/kN	5 000	8 000	12 500	2 000	31 500
液体工作压力/MPa	32				
最大行程/mm	800	1 000	1 250	1 600	2 000
净空距/mm	1 800	2 200	2 500	3 150	4 000
柱间净距/mm	1 300	1 500	1 900	2 300	2 800
工作台尺寸/mm	1 500× 800	2 000× 1 000	2 500× 1 250	3 200× 1 600	4 000× 1 800
工作台行程/mm	2×700	2×800	2×900	2×1 100	2×1 200
锻造次数/(次/min)	35~90	35~80	30~80	25~70	15~60

表 1.3-3 三梁四柱式自由锻液压机的主要技术参数

公称压力/kN		16 000	20 000	25 000	31 500	63 000	125 000
液体工作压力/MPa		32					
最大行程/mm		1 400	1 600	1 800	2 000	2 600	3 000
净空距/mm		2 950	3 400	3 900	4 050	6 100	7 000
立柱 中心距	左右/mm	2 400	2 800	3 400	3 500	5 200	6 300
	前后/mm	1 200	1 500	1 600	1 800	2 300	3 450
工作台尺寸/ mm		4 000× 1 500	5 000× 2 000	5 000× 2 000	6 000× 2 000	9 000× 3 400	10 000× 4 000
工作台行程/ mm		2×1 500	2×2 000	2×2 000	2×2 000	2×3 000	2×3 500
锻造次数/ (次/min)		16~60	12~50	12~45	10~40	7~25	5~20

第四节 蒸汽-空气模锻锤

一、主要技术参数和生产能力

蒸汽-空气模锻锤的主要技术参数见表 1.4-1。

蒸汽-空气模锻锤的生产能力见表 1.4-2。

表 1.4-1 蒸汽-空气模锻锤的主要技术参数

落下部分质量/t		1	2	3	5	10	16
最大打击能量/N·m		25 000	50 000	75 000	125 000	250 000	400 000
锤头最大行程/mm		1 200	1 200	1 250	1 300	1 400	2 500
锻模最小闭合高度 (不算燕尾)/mm		220	260	350	400	450	500
导轨间距离/mm		500	600	700	750	1 000	1 200
锤头前后方向长度/ mm		450	700	800	1 000	1 200	2 000
模座前后方向长度/ mm		700	900	1 000	1 200	1 400	2 110
打击频率/(次/min)		80	70	60~70	60	50	40
蒸汽	绝对压力 /MPa	0.6~0.8	0.6~0.8	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9	0.7~0.9
	允许温度/℃	200	200	200	200	200	200
砧座质量/t		20.25	40	51.4	112.547	235.533	325.852
总质量(不带砧座)/t		11.6	17.9	26.34	43.793	75.737	96.235
外形尺寸 (前后×左右×地面 高)/mm		2 380× 1 330× 5 051	2 960× 1 670× 5 418	3 260× 1 800× 6 035	2 090× 2 700× 6 560	4 400× 2 700× 7 460	4 500× 2 500× 7 894

表 1.4-2 蒸汽-空气模锻锤的生产能力

项 目		设备吨位 /t				
		1	2	3	5	10
连 杆	每件质量/kg	0.4~2.5	2.5~6	4.5~8	12~15	
	生产率/(件/h)	175~120	170~80	70~50	50~40	
曲 轴	每件质量/kg			12~15	30~40	45~100
	生产率/(件/h)			80~50	60~30	50~30
齿 轮	每件质量/kg	0.5~2.0	3~6	3.5~8	9~24	<80
	生产率/(件/h)	300~100	150~100	120~80	100~65	80

二、常见故障及其排除措施(表 1.4-3)

表 1.4-3 蒸汽-空气模锻锤的常见故障及其排除措施

故 障	产生原因	排除措施
在正常进气情况下锤头不起或工作中锤头突然不起	① 活塞脱落 ② 导轨间隙过小 ③ 锻模锁口卡住	针对具体原因进行排除
锤头不摆动	① 曲杆弧度不正确 ② 滑阀与阀套的尺寸不适合, 不能达到正常的配气关系 ③ 活塞和气缸间的间隙小 ④ 胀圈开口小, 装入缸内温度升高之后, 卡死在缸内 ⑤ 新蒸汽气压不足 ⑥ 节气阀开口太小或操纵杆装反了, 引起进气不通畅	① 根据滑阀移动量弯曲曲杆, 使之可以控制滑阀位移 ② 按原设计要求修改尺寸 ③ 活塞与气缸之间间隙按锤吨位大小应保持在 1~4 mm 为好 ④ 将胀圈取出。扩大开口尺寸

(续表)

故 障	产生原因	排 除 措 施
锤头不摆动	⑦ 滑阀拉杆位置不适当,影响了与锤头行程之间的正常比例关系 ⑧ 胀圈卡在槽内,不起密封作用或是胀圈断裂 ⑨ 导轨拉紧螺栓松动,导轨夹锤头 ⑩ 锤杆及滑阀处的盘根法兰密封过紧或法兰盖压偏	⑤ 调整蒸汽压力到 0.6~0.9 MPa ⑥ 调好节气阀,使进气通畅 ⑦ 将踏板、平衡杆、滑阀支点铰链调节到水平位置,然后调节滑阀螺杆,控制锤头移动量 ⑧ 更换新胀圈 ⑨ 将导轨拉紧螺栓固紧 ⑩ 将盘根螺帽松动些并压正法兰
锤头摆动过大,向上撞击保险杠,向下撞击模具	① 曲杆弧度不合适,造成滑阀移动量过大 ② 滑阀下部遮盖面部分高度不够,产生排气 ③ 气压过大 ④ 操纵拉杆调节螺栓松动,使滑阀位置变动	① 弯曲曲杆,使之控制滑阀位移 ② 增高滑阀下部堵气部分高度 ③ 降压或将进气阀门开小 ④ 重新调节拉杆
锤头打击无力	① 气压不足或节气阀操纵杆装反了,锤击时使节气阀开口小 ② 踏板过低,滑阀移动量过小,上部气孔开启过小 ③ 活塞上的胀圈槽磨损,间隙过大或胀圈卡死在槽内以及断裂,上下串气 ④ 气缸套磨损超出规定的最大间隙,产生串气	① 恢复气压到 0.9 MPa 使节气阀进气通畅 ② 调节踏板到水平或高于水平位置 ③ 拆卸保险杠,吊出活塞,针对原因排除或更换新胀圈 ④ 更换缸套

(续表)

故 障	产生原因	排除措施
锤杆折断	① 气缸底部支承底盖孔、锤头、立柱等中心未对正或不同心 ② 锤杆材料差,热处理有问题或表面强度低 ③ 锤工作之前,锤杆预热温度不够 ④ 导轨间隙大,锻模上预锻模膛距锤头中心太远,形成偏击 ⑤ 锻造锤杆毛坯时内部有裂纹 ⑥ 没放锻件情况下冷打锻模	① 调整或机械加工,使之各部分同心 ② 使用较好的合金钢,采用先进的热处理方法,表面采用滚压工艺 ③ 预热锤杆到 100~200℃ 以上方可开始工作,尤其在寒冷季节更应注意 ④ 调整导轨间隙,不允许模膛距锤头中心过远 ⑤ 锻造锤杆坯件时采用圆弧形上下砧模,进行辗光,不可使用 V 形砧模,以免发生裂纹 ⑥ 避免冷打
工作缸内有噪音	① 气缸与气缸底盖加工误差大,中心不重合 ② 立柱导轨槽前后不垂直,锤头运动时活塞摩擦气缸壁一侧 ③ 气缸套表面淬火时产生局部硬点,胀圈和硬点产生摩擦 ④ 润滑不良,胀圈磨缸套	① 将底盖法兰凸缘处堆焊后加工使中心重合 ② 将导轨槽加工成垂直 ③ 拆出锤杆,磨去缸套硬点 ④ 加强气缸内润滑

(续表)

故 障	产生原因	排除措施
活塞脱落	① 锤杆和活塞孔加工误差大,锥度配合不当 ② 活塞红套时因温度过高,活塞孔产生氧化皮又未曾清除干净 ③ 红套活塞时,锤杆超出活塞端一段尺寸,锤头行程过大时,活塞撞击保险杠活塞时间过久,会将活塞冲掉 ④ 调整锻模时,拆去上模或下模后,锤头摆动超出最小封闭高度。或因不注意触动了踏板锤头落下撞击气缸底部,活塞易脱落 ⑤ 由于在立柱上、下都加了缓冲垫,立柱高度增高。另外锤头锥度孔加工过大,使气缸下余空间减小,如装高度小的锻模,活塞就会冲击缸底	① 机械加工后,活塞孔和锤杆应进行研配,改用直孔配合效果较好 ② 加热温度不应过高,大约 500℃ 左右,在装配时清除干净氧化皮 ③ 将突出的一段尺寸车去 ④ 拆除锻模时,一定把锤头支起来 ⑤ 在锤头锥度孔内加厚铜套,保证下余空间。使用时必须保证封闭高度
模座窜动	① 模座 160°处由于盐水的腐蚀,接触面配合不良 ② 模座的固定斜铁角度加工误差大或是锤砧斜面磨损,接触差 ③ 模座斜铁在锤工作时,因角度配合差而窜出	① 用 160°样板,检查锤砧。用风动砂轮机磨修砧部,使接触良好 ② 修配斜铁 ③ 用撞锤打紧

(续表)

故 障	产生原因	排除措施
气缸垫板 螺栓易断	① 由于气缸垫板和立柱间垫的垫片过多,使螺栓受到立柱螺孔一侧推力而断 ② 操纵机构拉杆折断,或者曲杆杆轴折断,锤头向上冲击保险杠,会将螺栓拉断	① 垫片要垫得适当,不允许锤工作时气缸垫板左右窜动 ② 在曲杆平衡杆上部加一保险限位调整螺栓,在拉杆断的情况下,锤头行程不会过多的变化

第五节 热模锻压力机

一、主要技术参数和生产能力

热模锻压力机的主要技术参数见表 1.5-1。

热模锻压力机的生产能力见表 1.5-2。

表 1.5-1 热模锻压力机的主要技术参数

公称压力/kN 名 称	10 000	16 000	20 000	31 500	40 000	80 000
滑块行程/mm	250	280	200	350	400	460
滑块行程次数/(次/min)	80	85	82	55	50	39
滑块尺寸 (前后×左右)/mm	630× 950	900× 1 170	910× 960	1 200× 1 180	1 250× 1 300	1 700× 1 640
主柱间距离/mm	1 050	1 250	1 080	1 300	1 450	1 840

(续表)

公称压力/kN 名 称		10 000	16 000	20 000	31 500	40 000	80 000
工作台尺寸 (前后×左右)/mm		1 150× 1 000	1 120× 1 250	1 065× 1 100	1 300× 1 240	1 400× 1 450	1 850× 1 700
封闭高度/mm		560	720	765	950	1 025	1 200
工作台调节量/mm		10	10	22	23	25	25
上 顶 料 杆	个数	—	3	1	—	多个	—
	顶出力/kN	—	—	100	—	200	400
	行程/mm	50	50	45	50	65	30
下 顶 料 杆	个数	—	3	3	—	3	—
	顶出力/kN	—	—	200	—	400	800
	行程/mm	50	65	70	80	90	100
侧窗口尺寸(宽×高)/ mm		—	320× 450	—	800× 900	—	1 200× 1 000
主电机	型号	JR-91 -6	JR-91 -4	—	JR-117 -4	—	JR-138 -8
	功率/kW	55	75	115	180	210	245
机器总质量/t		50	68.5	120	195	300	858
占地面积/mm		2 662× 2 527	3 190× 2 680	—	4 230× 4 878	—	4 700× 5 200
地面上高度/总高度/ mm		4 908/ 5 500	5 730/ 6 425	—	5 919/ 8 708	—	7 900/ 11 350

表 1.5-2 热模锻压力机的生产能力

生产率 (件/h) 锻件质量/kg	压力机吨位/kN	10 000	16 000	20 000	31 500	40 000	80 000
0.4~0.63		490					
0.63~1.0		470	450				
1.0~1.6		450	430	390			
1.6~2.5		430	410	370			
2.5~4.0			390	360	310		
4.0~6.3					290	270	
6.3~10					270	250	
10~16						230	
16~40							170
40~63							150

二、常见故障及其排除措施

热模锻压力机的常见故障及其排除措施见表 1.5-3。

表 1.5-3 热模锻压力机的常见故障及其排除措施

名称	常见事故	产生原因	排除措施
曲轴	① 曲轴轴承发热	① 轴和轴瓦咬住	① 重磨轴颈或研刮轴瓦
	② 流出来的润滑油中有青铜屑	① 润滑油耗尽 ② 油槽油路阻塞	检查润滑油流动情况, 清洁油路、油槽及研刮轴瓦

(续表)

名称	常见事故	产生原因	排除措施
滑 块	① 制动器松开后 滑块不滑下	① 导轨压得太紧 ② 导轨内缺少润 滑油 ③ 滑块与导轨咬住	① 放松导轨,重新 调整 ② 添加润滑油 ③ 拆开导轨研磨
	② 推料器不工作	① 推料器在滑块向 上移动时,不敲 打直打棒	① 用手盘动飞轮, 调整直打棒,检 查推料器的作用
连 杆	① 连杆螺纹自动 松开	① 锁紧机构松动	① 用扳手拧紧锁紧 机构
	② 球碗部分有响 声	① 球碗夹紧零件 松开 ② 压坏式保险器 损坏	① 拧紧球形盖板之 螺钉,并用手扳 动螺杆,以测其 松紧程度 ② 拆开圆球、盖板, 更换新的保险器
离 合 器	① 手掀按钮或脚踏 开关后,离合器 不起作用	① 转动键的拉簧 断裂或太松 ② 转动键尾部断裂 ③ 转动键损坏	① 更换拉簧 ② 更换新的转动键 ③ 更换新的转动键
	② 离合器分离时 有剧烈冲击的 现象	① 制动器太松	① 上紧制动器
	③ 滑块向下移动时 曲轴轴颈上有剧 烈响声	① 离合器制动键 磨损 ② 拉力弹簧太松 或断裂 ③ 键的支承部分 咬住	① 更换制动键 ② 更换拉力弹簧 ③ 刮支承部分

(续表)

名称	常见事故	产生原因	排除措施
操纵机构	① 手揿按钮或脚踏开关后,离合器不起作用	① 齿条,拉板下面的复位弹簧未调整好 ② 拉杆长度未调整好	① 调整压缩弹簧 ② 调整好拉杆长度
	② 脚踏开关后离合器不能自动分离	① 拉杆错放在齿条上 ② 脚踏开关失灵 ③ 弯棒钩部磨损	① 将拉杆放到弯棒下面的圆销子上 ② 修理或更换脚踏开关 ③ 更换弯棒
制动器	① 制动器过分发热	① 制动器太紧	① 调节制动弹簧
	② 曲轴停止时超过上死点位置	① 制动带太松 ② 制动带磨损	① 调节制动器弹簧 ② 更换制动带
传动装置	① 揿下启动按钮飞轮不转动	① 三角皮带太紧或太松	① 调节三角皮带的松紧程度
电气装置	① 双手揿“启动”按钮,压机不工作	① 操纵按钮损坏 ② 线路松脱 ③ 热继电器脱扣	① 检查按钮触点,更换新的按钮 ② 检查线路 ③ 揿下热继电器“复位”按钮
润滑部分	① 润滑油不能供到润滑点	① 管路阻塞 ② 分油器故障	① 拆开清洗之 ② 检查分油器
	② 各润滑点供油不匀	① 分油器调节不当	① 调节分油器供油量

第六节 螺旋压力机

根据驱动方式的不同,螺旋压力机有摩擦压力机、液压螺旋压力机和电动螺旋压力机等。

一、主要技术参数

双盘摩擦压力机的主要技术参数见表 1.6-1。

表 1.6-1 双盘摩擦压力机的主要技术参数

公称压力/ kN	630	1 000	1 600	2 500	4 000	6 300	10 000	16 000	25 000
运动部分能 量/kN·m	2.2	4.5	9.0	18.0	36.0	72.0	140	280	500
滑块行程/ mm	200	250	300	350	400	500	600	700	800
滑块行程次 数/(次/min)	35	30	27	24	20	16	13	11	9
最小封闭高 度/mm	315	355	400	450	530	630	710	800	1 000
工作台垫板 厚度/mm	80	90	100	120	150	180	200	220	250
工作台 面尺寸 /mm	左右	250	315	400	500	630	750	900	1 120
	前后	315	400	500	630	750	900	1 120	1 250

二、常见故障及其排除措施

螺旋压力机的常见故障及其排除措施见表 1.6-2。

表 1.6-2 摩擦压力机的常见故障及其排除措施

序号	故 障	原 因	排 除 措 施
1	滑块起不来 或上升较慢	① 飞轮与摩擦盘间隙过大或摩擦盘松动位移 ② 液压操纵机构的油压不足 ③ 传动轴两支点轴承研损,增加摩擦 ④ 螺母下部发生缴粗,致使螺杆间隙过小	针对具体原因 进行排除和修复
2	滑块在上端 停不住	① 控制制动装置的斜面板位置太高,上限程板位置太低 ② 制动装置弹簧弱或松动 ③ 制动轮摩擦工作面上有油打滑	针对具体原因 进行排除和修复
3	飞轮周边的 摩擦带松动	螺栓紧固力量不足	拧紧螺栓
4	操纵系统油 泵发热,油温升 高	① 溢流阀压力过高 ② 油泵周围环境温度过高	① 调整溢流阀 ② 特别注意不许使油泵靠近加热炉
5	主电机烧坏	负载启动	启动前必须把 飞轮处在两摩擦 盘的中间位置

第七节 平 锻 机

一、主要技术参数和工作能力

垂直分模平锻机的主要技术参数见表 1.7-1。

水平分模平锻机的主要技术参数见表 1.7-2。

平锻机允许顶锻棒料的最大直径见表 1.7-3。

表 1.7-1 垂直分模平锻机的主要技术参数

公称压力/kN	5 000	8 000	12 500	20 000
夹紧滑块行程/mm	125	160	220	312
主滑块行程/mm	280	380	460	610
夹紧模闭合后,主滑块的有效行程/mm	190	250	310	340
夹紧模闭合后,主滑块返回行程/mm	30	130	170	140
主滑块行程次数/(次/min)	45	33	27	25
主滑块在最前极限位置时,其边缘与夹紧模间距离/mm	110	175	180	230
进料窗口尺寸(宽×高)/mm	150×410	190×610	265×780	330×980
模具尺寸(长×宽×高)/mm	450×180 ×435	550×210 ×600	700×260 ×820	850×320 ×1 030

(续表)

公称压力/kN		5 000	8 000	12 500	20 000
电动机	型号	JH-82-8	JR-92-8	JR-127-10	JR-128-8
	功率/kW	28	55	115	155
机器质量/t		40.2	85	129	256
外形尺寸(长×宽×地面上高/总高)/mm		4 600×3 055×1 945/2 310	5 215×2 931×2 296/3 041	3 645×3 930×3 000/3 680	8 620×5 185×3 140/4 140

表 1.7-2 水平分模平锻机的主要技术参数

公称压力/kN	3 150	4 500	6 300	9 000	12 500
夹模开口度/mm	120	135	155	180	205
主滑块行程/mm	290	330	360	420	460
夹紧模闭合后,主滑块有效行程/mm	150	170	190	215	245
夹紧模闭合时,主滑块返回行程/mm	80	95	100	108	130
模具尺寸/mm (长×宽×高)	330×380×145	400×450×170	450×530×190	530×600×220	705×720×250

(续表)

公 称 压 力/ kN		3 150	4 500	6 300	9 000	12 500
主滑块在最前 位置,前边缘 与夹紧模间距 离/mm		110	—	120	180	380
主滑块行程次 数/(次/min)		55	45	35	32	28
电动机	型号	JHO ₂ - 62 - 4	JR - 81 - 4	JR - 92 - 8	JR - 116 - 8	JR - 126 - 10
	功率 /kW	17	40	55	70	95
机器质量/t		21	35	48	87	132
地 面 上 高 度/mm		2 070	2 120	2 364	2 680	2 599
外形尺寸 (长 × 宽 × 高)/mm		2 442×2 160 ×2 415	3 095×1 450 ×2 440	1 320×2 700 ×3 098	6 535×3 370 ×3 626	7 645×3 825 ×4 149

表 1.7-3 平锻机允许顶锻棒料的最大直径

公称 压力 /kN	1 000	1 600	2 500	4 000	6 300	8 000	10 000	12 500	16 000	20 000	25 000	31 500
顶锻 棒料 最大 直径 /mm	20	40	50	80	100	120	140	160	180	200	240	270
可顶 锻件 的直 径 /mm	40	55	70	100	135	155	175	195	225	255	275	315

二、常见故障及其预防排除措施

平锻机的常见故障及其预防排除措施见表 1.7-4。

表 1.7-4 平锻机的常见故障及其预防排除措施

序号	常见故障	原因	预防排除措施
1	夹紧滑块夹不紧或夹不住棒料	① 夹紧机构的保险弹簧预紧力太小 ② 固定凹模或活动凹模安装时后面的垫片太薄	① 调整保险弹簧的预紧程度 ② 增加垫片
2	工作时发生连击	① 空气分配器的密封皮碗漏气 ② 离合器排气通道堵塞 ③ 电磁阀操纵时限位开关失灵	更换零件或进行调整
3	夹紧机构杠杆系统在工作过程中有撞击声	杠杆系统各构件连接配合处间隙过大	更换磨损的零件
4	主滑块闷车	① 放入凹模的棒料过长或加热温度过低 ② 制动器中摩擦保险装置的螺钉松动 ③ 压缩空气压力过低 ④ 离合器活塞皮碗损坏漏气 ⑤ 电机皮带松弛 ⑥ 电机转速不够 ⑦ 离合器摩擦片间隙过大	① 开倒车 ② 退出主滑块上的调整楔铁 ③ 用气割方法割断凸模冲头 因超载而发生闷车是极严重的事故

(续表)

序号	常见故障	原 因	预防排除措施
5	曲轴折断	主要是由于超载引起	① 操作时注意棒料放入的长度,加热温度不能太低 ② 注意曲轴的润滑和磨损情况,曲轴发热不能超过 60°C ,曲轴损坏是严重事故
6	连杆损坏	主滑块回程时,连杆向后的拉力很大,容易把连接盖的连接螺栓拉断,连接螺栓拉断后,下一次曲轴转过来就把连杆压在下面,而使连杆折断。与此同时曲轴也有损坏的可能	① 若发现主滑块没有完全退回,必须停车进行检查 ② 经常检查连接螺栓是否有拉长或松动,最好定期更换
7	侧滑块拉断	主要是由于凸轮外轮廓不准确而引起	试车时慢慢转动飞轮,检查凸轮是否有卡住现象,若有,必须修好后才能使用
8	离合器打滑	① 润滑油流入离合器 ② 压缩空气压力不足 ③ 离合器皮碗漏气	① 用煤油把润滑油清洗掉 ② 调整压缩空气压力 ③ 更换皮碗
9	离合器发热	主要是由于摩擦片之间的间隙不合适或弹簧折断	检查离合器,视情况处理,离合器的温度不允许超过 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$

第八节 切边曲柄压力机

与模锻配合使用的切边曲柄压力机,可以选用各种型号的通用曲柄压力机,也可以使用专用的切边压力机。有些专用切边压力机带有侧滑块。

一、主要技术参数(表 1.8-1)

表 1.8-1 切边曲柄压力机的主要技术参数

公称压力 /kN	型 号	型 式	滑块 行程 /mm	行程 次数 /(次/min)	最大闭 合高度 /mm
630	J21—63	开式固定台	100	45	400
630	JA23—63	开式可倾	100	45	410
800	JH21—80	开式固定台	160	40	320
800	J23—80	开式可倾	115	45	380
1 000	JH21—100	开式固定台	130	38	360
1 000	J23—100	开式可倾	130	38	480
1 250	J21—125	开式固定台	130	38	480
1 250	JA23—125	开式可倾	140	33	430
1 250	J37—125	切边压力机	160	50	550
1 600	JA21—160	开式固定台	160	40	450
1 600	JB23—160	开式可倾	160	40	450
1 600	JA31—160A	闭式单点	160	32	480
2 000	J37—200	切边压力机	200	45	600

(续表)

公称压力 /kN	型 号	型 式	滑块 行程 /mm	行程 次数 /(次/min)	最大闭 合高度 /mm
2 000	ADP—200	切边压力机	160	60	500
2 500	J31—250B	闭式单点	160	32	480
3 150	J31—315B	闭式单点	315	20	630
3 150	J37—315A	切边压力机	250	40	650
3 150	ADP—315	切边压力机	200	50	530
4 000	J31—400B	闭式单点	400	20	710
5 000	JA33—500	切边压力机	400	12	700
6 300	JA31—630B	闭式单点	400	12	900
8 000	JD31—800	闭式单点	500	10	900
8 000	ADWP—800	切边压力机	400	30	750
12 500	J81—1250	切边压力机	—	8	800
12 500	S1—1250/1	闭式单点	500	10	950
20 000	S1—2000/1	闭式单点	500	9	800

二、常见故障及其预防排除措施

参看本章第五节热模锻压力机的有关内容。

第二章 常用锻件材料准备

第一节 锻造用原材料的三种形态

锻造用原材料常以轧制材料、锻制材料和钢锭三种形态供应。中、小型锻件常使用轧制材料和锻制材料,大型自由锻件的原材料常使用钢锭。

一、轧制材料的品种和规格

轧制材料的品种有方坯、方钢、圆钢、六角钢、八角钢、板坯、钢板等,其规格见表 2.1-1。

表 2.1-1 轧制材料的品种和规格

品种	方坯			方钢		圆钢		六角钢		八角钢	板坯	钢板
类别	热轧钢坯	初轧钢坯	车轴钢坯	热轧型钢	冷轧型钢	热轧型钢	冷轧型钢	热轧型钢	冷轧型钢	热轧型钢	初轧钢坯	热轧厚钢板
检测尺寸	边长	边长	边长	边长	边长	直径	直径	内切圆直径	内切圆直径	内切圆直径	厚度	厚度
规格/mm	40~250	120~450	170~350	5~250	3~70	5~250	3~80	8~70	3~75	18~32	100~250	4~60
允许偏差/mm	$\begin{pmatrix} +1.5 \\ -1.0 \end{pmatrix}$? $\begin{pmatrix} +7.0 \\ -5.0 \end{pmatrix}$	(± 4) ? (± 10)	(± 4) ? (± 6)	(± 0.4) ? (± 2.5)	(-0.04) ? (-0.4)	(± 0.4) ? (± 2.5)	(-0.02) ? (-0.4)	$\begin{pmatrix} +0.1 \\ -0.3 \end{pmatrix}$? $\begin{pmatrix} +0.5 \\ -1 \end{pmatrix}$	(-0.04) ? (-0.4)	$\begin{pmatrix} +0.4 \\ -0.5 \end{pmatrix}$? $\begin{pmatrix} +0.4 \\ -0.7 \end{pmatrix}$	(± 3) ? (± 5)	$\begin{pmatrix} +0.3 \\ -0.5 \end{pmatrix}$? $\begin{pmatrix} +1.8 \\ -1.3 \end{pmatrix}$
供应长度/mm	—	—	—	0.5~10	1.5	0.5~10	1.5~6	1.5~6	1.5~6	>1.5	—	1.2~12

二、常用中、小型锻坯的品种和规格

常用中、小型锻坯的品种有圆钢和方钢,其规格见表 2.1-2。

表 2.1-2 常用中、小型锻坯的品种和规格

品 种	检测尺寸	规格/mm	允许偏差/mm	供应长度/m
锻制圆钢	直径	50~250	$\begin{pmatrix} +2 \\ -1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +8 \\ -3 \end{pmatrix}$	>0.5
锻制方钢	边长	50~250	$\begin{pmatrix} +2 \\ -1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +8 \\ -3 \end{pmatrix}$	>0.5

注:经供需双方协商,大于 250 mm 的圆钢和方钢也可以订货。

三、钢锭

钢锭常常作为大、中型自由锻件的原材料。其结构见表 2.1-3。

表 2.1-3 钢锭的结构

简 图	序号名称	组成部分	作 用
	1—桥架	I—冒口	不能做锻件用,但可以利用它作为拔长的夹持部分,即先将它锻成夹持钢锭用的钳口,待完成拔长工序后再切除
	2—缩孔		
	3—疏松		
	4—细晶粒层	II—锭身	作为锻件的原材料
	5—柱状粗晶		
	6—等轴粗晶		
	7—夹杂物沉积	III—底部	不能做锻件,应在拔长前切除

钢锭根据其截面形状可分为圆钢锭、方钢锭、八角钢锭等品种；根据钢锭的总质量(单位：t)的不同区分为不同规格的钢锭。至于钢锭的品种和规格，由各生产厂自行定制。

第二节 常用钢的鉴别方法

一、火花鉴别法

火花鉴别法是将钢铁材料轻轻压在旋转的砂轮上打磨，观察迸射出的火花形状和颜色，以判断钢铁种类和成分范围的方法。

火花束中由灼热发光的粉末形成的线条状火花称为流线。流线在中途爆炸，其爆炸处叫节点。节点处射出的线叫芒线。流线或芒线上由节点、芒线组成的火花叫节花。节花按爆炸先后可分为一次花、二次花、三次花等(图 2.2-1)。合金钢材料在流线尾端还会出现不同形状的尾花。

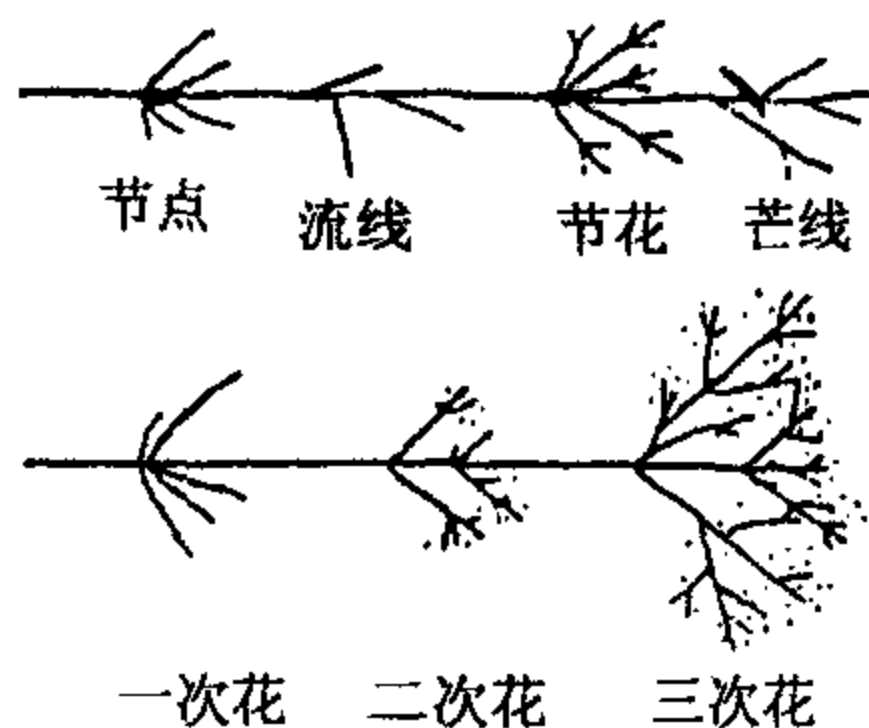
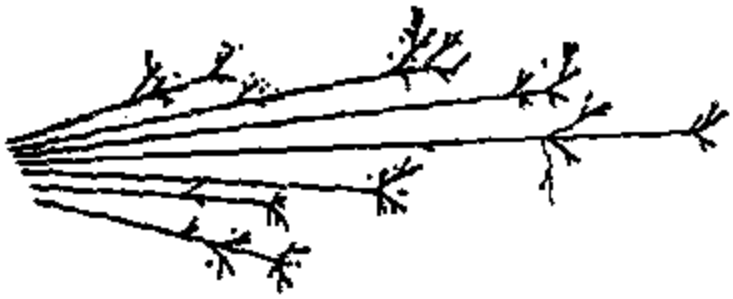
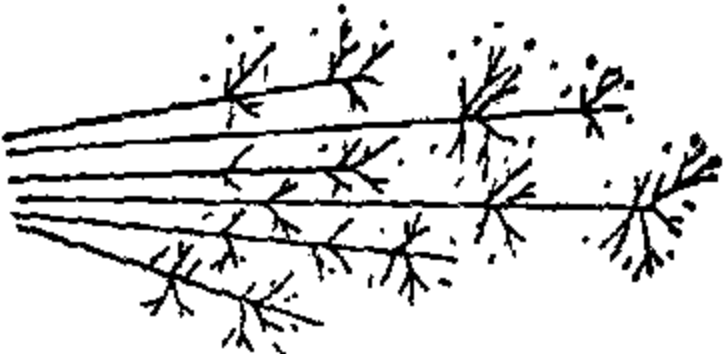
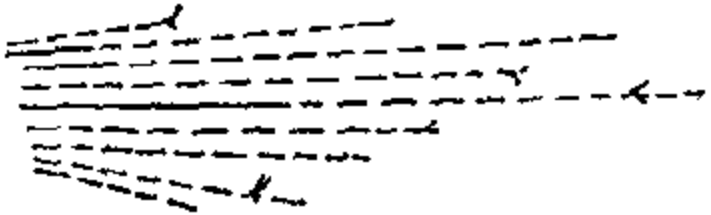


图 2.2-1 火花图

表 2.2-1 钢的火花图

钢 种	火 花 图	特 征
低碳钢 (以 15 钢为例)		火花束中流线较多，长度较长，花量不多，节花为四根分叉一次花，芒线较粗。整个火花束呈草黄带红，发光适中

(续表)

钢 种	火 花 图	特 征
中碳钢 (以 40 钢为例)		火花束中流线多而细长, 尖端有分叉现象。节花为多根分叉二次花, 芒线清晰, 有较多的小花粉产生。火花盛开, 花量较多, 约占整个火花束的 $\frac{3}{5}$ 以上, 整个火花束呈黄色, 发光明亮
高碳钢 (以 65 钢为例)		火花束中流线多而细, 长度较短。节花为多根分叉, 芒线细长而量多, 间距密, 其中有很多花粉。花量多而拥挤, 约占整个火花束的 $\frac{3}{4}$ 以上。整个火花束呈黄色, 中部发光明亮, 尾部次之, 根部较暗
高速钢 (以 W18Cr4V 为例)		因受钨抑制火花爆裂的影响, 火花束中几乎无火花爆裂, 仅有尾部略有三、四分叉爆裂, 花量极少。流线根部和中部分呈断续状态, 有时呈波浪流线, 整个火花束火花细长, 发光极暗, 呈赤橙色

“火花鉴别法”利用钢材中各种元素的含量、性能、组织的不同,在磨削时发生的火花形式也不同的原理,观察分析钢材的火花形式,可大致地、定性地或半定量地鉴别钢材的成分和牌号,鉴别情况视操作者的经验而定。

二、光谱分析法

光谱分析包括发射光谱分析、原子吸收光谱分析和 x 射线荧光光谱分析等几种。

表 2.2-2 光谱分析

种 类		原 理
发射光谱分析	摄谱法	由分光仪将金属试样在光源发生器作用下所产生的不同波长的光谱排列成线状光谱,然后用摄谱仪将其拍摄下来并制成谱片,再用测微光度计测谱片上谱线的黑度,其值与金属元素的种类及多少有关
	光电直读法	由光电接收元件,将金属试样产生的光信号转变成电信号,当试样从仪器上通过时,由于放大及记录装置的作用,仪器便自动给出分析线的名称(含何种元素)及强度的读数(元素的含量)
原子吸收光谱分析		将金属盐溶液雾化后喷入火焰,由于热解分离,金属元素变成原子状态,处于基态,这些基态的原子吸收火焰的热能或适当波长的辐射能后,上升为高能态而处于激发态,随后又回到基态。其基态的原子对光量子的吸收量与金属的种类及含量有关。原子吸收光谱分析就是测定基态原子对光量子的吸收量
x 射线荧光光谱分析		金属试样受到 x 射线辐射后,其原子吸收了部分 x 射线的光量子,使原子内层电子由低能级激发到高能级,随后又回到低能级。能量的变化以释放出 x 射线荧光的形式实现,通过测定 x 射线荧光光谱中谱线的波长,便可测出试样中含有何种元素

第三节 下 料

一、下料方法及其特点(表 2.3-1)

表 2.3-1 下料方法及其特点

下料方法	使用设备	特点及应用
车削切断	车床	用于端面质量及尺寸精度要求较高的毛坯。端面质量好、尺寸精度高、材料有损耗
锯 切	弓锯床 半自动圆锯床 卧式带锯床	断面质量好,尺寸精度高,用于有色金属(如铝、镁、铜等)或端面尺寸精度要求较高的钢材下料。其中卧式带锯床的生产率较高,锯口部分金属消耗小,而使用弓锯床和半自动圆锯床时较大
砂轮片切割	卧式砂轮切断机	用于其他下料方法难以切割的金属,如高温合金等。断面质量好,尺寸精度高,生产率比锯切下料高,但不及剪切下料方法,切口部分金属消耗大
剪 切	联合冲剪机 棒料剪切机(曲柄剪床) 钢坯剪断机 曲柄压力机 螺旋压力机	用于成批大量生产,是模锻毛坯的主要下料方法。生产率高,切口部分没有材料损耗。用普通剪切方法时,剪切端质量不如车削切断好,用精密剪切方法时,端面质量很好

(续表)

下料方法	使用设备	特点及应用
热剁切	自由锻锤 自由锻造液压机	用于自由锻毛坯的下料,毛坯需加热至锻造温度,端面质量差,下料长度不易控制,劳动条件不好
气割下料	氧气瓶、乙炔发生器、割炬	用于大截面毛坯和低碳钢、低碳低合金钢材的切割,高碳钢、高合金钢和各种有色金属不能用气割方法下料。气割下料的端面质量差,精度低,生产率低,金属损耗大

二、锯切和片砂轮切割

1. 锯切

(1) 弓锯床和圆锯床

表 2.3-2 弓锯床的锯切参数

锯口宽度 /mm	锯条规格(销孔间距×宽×厚) /mm	切割棒料最大直径 /mm	机床 型号
2	300×25×1.4 300×30×1.6		
2.5	450×35×1.8 450×40×2.0	φ220	G72
3	600×45×2.5		

表 2.3-3 圆锯床的锯切参数

锯口宽度 /mm	锯片规格(外径×齿宽×孔径) /mm	切割棒料最大直径 /mm	机床 型号
4	350×3.6×40		
5.5	350×5×32		
6.5	640×6×80		
7	740×6.5×80	φ250	G607
8.5	1 010×8×120	φ350	G6010
11	1 430×10.5×150	φ500	G6014
15	2 000×14.5×240		

(2) 带锯床

表 2.3-4 带锯床的锯切参数

锯口宽度 /mm	锯带尺寸(长×宽×厚) /mm	切割棒料最大直径 /mm	机床 型号
1.4	3 505×25×0.95	φ250	G5025
1.4~1.7	3 660×25×(0.9~1.2)	φ300	G5030

2. 片砂轮切割

表 2.3-5 片砂轮切割的技术参数

切口宽度 /mm	砂轮尺寸(外径×厚度×孔径) /mm	切割棒料最大直径 /mm	机床 型号
4~5	400×(3~4)×32	φ60	G228

三、剪切和精密剪切

1. 剪切

(1) 专用剪切设备

表 2.3-6 专用剪切设备一览表

设备名称	型 号	最大剪切能力/mm	
		圆钢直径	方钢边长
联合冲剪机	Q34-10	35	28
	Q34-16	45	40
	Q34-16A	38	35
	QA34-25	65	55
棒料剪切机 (曲柄剪床)	Q42-250	90	—
	Q42-500	132	125
	10 000 kN	190	180
	12 500 kN	210	185
	16 000 kN	250	220
钢坯剪断机	QA95-100	50(冷剪)	50(冷剪)
		—	150(热剪)

(2) 剪切的状态和预热温度

表 2.3-7 不同牌号不同规格材料的剪切状态

材料牌号	毛坯直径或边长 /mm	硬 度 HB	剪 切 状 态
35	≤ 75		冷剪
	80~85	≥ 187	热剪
		< 187	冷剪
	> 85		热剪
45	≤ 60		冷剪
	65~75	≥ 207	热剪
		< 207	冷剪
	> 75		热剪
40Cr	≤ 50		冷剪
	55~60	≥ 241	热剪
		< 241	冷剪
	> 60		热剪
45Cr 18CrMnTi 12Cr2NiA	≤ 35		冷剪
	40~48	≥ 255	热剪
		< 255	冷剪
	> 48		热剪

表 2.3-8 加热剪切的预热温度

材料硬度 HB	269	241	229	207
预热温度/°C	550	400	380	350

注：预热温度为材料本身预热到的温度。

2. 精密剪切

为提高剪切精度和坯料端面的质量,常常在普通曲柄压力机上安装特殊设计的精密剪切模具对棒料进行剪切,以满足冷挤、冷镦及精密锻造的要求。

(1) 轴向加压剪切

轴向加压剪切工作原理:如图 2.3-1,棒料置于可分式夹紧模中,压力机滑块向下运动压在操纵杠杆上,并使它绕 A 点转动(由于棒料的剪切抗力,活动模不移动),给可分式夹紧模施加夹紧力,并借助楔块对棒料施加一轴向力。当楔块的间隙消除后,

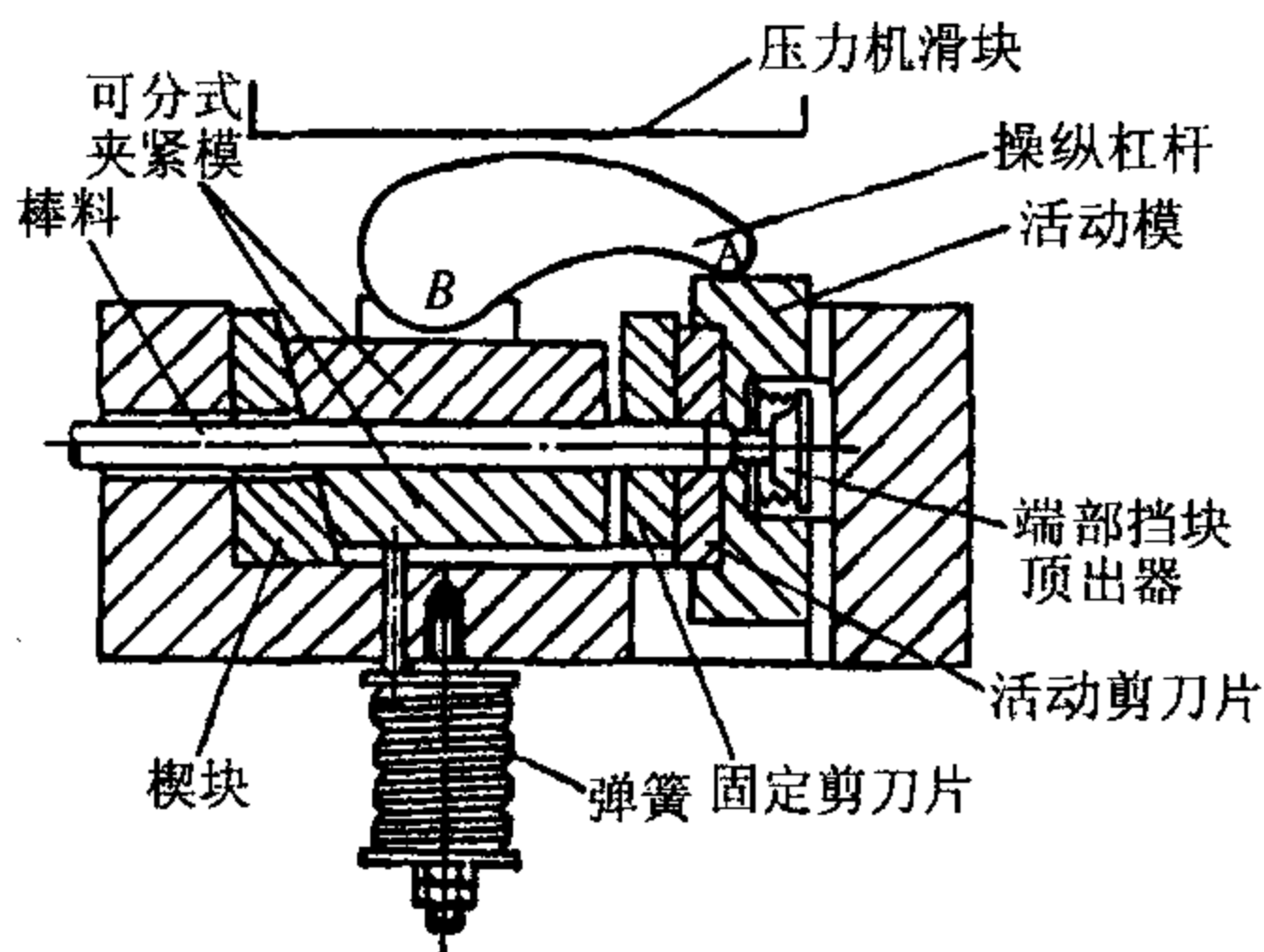


图 2.3-1 轴向加压剪切工作原理

滑块推动杠杆绕 B 点转动,迫使活动剪刀片剪切棒料。轴向加压精密剪切下料法,由于“粘刀”等问题尚待解决,目前只用于小直径有色金属棒料。

(2) 径向夹紧剪切

① 杠杆双钳剪切模:如图 2.3-2,模具的工作原理:棒料被送进在固定模下刀片和活动模下刀片上。压力机滑块向下压在活动模上杠杆以后,压缩弹簧,使上杠杆绕活动轴转动,并夹住棒料,再以棒料为支点,通过活动轴带动活动模下杠杆绕棒料转动。同时,下杠杆通过中间轴带动固定模上杠杆绕固定轴转动,并压缩弹簧,使固定模上刀片也夹住棒料。此时,活动模的上、下刀片组成一对活动钳口,固定模上、下刀片组成一对固定钳口。当滑块继续下降,活动模上、下杠杆作为一个整体被迫绕不能再转动的中间轴转动,被夹紧在活动钳口中的坯料被剪切下来。

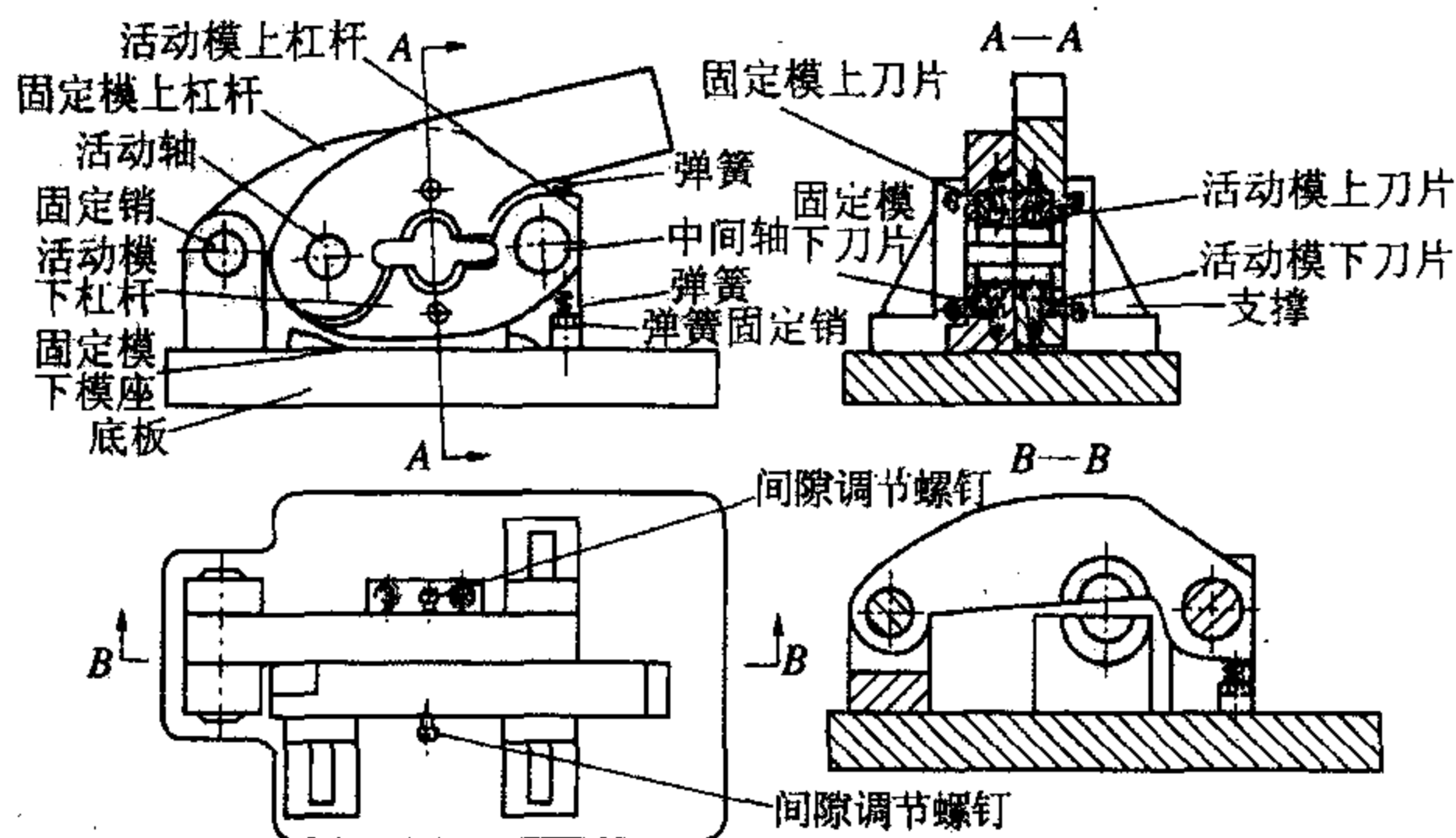


图 2.3-2 杠杆双钳剪切模

② 差动剪切模：如图 2.3-3，模具的工作原理：顶板和前后斜铁处在最上面，前、后夹钳分别在两个弹簧作用下处于张开状态，此时送进棒料；压力机滑块下降，通过顶板、前后斜铁和前后楔块迫使前、后夹钳克服弹簧的阻力，将棒料夹紧；滑块再下降，后斜铁迫使后楔块带着后夹钳向右移动，前斜铁迫使前楔块带着前夹钳向左移动，相对移动达到一定的错移量时，棒料被剪断。

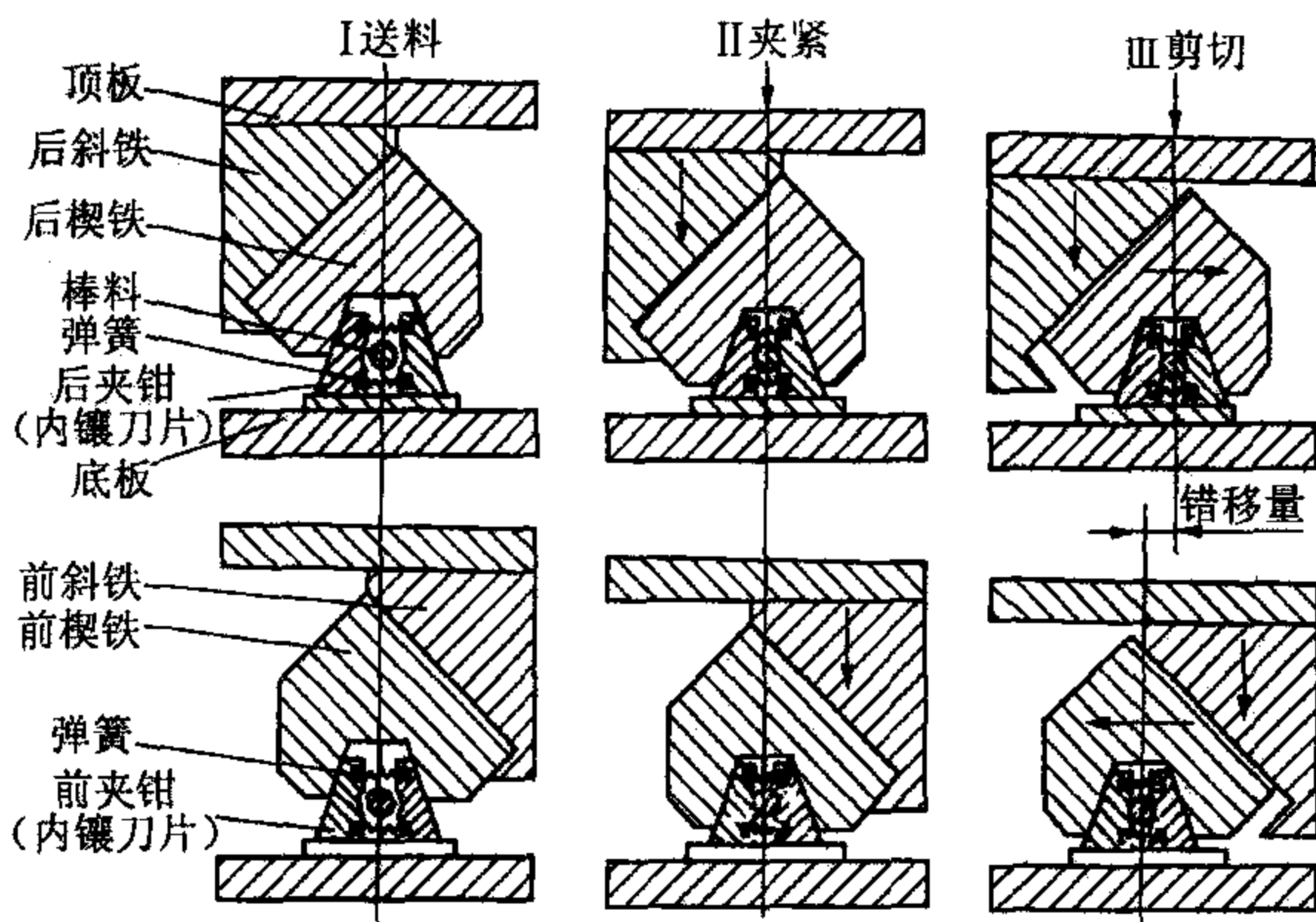


图 2.3-3 差动剪切模的工作原理

四、其他下料方法

1. 气割下料

(1) 气割原理

气割是利用气体火焰(如氧-乙炔火焰)将工件的切割处加热到能够在氧气流中燃烧的温度(即燃点)后,喷出高速切割氧流,使切割处的金属剧烈氧化成熔渣(即氧化铁渣),并同时放出大量

的热,熔渣被高压氧气流吹除,所放出的热量继续加热下层金属达到燃点。如此往复,完成切割过程。金属切割过程的实质是金属在纯氧中燃烧的过程,并非熔化的过程。

(2) 常用割炬的型号及主要技术数据

表 2.3-9 常用割炬的型号及主要技术数据

割炬型号	G01-100			G01-300			
割嘴号码	1	2	3	1	2	3	4
割嘴孔径/mm	1.0	1.3	1.6	1.8	2.2	2.6	3.0
切割厚度/mm	10~25	25~50	50~ 100	100~ 150	150~ 200	200~ 250	250~ 300
氧气压力/MPa	0.2	0.35	0.5	0.5	0.65	0.8	1.0
乙炔压力/ MPa	0.001~0.12						
氧气消耗量/ (m ³ /h)	2.2~ 2.7	3.5~ 4.2	5.5~ 7.3	9.0~ 10.8	11~14	15~18	19~26
乙炔消耗量/ (L/h)	350~ 400	400~ 500	500~ 610	610~ 700	800~ 1100	1150~ 1200	1250~ 1500
割嘴形状	梅花形			梅花形、环形			

(3) 气割条件

气割的过程是:加热→燃烧→吹渣。只有满足一定条件的金属才能很好地完成上述气割过程。

表 2.3-10 气割条件

气 割 条 件	原 因
1. 金属在氧气中的燃点应低于熔点	气割过程的实质是金属在纯氧中燃烧的过程,并非熔化过程。铜、铝、铸铁的燃点都高于熔点。因此,都不能用普通气割方法进行切割。钢中随着含碳量增加,熔点降低,燃点升高,气割性能随之变差
2. 燃烧生成的金属氧化物的熔点应低于金属熔点,这样才能使氧化物在液态下从割缝被吹掉	高熔点氧化物会阻止下层金属与氧气流接触,使气割发生困难
3. 金属导热性不应太高	维持气割所需的热量。铜、铝及其合金的导热性较高,而不适合气割
4. 金属中提高淬透性的成分和阻碍气割过程的成分(如碳、硅、铬、钨、钼等)要少	避免割缝处产生裂纹,保证气割顺利进行

(4) 气割前的预热温度

对于气割性能不太好的材料(如中碳钢、高碳钢、合金钢等)应先预热后切割。

表 2.3-11 各种钢材气割前的预热温度

工件材料及钢号举例	预 热 温 度
低碳和中碳结构钢(20~50、15Mn~50Mn); 低碳合金结构钢(20CrMo、20MnV、18CrMnTi 等)	冷态

(续表)

工件材料及钢号举例	预 热 温 度
高碳钢(55~65、T7~T8);中碳合金结构钢(40Cr、40CrNi、35CrMo、35CrMnSi、50CrV 等);热锻模具钢(5CrNiMo、5CrMnMo 等)	200~250℃
高碳工具钢(T9~T 12);轴承钢(GCr9~GCr 15);高碳合金工具钢(9Cr、9CrSi、8Cr3 等)	300~400℃

2. 阳极-机械切割

阳极-机械切割的工作原理:如图 2.3-4,被切割的棒料连接在直流电源的正极上,切割盘则连接在负极上。两极间隙处注入液态电解质而构成一完整电路。在电流的作用下,金属在切割处形成熔化微粒,并被电解质和切割盘带走。

阳极-机械切割主要用于切割硬度高、韧性大、采用其他机械切割较困难的材料,以及大截面的毛坯。

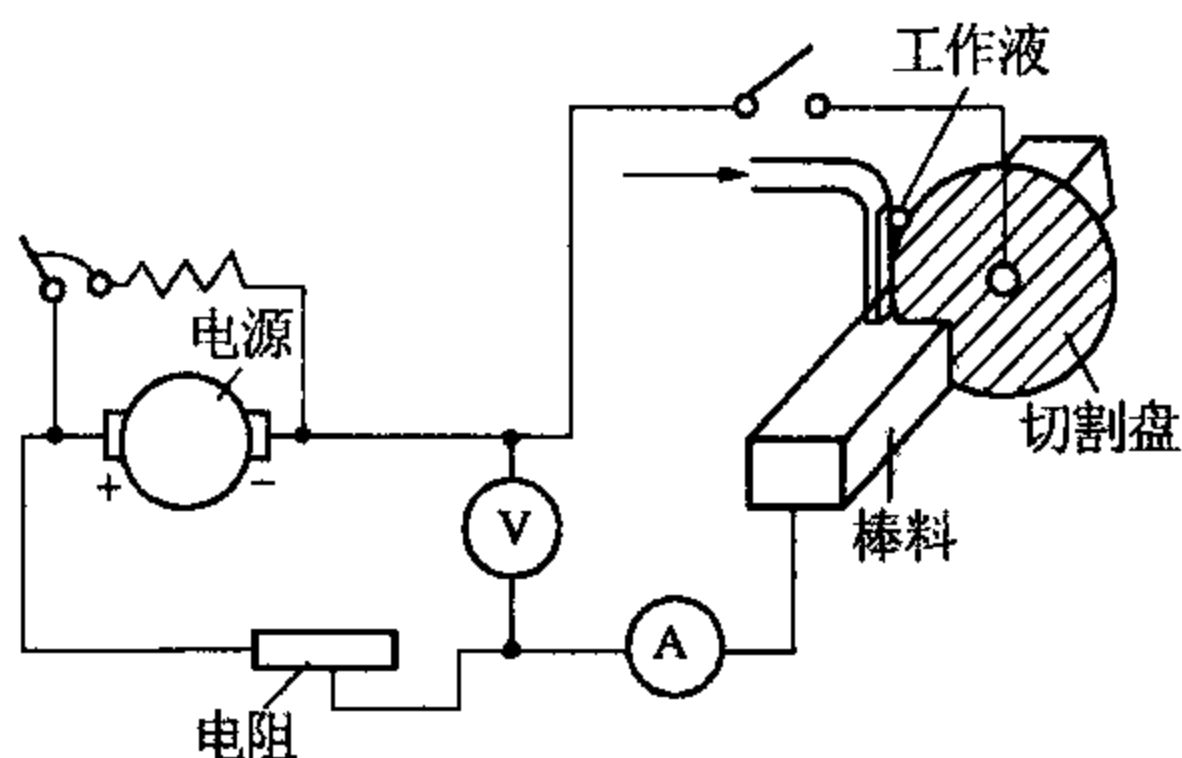


图 2.3-4 阳极-机械切割示意图

3. 冷折

冷折常在冲床或液压机上进行。如图 2.3-5, 在棒料需要切割处开一宽度为 b 、深度为 h 的小槽, 当施加压力 P 时, 缺口处产生应力集中而断裂。

冷折下料法适用于高碳钢、轴承钢等钢棒, 生产率较高, 但所得毛坯尺寸精度较差。

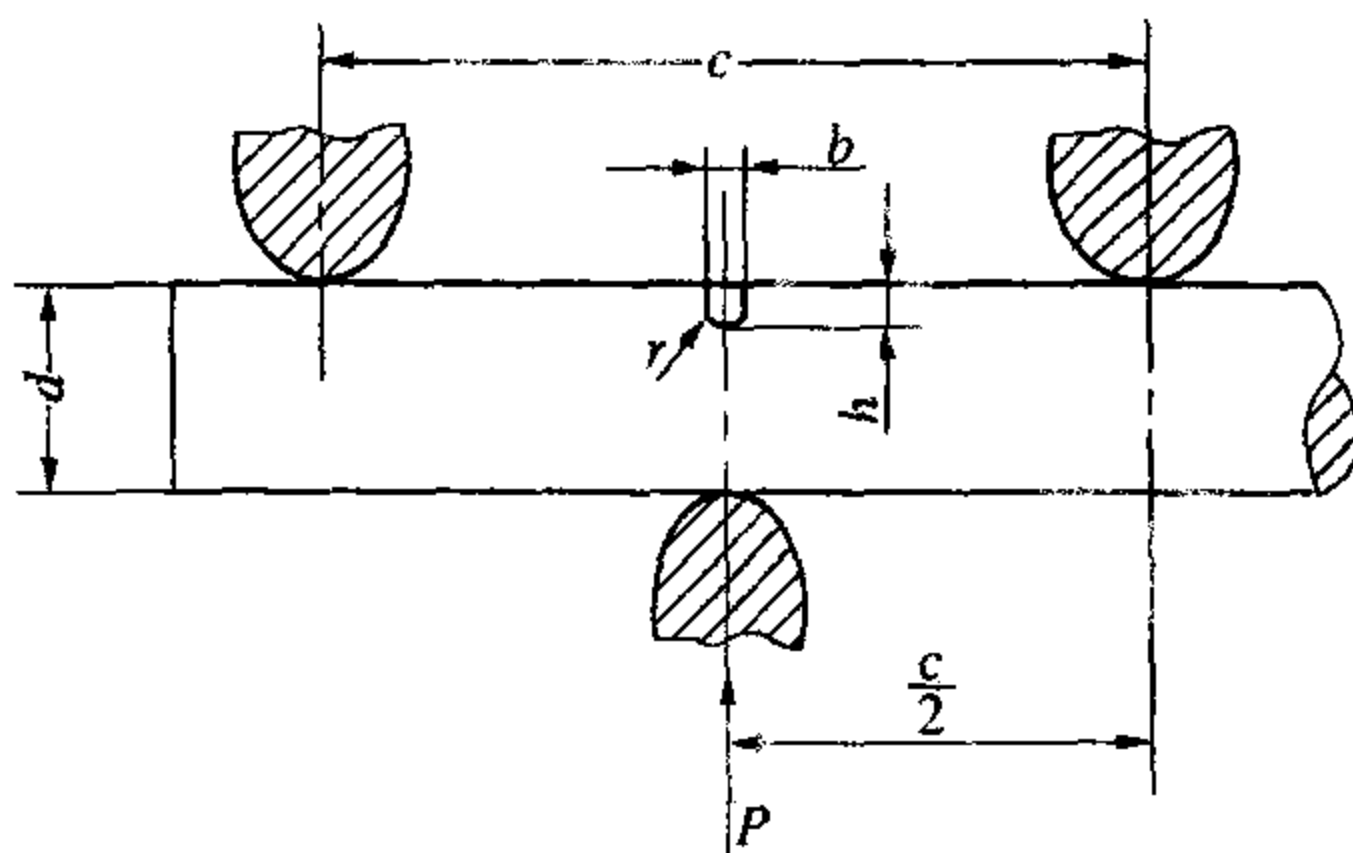


图 2.3-5 冷折下料示意图

第四节 原材料和毛坯的质量要求

一、原材料的冶金质量要求

铸锭和铸锭加工成的半成品统称为原材料。大型锻件和模锻件可先由铸锭锻成锻坯, 然后再锻压而成; 也可由大规格棒材 ($>\phi 200\text{mm}$) 直接锻压而成。中、小型锻件和模锻件一般由锻棒、轧棒、挤压棒或其他方法加工而成的棒材、型材锻压而成。铸锭、锻坯、轧材等原材料的质量好坏直接影响成品锻件的质量。因此, 对它们必须加以严格控制。

1. 铸锭冶金质量要求

铸锭的化学成分应与相应合金的技术标准所要求的化学成分相同；铸锭表面不应留有横向或纵向裂纹和形状不规则、大小不一的凹坑；铸锭内部的缩孔在锻造时可作为钳口，最终应切除。

2. 锻坯冶金质量要求

锻坯的化学成分应与相应合金技术标准所要求的化学成分相同；锻坯表面不应留有结疤、折叠、裂纹和氧化物夹杂等缺陷；锻坯内部不应有缩孔、裂纹、气孔、白点、翻皮、分层非金属夹杂等缺陷；锻坯的晶粒度及非金属夹杂应符合相应合金的技术标准。

3. 轧材的冶金质量要求

轧材的化学成分应符合相应合金技术标准的规定；轧材的表面不应留有肉眼可见的裂纹、龟裂、疤痕、夹杂、夹渣和折叠；轧材的晶粒度及非金属夹杂物应符合相应合金技术标准的规定。

二、锻件毛坯的下料质量要求

① 剪床、冲床下料按长度验收的毛坯，其长度公差见表 2.4-1。

表 2.4-1 剪床、冲床下料坯料长度偏差

坯料长度 /mm 坯料直径 或边长/mm	≤100	>100 ~160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1 000	>1 000
≤30	±1	±1	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2
31~50	±1	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2	±3
52~80	+2 -1	+2 -1	±2	±2	+3 -2	±3	+4 -3

(续表)

坯料长度 /mm 坯料直径 或边长/mm	≤ 100	>100 ~ 160	>160 ~ 250	>250 ~ 400	>400 ~ 630	>630 ~ 1000	>1000
85~125		± 2	± 2	$+3$ -2	± 3	$+4$ -3	$+5$ -3
>125		± 2	$+3$ -2	± 3	$+4$ -3	$+5$ -3	$+5$ -4

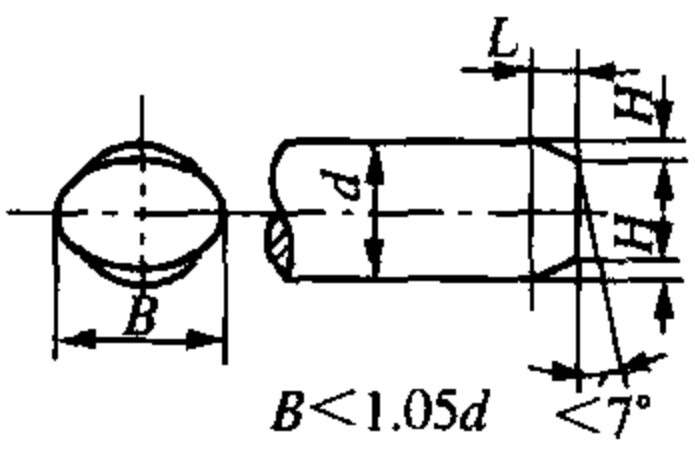
② 锯床下料的毛坯,其长度以两端面之间的短边为依据,其长度偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$,端面倾斜角 $<3^\circ$ 。

③ 对端部变形有要求的剪、冲床下料毛坯,其剪切端变形许可值见表 2.4-2。

④ 剪床、冲床、锯床下料按质量验收的毛坯,其质量公差见表 2.4-3。

毛坯的质量公差也可根据其质量 G 确定,一般应控制在 $+0.03 \sim -0.01G$ 范围之内。

表 2.4-2 剪切端变形许可值

	坯料名义直径 d/mm	许可值/mm	
		H	L
	<36	$0.07d$	d
	$36 \sim 70$	$0.05d$	$0.7d$
	>70	$0.04d$	$0.6d$

⑤ 下料毛坯不应有因切断而产生的裂纹。

表 2.4-3 剪床、冲床、锯床下料坯料质量偏差

坯料质量 /kg 坯料直径 或边长/mm	≤0.63	>0.63 ~1.0	>1.0 ~1.6	>1.6 ~2.5	>2.5 ~4	>4 ~6.3	>6.3 ~10	>10 ~16	>16 ~25	>25 ~40	>40 ~63	>63
≤30	+0.010 -0.005											
31~40	+0.015 -0.005	+0.015 -0.010	+0.020 -0.010									
42~50	+0.015 -0.010	+0.020 -0.010	+0.030 -0.015	+0.030 -0.020								
52~63		+0.030 -0.020	+0.045 -0.025	+0.050 -0.025	+0.060 -0.030	+0.060 -0.040						
65~80				+0.060 -0.030	+0.080 -0.040	+0.090 -0.050	+0.100 -0.060					
85~100					+0.120 -0.060	+0.150 -0.080	+0.160 -0.090	+0.180 -0.100	+0.200 -0.110			
105~125							+0.220 -0.110	+0.260 -0.130	+0.300 -0.150	+0.320 -0.170		
130~160								+0.280 -0.140	+0.460 -0.240	+0.560 -0.280	+0.650 -0.330	+0.740 -0.370
>160										+0.800 -0.400	+1.150 -0.580	+1.320 -0.660

第三章 坯料的加热

第一节 加热目的和加热方法

坯料锻前加热是整个锻造过程中一个不可缺少的重要环节,对提高锻造生产率,保证锻件质量,以及节约能源消耗和降低产品成本等都有直接的影响。

一、加热的目的和要求

(1) 加热的目的

提高金属的塑性,降低金属变形抗力,使之易于成形,并获得良好的锻后组织和力学性能。

(2) 加热的要求

① 在金属材料所允许的导温性和内应力的条件下,以最快的速度加热到预定的温度,提高效率,节约能源。

② 尽可能减少加热金属吸收有害气体,如氧、氢、氮气等气体,减少氧化、脱碳或氢脆等缺陷,提高加热质量。

③ 在低温加热阶段,要防止因加热不当而使金属截面的外层与心部产生过大的温差,以致造成过大的热应力,再叠加其他内应力,引起材料破裂。

④ 准确实施给定的加热规范,如加热温度、速度、时间和保温等加热条件,以防产生过热、过烧等缺陷。

二、加热方法

在锻压生产中,按采用热源不同,加热方法可分为燃料火焰加热和电加热两大类。

1. 燃料火焰加热法

燃料火焰加热法(简称火焰加热法)是利用固体(煤、焦炭等)、液体(重油、柴油等)或气体(煤气、天然气等)燃料燃烧所产生的热能加热坯料的方法,在加热炉内进行。

火焰加热炉通用性强,投资少,建造比较容易;燃料来源广泛,费用比较低,所以广为采用。但是,火焰加热炉炉温和气氛较难控制,加温工劳动条件差。

火焰加热和常用加热炉的特点及应用范围见表 3.1-1。

表 3.1-1 火焰加热和常用加热炉的特点及应用范围

加热方式	加热炉	燃 料	特 点	应 用 范 围		
				坯 料	批 量	工 艺
间歇式加热	手锻炉	固体	构造简单,炉温不易控制	中小件	单件、少量	手工锻
	室式炉 双室式炉	固、液、气体均可	结构简单、适应面广,采用固体燃料为反射炉	中小件	单件、成批	自由锻、模锻
	开隙式炉	液、气	无炉门、多采用上排烟	中小件及局部加热	成批	胎模锻、模锻
	台车式炉	液、气	炉底可进出运动,便于装出料	大、中型坯料及钢锭	单件、中小批量	自由锻、钢锭开坯
	敞焰无氧化室式炉	液、气	利用燃料不完全燃烧形成保护气氛	中小件	成批	精密模锻

(续表)

加热方式	加热炉	燃料	特点	应用范围		
				坯料	批量	工艺
连续式加热	推杆式炉	液、气	用推料机推料,有预热、加热和均热段。若用固体燃料,则为反射式贯通炉,后进前出	中、小件	成批、大量	模锻
	转壁炉	液、气	炉壁旋转	中小件 端面加热	成批	模锻、平锻
	转底炉	液、气	炉底旋转,可机械进出料	中小件	成批、大量	模锻
	环形转底炉	液、气	环形炉底旋转,机构复杂,用机械手进出料,分预热、加热和均热三段加热	大、中件	成批、大量	模锻
	步进炉	液、气	用步进机构使坯料前进,结构复杂,设备价高,加热质量好	大中件	成批、大量	模锻、轧锻、精锻

2. 电加热

电加热法是利用电能转变为热能以加热坯料的方法,它可分为电阻炉加热、盐浴炉加热、接触加热和感应电加热等。电加热的优点是炉温控制准确,劳动条件好,氧化和脱碳等缺陷少,易于实现机械化、自动化生产等;缺点是对坯料的形状尺寸有一定的

限制和要求,电加热设备结构较复杂,投资费用大等。

电加热主要用于加热要求较高的模锻和精密模锻、有色金属合金和一些高温合金。

第二节 钢在加热时的物理、化学变化

钢在加热过程中,随着温度不断升高,其表面和内部组织会发生物理、化学变化,见表 3.2-1。钢在加热时所发生的变化,将直接影响到钢的锻造性能和锻件质量。为此,必须了解钢在加热时的物理、化学变化规律,才能合理制订加热规范,正确控制加热过程,从而保证加热质量。

表 3.2-1 钢在加热时的物理、化学变化

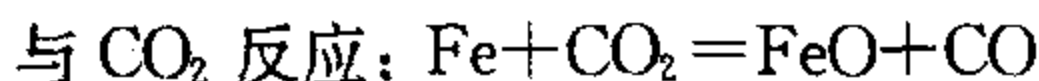
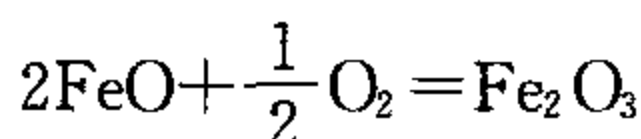
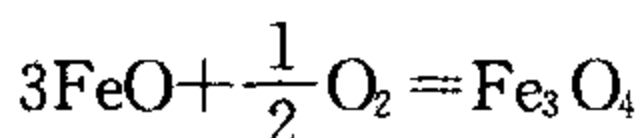
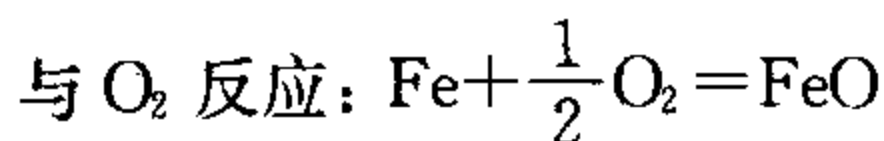
钢的性能	产生的变化	造成的后果、缺陷
钢的组织结构	大多数钢会发生组织转变	其晶粒可能长大,严重时会造成过热或过烧
力学性能	随加热温度的提高,塑性提高,变形抗力下降,还产生内应力	内应力过大会导致钢的开裂
物理性能	钢的物理参数大多与温度有关,如导热系数、膨胀系数等,均随温度升高而变化	加热不当会因为温度应力造成钢的开裂
化学性能	钢的表层与周围介质会发生化学反应,如氧化、脱碳、氢脆等	生成氧化皮、脱碳层、氢脆层造成金属烧损,降低表面质量

一、氧化和脱碳

1. 氧化

钢加热到高温时,表层中的铁和高温炉气中的氧化性气体(如 O_2 、 CO_2 、 H_2O 和 SO_2)接触,会发生剧烈的氧化反应,结果使钢料表层变成氧化铁(即氧化皮、火耗),这种化学变化称为氧化。

氧化过程的主要化学反应如下:



氧化过程实质是个扩散过程。坯料表层的铁以离子状态由里向外表面扩散,而氧化性气体中的氧以原子状态由坯料外表面经吸附后向里层扩散。因此,氧化皮分为三层(见图 3.2-1):

① 最外层由于有过剩的氧存在,形成了含氧较高的 Fe_2O_3 , 约占氧化皮厚度的 10%。

② 中间层由粗大颗粒的 Fe_3O_4 组成,含氧量居中,约占氧化皮厚度的 50%。

③ 最里层是含氧量较低的 FeO 细小颗粒,约占氧化皮厚度的 40%。

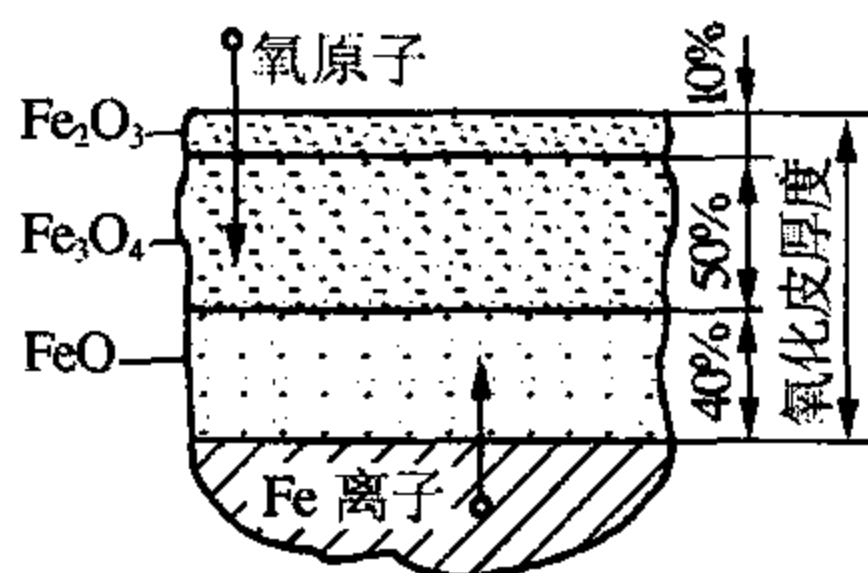


图 3.2-1 氧化皮形成过程

由于氧化皮较为疏松,其膨胀系数与钢不同,因此较易脱落;同时氧化皮的熔点($1\ 300\sim 1\ 350^{\circ}\text{C}$)较低,高温时易熔化。氧化皮的脱落和熔化,使新暴露的钢料表面继续氧化,增加损耗。

氧化皮的危害和防止措施见表 3.2-2。

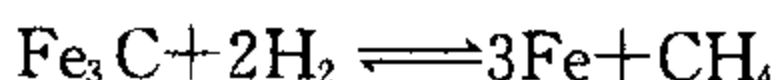
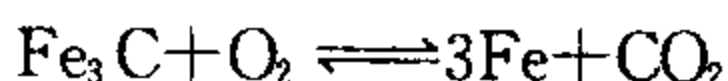
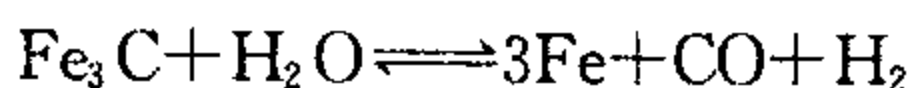
表 3.2-2 氧化皮的危害和防止措施

	内 容 · 说 明
氧化皮的危害	<ul style="list-style-type: none"> ① 造成金属的损耗(也称火耗),在锻造或模锻时,钢料每加热一次,便有$1.5\%\sim 3\%$的金属被氧化烧损 ② 降低锻件表面质量,成形时如氧化皮被压入锻件表面,造成表面凹陷和影响尺寸精度 ③ 锻件表面附着氧化皮,热处理时会导致锻件组织和性能的不均匀 ④ 降低模具使用寿命,氧化皮质硬而脆,模锻时会加速锻模模膛的磨损,机加工时会加速刀具的磨损和损坏 ⑤ 氧化皮呈碱性,脱落在炉膛内,会和酸性的耐火材料起化学反应,而使炉底软熔损坏,缩短加热炉的寿命 ⑥ 使模锻件增加酸洗或喷丸等清理氧化皮工序,增加锻件成本
防止措施	<p>根据影响产生氧化皮的各种因素,在加热技术方面采取相应的措施,以达到减少或避免氧化皮的目的:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 缩短加热时间:在确保坯料加热质量的前提下,尽量采用高温下装炉的快速加热法,缩短坯料在炉内的停留时间,特别是缩短坯料高温下的保温时间 ② 严格控制进入火焰加热炉内的空气量,在完全燃烧的条件下,尽可能减少过剩空气量 ③ 注意减少和消除燃料中的水分,避免水蒸汽对金属表面的氧化作用 ④ 火焰炉炉膛应保持不大的正压力,防止炉外的冷空气吸入炉内 ⑤ 在操作上要做到炉温均匀,装炉应做到少装、勤装及适时出炉,并总结、制订科学操作法 ⑥ 创造条件采用少、无氧化火焰加热炉

2. 脱碳

脱碳是钢料表层的碳在高温下与氧化性炉气(如 CO_2 、 O_2 、 H_2O)和 H_2 发生化学反应,生成可燃气体 CO 和 CH_4 而被烧掉,使钢料表层碳成分降低的现象称为脱碳。

脱碳过程的主要化学反应如下:



由此可见,钢加热时脱碳的实质就是钢表层中的碳被氧所氧化或被氢还原,生成可燃性气体而烧掉;脱碳过程也是一个扩散过程,即一方面炉气中的氧向里扩散,而另一方面钢中的碳向外扩散,结果使钢表层变成含碳量降低的脱碳层。

脱碳的危害和防止措施见表 3.2-3。

表 3.2-3 脱碳的危害和防止措施

	内 容 · 说 明
脱 碳 的 危 害	① 使钢料制成的零件表面变软,强度和耐磨性降低 ② 使零件的疲劳强度降低,零件在长期交变应力作用下易发生疲劳断裂 ③ 影响锻件和零件的热处理工序质量 ④ 若脱碳层厚度小于锻件的机械加工余量,则脱碳层可随切屑完全除去而无危害 ⑤ 对脱碳较为敏感的弹簧钢、工具钢和轴承钢等锻件,以及精密模锻件应尽可能采取措施,防止脱碳

(续表)

	内 容 · 说 明
防 止 措 施	<p>防止脱碳的措施与防止氧化皮的措施基本相同:</p> <p>① 尽可能采用快速加热法,控制加热温度和加热时间,尤其应缩短高温阶段在炉内的停留时间</p> <p>② 在保护性气体或可控气氛中加热,可得到不脱碳或少脱碳的金属表面</p> <p>③ 加热前坯料表面涂刷保护涂层,如石墨粉和水玻璃混合剂、硼砂水浸液、玻璃粉涂料等,均可收到一定的效果</p>

二、过热和过烧

1. 过热

钢的加热温度超过某一温度,或在高温下保温时间过长,从而导致内部组织奥氏体晶粒急剧粗大的现象,称为过热。钢的过热受到加热温度和保温时间两个因素的影响。其中,加热温度对奥氏体晶粒的粗大有更大的影响:温度愈高,大晶粒吞并与其取向相同的小晶粒就愈严重,所以晶粒就愈大。通常,将钢加热时晶粒开始急剧长大的温度,称为晶粒长大的临界温度。把它作为控制锻造始锻温度的上限,超过这个温度,则认为钢过热了。

钢的过热温度取决于其化学成分。几种钢号晶粒长大的临界温度见表 3.2-4。

表 3.2-4 几种钢料加热时晶粒长大的临界温度

钢 号	晶粒长大的临界温度/°C	钢 号	晶粒长大的临界温度/°C
25	1 250	12CrNi3A	1 150
45	1 200	38CrMoAlA	1 100
T7	1 150	18CrNi4WA	1 200
38CrA	1 200	1Cr18Ni9Ti	1 200

钢料过热的危害和防止措施见表 3.2-5。

表 3.2-5 钢料过热的危害和防止措施

	内 容 · 说 明
过热的危害	① 过热严重的钢,锻造时边角可能产生裂纹 ② 一般性过热的钢,并不影响锻造,但过热的钢锻造的锻件,晶粒度仍比正常的锻件粗大,使锻件的冲击韧性、塑性和强度等力学性能降低 ③ 用过热的钢锻成的锻件,热处理淬火时容易引起变形和开裂
防止措施	① 严格控制钢料的加热温度和保温时间,防止过热 ② 钢的过热,有的可用热处理(正火或调质)细化晶粒的方法来消除,有的可用重复锻造方法来改善过热组织 ③ 对铬镍奥氏体钢等没有相变的钢种,无法用热处理来改变过热组织,应采取措施,谨防过热

2. 过烧

当钢料加热到接近熔点时,不仅奥氏体晶粒粗大,而且炉气中的氧化性气体渗入晶粒的边界,使晶间物质 Fe、C、S 发生氧化,形成易熔的共晶体,破坏了晶粒间的联系,这种现象称为过烧。产生过烧的温度称过烧温度,取决于钢的化学成分,几种常用钢的过烧温度见表 3.2-6。

表 3.2-6 常用钢料的过烧温度

钢 种	过烧温度/℃	钢 种	过烧温度/℃
碳钢 20	1 350	铬钒钢	1 350
碳钢 45	1 350	镍钢 3%Ni	1 370
碳钢 T8	1 250	渗碳镍钢 5%Ni	1 450
碳钢 T12	1 200	奥氏体不锈钢	1 420

(续表)

钢 种	过烧温度/℃	钢 种	过烧温度/℃
硅锰弹簧钢	1 350	高速钢	1 380

钢料过烧的危害和防止措施见表 3.2-7。

表 3.2-7 钢料过烧的危害和防止措施

	内 容 · 说 明
过烧的危害	<p>过烧是致命的加热缺陷。过烧的钢料,大大地降低了钢的强度,失去塑性,不能锻造,一击便破裂成碎块,断口晶粒粗大,呈浅灰蓝色,过烧的钢料是不可挽救的废品,只有回炉重新冶炼</p> <p>当制造非重要零件时,可将局部过烧的钢料过烧部分切除,其余部分留用,或降级改锻其他次要工件</p>
防止措施	<p>① 正确制定加热规范,严格控制加热温度和高温下的保温时间</p> <p>② 控制炉内气体成分,减少过剩的空气量,造成弱氧化性炉气</p> <p>③ 保证测温 and 控温仪表的可靠准确,操作者要勤调、勤看、认真记录</p> <p>④ 在火焰炉内加热时,坯料和喷火口应保持一定距离,严禁火焰与坯料直接接触。电阻炉加热时,坯料和电阻丝的距离不应小于 100 mm,以免局部过烧</p> <p>⑤ 在加热较易过烧的高碳钢和含 Mn、Ni、Cr 等元素的低碳合金钢时应特别注意,以防过烧</p> <p>⑥ 对已发生过烧或局部过烧的钢料,应坚决剔除,严防混入成品内,造成更大损失</p>

三、导温性的变化

金属的导温性,是指金属加热或冷却时温度在金属内部传导的能力。导温性好,即表明金属加热时温度在内部传播得快,在

截面上的温差小,温度应力也小,这种金属可以快速加热;反之,导温性差,金属应缓慢加热。

金属导温性用导温系数 α 表示,它与导热系数 λ 成正比,与比热 c 和密度 γ 成反比。

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} \quad (\text{m}^2/\text{h})$$

由于导热系数和比热均与温度有关,因此导温系数也随着温度的变化而变化。

在加热的低温阶段,各种金属的导温系数差别较大,如碳钢与低合金钢的导温性较好,而高合金钢、高温合金的导温性较差。当加热到高温阶段,各种金属材料的导温系数趋近一致,塑性良好,均可采用快速加热。

四、加热时产生的内应力

钢在加热过程中产生的内应力,按其形成的原因可分为热应力和组织应力,见表 3.2-8。

表 3.2-8 钢加热时产生的内应力

内应力	生成原因	说明
热应力	<p>坯料在加热过程中,由于表面温度高于中心温度而出现温差,引起外层和心部的膨胀不均匀,从而产生的内应力为热应力</p> <p>若热应力超过金属的抗拉强度,便会导致金属开裂</p>	<p>热应力的大小与金属的性质、截面温差有关,而截面温差取决于金属的导温性、截面尺寸和加热速度</p> <p>若金属导温性差、截面尺寸大、加热速度快,则温差大,热应力也大。反之,热应力就小。要指出,钢料在室温至 $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 范围内的弹性状态时,开裂可能最大</p>

(续表)

内应力	生成原因	说明
组织应力	具有相变的金属,在加热过程中,由于相变前后组织的比容发生变化,以及金属的表层与心部不同时发生相变,这样引起的内应力为组织应力	组织应力在增大比容的转变区受压应力,减小比容的转变区受拉应力 当组织应力过大时,与热应力叠加的结果可能导致金属破裂,因此,必须严格执行加热规范

第三节 钢的锻造温度范围和加热规范

一、锻造温度范围

开始锻造的温度,称为始锻温度。停止锻造的最低温度,称为终锻温度。始锻温度和终锻温度之间的温度区间,称为锻造温度范围。

确定锻造温度范围的基本原则是:

- ① 使金属在锻造温度范围内有较好的塑性和较低的变形抗力。
- ② 保证得到内部组织和力学性能合乎技术条件要求的优质锻件。
- ③ 尽可能扩大锻造温度范围,以便减少火次,节约能源,并提高锻造生产率。

确定锻造温度范围的基本方法是:

- ① 碳钢可根据铁—碳合金状态图直接确定,见图 3.3-1。
- ② 合金结构钢一般可参照含碳量相同的碳钢来确定。
- ③ 对塑性较低的高合金钢和高温合金,以及不发生相变的

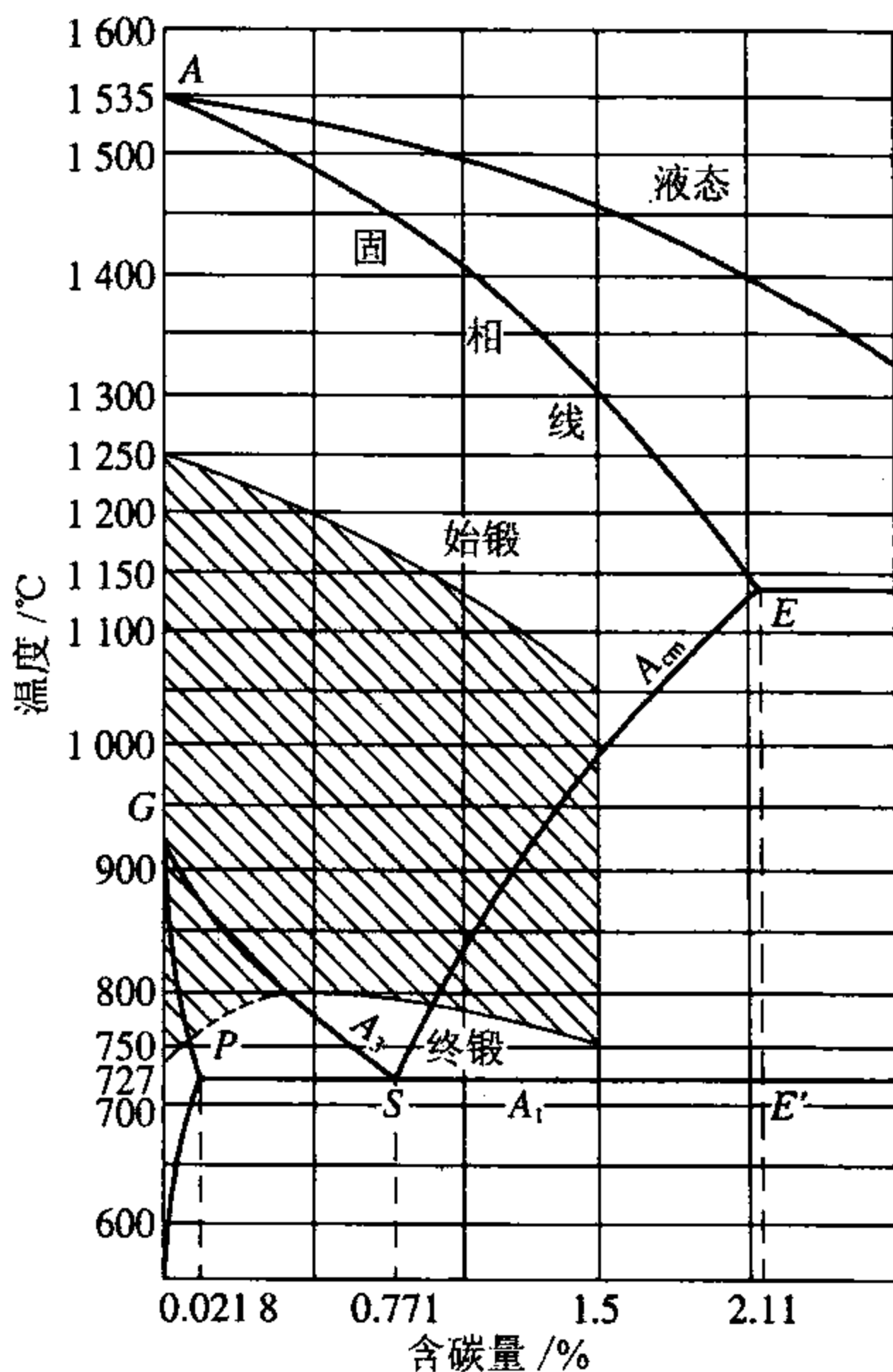


图 3.3-1 碳钢的锻造温度范围

钢种(如奥氏体钢、铁素体钢),则要以平衡图、塑性图、抗力图和再结晶图,由塑性、质量和变形抗力三个方面综合分析确定。

表 3.3-1 列举了碳钢确定锻造温度范围的方法(结合图 3.3-1)。

各种钢的锻造温度范围见表 3.3-2。

表 3.3-1 确定碳钢锻造温度范围的方法

名称	确定方法	注意事项
始锻温度	<p>始锻温度应低于钢的过热过烧温度,一般应低于平衡图的固相线 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ (图 3.3-1)</p> <p>必要时还应考虑到坯料组织、锻造方式和变形工艺等因素</p>	<p>① 加热钢锭,因其凝固时形成的原始晶粒比较稳定,过热的倾向性小,因此,可以比同钢种坯料的始锻温度高 $20\sim 50^{\circ}\text{C}$</p> <p>② 对多火次锻造,其最后一火锻件的变形量不大时,始锻温度应适当降低,以免锻后晶粒粗大,这对不能用热处理细化晶粒的钢种更为重要</p>
终锻温度	<p>终锻温度应考虑在结束锻造前还具有足够的塑性,不产生加工硬化;停锻后锻件能获得具有细晶粒的再结晶组织</p> <p>从图 3.3-1 来看:对低碳钢($<0.25\%$)可在低于 A_3 的 $\alpha+\gamma$ 两相区内锻造</p> <p>对亚共析钢,终锻温度应控制在 A_3 (GS 线)以上 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$</p> <p>对过共析钢,当温度降至 A_{cm} (SE 线)以下时,沿晶界析出二次网状渗碳体,降低力学性能,一般控制在 A_1 (SE' 线)以上 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$</p>	<p>① 如过早停锻,锻件尚有较高的温度,会使晶粒继续长大,造成粗晶粒的锻件</p> <p>② 若低于终锻温度继续锻造,使锻件出现加工硬化,或使锻件出现裂纹,严重的会导致锻件报废</p> <p>③ 过共析钢终锻温度较低,以便击碎网状碳化铁,使之呈细颗粒状弥散分布,但此时不宜打击过重,以防开裂</p>

表 3.3-2 各种钢的锻造温度范围

钢的种类	钢号举例	锻造温度范围/°C	
		始 锻	终 锻
普通碳素钢	Q235、Q275	1 280	700
优质碳素钢	40、60、45Mn	1 220	800
碳素工具钢	T9、T10、T12	1 100	800
合金结构钢	30CrMoV、18Cr3MoWV、 30CrMnSiA、40CrNiMoA、 33CrNi3MoA、25CrNiWA	1 180	850
合金工具钢	4Cr5W2VSi	1 150	950
	3Cr2W8V	1 120	850
	5CrNiMo、5CrMnSiMoV	1 180	850
高速工具钢	W18Cr4V、W9Cr4V2	1 150	900
不锈钢耐酸钢	1Cr13~4Cr13、Cr17Ti	1 150	850
	1Cr18Ni9Ti	1 180	850
耐热不起皮钢	Cr13Si3、Cr18Si2	1 120	850
	4Cr14Ni14W2Mo、 Cr15Ni36W3Ti	1 130	900
弹簧钢	65~85、60Mn~70Mn	1 100	800
	50CrMn、50CrMnVA	1 150	850
滚珠轴承钢	GCr6~GCr15、GCr9SiMn、 GCr15SiMn	1 080	800

(续表)

钢的种类	钢号举例	锻造温度范围/℃	
		始 锻	终 锻
高温合金	GH36	1 180	950
	GH132、GH135	1 140	960
	GH33	1 120	1 000
	GH43、GH37	1 160	1 050

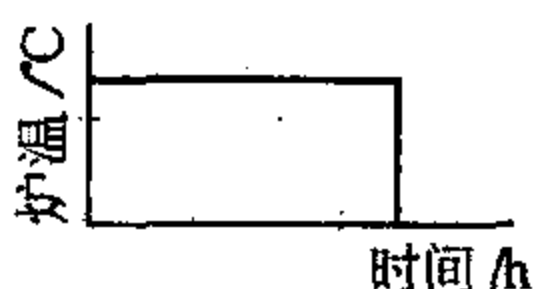
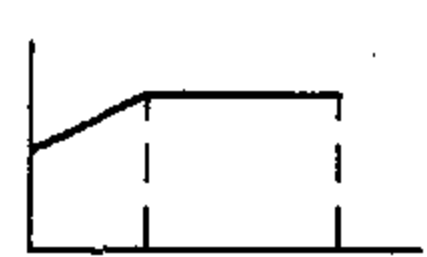
二、加热规范

加热规范是指钢料从开始装炉到加热结束(出炉)的整个过程。加热规范的主要内容包括:装料炉温、加热升温速度、最高炉温(始锻温度)、各段均热保温时间和加热总时间;此外,还有装料方式和装料数量等。




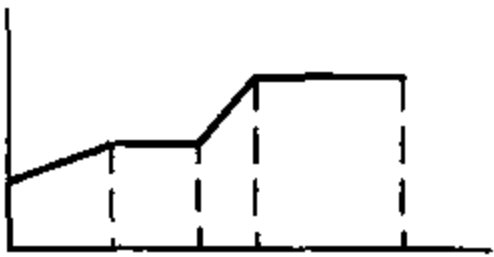
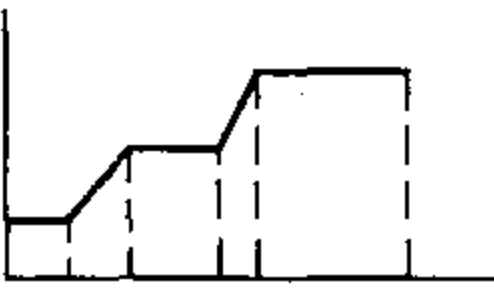
1. 加热曲线

对加热炉温度随时间变化的规定,通常以炉温—时间曲线来表示,称为加热曲线(表 3.3-3)。

表 3.3-3 加热曲线的类型

规范类型	加 热 曲 线	说 明
一段加热		在加热过程中炉温不变
二段加热		由升温和在最高炉温下保温两段组成

(续表)

规范类型	加 热 曲 线	说 明
三段加热		由装料炉温下保温、升温和在最高炉温下保温三段组成
		由缓慢升温、快速升温、在最高炉温下保温三段组成
四段加热		由装料炉温下保温、缓慢升温、快速升温、在最高炉温下保温四段组成
		由缓慢升温、在相变温度下保温、快速升温和在最高炉温下保温四段组成
五段加热		由装料炉温下保温、缓慢升温、在相变温度下保温、快速升温和在最高炉温下保温五段组成

根据钢料钢种、钢料尺寸以及钢料原始状态的不同(如钢锭、钢坯、轧材)等因素,常用加热曲线可分为五种类型见表 3.3-3。分段加热法中,最典型常用的是三段(预热、升温 and 保温)加热,见表 3.3-4。

表 3.3-4 三段加热法

阶 段	方 法	说 明
预热阶段	在装炉温度下保温一定时间或较缓慢地升温到某一温度	目的是为了减少钢料截面的温度差,避免热应力产生内裂纹,预热段的温度视钢种而异,一般为 $550\sim 800^{\circ}\text{C}$
升温阶段	把钢从预热温度加热到所规定始锻温度,此时可以较快的加热速度升温	由于温度已较高,钢料截面上温度分布趋于均匀,塑性增加,导热性也已改善,允许快速升温
保温阶段	在规定的始锻温度下保持一个相当长的时间 这时最高炉温一般要高于始锻温度,这两者之差称为温度头,加热钢材时温度头一般取 $40\sim 80^{\circ}\text{C}$	使钢料表面和内部的温度达到一致,并使钢的组织 and 成分均匀化,避免不均匀变形的产生 要订出适当的均热保温时间。时间太短,达不到均热的作用;时间过长,则生产率低,氧化脱碳加剧,晶粒长大,影响锻件质量

2. 加热速度

钢料加热时,单位时间内温度上升的度数($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)称为加热速度。加热速度也可用单位时间内钢料热透的厚度(mm/min)来表示。

常用到的加热速度有两种,即:加热炉最大可能的加热速度和钢料允许的加热速度。

(1) 最大可能的加热速度

是指加热炉按最大供热能量升温时所能达到的加热速度。

它和炉子的结构形式、燃料种类、燃烧情况、钢料尺寸形状及其在炉内放置方式等因素有关。

(2) 允许的加热速度

是指加热过程中钢料不产生开裂条件下的最大加热速度。它和钢料加热时的热应力、导温性、热容量、线膨胀系数、力学性能及坯料尺寸等因素有关。对于圆柱形坯料,允许的加热速度 v 可按下式计算:

$$v = \frac{5.6a\sigma_b}{\beta ER^2} \quad (^\circ\text{C}/\text{h})$$

式中 a ——导温系数(m^2/h);

σ_b ——某温度下强度极限(MPa);

β ——线膨胀系数($\text{mm}/\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}$);

E ——弹性模数(MPa);

R ——圆柱形坯料的半径(m)。

从以上分析看出:

① 金属的导温性好,加热速度就可快一些。碳钢的强度比高合金钢低,但导温性好,综合影响的结果,碳钢产生的热应力远比重合金钢小,因而加热速度快。

② 加热坯料的截面尺寸小,表面温度容易传入中心部分,加热速度可快一些。截面尺寸大,表面和中心部分温差大,加热速度应缓慢。

③ 钢中合金成分增加,导温性降低,加热速度也应减慢。例如:高合金钢室温的导温系数只有低碳钢的 $1/3 \sim 2/3$,通常要经过低温预热后才进入高温加热阶段,加热速度也缓慢,以降低表里温度差,减小热应力。

④ 炉温对坯料加热速度有直接的影响。炉温与坯料表面的温度差愈大,则坯料表面温度的升高速度也愈快;里外温差也大,向中心传热也快。生产中常用提高温度差(温度头)的办法来提高加热速度。

3. 加热时间

加热时间是指钢料经预热、加热和均热等阶段,在炉内停留时间的总和。影响加热速度的诸因素也影响加热时间。

确定加热时间,通常采用经验公式计算法和图表计算法。

(1) 经验公式计算法

在室式炉中,钢料(或钢锭)从室温加热到 $1\ 200^{\circ}\text{C}$ 的加热时间 τ 可按下式计算:

$$\tau = aK_1 D \sqrt{D} \quad (\text{h})$$

式中 D ——钢料的直径或边长(m);

K_1 ——在炉内的排放系数,取图 3.3-2 中修正系数 K_1 值;

a ——系数(碳钢与低合金钢 $a=10$,高碳钢与高合金钢 $a=20$)。

坯料在半连续炉中的加热时间可按下式计算:

$$\tau = a \cdot D \quad (\text{h})$$

式中 D ——坯料直径或边长(cm);

a ——钢化学成分影响系数(h/cm),碳素结构钢为 0.1~0.15;合金结构钢为 0.15~0.20;工具钢和高合金钢为 0.30~0.40。

(2) 图表计算法

图 3.3-2 曲线用于计算直径小于 200 mm 的碳钢在室式炉

中单件加热的时间。计算不同装炉方法、不同尺寸和不同钢种的坯料加热时间时,还应乘以修正系数 k_1 (排放系数)、 k_2 (尺寸系数) 和 k_3 (材料系数)。

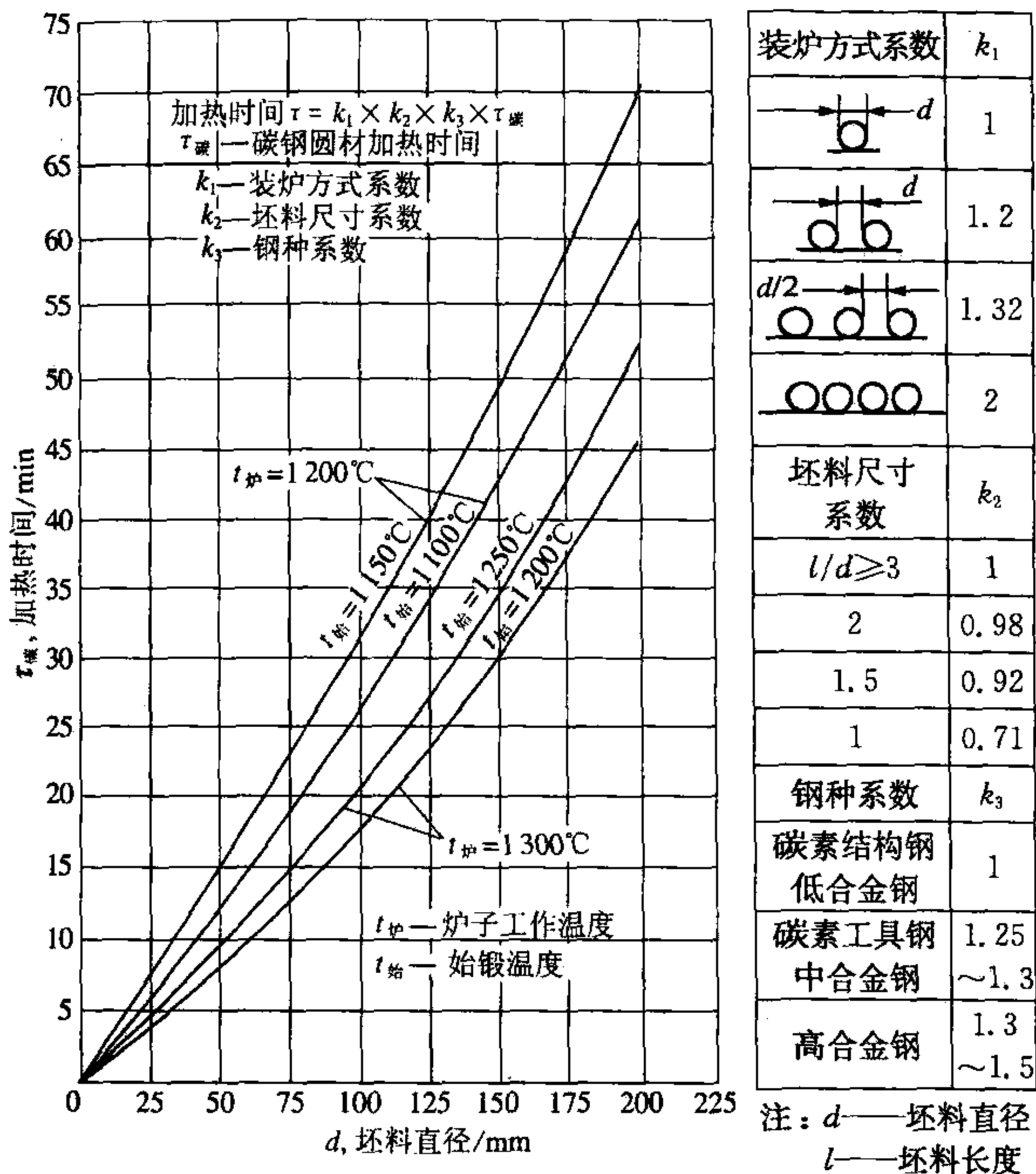


图 3.3-2 碳素钢圆钢单个坯料在室式炉中的加热时间

对直径为 200~350 mm 的钢坯,可按照表 3.3-5 的经验数据确定。表中的数据为单个坯料在室式炉中加热的时间,还应乘以修正系数 k_1 (排放系数)和 k_2 (尺寸系数),见图 3.3-2。

表 3.3-5 钢坯的加热时间

钢 种	加热时间/(h/100 mm)
低碳钢、中碳钢、低合金钢	0.60~0.77
高碳钢、合金结构钢	1
碳素工具钢、合金工具钢、高合金钢、轴承钢	1.20~1.40

4. 钢的加热规范

为了保证加热质量和节约能源,在确定加热规范时,应全面考虑表 3.3-6 所列诸因素:

表 3.3-6 确定加热规范的主要因素

因 素	内 容 · 说 明
1. 形状和尺寸	钢料的形状和尺寸大小
2. 成分及性能	钢料的化学成分,塑性、导温性、膨胀系数等物理性能和力学性能
3. 组织状态	钢料内部组织特点及其在加热时的变化
4. 原始状态	如是冷态还是热态装炉;是铸态还是经变形过的坯料
5. 使用设备	包括加热设备和锻造设备,及其使用特点

(1) 钢锭的加热规范

按钢锭的规格可分为大型钢锭和小型钢锭。一般把重量大于 2~2.5 t, 直径大于 500~550 mm 的称为大型钢锭, 此外便是小型钢锭。

钢锭加热, 尤其是大型钢锭加热的关键在低温阶段。因为在低于 500℃ 时钢锭的塑性很差, 加上钢锭内部的残余应力又与温度应力同向, 极易形成应力集中而开裂。所以, 在低温阶段必须限制装料炉温和加热速度。

大型钢锭的加热, 由于截面尺寸大、化学成分不同和导温性差等, 产生的温度应力大, 因此, 一般均采用两段、三段、四段或五段(见表 3.3-3)的分段加热规范。

小型钢锭一般多采用快速的一段加热规范, 而对高合金钢小锭, 也采用分段加热规范。

(2) 钢材和中小钢坯的加热规范

直径小于 150~200 mm 的碳钢钢材和直径小于 100 mm 的合金钢钢材, 采用一段加热规范。一般炉温为 1 300~1 350℃, 温度头约 100~150℃。

直径 200~350 mm 的含碳量 $>0.45\%$ ~ 0.5% 碳钢钢坯和合金钢钢坯, 一般采用三段加热规范。装炉温度稍低一些, 装炉后保温时间约占总加热时间的 5%~10%; 加热到始锻温度后, 均热保温时间也为总加热时间的 5%~10%。


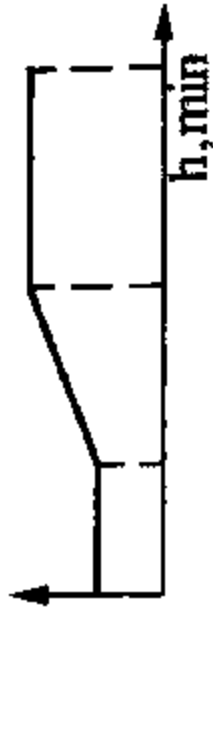
表 3.3-7 为常用钢坯加热规范。

表 3.3-8 为几种特殊钢钢坯的加热规范。

(续表)

<100	1 250	尽速升温		/	0 : 20	1 200	尽速升温		0 : 05	0 : 40
100~120	1 250			0 : 05	0 : 30	1 200			0 : 10	0 : 50
120~160	1 250			0 : 10	0 : 40	1 200			0 : 15	1 : 00
160~200	1 250			0 : 15	0 : 50	1 150			0 : 20	1 : 20
200~250	1 200			0 : 20	1 : 00	1 150			0 : 25	1 : 40
250~300	1 200			0 : 25	1 : 20	1 150			0 : 30	2 : 00
300~350	1 200			0 : 30	1 : 40	1 150			0 : 35	2 : 15
350~400	1 200			0 : 35	2 : 00	1 150			0 : 40	2 : 30
IV										
钢 号 组 别	12CrNi3~37CrNi3, 20CrNi4 18CrNiWA, 18CrNiMoA, 25CrNiWA PCrNiMo~PCrNi4Mo, 40CrNiMoA 38CrMoAlA, 35CrMoVA, 22CrMnMo 20CrMnSi, 18CrMnTi, 18Cr2Ni4Mo 40CrNiMoVA, 30CrMnSiNiA 40CrNiMoV 30CrMnMoSiNiA, 40CrMnSiNiA (GC-4) 5CrNiMo5CrNiW, 5CrMnSiMoV					T7~T13, 1Cr13~4Cr13, 1Cr18Ni9Ti 0Cr18Ni9~Cr18Ni9, Cr17Ni2 1Cr11NiW2MoVA (于 N961) 2Cr12NiWMoV Nb (GX-8) W18Cr4V W9Cr4V2, 9Cr2, 8Cr3, 9SiCr CrW5 Cr12 GCr6, GCr9, GCr15				

(续表)

钢坯 截面 尺寸 /mm				总加热 时间 /h, min	钢坯 截面 尺寸 /mm					总加热 时间 /h, min
	最高装 炉温度 /°C	升温 时间 /h, min	在始锻温 度下保温 时间 /h, min			装炉 温度 下保 温时 间 /h, min	升温 时间 /h, min	在始 锻温 度下 保温 时间 /h, min		
<100	850	0:50	0:10	1:00	≤100	800	0:12	1:24	0:12	1:48
100~120	850	1:05	0:15	1:20	~120	800	0:12	1:36	0:18	2:06
120~160	850	1:20	0:20	1:40	~130	800	0:18	1:42	0:24	2:24
160~200	850	1:35	0:25	2:00	~140	800	0:18	1:54	0:30	2:42
200~250	850	1:50	0:30	2:20	~150	800	0:24	2:06	0:30	3:00
250~300	850	2:05	0:35	2:40	~160	800	0:24	2:18	0:30	3:12
300~350	850	2:20	0:40	3:00	~180	800	0:30	2:24	0:36	3:30
350~400	850	2:45	0:45	3:30	~200	700	0:30	2:48	0:36	3:54
					~220	700	0:36	3:06	0:36	4:18
					~250	700	0:36	3:30	0:42	4:48
					~270	700	0:36	3:54	0:42	5:12
					~300	700	0:42	4:12	0:42	5:36
					~350	700	0:42	4:42	0:42	6:06

注：表列加热时间仅适合于钢坯按第二种方式表炉的情况。

表 3.3-8 几种特殊钢钢坯的加热规范

本规范适用于下列钢种	钢坯截面尺寸/mm	装炉温度/°C	装炉温度下保温时间/h	加热时间/h	在始锻温度下最小保温时间/h	在始锻温度下最大保温时间/h
				850°C 以前加热速度 50°C/h 850°C 至始锻温度加热速度不大于 100°C/h		
1Cr13~4Cr13	150~400	700	2	5	2	5
1Cr18Ni9Ti	401~600	700	2	6	3	6
GH36	601~800	650	3	7	4	7
GH33	801~1 000	650	3	8	5	8
GH132	1 001~1 300	600	3	9	6	9
GH135						
IOY90						

注：当料温达到始锻温度以下 20°C 时开始计算保温时间。

第四节 有色金属的锻造温度范围和加热规范

一、铝合金锻造温度范围和加热规范

锻造变形铝合金的特性是比重轻、导热性好、熔点比较低、氧化能力强，以及其塑性受合金成分（含 Cu、Mg、Zn、Si 和 Mn 等元素）的影响大。

1. 铝合金的锻造温度范围

铝合金的锻造温度范围比较窄，一般在 100~150°C 左右。一般均采用电阻炉加热，炉子应装有自动控温仪表和强制空气循环装置。前者为严格控制加热温度的准确性，保持在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内；

后者为了加速热量的传递,使炉膛温度分布均匀。由于铝合金加热温度较低,温度升高不发生颜色的变化,因此难以采用燃料火焰加热炉。

铝合金锻造温度和加热规范见表 3.4-1。

表 3.4-1 常用铝合金锻造温度和加热规范

合金种类	合金牌号	锻造温度范围/°C		加热温度 ± 10 -20 °C	加热时间 min/mm
		始 锻	终 锻		
锻 铝	LD2	480	380	480	1.5
	LD5、LD7	470	360	470	
	LD10	460	360	460	
硬 铝	LY11、LY17	470	360	470	1.5
	LY2	460	360	460	
超硬铝	LC4	450	380	450	3.0
防锈铝	LF2、LF21	470	360	470	1.5
	LF6	470	400	400	

2. 铝合金锻造加热规范

铝合金的导热性良好(导热系数比钢大 3~4 倍),坯料可直接装炉,不需要预热。加热时间是根据强化相的溶解和获得均匀组织来确定的,因为这种状态下塑性最好。

铝合金的加热时间可按坯料直径或厚度来确定(见表 3.4-1)。对于铸锭加热则须增加保温。加热的总时间最短不少于 20 min。

铝合金毛坯装炉前应除去油垢或其他污物,以免炉内产生硫、氢等有害气体。装炉时,铝合金不允许和钢一起加热,铝屑和氧化皮混在一起容易产生爆炸。

二、铜合金锻造温度范围和加热规范

铜合金具有适当的塑性和强度,比重大、导热性好、熔点比钢低。铜合金的种类较多,按合金元素含量不同可分为纯铜、黄铜、青铜和白铜等四大类。再细分的话,有近百种牌号之多,其性能也各不相同。

铜合金在中温区($500\sim 700^{\circ}\text{C}$)有脆性区(低塑性区)存在。以普通黄铜为例,见图 3.4-1,在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 附近出现脆性区。在此温度下锻造易形成裂纹、折叠和内部组织不均匀。常用铜合金脆性的温度范围见表 3.4-2。

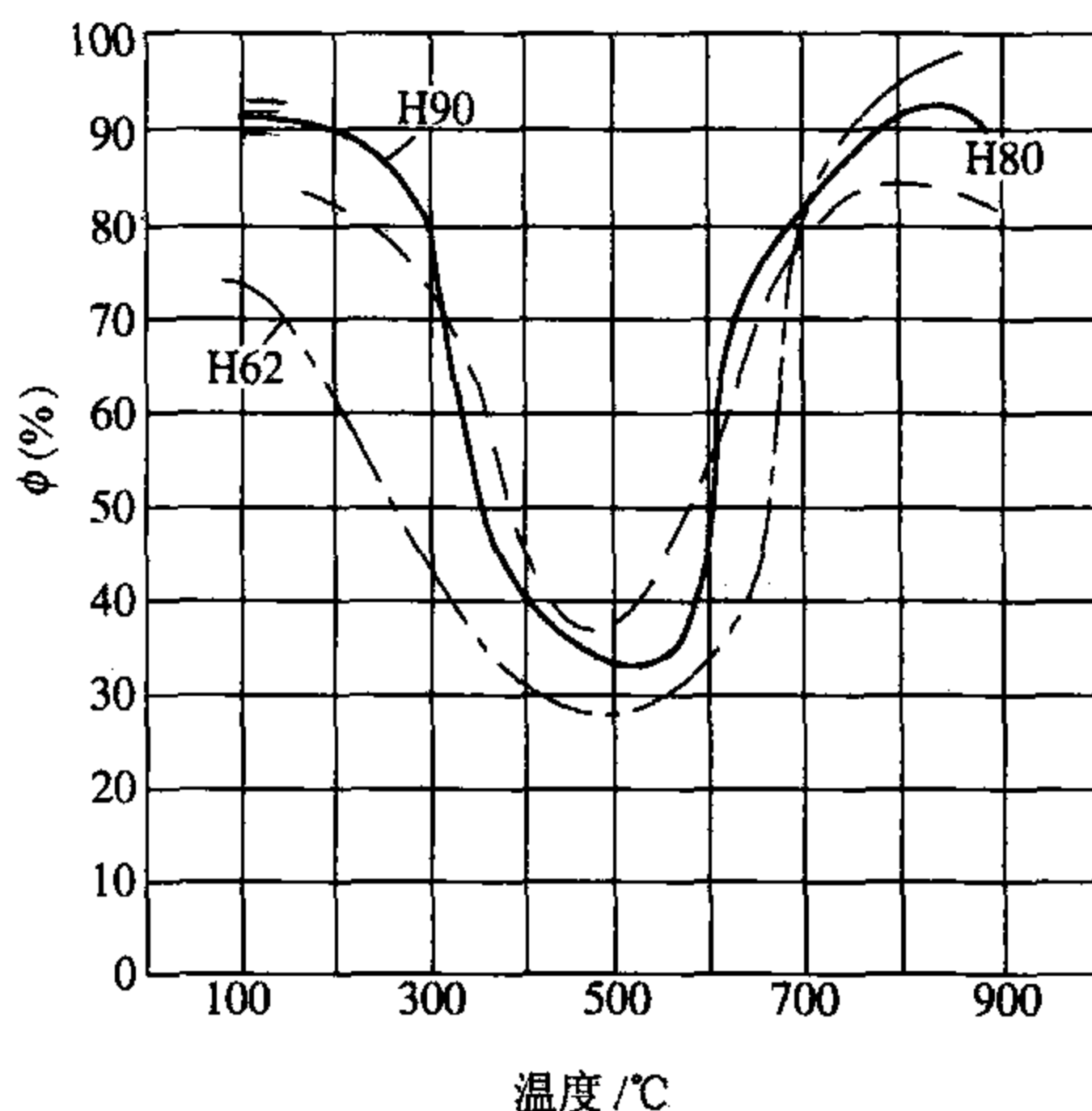


图 3.4-1 几种普通黄铜的塑性图

表 3.4-2 常用铜合金脆性区温度范围

牌号	温度范围/℃	牌号	温度范围/℃
H96	650~750	HPb 59-1	250~600
H80、H90	350~600	QA19-2	200~600
H62	300~600	QBe 2	200~500
H70	400~700	纯铜	400~700

1. 铜合金的锻造温度范围

铜合金锻造温度范围比较窄,一般为 200℃左右。由于要避开脆性区,停锻温度高;而始锻温度受铜合金过热倾向较快,易引起晶粒长大、晶间联系削弱、降低塑性等限制。

铜合金锻造温度和加热规范见表 3.4-3。

表 3.4-3 常用铜合金锻造温度和加热规范

合金种类	合金牌号	锻造温度范围/℃		加热温度 $\pm 10_{-20}^{\circ}\text{C}$	加热时间 /(min/mm)
		始 锻	终 锻		
黄 铜	HPb59-1	720	650	720	0.6
	H62、H68	810	650	810	
	H80	860	700	860	
	H90	890	700	890	
	H96	920	750	920	
青 铜	QA19-2、QA19-4	890	700	890	0.7
	QBe 2.5	740	650	740	0.6
	QSi 3-1	790	700	790	0.7
	QSn 6.5-0.4	790	700	790	0.7
紫 铜	T ₁ ~T ₅	900	650	900	0.6

铜合金坯料加热可用火焰加热炉,但要注意控制炉温和坯料加热温度。铜合金加热时有颜色的变化,但不如钢料这么明显。对于质量要求较高的锻件,应采用带自动控温仪表的电阻炉加热。

若在铜与钢料交替使用的加热炉内加热时,通常需在炉底加放一层钢垫板或钢料盒,使铜坯料与炉底隔开,加热完毕取出垫板或料盒。这样,可以避免残留在炉内的 Cu 或 CuCl 粘附到以后加热的钢毛坯上,而使其在锻造时产生网状裂纹(铜脆)。如果已发生炉底上有残留铜时,可向炉底撒一些食盐再烧一下,使它成为 CuCl 随废气排出。

2. 铜合金锻造加热规范

铜合金的导热性良好,坯料可直接装炉,不需要预热。

铜合金在加热过程中发生相变,其相变过程比铝合金中强化相的溶解过程要快得多。因此铜合金加热应注意控制加热保温时间,一般以透烧为原则。加热时间可按坯料的直径或厚度来确定(见表 3.4-3),但应不少于 20 min。

铜合金坯料装炉前应清理干净。放置在炉膛有效区内,毛坯之间有一定的间隙,不要重叠。

三、钛合金锻造温度范围和加热规范

钛合金的特性是比重小、压强大、耐热性高和耐蚀性强。钛合金的导热性比较差,在 200℃时的导热系数仅为钢的 1/3~1/4,但随着温度的提高,导热性增加并接近甚至超过中碳钢的导热性。钛合金可分为 α 相、 β 相和 $\alpha+\beta$ 两相钛合金。

1. 钛合金的锻造温度范围

α 钛合金的锻造加热温度一般可取略高于 β 转变温度,以便扩大锻造温度范围和改善可锻性。

β 钛合金的锻造加热温度一般都高于 β 转变温度,而且等于

或略低于再结晶温度。

$\alpha+\beta$ 钛合金常规锻造加热温度一般低于 β 转变温度 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。这样可保证合金锻后的显微组织中含有 $20\%\sim 30\%$ 初生等轴 α 相,使合金具有良好的综合力学性能。

常用钛合金锻造温度和加热规范见表 3.4-4。

表 3.4-4 常用钛合金锻造温度和加热规范

合金种类	合金牌号	β 转变温度 / $^{\circ}\text{C}$	预先经过变形的坯料			铸 锭	
			始锻 温度 / $^{\circ}\text{C}$	终锻 温度 / $^{\circ}\text{C}$	加热时间 /(min/mm)	始锻 温度 / $^{\circ}\text{C}$	终锻 温度 / $^{\circ}\text{C}$
α 钛合金	TA2	$1\ 025\sim 1\ 050$	900	700	0.8	980	750
	TA3		(870)	(650)			
	TA6		1 020	900			
	TA7		(990)	(850)			
	TA8	$950\sim 990$	960 (940)	850 (800)		1 150	900
β 钛合金	TB1	$750\sim 800$	930 (920)	800 (700)	0.7		
$\alpha+\beta$ 钛合金	TC1	$910\sim 930$	910 (900)	750 (700)	0.7	980	750
	TC4	$960\sim 1\ 000$	960 (940)	800 (750)	0.8	1 150	850
	TC5	$950\sim 980$	950	800		1 150	750
	TC6		(950)	(800)			
	TC10	$930\sim 960$	930 (910)	850 (800)		1 150	900

注:表中括号内数据适用于压力机上模锻。

2. 钛合金锻造加热规范

钛合金的室温导热性较差,应避免高温进炉,造成温度应力过大引起裂纹。加热时间可按坯料的直径或厚度来确定(见表 3.4-4)。

钛合金加热应注意之要点:

① 为了避免在火焰炉加热时吸氢而引起氢脆,火焰炉的气氛应呈微氧化性。

② 精密锻件加热最好在有保护气氛炉内进行,也可在坯料涂玻璃润滑剂。

③ 为了减轻高温氧化及 α 脆化层,以及导温性差使坯料里外温差大引起热裂,大型毛坯或铸锭宜采用两段加热,预热段温度约为 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。

④ 为了防止加热过程中坯料受污染,炉底应垫不锈钢板,以便将坯料与炉底隔开。

第四章 自由锻和胎模锻

第一节 基本知识

一、自由锻和胎模锻的特点

自由锻是一种通用性很强的锻造工艺。它仅使用锻压设备上的上、下砧块和一些简单的通用工具。生产准备周期短、工艺灵活性大、应用范围广泛,但是,自由锻造的锻件精度低、加工余量大、生产效率低、劳动强度大。所以只适合于新产品试制和小批量生产,同时也是特大型锻件的惟一生产方法。

根据所用设备和操作的特点,自由锻工艺可作如下划分:

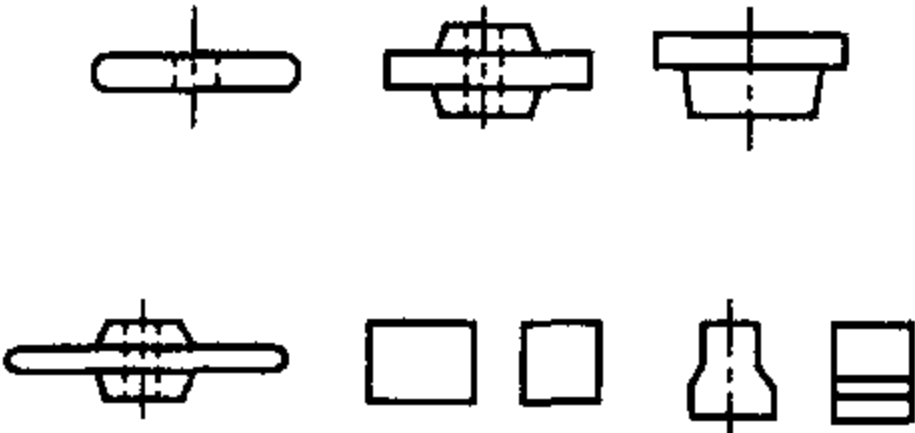
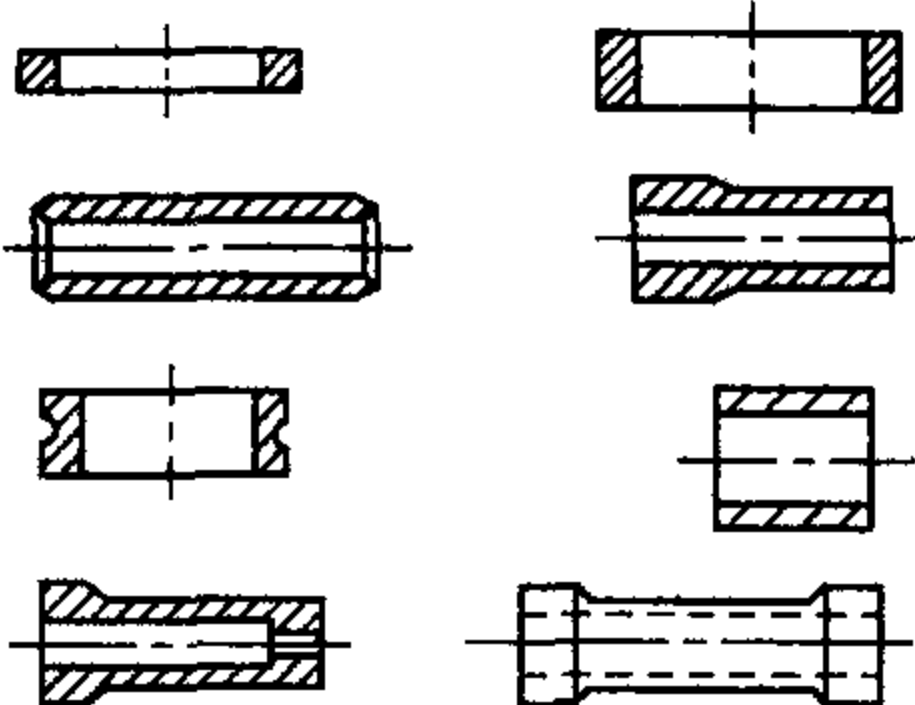
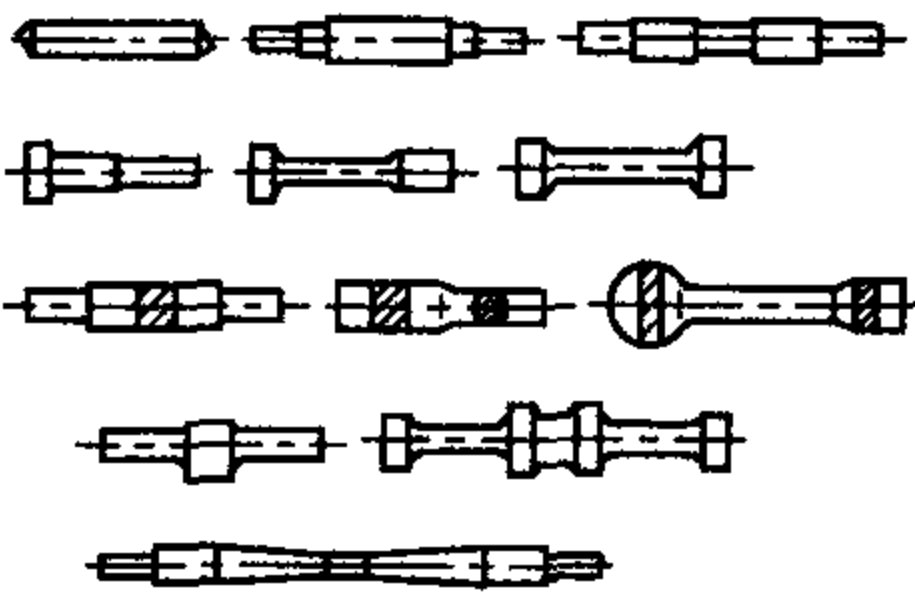
自由锻	{	手工自由锻(用于小型锻件)	
		机器自由锻	锤上自由锻(用于中、小型锻件)
			水压机上自由锻(用于大、中型锻件)

胎模锻是介于自由锻和模锻之间的一种过渡性的锻造方法。它是在自由锻设备上使用通用工具和可移动的简易组合模具(胎模)来使金属成形的,所用胎模的外形和模膛都较简单,而且制造方便、成本低。

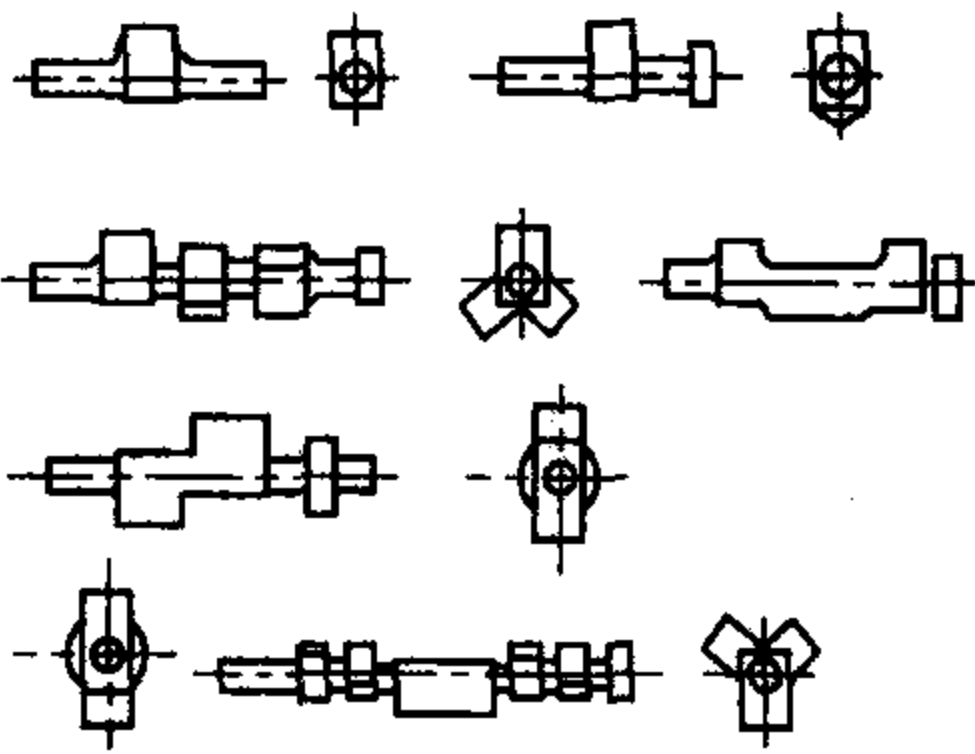
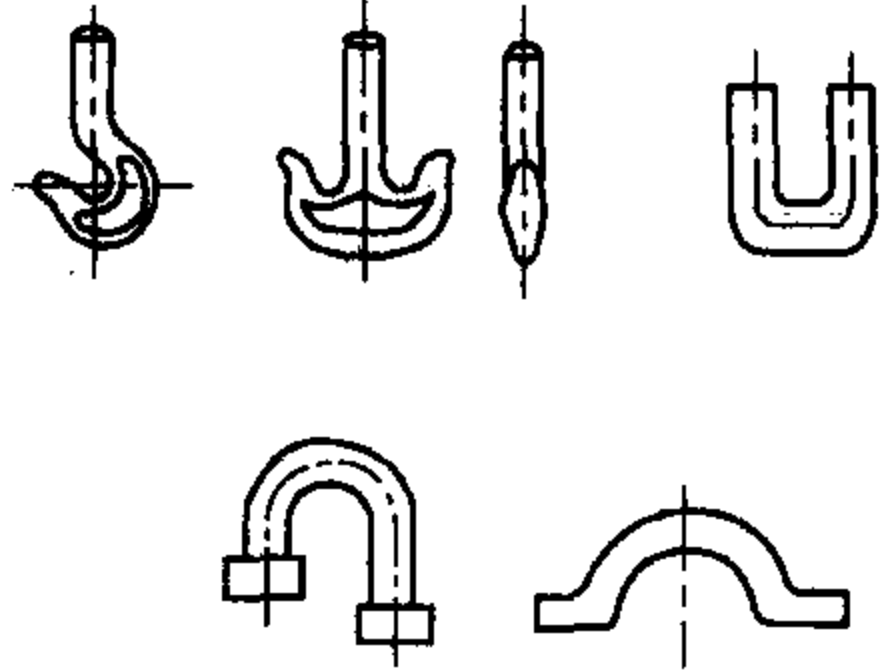
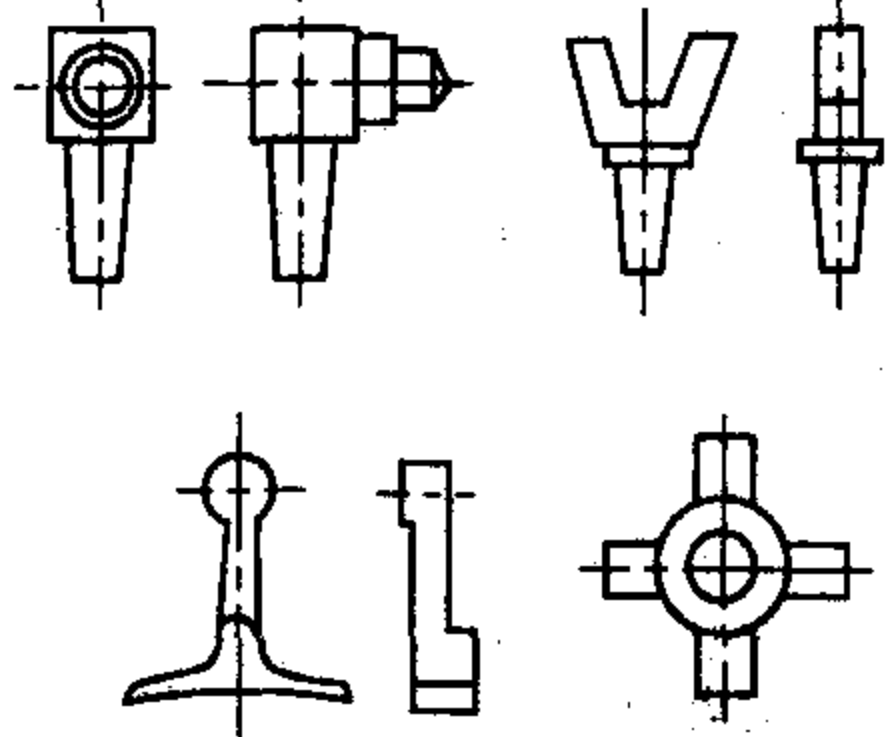
二、自由锻件的分类及工艺特点

自由锻可锻出多种多样的锻件,按锻件的形状特征,可分为饼块类锻件、空心类锻件、轴杆类锻件、曲轴类锻件、弯曲类锻件和复杂形状锻件六类,见表 4.1-1。

表 4.1-1 自由锻件分类

锻件类型	图 例	工 艺 特 点
饼块类		<p>锻粗</p>
空心类		<p>锻粗、冲孔、芯轴扩孔、芯轴拔长</p>
轴杆类		<p>截面相差不大的：拔长 截面相差较大的：锻粗—拔长</p>

(续表)

锻件类型	图 例	工 艺 特 点
曲轴类		拔长、错移、扭转
弯曲类		拔长、弯曲
复杂形状类		适当工序的组合

三、自由锻造的工序

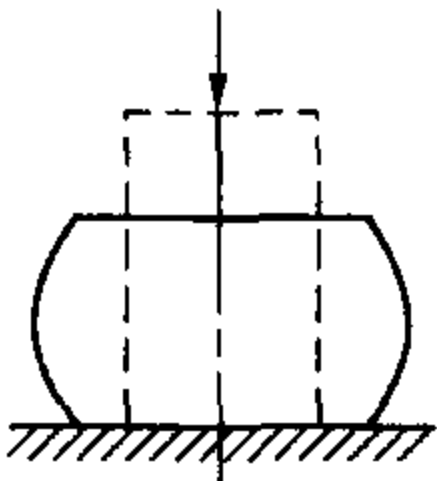
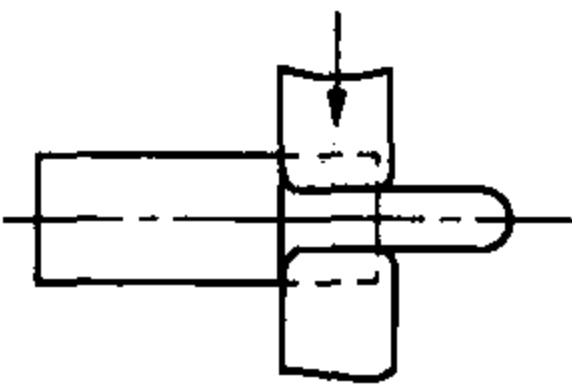
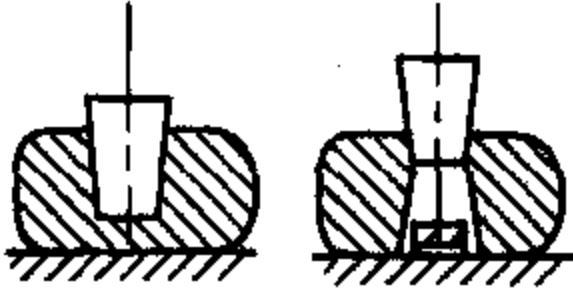
根据工序的变形性质和变形程度的不同,自由锻的工序可分为基本工序、辅助工序和修整工序三类。

1. 基本工序及工艺特点(表 4.1-2)

2. 辅助工序(表 4.1-3)

3. 修整工序(表 4.1-4)

表 4.1-2 自由锻造的基本工序及工艺特点

基本工序	简 图	特 点	用 途
镦粗		坯料高度减小, 横截面积增大	① 锻制饼块类锻件 ② 空心锻件在冲孔前使坯料横截面增大和平整 ③ 锻造轴杆类锻件可提高后续拔长工序的锻造比 ④ 提高锻件的横向力学性能和减小力学性能的异向性
拔长		坯料横截面积减小, 长度增加	① 轴杆类锻件成形 ② 改善锻件内部质量
冲孔		在坯料上锻出通孔或半通孔	锻造带孔锻件和空心锻件

(续表)

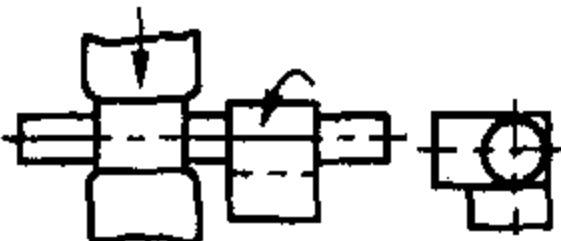
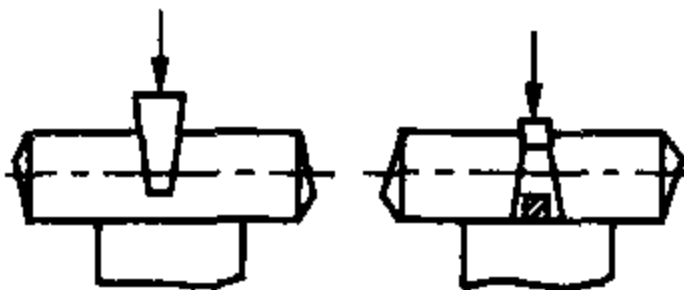
基本工序	简 图	特 点	用 途
扭转		将坯料的一部分相对另一部分绕其相同轴线旋转一定角度	锻造曲轴、麻花钻、地脚螺栓等
剁切		将坯料剁断(切断)或部分分离	切断坯料

表 4.1-3 自由锻辅助工序

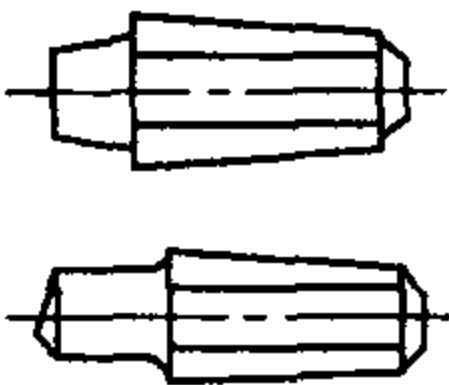
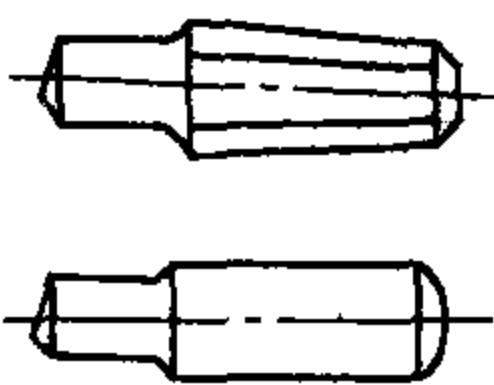
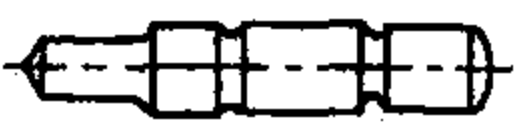
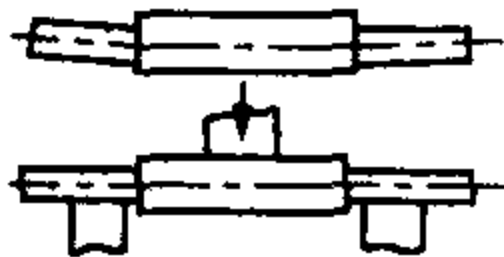
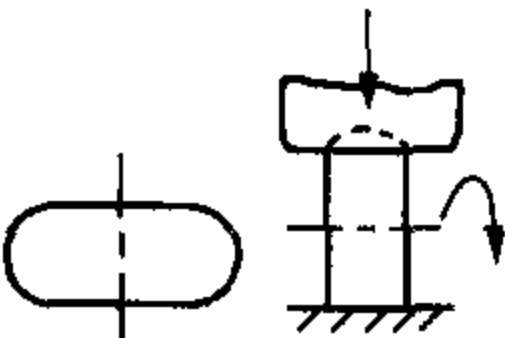
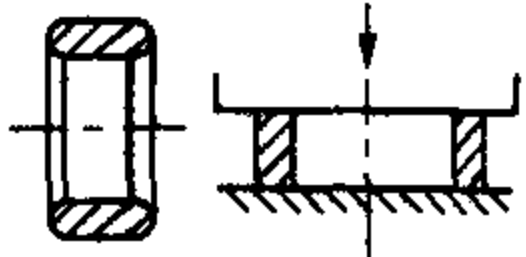
		
压钳把	倒 棱	压 痕

表 4.1-4 自由锻修整工序

		
校 正	滚 圆	平 整

四、锻造比

1. 基本定义

金属坯料在锻造前后横截面面积之比称为锻造比。它表示锻造变形量的大小,锻造比可用下式计算:

$$\text{拔长锻造比 } K_L = F_0/F_1 = L_1/L_0$$

$$\text{镦粗比 } K_H = F_1/F_0 = H_0/H_1$$

式中 K_L ——拔长锻造比;

K_H ——镦粗比;

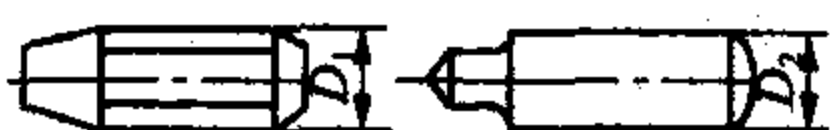
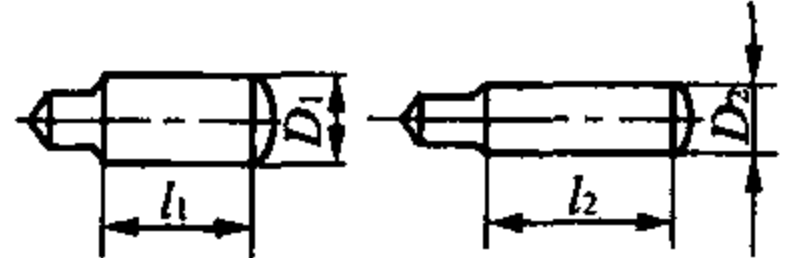
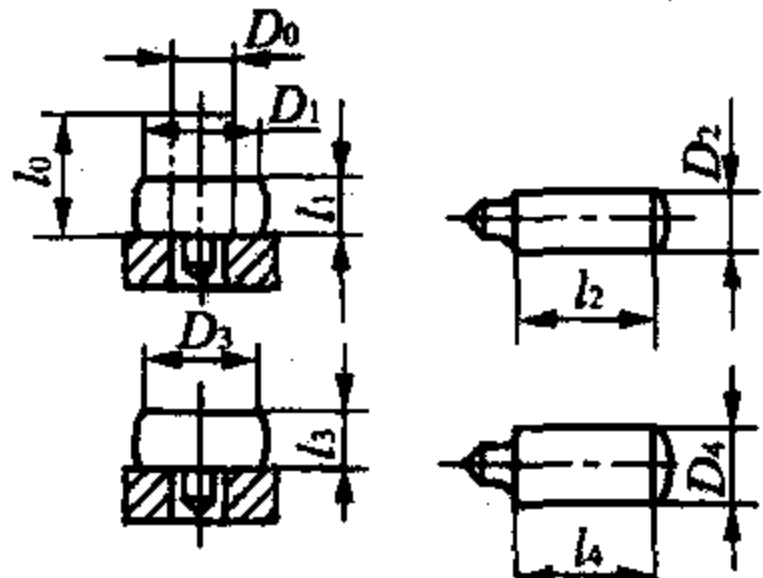
F_0 、 F_1 ——锻造变形前后的横截面面积;

L_0 、 L_1 ——拔长前后坯料的长度;

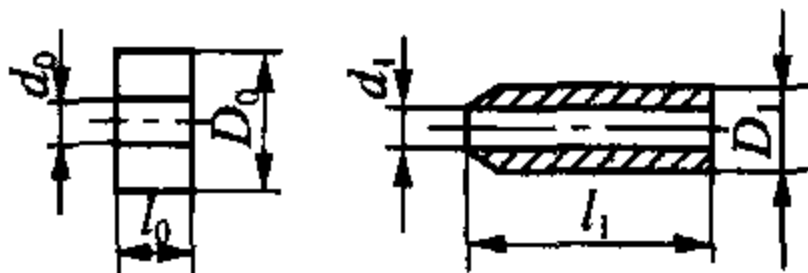
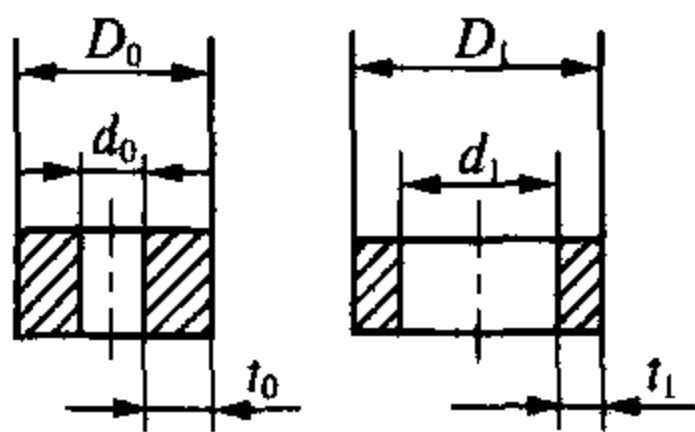
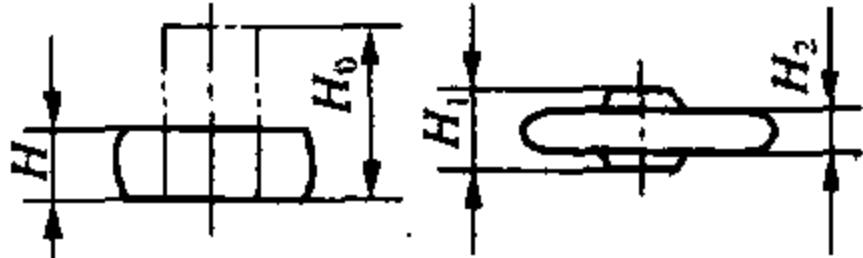
H_0 、 H_1 ——镦粗前后坯料的高度。

2. 锻造比的计算方法(表 4.1-5)

表 4.1-5 锻造比的计算方法

序号	锻造工序	变形简图	总锻造比
1	钢锭拔长		$K_L = D_1^2/D_2^2$
2	坯料拔长		$K_L = D_1^2/D_2^2$ 或 $K_L = l_2/l_1$
3	两次镦粗拔长		$K_L = K_{L1} + K_{L2}$ $= \frac{D_1^2}{D_2^2} + \frac{D_3^2}{D_4^2}$ 或 $K_L = l_2/l_1 + l_4/l_3$

(续表)

序号	锻造工序	变形简图	总锻造比
4	芯轴拔长		$K_L = \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2}$ 或 $K_L = l_1 / l_0$
5	芯轴扩孔		$K_L = \frac{F_0}{F_1}$ $= \frac{D_0 - d_0}{D_1 - d_1}$ 或 $K_L = \frac{t_0}{t_1}$
6	墩粗		轮毂 $K_H = H_0 / H_1$ 轮缘 $K_H = H_0 / H_2$

注：① 钢锭倒棱的锻造比不计算在总锻造比内。

② 连续拔长或连续墩粗时，总锻造比等于分锻造比之乘积。

③ 两次墩粗拔长和两次墩粗间有拔长时，总锻造比等于两次分锻造比之和，并要求各次分锻造比不小于 2。

五、锻造流线

钢锭经过锻造后，粗大不均的晶粒被打碎，通过再结晶，变成较细的均匀等轴晶。随着钢锭外形在锻造时的变化，晶粒沿变形方向被拉长、滑移、破碎，存在于晶粒之间的氧化物、硫化物及其他杂质也随之改变分布形态。变形了的晶粒，在终锻温度以上，通过再结晶可以恢复成等轴晶，但杂质始终保持着变形时的形态，锻造后，作为金属流动的痕迹，被遗留在锻件中。这种杂质在金属内有规律、定向分布，形成纤维组织，也叫做锻造流线。

流线使金属的性能在不同的方向上存在差异(各向异性),表现为沿着纤维方向的力学性能比垂直于纤维方向的好。

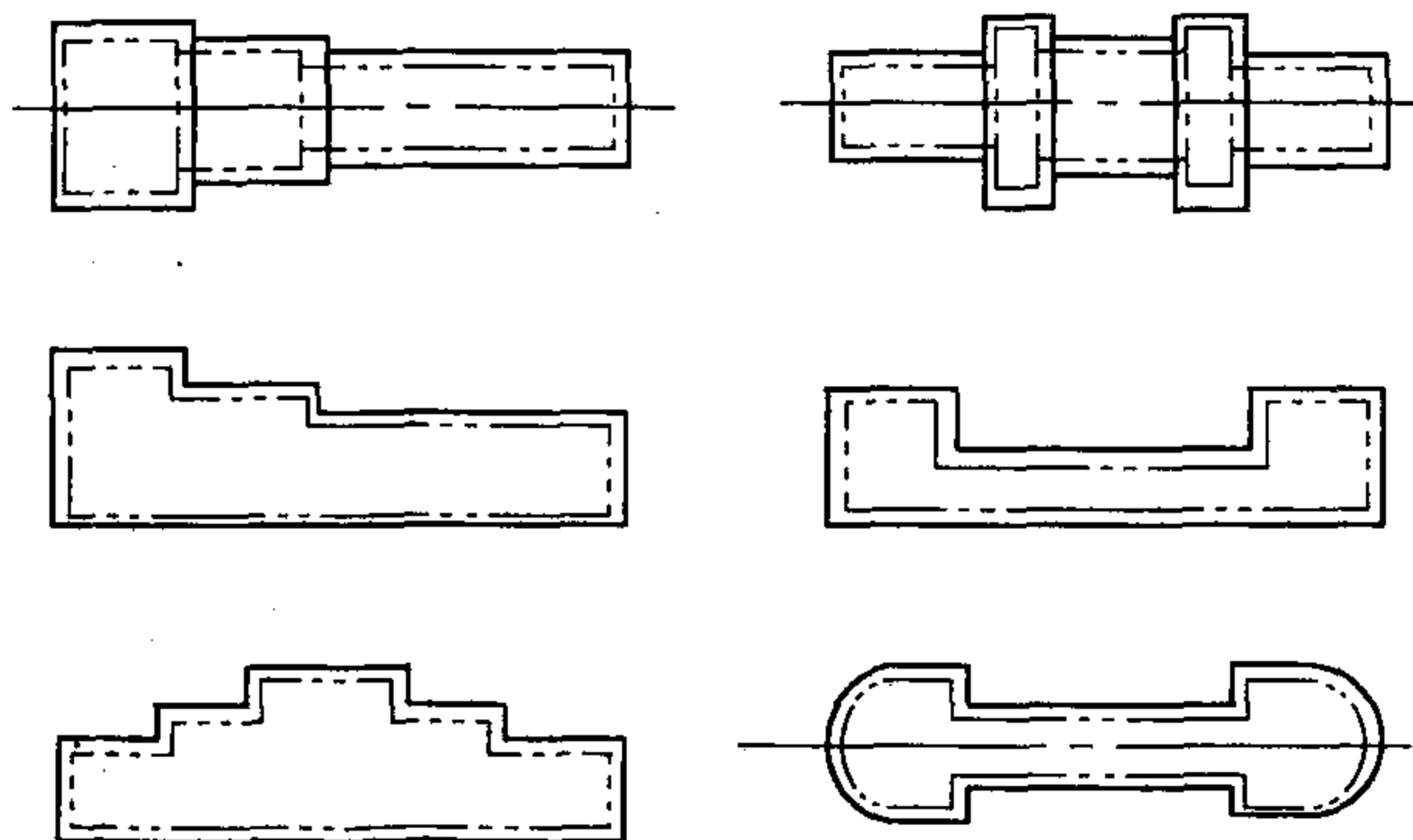
形成锻造流线影响的大小,主要取决于金属在锻造过程中的变形方式和锻造比。

第二节 自由锻件设计

一、自由锻件结构要素的设计

自由锻件的形状设计,一般应遵循下述原则:

- ① 锻件的流线尽可能顺零件主应力方向分布,不被切断,无严重的涡流。
- ② 截面突变尽可能小,而且平缓过渡。
- ③ 锻造各部分的锻造比相近。



(a) 台阶

(b) 凹档

图 4.2-1 锻件上的台阶和凹档

自由锻件基本的结构要素有：台阶、凹档、法兰、凸肩和孔等。

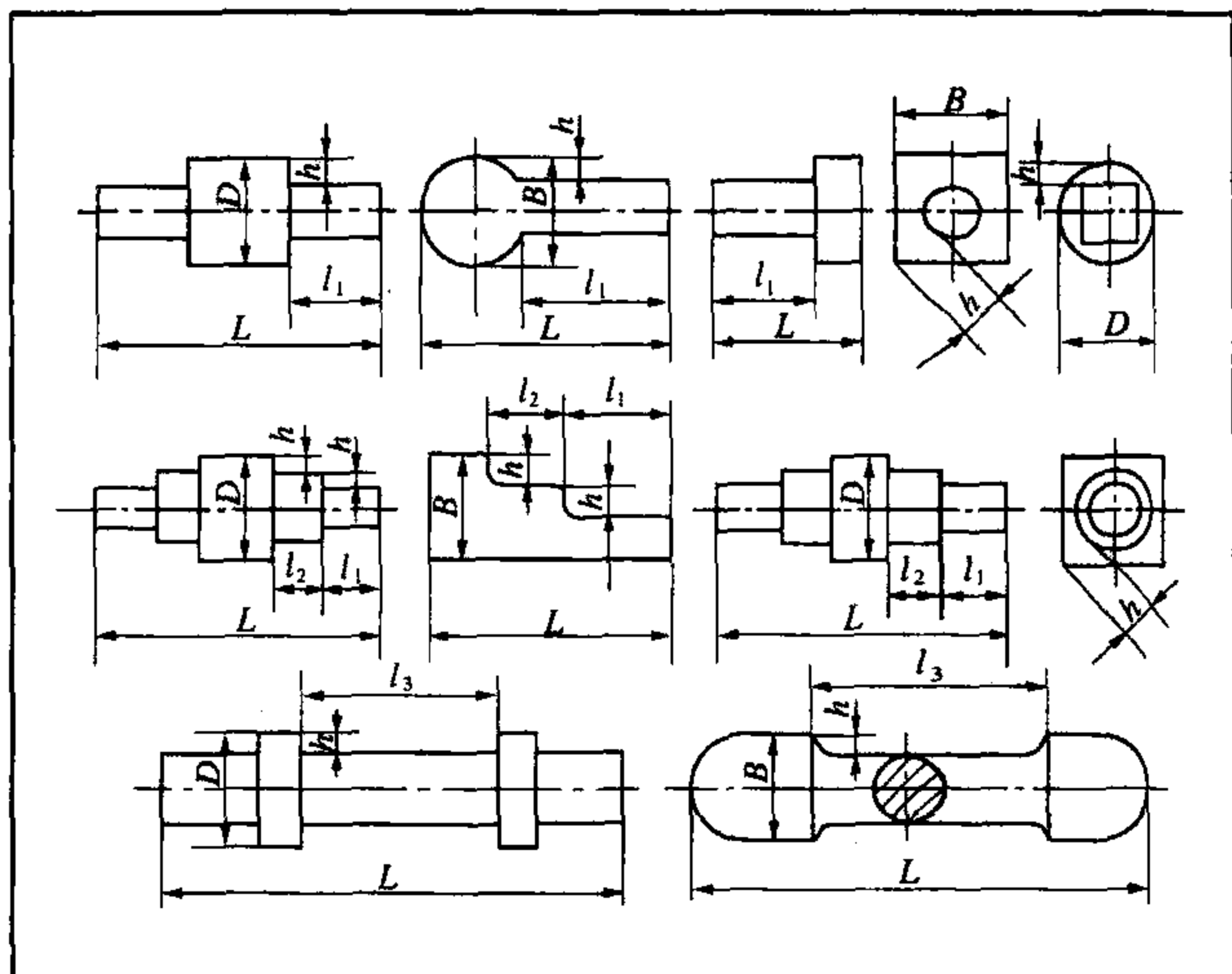
1. 台阶和凹档的设计

台阶是指在同一投影面上，具有向同一方向渐增或渐减的阶梯形几何特征的部分；凹档是指在同一投影面上，同一方向上某一中间部分的高度小于其相邻两部分高度的凹下部分，如图 4.2-1。

台阶和凹档的几何参数的设计，主要是限制其允许的最大高度和最小长度，以保证锻件顺利成形。

台阶和凹档的锻出条件应满足表 4.2-1 的要求，如不能满足表中条件时，应添加余块，如图 4.2-2。对特别复杂的锻件应根据具体情况单独确定。

表 4.2-1 锤锻件台阶和凹档的锻出条件/mm



(续表)

台阶 高度 h	零件总长度 L	零件相邻台阶的直径 D 或高度 B							
		<50	50~ 80	80~ 120	120~ 160	160~ 200	200~ 250	250~ 315	315~ 400
		锻出台阶或凹档的最小长度 $l^{①-④}$							
5~8	<315	100	120	140	160	180			
	315~630	140	160	180	210	240			
	630~1 000	180	210	240	270	300			
	1 000~1 600	240	270	300	330	360			
	1 600~2 500		330	360	400	440			
8~14	<315	70	80	90	100	110	120	140	
	315~630	90	100	110	120	140	160	180	
	630~1 000	110	120	140	160	180	210	240	
	1 000~1 600	140	160	180	210	240	270	300	
	1 600~2 500		210	240	270	300	330	360	
14~23	<315		60	70	80	90	100	110	120
	315~630		80	90	100	110	120	140	160
	630~1 000		100	110	120	140	160	180	210
	1 000~1 600		120	140	160	180	210	240	270
	1 600~2 500		160	180	210	240	270	300	330
23~36	<315			60	70	80	90	100	
	315~630			80	90	100	110	120	140
	630~1 000			100	110	120	140	160	180
	1 000~1 600			120	140	160	180	210	240
	1 600~2 500			160	180	210	240	270	300

(续表)

台阶高度 h	零件总长度 L	零件相邻台阶的直径 D 或高度 B							
		<50	50~80	80~120	120~160	160~200	200~250	250~315	315~400
		锻出台阶或凹档的最小长度 $l^{①~④}$							
36~55	<315				60	70	80		
	315~630				80	90	100	110	
	630~1 000				100	110	120	140	160
	1 000~1 600				120	140	160	180	210
	1 600~2 500				160	180	210	240	270
55~80	<315								
	315~630					80	90	100	110
	630~1 000					100	110	120	140
	1 000~1 600					120	140	160	180
	1 600~2 500					160	180	210	240

注：① 端部台阶长度 $l_1 \geq l$ 时则应予锻出。

② 中间台阶长度 $l_2 \geq 0.8l$ 时则应予锻出。

③ 凹档长度 $l_3 \geq 1.5l$ 时则应予锻出。

④ 外形特别复杂的锻件，其台阶与凹档是否锻出，由锻件设计者视具体情况确定。

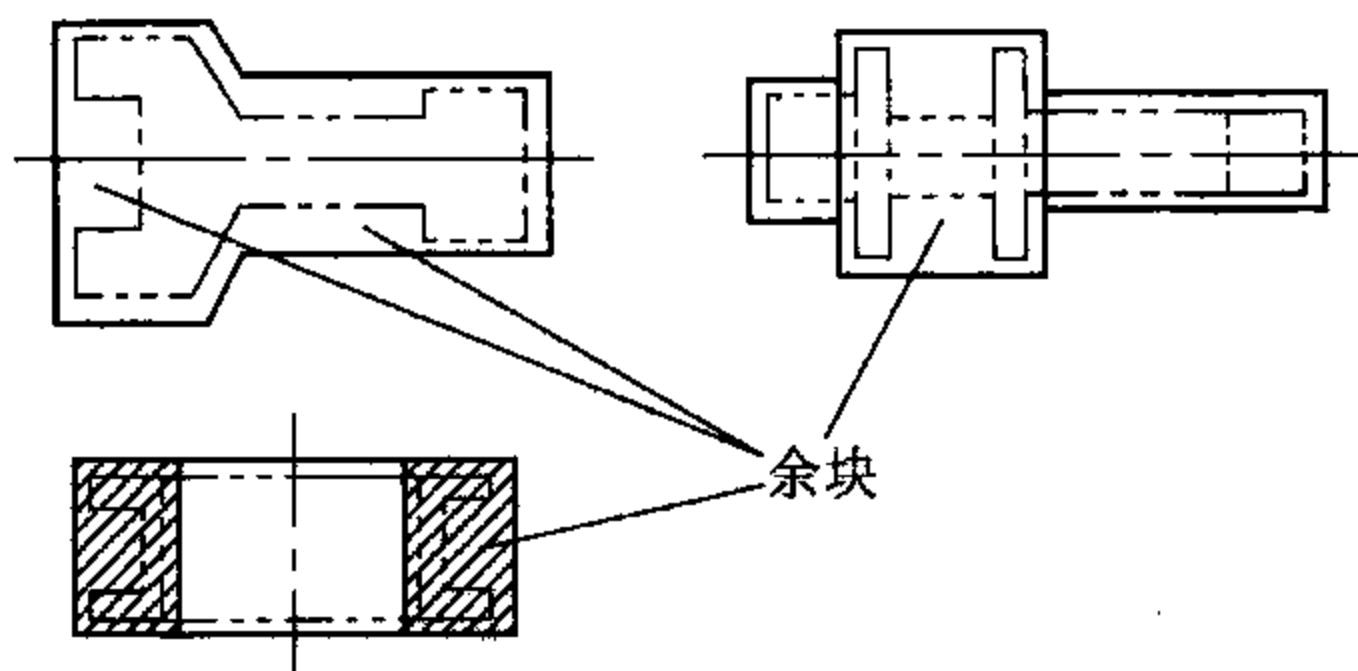


图 4.2-2 添加余块的锻件

2. 法兰的设计

法兰是指锻件上的短台阶。若台阶长度 L 仅为其截面尺寸 D 的 $0.25 \sim 0.5$ 倍, 而该截面尺寸又大于其相邻部分最大截面尺寸的 $1.35 \sim 1.5$ 倍时, 则该台阶称为法兰, 见图 4.2-3。

法兰几何参数的设计主要是在指定的截面尺寸条件下可锻出的法兰最小厚度或长度, 见表 4.2-2 和表 4.2-3。

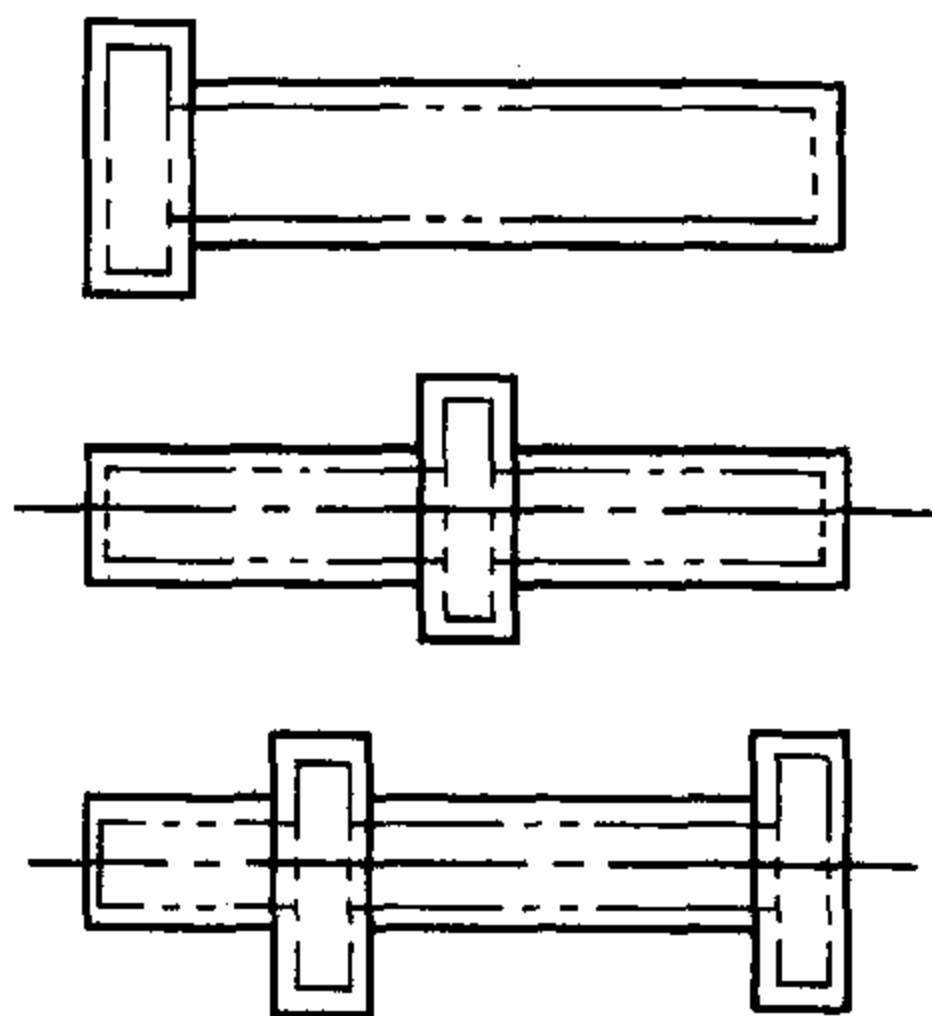
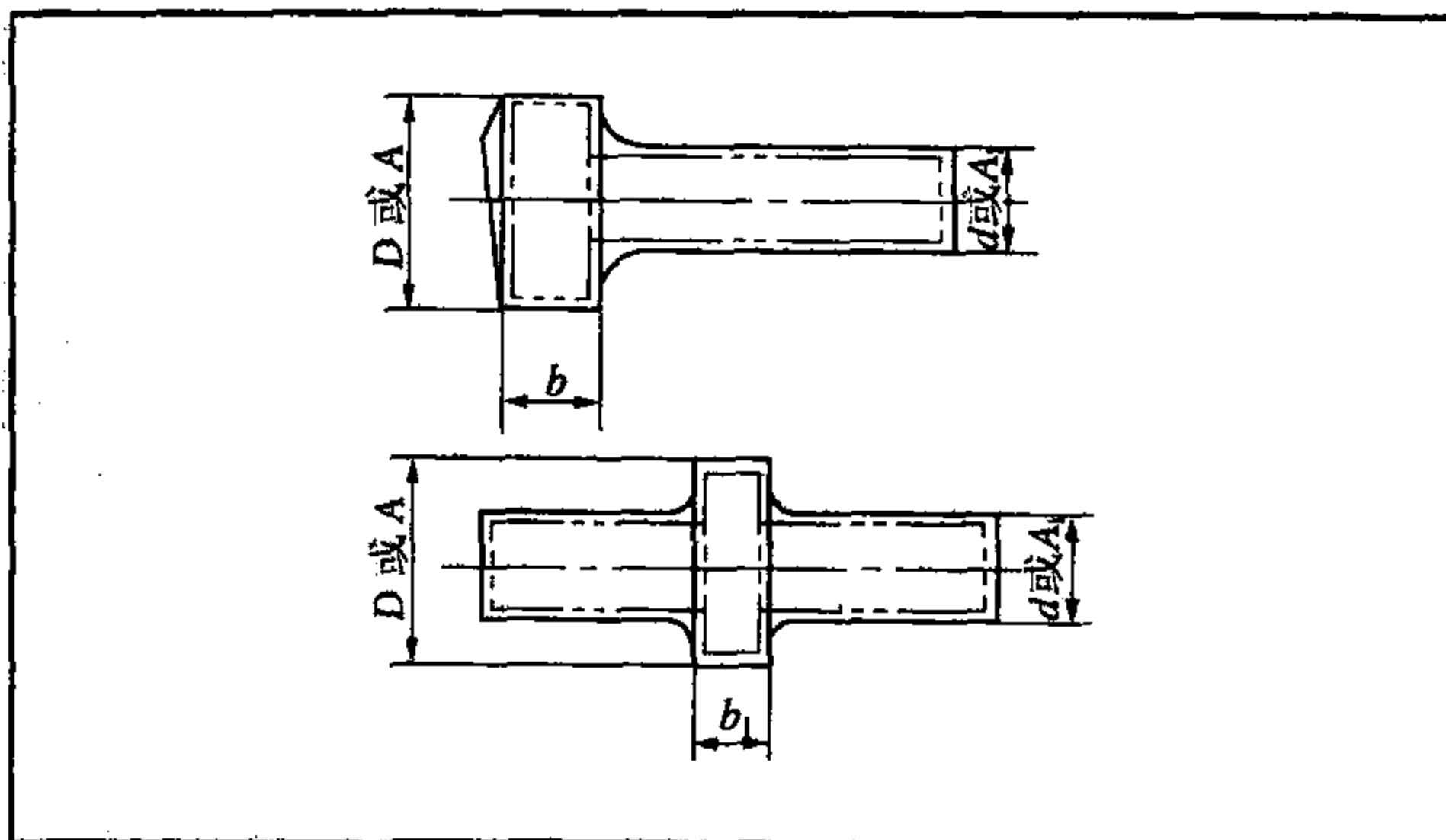


图 4.2-3 带法兰的锻件

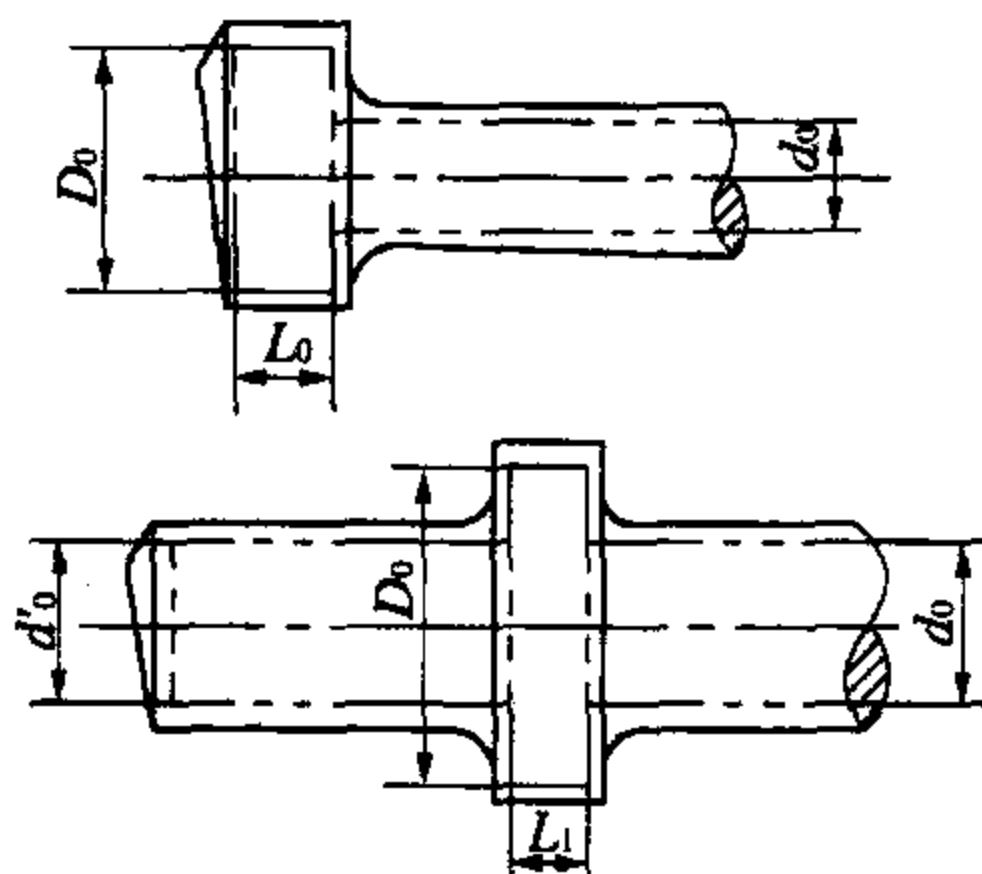
表 4.2-2 锤锻件法兰的最小锻出厚度 b 、 b_1 /mm



(续表)

与法兰相邻部分的直径 d 或边长 A_1	法兰直径 D 或边长 A															
	<50		50~80		80~120		120~160		160~200		200~250		250~315		315~400	
	b	b_1	b	b_1	b	b_1	b	b_1	b	b_1	b	b_1	b	b_1	b	b_1
<40	25	15	30	22	40	30	55	42								
40~50			26	20	36	28	50	39	65	51						
50~65			23	18	32	25	45	36	60	48	85	65				
65~80					28	22	40	33	55	45	80	60	110	80		
80~100					23	18	35	30	50	42	75	55	105	75	135	10
100~120							30	26	45	38	65	50	95	70	125	95
120~160									40	33	60	45	85	65	115	90
160~200											50	38	75	58	105	80
200~250													65	50	95	70
250~315															85	60

注：法兰按台阶轴类锻件加放余量后，其厚度值若小于表列数值，可增大至表列数值后再锻出。

表 4.2-3 水压机锻件法兰的最小锻出长度 L_0 、 L_1 /mm


L_0 或 L_1 d_0 或 d'_0	D_0											
		≤ 200	201 ~ 250	251 ~ 320	321 ~ 400	401 ~ 500	501 ~ 630	631 ~ 800	801 ~ 1 000	1 001 ~ 1 250	1 251 ~ 1 600	1 601 ~ 2 000
≤ 160		50/ 50	70/ 60	90/ 70	120/ 90	140/ 110	200/ 150					
161~200			60/ 50	80/ 60	110/ 80	130/ 100	180/ 140	260/ 200				
201~250				70/ 50	100/ 70	120/ 90	160/ 130	240/ 180	320/ 260			
251~320					90/ 60	110/ 80	150/ 120	220/ 160	300/ 240	420/ 300		
321~400						100/ 70	140/ 110	210/ 150	280/ 220	400/ 280	550/ 400	
401~500						90/ 60	120/ 100	190/ 140	260/ 200	380/ 260	500/ 360	650/ 500

(续表)

L_0 或 L_1 d_0 或 d'_0	D_0	≤ 200	201 ~ 250	251 ~ 320	321 ~ 400	401 ~ 500	501 ~ 630	631 ~ 800	801 ~ 1 000	1 001 ~ 1 250	1 251 ~ 1 600	1 601 ~ 2 000
501~630							110/ 90	170/ 120	240/ 180	340/ 240	480/ 330	610/ 480
631~800								140/ 100	220/ 160	300/ 220	440/ 300	570/ 440
801~1 000									170/ 120	280/ 200	400/ 280	520/ 400
1 001~1 250										220/ 180	350/ 250	440/ 350
1 251~1 600											260/ 220	400/ 320

注：表中斜杠前为端部法兰的最小锻出长度 L_0 ，斜杠后为中间法兰的最小锻出长度 L_1 。

3. 凸台的设计

凸台是指非轴类件上的突起部分，其高度尺寸 h 小于或接近于宽度方向尺寸 d 或 b ，见图 4.2-4。

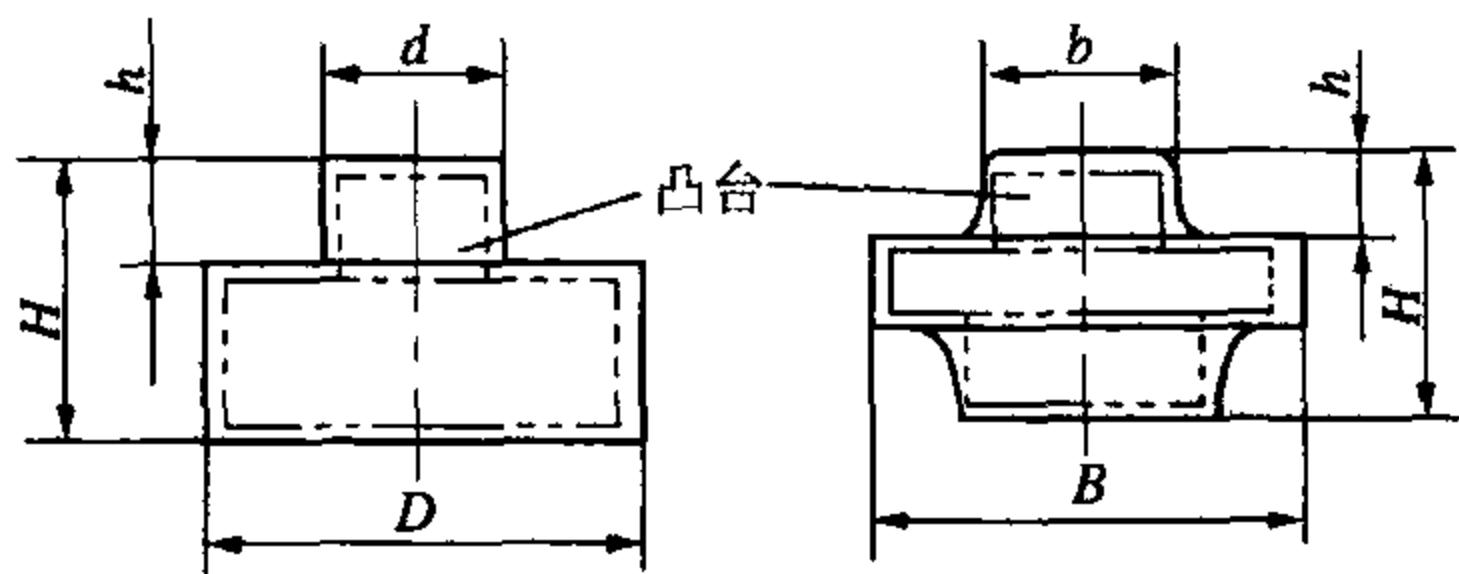


图 4.2-4 锻件的凸台

凸台通常是利用垫板或垫环等工具由墩粗压入成形的,因此,凸台的结构尺寸一般不做严格限制,但在以下情况下应予以注意:

① 对于圆盘形锻件,当直径 $D/d \leq 1.2$, 高度 $H \leq 4h$ 时,凸台可以不锻出。

② 对于非圆形锻件,当边长 $B/b \leq 1.2$, 高度 $H \leq 4h$ 时,凸台也可以不锻出。

4. 孔的设计

带孔的锻件,按其基本尺寸关系,大致可分为四类,如图 4.2-5。

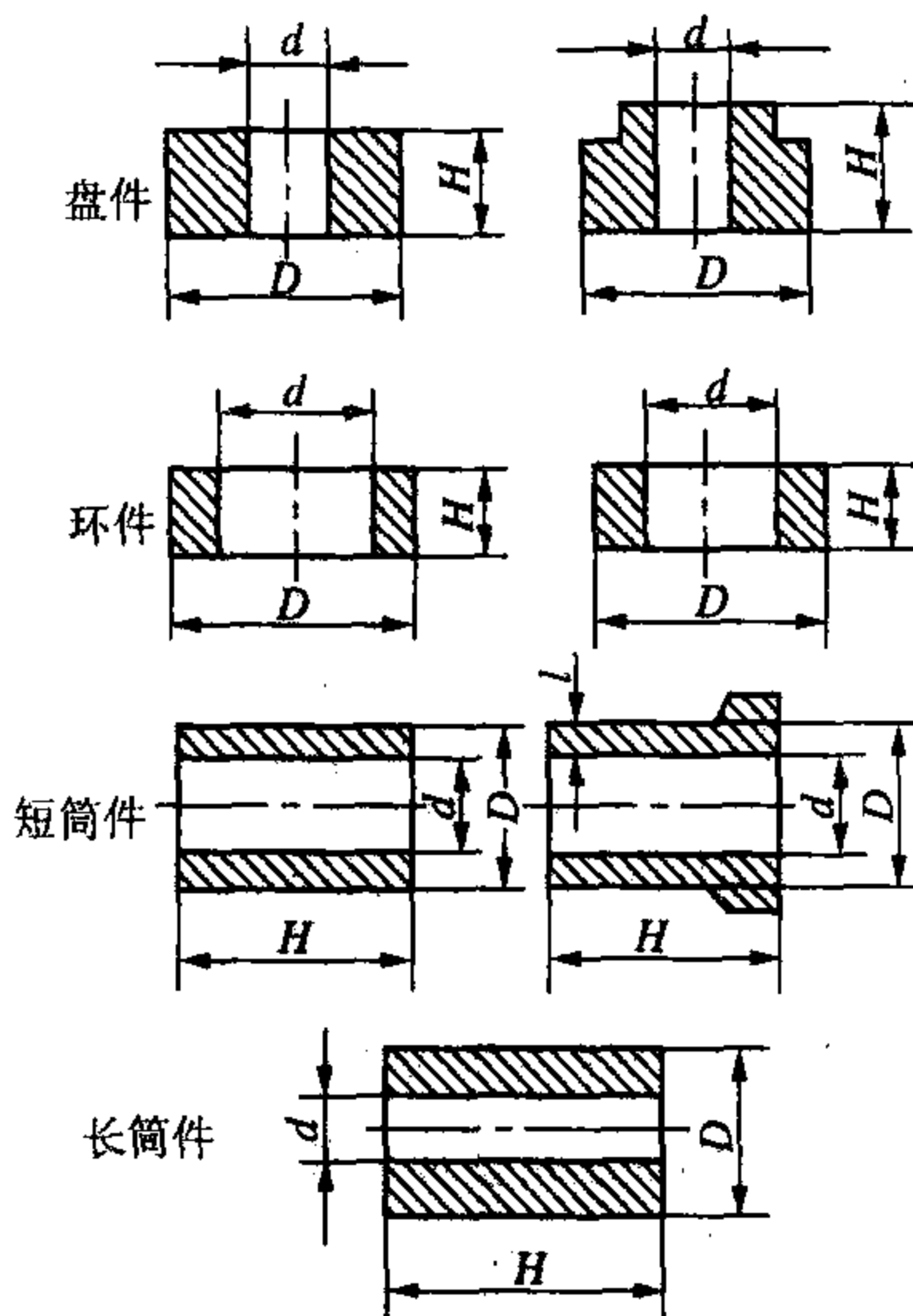


图 4.2-5 带孔的锻件

盘类锻件: $H \leq D, d \leq 0.5 D$;

环类锻件: $H \leq D, d > 0.5 D$;

短筒锻件: $H = (1 \sim 2) D, d > 0.5 D$;

长筒锻件: $H > 1.5 D, d < 0.5 D$ 。

自由锻件上孔的设计,一般遵循以下原则:

① 对于锤锻件,当 $d < 30 \text{ mm}$, $H > 3 d$ 或 $H \leq 3 D, d \leq 0.5 D$ 时的孔,一般均允许不锻出。

② 对于套筒件,当 $d < 30 \text{ mm}$ 或壁厚 $t < 12 \text{ mm}$ 时,亦可不锻出。

③ 对于水压机锻件,其直径 $d < 150 \text{ mm}$ 的孔,可不锻出。

二、自由锻件的加工余量和公差

自由锻件一般都需机械加工,因此自由锻件大多都加放加工余量。锻件尺寸和加工余量、公差的关系见图 4.2-6。

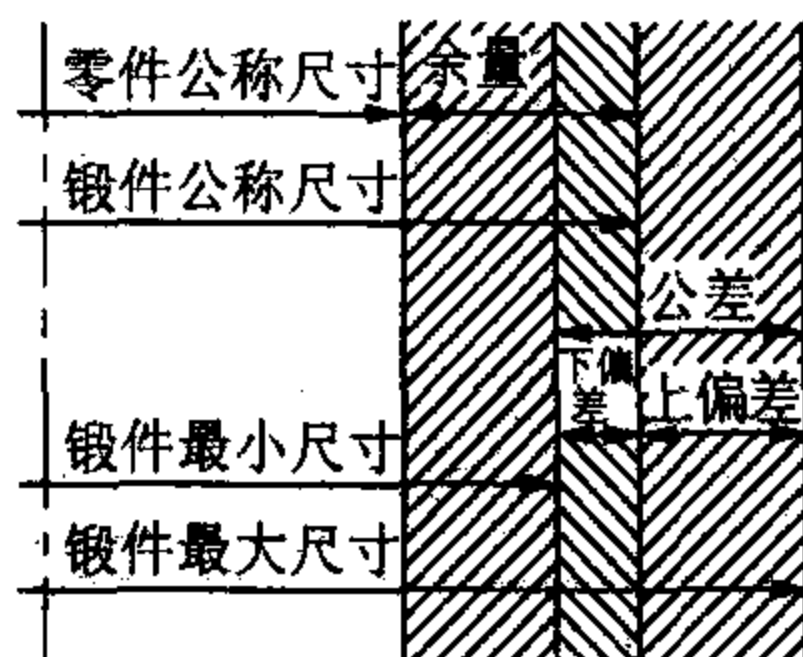


图 4.2-6 锻件尺寸、余量和公差的关系

1. 锤上自由锻件的加工余量和公差

锤上自由锻件的加工余量和公差,按 GB/T15826-1995 确定:

GB/T15826.1-1995 锤上钢质自由锻件机械加工余量与公差的一般要求;

GB/T15826.2-1995 盘、柱类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.3-1995 带孔圆盘类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.4-1995 环类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.5-1995 套筒类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.6-1995 光轴类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.7-1995 台阶轴类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.8-1995 单拐类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差;

GB/T15826.9-1995 黑皮类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差。

如表 4.2-4 为光轴类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差(GB/T15826.6-1995)。

2. 水压机上自由锻件的加工余量和公差

水压机上自由锻件的加工余量和公差,按 JB/T9179-1999 确定:

JB/T9179.1-1999 水压机上自由锻件机械加工余量与公差的一般要求;

JB/T9179.2-1999 圆轴、方轴和矩形截面类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差;

JB/T9179.3-1999 台阶轴类水压机上自由锻件的机械加工

工余量与公差;

JB/T9179.4-1999 圆盘和冲孔类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差;

JB/T9179.5-1999 短圆柱类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差;

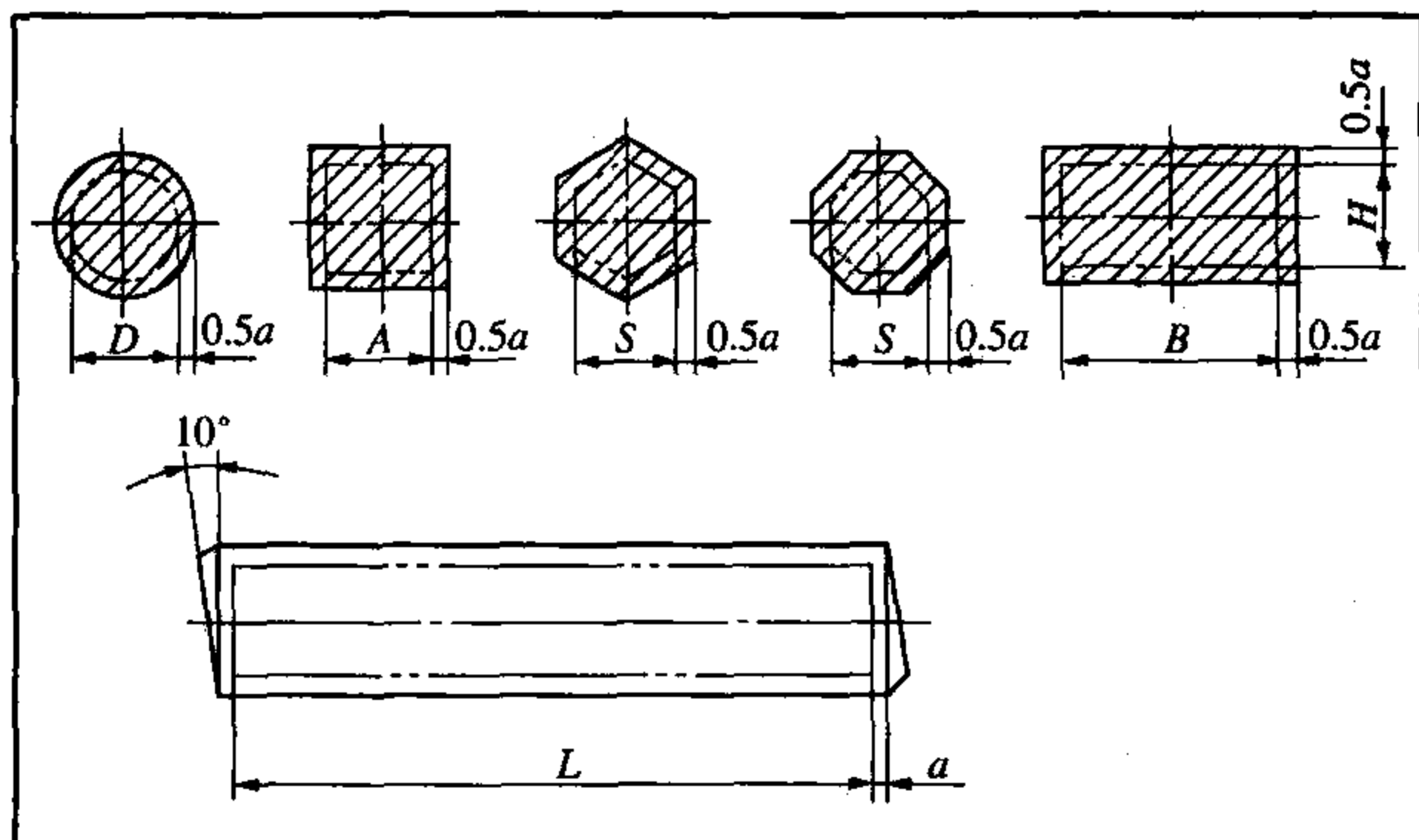
JB/T9179.6-1999 模块类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差;

JB/T9179.7-1999 筒体类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差;

JB/T9179.8-1999 圆环类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差。

如表 4.2-5 为圆轴、方轴和矩形截面类水压机上自由锻件的机械加工余量与公差(JB/T9179.2-1999)。

表 4.2-4 光轴类锤上钢质自由锻件的机械加工余量与公差/mm
(GB/T15826.6-1995)



(续表)

零件尺寸 $D, A, S,$ B, H_p		零 件 长 度 L							
		大于	0	315	630	1 000	1 600	2 500	4 000
		至	315	630	1 000	1 600	2 500	4 000	6 000
		余量 a 与极限偏差							
大于	至	锻件精度等级 F							
0	40	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	12 ± 5				
40	63	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	14 ± 6			
63	100	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	17 ± 7		
100	160	10 ± 4	11 ± 4	12 ± 5	14 ± 6	16 ± 6	17 ± 7	20 ± 8	
160	200		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	21 ± 9	
200	250		13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	17 ± 7	19 ± 8	22 ± 9	
250	315			16 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9	23 ± 10	
315	400			18 ± 8	19 ± 8	20 ± 8	22 ± 9		
大于	至	锻件精度等级 E							
0	40	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	11 ± 4				
40	63	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	11 ± 4	12 ± 5			
63	100	8 ± 3	9 ± 3	10 ± 4	12 ± 5	13 ± 5	16 ± 7		
100	160	9 ± 3	10 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	14 ± 6	16 ± 7	19 ± 8	
160	200		11 ± 4	12 ± 4	14 ± 6	15 ± 6	17 ± 7	20 ± 8	
200	250		12 ± 5	13 ± 5	15 ± 6	16 ± 7	18 ± 8	21 ± 9	
250	315			15 ± 6	17 ± 7	18 ± 8	20 ± 8	22 ± 9	
315	400			17 ± 7	18 ± 8	19 ± 8	21 ± 9		

注：矩形截面 H 的余量，以 H_p 代替 H 查表， $H_p = \frac{B+H}{2}$ 。

表 4.2-5 圆轴、方轴和矩形截面类水压机上自由锻件的
机械加工余量与公差/mm(JB/T9179.2-1999)

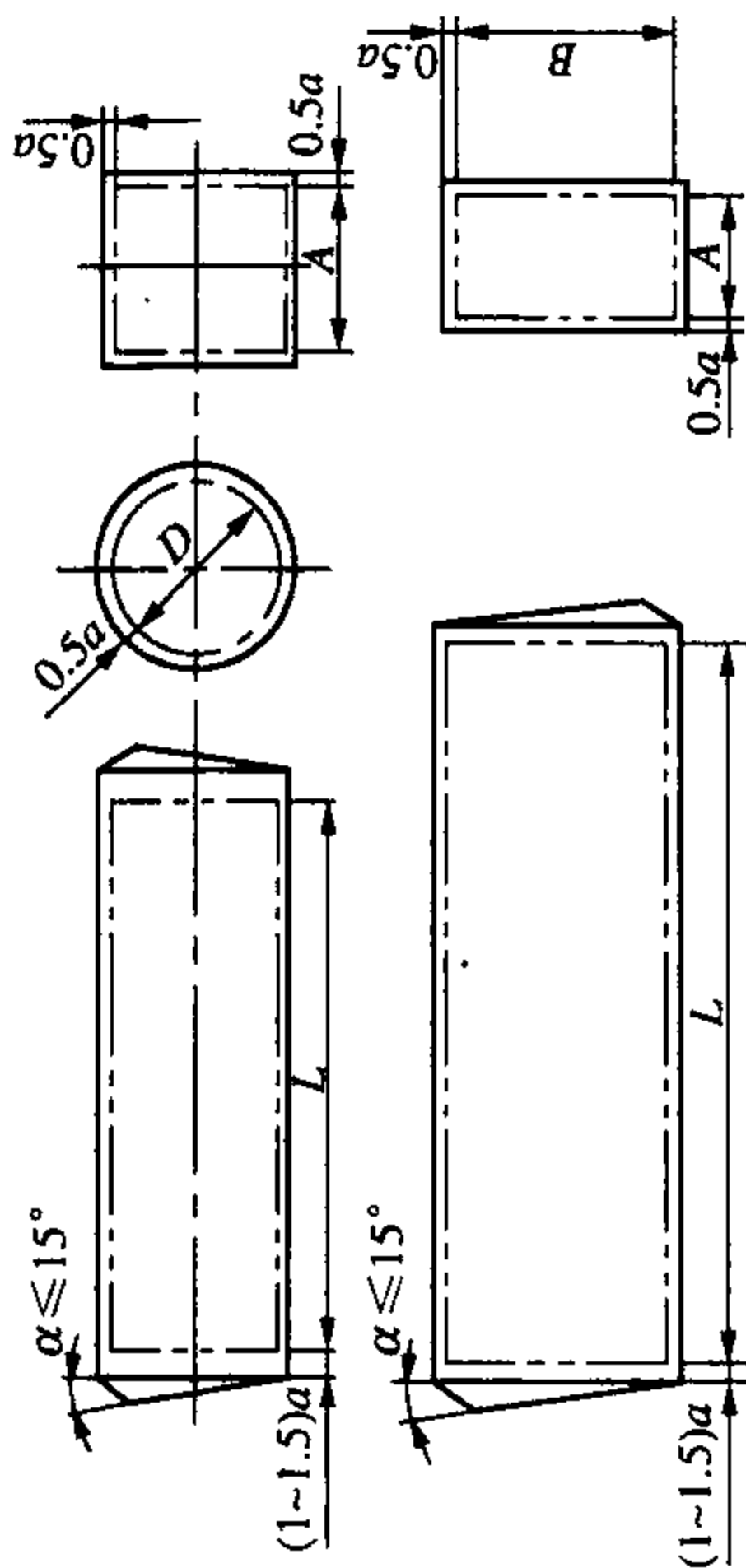
Technical drawings of a rectangular part with chamfers. The top view shows a rectangle with dimensions L and $(1-1.5)a$, and a circular hole with diameter D . The side view shows a rectangle with dimensions B and $(1-1.5)a$. The front view shows a rectangle with dimensions A and $(1-1.5)a$. The chamfer angle is labeled $\alpha \leq 15^\circ$. The chamfer width is labeled $0.5a$.

零件截面尺寸 B 、 A 、 D

大于	—	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600
至	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 100

余量 a 和 极限偏差

大于	至	余量 a 和 极限偏差											
—	1 000	16±5	18±6	20±7	22±7	24±8	26±9	28±10	30±10	—	—	—	—
1 000	1 600	18±6	20±7	22±7	24±8	26±8	28±9	30±10	32±11	34±11	37±12	—	—



(续表)

零件长度 L	零件截面尺寸 B 、 A 、 D												
	大于	—	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600
	至	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 100
大于	至	余量 a 和 极限偏差											
1 600	2 500	20±7	22±7	24±8	26±9	28±9	30±10	32±11	34±11	37±12	40±13	43±14	—
2 500	4 000	22±7	24±8	26±9	28±9	30±10	32±11	34±11	37±12	40±13	43±14	46±15	49±16
4 000	6 300	24±8	26±9	28±9	30±10	32±11	34±11	37±12	40±13	43±14	46±15	49±16	54±18
6 300	8 000	—	28±9	30±10	32±11	34±11	37±12	40±13	43±14	46±15	49±16	54±18	59±20
8 000	10 000	—	—	32±11	34±11	37±12	40±13	43±14	46±15	49±16	54±18	59±20	—
10 000	12 500	—	—	—	37±12	40±13	43±14	46±15	49±16	54±18	59±20	—	—
12 500	16 000	—	—	—	—	43±14	46±15	49±16	54±18	59±20	—	—	—
16 000	20 000	—	—	—	—	—	49±16	54±18	59±20	—	—	—	—

三、自由锻件其他技术要素的确定

1. 锻件物理、化学性能检测部位的确定(表 4.2-6)

表 4.2-6 锻件物理、化学性能检测部位的确定

检测项目	检测部位选择的原则
力学性能	① 顺零件的主应力方向切取纵向试样;在零件高应力部位切取纵向、横向和高度方向试样 ② 零件有金属流线要求的部位 ③ 锻造变形量最小的部位 ④ 靠近钢锭冒口一端的部位 ⑤ 在锻件截面内,圆形实心件一般在距表面 $1/3$ 半径处切取;矩形实心件在距表面 $1/6$ 对角线处切取;空心件则在 $1/2$ 壁厚处切取
低倍组织	① 金属流线有要求处或最能反映金属合理流向的断面上切取流线检验试样 ② 横向低倍试片尽可能取在最大截面处 ③ 纵向低倍试片应取在零件的主轴线断面上 ④ 用钢锭直接锻造成形的锻件,其低倍试片应在近冒口一端处切取
低倍断口	① 在锻件易产生过热的部位切取试片 ② 在锻件变形量最小的部位切取试片 ③ 一般情况下,可在横向低倍试片上检验断口
显微组织	① 锻件最大截面处(检验非金属夹杂、晶粒度) ② 零件的高应力部位(检验夹杂、晶粒度、过热) ③ 锻件变形最剧烈、温升最严重处(检验过热和晶粒度) ④ 铝合金锻件检验过热、过烧,应在其最小截面并靠近其表面部位取样

(续表)

检测项目	检测部位选择的原则
无损检验	<p>对自由锻件进行无损检验,主要用超声波探伤,有些锻件也可在粗加工后用荧光渗透、磁粉深透、X-射线等无损检验法。超声波检验分为全面检验和分区检验两种。分区检验是在锻件上的不同部位采用不同灵敏度等级的标准进行测试。区域的划分应符合零件图样的要求,并在锻件图样中做出相应的规定</p>

2. 流线设计

自由锻件的锻造流线不如模锻件的清晰和平直。重要的自由锻件设计时,必须根据零件受力条件的要求在锻件图上作出明确的规定。

四、锻件图

自由锻件的锻件图,是在零件图的基础上,加上机械加工余量、锻造公差、锻造余块,并考虑检验试样和工艺卡头等绘制而成的。

锻件图上的锻件形状用粗实线绘制,零件的形状用双点划线绘制,锻件的公称尺寸和公差标注在尺寸线的上面,零件公称尺寸标注在尺寸线下面并加括号。

第三节 锤上自由锻造

一、常用工具

锤上自由锻造常用的工具,见表 4.3-1。

表 4.3-1 锤上自由锻造常用工具

工具名称	用 途	材 料
剁刀	切断或劈开坯料	T7、T8
扁方压棍 (克棍)	与剁刀配合使用,清除剁切后的连皮和毛刺	45、50
圆压棍	锻台阶轴时分离金属和压出分段标记	
三角压棍 (偏刃剁刀)	锻曲轴、连杆类锻件时,在相邻两部分断面相差很大的地方分离金属,压出分断标记	T7、T8
平面垫铁	是进行错移的必备工具,也用于弯曲、校直、局部成形等,通用性很强	45、50
斜面垫铁	锻斜面	
弧面垫铁	锻斜面或弧形面,也可用于校直和局部成形,通用性很强	
90°垫铁	和 90°下槽配合使用	
90°下槽	锻造弯头等具有直角外形的锻件;和 90°垫铁配合使用,可以压制各种专用钳的钳口;用于弯曲工序	
60°下槽	锻制六方体锻件,也可用于弯曲工序	
110°下槽	代替型砧进行芯轴拔长,也可用于弯曲工序	
圆弧下槽	用于局部圆弧面成形或弯曲,校直时作为垫铁,通用性很强	45、50
冲子	冲孔	T7、T8
过冲子 (扩孔冲子)	冲孔后,在较小的范围内扩大孔径	45、T7

(续表)

工具名称	用 途	材 料
漏盘	是冲孔和用过冲子扩孔时的垫托工具,也用于锻制各种法兰盘等,通用性很强	45、50
马杠	和马架配合使用	
马架	锻造大型圆环件用,使冲孔后能在很大范围内扩大孔径	Q235
压环	锻造大型有凸圆台的法兰或其他同类型锻件	45、T7
通用钳子	用于夹持坯料,通用性很强	Q275、35
专用钳子	有圆口、方口、扁口、方钩等各种专用钳子,用于夹持各种形状的坯料进行拔长	
羊角钳	适用于较大型锻件或坯料的夹持、滚动、翻转等操作,可代替抬钳或抱钳,通用性很强	35、45
抱钳	用于较大坯料的镦粗和滚圆	Q275、35
抬钳	用于较大坯料的搬运	

二、镦粗

将毛坯局部或全部横截面面积增大、高度减小的锻造工序称为镦粗。

1. 镦粗变形区

在平砧上镦粗圆柱形毛坯时,其变形分布如图 4.3-1 所示。

Ⅰ区:受摩擦和砧子激冷影响最大,该区变形十分困难,称为“难变形区”。

Ⅱ区:不但受摩擦的影响较小,应力状态也有利于变形,该区变形程度最大,称为“大变形区”。

Ⅲ区:其变形程度介于Ⅰ区和Ⅱ区之间,称为“小变形区”。因鼓形部分存在切向拉应力,容易引起表面产生纵向裂纹。

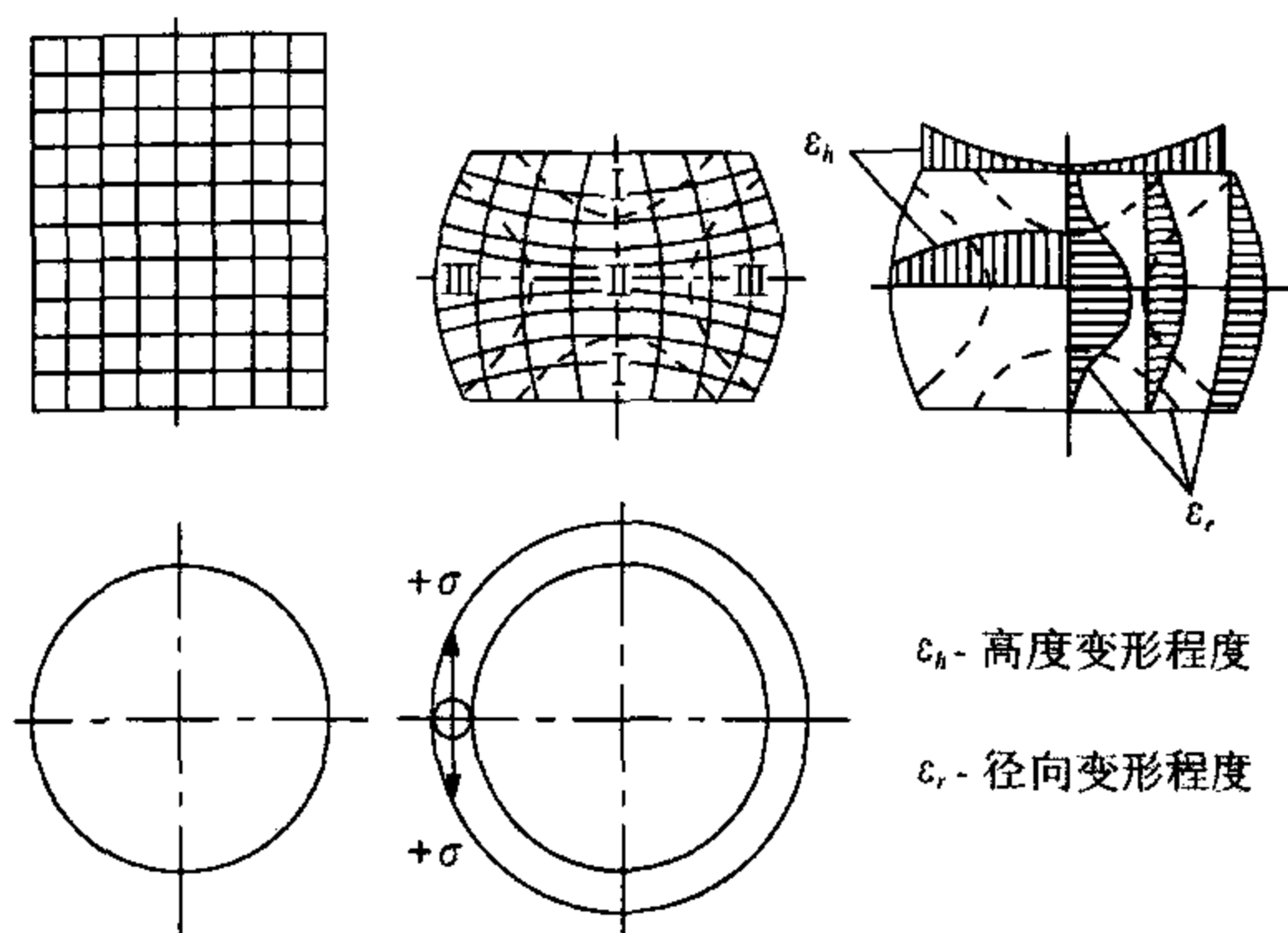


图 4.3-1 圆柱体坯料镦粗时的变形分布

2. 镦粗工艺规则

① 使用钢锭做原料时,应先将钢锭倒棱并切除冒口和底部,重新加热后再镦粗。

② 镦粗前应将坯料加热到始锻温度并使温度均匀。

③ 圆柱体坯料镦粗时,高径比应小于 2.5~3.0;方形柱体坯料镦粗时,坯料长度与截面最小边长之比应小于 3.5~4.0。

④ 高径比大于 3.0 的小型坯件,用手工操作也可以进行镦粗,但要采取各种矫正措施以防止出

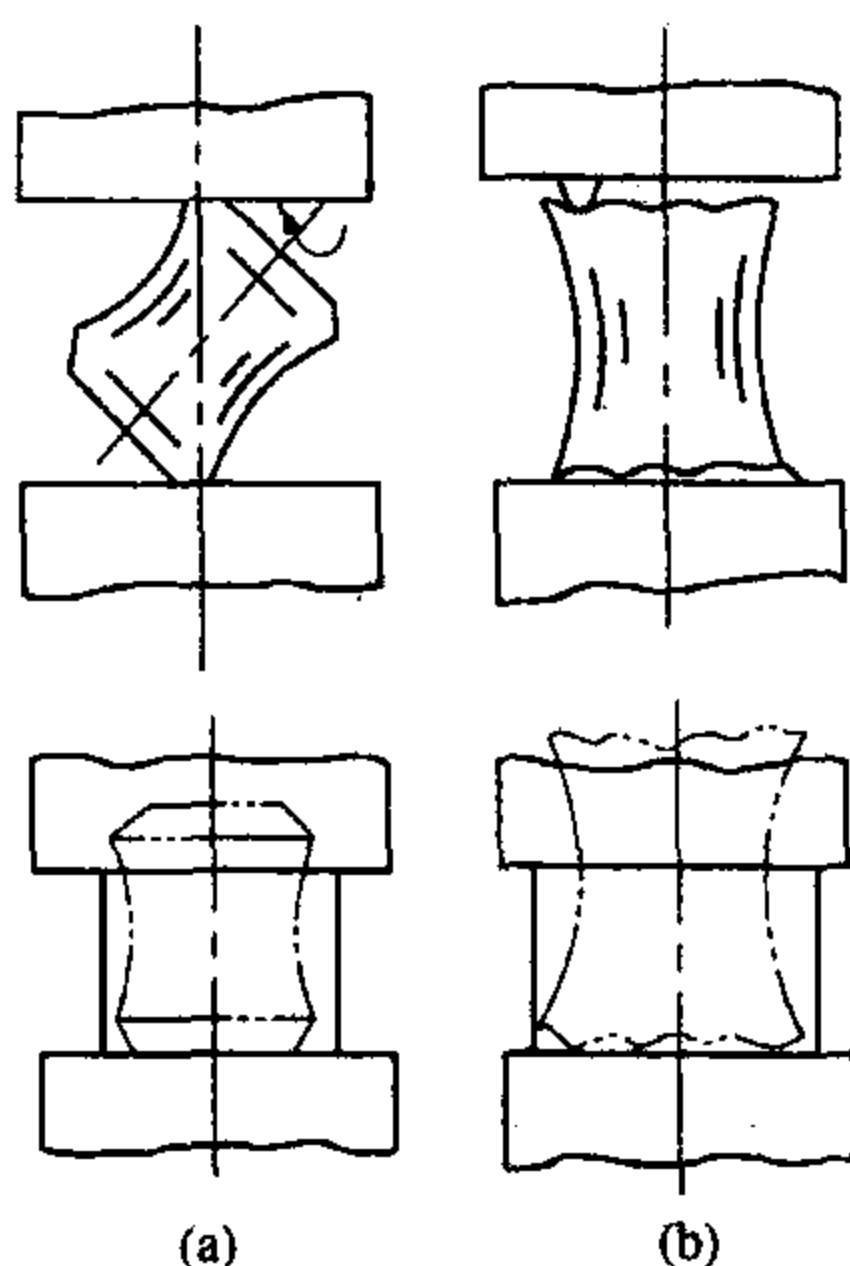


图 4.3-2 凹形坯料镦粗

现折纹。

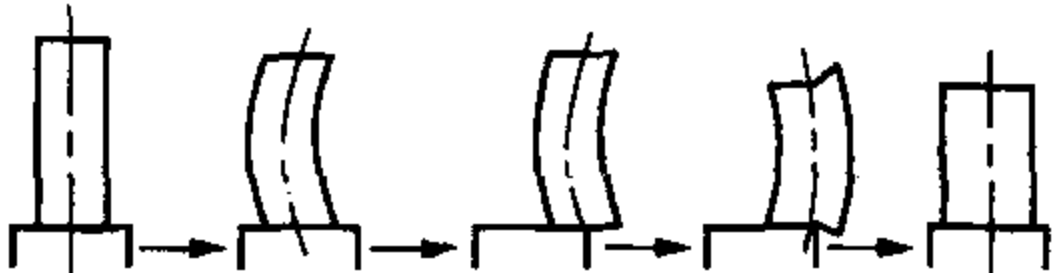
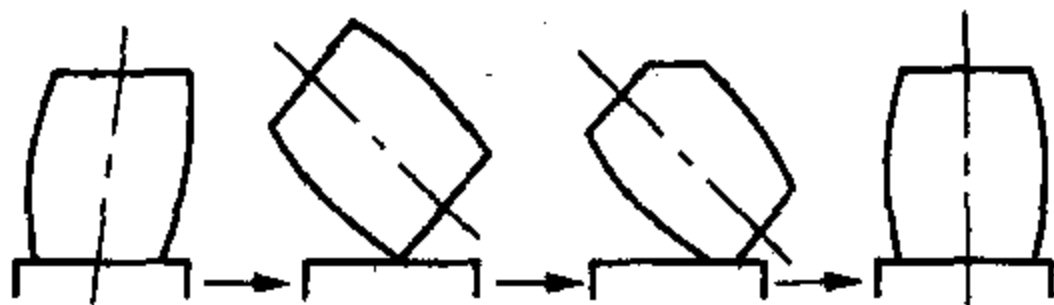
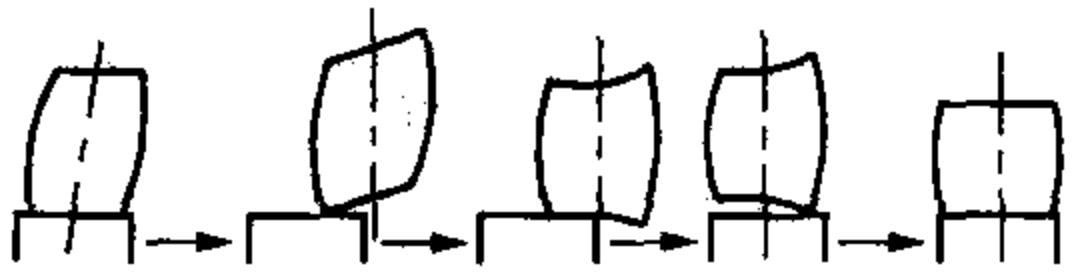
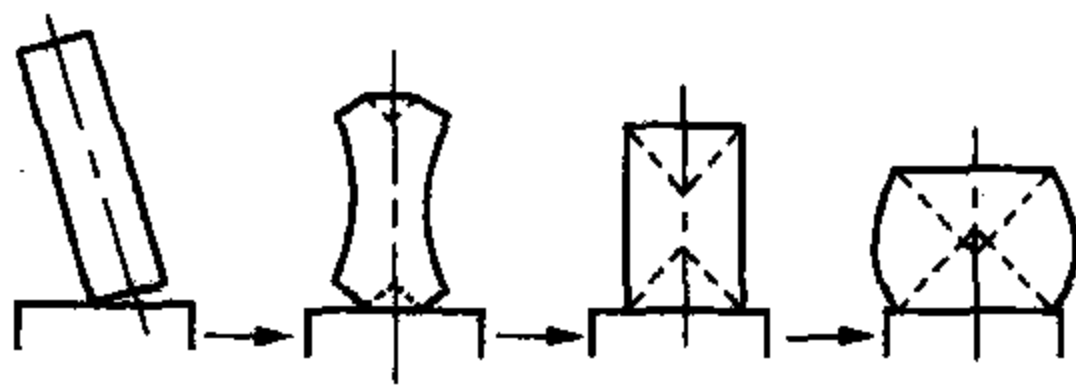
3. 预防和矫正锻粗缺陷的方法

锻粗过程中主要的变形缺陷有：产生鼓形、弯曲和歪斜。

① 减小鼓形的工艺措施可采用凹形坯料锻粗，见图 4.3-2。

② 防止弯曲和歪斜的工艺措施见表 4.3-2。

表 4.3-2 预防和矫正锻粗缺陷的方法

方 法	变 形 过 程
预弯曲锻粗法	
倒棱重锻法	
砧边矫正法	
铆锻法	

三、拔长和芯轴拔长

1. 拔长

拔长是使毛坯长度增加、横截面面积减小的工序。它除了用于锻件成形外,还常用来改善锻件的内部组织、提高力学性能。

(1) 拔长操作的基本方法

拔长操作的基本方法有三种,如图 4.3-3 所示。

① 沿螺旋线翻转 90° 拔长,常用于塑性较低的材料,见图 4.3-3(a)。

② 反复翻转 90° 拔长,常用于塑性较好的材料,见图 4.3-3(b)。

③ 单向顺序拔长,常用于大型锻件,见图 4.3-3(c)。

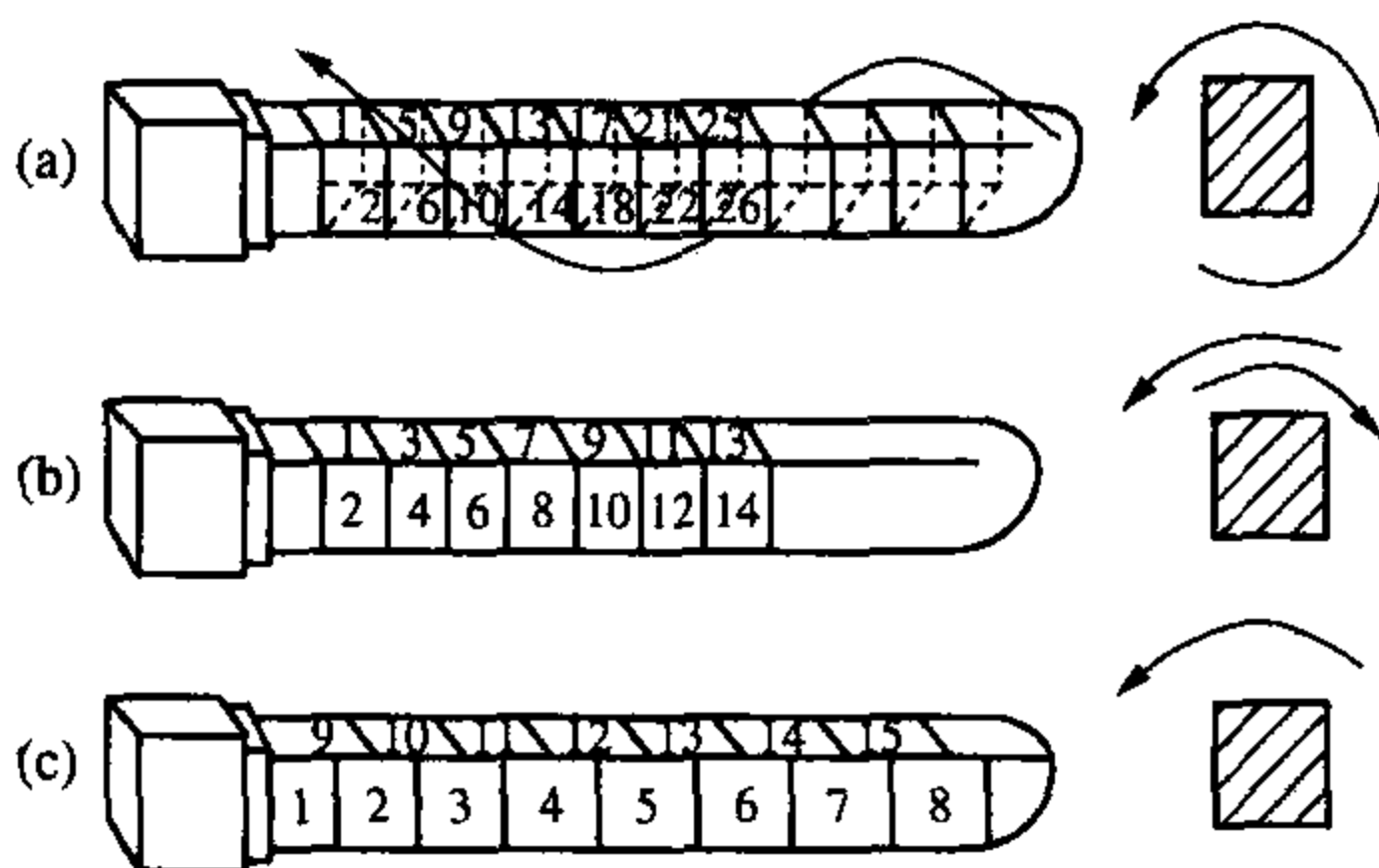


图 4.3-3 拔长操作方法

(2) 拔长工艺规则

① 为了提高生产效率和保证锻件质量,拔长时的每次送进量 L 应小于坯料宽度 B ,大于坯料厚度 H 的 40%(图 4.3-4),即 $B > L > 0.4H$,以 $L = (0.6 \sim 0.8)H$ 为好。

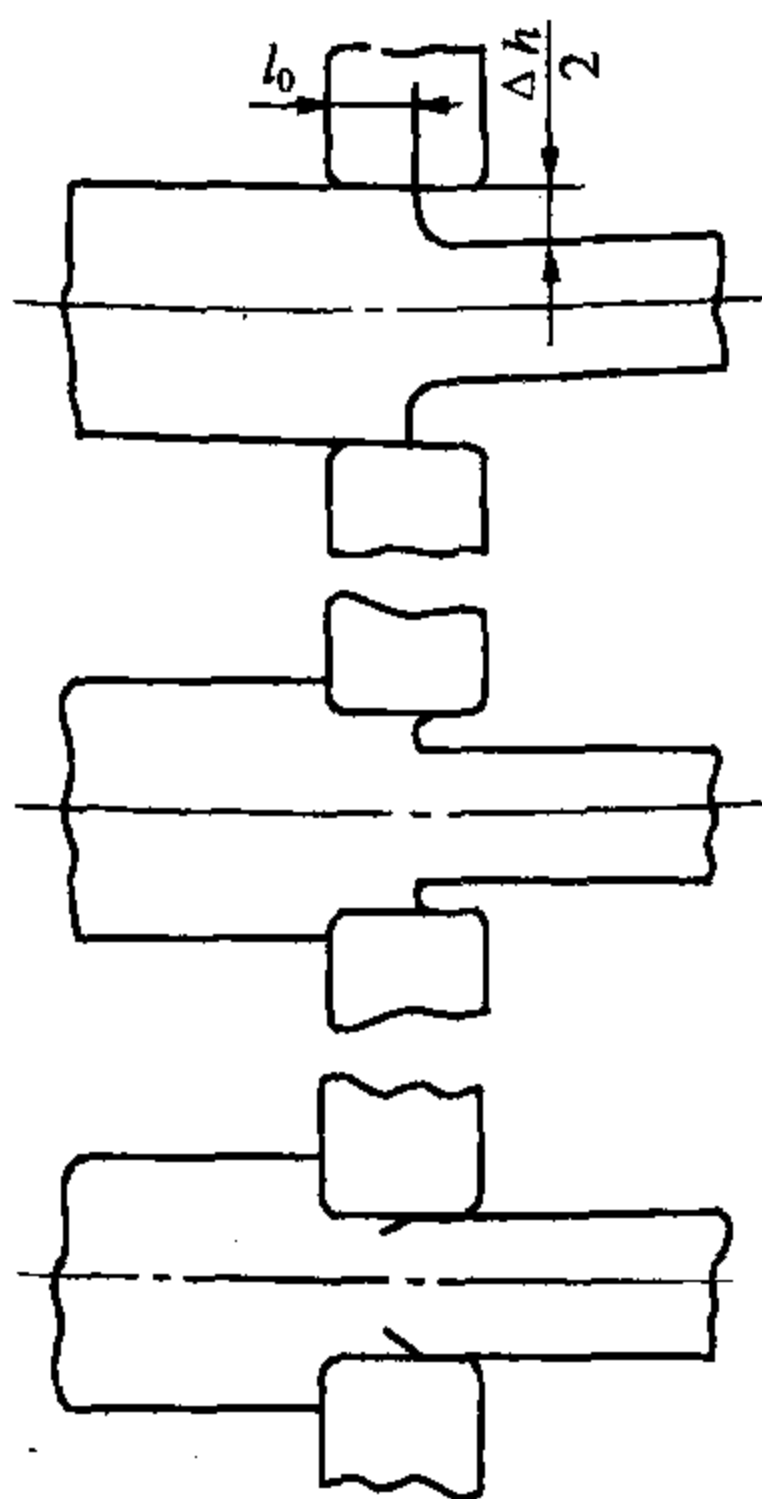
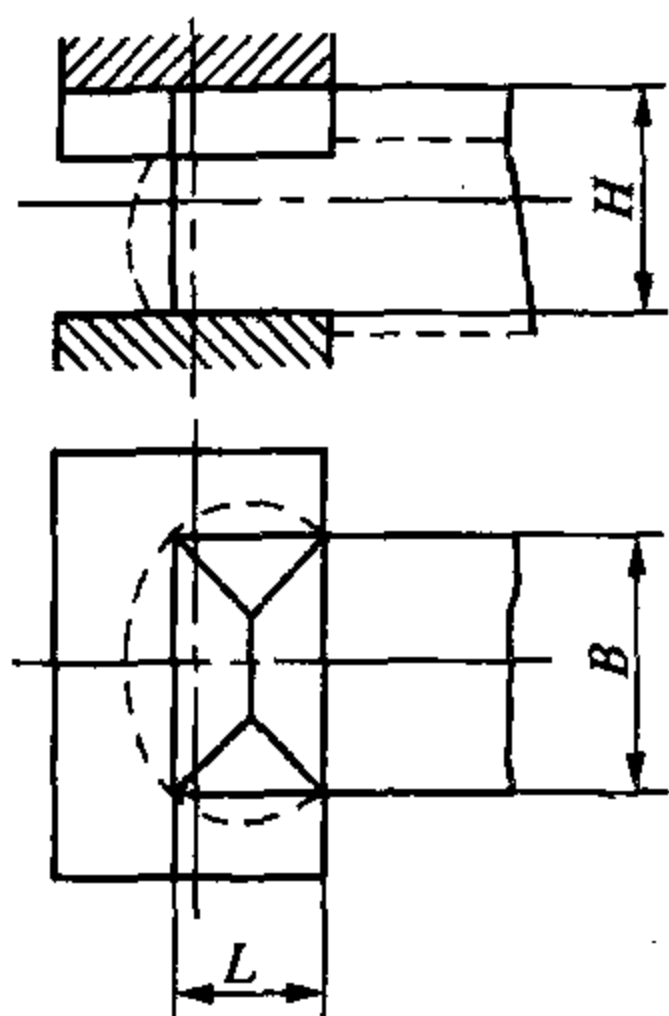


图 4.3-4 拔长时的每次送进量 图 4.3-5 压下量太大时产生折纹示意图

② 为保证锻件质量,避免出现折纹,每次送进后的压下量不能太大,应使单边压下量 $\Delta h/2$ 小于送进量 l_0 ,如图 4.3-5 所示。

③ 拔长短坯料时,可从坯料的一端拔至另一端;而拔长长坯料和钢锭时,则应从坯料的中间向两端拔。

④ 拔长台阶轴锻件时,为了锻出台阶和凹档,应先用三角压肩或圆棒压痕,切出所需坯料长度再分段拔长。

⑤ 拔长坯料端部时,为防止端部出现凹心和夹层,端部的最小压料长度 A 应满足以下规定:对圆形截面的坯料, $A > 1/3 D$; 对矩形截面的坯料,当 $B/H > 1.5$ 时, $A > 0.4 B$, 当 $B/H < 1.5$

时, $A > 0.5 B$, 如图 4.3-6 所示。

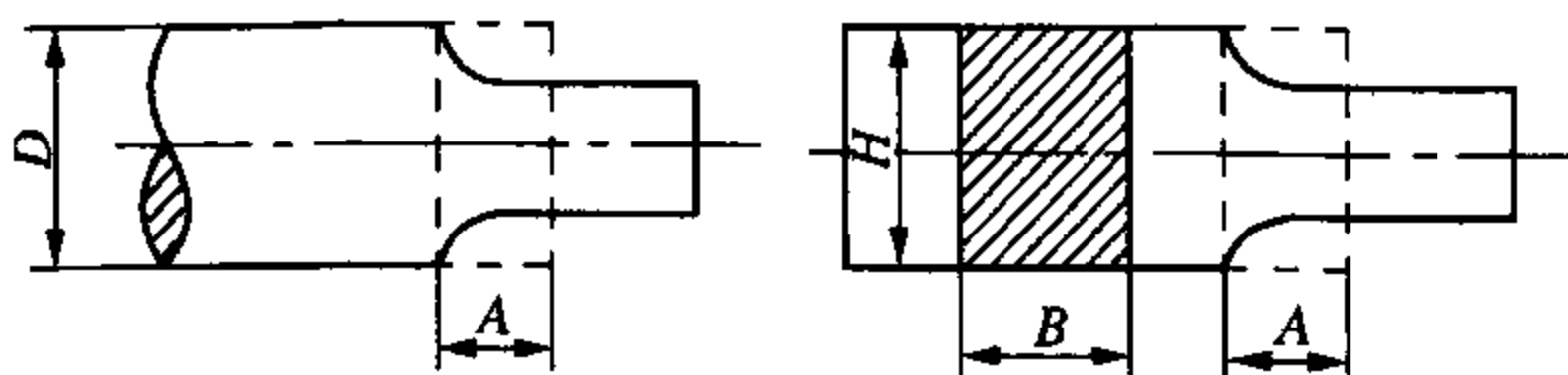


图 4.3-6 端部拔长时的压料长度

⑥ 拔长时如坯料原始截面是圆形, 最终对锻件的要求也是圆形, 应按圆→方→圆的顺序进行拔长, 并以方形拔长为主要变形阶段, 如图 4.3-7 所示。

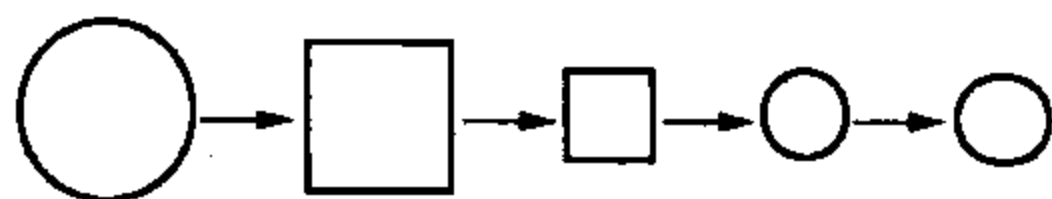


图 4.3-7 拔长圆形坯料时的截面变化过程

2. 芯轴拔长

在芯轴上使管状或环状空心坯料的外径减小而长度增大的锻造工序, 如图 4.3-8 所示。用以锻造各种长筒锻件。

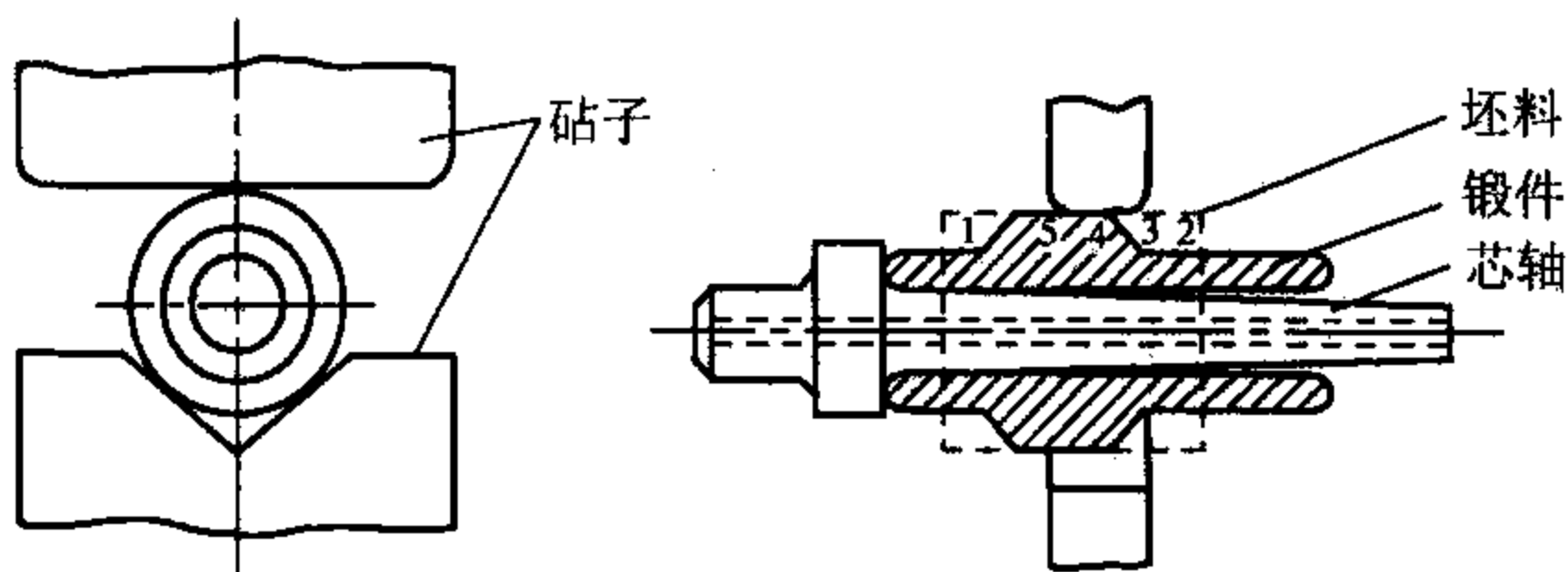


图 4.3-8 芯轴拔长

芯轴拔长应遵守以下工艺规则：

① 应将坯料加热到允许的最高温度，并将芯轴和砧子等工具预热到 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

② 芯轴做成 $1/100\sim 1/150$ 斜度，并要求芯轴表面光滑，拔长时涂以润滑剂（石墨加油），以减小轴向摩擦阻力。

③ 为改善芯轴拔长时坯料的应力状态，可采用型砧拔长，型砧选用原则如下：

$b/d_{\text{芯轴}} < 0.5$ 时，上、下砧均用 V 形型砧；

$b/d_{\text{芯轴}} > 0.5$ 时，下砧用 V 形型砧，上砧用平砧。

$b/d_{\text{芯轴}}$ ——坯料壁厚和芯轴直径。

无论是在型砧还是在平砧上拔长，拔长过程均应以六角形为主要变形阶段，即：圆→六角→圆。

④ 芯轴拔长时的坯料高度 H_0 ，通常取等于坯料直径的 $0.6\sim 1.0$ 倍。

⑤ 为避免锻件两端产生裂纹，应在高温下先锻坯料两端，然后再拔长中间部分，拔长顺序按图 4.3-8 操作。

四、冲孔和扩孔

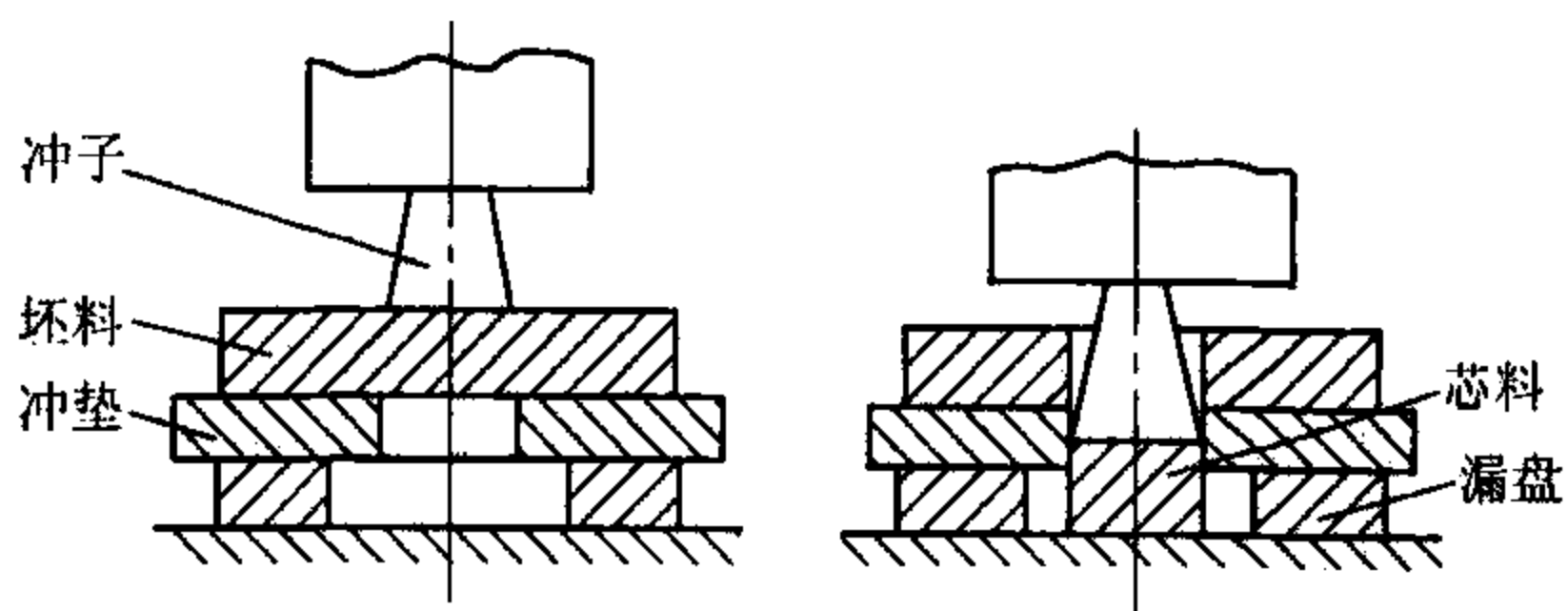
1. 冲孔

在坯料上锻出通孔或盲孔的锻造工序称为冲孔，用于锻造各种带孔锻件和空心锻件。

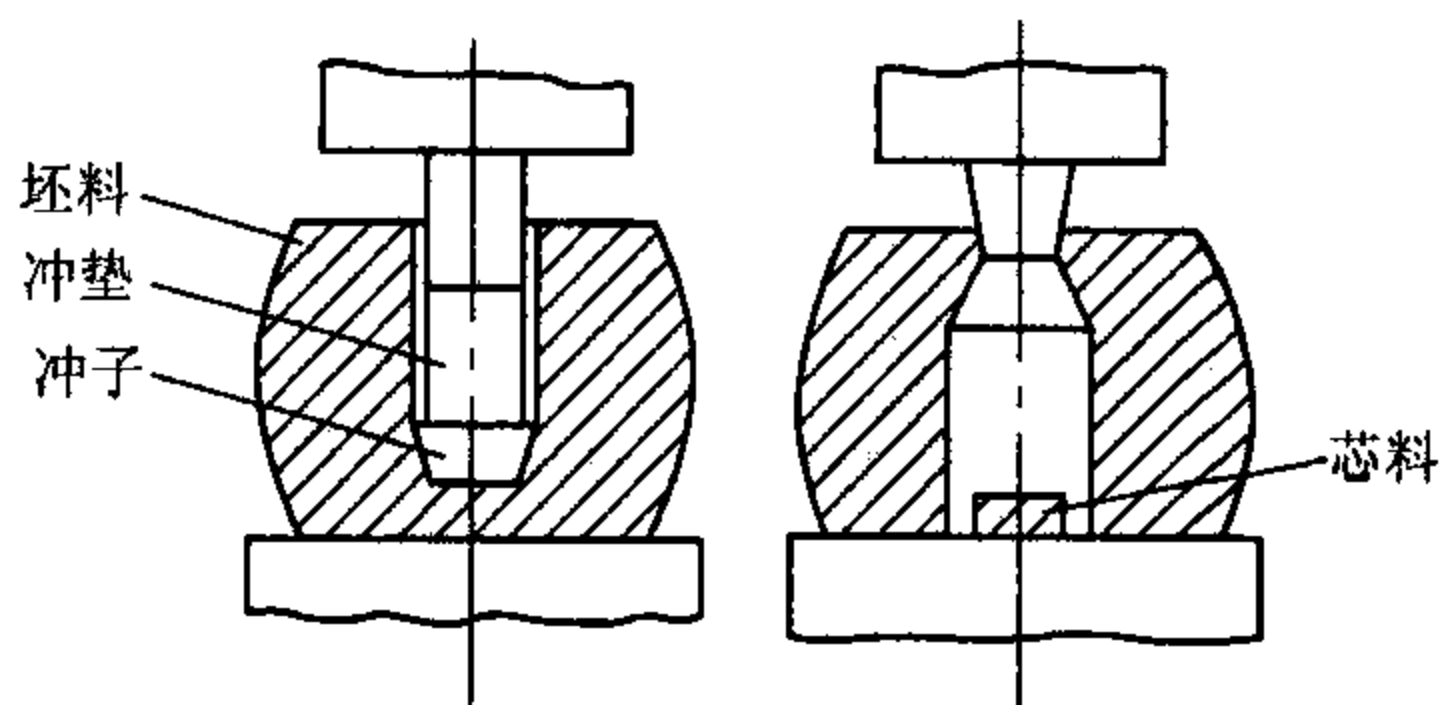
(1) 常用的冲孔方法

常用的冲孔方法有三种，即在漏盘上冲孔、实心冲子冲孔和空心冲子冲孔，见图 4.3-9。

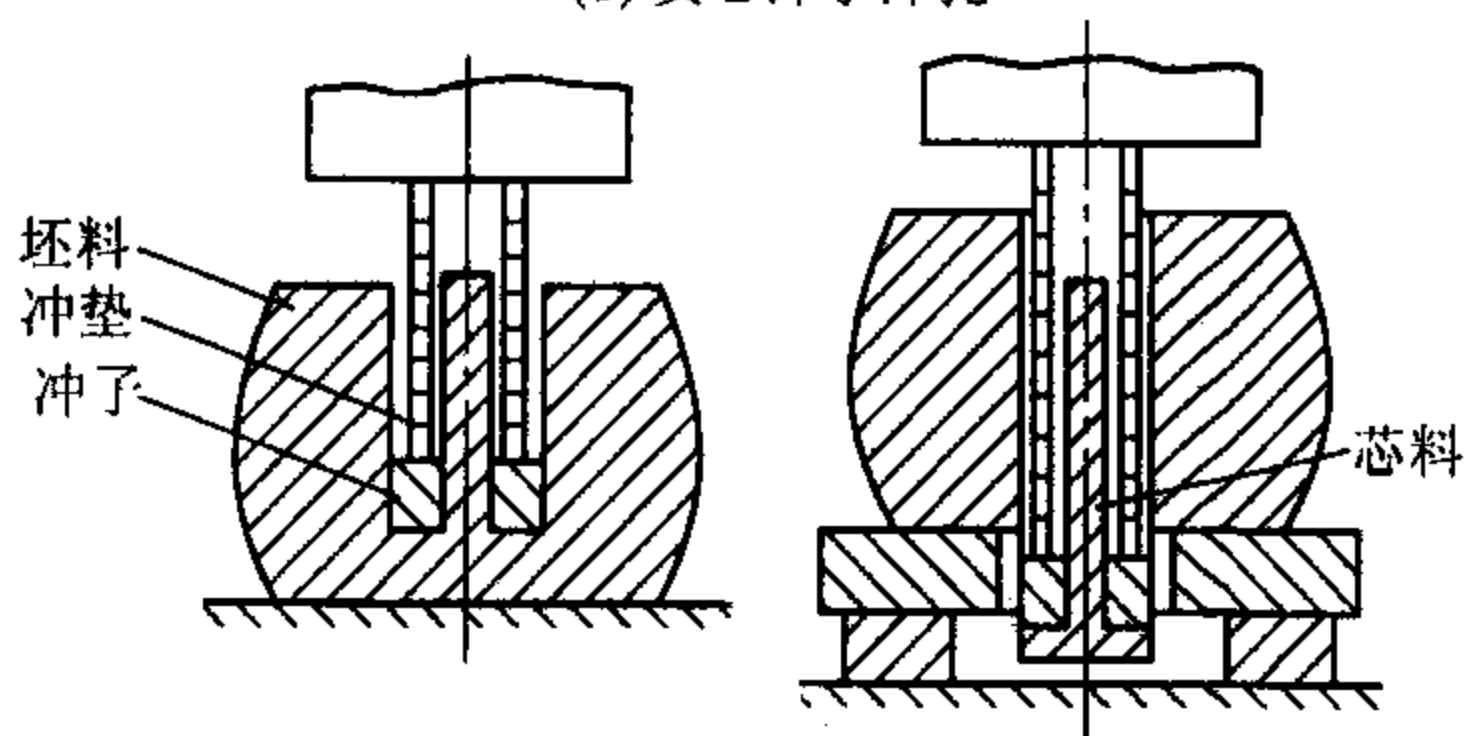
(2) 各种冲孔方法的变形特点、应用范围和工艺参数见表 4.3-3。



(a) 在漏盘上冲孔



(b) 实心冲子冲孔



(c) 空心冲子冲孔

图 4.3-9 冲孔方法

表 4.3-3 冲孔方法、变形特点和应用范围

冲孔方法	变 形 特 点	应用范围和工艺参数
在漏盘上冲孔	主要是剪切作用,坯料形状变化小,但芯料损失大。芯料高度为冲孔前坯料厚度的 0.7 ~ 0.75 倍	用于高径比 < 0.125 的薄饼形锻件
实心冲子冲孔	冲头下面的金属处在圆环包围下墩粗并被挤向四周,坯料高度减小,直径增大,且上端面凹陷,下端面略有凸起,圆环切向产生拉应力。芯料厚度为坯料高度的 0.25 倍	用于冲一般孔的工艺参数为: $D_0/d_1 \geq 2.5 \sim 3.0$ $H_0 \leq D_0$ D_0 ——实心坯料直径 d_1 ——冲头直径 H_0 ——坯料高度
空心冲子冲孔	空心冲子冲入时,在冲子下面的材料被墩粗和剪切,除小部分挤向四周外,大部分被剪切,并留在冲子的孔内。毛坯形状变化小,芯料损失小,冲孔力小	用于冲直径大于 400 mm 的孔

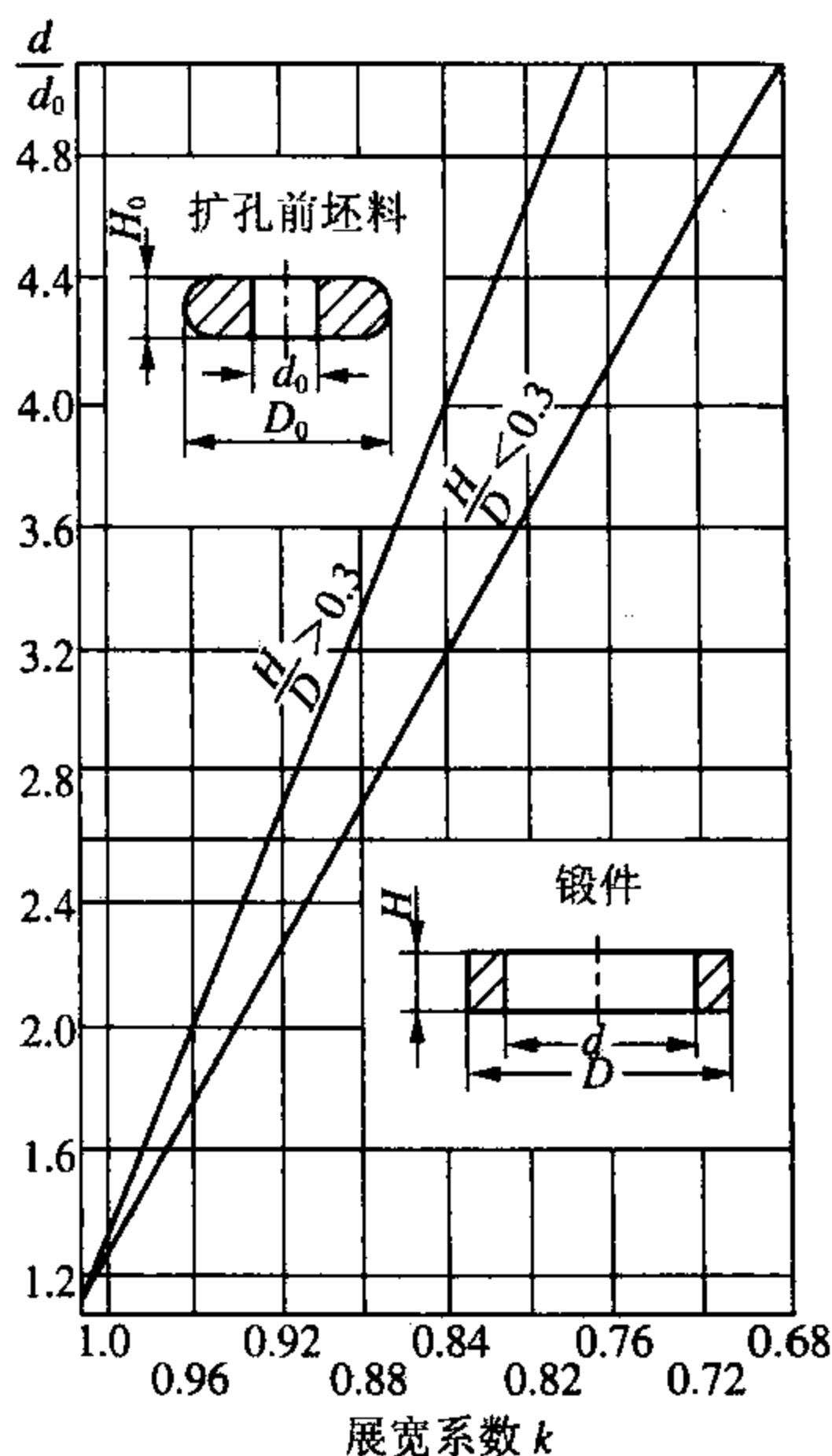
2. 扩孔

减小空心坯料壁厚而增加其内外径的锻造工序称为扩孔,用以锻造各种圆环锻件。

(1) 常用的扩孔方法

常用的扩孔方法有两种,即冲子扩孔和芯轴扩孔。

(2) 各种扩孔方法的变形特点、应用范围和工艺参数见表 4.3-4。

图 4.3-10 芯轴扩孔展宽系数 k 选择图线

(3) 扩孔工艺规则

① 冲子扩孔时,应避免扩孔时温度过低,即每火扩孔次数不宜过多。一般当锻件质量小于 30 kg 时,冲孔后可扩孔 1~2 次,再加热一火,允许再扩孔 2~3 次;当锻件质量大于 30 kg 时,冲孔后可扩孔 1 次,再加热一火,允许再扩孔 2~3 次。

② 为保证芯轴强度和锻件质量,芯轴扩孔时所用的芯轴最

小直径按表 4.3-6 选取。

③ 芯轴扩孔时,为获得内壁光滑的锻件,芯轴直径应随孔径的扩大而增大,一般在扩孔过程中最多可更换三次芯轴。

表 4.3-4 扩孔方法、变形特点和工艺参数

扩孔方法	变形特点	工艺参数	应用范围
冲子扩孔	① 扩孔时毛坯上端面有拉缩现象 ② 毛坯切向受拉应力,容易胀裂	① 扩孔前毛坯高度 $H_0 = 1.05 H$ H ——锻件高度 ② 每次扩孔的扩孔量按表 4.3-5 选取	适用于 $D/d > 1.7$ 及 $H_0 \geq 0.125 D$ 的壁厚不太薄的锻件
芯轴扩孔	相当于坯料沿圆周方向拔长,所以随锻件壁厚的减小,其内、外径同时扩大,而宽度也略有增加	① 毛坯高度 $H_0 = 1.05 kH$ H ——锻件高度 k ——扩展系数,按图 4.3-10 选取 ② 毛坯外径 $D_0 = 1.13 (V_{\text{锻}}/H)^{1/2}$ $V_{\text{锻}}$ ——锻件体积 ③ 预冲孔直径 $d_0 = 1.1 D_0/3$	适用于锻造扩孔量大的薄壁环形锻件

表 4.3-5 冲子扩孔的扩孔量

坯料预冲孔直径/mm	扩孔量/mm
30~115	25
120~270	30

表 4.3-6 芯轴最小直径和锻锤吨位的关系

锻锤吨位/kN	3~5	7.5	10	20	30	50
芯轴最小直径/mm	40	60	80	100	120	160

④ 芯轴扩孔的扩孔能力,受锻锤操作空间尺寸的限制。设计专用马架,可以扩大各种锻件的扩孔能力。

五、弯曲

将坯料弯成规定外形的锻造工序称为弯曲,常用于各种弯曲轴杆类锻件。

在坯料的弯曲过程中,其弯曲区内侧受压,可能产生折叠;外侧受拉,容易引起裂纹。弯曲后坯料的断面形状有所改变,如图 4.3-11。在弯曲区内,断面面积减小,长度略有增加。弯曲半径越小,弯曲角越大,上述现象越严重。

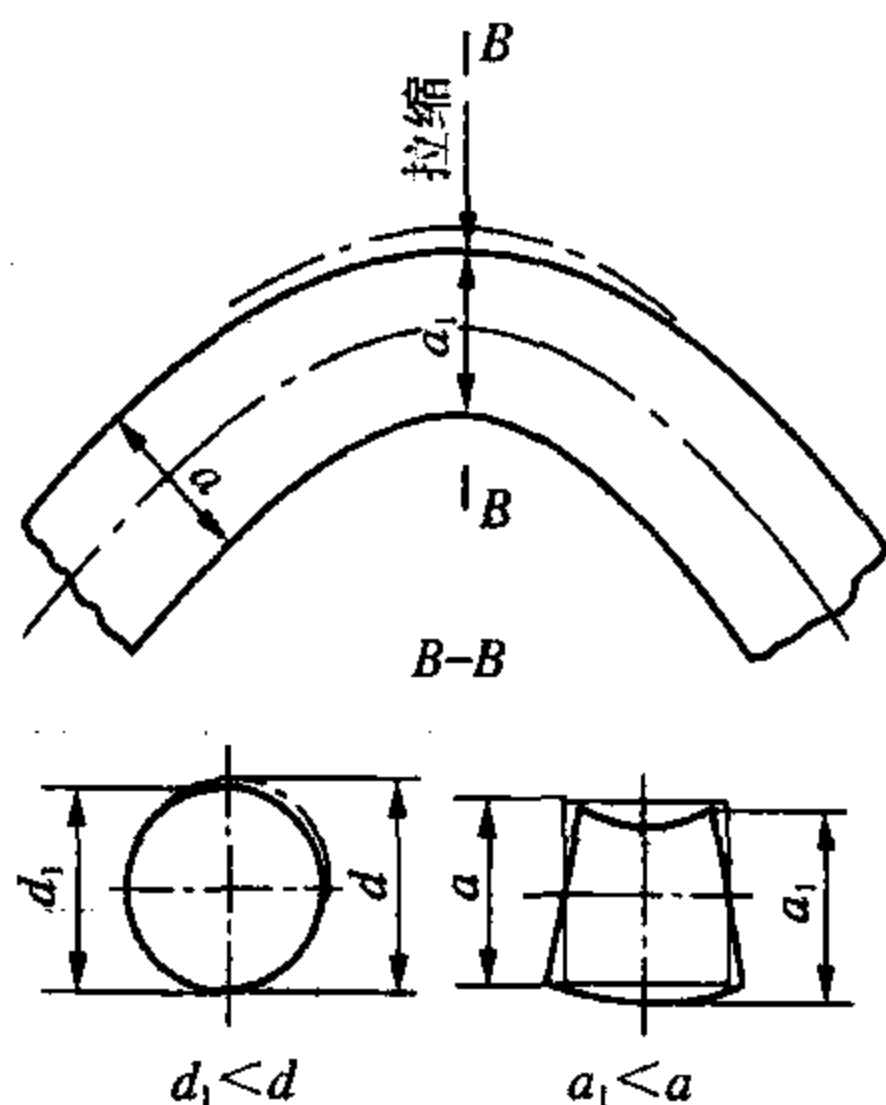


图 4.3-11 弯曲时坯料形状变化情况

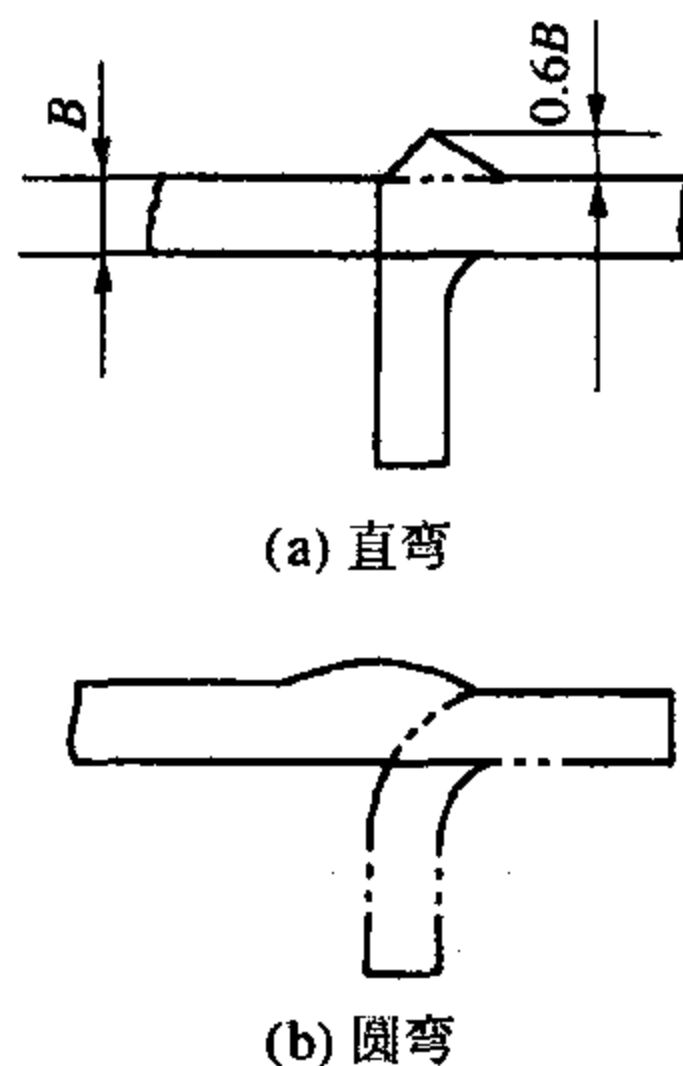


图 4.3-12 防止弯曲拉缩现象的方法

为保证弯曲后的锻件形状,应在弯曲部位进行局部镦粗或大料两头拔长,然后弯曲成形,如图 4.3-12 所示。

当锻件需多处弯曲时,一般弯曲的先后顺序是:首先弯锻件的端部,其次弯与直线相连接的部分,然后再弯其余部分。

六、错移

将坯料的一部分相对另一部分相互平行错移开,但仍保持金属连续性的锻造工序称为错移,用以锻造曲轴类锻件。

错移的方法有两种,即在一个平面内错移[图 4.3-13(a)]和在两个平面内错移[图 4.3-13(b)]。

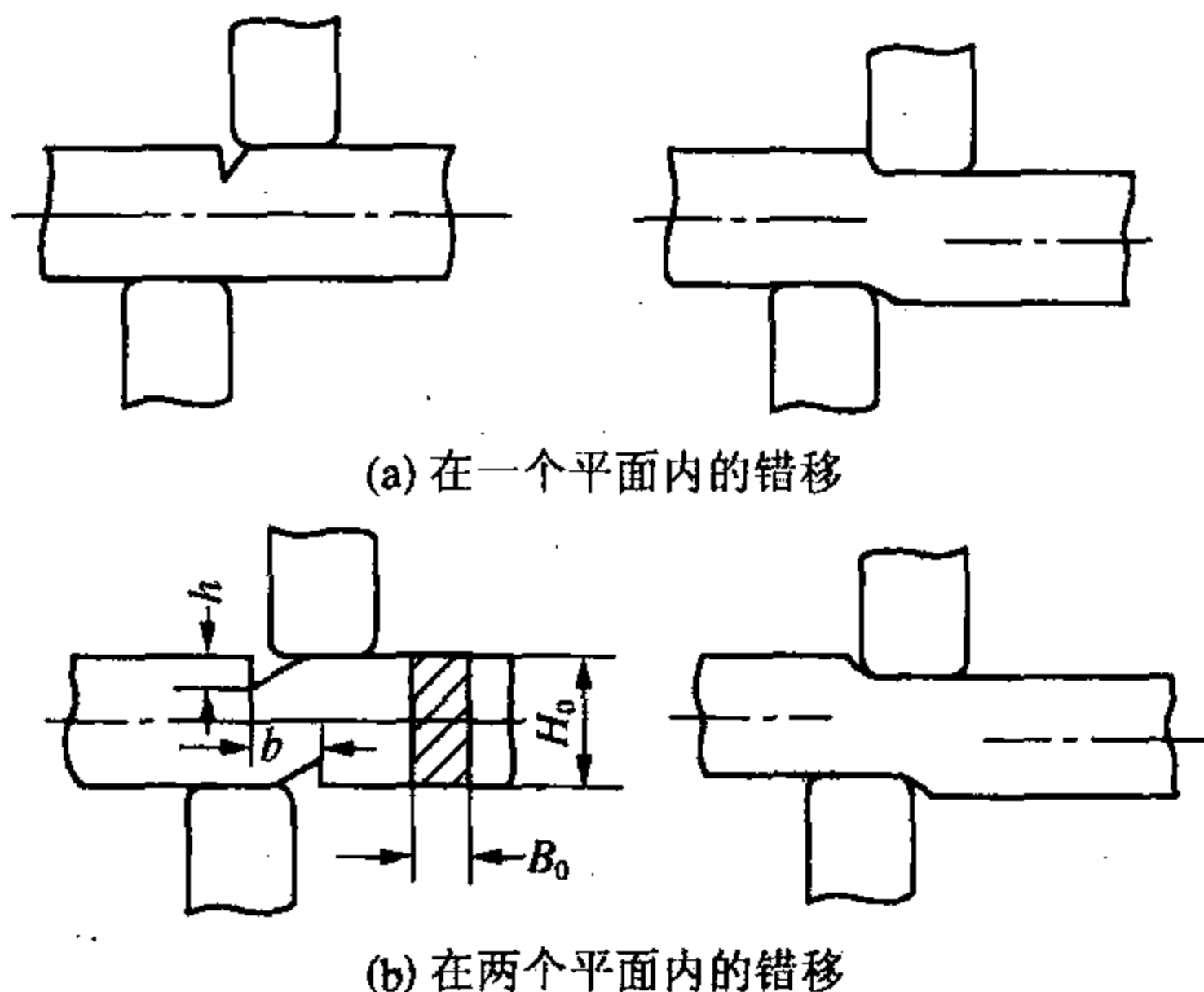


图 4.3-13 错 移

错移前要使用三角进行压肩,压肩尺寸按下式计算:

$$h = (H_0 - 1.5d) / 2$$

$$b=0.9 V/H_0 B_0$$

式中 H_0 ——坯料高度；
 B_0 ——坯料宽度；
 V ——锻件轴颈体积；
 d ——锻件轴颈直径。

锻锤上的错移工序是依靠垫铁来实现的,如图 4.3-14 所示。

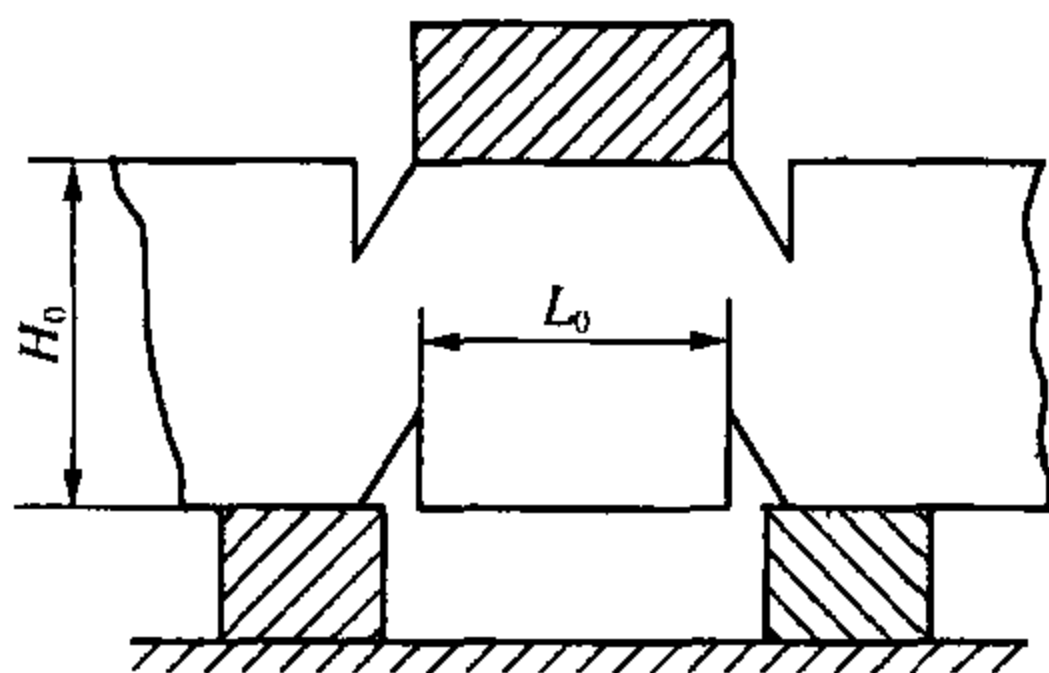


图 4.3-14 锻锤上进行错移

第四节 水压机上自由锻造

水压机锻造的锻件,一般是直接采用钢锭锻造而成,按照锻造工序的作用不同,大体可分为三类工序:

- ① 预备工序 包括压钳口、倒棱、切底部等。
- ② 主变形工序 通常采用镦粗、宽砧强力拔长或中心压实拔长等,使钢锭内部发生足够变形,这是决定锻件内在质量优劣的关键工序。
- ③ 终成型工序 按照锻件的要求,锻出成品锻件所采用的工序。

一、常用工具

水压机上自由锻造常用的工具见表 4.4-1。

表 4.4-1 水压机上自由锻造的常用工具

名 称	用 途	材 料
平砧	把压力传递给锻件或其他工具。完成各种锻造工序时都要使用,可以看成是水压机的一部分,但考虑高温下的磨损和适应不同工艺要求,上、下平砧都是活动可换的	45、55、ZG270-500、ZG310-570、CrMnMo
型砧	拔长用的 V 型砧, V 型角为 $100^{\circ} \sim 110^{\circ}$, 分整体和组合两种形式	45、55、ZG270-500、ZG310-570、CrMnMo
专用砧	如与在马架上扩孔配合使用的扩孔平砧;锻造有凸台叶轮的专用装置等	
下墩粗盘	对已锻出钳把的钢锭进行墩粗	35、ZG270-500
墩粗板	墩粗用。分平面墩粗板、球面墩粗板、碟形墩粗板和凸形墩粗板等	
冲子	冲孔	5CrMnMo、35CrMo
空心冲子	冲孔	
空心冲垫	与空心冲子配合使用	45
芯轴	芯轴拔长用。大型芯轴中心有冷却水孔,小型芯轴为实心	35、45、35CrMo
马架	扩孔用	ZG270-500
马杠	与马架配合使用	45、35CrMo

(续表)

名 称	用 途	材 料
剁刀	切割用	5CrMnMo、 35CrMo
三角	锻曲轴、连杆类锻件时,压出分段标记	
钳把套筒	套持钢锭小端锻出钳把或套持已锻出的钳把,对钢锭进行拔长等工艺操作,通用性很强	ZG270-500
吊钳	夹持坯料、吊运工具、对锻粗坯料进行翻转等	25、35、45
链条	翻转锻粗坯料、吊运工具等	

二、锻粗

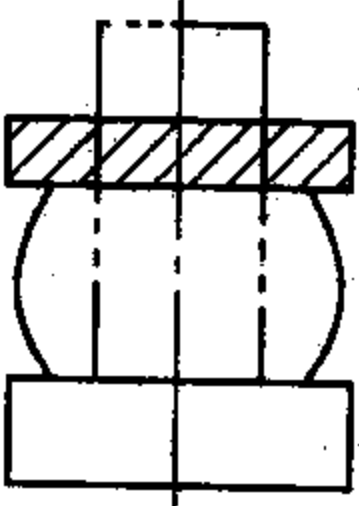
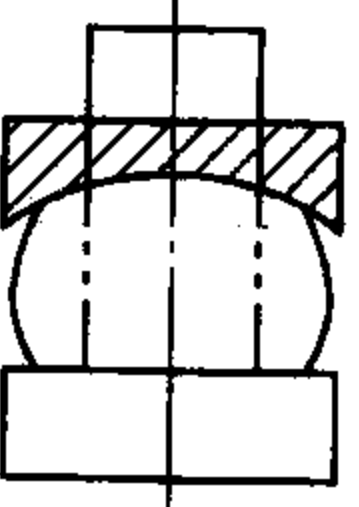
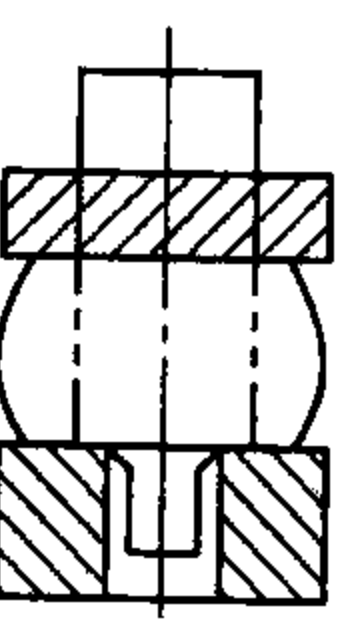
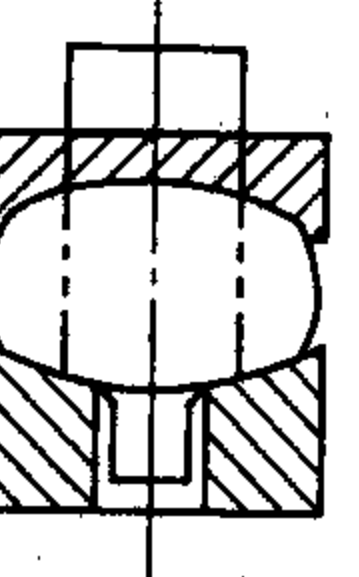
在大型锻件生产中,圆盘类锻件的主变形和最终成型都是以锻粗变形来完成;其他类锻件多以锻粗和拔长交替使用于主变形阶段。

锻粗变形可以使钢锭的树枝状铸造组织达到一定程度的破碎。对圆盘类锻件,锻粗工序除了使之成型,还可提高其切向和径向的力学性能,尤其对小截面毛坯锻制大截面锻件时,锻粗是惟一的手段;用于拔长前的锻粗,通常是为了满足锻件拔长锻造比的要求,以减小其力学性能的异向性;对含有碳化物的钢锭,采用锻粗和拔长联合使用,可达到破碎碳化物,使之均匀分布,改善内部组织的目的。

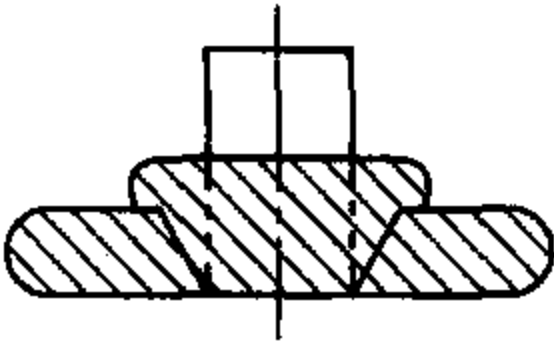
1. 水压机上的锻粗方法

根据不同的使用要求,水压机上的锻粗方法见表 4.4-2。

表 4.4-2 水压机上的镦粗方法

名 称	简 图	应用 举 例
不带钳把镦粗		① 锻造圆盘形锻件 ② 冲孔前的镦粗
		冲孔后要求端面平整的镦粗
带钳把镦粗		① 拔长前的镦粗, 以后拔长多采用宽砧, 大压下量的情况 ② 锻宽板和方形截面锻件前的镦粗
		拔长前的镦粗, 防止以后拔长时端面凹入

(续表)

名 称	简 图	应用举例
局部镦粗		用于锻造带台座 齿轮等锻件

2. 镦粗时的工艺参数及原则

① 镦粗锻造比应大于 2.0, 镦粗后的高径比(H/D)应尽量接近 0.6~0.65, 镦粗前坯料的高径比应在 2.0~2.2 的范围内为宜。

② 当镦粗后需要进行拔长时, 要考虑到拔长的可能性, 即不要镦得太矮。

③ 为了创造在锻造过程中焊合内部缺陷的有利条件, 镦粗前的加热温度应适当提高, 加热保温时间较之通常情况需增加 $1/3 \sim 1/2$ 。

三、拔长

1. 拔长

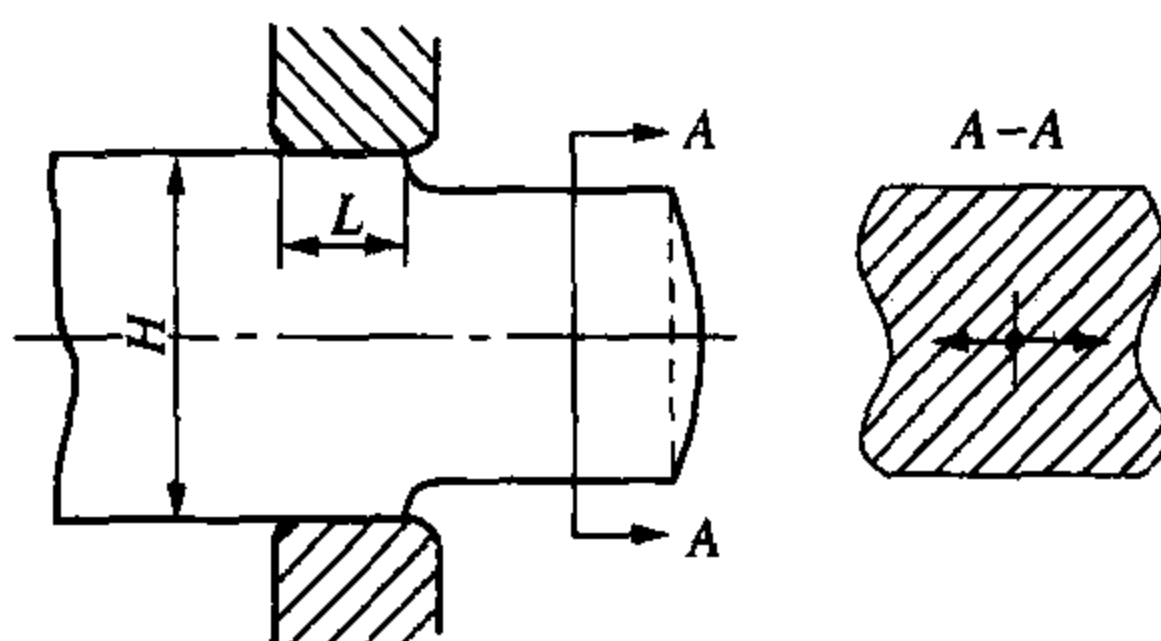
拔长是水压机锻造的最主要工序之一, 除了能达到使锻件成型的目的外, 在消除钢锭缺陷、保证锻造比要求、提高力学性能等方面具有重要作用。

① 拔长时的相对进给量对锻件质量有很大影响。所谓相对进给量是指每砧进给量 L 与两砧间被压坯料的高度 H 之比(图 4.4-1), 即:

$$e = L/H$$

应控制在 0.5~0.8 之间。

拔长时, 宽砧与窄砧的概念也是用相对进给量来衡量的。在


 图 4.4-1 当 $e < 0.5$ 时拔长坯料的变形

平砧或上平下 V 形砧上拔长, 当相对进给量 $e \geq 0.5$ 时; 在上、下 V 形砧上拔长, 当相对进给量 $e \geq 0.4$ 时, 统称为宽砧锻造。反之则为窄砧锻造。

拔长时具体相对进给量的数值, 可按表 4.4-3 选取。

表 4.4-3 拔长相对进给量的选取

毛坯直径或厚度/mm		$\geq 2\ 600$	2 000	1 750	1 500	1 250	1 000	800	600
相对进给量	平砧或上平下 V 形砧	用 1 200~1 300 砧宽满砧压	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	上、下 V 形砧	用 1 000~1 200 砧宽满砧压	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

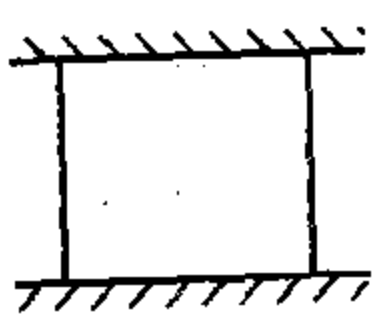
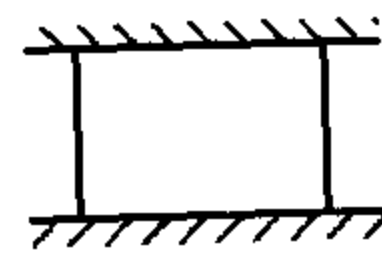
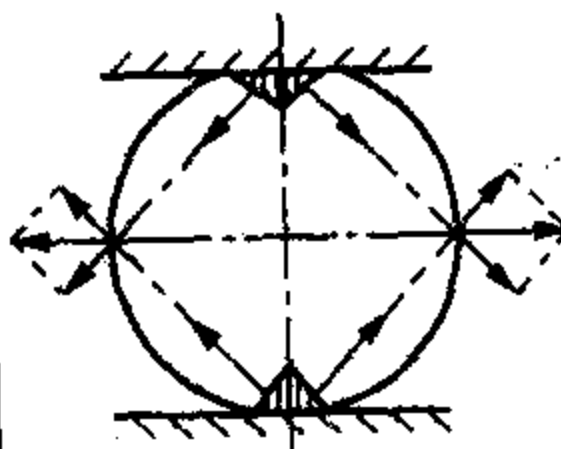
② 为了有效地锻合钢锭内部缺陷, 在拔长的主要变形阶段应采用高温大压下量拔长, 压下量的数据见表 4.4-4。

表 4.4-4 水压机拔长的压下量

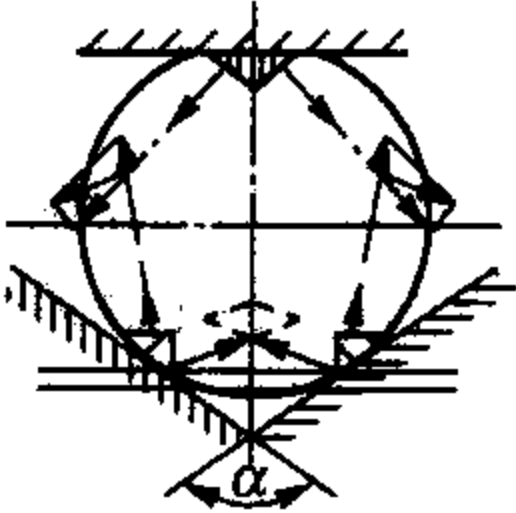
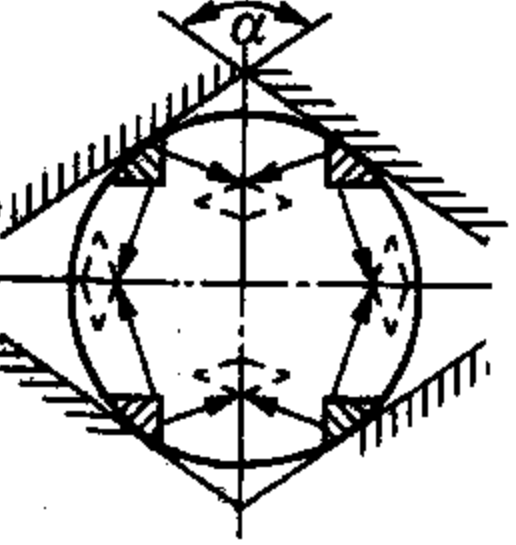
水压机吨位/kN	8 000	12 500	30 000	60 000	120 000
压下量/mm	≥ 120	≥ 150	≥ 200	$\geq 250 \sim 300$	$\geq 300 \sim 350$

③ 主变形拔长时砧子形状和坯料形状对拔长效果有不同的影响,见表 4.4-5。

表 4.4-5 砧子形状和坯料形状对锻件质量的影响

砧子和坯料形状	心部质量 (L/D 或 L/H $=0.5\sim0.7$)	侧表面 质量	拔长 效果	适用 范围
	锻透性较好,变形后能透到中心。但与平砧接触的难变形区变形很小或不变形	侧表面纵向拉应力较大,形成横向裂纹的倾向性较大	较好	高、中塑性材料
	锻透性好,难变形区变形很小		较好	高、中塑性材料,高质量锻件
	中心区域作用横向拉应力,不能锻合轴心缺陷,可能形成轴向裂纹或轴向缩管	形成横向裂纹的倾向性大	差	建议不应用

(续表)

砧子和坯料形状	心部质量 (L/D 或 L/H $=0.5\sim0.7$)	侧表面 质量	拔长 效果	适用 范围
	<p>横向拉力减小, 下 V 形砧形成的横向拉力随 α 角的减小而减小, 当 α 角等于 90° 时, 下 V 形砧形成的横向拉力等于 0</p> <p>当压下量较小时, 应力状态不太好, 锻合轴心缺陷的可能性差。随着压下量的增加, 坯料截面形状发生很大变化, 应力状态越来越好, 锻合轴心缺陷的有利作用增加</p>	中等	好	高、中 塑性材料
	<p>横向拉力可减小到零, 锻透性好。能很好地锻合轴心缺陷</p>	形成横 向裂纹的 倾向性小	最好	中、低 塑性材料, 高质量锻件

④ 拔长工艺规则与锤上自由锻基本相同。为防止钢锭中心偏移和操作方便,水压机上的拔长操作多采用单向顺序拔长。

2. 拔长的操作方法

大型锻件水压机上拔长有多种操作方法,常用的有“WHF”法和“JTS”法两种。

(1) 宽砧强力压下拔长法(WHF 法)

“WHF”法就是用上、下宽平砧,在高温下对坯料进行强力压下拔长的锻造方法。它可使大钢锭的心部产生大的应变而发生塑性变形,并锻合心部的缩孔和疏松等缺陷,改善坯料的锻透性。其操作要点如下:

① 坯料的加热温度要比通常锻造工序的高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$,保温时间要比常规的延长 $30\%\sim 50\%$,并采用正压加热,加热炉要密封好,坯料各面的加热温度要均匀。

② 上、下砧宽 B 与坯料直径 D 的比应满足 $0.5 \leq B/D \leq 0.8$,最佳值可选为 $0.67\sim 0.77$ 。

③ 在每次强力压下时,其双面压下量为压下前直径的 $15\%\sim 20\%$,最好取 20% 。

④ 坯料的变形顺序为:同一面应先从冒口端开始压下,走完一趟后,再翻转 90° 压另一面。每次转动都要按同一方向进行,如图 4.4-2 所示。

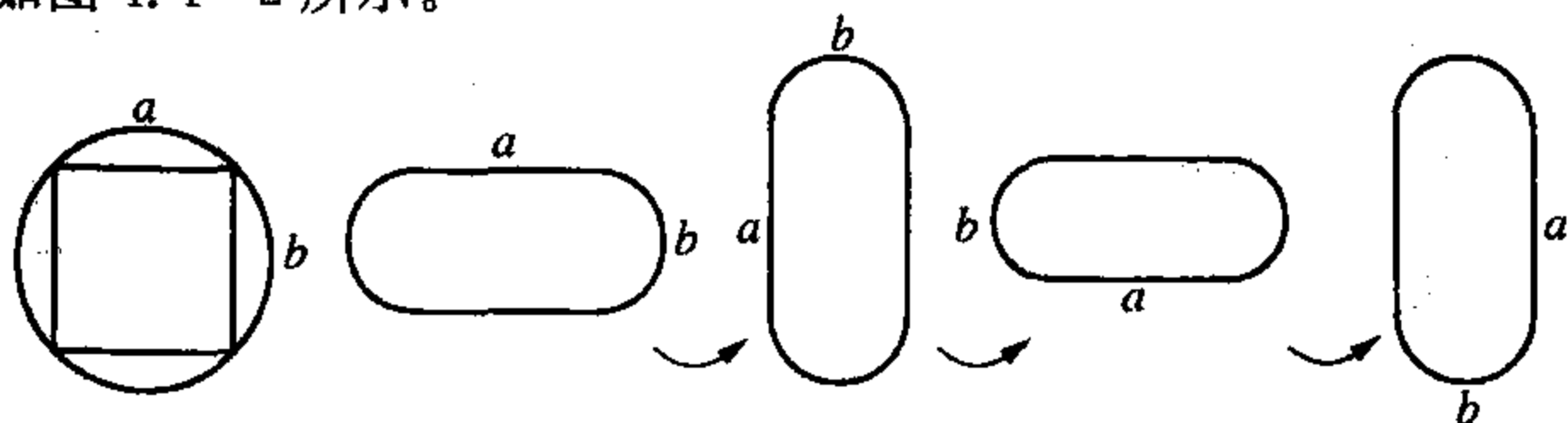


图 4.4-2 坯料变形顺序(同向旋转 90°)

(2) 中心压实法拔长(JTS 法)

坯料在高温下,用风冷或喷雾的方法,使表面被急速冷却到一定的温度(750°C 左右),使之形成一层硬壳,在专用砧上强力压下,这种方法称为“JTS”法,又称中心压实法或硬壳锻造法。由于坯料外冷内热,金属表里的变形抗力也就不同,施压时近似模锻的受力状态,坯料心部受三向压应力作用,从而锻合缺陷。

① “JTS”法使用的工具是专用压实砧,其宽度比坯料宽度小,一般 $0.55 \leq l/H \leq 0.7$ (l ——压实砧宽; H ——坯料宽度),如图 4.4-3。压实上砧分为固定式和吊挂式两种。固定式压实砧子固定在砧座上,如图 4.4-4 所示,其变形部位整齐,压下量容易控制,但更换砧子较麻烦,所以一般用于高温下直接冷却或坯料只单独进行“JTS”法的情况。吊挂式压实砧子分为双吊把和单吊把两种,如图 4.4-5 所示。

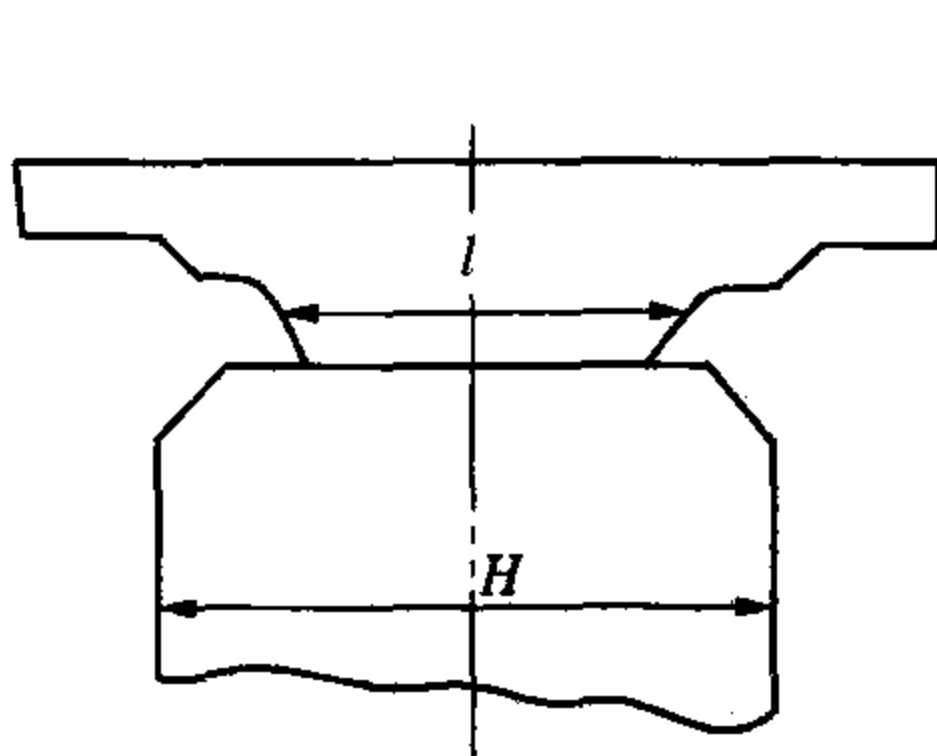


图 4.4-3 砧宽与料宽之比 l/H

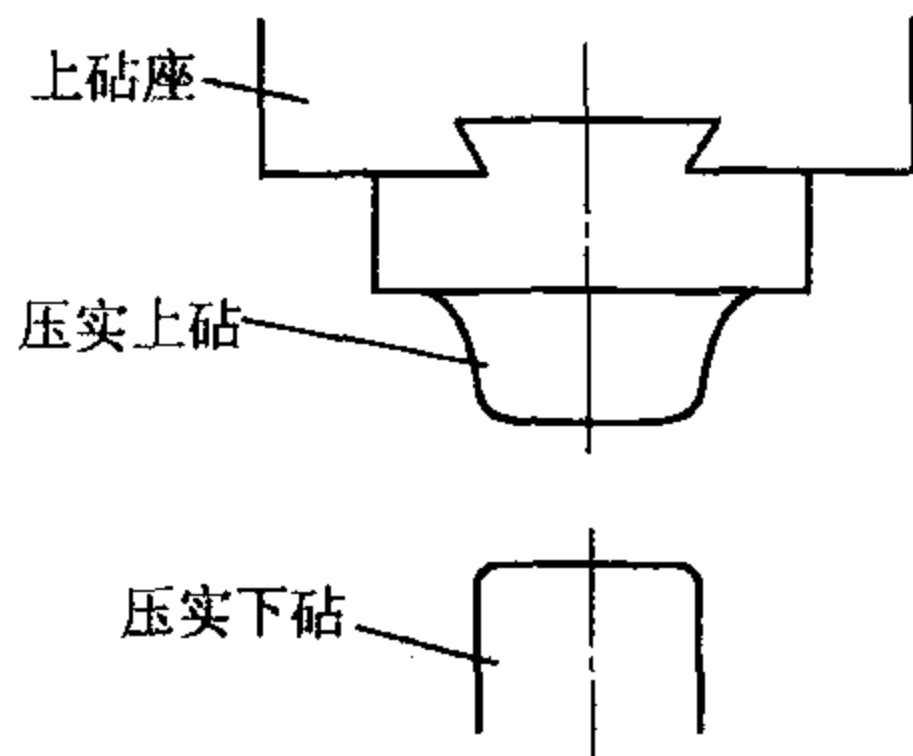


图 4.4-4 固定式压实砧

② “JTS”法的施压方法可分为四面压实和二面压实两种,如图 4.4-6。“JTS”法施压的要点是:每一面的压实,方向由冒口

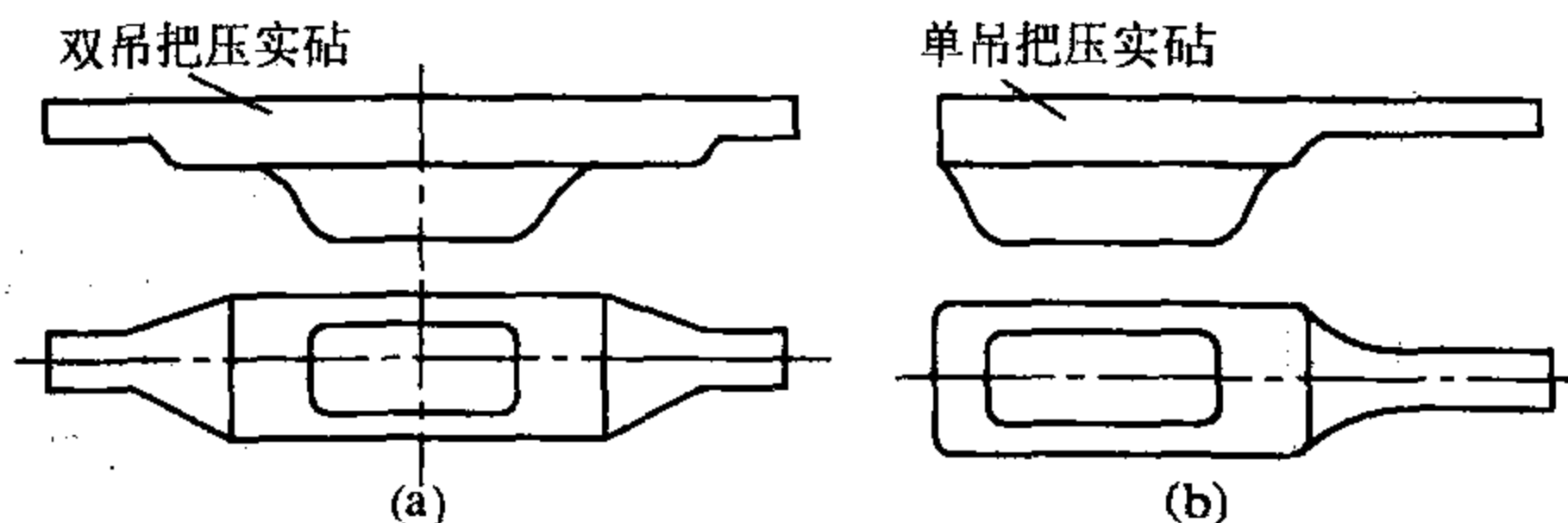


图 4.4-5 吊挂式压实砧

端开始到水口端,如图 4.4-7 所示。压下量为最初高度的 8%~10%,不得小于 6%,取值应视坯料截面尺寸而定。压完第一面,翻转 90°压第二面。压第二面时的压下量由下式计算:

$$\Delta H_1 = \Delta H + (B - A)/2$$

式中 ΔH_1 ——压第二面时的压下量;

ΔH ——规定的压下量;

A ——压实前坯料的宽度;

B ——压下后带鼓胀面的宽度。

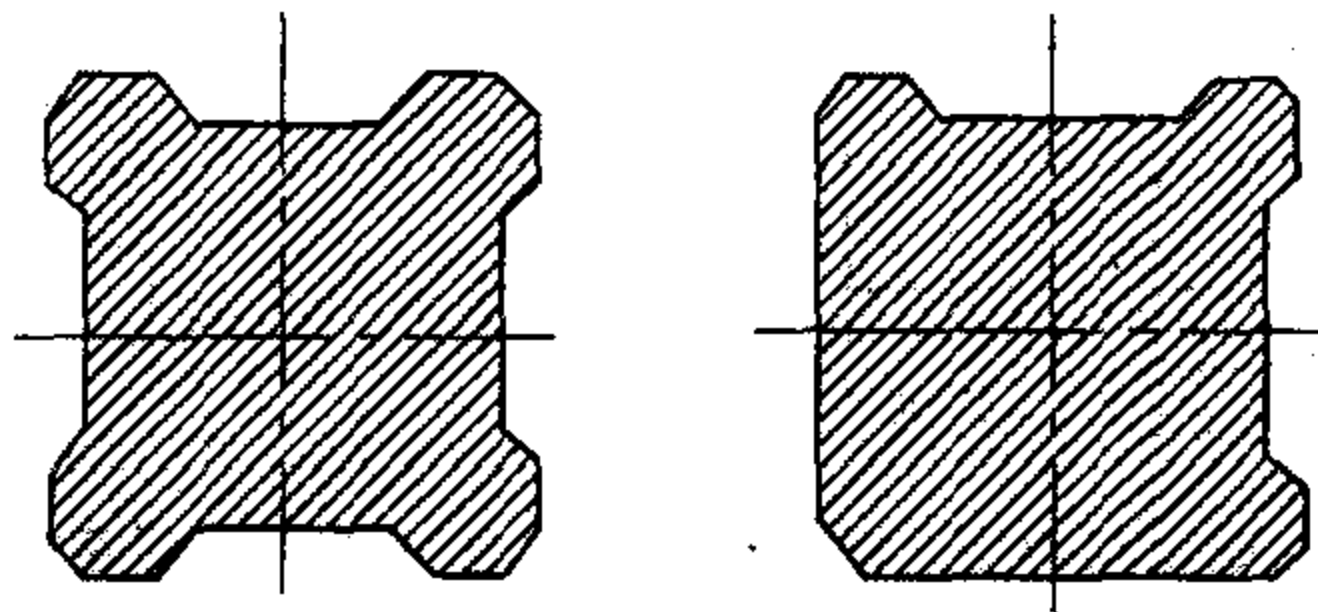


图 4.4-6 中心压实法的施压面

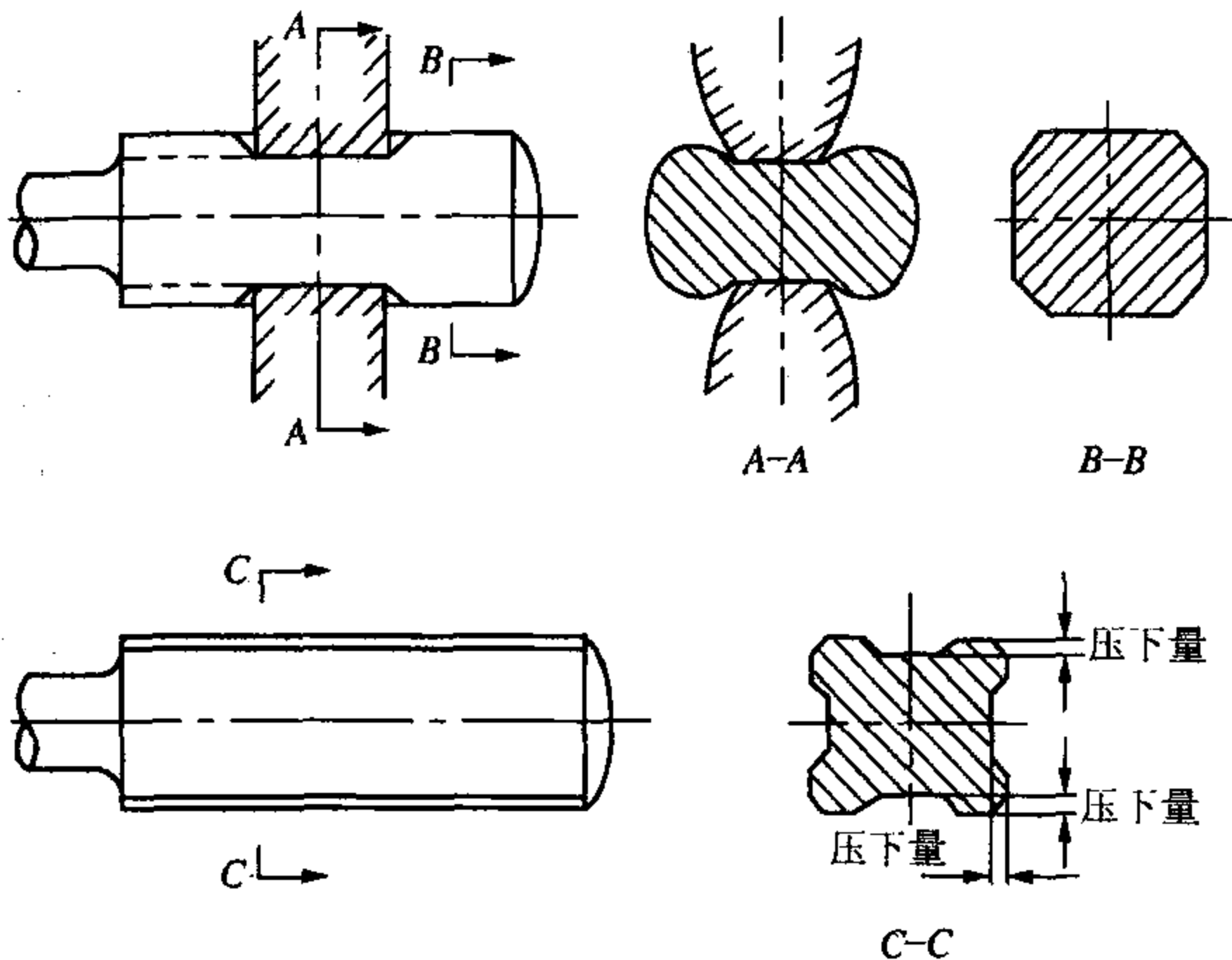


图 4.4-7 “JTS”法的施压要点

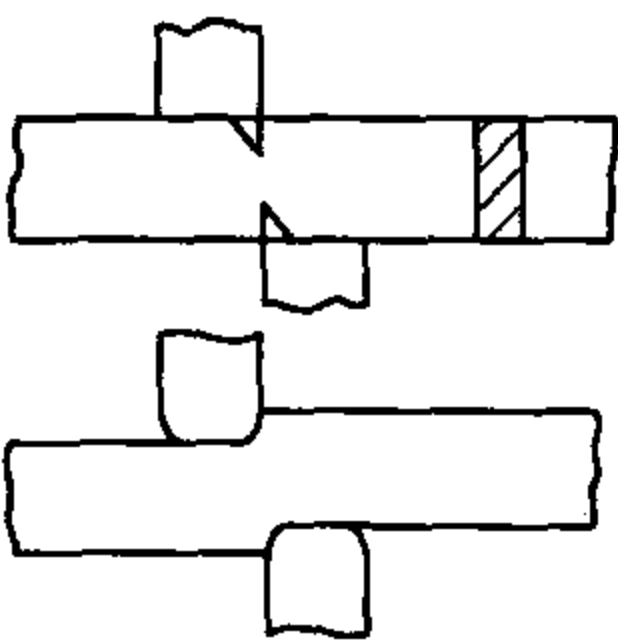
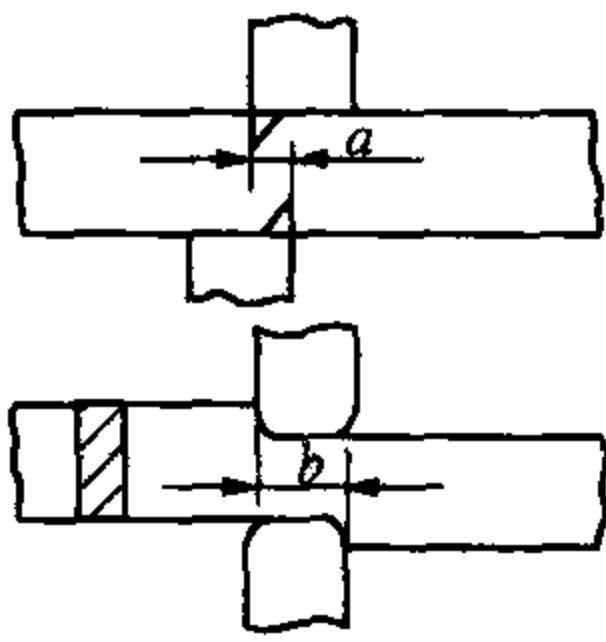
每次压下时砧与砧之间要搭接 100 mm。

在实际生产中,最广泛应用的是“WHF”和“JTS”同火次进行,即坯料加热到锻造温度后,先进行“WHF”法锻造,表面冷却后再进行“JTS”法锻造。在生产重要锻件时,为了获得心部与表面较高的温差,在坯料实施“WHF”法后返炉,加热并保温一段时间,再取出坯料进行强制喷水雾快速冷却至表面温度 750°C ,然后实施“JTS”法操作。

四、错移

水压机上的错移工序是依靠下砧和上砧发生相对位移,对坯料偏心加压后实现的。错移前要使用三角进行切口和分离,错移过程中可用垫铁支持坯料以防弯曲,也可以用改变垫铁高度的方法控制轴颈长度(表 4.4-6)。

表 4.4-6 错移方法及操作要点

错移方法	简 图	操 作 要 点
在一个平面内错移		<p>① 在两相对边上切口,切口深度比所需错移小 20~30 mm</p> <p>② 为防止毛坯弯曲,错移的一端支承在垫铁上,另一端用天车来支承</p> <p>③ 错移后要校正(切口和错移前毛坯截面带有保险量;毛坯比锻件尺寸高 25%,宽度比锻件尺寸大 30~50 mm)</p>
在两个平面内错移		<p>① 上切口、下切口的相互位置有一距离 a,由错移两端之间的金属决定</p> <p>② 在错移过程中,必须调节尺寸 b,调节是以改变错移端下面的垫铁高度来达到的</p>

五、扩孔

① 水压机上的扩孔工序是使用马杠和马架来完成的,有关工艺规则与锤上自由锻造基本相同。

② 选择好扩孔前的坯料厚度 H_0 ,是顺利完成扩孔工序的关键,其数值可按锤上自由锻造的方法计算,也可以根据展宽系数 β ,用下式计算:

$$H_0 = \beta H$$

式中 H_0 ——扩孔前坯料的镦粗厚度；

H ——扩孔后要求的锻件厚度；

β ——展宽系数，见表 4.4-7。

表 4.4-7 水压机上扩孔时的展宽系数 β

锻件外径 D /mm	锻件厚度 H /mm										
	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200
	展宽系数 β										
1 500	0.70	0.82	0.90	0.93	0.95	0.95	0.95	—	—	—	—
1 501~2 000	0.60	0.70	0.80	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	—	—
2 001~3 000	—	—	—	0.70	0.80	0.85	0.90	0.92	0.93	0.93	0.95
3 001~4 000	—	—	0.62	0.70	—	—	—	—	—	—	—

六、切割

在水压机自由锻造中，切割工序应用很广泛。如切除钢锭的冒口和底部、用切割法下料等。有些体积较小的锻件（如模块）就是从拔长后的条料上切割下来的。

1. 切割工艺原则

① 切割有两个要求：在锻件上不允许有毛刺；所切锻件端面应平整（端面热切后倾斜角度 $< 15^\circ$ ），以利于以后镦粗时立料或利于以后机加工时好量尺寸和打中心孔。

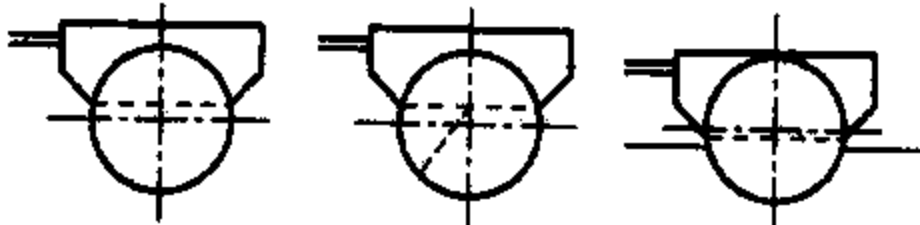
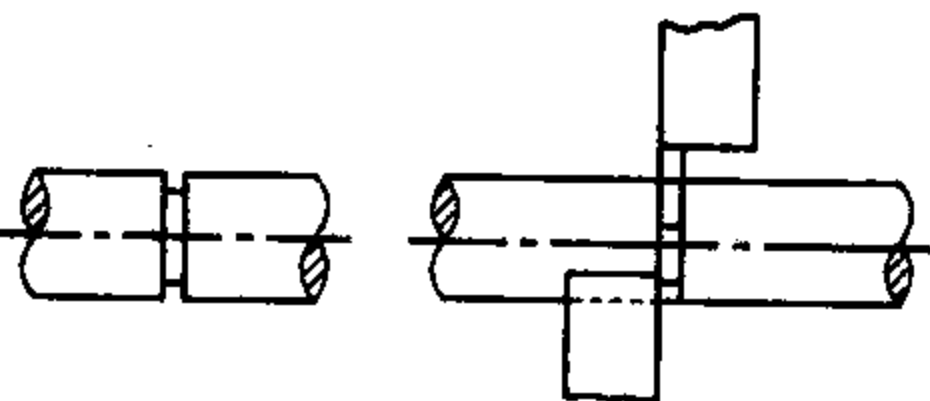
② 为满足以上两个条件，切底部和冒口时，毛刺应留在料头上。而下料时，毛刺不要留在第一个坯料上，而要留在本体上，在下第二个坯料前，利用上平砧把毛刺消除后再切第二个坯料。

③ 剁刀放置时应严格垂直于坯料中心线,以防切斜。

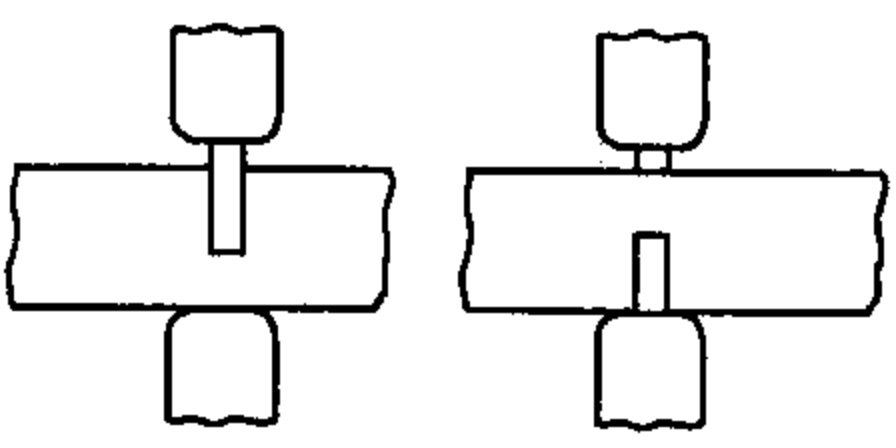
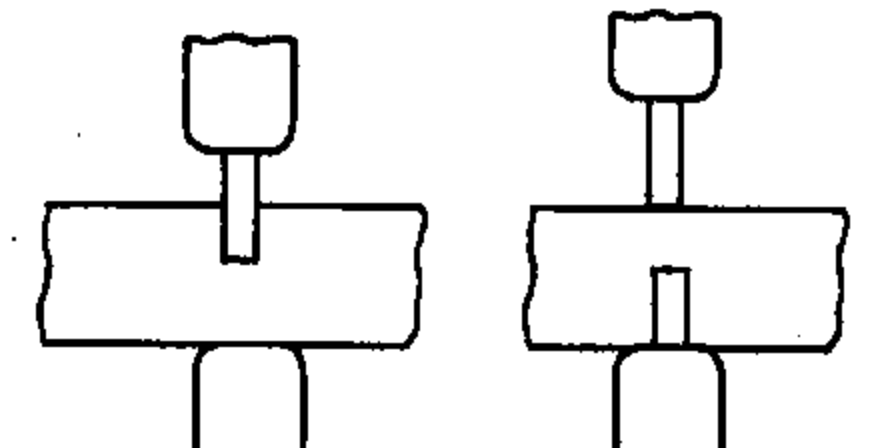
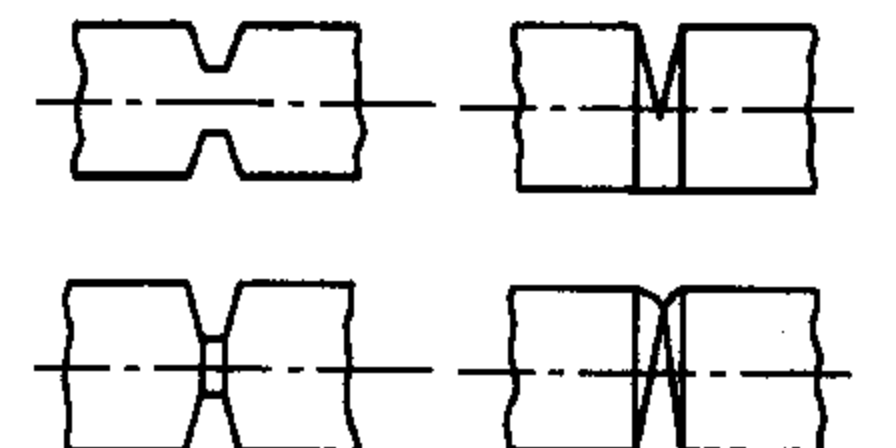
④ 切割时应考虑冷缩现象,尤其是长轴类锻件,收缩率为 $1.0\% \sim 1.7\%$ 。

2. 切割方法及操作(表 4.4-8)

表 4.4-8 切割方法及操作要点

毛坯形状	切割方法	简 图	操 作 要 点
在上平下V形砧中切圆形毛坯	三次切割		<p>第一次切下截面$1/3 \sim 1/2$, 翻转$120^\circ \sim 150^\circ$, 第二次切$1/3 \sim 1/2$的截面, 再翻转$120^\circ \sim 150^\circ$, 第三次切下剩余部分或上平下V形砧错开带剁刀切下</p>
	圆周切割		<p>对大型截面坯料, 先用剁刀在切割的地方, 圆周切$100 \sim 120$ mm深的沟。后再切三刀(或二刀一刀)。切第三刀时上平下V形砧错开带剁刀一起切下。优点: 保证切口规整</p>

(续表)

毛坯形状	切割方法	简 图	操 作 要 点
在平砧中切矩形毛坯	单面切割		一次切割后,剩20~40 mm 金属连片,连片用方垫或剁刀背切下
	双面切割		第一次切 1/2 截面,翻转 180°后,第二次切下剩余部分
	四面切割		切大截面时用。切割时进行对面切,宽面留拉引量

第五节 自由锻工艺规程的制订

制订自由锻工艺规程,必须紧密结合生产条件、设备能力和技术水平等实际情况,力求技术先进、经济合理、操作安全,以达到正确指导生产的目的。

制订自由锻工艺规程的内容包括:

① 根据零件图及其技术条件设计锻件图,并提出锻件的技术条件和检验要求。

② 确定坯料的质量和尺寸(大型锻件还需对原材料的材质及冶炼方法提出要求)。

③ 确定变形工序和工具。

④ 选择锻压设备。

⑤ 确定锻造温度范围及加热和冷却规范。

⑥ 确定锻后的热处理规范。

⑦ 填写工艺卡片。

一、坯料尺寸的确定

由第二章介绍的方法,确定所需坯料的质量,根据坯料质量和相应的坯料体积,考虑到锻造方法就可以确定坯料的尺寸。

坯料尺寸的确定与所采用的锻造工序有关,主要根据是用镦粗法还是用拔长法锻制而确定。

1. 镦粗法时坯料尺寸的确定

用镦粗法锻制锻件时,圆柱体坯料的直径可按下式计算:

$$D = (0.75 \sim 1.0) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$

方坯料的边长可按下式计算:

$$A = (0.70 \sim 0.90) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}}$$

式中 $V_{\text{坯}}$ ——坯料体积, $V_{\text{坯}} = G_{\text{坯}} / \gamma$ ($G_{\text{坯}}$ ——坯料质量; γ ——材料比重)。

当锻件流线无特殊要求,锻压行程高度允许时,系数尽量取小值。

求出 D 或 A 后应按国家标准选取与 D 或 A 相近的标准数值 D_0 或 A_0 , 坯料高度 H_0 则由下式确定:

圆形坯料 $H_0 = V_{\text{坯}} / (\pi D_0^2 / 4)$

方形坯料 $H_0 = V_{\text{坯}} / A_0^2$

求得坯料高度后,验算坯料直径或边长,应使 $H_0/D_0 \leq 2.5$ 或 $A_0/D_0 \leq 2.5$ 。

2. 拔长法时坯料尺寸的确定

用拔长法锻制锻件时,坯料的横截面面积 F 可按锻件的最大横截面面积 F_{\max} 及其锻造比 K 来确定:

$$F = KF_{\max}$$

圆形坯料的直径 $D = 1.13 \sqrt{F}$

方形坯料的边长 $A = \sqrt{F}$

求出 D 或 A 后按国家标准选取相近的标准规格的 D_0 或 A_0 , 坯料长度 L_0 则由下式确定:

圆形坯料 $L_0 = V_{\text{坯}} / (\pi D_0^2 / 4)$

方形坯料 $L_0 = V_{\text{坯}} / A_0^2$

3. 铸锭规格的选择

当所用的原材料为铸锭时,应根据要求的坯料质量来选取铸锭的规格。选择铸锭规格的方法有两种:

① 首先确定各种损耗,如头部损耗率 $\delta_{\text{头部}}$ 、尾部损耗率 $\delta_{\text{尾部}}$ 、烧损率 $\delta_{\text{烧损}}$ 、切头质量 $G_{\text{切}}$ 、冲孔芯料质量 $G_{\text{芯}}$ 、试料质量 $G_{\text{试}}$ 等,并求出铸锭利用率 η 。

$$\eta = [100 - (\delta_{\text{头部}} + \delta_{\text{尾部}} + \delta_{\text{烧损}})]\%$$

然后算出铸锭的计算质量 $G_{\text{锭}}$ 如下:

$$G_{\text{锭}} = (G_{\text{锻}} + G_{\text{损}}) / \eta$$

式中 $G_{\text{锻}}$ ——锻件质量;

$G_{\text{损}}$ ——除头部、尾部、烧损外的损耗质量。

根据铸锭的计算质量,参照有关铸锭规格资料,选取质量与

它相等或稍大的铸锭。

② 根据锻件类型和铸锭熔炼、浇铸条件,先定出概略的铸锭利用率 η ,然后求得铸锭的计算质量 $G_{\text{锭}} = G_{\text{锻}} / \eta$,再按铸锭规格资料选取所需的铸锭。

二、自由锻变形工艺的制订与举例

1. 自由锻变形工艺的制订

制订变形工艺的内容包括:确定锻件成形必需的基本工序、辅助工序和修整工序,决定工序顺序,设计工序尺寸。

制订变形工艺是编制自由锻工艺规程最重要的部分。要考虑操作工人的技术水平和经验、设备条件、工夹具配套情况、原材料供应状况、生产数量和管理水平等因素。

一般来说,各类锻件变形工序的选择,可根据锻件的形状、尺寸和技术要求,结合各锻造工序的变形特点,参照有关典型工艺具体确定。

饼块类锻件的变形工艺,一般均以镦粗成形。当锻件带有凸肩时,可以根据凸肩尺寸,选取垫环镦粗或局部镦粗。若锻件的孔可冲出,则还需采取冲孔工序。

轴杆类锻件的变形工艺,主要采用拔长工序。当坯料直接拔长不能满足锻造比的要求时,或锻件要求横向力学性能较高时,以及锻件带有台阶尺寸相差较大的法兰时,则应采用镦粗——拔长联合变形工艺。

空心类锻件的变形工艺,一般均需镦粗、冲孔。有的稍加修整便可达到锻件尺寸,有的需要扩孔扩大其内、外径,有的还需芯轴拔长以增加其长度,具体工艺方案要视锻件几何尺寸而定。根据锻件的具体尺寸关系,可参考图 4.5-1、图 4.5-2 和表 4.5-1 选择锻造工艺。必须指出,图中空心类锻件工艺方案选择的图线,都是在一

定生产条件下的经验总结,具有局限性,使用时应加以分析。

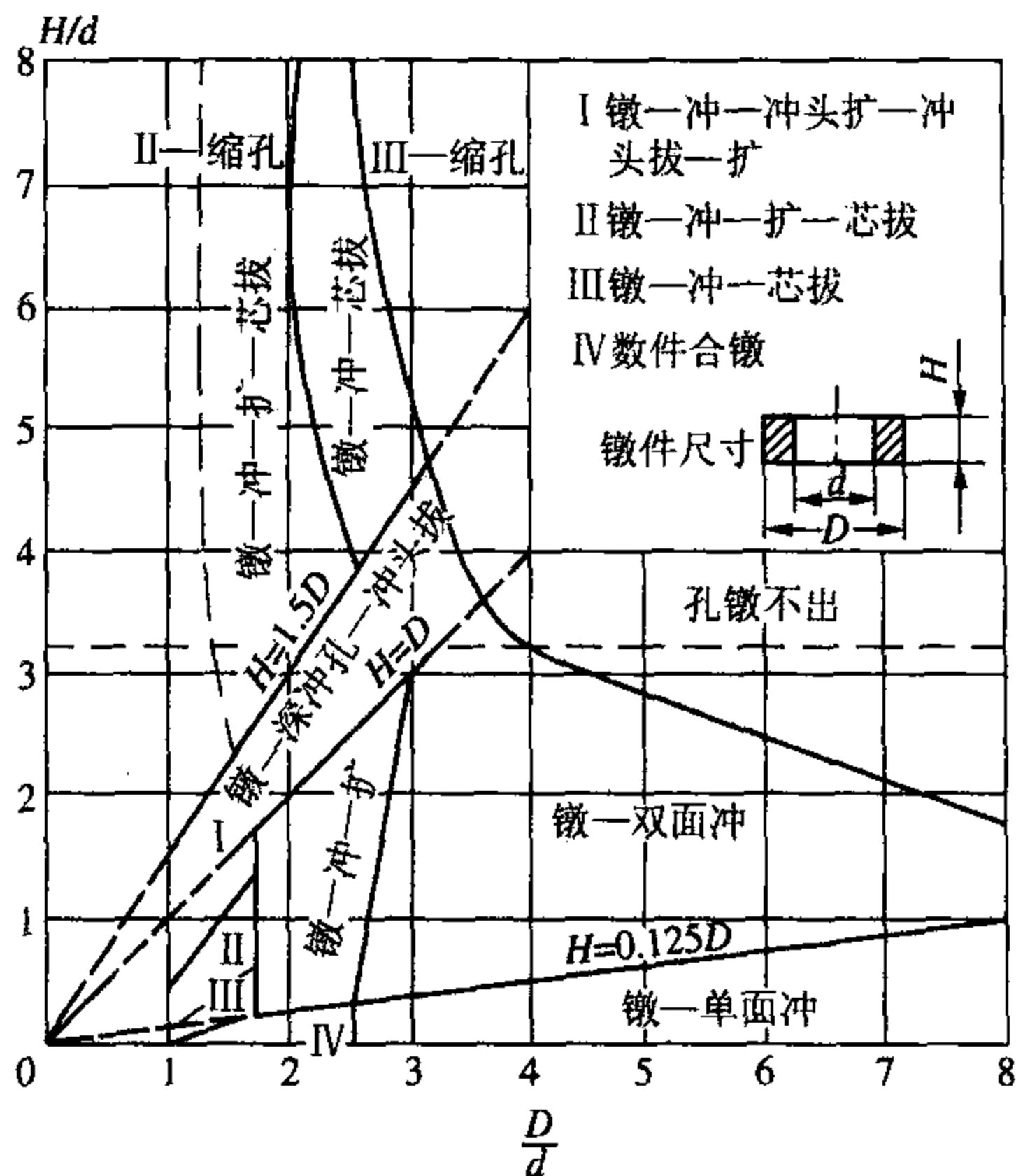


图 4.5-1 锤上锻造空心锻件的工艺方案选择图线

工序尺寸设计和工序选择是同时进行的,在确定工序尺寸时应注意下述各点:

① 各工序的形状和尺寸必须符合各工序的变形规则。例如锻粗时坯料的高径比应小于 2.5~3.0 等。

② 必须估计到各工序变形时坯料尺寸的变化。例如冲孔时坯料高度有所减小,扩孔时坯料高度有所增加等。

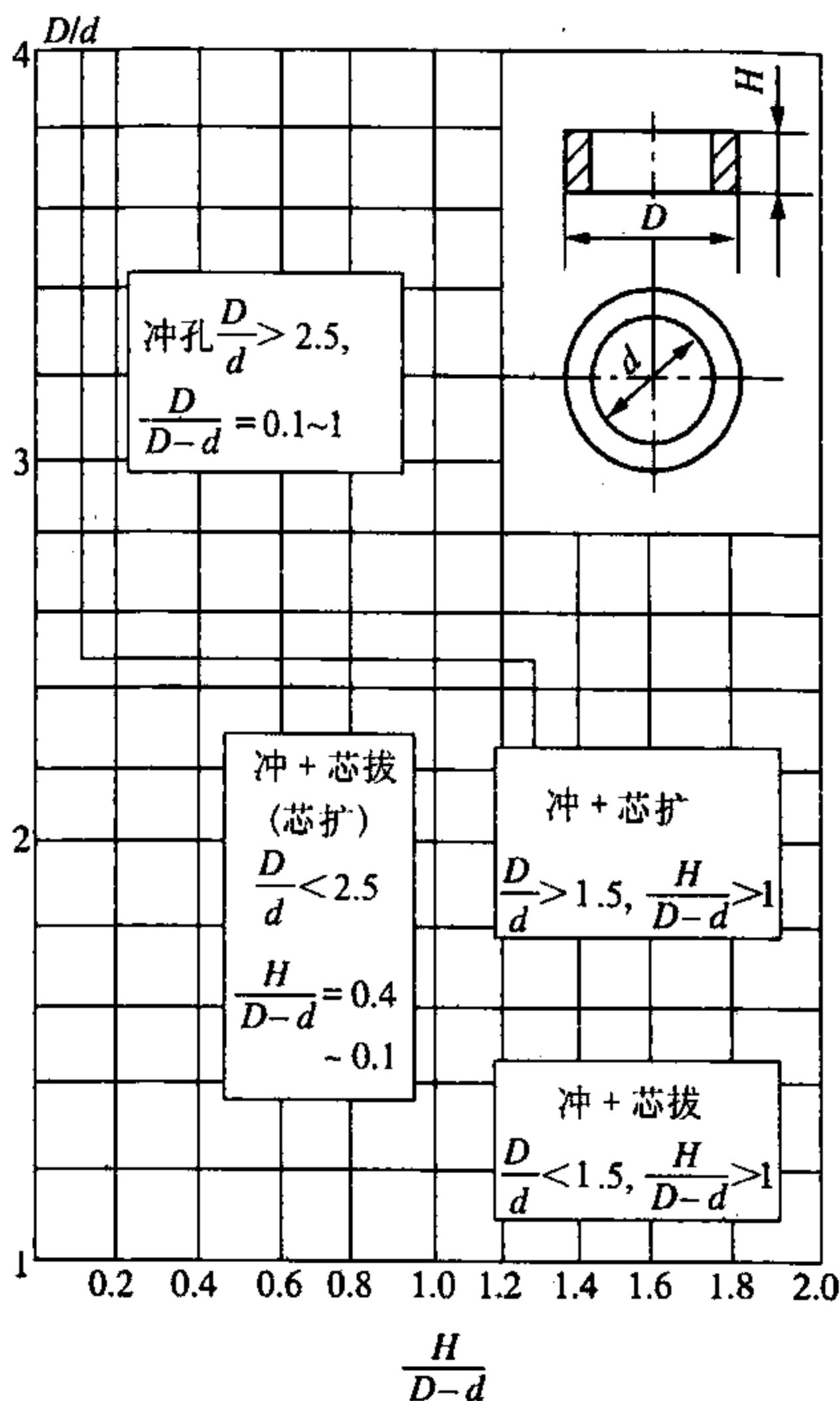


图 4.5-2 水压机锻造空心锻件的工艺方案选择图线

③ 应保证锻件各部分有适当的体积。例如采用压痕或压肩进行分段时,各段体积要适当等。

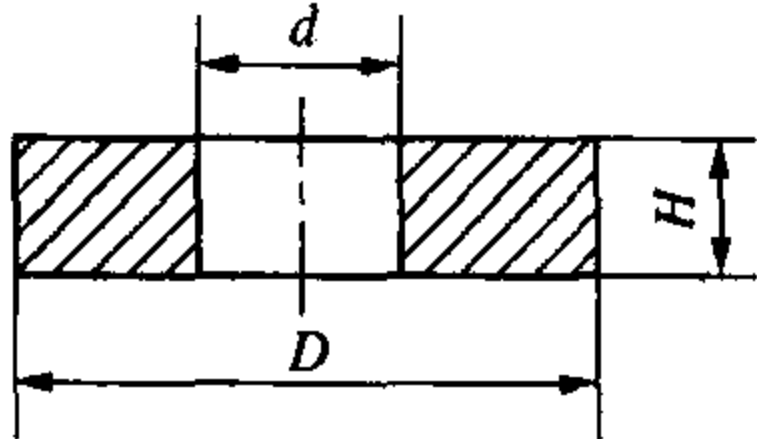
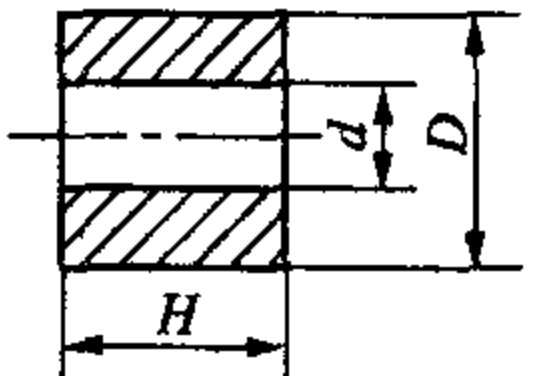
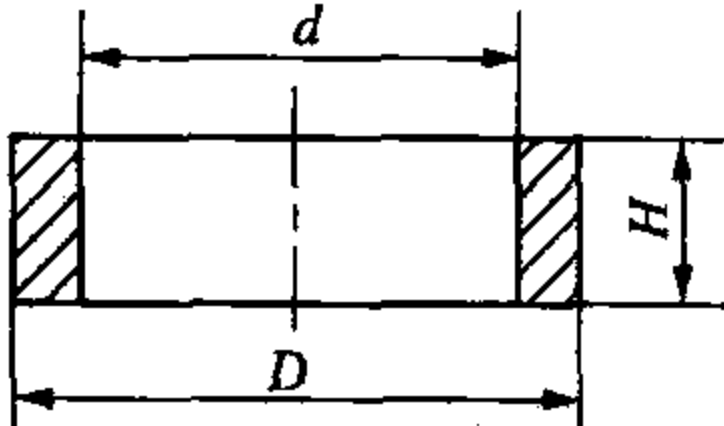
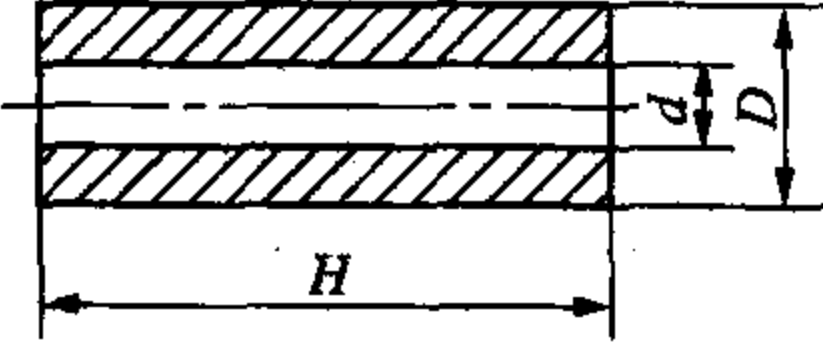
④ 单个锻件成形有困难时,应采取两件连锻,然后再切开。

⑤ 在压痕、压肩、错移、冲孔等工序中坯料产生拉缩现象,应添加适当的修整留量。

⑥ 多火次锻造大型锻件时,要考虑中间各火次加热的可能性。

⑦ 长度方向尺寸要求精确的长轴类锻件,在设计工序尺寸时,要考虑修整使长度尺寸略有增加。

表 4.5-1 空心锻件的变形方案

尺寸关系	简 图	变 形 方 案
$D/d \geq 2.5$ $H/(D-d) < 1$		镦粗——冲孔
$D/d \leq 2.5$ $H/(D-d) = 0.4 \sim 1.7$		① 镦粗——冲孔——扩孔 ② 镦粗——冲孔——芯轴拔长
$D/d \leq 1.5$ $H/(D-d) > 1$		镦粗——冲孔——扩孔
$D/d \geq 1.5$ $H/(D-d) > 1$		镦粗——冲孔——芯轴拔长

2. 工艺设计实例

(1) 20 t 吊钩的锻造(表 4.5-2)

(2) 50 MW 电机转子的锻造(表 4.5-3)

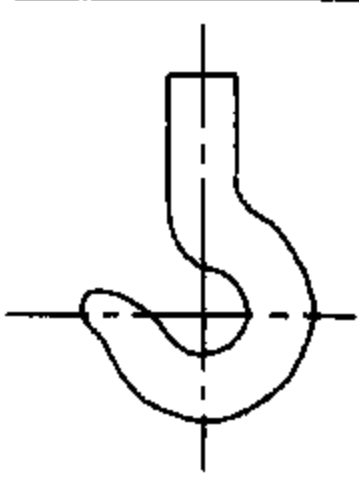
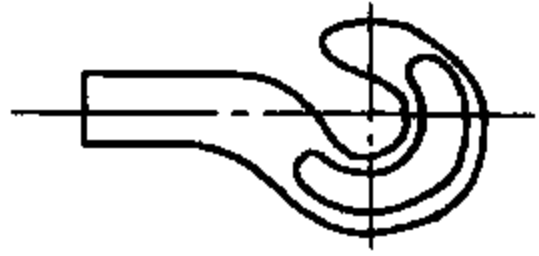
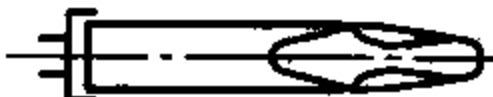
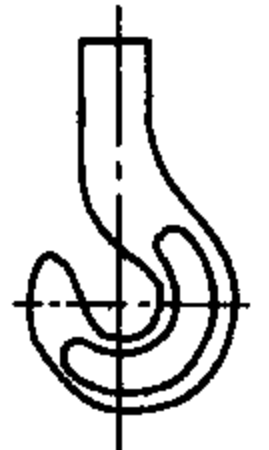
表 4.5-2 20 t 吊钩锻造/mm

<p>材料: 20 钢 锻件质量: 105 kg 毛坯: 16" 钢锭 (锻 5 件) 设备: 1 t 锤</p>		
序号	操作说明	简 图
1	拔出 150×150 mm 方坯	

(续表)

序号	操作说明	简 图
2	用型棒拔杆部,并调头拔头部	
3	弯头部	
4	弯根部	
5	翻转 180° 敲弯根部	
6	敲弯端部	
7	一面转动一面敲弯中部	

(续表)

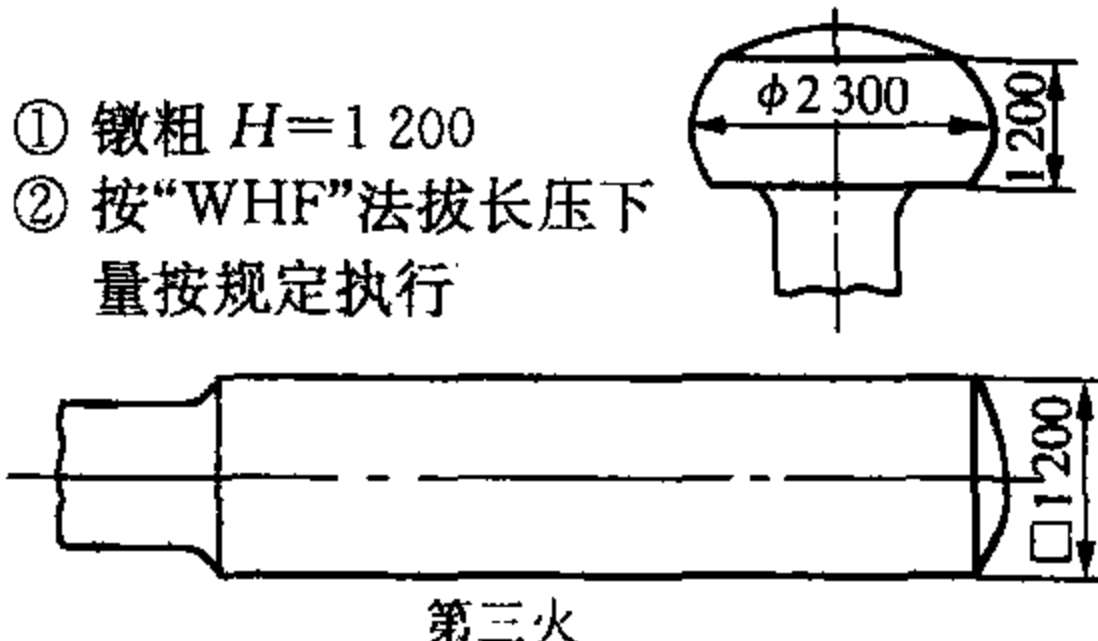
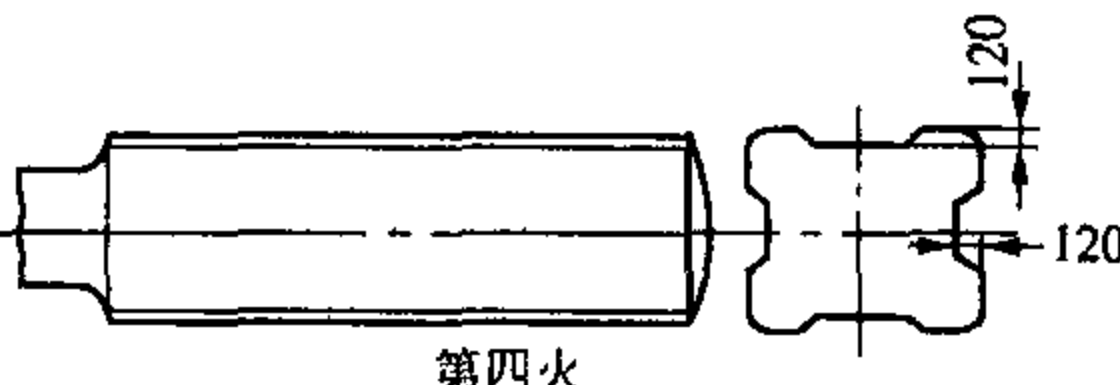
序号	操作说明	简图
8	立起吊钩缴弯	
9	锻出吊钩扇形截面	
10	修整	
11	修整腔部使与板部中心线一致	

- 注：① 弯曲前锻坯尺寸应估计到弯曲时断面拉缩(断面形状变化、断面积减小、断面长度略有拉长)，弯曲的圆角半径越小，弯曲角越大，畸变越厉害；另外还应考虑到锻扇形截面时，沿轴向有伸长，断面要减小，因此锻坯各处的断面积比锻件的断面积应大些，约大18%~20%，在A—A断面处大25%~30%，有些厂取的还要大些；各段的长度则应比锻件弯曲轴线的展开长度相应的缩短些。
- ② 本方案适用于单件小批量生产的情况。当操作经验不足时，火次可能较多，锻后内部晶粒可能较大，影响产品力学性能，因此，当批量较大时最好采用胎模成形。
- ③ 吊钩采用弯曲成形可保证锻件的纤维组织分布合理，与几何外形基本一致，锻坯轴心部的杂质和偏析不外露，产品的力学性能比用切割或气割法的好。

表 4.5-3 50 MW 电机转子锻造/mm

<p style="text-align: center;">锻件图</p>			
锻件名称	50 MW 电机转子	锻件质量/t	28.98
材料	25 Cr2 Ni4 MoV	钢锭质量/t	55
锻造比	8	钢锭利用率(%)	52.6
火次	温 度	变 形 过 程	使用工具
1	1 220~ 850℃	压钳口、倒棱、错底部	上平下 V型砧
2	1 250~ 850℃	① 镦粗 $H=1\ 200$ ② 拔长至 $\phi 1\ 600$ <p style="text-align: center;">第二火</p>	镦粗漏 盘、球面 镦粗板、 上平下 V 型砧

(续表)


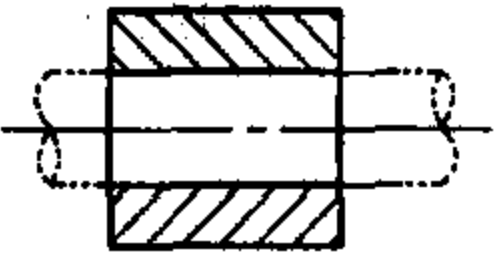

火次	温 度	变 形 过 程	使用工具
3	1 250~ 850℃	① 镦粗 $H=1\ 200$ ② 按“WHF”法拔长压下 量按规定执行  第三火	镦粗漏 盘、球 面 镦粗板、 宽砧
4	1 220~ 750℃	① 倒角 ② 去氧化皮 ③ 喷雾表面冷至 $750^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ④ 进行“JTS”法  第四火	上、下 专用压实 砧
5	1 220~ 850℃	① 压平凹坑 ② 倒成八方 $\#1\ 000$	上、下 平 砧
6	1 220~ 800℃	① 拔长至 $\phi 950$ ② 大圆上三角分料 ③ 压出一端 ④ 压出另一端 ⑤ 修整出成品	上平下 V 型砧

第六节 胎模锻造

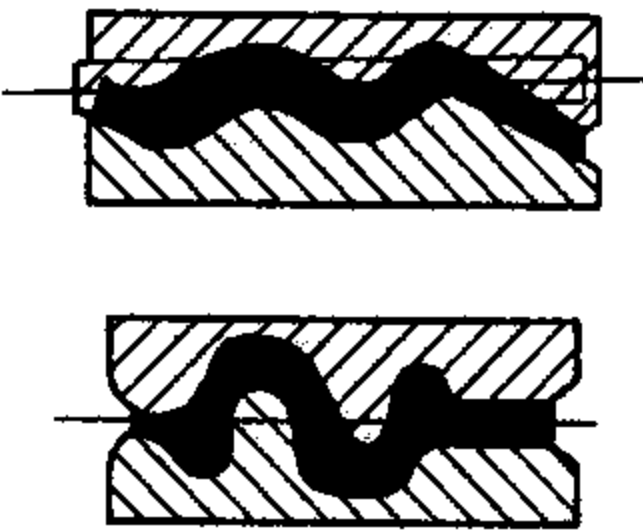

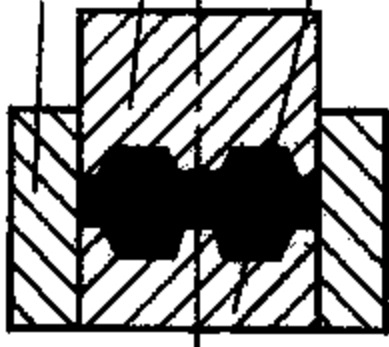
一、胎模锻的种类

根据胎模的结构形式和金属的变形特点,胎模锻大致可分为制坯、成形和修整三类。制坯主要采用摔模、扣模或弯曲模,目的是使坯料的材料分布符合锻件形状的要求;成形主要采用套模(分开式套模和闭式套模)或合模等成形模,目的是获得锻件的最终形状;修整是对锻件进行校正、切边、冲孔或压印等工序,一般以采用冲切模、校正模为主。各种胎模锻和胎模结构,见表 4.6-1。

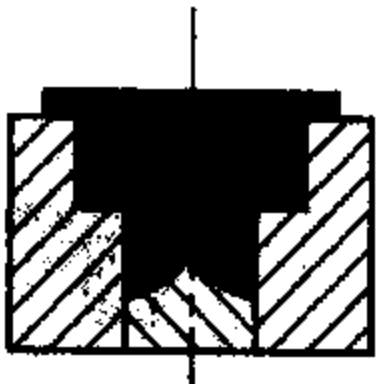

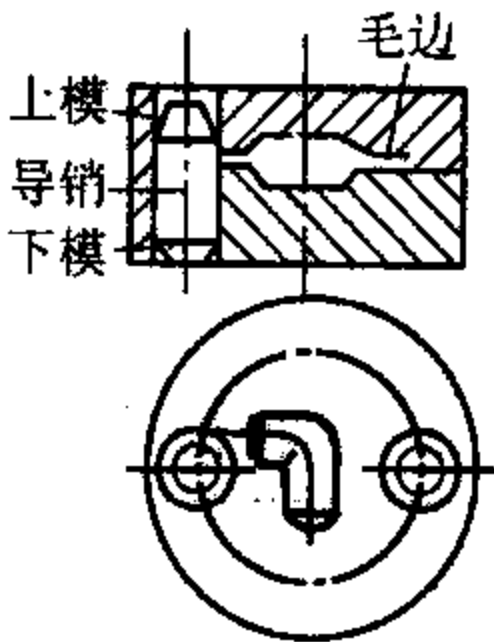
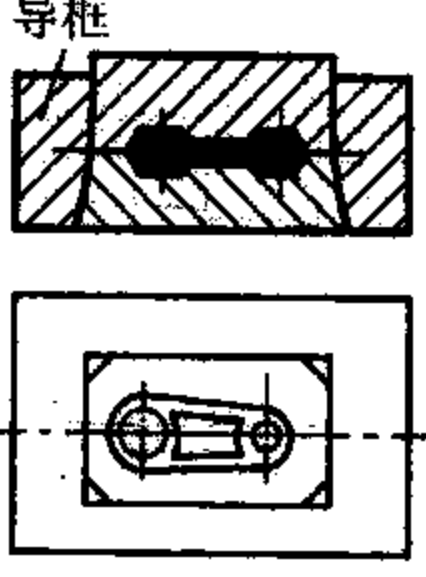
表 4.6-1 胎模锻分类及胎模的应用

分类及工艺特点	胎模结构简图	典型用途
摔模锻 成形时,不断旋转锻件,不产生毛边和纵向毛刺,主要用于旋转体锻件成形及制坯	 型摔	制坯、摔形
	 光摔	摔光杆、整径
扣模锻 成形时锻件不旋转,扣形与用砧面平整锻件侧面交替进行,用于非旋转体锻件制坯、成形	 带导锁、导板扣模	对称或不对称制坯、成形,能防止错位

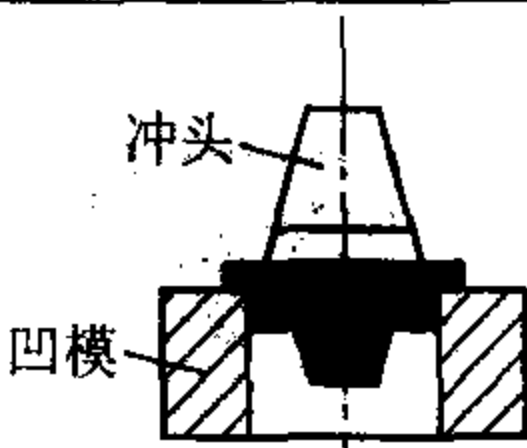
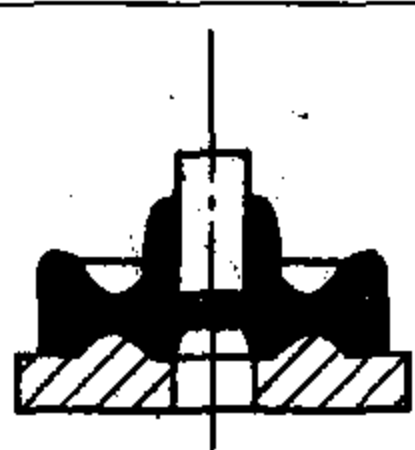
(续表)

分类及工艺特点	胎模结构简图	典型用途
<p>弯曲</p> <p>锻件不翻转,基本上不用砧面平整,用于改变坯料或中间坯料的轴线形状</p>	 <p>制坯弯曲模</p>	<p>改变坯料形状,分自由弯曲和夹紧弯曲</p>
<p>闭式套模锻</p> <p>模具由模套、冲头和下垫组成;成形终了会形成纵向毛刺;出模时,胎模翻转 180° 或不翻转。主要用于圆环类锻件成形</p>	<div data-bbox="856 1522 1293 1917">  <p>纵向毛刺</p> <p>无垫套模</p> </div> <div data-bbox="867 2160 1283 2674">  <p>模套 冲头 下垫</p> <p>带垫套模</p> </div>	<p>高凸台法兰、高毂齿轮、带杆杯筒的成形</p> <p>法兰、齿轮、杯筒、环套的成形</p>

(续表)

分类及工艺特点	胎模结构简图	典型用途
<p>开式套模(垫模)锻</p> <p>模具仅有下模,锻件上端面靠平面成形,成形终了时锻件有小毛边。出模时胎模需要翻转180°。主要用于圆盘类锻件制坯及成形</p>	 <p>带垫垫模</p>	<p>圆盘类锻件制坯,法兰顶墩,墩挤凸台。加垫可增大下模高度,便于修模,还可锻出底部有凹凸的锻件</p>
	 <p>拼分垫模</p>	<p>双面法兰、侧壁有凹档的锻件成形</p>
<p>合模锻</p> <p>模具由上、下模及导向装置组成,成形终了时在分模面上产生横向毛边,需要切边。主要用于杆类锻件</p>	 <p>带导销合模</p>	<p>平面分模,杆类锻件成形</p>
	 <p>带导框合模</p>	<p>平直分模或折线分模,要求较精密的中小型锻件成形</p>

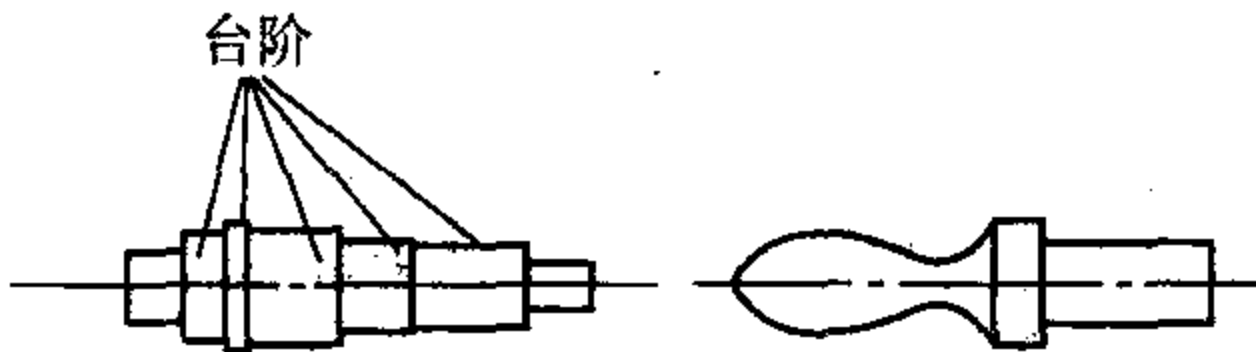
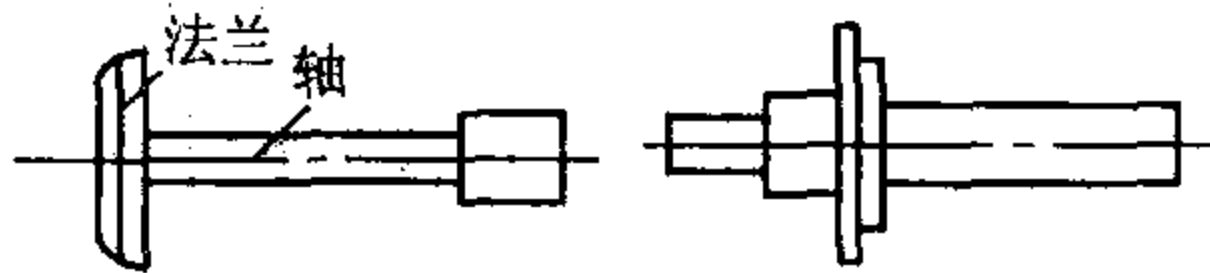
(续表)

分类及工艺特点	胎模结构简图	典型用途
冲切 模具由冲头、凹模及定位、导向装置组成。用于锻件的冲孔、切边或切断	 <p style="text-align: center;">切边模</p>	切边
	 <p style="text-align: center;">冲孔模</p>	冲孔

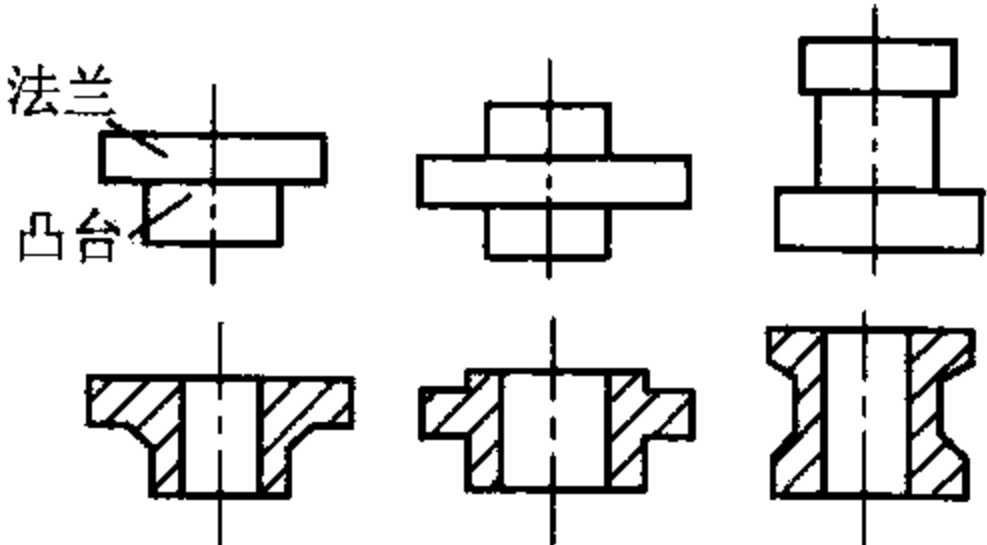

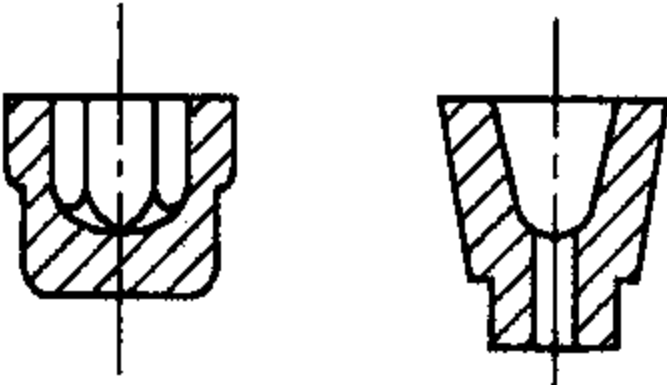

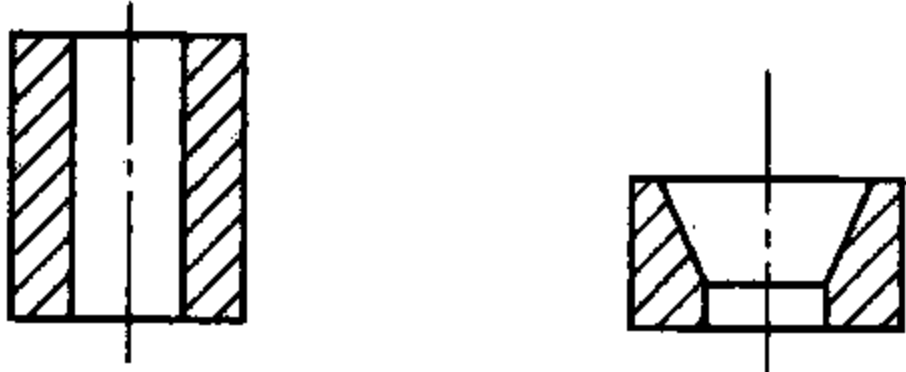
二、胎模锻锻件设计

胎模锻件的分类见表 4.6-2。

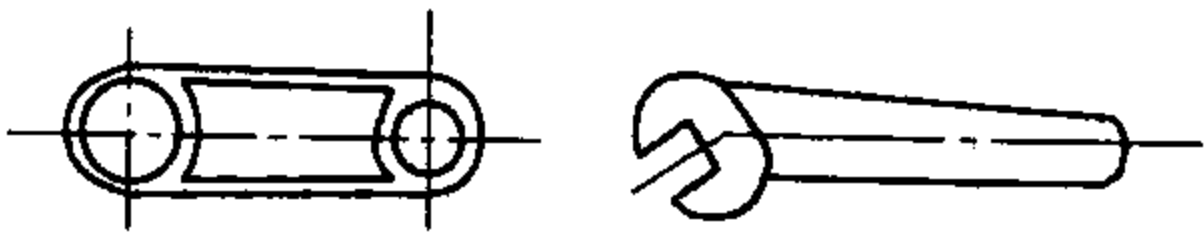
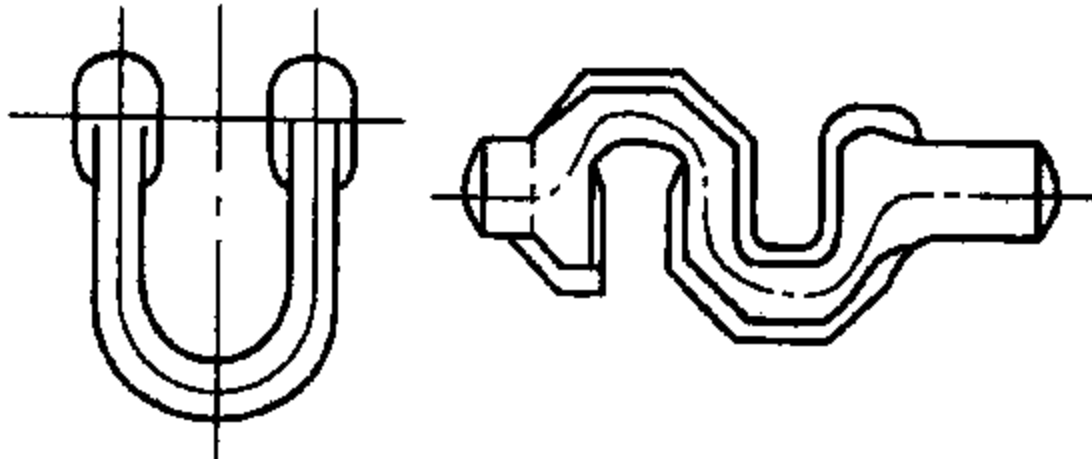
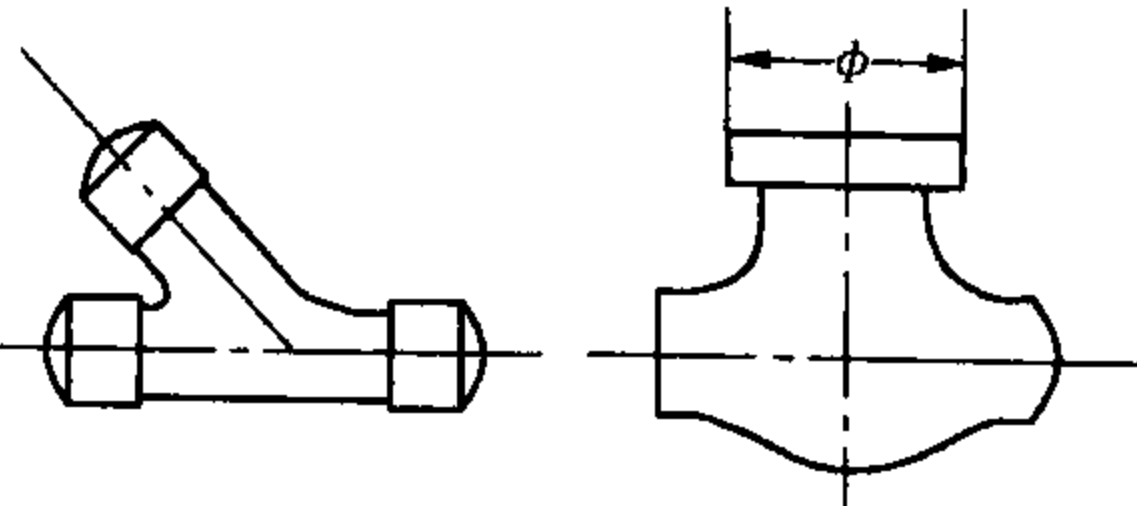
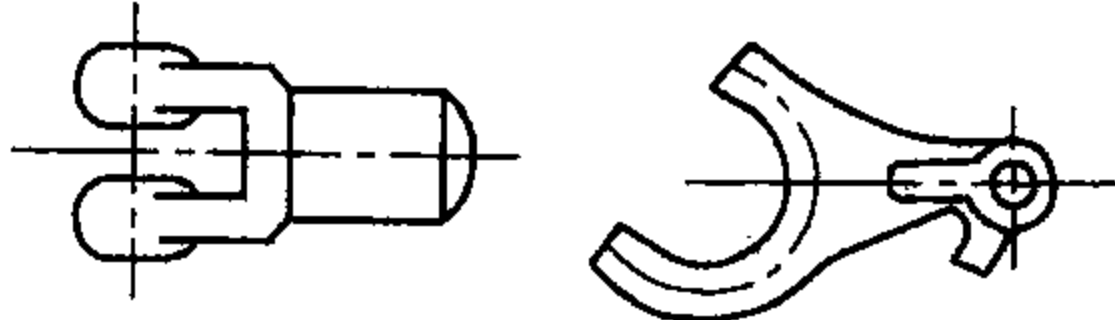
表 4.6-2 胎模锻件按形状分类

锻件类型		图 例
圆轴类 (长轴线 旋转体)	台阶轴	
	法兰轴	

(续表)

锻件类型	图 例
圆盘类 (短轴线 旋转体)	<div data-bbox="541 795 663 860">法兰</div> 
	<div data-bbox="541 1299 663 1365">齿轮</div> 
	<div data-bbox="541 1721 663 1786">杯筒</div> 
圆环类 (空心圆柱 旋转体)	<div data-bbox="562 2113 642 2178">环</div> 
	<div data-bbox="562 2516 642 2582">套</div> 

(续表)

锻件类型	图 例
杆类 (非 旋 转 体)	<div data-bbox="562 676 688 765">直杆</div> 
	<div data-bbox="562 1210 688 1299">弯杆</div> 
	<div data-bbox="562 1849 688 1938">枝杆</div> 
	<div data-bbox="562 2427 688 2516">叉杆</div> 

1. 胎模锻件结构要素设计

(1) 胎模锻件分模面的选定

分模面选取的原则是：取在垂直于作用力方向并于锻件最大截面处分模，以便锻件能顺利出模。

在满足该原则的前提下还应考虑以下几个方面：

- ① 能及时发现上、下模错移情况。
- ② 金属容易充满模膛。
- ③ 金属材料利用率高。
- ④ 尽量取平面为分模面。

⑤ 套模成形的锻件分模面，一般取在端面上，但根据零件的形状特点，也可以选择两个或更多的分模面，如图 4.6-1。

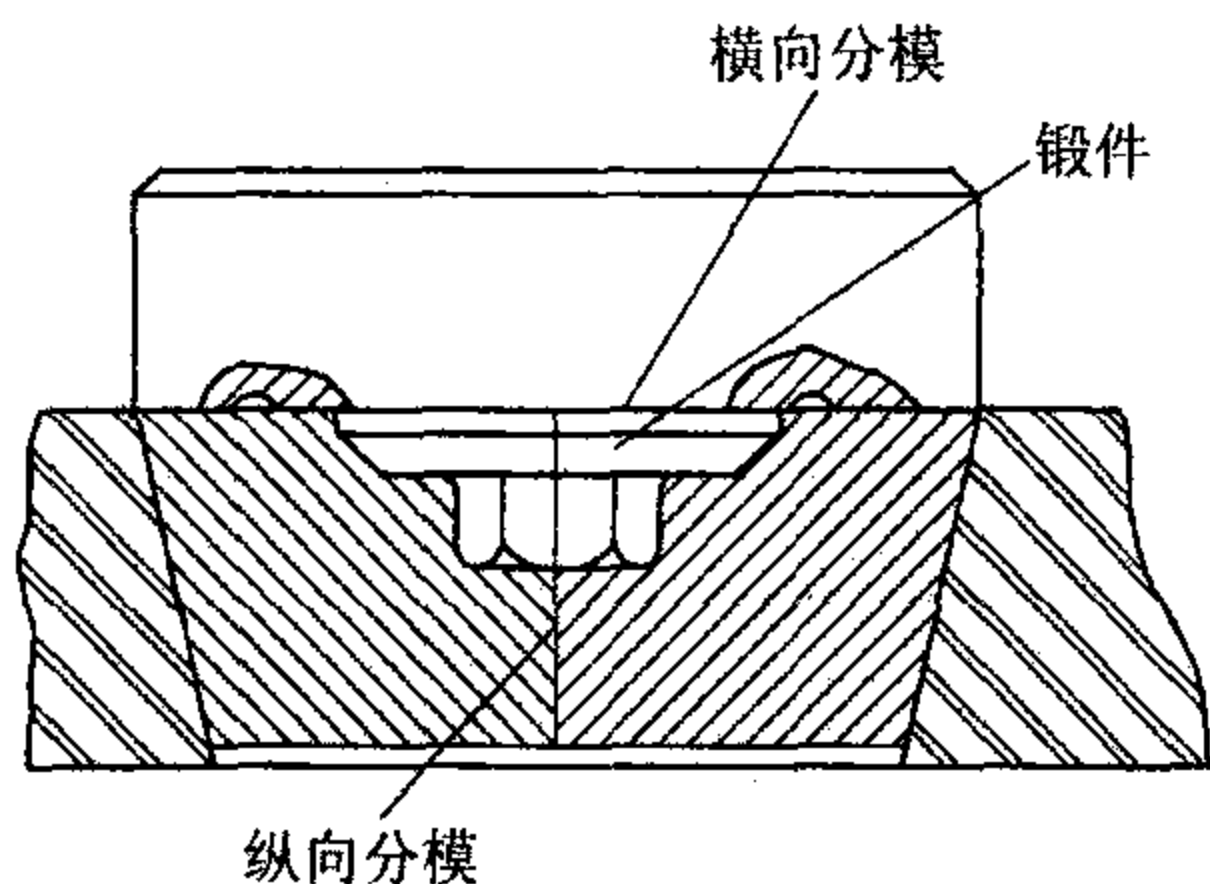
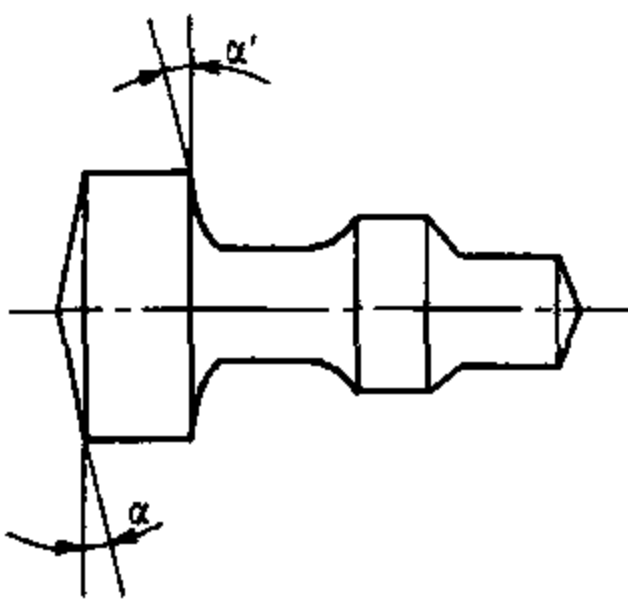
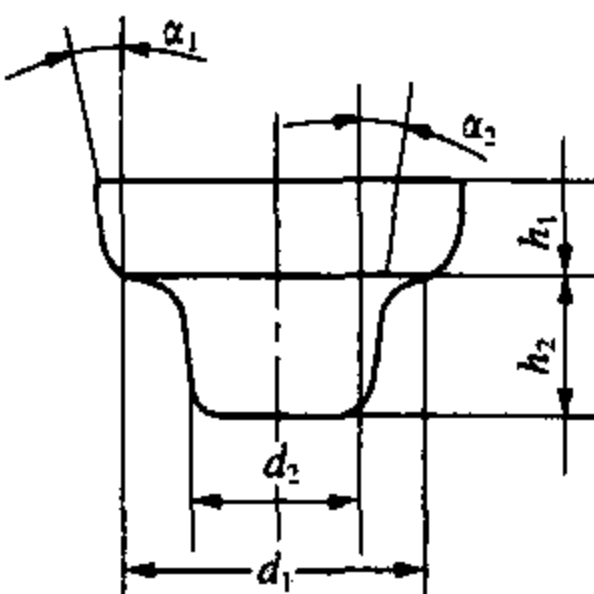
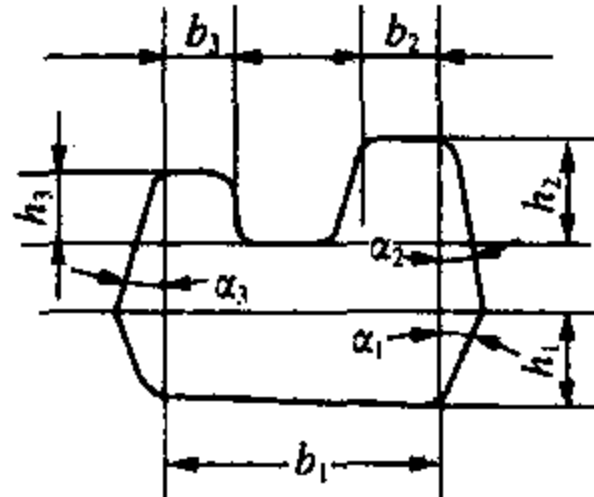
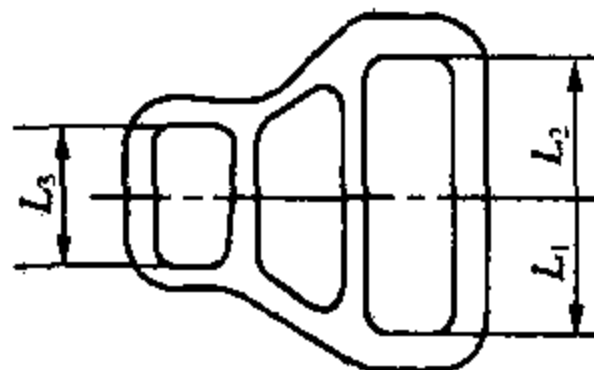


图 4.6-1 两个分模面的胎模

(2) 模锻斜度

胎模锻件的模锻斜度设计与其形状、添加斜度部位的高宽比和所用胎模的类型有关，可由表 4.6-3 查得。一般情况下同一锻件各部分斜度应尽可能一致。

表 4.6-3 胎模锻件模锻斜度

胎模类型	锻件简图	模锻斜度															
摔模		同合模,一般 α 不小于 7° , α' 不小于 10°															
套模	<p>开式(垫模)</p> 	① 靠翻转模具,用垫环顶出锻件部分的斜度:															
		α_1 $0^\circ, 0.5^\circ, 1^\circ, 1.5^\circ$															
		α_2 $1^\circ, 1.5^\circ, 2^\circ, 3^\circ$															
		② 不用垫环顶出锻件的斜度:															
		α_1 $5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$															
		α_2 $7^\circ, 10^\circ$															
合模	 	<table><tr><th>$\frac{h}{b}$ \ $\frac{L}{b}$</th><th><1</th><th>$1 \sim 3$</th><th>$3 \sim 4.5$</th><th>$4.5 \sim 6.5$</th></tr><tr><td><1.5</td><td>5°</td><td>7°</td><td>10°</td><td>12°</td></tr><tr><td>>1.5</td><td>3°</td><td>5°</td><td>7°</td><td>10°</td></tr></table>	$\frac{h}{b}$ \ $\frac{L}{b}$	<1	$1 \sim 3$	$3 \sim 4.5$	$4.5 \sim 6.5$	<1.5	5°	7°	10°	12°	>1.5	3°	5°	7°	10°
		$\frac{h}{b}$ \ $\frac{L}{b}$	<1	$1 \sim 3$	$3 \sim 4.5$	$4.5 \sim 6.5$											
		<1.5	5°	7°	10°	12°											
		>1.5	3°	5°	7°	10°											
外壁斜度 α 按表列数值选取;内壁斜度应较相应部位的外壁斜度增大一级																	

(3) 圆角半径

如图 4.6-2, 凸出的叫外圆角半径(r), 凹入的叫内圆角半径(R)。

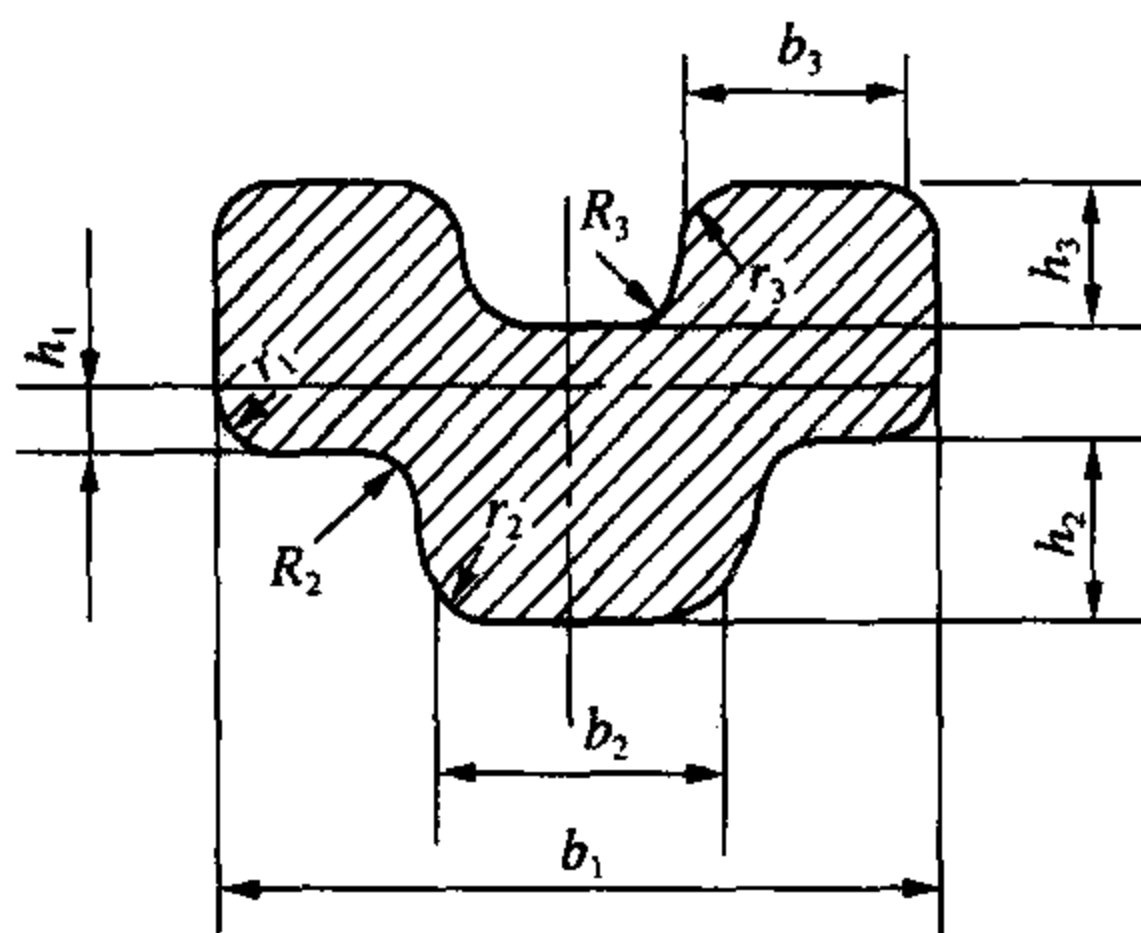


图 4.6-2 锻件圆角半径

为了制模方便, 圆角半径(mm)通常取以下系列: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5, 8, 10, 12, 15, 16, 18, 20 和 25。

圆角半径 r 和 R 取值的大小, 取决于所在部位的尺寸比例, 可根据圆角处高度 h 和相对高度 h/b 按图 4.6-3 选取, 并在圆角半径系列中取接近的数值。

(4) 冲孔连皮及压凹

当锻件孔径大于 30 mm 时, 可在锻件上设计带有连皮的孔, 然后再用冲孔模将其冲掉。当孔径大于 100 mm 时, 为了降低所需设备的吨位, 一般先用自由锻冲孔——扩孔, 再用胎模成形。当孔径小于 30 mm 时, 一般不做连皮孔。

胎模锻件的通孔一般采用平底连皮和端面连皮两种形式, 如

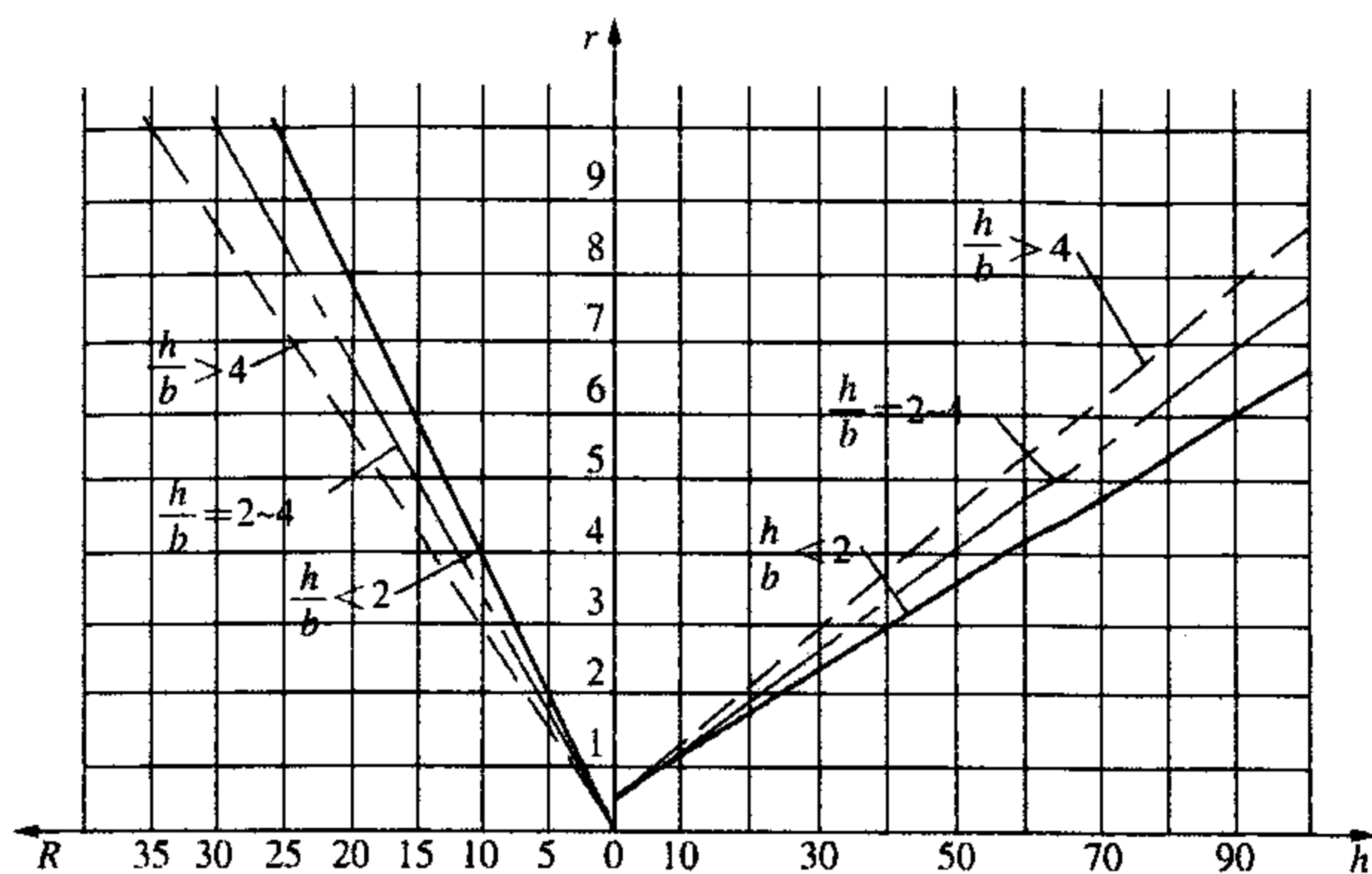


图 4.6-3 锻件圆角半径选用图

图 4.6-4。连皮的尺寸可按表 4.6-4 确定。

带盲孔的胎模锻件可采用压凹方法锻出浅孔,孔底以球面为宜。

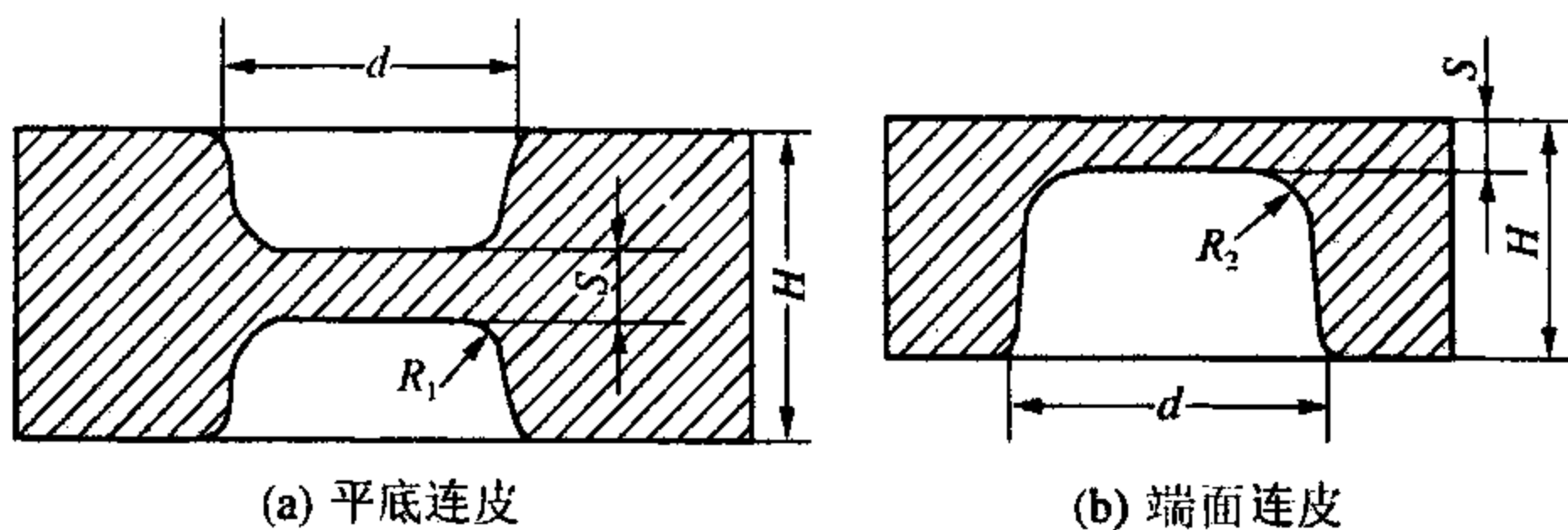


图 4.6-4 冲孔连皮

表 4.6-4 连皮尺寸/mm

<div> <div>H</div> <div>连皮尺寸</div> <div>d</div> </div>	≤ 25			25~50			50~75			75~100		
	S	R_1	R_2	S	R_1	R_2	S	R_1	R_2	S	R_1	R_2
≤ 50	3	4	5	4	6	8	5	8	12	6	14	16
50~70	4	5	7	5	7	10	6	10	14	7	16	18
70~100	5	6	8	6	8	12	7	12	16	8	18	20

2. 胎模锻件的加工余量和公差

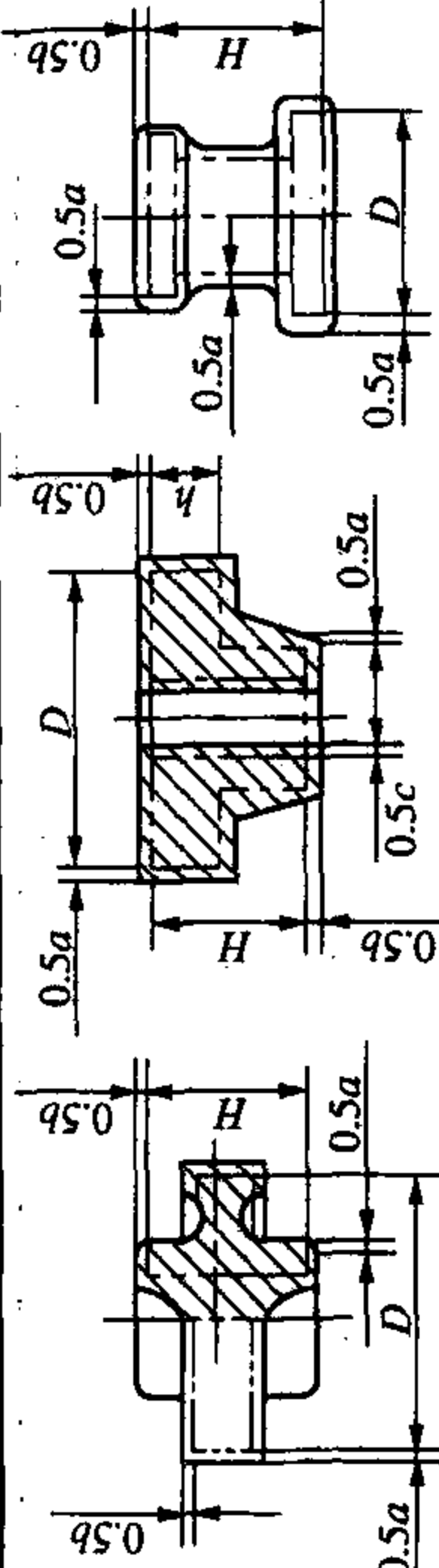
- (1) 摔模成形锻件的加工余量和公差(表 4.6-5)
- (2) 套模、垫模成形锻件的加工余量和公差(表 4.6-6)
- (3) 合模成形锻件的加工余量和公差(表 4.6-7)

表 4.6-5 型棒成形类锻件的机械加工余量与公差/mm

成形部分零件直径 D		成形部分零件长度 L							
		大于	0	30	50	80	120	160	
至		30	50	80	120	160			
余量 a 、 b 与极限偏差									
大于	至	a	b	a	b	a	b	a	b
0	30	3.0 ± 1.0	3.5 ± 1.0	3.5 ± 1.0	4.0 ± 1.0	4.5 ± 1.5	5.0 ± 2.0	5.5 ± 2.0	6.0 ± 2.0
30	50	3.5 ± 1.0	4.0 ± 1.0	4.0 ± 1.0	4.5 ± 1.5	5.0 ± 2.0	5.5 ± 2.0	6.0 ± 2.0	6.5 ± 2.0
50	80	—	—	4.5 ± 1.5	5.0 ± 2.0	5.5 ± 2.0	6.0 ± 2.0	6.5 ± 2.0	7.0 ± 2.0
80	120	—	—	—	5.5 ± 2.0	6.0 ± 2.0	6.5 ± 2.0	7.0 ± 2.0	7.5 ± 2.0
120	160	—	—	—	—	—	—	—	—

注：本表适用于型棒成形类胎模锻件的模内成形部分。

表 4.6-6 套模、垫模成形类锻件的机械加工余量与公差/mm

			零件最大截面尺寸 D		
零件最大高度 H	大于	0	100	160	
	至	100	160	200	
余量 a、b、c 与极限偏差					
大于	至	a	b	c	
0	50	+1.5 4.0 -1.0	+2.0 3.5 -1.0	+2.0 6.0 -1.5	+2.5 7.5 -1.5
50	100	+1.5 4.5 -1.0	+2.0 4.0 -1.0	+2.0 7.0 -1.5	+3.0 8.5 -2.0
100	160	+2.0 5.0 -1.0	+2.0 4.5 -1.0	+2.5 7.5 -2.0	+3.0 9.0 -2.0
160	200	—	—	—	—
200	250	—	—	—	—

(续表)

零件最大高度 H		零件最大截面尺寸 D									
		大于		200		250		315		400	
		至		250		315		400			
余量 a、b、c 与极限偏差											
大于	至	a	b	c	a	b	c	a	b	c	c
0	50	5.5 ^{+2.0} -1.0	5.0 ^{+2.5} -1.0	8.5 ^{+3.0} -2.0	—	—	—	—	—	—	—
50	100	6.0 ^{+2.0} -1.5	5.5 ^{+3.0} -1.5	9.0 ^{+3.0} -2.0	7.0 ^{+2.0} -1.5	6.5 ^{+3.0} -1.5	10.5 ^{+3.5} -2.5	—	—	—	—
100	160	6.5 ^{+2.0} -1.5	6.0 ^{+3.0} -1.5	10.0 ^{+3.5} -2.5	7.5 ^{+2.5} -1.5	7.0 ^{+3.5} -1.5	11.5 ^{+4.0} -2.5	8.5 ^{+3.0} -2.0	8.0 ^{+4.0} -2.0	13.0 ^{+4.5} -3.0	+4.5 -3.0
160	200	7.0 ^{+2.0} -1.5	6.5 ^{+3.0} -1.5	10.5 ^{+3.5} -2.5	8.0 ^{+3.0} -2.0	7.5 ^{+4.0} -2.0	12.0 ^{+4.5} -3.0	9.0 ^{+3.0} -2.0	8.5 ^{+4.5} -2.0	13.5 ^{+4.5} -3.0	+4.5 -3.0
200	250	7.5 ^{+2.5} -1.5	7.0 ^{+3.5} -1.5	11.5 ^{+4.0} -2.5	8.5 ^{+3.0} -2.0	8.0 ^{+4.0} -2.0	13.0 ^{+4.5} -3.0	9.5 ^{+3.0} -2.0	9.0 ^{+4.5} -2.0	14.5 ^{+4.5} -3.0	+4.5 -3.0
250	315	8.5 ^{+3.0} -2.0	8.0 ^{+4.0} -2.0	13.0 ^{+4.5} -3.0	9.5 ^{+3.0} -2.0	9.0 ^{+4.5} -2.0	14.5 ^{+4.5} -3.0	10.5 ^{+3.5} -2.5	10.0 ^{+5.0} -2.5	16.0 ^{+5.5} -4.0	+5.5 -4.0
315	400	—	—	—	10.0 ^{+3.5} -2.5	9.5 ^{+5.0} -2.0	15.0 ^{+5.5} -2.5	11.0 ^{+3.5} -2.5	10.5 ^{+5.5} -2.5	16.5 ^{+5.5} -4.0	+5.5 -4.0

注：本表适用于零件表面粗糙度为 $R_a 3.2 \sim 25 \mu m$ 的套模、垫模成形类胎模锻件。

(续表)

零件最大高度 H		零件最大长度 L			
		大于	180	250	315
至		至	250	315	400
余量 a、b 与极限偏差					
大于	至	a	b	a	b
0	30	—	—	—	—
30	50	5.5 +2.0 -1.0	5.0 +2.5 -1.0	6.0 +2.0 -1.5	5.5 +3.0 -1.5
50	80	6.0 +2.0 -1.5	5.5 +3.0 -1.5	6.5 +2.0 -1.5	6.0 +3.0 -1.5
80	120	6.5 +2.0 -1.5	6.0 +3.0 -1.5	7.0 +2.0 -1.5	6.5 +3.0 -1.5
120	160	7.0 +2.0 -1.5	6.5 +3.0 -1.5	7.5 +2.5 -2.0	7.0 +3.5 -1.5

注：本表适用于零件表面粗糙度为 $R_a 3.2 \sim 25 \mu m$ 合模成形类胎模锻件。

3. 锻件图

胎模锻件的锻件图有冷锻件图和热锻件图两种。冷锻件图是在零件图的基础上,考虑锻件分模、模锻斜度、圆角半径、冲孔连皮以及机械加工余量和公差等绘制而成的。热锻件图是在冷锻件图的基础上,加上锻件冷缩量绘制而成的。表 4.6-8 所列为常用锻造材料的冷缩率。

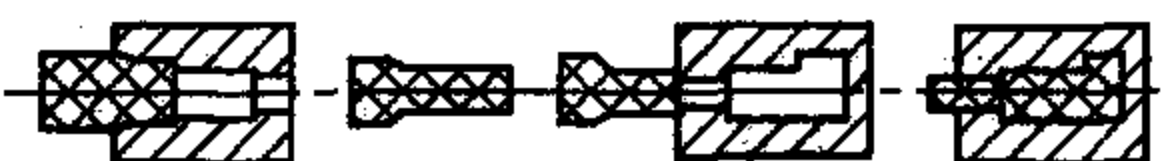
表 4.6-8 常用金属的锻件冷缩率(%)

材料 终锻温度	镁合金	铝合金	铜、钛合金	黑色金属
较低(一般条件)	0.5~0.8	0.6~1.0	0.7~1.1	0.8~1.2
较高(终锻前重新加热)	0.8~1.0	1.0~1.2	1.1~1.4	1.2~1.5

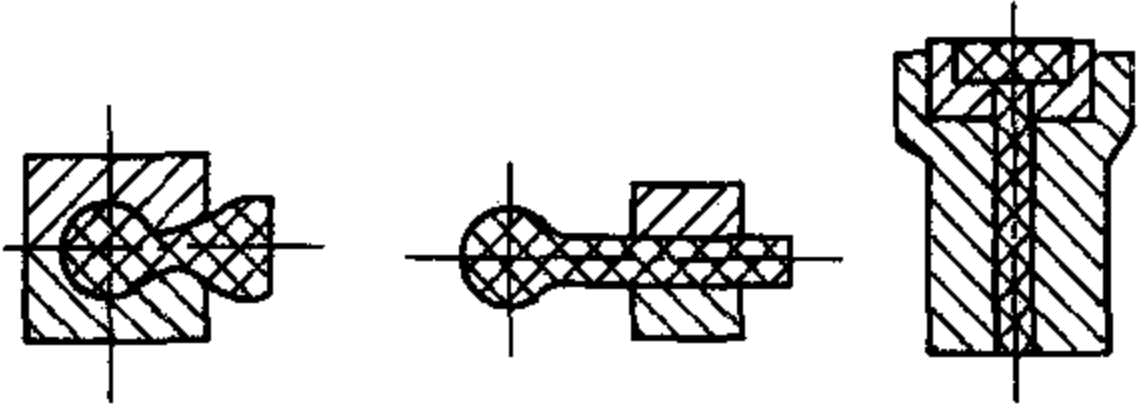
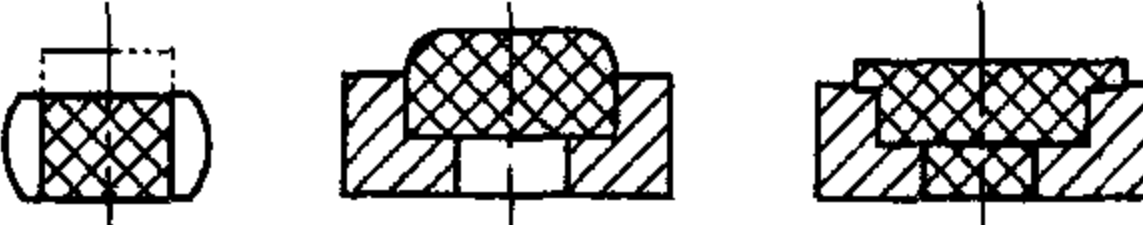
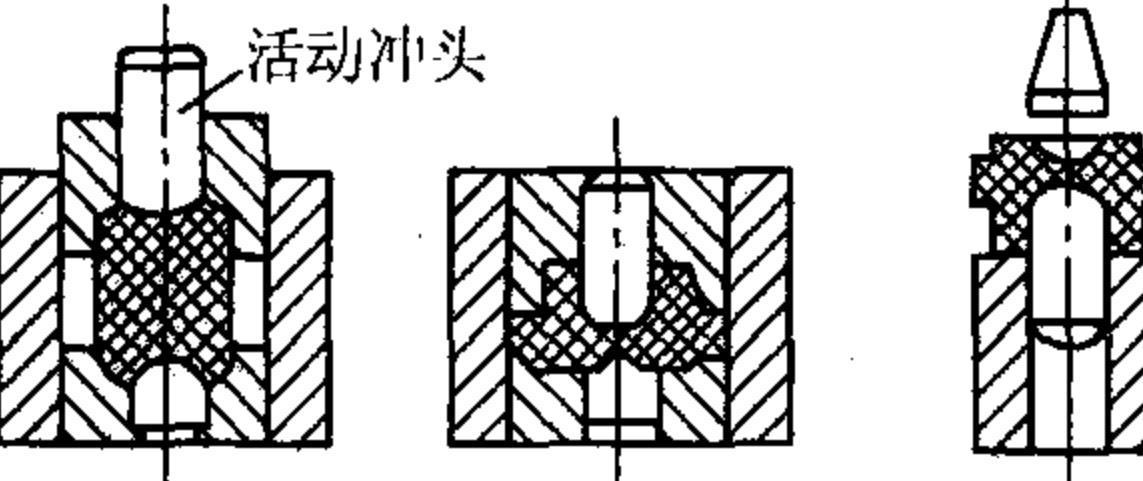
三、各类锻件常用的胎模锻工艺

各类锻件常用的胎模锻工艺见表 4.6-9。

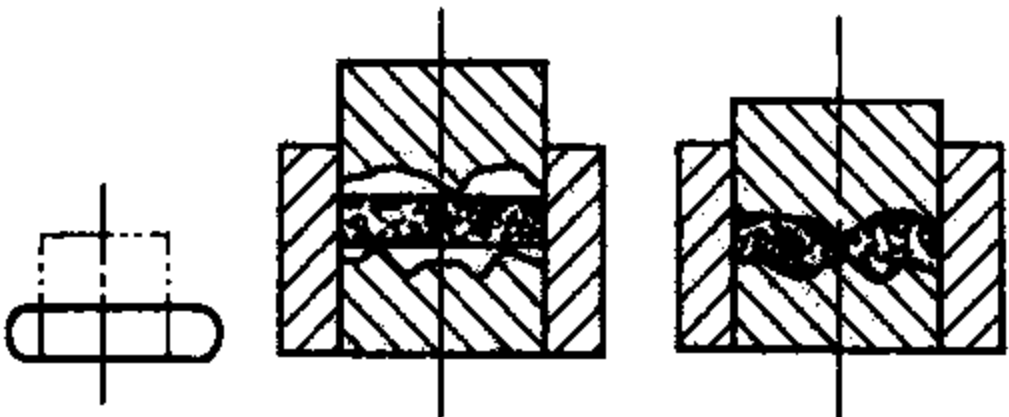
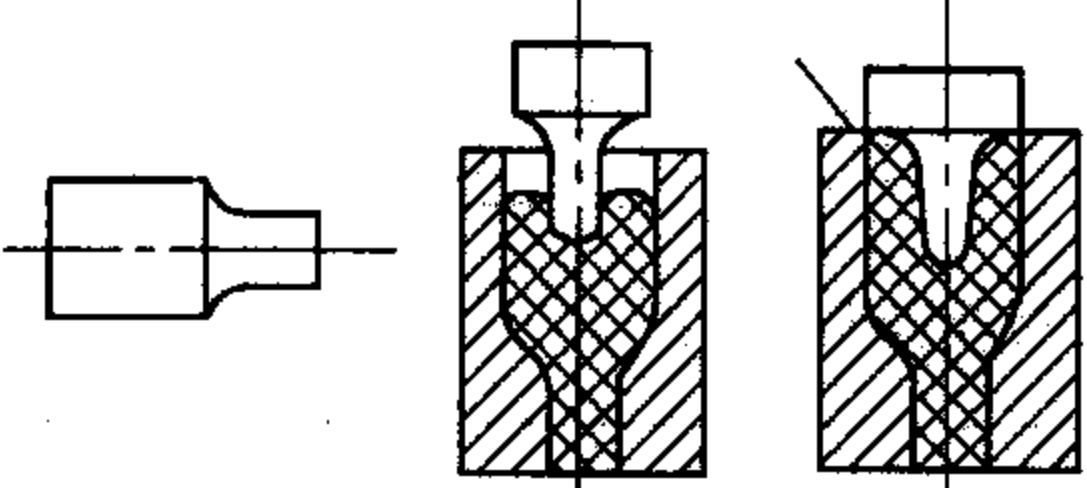
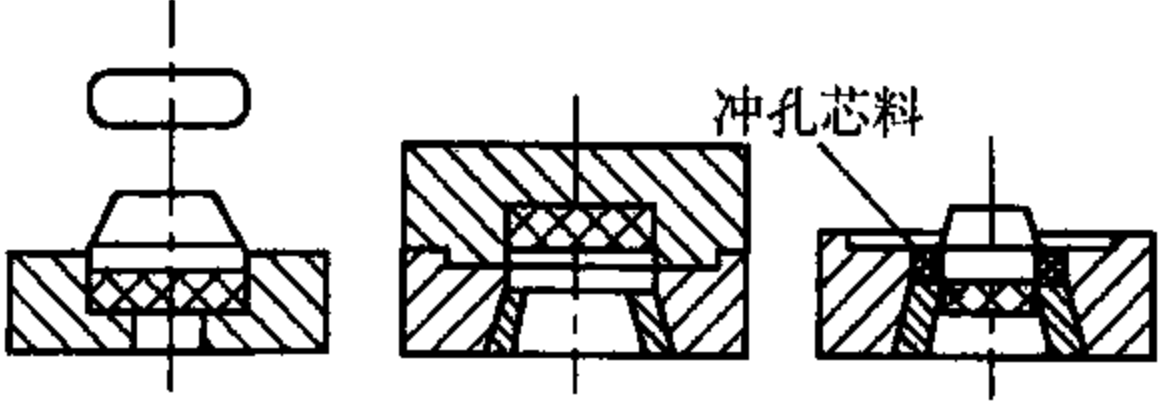
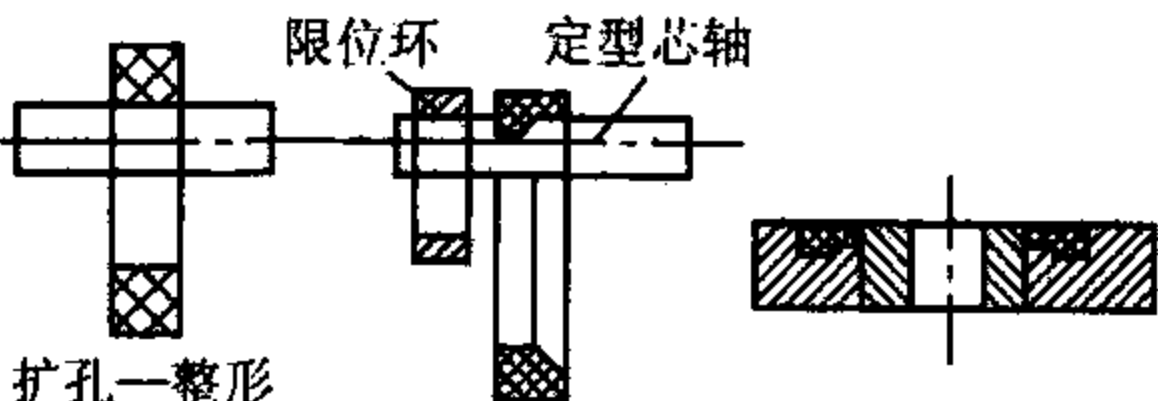
表 4.6-9 各类锻件常用的胎模锻工艺

锻件类别	变形工艺简图	工艺特点及应用范围
圆轴类 台阶轴	 <p>棒形拔长</p>	胎模轻便,所需设备吨位小;锻件台阶同心度及平直度不易保证;生产率低。适用于长度较大的多阶轴及截面平滑变化的杆轴

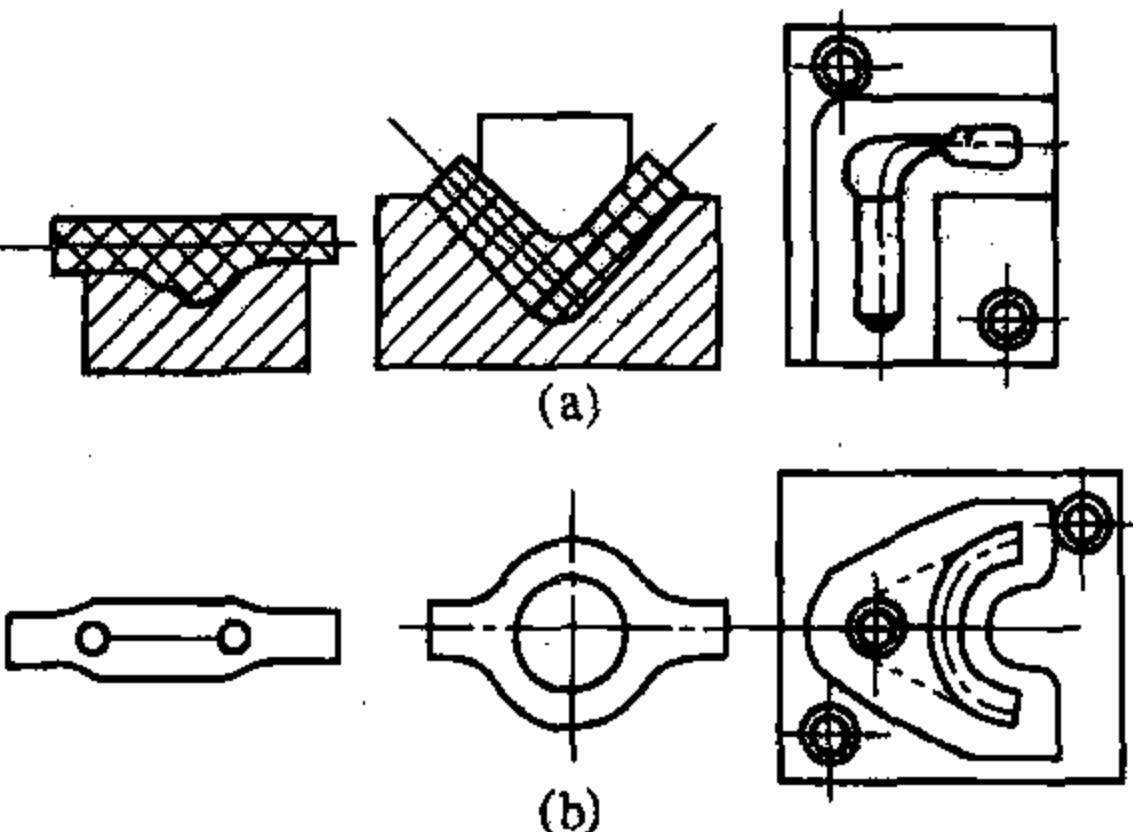
(续表)

锻件类别	变形工艺简图	工艺特点及应用范围
圆轴类 法兰轴		<p>头部锻粗比不大于 2, 可直接锻粗; 当不能直接锻粗时, 一般采用直径接近头部的坯料, 先摔形拔长, 再局部锻粗, 也可采用直径接近头部尺寸的坯料, 先压肩, 再局部锻粗后摔形拔长</p>
圆盘类 法兰	 <p style="text-align: center;">锻 挤</p>	<p>法兰部分锻粗成形, 凸台部分压入成形。适用于中小型宽缘、短凸台法兰</p>
	 <p style="text-align: center;">冲 挤</p>	<p>模内固定冲头(或活动冲头)冲挤、锻粗。适用于中小型窄缘、厚壁、有孔法兰</p>

(续表)

锻件类别	变形工艺简图	工艺特点及应用范围
圆盘类	 <p data-bbox="758 1018 1094 1077">套模闭式成形</p>	坯料预锻或其他方式制坯后, 套模无毛边成形。节约金属, 高度方向公差大。适用于中小型扁薄齿轮
	 <p data-bbox="842 1670 1010 1730">冲 挤</p>	模内冲挤出孔。适用于厚壁小孔杯筒
圆环类	 <p data-bbox="842 2175 1010 2234">冲切孔</p>	成形后冲切出孔, 孔壁光洁, 生产率高, 冲切芯料较大。适用于扁平环
	 <p data-bbox="390 2629 632 2689">扩孔—整形</p> <p data-bbox="779 2703 1062 2763">扩孔—整形</p>	冲孔扩孔后模内整形, 可提高扩孔效率和锻件尺寸精度, 还能获得直径相差不大的内(外)台阶环套

(续表)

锻件类别	变形工艺简图	工艺特点及应用范围
杆类 直杆、弯杆、枝杆、叉杆	 <p style="text-align: center;">(a)</p> <p style="text-align: center;">(b)</p> <p style="text-align: center;">合模成形一切边</p>	<p>根据锻件截面和轴线形状制坯后,在合模内整体(或局部)成形,并切去毛边。适用于各类锻件</p>

四、胎模锻设备吨位的确定

① 带毛边的合模锻造,锻锤吨位按下式计算:

$$G = KF$$

式中 G ——锻锤吨位(kg);

F ——锻件的投影面积(cm^2);

K ——锻件形状系数:外形简单或制坯较好时取 5~6;外形复杂或局部有筋时取 6~7;小件不制坯直接成形时取 7~9;扁薄锻件或薄辐齿轮件取 8~10。

② 无毛边闭式套模锻造和跳模锻造时,锻锤吨位可参照表 4.6-10 选取。

表 4.6-10 锻锤的选择

锻锤吨位/kg	锻件最大直径/mm	
	无毛边闭式套模锻	跳模锻
250	80~100	65
400	130~150	75
560	155~165	85
750	175~185	100
1 000	200~210	120

五、胎模设计

1. 摔模设计

① 圆摔模膛的断面形状、尺寸及外形尺寸,见表 4.6-11。

当上、下摔模闭合(打靠)以控制坯料被摔部分尺寸时,圆摔直径 D 等于被摔部分的热态直径;否则, D 值等于坯料被摔部分直径减去 2~3 mm 的欠压量。

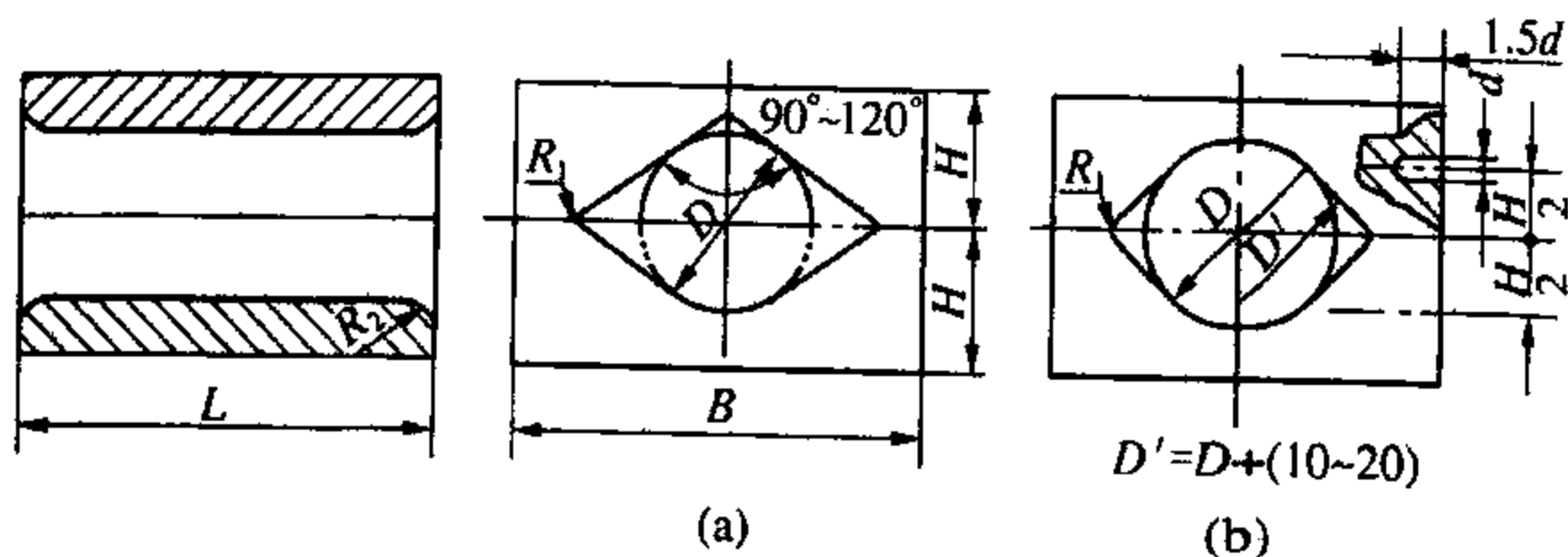
当坯料变形量大时,为了提高延伸效率和防止夹料,圆摔模膛制成菱形断面;当坯料变形量较小时(如摔光、校正),模膛制成近似于椭圆形断面。

② 型摔模膛口部和尾部尺寸见表 4.6-12,外形尺寸见表 4.6-13。其中直径 D 的确定方法与圆摔相同。

2. 扣模设计

扣模结构尺寸如图 4.6-5 所示。当锻件合模焖形时,扣模模膛总高度 $2h$ 应比相应的合模模膛宽度小 2~3 mm,以便将扣形后的坯料放入合模内,并造成良好的镦粗充填条件;当扣模直接成形时,其模膛总高度等于锻件高度。

表 4.6-11 圓棒尺寸/mm



D	H	B	L	R_1	R_2	d
≤ 20	35	70	70	10	5	10
21~30	40	80	80	10	6	13
31~40	45	90	90	15	6	13
41~50	50	100	100	15	8	16
51~60	55	110	105	20	8	16
61~70	60	120	110	20	8	16
71~80	65	130	115	25	10	19
81~90	70	140	120	25	10	19
91~100	75	150	125	25	10	19
101~110	80	160	130	25	10	19
111~120	85	170	130	30	12	22
121~130	90	180	150	30	12	22
131~140	95	190	150	30	12	22
141~150	100	200	150	30	12	22

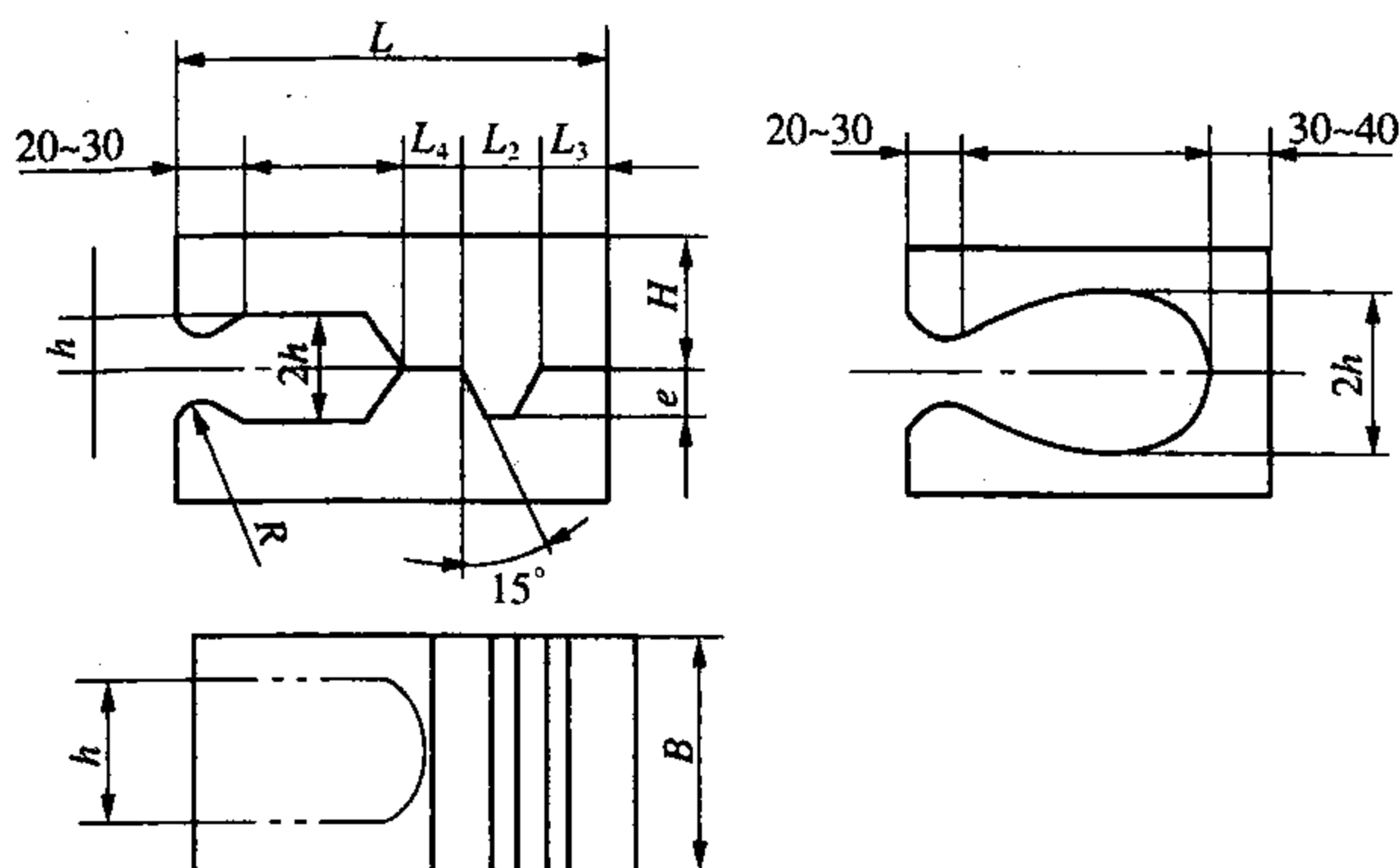
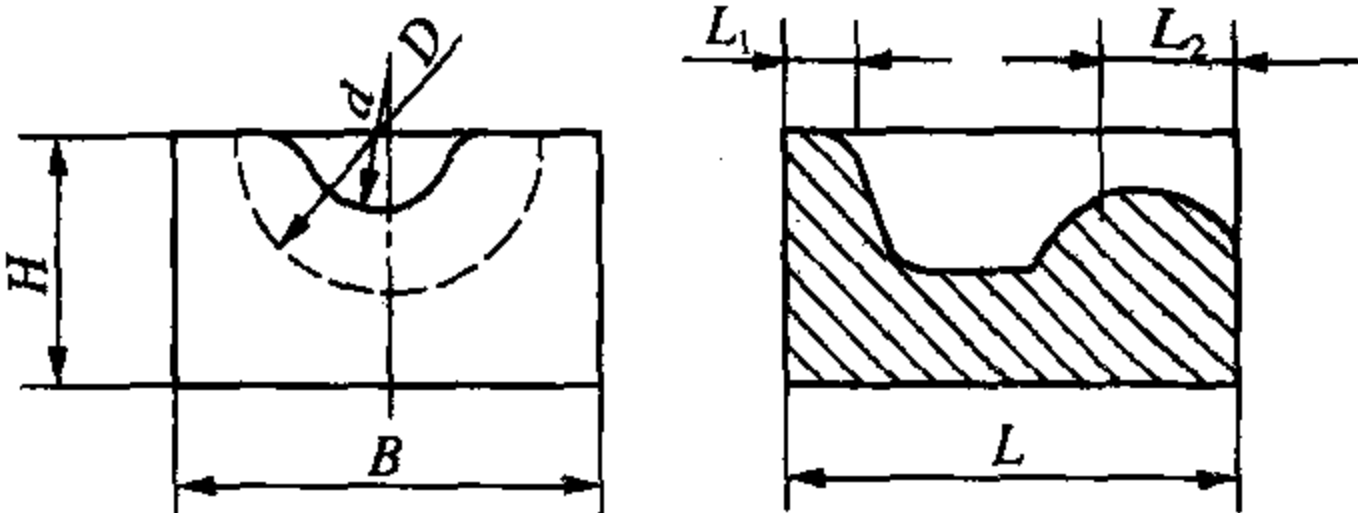


图 4.6-5 扣模结构及尺寸

表 4.6-12 型棒口部及尾部尺寸/mm

d	R_2	α_2	L_2	L'_2	D	R_3	L_3	d_3	α_3
≤ 20	5	60°	16	6	≤ 30	2	5	4	1.5°
21~50	8	45°	23	8	31~50	5	10	5	1.5°
51~100	12	45°	30	10	51~100	10	15	8	3°
101~140	15	30°	40	15	101~150	15	20	10	5°

表 4.6-13 型棒外形尺寸/mm



D	H	B	L ₁	L ₂
≤30	40	80	35	20
31~40	45	90	35	20
41~50	50	100	40	25
51~60	55	110	40	25
61~70	60	120	45	25
71~80	65	130	45	30
81~90	70	140	50	30
91~100	75	150	50	30
101~125	95	175	60	40
126~150	110	200	60	40

扣模外形尺寸如下：

$$B = b_{\max} + (20 \sim 50) \text{ mm}$$

$$L = \sum L_i$$

$$H = (2 \sim 3) h_{\max}$$

式中 B——扣模外形宽度；

b_{\max} ——锻件扣形部分的最大宽度；

L——扣模外形长度；

H——扣模外形高度；

L_i ——扣模导锁各段长度；

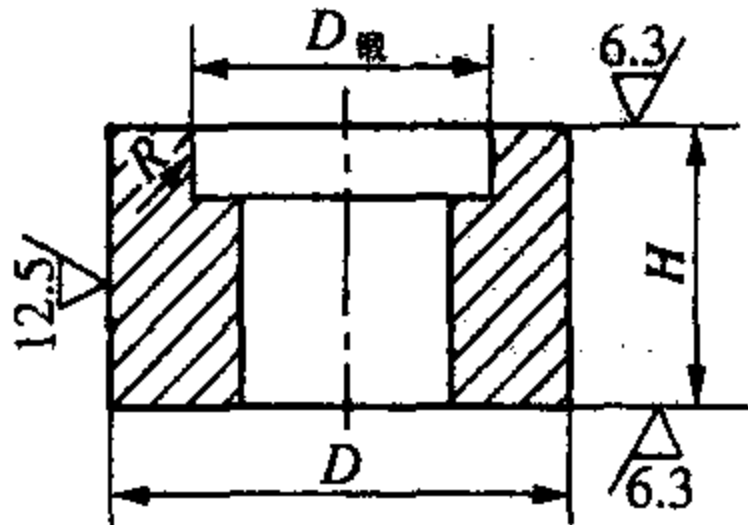
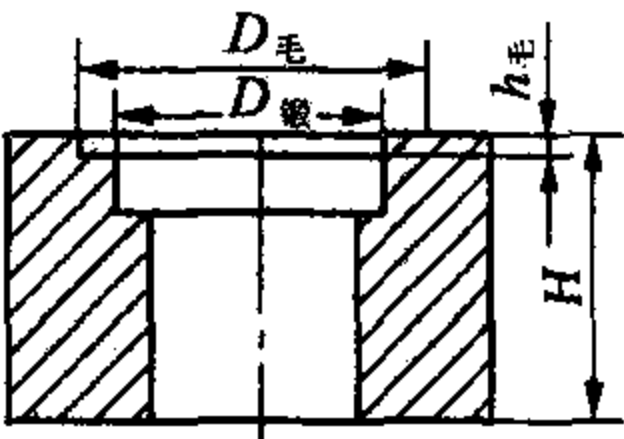
h_{\max} ——模膛最大深度。

3. 开式套模(垫模)设计

开式套模模膛尺寸由锻件图确定。

开式套模外形尺寸见表 4.6-14。

表 4.6-14 开式套模外形尺寸/mm

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>无毛边槽式</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>有毛边槽式</p> </div> </div>					
锻件最大 直径 $D_{\text{锻}}$	垫模外径 D	垫模高度		毛边槽尺寸	
		无毛边槽	有毛边槽	$D_{\text{毛}}$	$h_{\text{毛}}$
≤ 100	$D_{\text{锻}} + 60$	等于锻件 高度 $H_{\text{锻}}$ 减 去 2~3 mm	等于锻件 高度 $H_{\text{锻}}$	$D_{\text{锻}} + 20$	1~2
101~150	$D_{\text{锻}} + 70$			$D_{\text{锻}} + 30$	1.5~2.5
151~200	$D_{\text{锻}} + 80$			$D_{\text{锻}} + 50$	2~3
201~250	$D_{\text{锻}} + 100$			—	—
251~300	$D_{\text{锻}} + 120$			—	—

4. 闭式套模设计

闭式套模模膛尺寸由热锻件图确定。

闭式套模典型结构及外形见图 4.6-6。

模套外径 D 按表 4.6-15 确定。当使用的锻锤吨位较大时应进行强度校核。

减轻模套质量的方法见图 4.6-7。

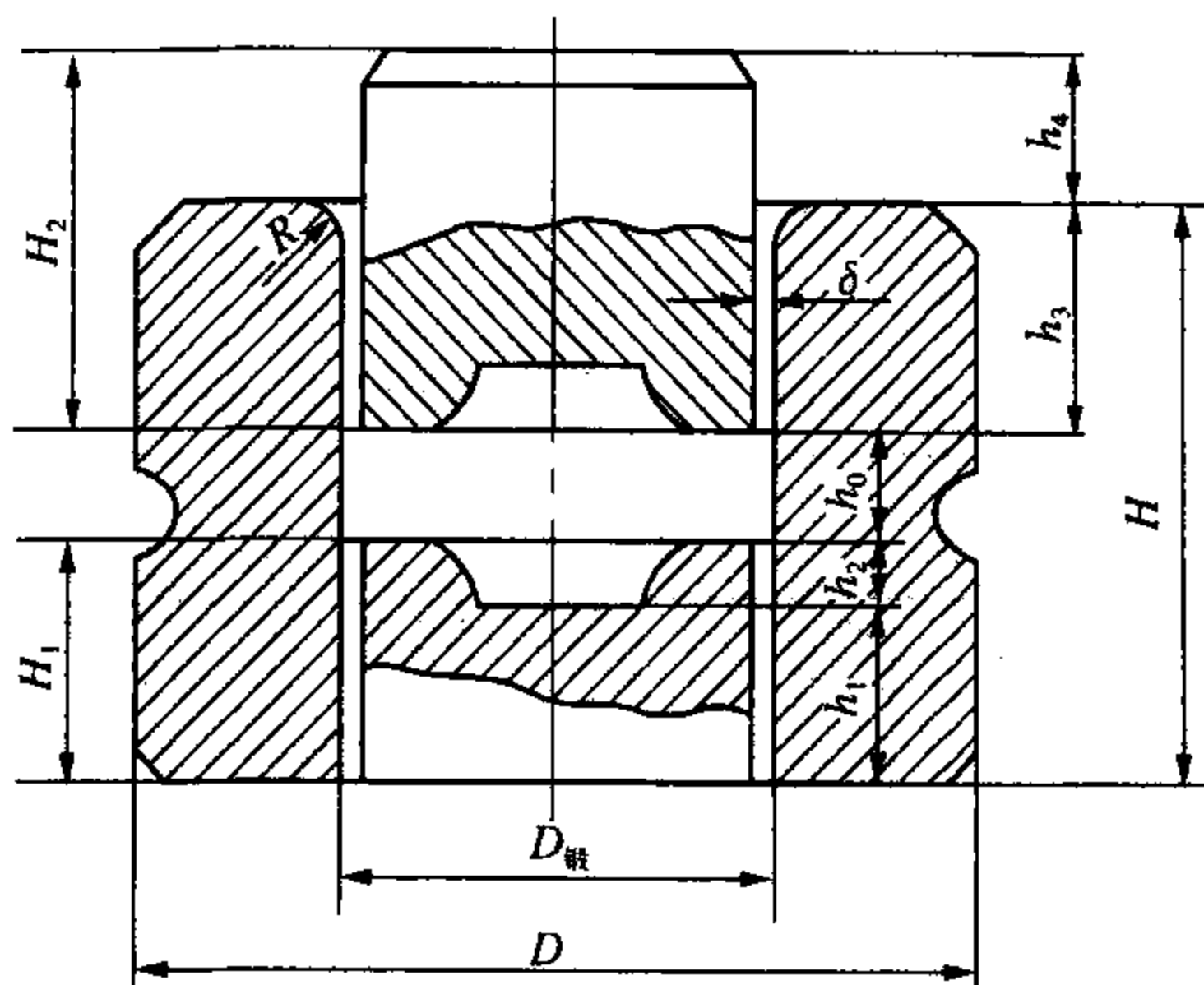


图 4.6-6 闭式套模模套及模垫尺寸

表 4.6-15 模套外径/mm

	锻件最大直径 $D_{\text{锻}}$	模套外径 D
	<40	$D + 70$
	41~70	$D + 75$
	71~100	$D + 80$
	101~130	$D + 85$
	131~160	$D + 95$
	161~200	$D + 100$
	201~240	$D + 110$
	241~280	$D + 125$

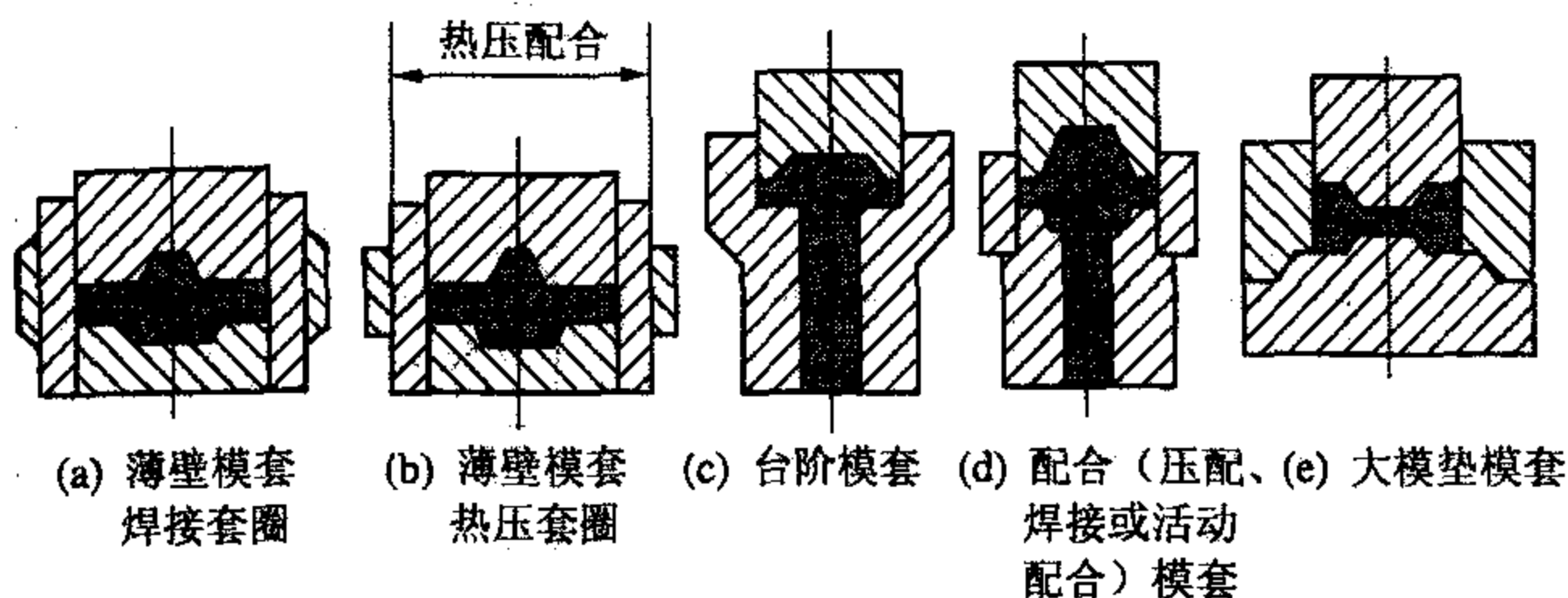


图 4.6-7 减轻模套重量的方法

模套高度 H 按下式计算：

$$H = H_1 + H_2 + h_0 - h_4$$

式中 H_1 ——下模垫高度, $H_1 = h_1 + h_2$;

H_2 ——上模垫高度, $H_2 = h_3 + h_4$;

h_0 ——锻件轮缘部分高度;

h_4 ——上模垫较模套高出部分高度。当上模垫需夹持时,

$h_4 = 30 \sim 50 \text{ mm}$, 不需夹持时, $h_4 = 0 \sim 10 \text{ mm}$;

h_1 ——下模垫厚度, 其最小值查表 4.6-16;

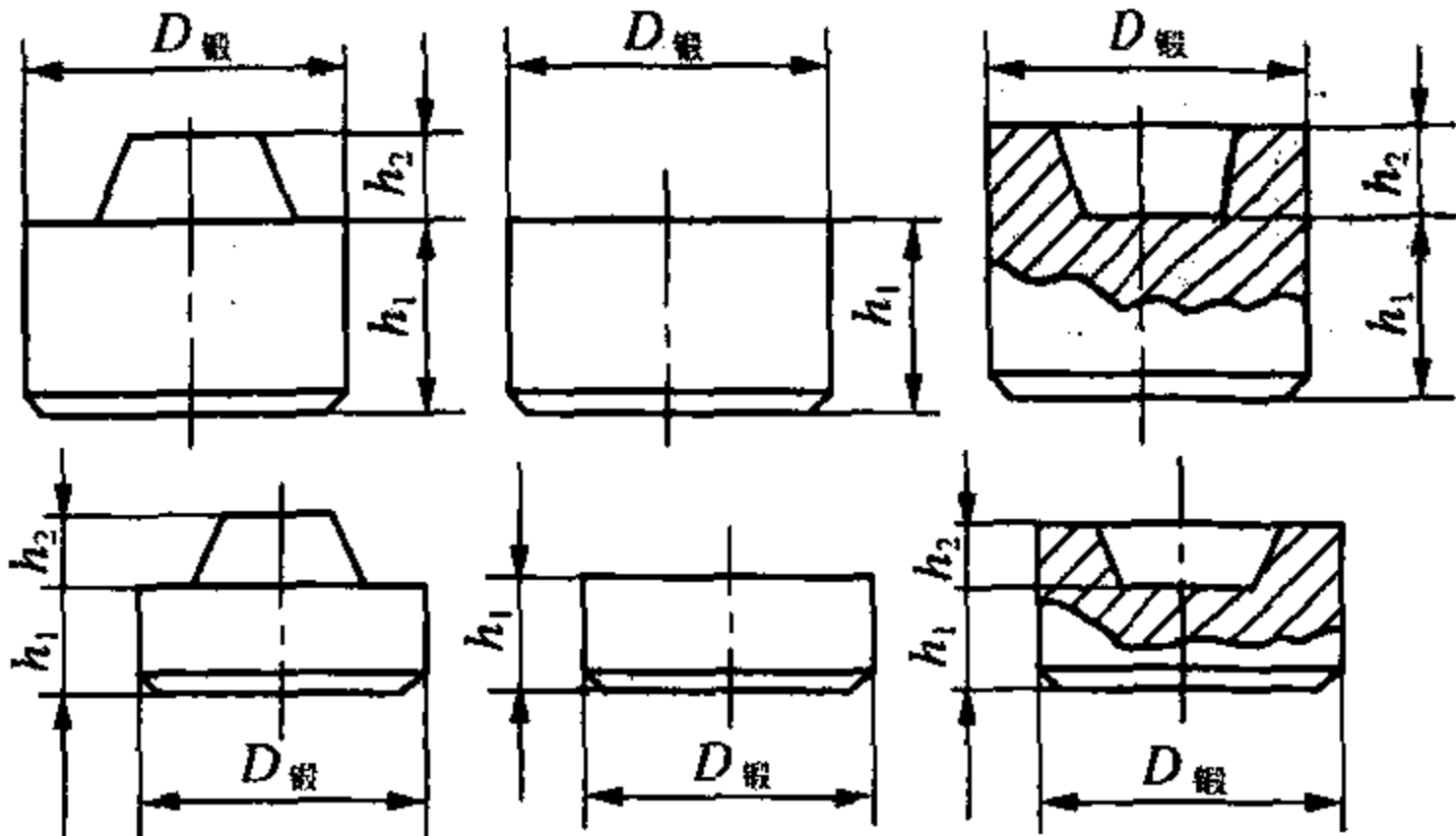
h_2 ——锻件凸台或凹坑高度;

h_3 ——上模垫伸入模套高度, 按坯料在套模中的变形量而定, 但应保证初始导向段长度不小于 $15 \sim 25 \text{ mm}$ 。

5. 合模设计

合模一般由上模、下模及导向装置组成。按导向装置的特点可分为导销式、导锁式及导框式三类。最常用的是导销式合模。

表 4.6-16 下模垫最小厚度/mm

					
下模垫直径 $D_{\text{锻}}$	<80	81~120	121~160	161~200	>200
模垫最小厚度 h	30	35	45	50	60

(1) 合模模膛尺寸

由热锻件图确定。

(2) 合模外形设计

合模外形尺寸见图 4.6-8, 其长度 L 和宽度 B 按下式计算:

$$L = l + 2t_1$$

$$B = b + 2t_2$$

式中 l ——模膛最大长度;

b ——模膛最大宽度;

t_1 、 t_2 ——模膛长度方向和宽度方向的最小壁厚, 根据模膛最大深度 h 按图 4.6-9 确定, 也可按公式 $t_{\min} = 0.5h + (20 \sim 25)\text{mm}$ 计算。

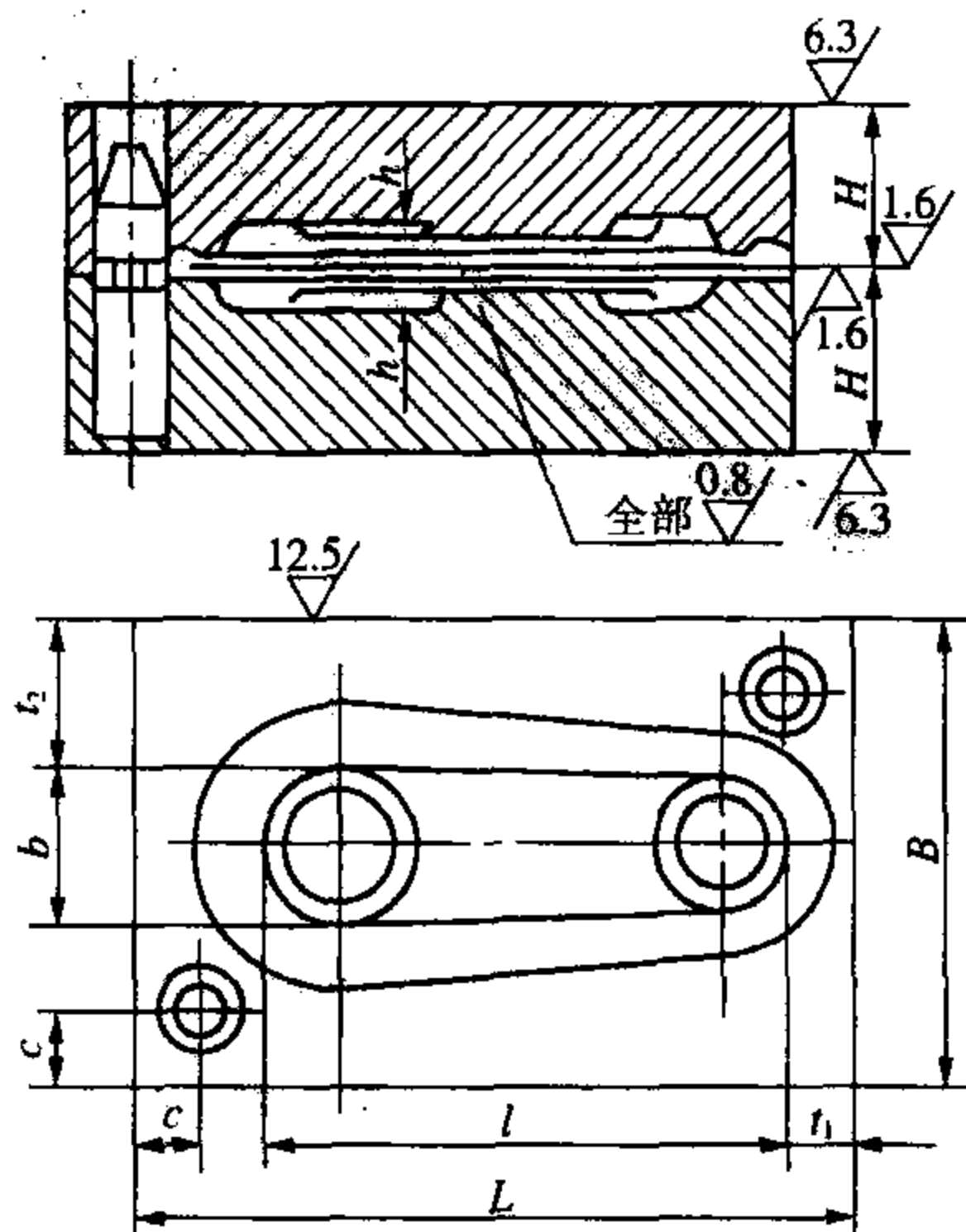


图 4.6-8 合模外形尺寸

模块高度 H 可根据模膛最大深度 h 按图 4.6-9 确定。

(3) 导销设计

导销形式及各部分长度见表 4.6-17。

导销直径由表 4.6-18 选取。

导销中心与模块边缘的距离 c (图 4.6-8) 应大于导销直径的 1~1.5 倍; 导销与模膛的距离应大于 20~30 mm。

导销与销孔的配合一般采用基孔制配合。上模销孔与导销采用 $H8/h7 \sim H11/b11$ 级间隙配合, 单边间隙为 0.15~0.3 mm; 下模销孔与导销采用 $H8/s7 \sim H8/x7$ 级过盈配合。

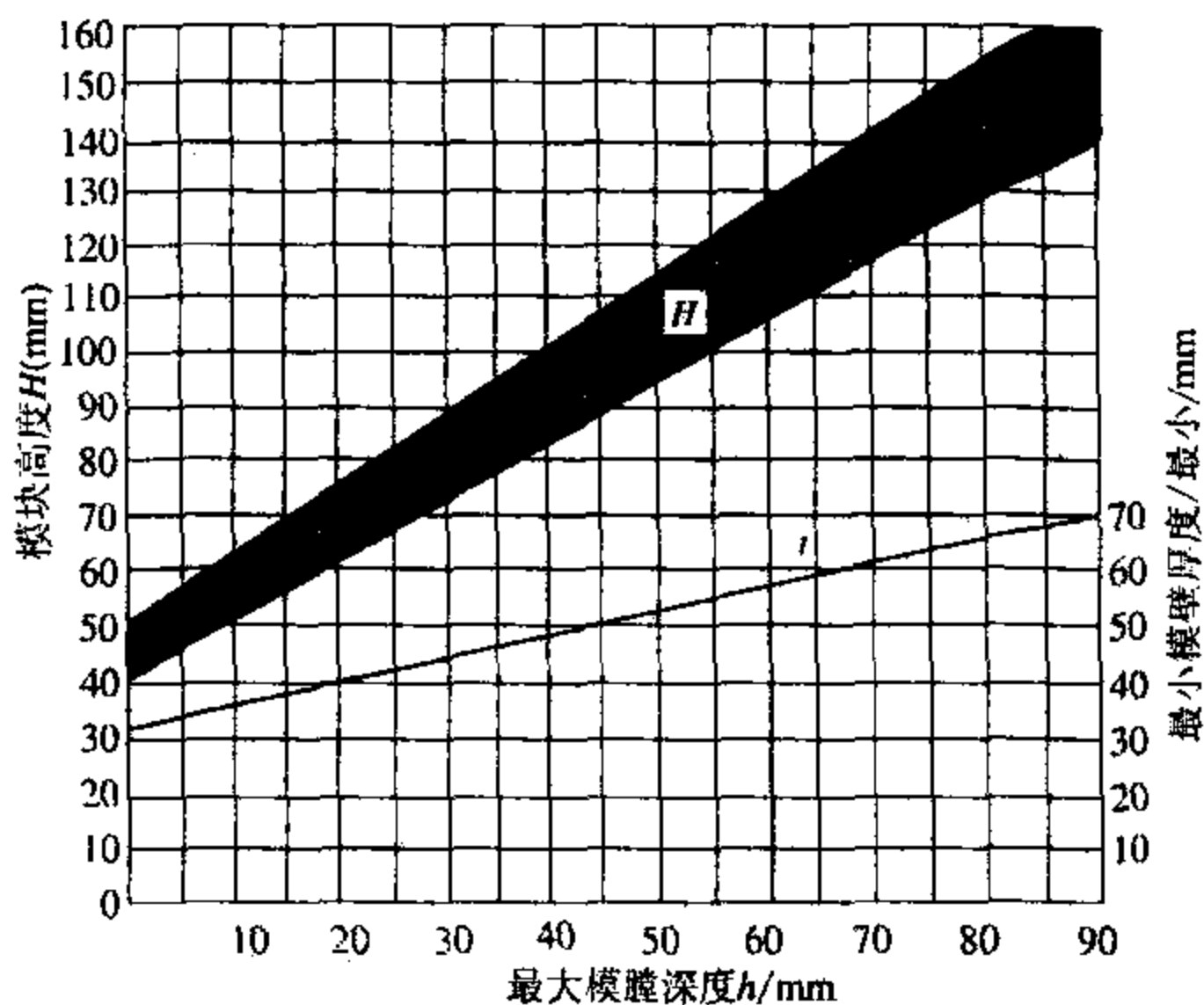
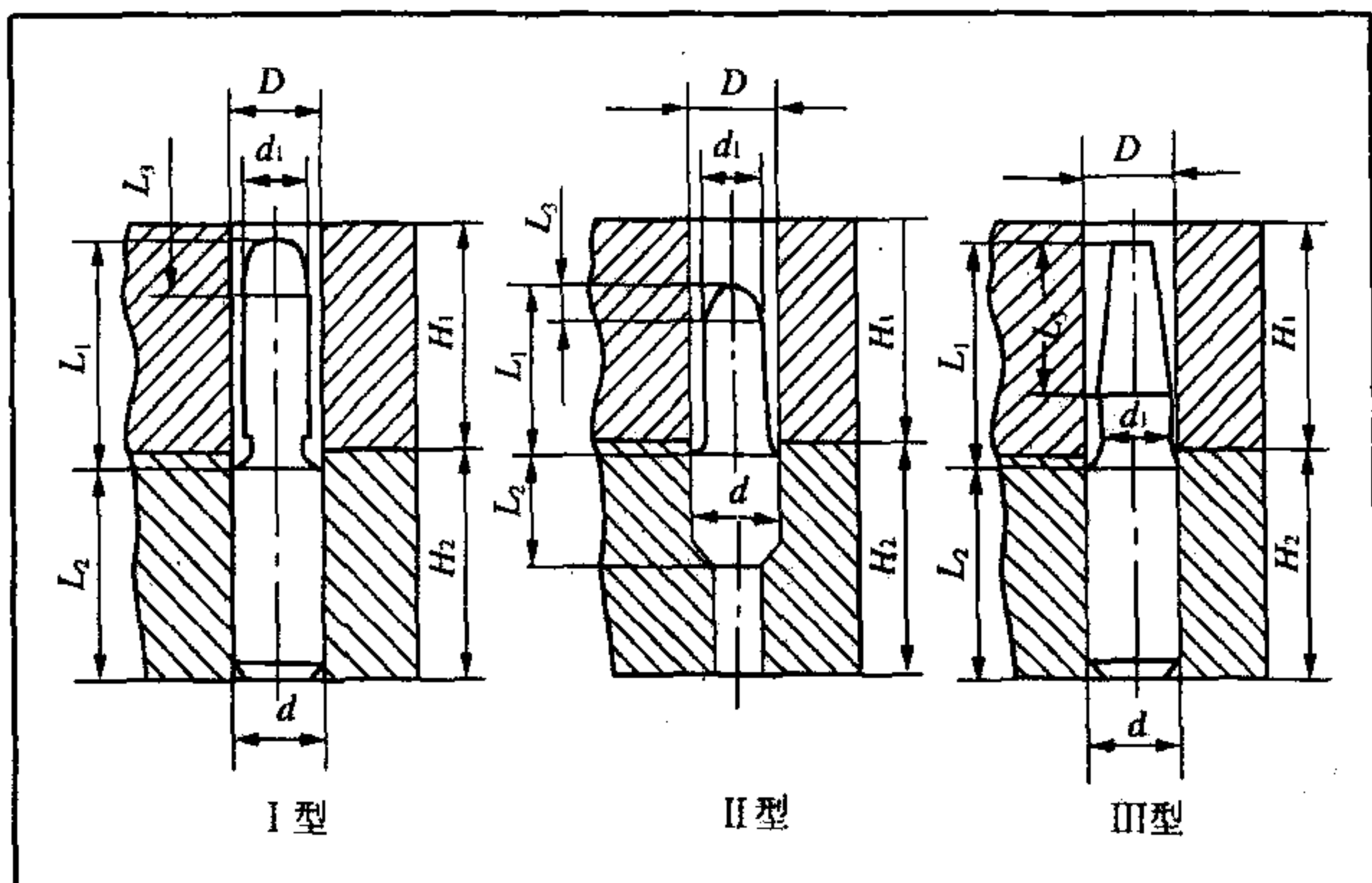


图 4.6-9 模膛壁厚图解

表 4.6-17 导销形式及各部分长度



(续表)

导销形式	L_1	L_2	L_3
I	$L_1 = 0.9H_1$	$L_2 = H_2 - (2 \sim 5)\text{mm}$	$L_3 = 10 \sim 15\text{mm}$
II	$L_1 = (0.8 \sim 0.9)H_1$	$L_2 = (0.6 \sim 0.7)H_2$	$L_3 = 10 \sim 15\text{mm}$
III	$L_1 = 0.9H_1$	$L_2 = H_2 - (2 \sim 5)\text{mm}$	$L_3 = L_1 - (15 \sim 20)\text{mm}$

表 4.6-18 按模块高度选择导销直径

模块高度/mm	<50	51~70	71~100	101~120	121~140
导销直径/mm	18, 20	20, 22, 25	25, 30, 35	35, 40, 45	40, 45, 50

(4) 导框合模外框设计

只要导框合模外套(图 4.6-10)起导向作用,故壁厚可适当

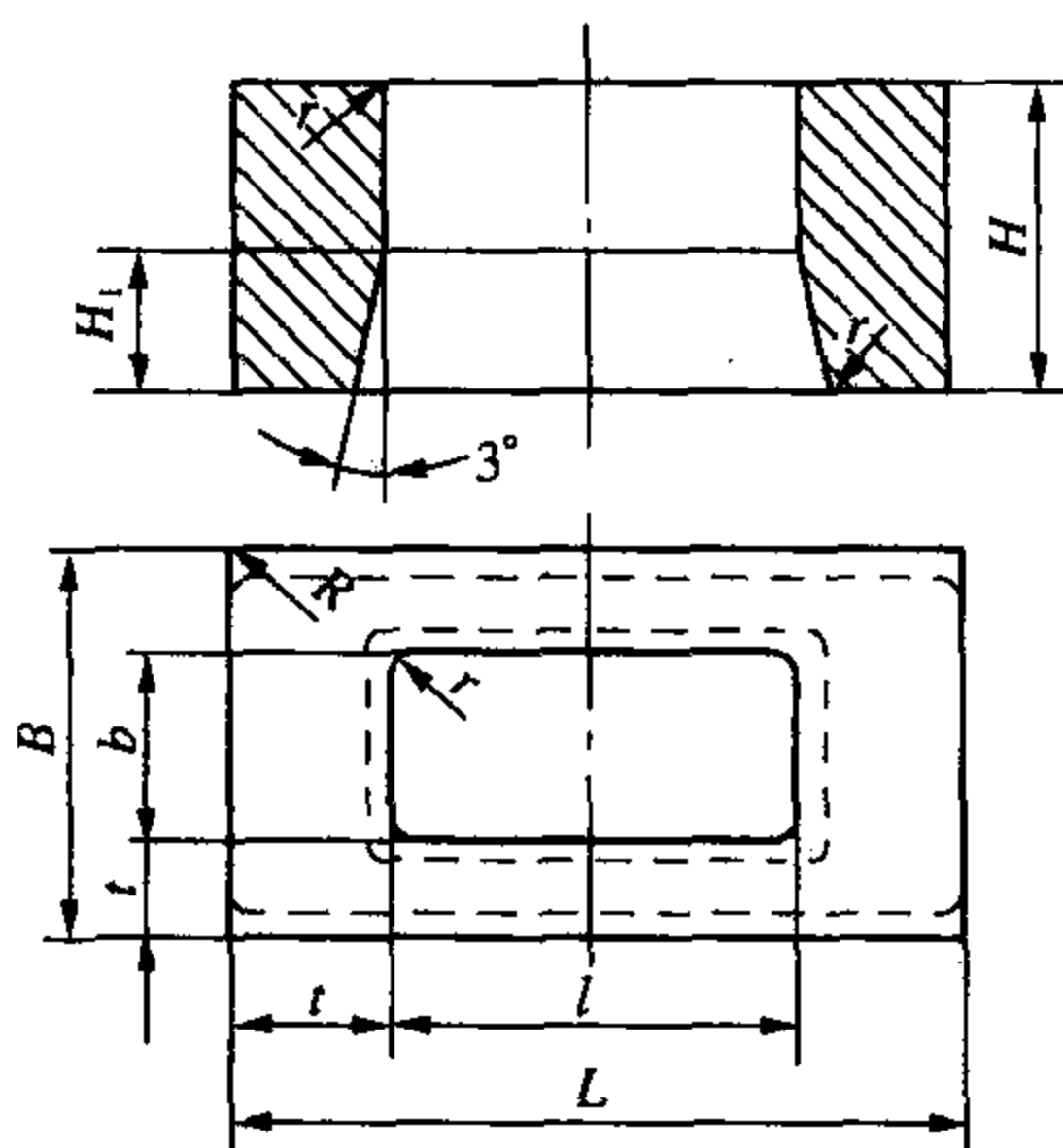


图 4.6-10 导框合模外套

减薄,导框长度 L 及宽度 B 按下式确定:

$$L=l+2t$$

$$B=b+2t$$

式中 l ——导框内模垫的长度;

b ——导框内模垫的宽度;

t ——导框壁厚,其最小值见表 4.6-19。

表 4.6-19 导框合模外套最小壁厚

锻锤吨位/t	0.2	0.25	0.4	0.75	1.0	3.0
最小壁厚/mm	30	35	35	40	45	55

导框高度 H 由下式确定:

$$H=H_1+H_0+(15\sim 25)\text{mm}$$

式中 H_1 ——下模块高度;

H_0 ——坯料高度或炯形前上、下模间距离。

导框下口应有 3° 的斜度,以便导框迅速套在下模上,并与下模配合紧密。锻件的错差仅取决于上模与导框之间的间隙(单边间隙为 $0.15\sim 0.3\text{ mm}$, $r>12\text{ mm}$, $R>15\text{ mm}$)。

6. 漏模设计

锤上使用的漏模分为切边(冲孔)模和冲形模两大类。前者用以冲切毛边和连皮,后者用以冲切孔和外形。

(1) 切边模设计

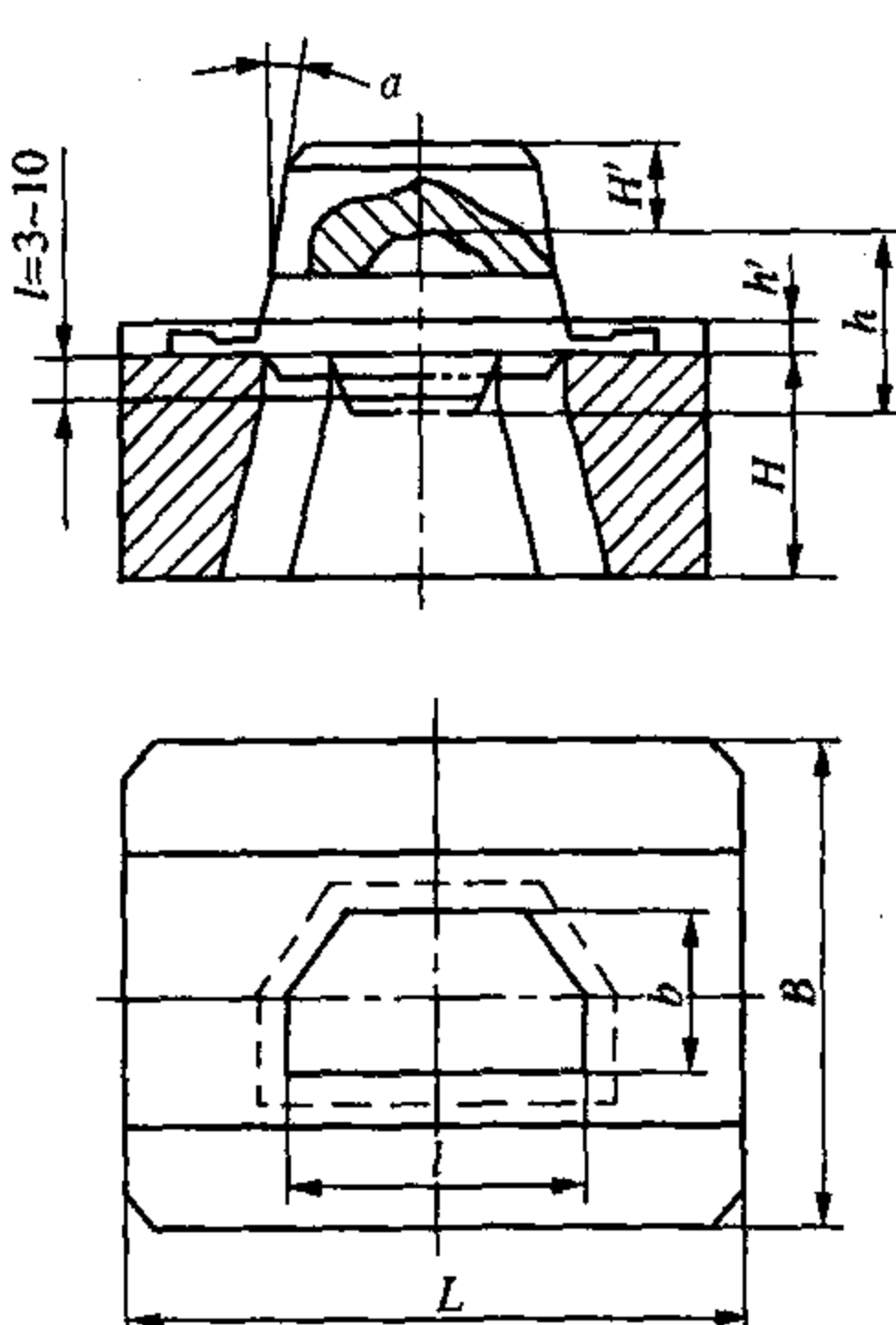
凹模长度 L 、宽度 B 及保护台高度 h 根据锻件长度 l 和宽度 b 按表 4.6-20 选择。

凹模高度 H 按下式计算:

$$H = h + H' - h' + (10 \sim 15) \text{mm}$$

式中 h ——锻件高度；
 h' ——保护台高度；
 H' ——冲头有效高度。

表 4.6-20 凹模尺寸/mm

	锻件尺寸	B	L	h
	≤ 60	$b+60 \sim 65$	$l+60 \sim 70$	6
	61~90	$b+65 \sim 70$	$l+70 \sim 75$	9
	91~120	$b+75 \sim 80$	$l+80 \sim 85$	11
	121~150	$b+85 \sim 90$	$l+90 \sim 95$	13
	151~200	$b+90 \sim 100$	$l+95 \sim 100$	15

冲头与凹模间应有均匀间隙 δ , 可按表 4.6-21 选取。冲头与锻件各接触面尽可能一致。

(2) 冲形模设计

冲形模的结构形式基本上与切边模相同, 但由于被冲切的坯料或锻件厚度较大, 故设计时要注意以下几个方面:

① 冲头与凹模都有刃口, 间隙应适当, 通常, 当坯料或锻件厚度 $t=5\sim 20\text{ mm}$ 时, 单边间隙 δ 取 $0.5\sim 1.0\text{ mm}$ 。

② 冲头应有导向装置, 常采用定位板或导销。

③ 厚度较小的工件可采用冷冲, 此时凹模外形尺寸应适当加大。

④ 若在炳形胎模内直接冲切孔径时, 冲切凹模可以是下模垫(图 4.6-11), 也可以是上模垫(图 4.6-12)。炳形时先用垫铁将凹模出料孔堵塞, 冲切时再去掉垫铁。

表 4.6-21 冲头形状及冲头与凹模的间隙/mm

h	<10	$10\sim 19$	$20\sim 24$	$25\sim 30$	>30
δ	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
D	<30	$30\sim 48$	$49\sim 59$	$60\sim 70$	>70
δ	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5

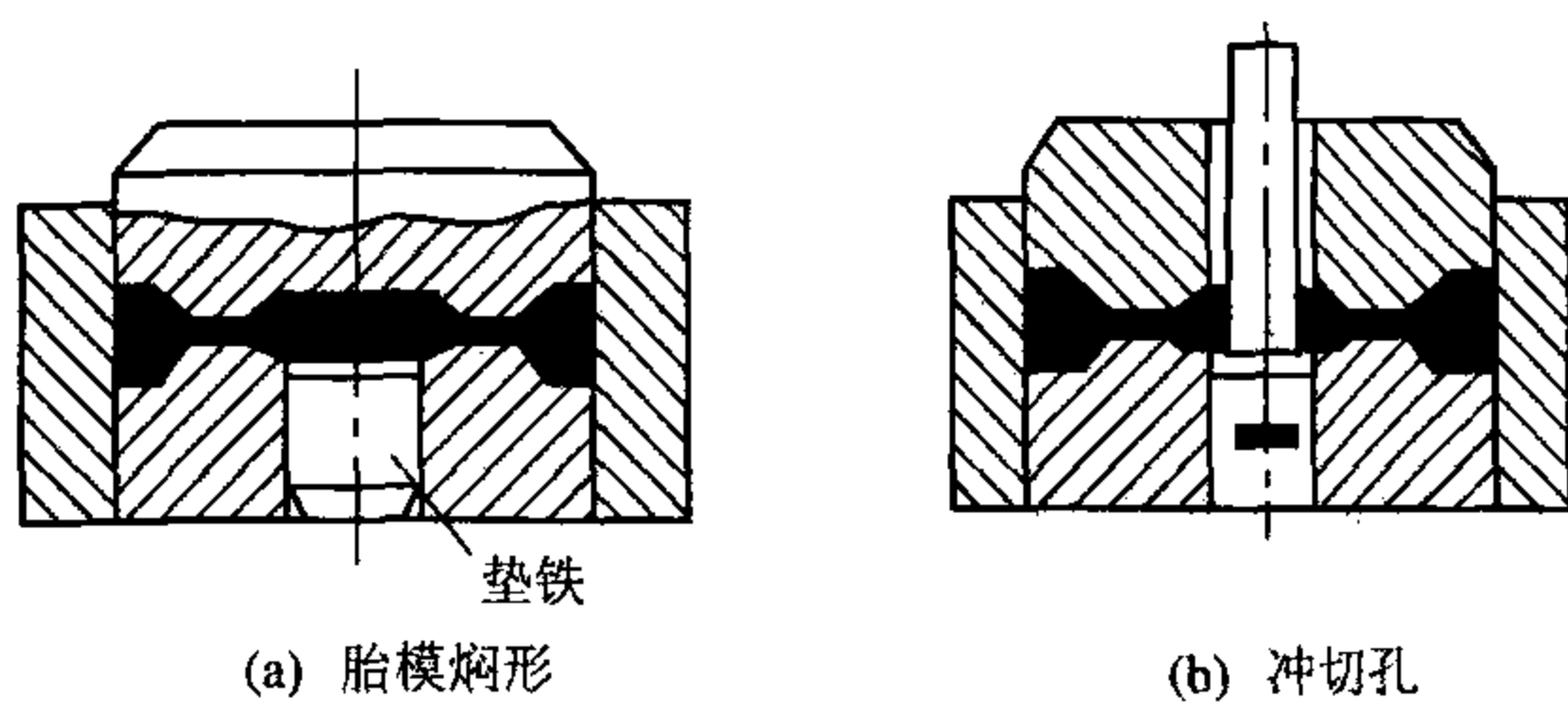


图 4.6-11 下模垫为冲切凹模的胎模

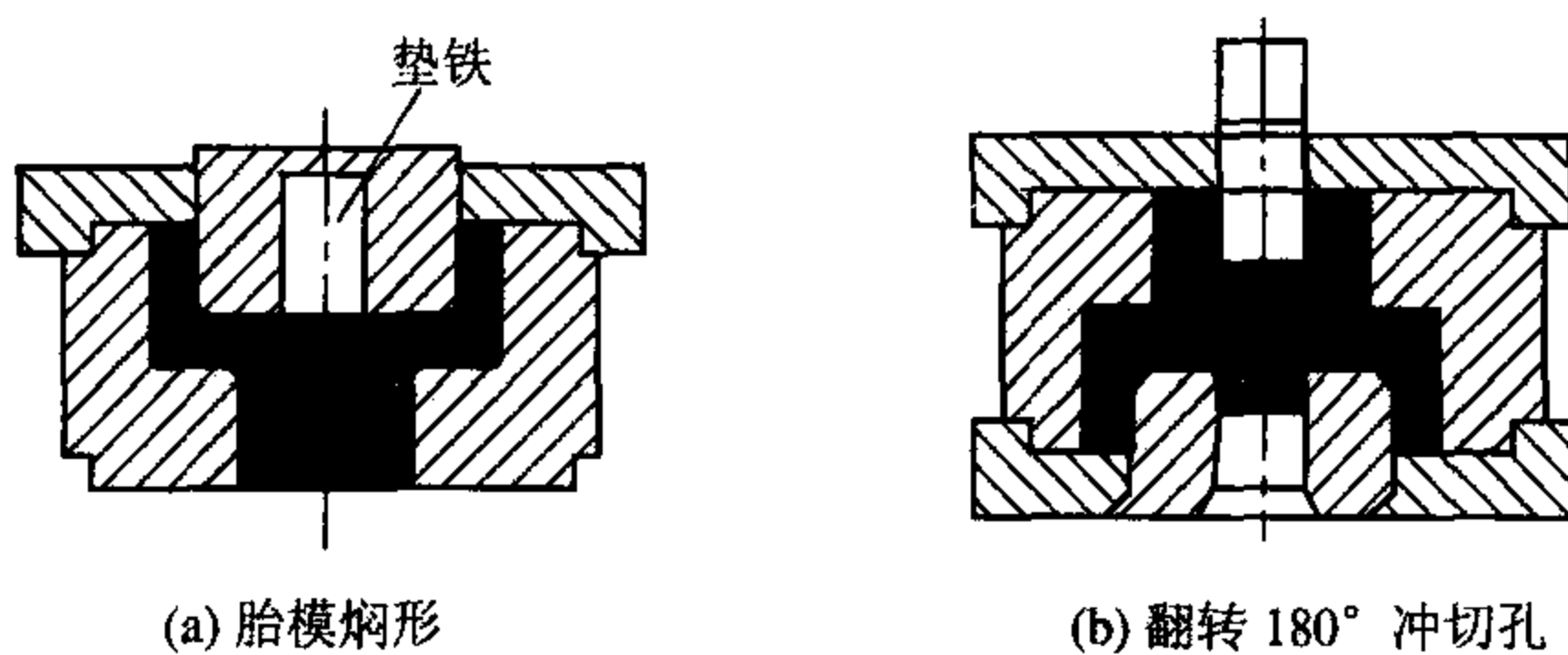


图 4.6-12 上模垫为冲切凹模的胎模

第五章 锤上模锻

第一节 锤上模锻的特点及应用

一、模锻工艺的分类及成形特点

1. 模锻工艺的分类(表 5.1-1)

表 5.1-1 模锻工艺的分类

序号	分类方法	分 类
1	按金属变形时的流动条件分	开式模锻 闭式模锻
2	按模锻时毛坯的温度分	热锻 温锻 冷锻
3	按模锻工序的组合形式分	单模膛模锻 多模膛模锻 连续模锻 联合模锻
4	按所用的锻压设备分	锤上模锻 热模锻压力机模锻 螺旋压力机模锻 平锻机模锻 液压机模锻等

2. 模锻的成形特点

(1) 模锻成形过程的几种充填形式(表 5.1-2)

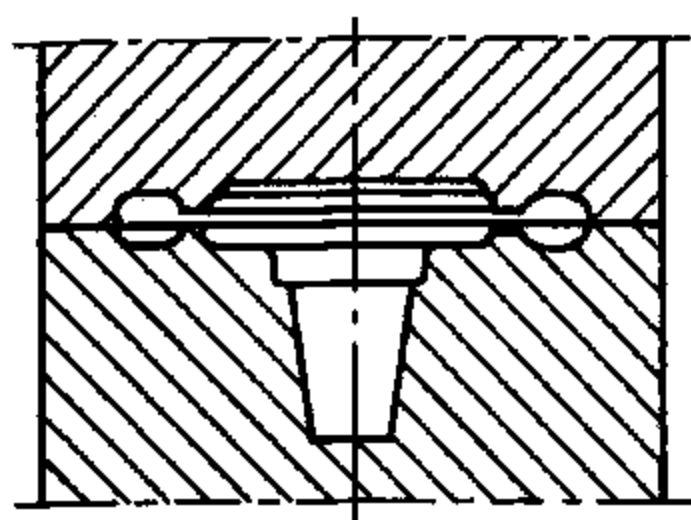
表 5.1-2 模锻成形过程的几种充填形式

序号	充填形式	示意图
1	镦粗法充填	
2	压入法充填	
3	混合法充填	

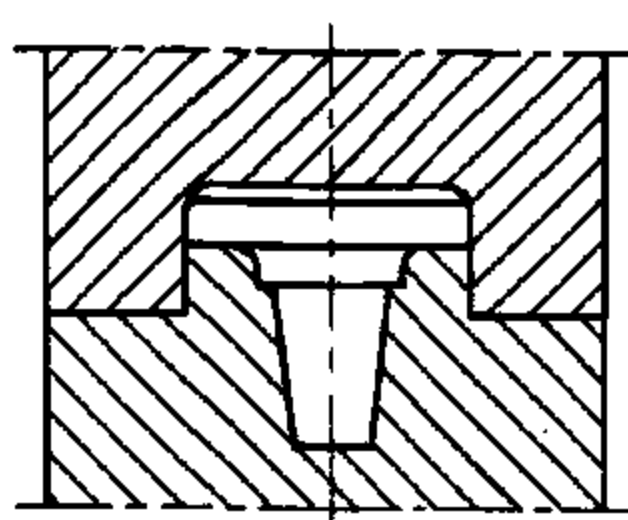
(2) 开式模锻的成形特点

开式模锻又叫有飞边模锻,上、下模间间隙的方向与模具运动的方向相垂直[图 5.1-1(a)]。

开式模锻成形过程中金属的流动可分为四个阶段(表 5.1-3)。



(a) 开式模锻



(b) 闭式模锻

图 5.1-1 开式模锻与闭式模锻

表 5.1-3 开式模锻时的金属成形过程

阶段	阶段名称	示意图
第一阶段	自由变形 或镦粗变形 阶段	
第二阶段	开始形成 飞边阶段	
第三阶段	金属充填 模膛阶段	

(续表)

阶段	阶段名称	示意图
第四阶段	锻件最终成形阶段	

注： ΔH 、 ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3 、 ΔH_4 为金属的压下量； P 为金属所受的压应力。

从上述四个阶段可以看出，开式模锻的成形过程有如下特点：

- ① 镦粗法充填是开式模锻的主要成形方式。
- ② 变形金属的三向压应力状态逐步变得更为强烈，有利于金属充满模膛。
- ③ 飞边对锻件成形、减小毛坯重量误差对锻件的影响和保护锻模等都有好处。
- ④ 最终成形时，虽然变形量很小，但所需的变形力最大，因此缩短这一变形阶段是减小锻压力的有效措施。

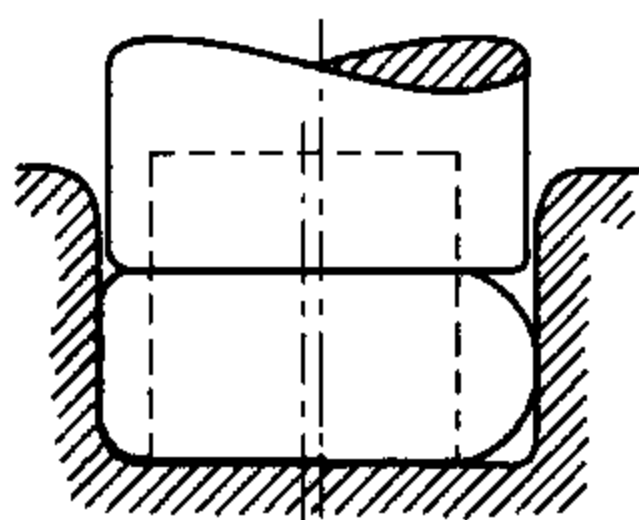
(3) 闭式模锻的成形特点

闭式模锻又叫无飞边模锻，上下模间间隙的方向与模具运动的方向相平行[图 5.1-1(b)]。

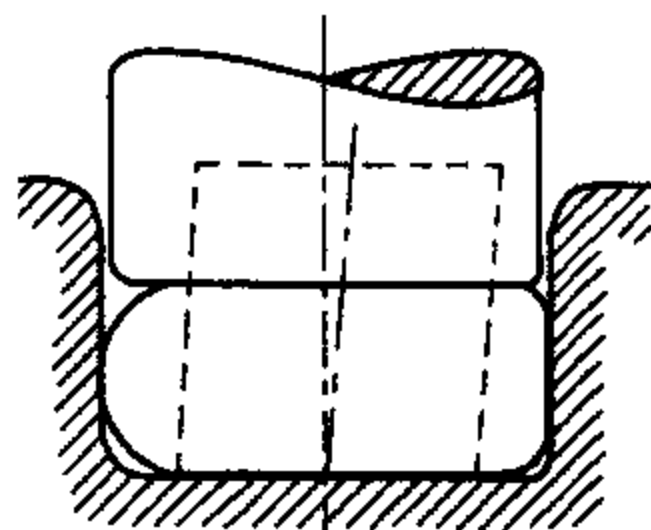
闭式模锻的成形特点见表 5.1-4。

表 5.1-4 闭式模锻的成形特点

序号	特 点	
1	优点	节约原材料
2		不需切边工序
3		锻件精度高、加工余量小
4		金属在更加明显的三向压应力状态下变形,有利于充满模膛
5		锻件的力学性能因没有飞边而得到改善
6	缺点	主要靠压入法成形,加上明显的三向压应力,所以消耗的能量大
7		要求毛坯尺寸和体积分配精确
8		厚度尺寸不稳定
9		对于毛坯(或中间形状坯料)的定位和毛坯端面斜度要求高(图 5.1-2)
10		形成端面飞刺(纵向毛刺)
11		对模具的强度要求高、模具寿命低



(a) 毛坯放入时偏心



(b) 毛坯的端面斜度大

图 5.1-2 闭式模锻时的定位缺陷

(4) 开式模锻与闭式模锻的结合

开式模锻与闭式模锻结合,可用于闭式预锻加开式终锻,以

获得稳定的厚度尺寸,或开式预锻、切边,闭式终锻。

二、锤上模锻的特点及应用

1. 锤上模锻的特点

① 模锻锤与其他锻压设备相比,具有工艺适应性广、生产效率高、设备造价低等优点。

② 金属在模膛中是在一定速度和打击能量下,经多次连续锤击而成形的。

③ 模锻锤的打击能量、打击速度可在操作中调节,能够实现轻重缓急打击,可以进行镦粗、打扁、拔长、滚挤、弯曲、卡压、成型、预锻和终锻等各类工步。

④ 锤头的行程和模具封闭高度不是固定的,高度尺寸变化范围大,因而锤锻模容易实现多次翻新。

⑤ 锤上模锻时金属在高度方向的流动和充填能力较强。金属充填上模的能力要比下模强得多。

⑥ 锤上模锻的适用性广,可生产多种类型的锻件。可以单模膛模锻,也可以多模膛模锻;可单件模锻,也可多件模锻,还可以进行一料多件的连续模锻。

⑦ 锤上模锻没有顶料机构,因而难于生产某些出模困难的锻件,或者必须加大模锻斜度。

⑧ 锤锻模的模块较大。

2. 锤上模锻的应用

① 从锻件形状来说,锤模锻适用于齿轮、轴类、杆类、弯曲件、叉形件等。

② 从锻件质量来说,锤模锻适用于精度要求不太高的锻件。

③ 从锻件成本来说,锤模锻的成本要比热模锻压力机模锻的成本低。

④ 适用于大批量生产。

第二节 锻件设计

一、分模线选择

1. 分模线的种类

锻件分模线形状分为两类(GB/T12362):

- ① 平直分模线或对称弯曲分模线[图 5.2-1(a)、(b)]。
- ② 不对称弯曲分模线[图 5.2-1(c)]。

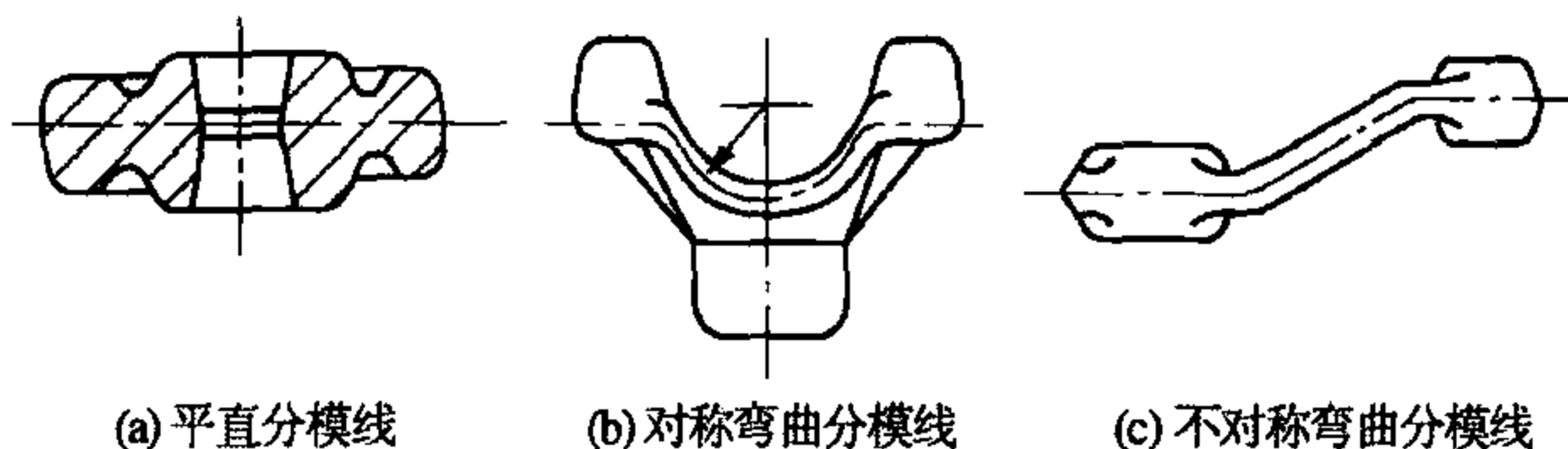


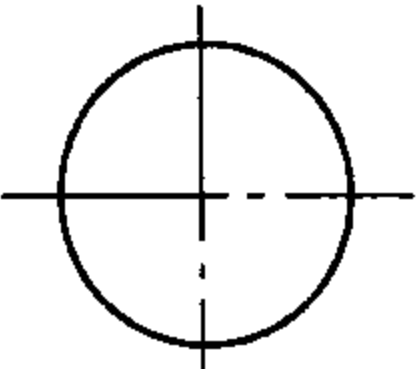
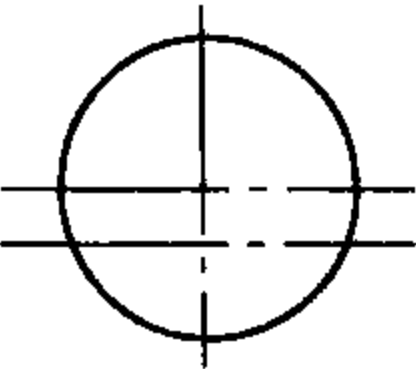
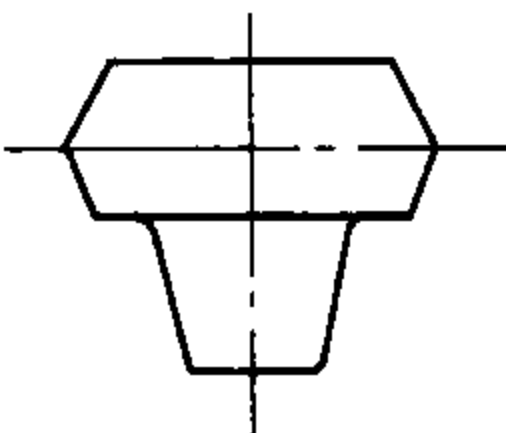
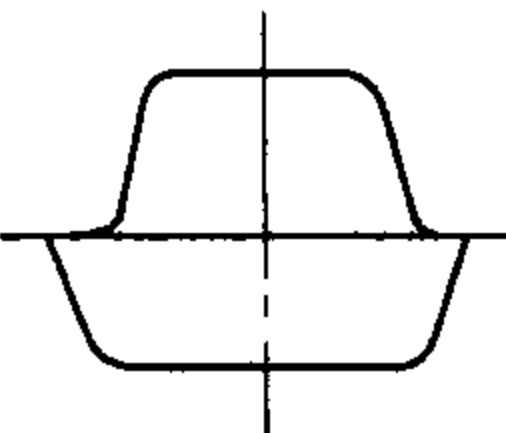
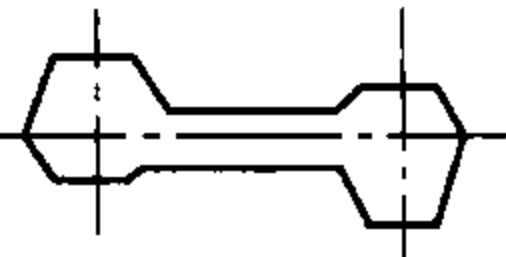

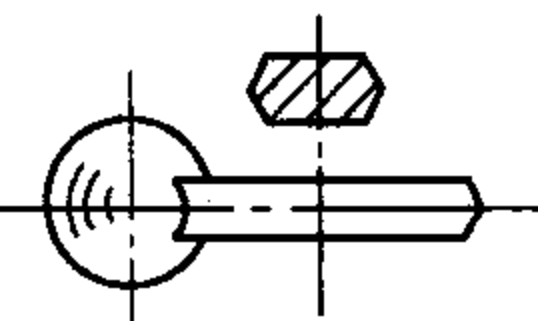
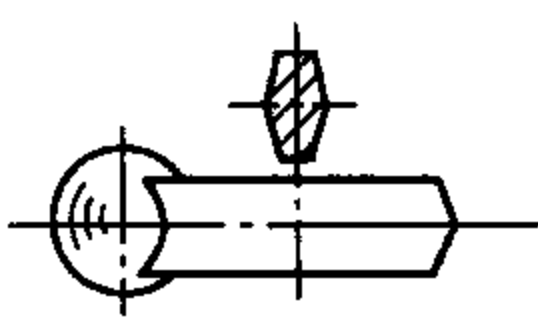
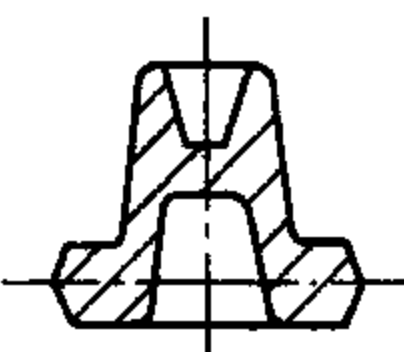
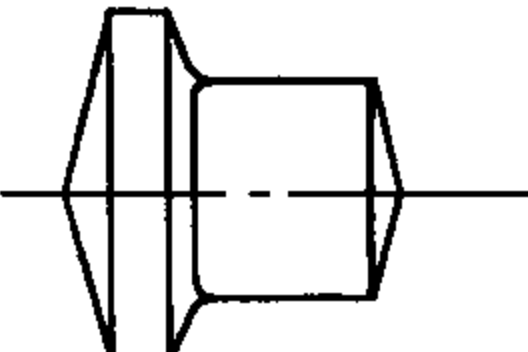
图 5.2-1 锻件分模线种类

2. 分模线的选定原则(表 5.2-1)

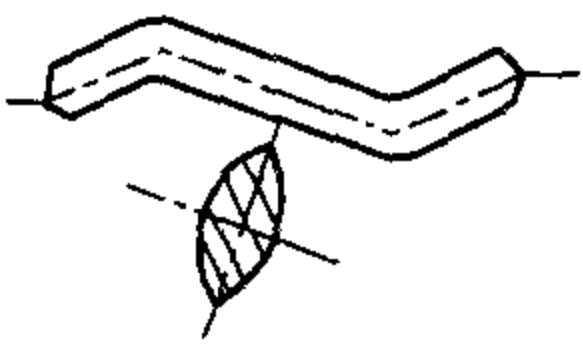
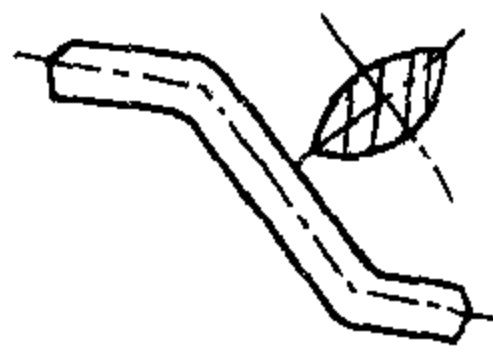


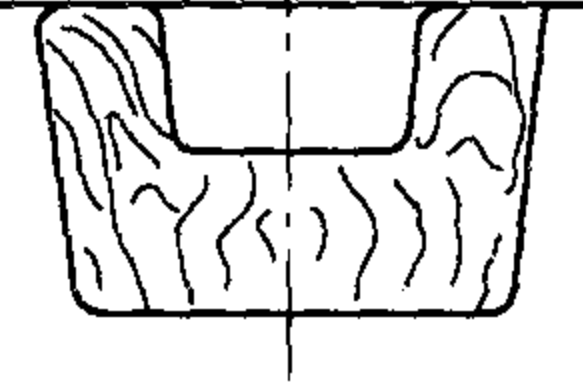
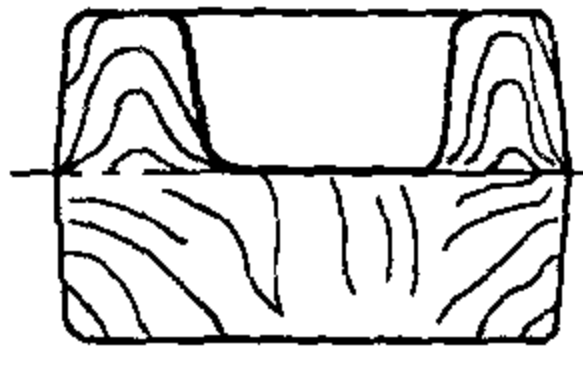
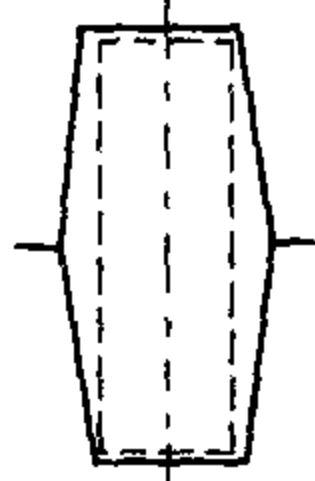
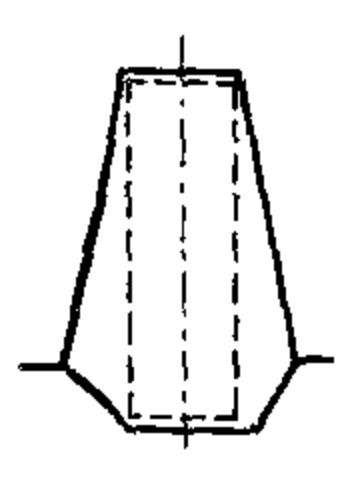
表 5.2-1 分模线的选定原则及示例

序号	选择分模线的原则	正确(合理)分模线	不正确(不合理)分模线
1	必须保证锻件从模膛中顺利取出		



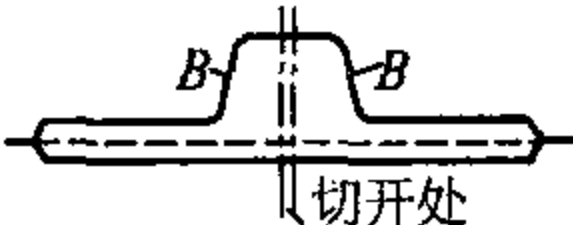
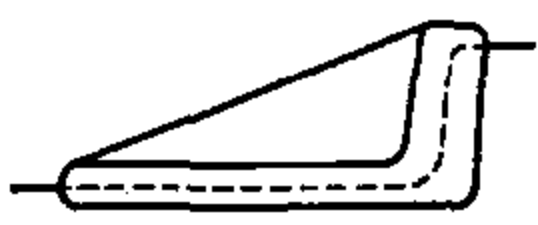
(续表)

序号	选择分模线的原则	正确(合理)分模线	不正确(不合理)分模线
2	必须保证锻件从模膛中顺利取出		
3	便于检查上下模膛的相对错移,减小切边毛刺		
4	选择平分模线,简化模具制造		
5	利于坯料充满模膛		
6	节约金属材料、便于模具加工		

(续表)

序号	选择分模线的原则	正确(合理)分模线	不正确(不合理)分模线
7	平衡侧向力,减小错移量		
8	头部尺寸较大的轴类锻件,不宜采用平直分模线,应以折线分模,使上下模深度大致相等,利于锻件充满	 折线分模	 直线分模
9	有金属流线要求的锻件,应保证锻件有合理的金属流线分布		
10	尽可能在锻件的各个地方将它分为高度相等的两部分,以减少加工余量和材料消耗		

(续表)

序号	选择分模线的原则	正确(合理)分模线	不正确(不合理)分模线
11	将锻件倾斜放在模膛内,形成自然模锻斜度,减少加工余量		
12	肘形件采用两件合锻而得到平直分模线,随后增加切开工序		

二、锻件公差与机械加工余量

1. 主要参数及影响因素

(1) 锻件质量 m_f

锻件质量的估算按下列程序进行:

零件图基本尺寸——估计机械加工余量——绘制锻件图——估算锻件质量,并按此质量查表确定公差和机械加工余量。

(2) 锻件形状复杂系数 S

锻件形状复杂系数是锻件质量 m_f 与相应的锻件外廓包容体质量 m_H 之比。即:

$$S = \frac{m_f}{m_H}$$

锻件外廓包容体质量 m_H 为以包容锻件最大轮廓的圆柱体

或长方体作为实体的计算质量,按下式计算:

① 圆形锻件(图 5.2-2)

$$m_H = \frac{\pi}{4} d^2 h \rho$$

式中 ρ —钢材密度(7.85 g/cm^3)

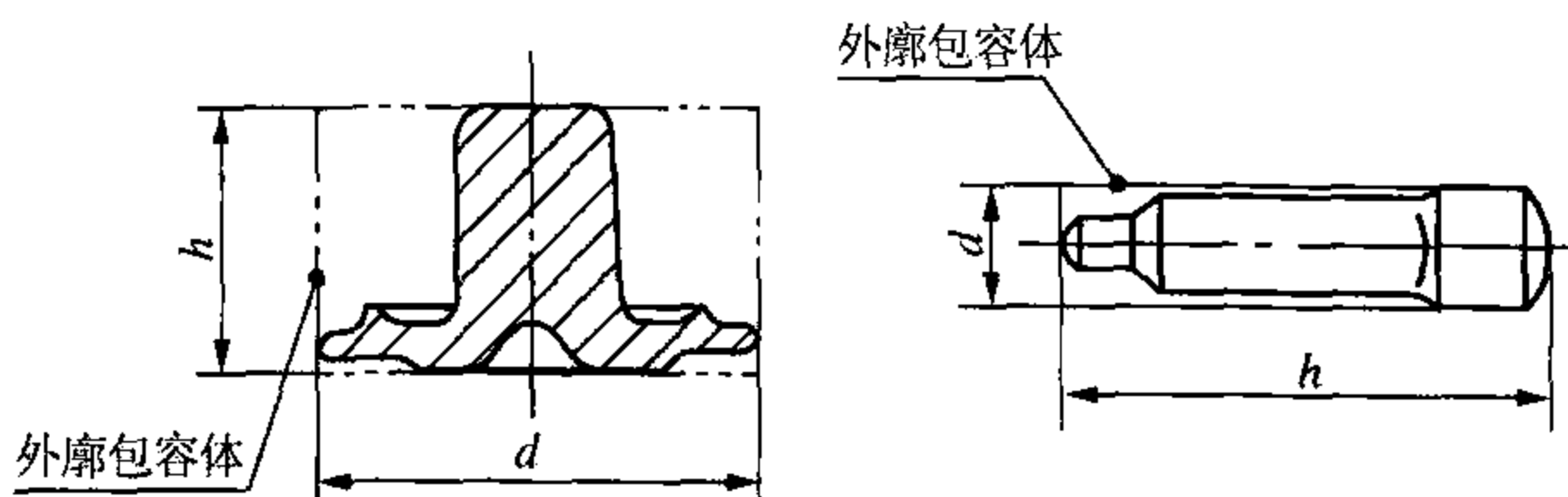


图 5.2-2 圆形锻件的外廓包容体

② 非圆形锻件(图 5.2-3)

$$m_H = lbh\rho$$

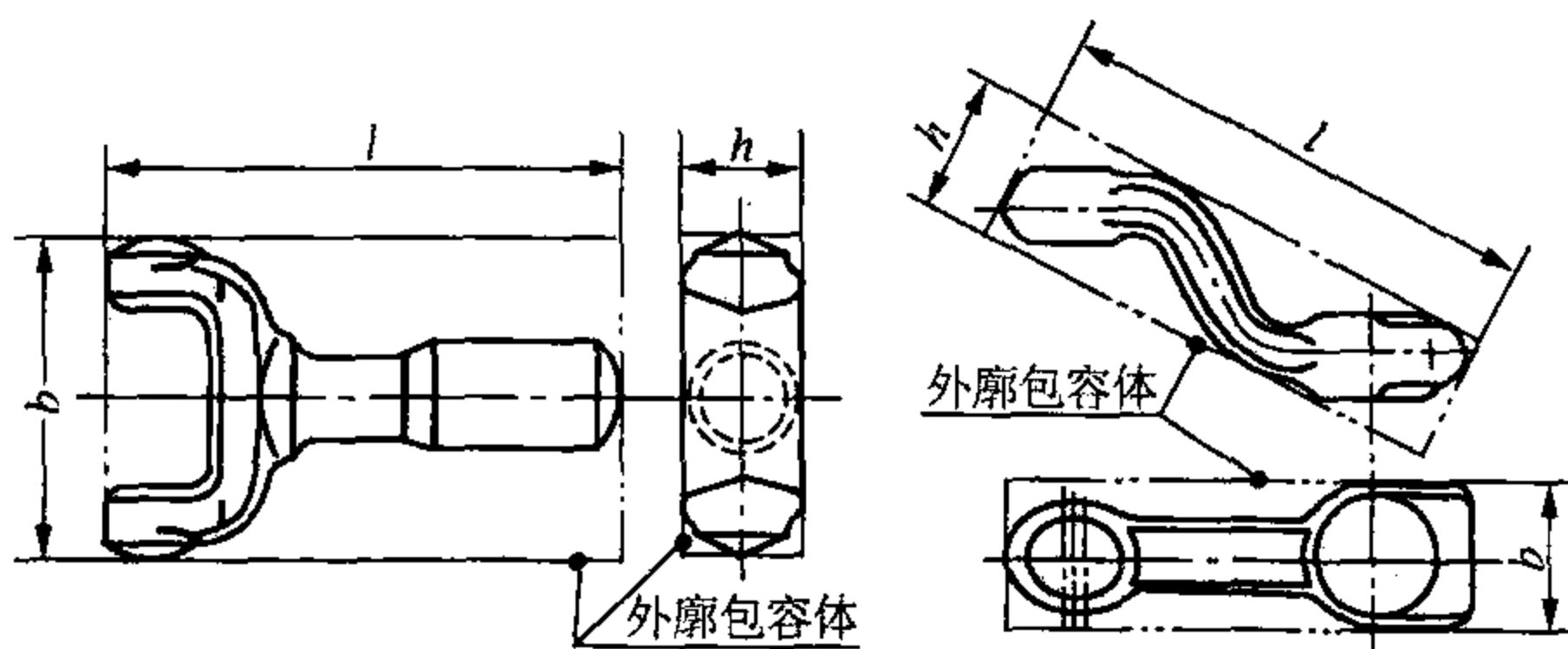


图 5.2-3 非圆形锻件的外廓包容体

根据 S 值的大小,锻件形状复杂系数分为 4 级(表 5.2-2)。

表 5.2-2 锻件形状复杂系数分级

序号	锻件形状复杂系数分级	锻件形状复杂程度	$S_{\text{值}}$
1	S_1 级	简 单	$0.63 < S \leq 1.00$
2	S_2 级	一 般	$0.32 < S \leq 0.63$
3	S_3 级	较复杂	$0.16 < S \leq 0.32$
4	S_4 级	复 杂	$0 < S \leq 0.16$
5	特例:当锻件形状为薄形圆盘或法兰件(图 5.2-4),且圆盘厚度和直径之比 $t/d \leq 0.2$ 时,不作计算,直接采用 S_4 级		

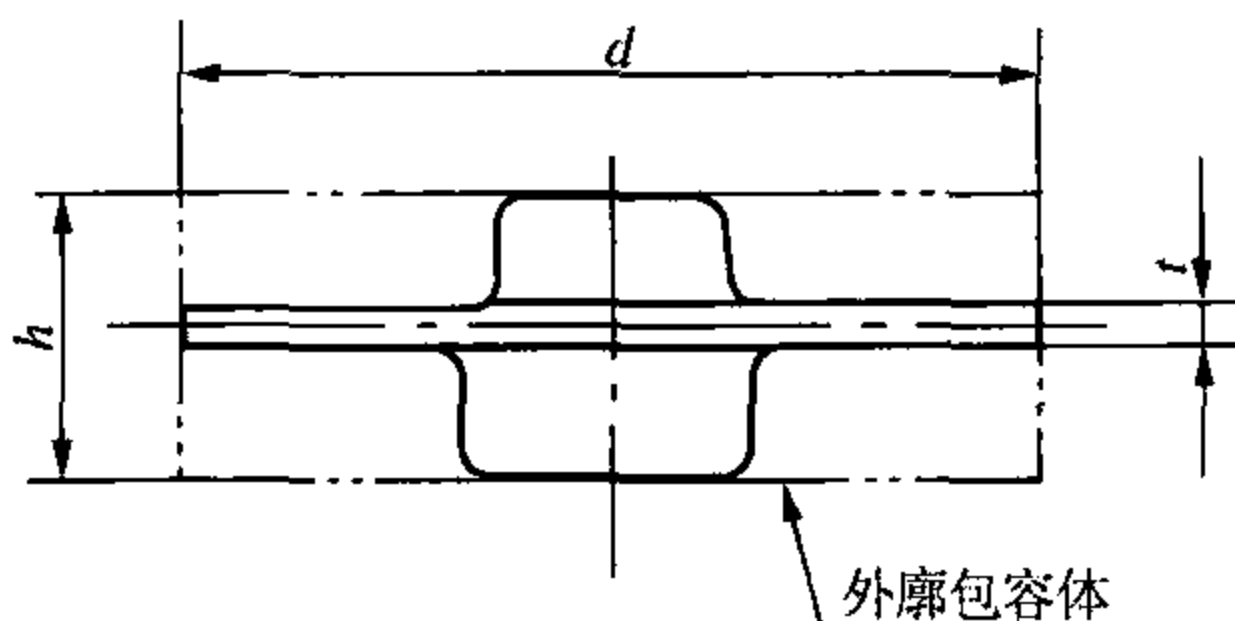


图 5.2-4 薄形圆盘锻件

(3) 锻件材质系数 M (表 5.2-3)

表 5.2-3 锻件材质系数分级

序号	锻件材质系数分级	材料种类	材料举例
1	M_1 级	最高含碳量小于 0.65% 的碳素钢或合金元素总含量小于 3.0% 的合金钢	45、40Cr、42CrMo、40MnB、50CrVA、20CrMnTi
2	M_2 级	最高含碳量大于或等于 0.65% 的碳素钢或合金元素总含量大于或等于 3.0% 的合金钢	40CrNiMoA、80、65Mn

(4) 锻件分模线形状(表 5.2-4)

表 5.2-4 锻件分模线形状分类

序号	锻件分模线形状分类	分 类 标 准
1	a 类	平直分模线或对称弯曲分模线[图 5.2-1(a)、(b)]
2	b 类	不对称弯曲分模线[图 5.2-1(c)]

(5) 零件表面粗糙度(表 5.2-5)

零件表面粗糙度是确定锻件加工余量的重要参数,可按轮廓算术平均偏差 R_a 数值大小分为两类。

表 5.2-5 零件表面粗糙度分类

序号	零件表面粗糙度分类	分 类 标 准
1	F_1	$R_a \geq 1.6 \mu m$
2	F_2	$R_a < 1.6 \mu m$

(6) 锻件加热条件

锻件加热条件指:电、油或煤气(天然气)。采用煤加热或二火加热时,可考虑适当增大公差或余量,其数值由供需双方协商确定。

(7) 锻件精度等级(表 5.2-6)

表 5.2-6 锻件精度等级

序号	锻件精度等级	应用范围
1	普通级	普通级公差适用于一般模锻工艺能够达到技术要求的锻件
2	精密级	精密级公差适用于有较高技术要求,但需要采取附加制造工序才能达到的锻件,一般不宜采用。精密级公差可用于某一锻件的全部尺寸,也可用于局部尺寸

2. 锻件公差

(1) 长度、宽度和高度尺寸公差(表 5.2-7)

表 5.2-7 长度、宽度和高度尺寸公差的确定

序号	尺寸	尺寸定义	尺寸示例	尺寸公差确定方法
1	长度尺寸	指在分模线一侧同一块模具上沿长度方向上的尺寸	图 5.2-5 中的 l	根据锻件基本尺寸、质量、形状复杂系数以及材质系数查表确定 表 5.2-8 是普通级 表 5.2-9 是精密级
2	宽度尺寸	指在分模线一侧同一块模具上沿宽度方向上的尺寸	图 5.2-5 中的 b	
3	高度尺寸	指在分模线一侧同一块模具上沿高度方向上的尺寸	图 5.2-5 中的 h	
4	落差尺寸	指在弯曲分模线中,不同部位的分模线在高度方向的落差	图 5.2-5 中的 f	它是高度尺寸公差的一种形式,其数值比相应高度尺寸公差放宽一档,上下偏差值按 $\pm 1/2$ 比例分配

(续表)

序号	尺寸	尺寸定义	尺寸示例	尺寸公差确定方法
5	孔径尺寸	指锻件上内孔或凹坑的水平方向尺寸	图 5.2-5 中的 b_3	按孔径尺寸由表 5.2-8 或表 5.2-9 确定。其上下偏差值按 $+1/4$ 、 $-3/4$ 比例分配

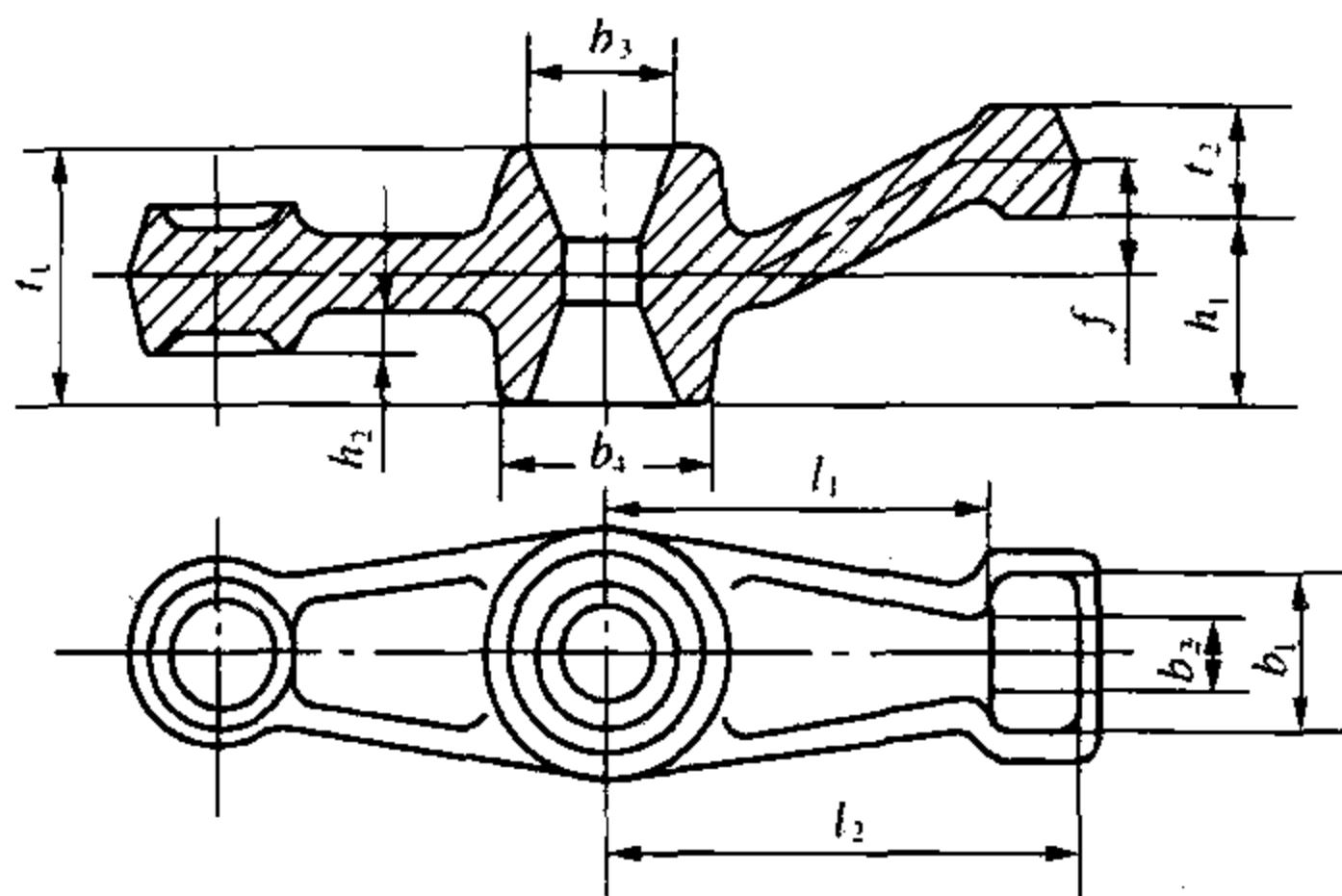


图 5.2-5 锻件的长度、宽度、高度及厚度尺寸

(2) 厚度尺寸公差

厚度尺寸公差指跨越分模线的厚度尺寸的公差(图 5.2-5 中的 t)。

锻件所有厚度尺寸取同一公差,其数值按锻件最大厚度尺寸由表 5.2-10 或表 5.2-11 确定。

(3) 顶料杆压痕公差

顶料杆压痕公差由表 5.2-10 或表 5.2-11 确定,凸出为正,凹进为负。但凹进深度不得超过表面缺陷深度公差。

(4) 错差公差

错差是锻件在分模线上、下两部分对应点所偏移的距离(图

5.2-6), 其数值按下式计算:

$$\text{错差} = \frac{l_1 - l_2}{2} \quad \text{或} \quad \frac{b_1 - b_2}{2}$$

式中 l_1, b_1 ——平行于分模线最大投影长度、宽度;

l_2, b_2 ——平行于分模线最小投影长度、宽度。

错差公差由表 5.2-8 或表 5.2-9 确定, 其应用与其他公差无关。

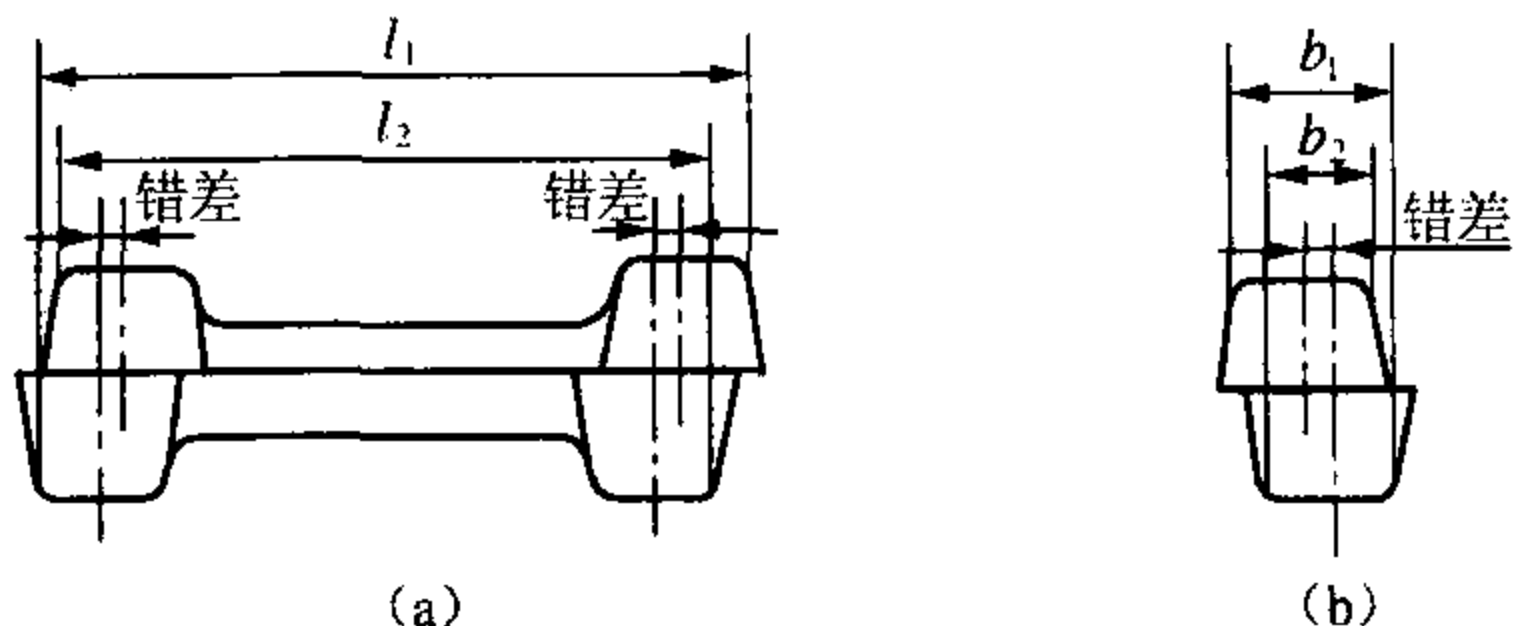


图 5.2-6 锻件的错差

(5) 横向残留飞边及切入锻件深度公差

锻件在切边后, 其横向残留飞边公差由表 5.2-8 或表 5.2-9 确定, 切入锻件深度公差和横向残留飞边公差数值相等。两者与其他公差无关(图 5.2-7)。

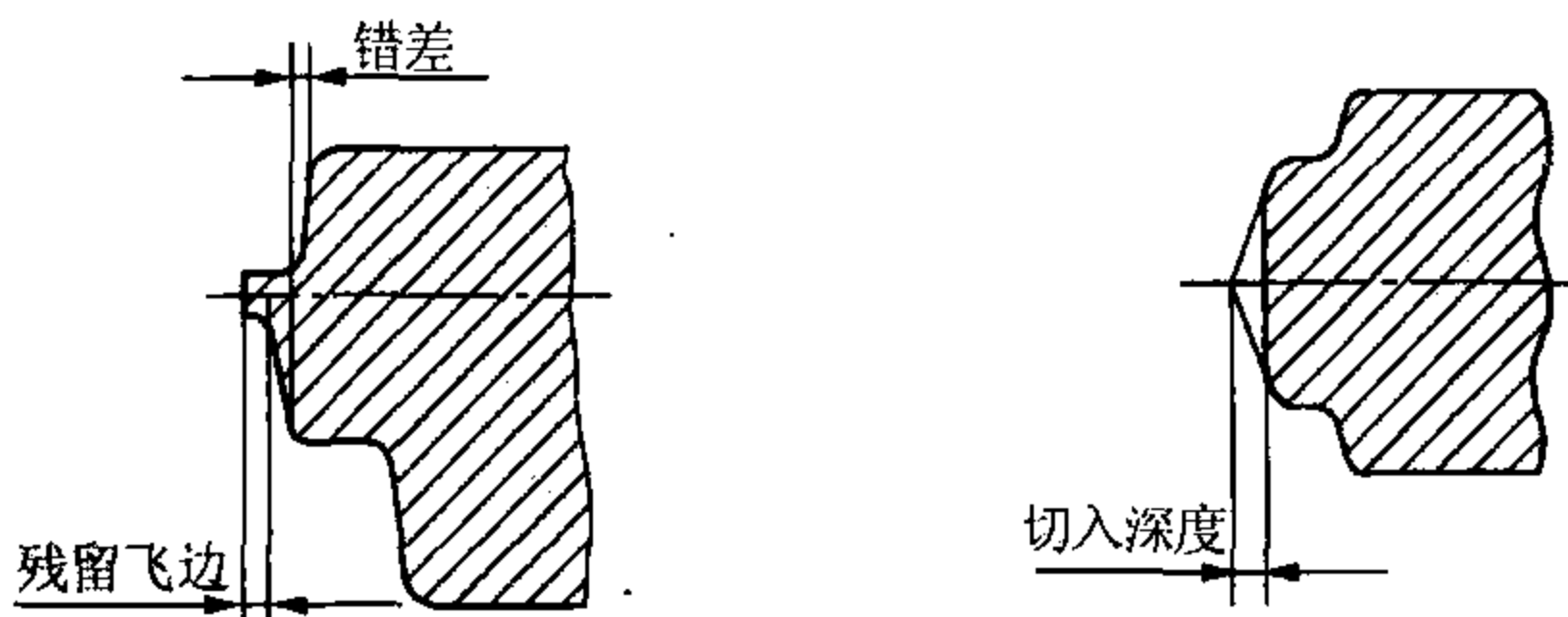


图 5.2-7 横向残留飞边与切入锻件深度

表5.2-10 锻件的厚度及顶料杆压痕公差(普通级)/mm

压痕 极限偏差		锻件质量 /kg		材质系数 M_1 M_2		形 状 复杂系数 S_1 S_2 S_3 S_4		锻 件 厚 度 尺 寸														
								0		18		30		50		80		120		180		
								大于	至	18	30	50	80	120	180	120	180	180	315			
公差值及极限偏差																						
+(凸)	0.8	0.4	0	0.4					1.0	+0.8	1.1	+0.8	1.2	+0.9	1.4	+1.0	1.6	+1.2	1.8	+1.4	2.0	+1.5
									-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5
	1.0	0.5	0.4	1.0					1.1	+0.8	1.2	+0.9	1.4	+1.0	1.6	+1.2	1.8	+1.4	2.0	+1.5	2.2	+1.7
									-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5
	1.2	0.6	1.0	1.8					1.2	+0.9	1.4	+1.2	1.6	+1.4	2.0	+1.5	2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1
									-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	1.5	0.8	1.8	3.2					1.4	+1.0	1.6	+1.2	1.8	+1.5	2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4
									-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	1.8	0.9	3.2	5.6					1.6	+1.2	1.8	+1.4	2.0	+1.5	2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4
									-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	2.2	1.2	5.6	10					1.8	+1.4	2.0	+1.5	2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4	3.6	+2.7
									-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	2.8	1.5	10	20					2.0	+1.5	2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4	3.6	+2.7	4.0	+3.0
									-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	3.5	2.0	20	50					2.2	+1.7	2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4	3.6	+2.7	4.0	+3.0	4.5	+3.4
									-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	4.5	2.5	50	120					2.5	+2.0	2.8	+2.1	3.2	+2.4	3.6	+2.7	4.0	+3.0	4.5	+3.4	5.0	+3.8
									-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	6.0	3.0	120	250					2.8	+2.1	3.2	+2.4	3.6	+2.7	4.0	+3.0	4.5	+3.4	5.0	+3.8	5.6	+4.2
									-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2
									3.2	+2.4	3.6	+2.7	4.0	+3.4	4.5	+3.8	5.0	+4.2	5.6	+4.8	6.3	+5.3
									-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2
									3.6	+2.7	4.0	+3.4	4.5	+3.8	5.0	+4.2	5.6	+4.8	6.3	+5.3	7.0	+6.0
									-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
									4.0	+3.0	4.5	+3.4	5.0	+4.2	5.6	+4.8	6.3	+5.3	7.0	+6.0	8.0	+6.8
									-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.2	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
									4.5	+3.4	5.0	+4.2	5.6	+4.8	6.3	+5.3	7.0	+6.0	8.0	+6.8	9.0	+7.5
									-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.2	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
									5.0	+3.8	5.6	+4.2	6.3	+5.3	7.0	+6.0	8.0	+6.8	9.0	+7.5	10.0	+8.0
									-1.1	-1.2	-1.2	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4

例:锻件质量 3 kg, 材质系数为 M_1 , 形状复杂系数为 S_3 , 最大厚度尺寸为 45 mm 时各类公差查法。

注:上、下偏差也可按 +2/3、-1/3 比例分配。

表5.2-11 锻件的厚度及顶料杆压痕公差距(精密级)/mm

压痕 极限偏差		锻件质量 /kg	材质系数 M_1 M_2	形 状 复杂系数 S_1 S_2 S_3 S_4	锻 件 厚 度 尺 寸																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
					大于		0		18		30		50		80		120		180																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
					至	18	30	50	80	120	180	315																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
公差值及极限偏差																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
+ (凸)	0.6	0.3	0	0.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

例：锻件质量 3kg，材质系数为 M_1 ，形状复杂系数为 S_1 ，最大厚度尺寸为 45mm 时各类公差查法。

注：上、下偏差也可按 +2/3，-1/3 比例分配。

(6) 公差表使用方法

由表 5.2-8 或表 5.2-9 确定锻件长度、宽度或高度尺寸时,应根据锻件质量选定相应范围,然后沿水平线向右移动。若材质系数为 M_1 ,则沿同一水平线继续向右移动,若材质系数为 M_2 ,则沿倾斜线向右下移动到与 M_2 垂线的交点。对于形状复杂系数 S ,用同样方法,沿水平或斜线移动到 S_1 或 S_2 、 S_3 、 S_4 的位置,并继续向右移动,直到所需尺寸的垂直栏中,即可查得所需的公差值。其他公差表使用方法依此类推。

(7) 壁厚差公差

壁厚差是带孔锻件在同一截面内壁厚的最大尺寸和最小尺寸的差值,即 $t_{\max} - t_{\min}$ (图 5.2-8),其公差为表 5.2-8 或表 5.2-9 中错差公差的两倍。

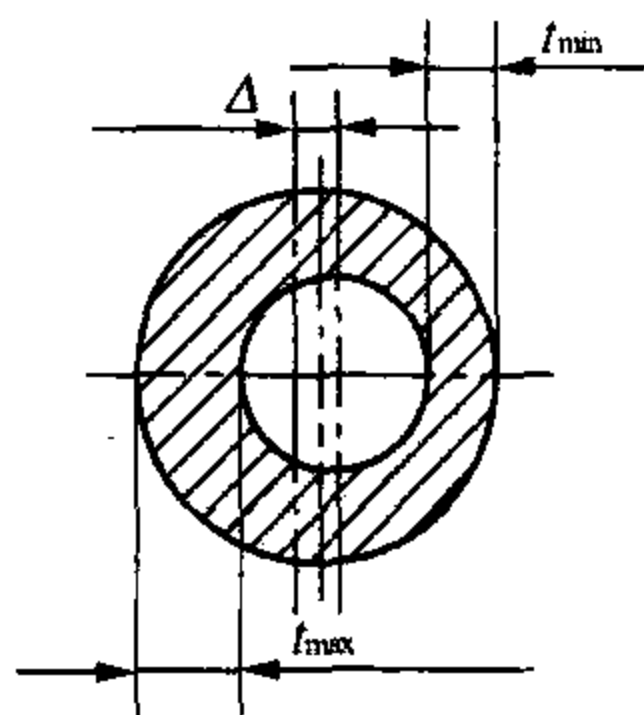


图 5.2-8 锻件的壁厚差

(8) 直线度和平面度公差

锻件非加工面的直线度公差由表 5.2-12 确定。

锻件加工面的直线度和平面度公差由表 5.2-13 确定。但不得大于该表面机械加工余量的 $2/3$ 。

表 5.2-12 锻件非加工面直线度公差/mm

锻件最大长度 l		公差值
大于	至	
0	120	0.7
120	250	1.1
250	400	1.4
400	630	1.8
630	1 000	2.2
1 000	—	$0.22\%l$

表 5.2-13 锻件加工表面直线度、平面度公差/mm

锻件外形尺寸	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
正火锻件 调质锻件																
公差值	普通级	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.2	
	精密级	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	

例：当锻件长度为 240mm，热处理为调质时，直线度和平面度公差的普通级为 1.2mm，精密级为 0.8mm。

(9) 中心距公差

对于平面直线分模，且位于同一块模具内的中心距(图 5.2-9)公差由表 5.2-14 确定。

弯曲轴线(图 5.2-10)及其他类型锻件的中心距公差由供需双方商定。

中心距公差与其他公差无关。

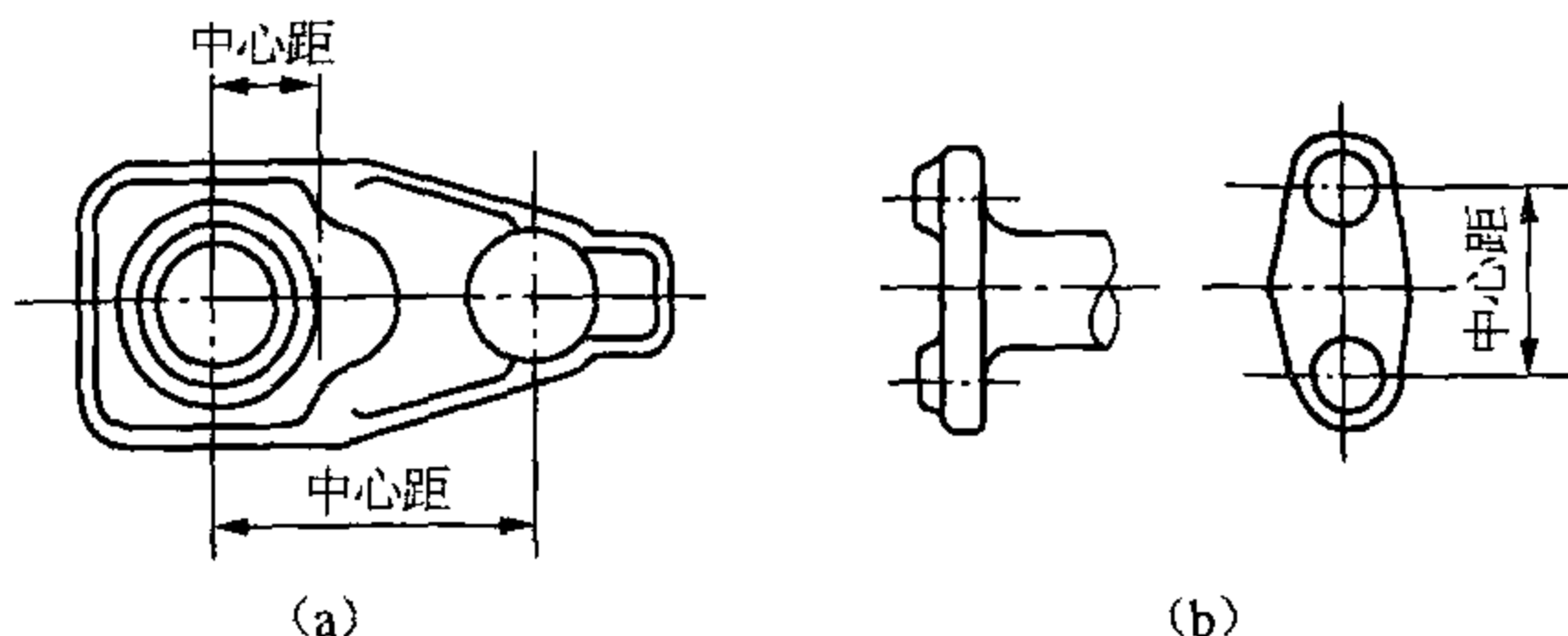


图 5.2-9 平面直线分模,且位于同一块模具内的中心距

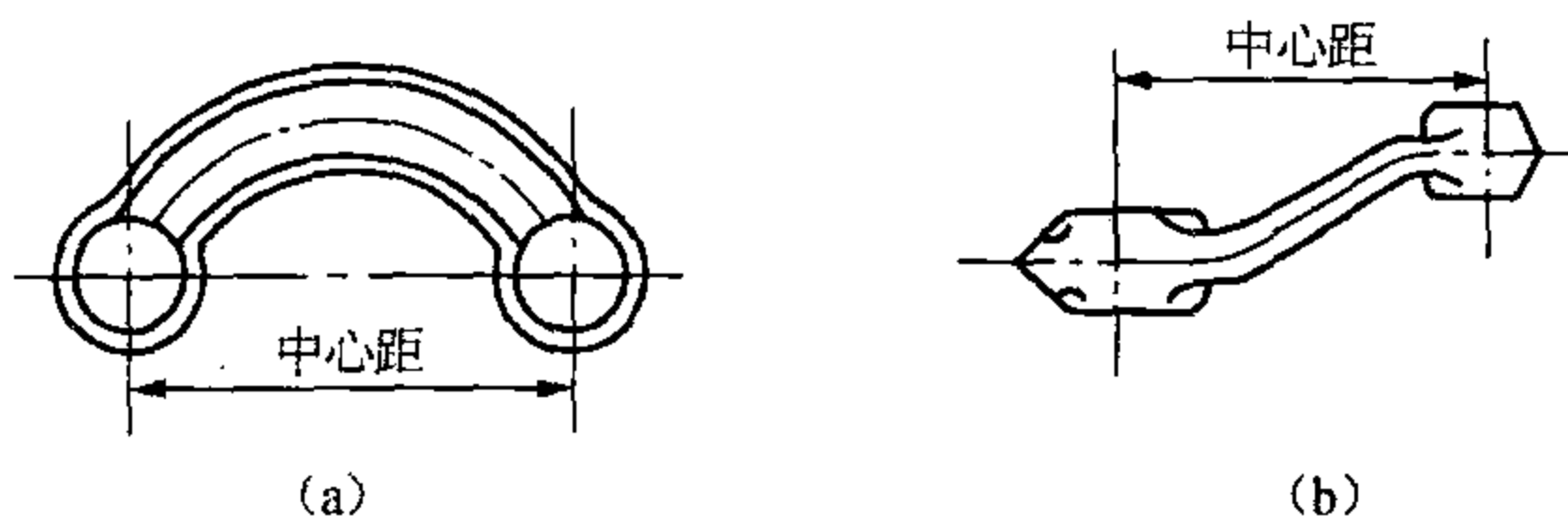


图 5.2-10 具有弯曲轴线或弯曲分模线的锻件的中心距

表5.2-14 锻件的中心距公差/mm

中心距	大于	0	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000
	至	30	80	120	180	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
一般锻件 有一道校正 或压印工序 同时有校正 和压印工序																
极限 偏差	普通级	± 0.5	± 0.4	± 0.5	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.6	± 2.0	± 2.5	± 3.2	± 4.0	± 5.0	± 6.0	
	精密级	± 0.25	± 0.3	± 0.4	± 0.5	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.6	± 2.0	± 2.5	± 3.2	± 4.0	± 5.0	

例:当锻件中心距尺寸为 300 mm,有一道校正或压印工序,其中心距的极限偏差为普通级 ± 1.0 mm,精密级 ± 0.8 mm。

(10) 表面缺陷深度公差(表 5.2-15)

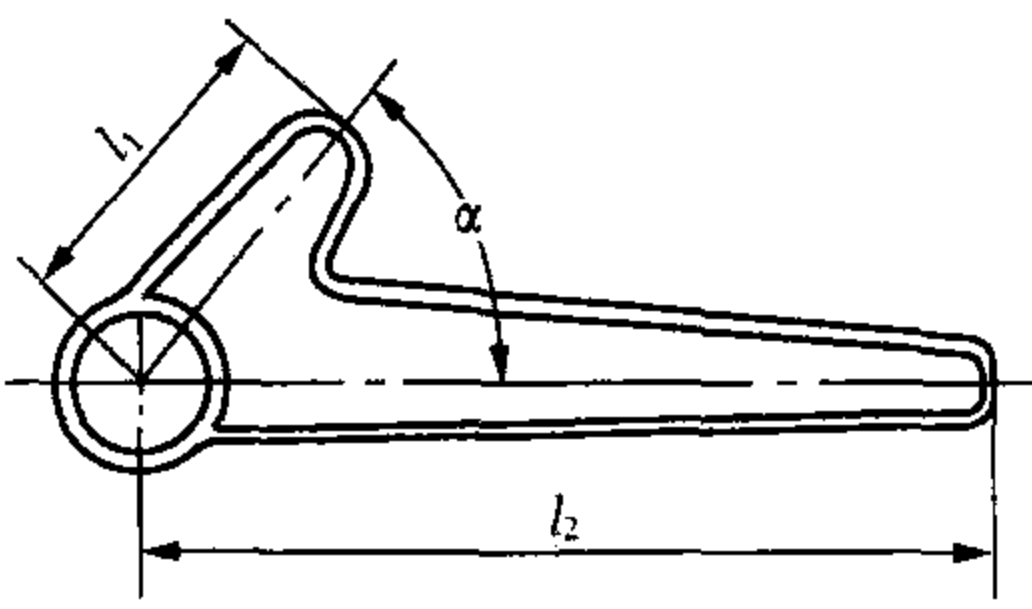
表 5.2-15 表面缺陷深度公差

表面类型	表面缺陷深度公差的确定	
加工表面	锻件实际尺寸等于基本尺寸	表面缺陷深度公差为单边加工余量之半
	锻件实际尺寸大于或小于基本尺寸	表面缺陷深度公差为单边加工余量之半加或减单边实际偏差值。对内表面尺寸取相反值
非加工表面	表面缺陷深度公差为厚度尺寸公差的 1/3	

(11) 角度公差

根据夹角部分的短边长度 l_1 , 由表 5.2-16 确定。

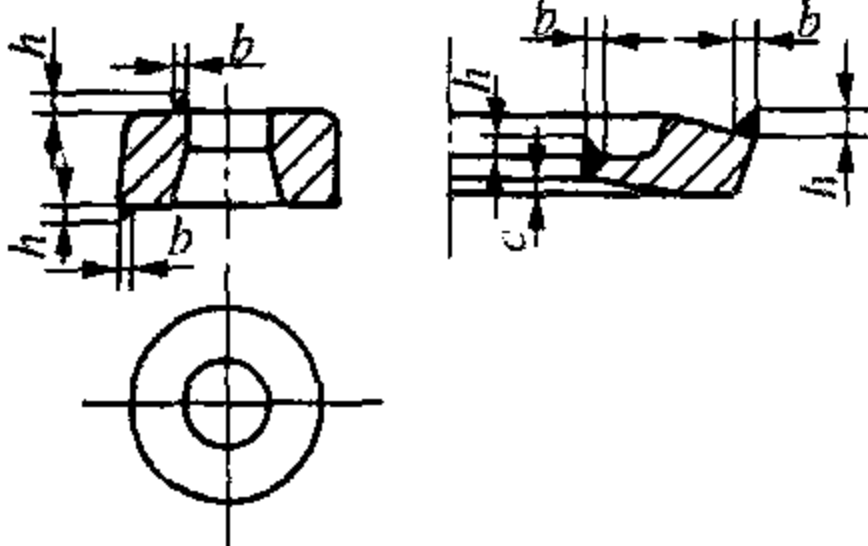
表 5.2-16 锻件角度公差

							
短边长度 l_1 /mm		0~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180
极限偏差	普通级	$\pm 3^{\circ}00'$	$\pm 2^{\circ}30'$	$\pm 2^{\circ}00'$	$\pm 1^{\circ}30'$	$\pm 1^{\circ}15'$	$\pm 1^{\circ}00'$
	精密级	$\pm 2^{\circ}00'$	$\pm 1^{\circ}30'$	$\pm 1^{\circ}15'$	$\pm 1^{\circ}00'$	$\pm 0^{\circ}45'$	$\pm 0^{\circ}30'$

(12) 纵向毛刺和冲孔变形公差

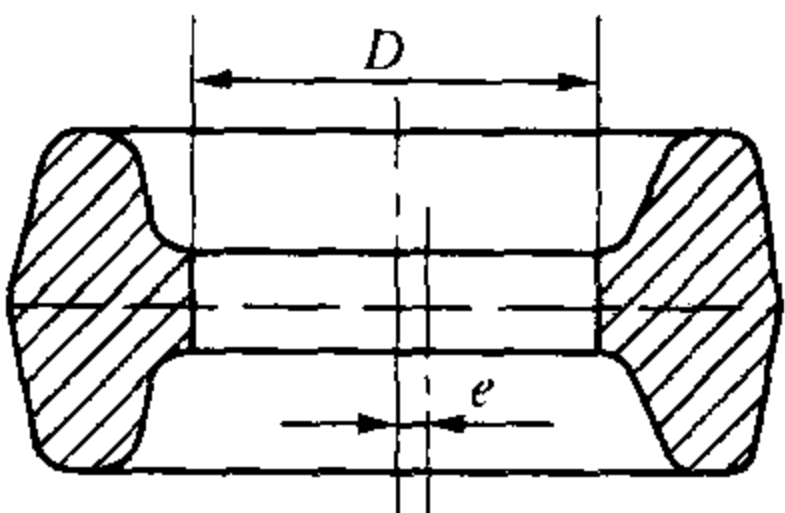
锻件的机加工面允许存在少量残留毛刺和冲孔变形,位置在锻件图中注出,公差由表 5.2-17 确定。

表 5.2-17 锻件切边冲孔纵向毛刺及局部变形公差/mm

	锻件质量 /kg	纵向毛刺公差		变形 c 公差
		高度 h	宽度 b	
≤ 1	≤ 1	1.0	0.5	0.5
$> 1 \sim 5$	$> 1 \sim 5$	1.6	0.8	0.8
$> 5 \sim 30$	$> 5 \sim 30$	2.5	1.2	1.0
$> 30 \sim 55$	$> 30 \sim 55$	3.0	2.0	1.5
> 55	> 55	4.0	2.5	2.0

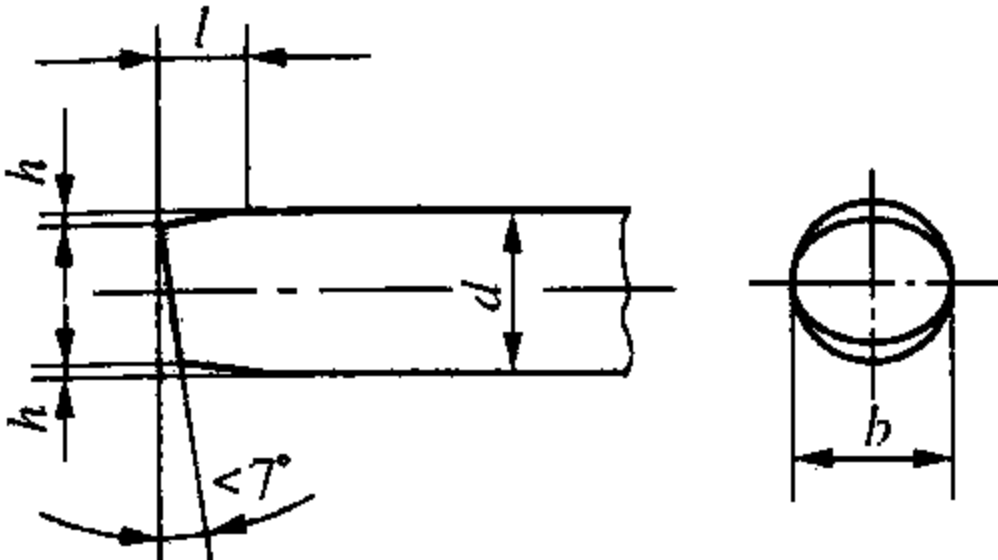
(13) 冲孔偏移公差(表 5.2-18)

表 5.2-18 锻件冲孔偏移公差/mm

							
冲孔直径 D	0~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180	
公差值	普通级	1.8	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0
	精密级	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.8

(14) 剪切端变形公差(表 5.2-19)

表 5.2-19 锻件剪切端变形公差/mm

	坯料尺寸 d	公差值	
		h	l
	≤ 36	$0.07d$	$1.0d$
	$> 36 \sim 70$	$0.05d$	$0.7d$
	> 70	$0.04d$	$0.6d$
	$b < 1.05d$		

3. 机械加工余量

机械加工余量由表 5.2-20、表 5.2-21 确定或由供需双方协商确定。对于扁薄截面或锻件相邻部位截面变化较大的部分，应局部增大余量(图 5.2-11)。

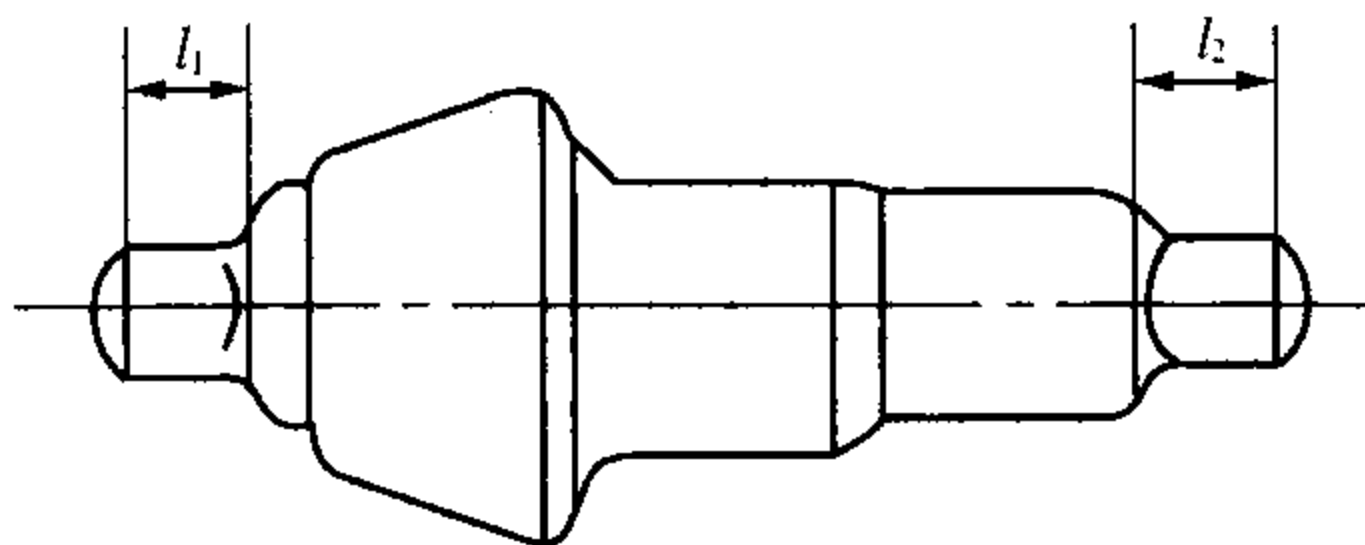


图 5.2-11 局部增大余量

表5.2-20 锻件内外表面加工余量

锻件质量 /kg		零件表面 粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	形 状 复杂系数 S_1, S_2, S_3, S_4	单 边 余 量/mm							
				水 平 方 向				向			
				厚度方向	> 0	315	400	630	800	1 250	1 600
>		≥ 1.6		至 315	630	800	1 250	1 600	2 500		
0	0.4			1.0~1.5	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	—	—	—	—
0.4	1.0			1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~3.0	—	—	—
1.0	1.8			1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	2.0~2.7	2.0~3.0	—	—	—
1.8	3.2			1.7~2.2	1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.0~3.0	2.5~3.5	—	—
3.2	5.6			1.7~2.2	1.7~2.2	2.0~2.5	2.0~2.7	2.5~3.5	2.5~4.0	—	—
5.6	10.0			2.0~2.5	2.0~2.5	2.0~2.5	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	—
10.0	20.0			2.0~2.5	2.0~2.5	2.0~2.7	2.3~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	—
20.0	50.0			2.3~3.0	2.0~3.0	2.5~3.0	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	—
50.0	120.0			2.5~3.2	2.5~3.5	2.5~3.5	2.7~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	4.0~5.5
120.0	250.0			3.0~4.0	2.5~3.5	2.5~3.5	2.7~4.0	3.0~4.5	3.0~4.5	3.5~5.0	4.0~5.5
				3.5~4.5	2.7~3.5	2.7~3.5	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~5.0	4.0~5.0	4.5~6.0
				4.0~5.5	2.7~4.0	3.0~4.0	3.0~4.5	3.5~4.5	3.5~5.0	4.0~5.5	4.5~6.0

例：当锻件质量为 3 kg，零件表面粗糙度 $R_a = 3.2 \mu\text{m}$ ，形状复杂系数为 S_3 ，长度为 480 mm 时查出该锻件余量是：厚度方向为 1.7~2.2 mm，水平方向为 2.0~2.7 mm。

表 5.2-21 锻件内孔直径的单面机械加工余量/mm

孔 径		孔 深				
>	到	>0	63	100	140	200
		至 63	100	140	200	280
—	25	2.0	—	—	—	—
25	40	2.0	2.6	—	—	—
40	63	2.0	2.6	3.0	—	—
63	100	2.5	3.0	3.0	4.0	—
100	160	2.6	3.0	3.4	4.0	4.6
160	250	3.0	3.0	3.4	4.0	4.6

三、模锻斜度

1. 外模锻斜度(α)与内模锻斜度(β)(图 5.2-12)

2. 模锻斜度的标准系列

包括 $0^{\circ}15'$, $0^{\circ}30'$, $1^{\circ}00'$, $1^{\circ}30'$, $3^{\circ}00'$, $5^{\circ}00'$, $7^{\circ}00'$, $10^{\circ}00'$, $12^{\circ}00'$, $15^{\circ}00'$ 。

3. 模锻斜度的确定

外模锻斜度 α 按锻件各部分的长宽比和高宽比由表 5.2-22 确定。内模锻斜度 β 按 α 的值加大 2° 或 3° (15° 除外)。当具有顶料机构时, α 可缩小 2° 或 3° , 但 α 值一般不宜小于 3° 。

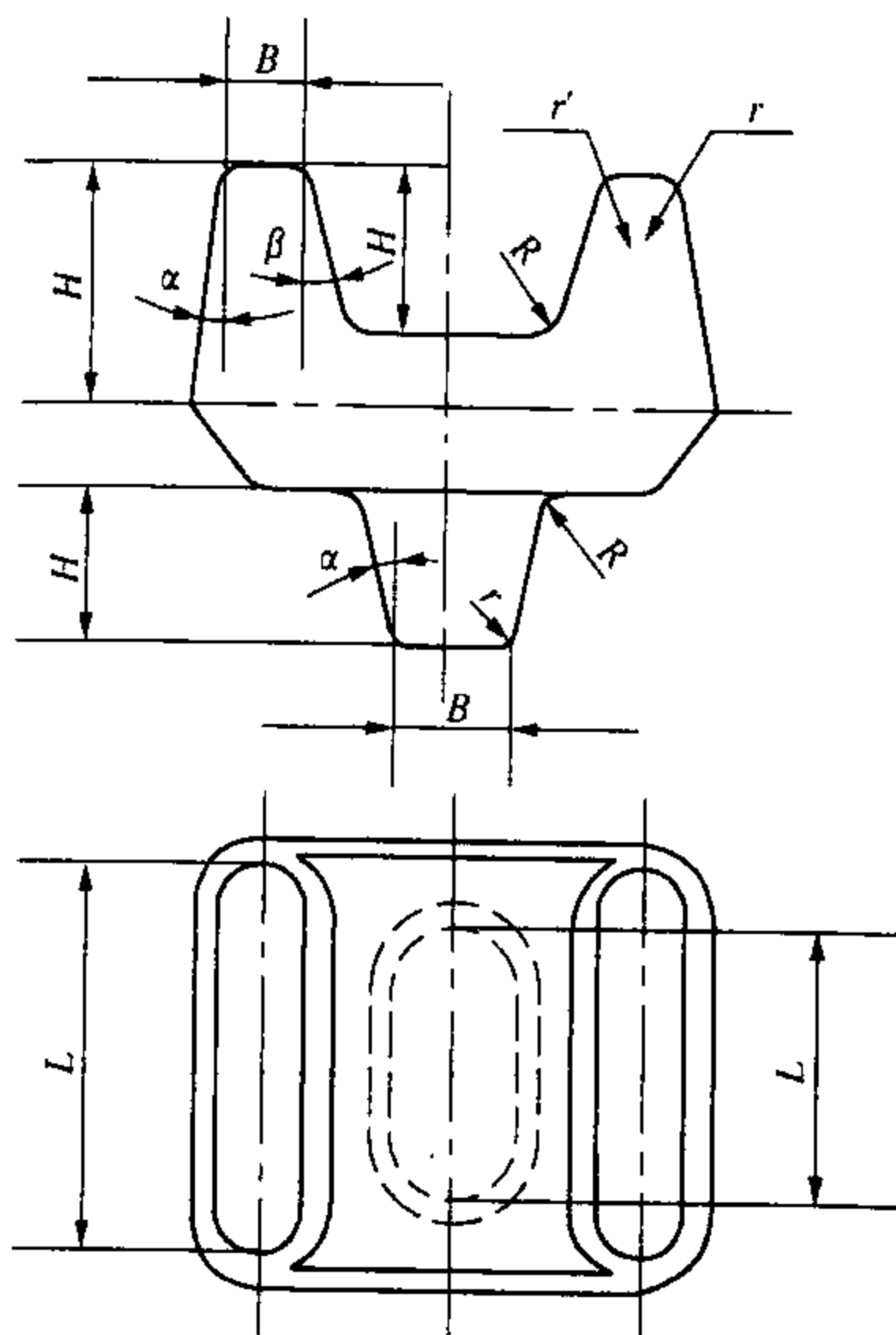


图 5.2-12 外模锻斜度与内模锻斜度

表 5.2-22 锻件外模锻斜度 α 数值

$\frac{L}{B}$	$\frac{H}{B}$				
	≤ 1	$>1 \sim 3$	$>3 \sim 4.5$	$>4.5 \sim 6.5$	>6.5
≤ 1.5	$5^{\circ}00'$	$7^{\circ}00'$	$10^{\circ}00'$	$12^{\circ}00'$	$15^{\circ}00'$
>1.5	$5^{\circ}00'$	$5^{\circ}00'$	$7^{\circ}00'$	$10^{\circ}00'$	$12^{\circ}00'$

四、圆角半径

1. 圆角半径系列

(1.0), (1.5), 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 16.0, 20.0, 25.0, 30.0, 40.0, 50.0, 60.0, 80.0, 100.0。
括号内的数值尽量少用。

2. 圆角半径的确定

(1) 外圆角半径 r 按表 5.2-23 确定。

(2) 内圆角半径 R 按表 5.2-24 确定。

表 5.2-23 外圆角半径数值/mm

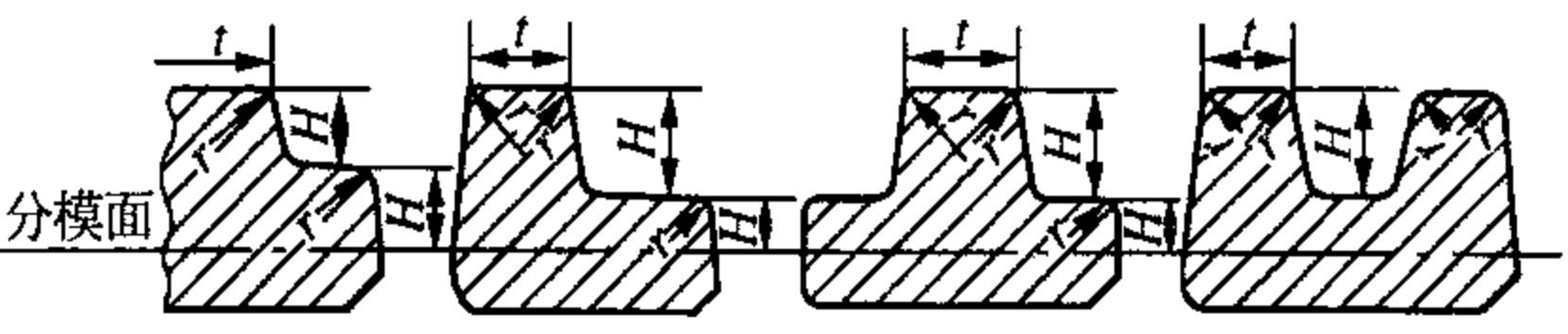
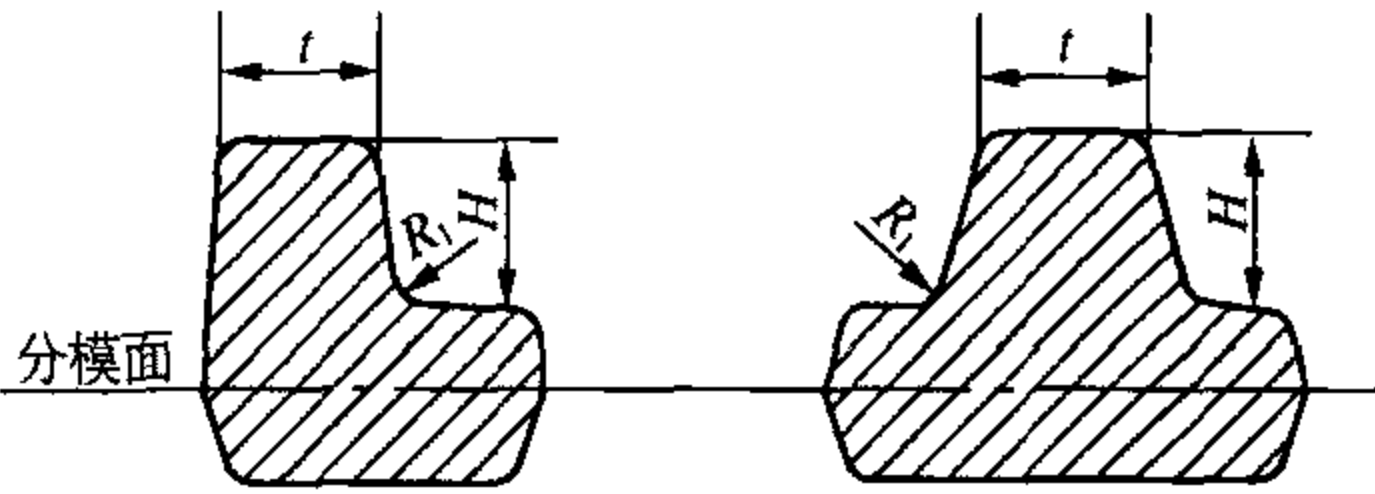
							
t/H	台 阶 高 度 H						
	≤ 10	$>10 \sim 16$	$>16 \sim 25$	$>25 \sim 40$	$>40 \sim 63$	$>63 \sim 100$	$>100 \sim 160$
$>0.5 \sim 1$	2.5	2.5	3	4	5	8	12
>1	2	2	2.5	3	4	6	10

表 5.2-24 内圆角半径数值/mm

							
t/H	台 阶 高 度 H						
	≤ 10	$>10 \sim 16$	$>16 \sim 25$	$>25 \sim 40$	$>40 \sim 63$	$>63 \sim 100$	$>100 \sim 160$
$>0.5 \sim 1$	4	5	6	8	10	16	25
>1	3	4	5	6	8	12	20

五、连皮与盲孔

锻件内孔直径大于 25 mm 时,应锻出连皮并冲孔;内孔直径小于 25 mm 时,一般仅锻出盲孔。冲孔连皮有平底连皮、斜底连皮、带仓连皮、拱底连皮等形式(图 5.2-13)。连杆小头盲孔的示意图见图 5.2-14。连皮及盲孔的尺寸由表 5.2-25 确定。平底连皮的厚度也可按图 5.2-15 确定。

斜底连皮适用于冲孔直径较大($d > 60$ mm)时,连皮有一定的斜度,使金属容易外流,冲头不易磨损,避免产生折叠。其尺寸为: $S_{\text{大}} = 1.35S$; $S_{\text{小}} = 0.65S$; $d_1 = (0.25 \sim 0.35)d$ 。

带仓连皮和拱底连皮的仓部容积大,使终锻时连皮金属不大量向外排出,而挤入仓部,避免形成折叠。

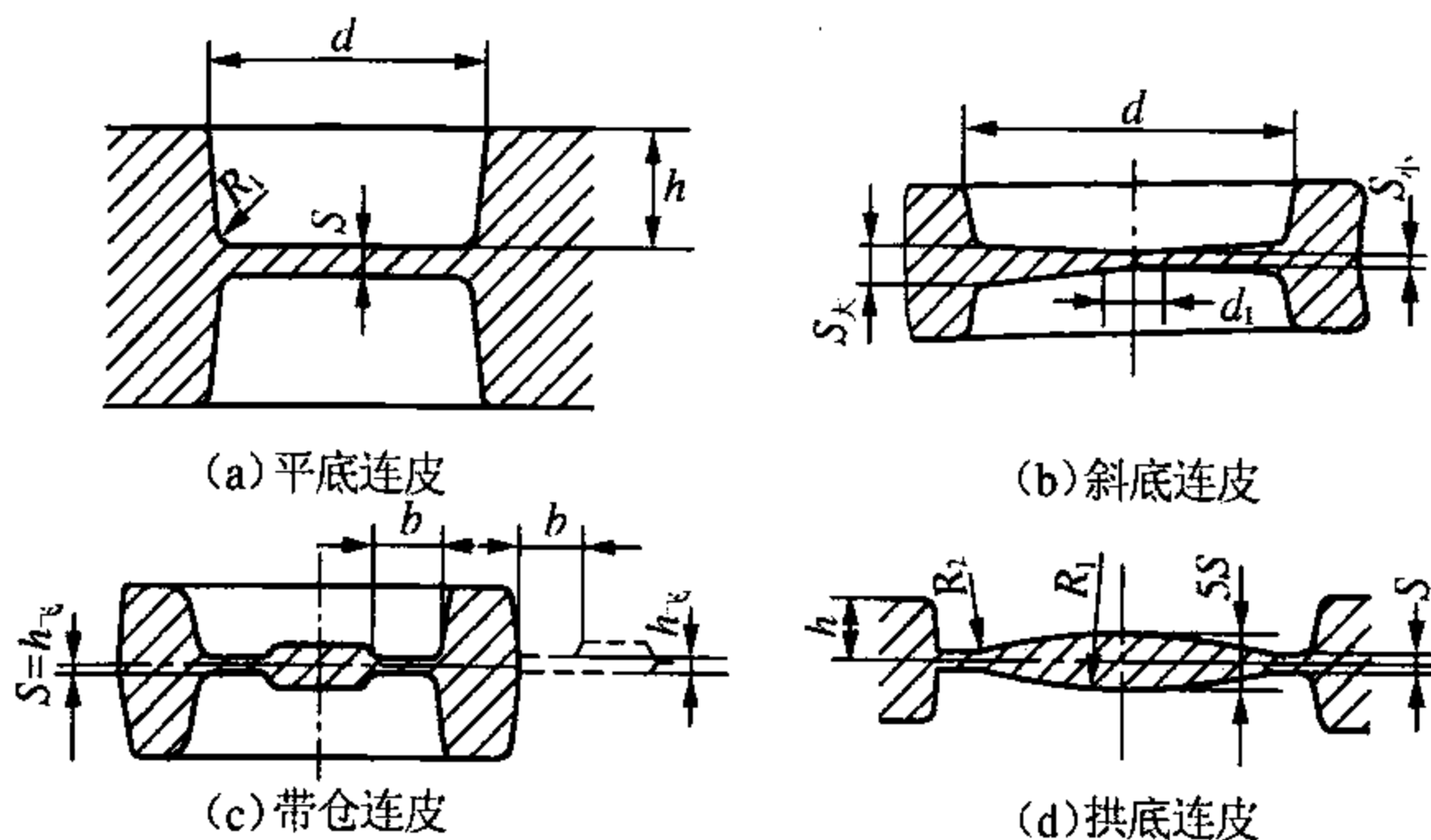


图 5.2-13 冲孔连皮的形式

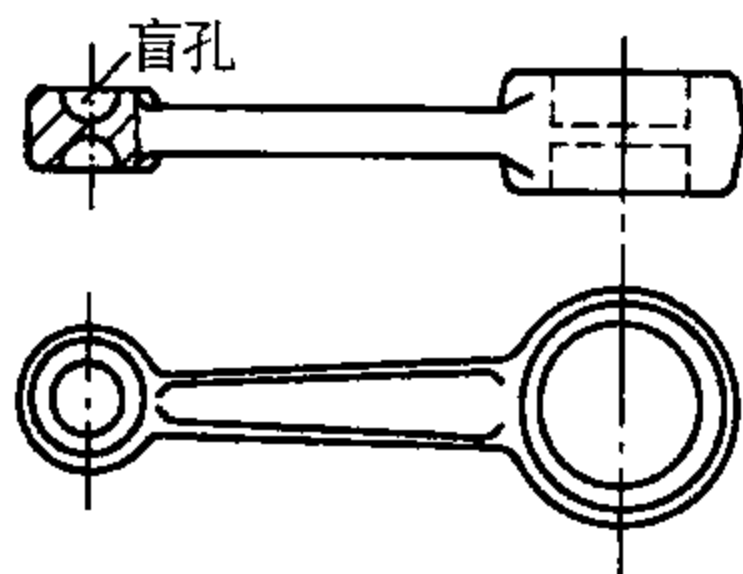


图 5.2-14 盲孔

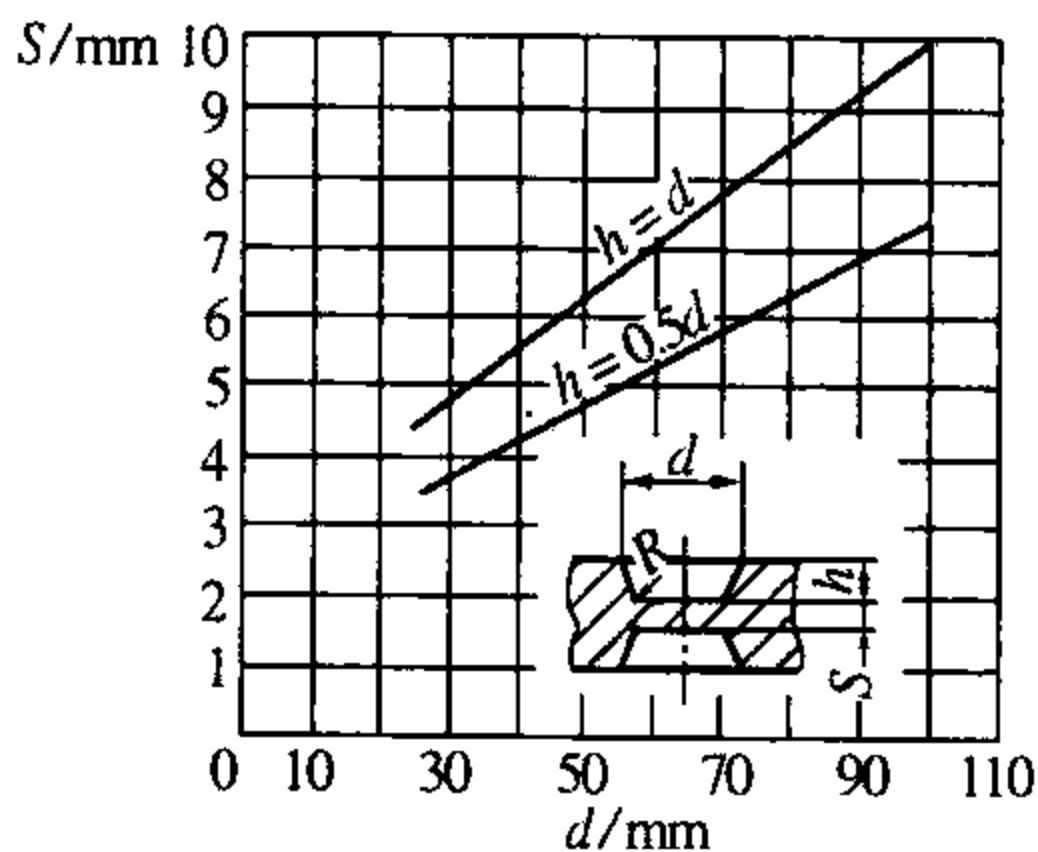


图 5.2-15 平底连皮厚度确定

表 5.2-25 连皮、盲孔尺寸的确定

形式	使用范围	尺寸/mm	符号说明
平底连皮	最为常用	$S = 0.45 \sqrt{d - 0.25h - 5} + 0.6\sqrt{h}$ $R_1 = R + 0.1h + 2$	R ——内圆角半径 其余见图 5.2-13(a)
斜底连皮	常用于预锻模膛 $(d > 2.5h \text{ 或 } d > 60 \text{ mm})$	$S_{\text{大}} = 1.35S$ $S_{\text{小}} = 0.65S$ $d_1 = (0.25 \sim 0.3)d$	S ——平底连皮的计算值 其余见图 5.2-13(b)
带仓连皮	用于预锻时采用斜底连皮的终锻模膛	厚度 S 和宽度 b 分别与飞边桥部高度 h 和桥部宽度 b 相同	见图 5.2-13(c)
拱底连皮	用于内孔很大、高度很小的锻件 $(d > 15h)$	$S = 0.4\sqrt{d}$ R_1 ——作图决定 $R_2 = 5h$	见图 5.2-13(d)
盲孔	内孔小于 25 mm 的锻件	单向盲孔深度: 当 $L = B$ 时, $\frac{H}{B} \leq 0.7$; 当 $L > B$ 时, $\frac{H}{B} \leq 1.0$	见图 5.2-16
		双向盲孔深度: 分别按单向盲孔确定	见图 5.2-14

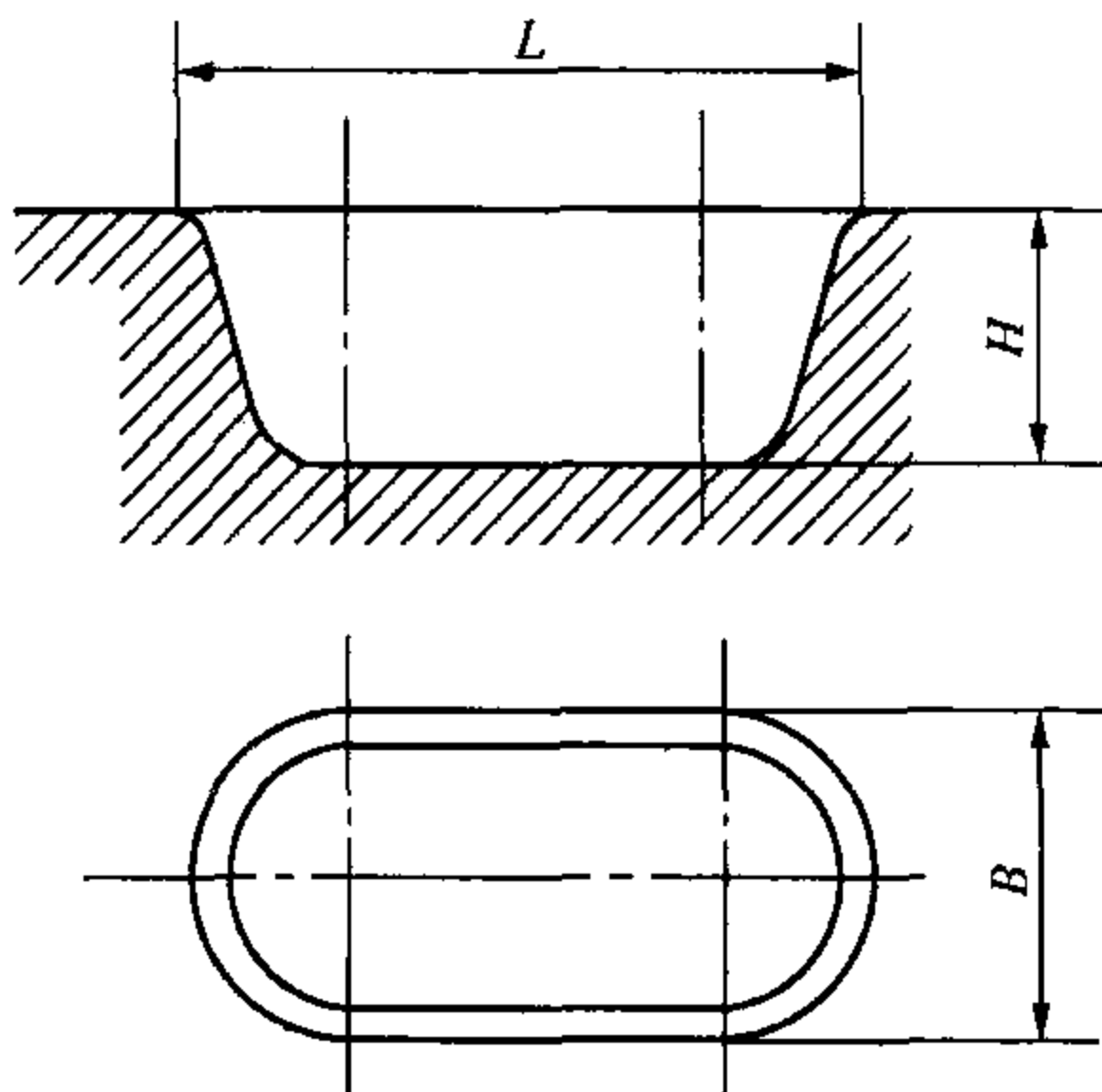


图 5.2-16 单向盲孔深度确定

六、机加工定位基准

机加工定位基准一般由机加工部门与锻造工艺部门协商确定,在锻件图上以符号“ $\text{—}\wedge\text{—}$ ”标注。机加工定位基准一般按以下原则确定:

① 基准面应为锻件上较稳定的表面,即不易受锻模磨损、错差和毛刺等影响的表面。

② 有足够的定位面积或长度(图 5.2-17)。

③ 机加工时,首次装夹的加工工序中不被加工。

④ 当锻件本体没有合适平面作为装夹、定位基准时,应设计专用凸台(图 5.2-18,图 5.2-19),而后根据需要保留或去除该凸台。

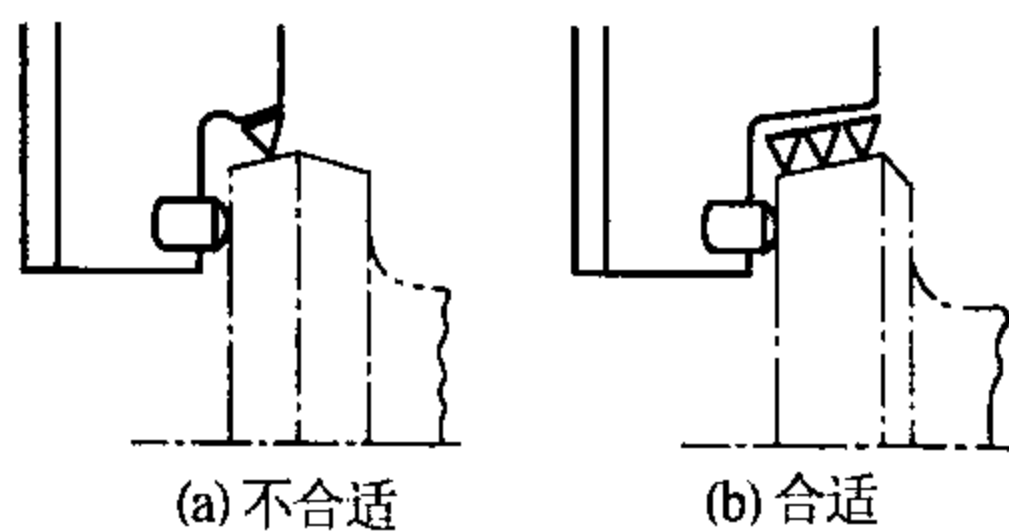


图 5.2-17 机加工装夹与定位面

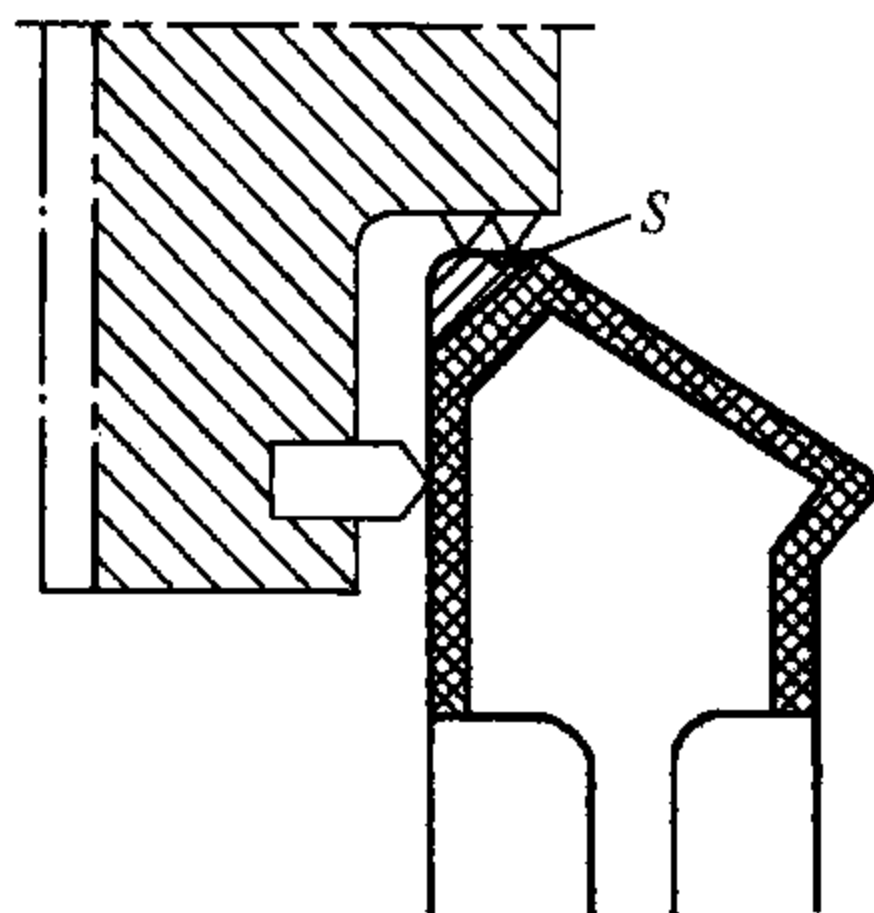


图 5.2-18 伞齿轮锻件上留出夹紧部位

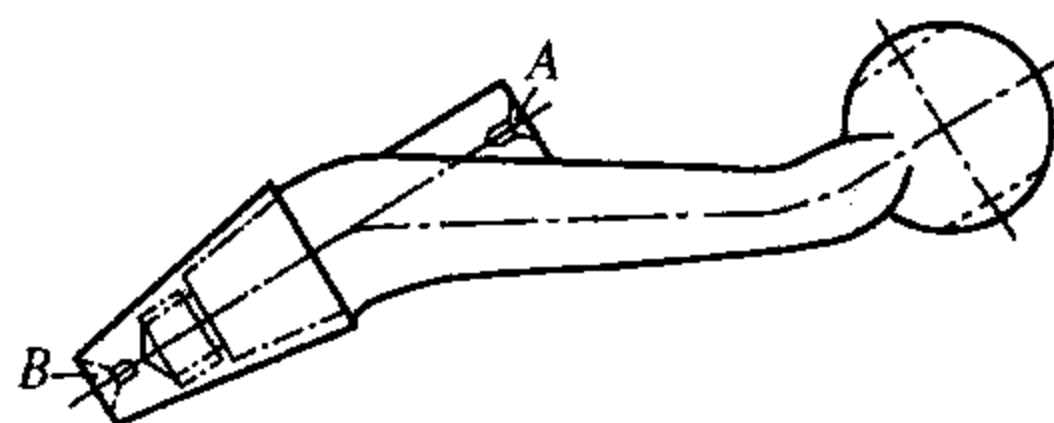


图 5.2-19 转向臂锻件上增加定位凸台

七、锻件功能分类

根据零件受力情况、重要程度及工作条件的不同,锻件分为四类,以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类表示。分类依据见表 5.2-26。锻件类别应在锻件图的标题栏或技术条件中标明。未注明者为Ⅳ类。

表 5.2-26 锻件功能分类

锻件类别	划定锻件功能类别的主要依据
Ⅰ类锻件	用于承受复杂应力和冲击振动及重负载工作条件下的零件。如果失效或损坏会直接导致严重的后果,发生等级事故;或该零件虽受力不大,但损坏后会危及人身安全或导致系统功能失效造成重大经济损失
Ⅱ类锻件	用于承受固定的重负载和较小的冲击振动工作条件下的零件。如果失效或损坏可能直接影响到其他零件、部件的损坏或失效,影响产品某一部分的正常工作,但不会导致等级事故和危及人身安全,不会导致系统工作的失效
Ⅲ类锻件	用于承受固定的负载,但不受冲击和振动工作条件下的零件。这类零件的损坏只会引起产品局部出现故障
Ⅳ类锻件	用于承受负载不大、不计算强度、安全系数很大的零件及除上述三类之外的其他锻件

标注方法:

材料牌号-材料标准号
锻件类别-《锻件功能分类》标准号

示例:

42CrMo - GB3077
Ⅱ - GB/T12363

或在技术要求中注明:

“锻件分类按 GB/T12363 第Ⅱ类。”



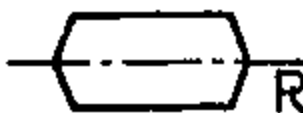
八、锻件技术要求

锻件技术要求的主要内容:

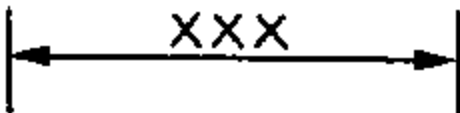
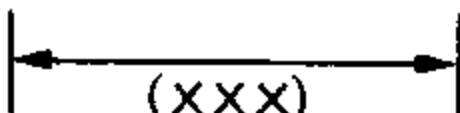
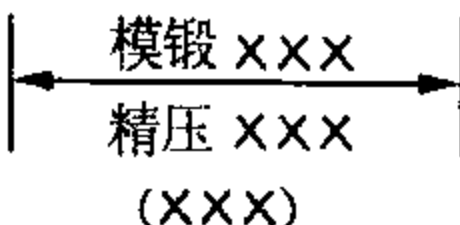
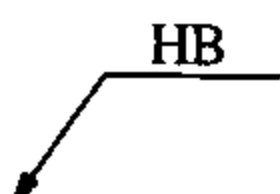

- ① 未注明模锻斜度为 $\times\times\times$ 。
- ② 未注明圆角半径为 $R\times\times\times$ 。
- ③ 表面缺陷深度:加工面不大于 $\times\times\times$;
非加工面不大于 $\times\times\times$ 。
- ④ 错差不大于 $\times\times\times$ 。
- ⑤ 残留飞边和切入深度不大于 $\times\times\times$ 。
- ⑥ 热处理方法及硬度范围。
- ⑦ 锻件表面清理方法及要求。
- ⑧ 对未注明的尺寸公差,应注明公差标准代号及精度等级或具体公差值。
- ⑨ 其他要求:如探伤、低倍组织、纤维组织、力学性能、过热、脱碳、质量(重量)公差、标记、防锈及包装等。

九、绘制锻件图的一般规定(表 5.2-27)

表 5.2-27 绘制锻件图的一般规定

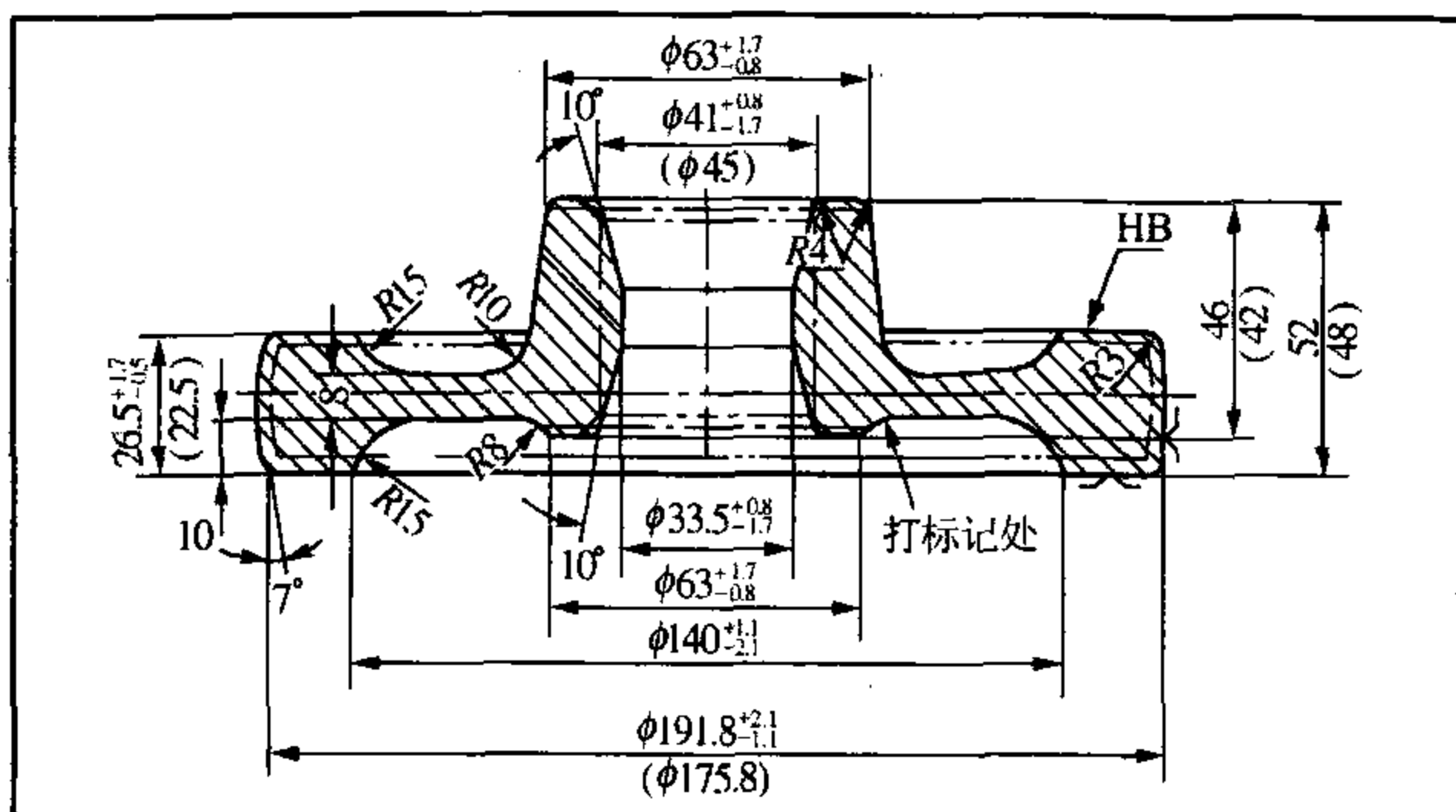
序号	项 目	要 求	符号图形
1	锻件轮廓线	粗实线	
2	零件外廓线	双点划线	
3	分模线	点划线(必要时注明“R”或“分模线”)	

(续表)

序号	项 目	要 求	符号图形
4	锻件尺寸数字	标注在尺寸线中上方	
5	零件尺寸数字	标注在尺寸线中下方括号内	
6	精压尺寸数字	模锻尺寸、精压后尺寸分别注在尺寸线上、下方,并注明“模锻”、“精压”	
7	硬度检测部位	以符号标注在锻件图上,且应尽量选定在加工表面上(调质锻件选在较厚处,退火件选在较薄处)	
8	机加工定位	以符号标注在锻件图上	

十、锻件图示例

某一齿轮零件外径 191.8 mm,总厚 48 mm,计算锻件质量 4.63 kg,包容体质量 10.18 kg,形状复杂系数 S_3 级,材料 20CrMnTi,材质系数 M_1 级,精度等级为普通级,锻件图示例见图 5.2-20。



技 术 要 求

- ① 未注明模锻斜度为 7°
 ② 未注明圆角半径为 R3
 ③ 表面缺陷深度: 加工面不大于 1.0
 非加工面不大于 0.7
 ④ 错差不大于 1.0
 ⑤ 残留飞边不大于 1.0
 ⑥ 热处理: 正火, 156 - 207HB
 ⑦ 锻件喷丸去除氧化皮
 ⑧ 未注明尺寸公差按 GB/T12362 普通级
 ⑨ 标记按 $\times\times\times$ 标准

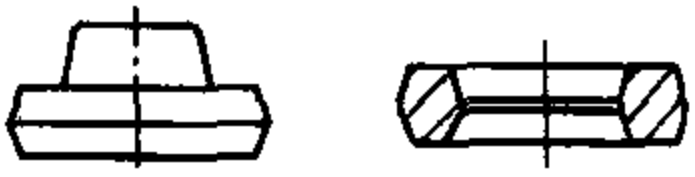
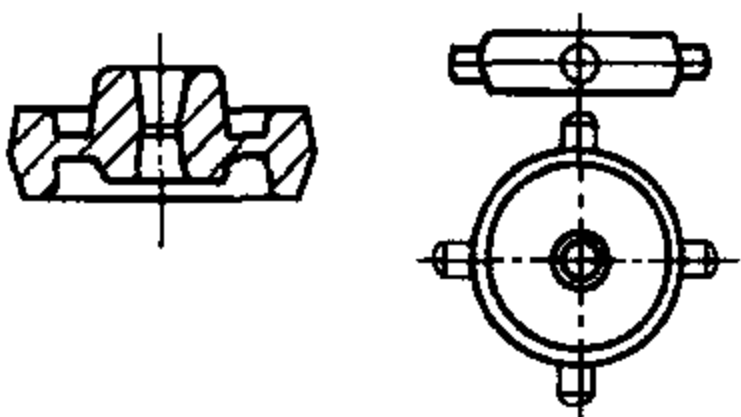
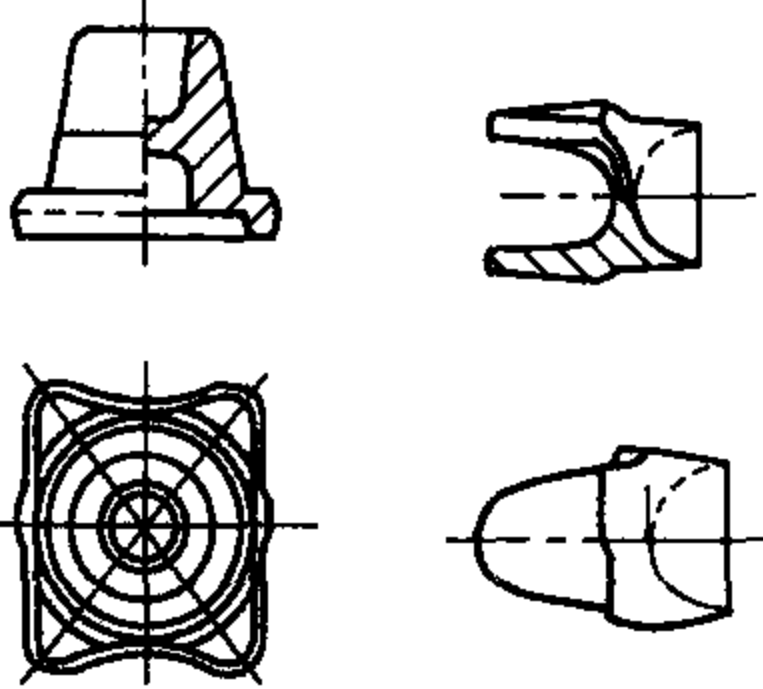
标记	处数	更改通知单号	签名及日期	标记	处数	更改通知单号	签名及日期	标记	处数	更改通知单号	签名及日期
设计				齿轮锻件图				件号	$\times\times\times$		
绘图								质量	比例	形状复杂系数	锻件等级
校对								$\times\times\times$	1:1	S_3	普通级
审核								$\times\times\times$ 厂			
会签				20CrMnTi - GB3077 II - GB/T12363							
标准化											
审核											
批准											

图 5.2-20 齿轮锻件图

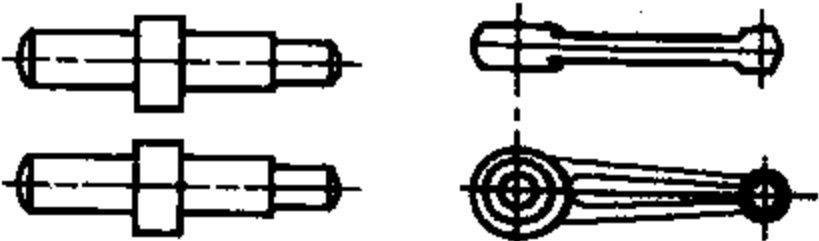
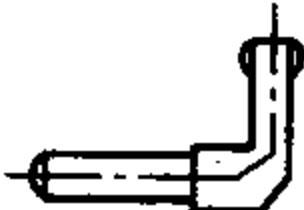

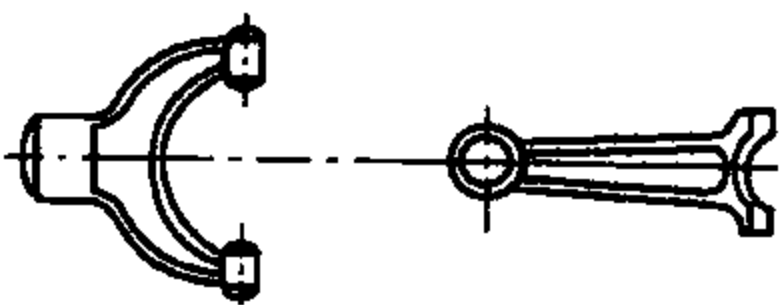
第三节 模锻变形工步设计、毛坯尺寸计算和锻锤吨位选择

一、模锻件分类

表 5.3-1 模锻件的分类

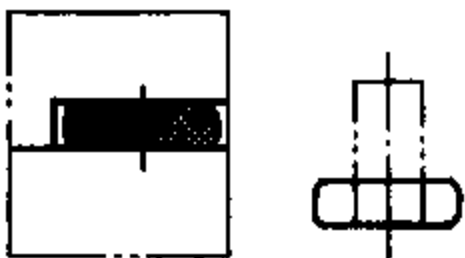

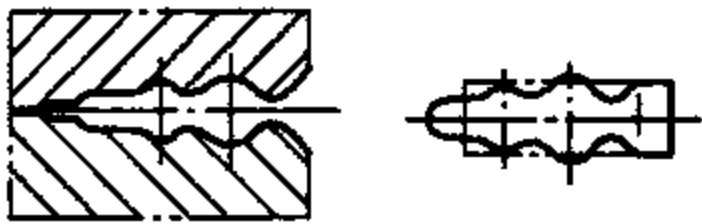
类 别	组 别	锻 件 图 例
第一类—— 圆饼类锻件	简单形状	
	较复杂形状	
	复杂形状	

(续表)

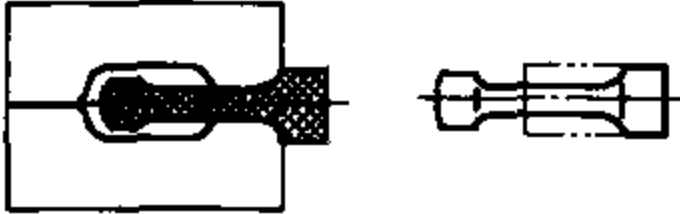
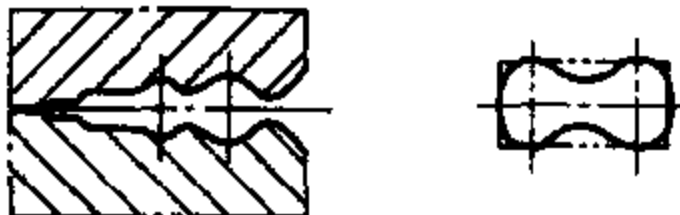
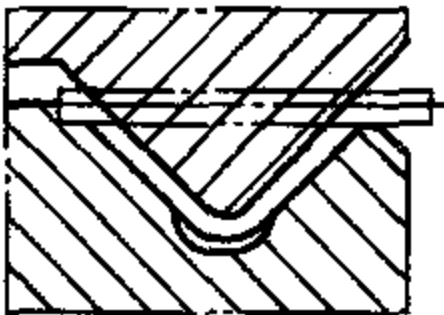
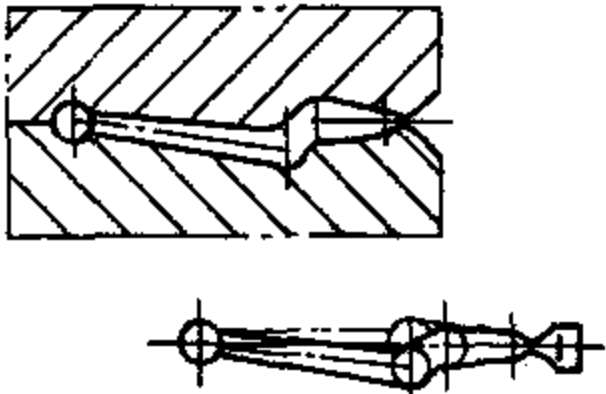
类 别	组 别	锻 件 图 例
第二类—— 长轴类锻件	一、直长轴线	
	二、弯曲轴线	
	三、枝芽类	
	四、叉类	

二、模锻变形工步与模膛的分类

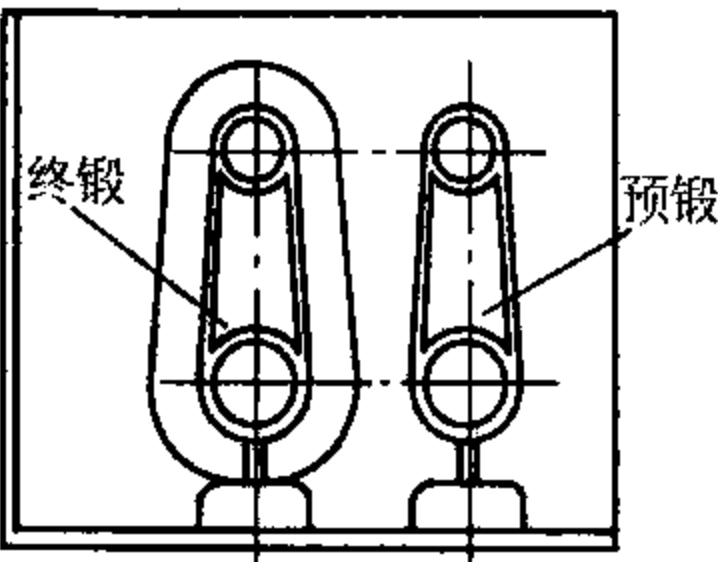
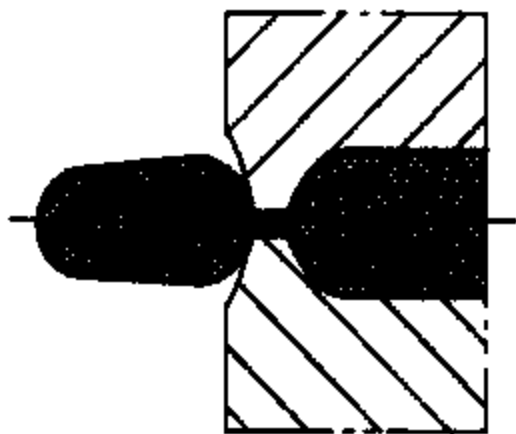
表 5.3-2 各种模锻变形工步及模膛的特点和作用

分类	工步及模膛名称	简 图	特点和作用
制坯工步或制坯模膛	镦粗		镦粗坯料,使坯料的高度减小,直径增大。用于饼类锻件的制坯。使坯料直径与锻件相接近,有利于锻件的成形,减少终锻锤击次数,提高模膛寿命,并能除去坯料侧表面上的氧化皮
	压扁		压扁坯料,使坯料变扁增宽,压扁后坯料的长度几乎不变。多用于外形扁宽的锻件制坯
	滚挤		使坯料局部横截面增大,相邻部分减小,稍许增加坯料的长度。经过滚压后,坯料沿轴线准确分配体积,使表面光滑圆浑。操作时坯料绕轴线作 90° 翻转,不作进给

(续表)

分类	工步及模膛名称	简 图	特点和作用
制坯工步或制坯模膛	拔长		减小坯料局部横截面面积,使坯料长度增加,从而使坯料的体积沿轴线重新分配。操作时坯料绕毛坯轴线作 90° 翻转并沿轴线向模膛进给
	压肩		使坯料的局部截面略有增加,压下部分展宽。操作时坯料一般不翻转
	弯曲		使坯料轴线弯曲,获得与锻件水平投影图形相近的形状,以适应轴线弯曲的锻件终锻成形要求
模锻工步或模锻模膛	预 锻		通过预锻获得与终锻接近的形状,以利锻件在终锻时的最终成形,能改善金属流动条件,有利终锻的充满,避免终锻产生折叠并提高终锻模膛寿命

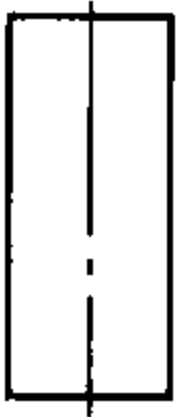
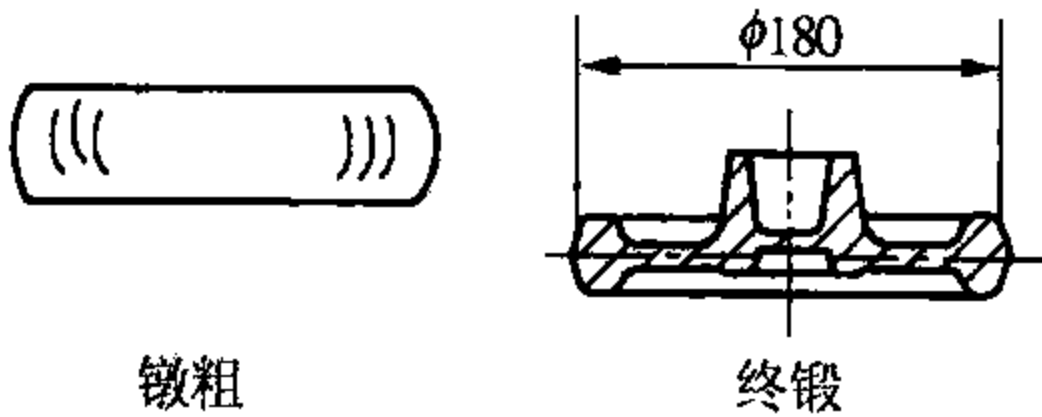
(续表)

分类	工步及模膛名称	简图	特点和作用
模锻工步或模锻模膛	终锻		通过终锻获得最终的锻件形状,所有的锻件都必须经过终锻。终锻模膛周围有飞边槽,用以容纳多余的金属
切断工步或切断模膛	切断		在一根棒料上锻多个锻件时,利用切断模膛将锻件从棒料上分离


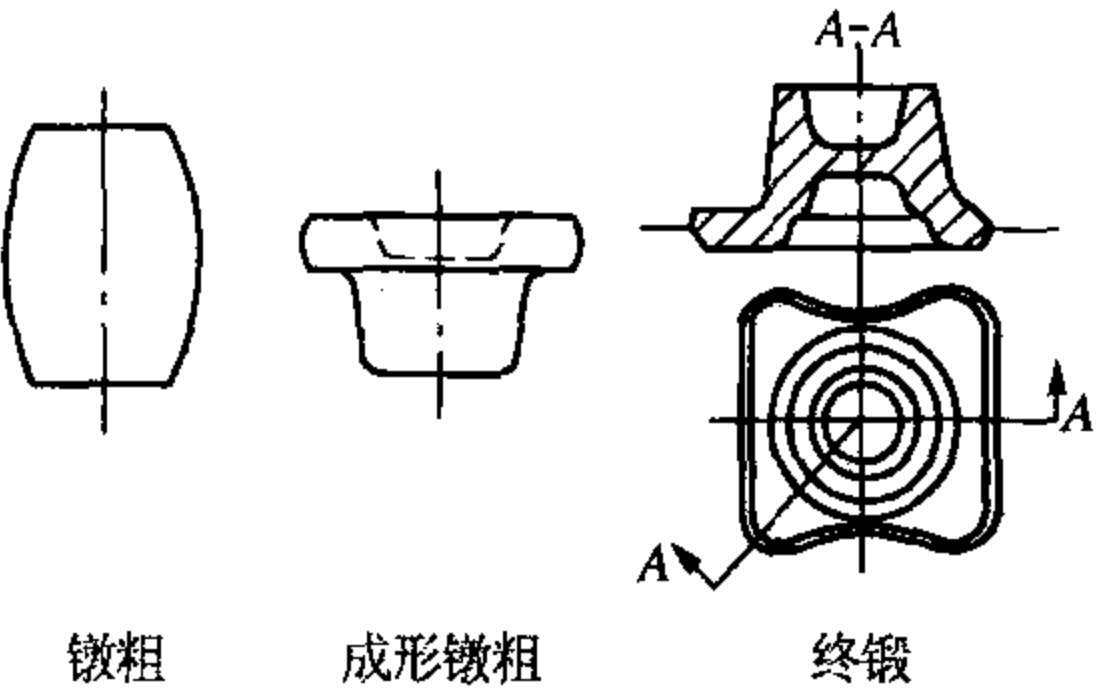

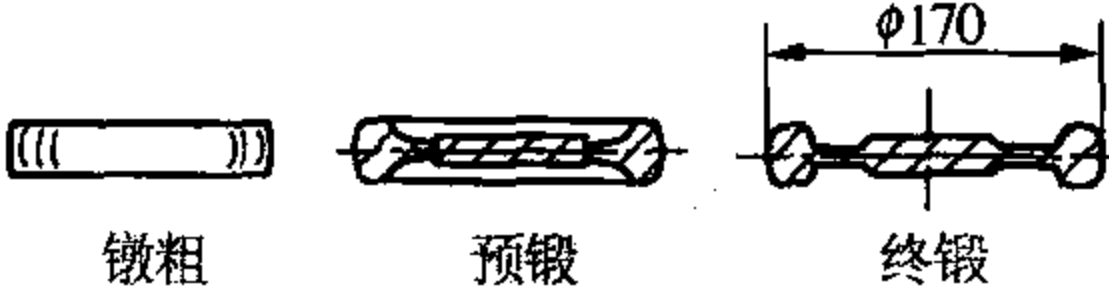

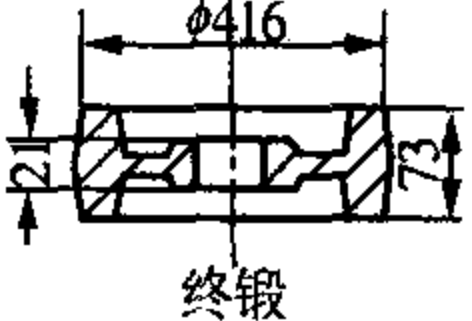

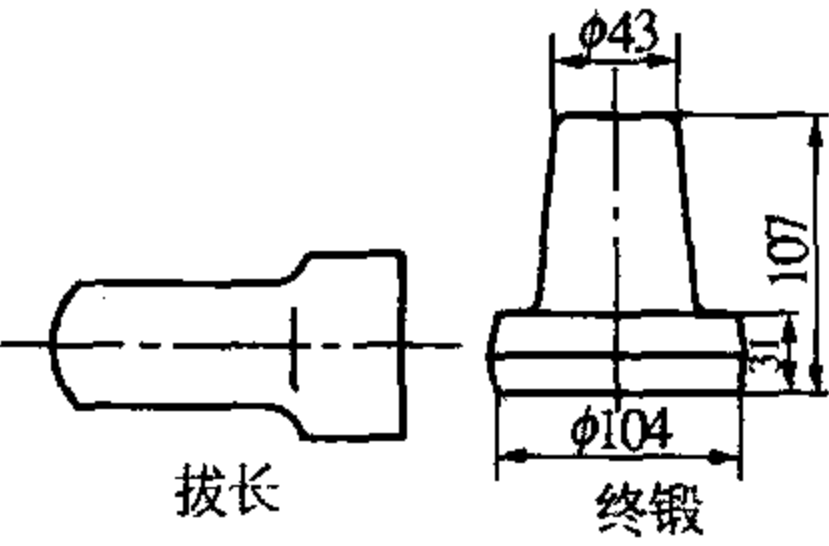
三、模锻工步的选择

1. 圆饼(圆盘)类锻件工步选择(表 5.3-3)

表 5.3-3 圆饼类锻件工步选择实例


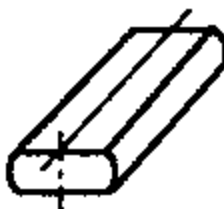

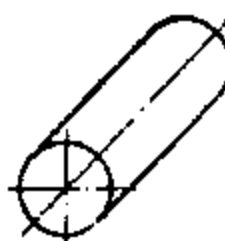

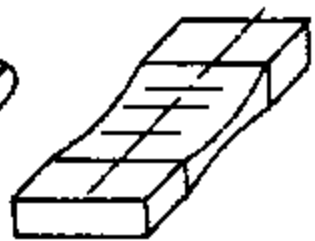




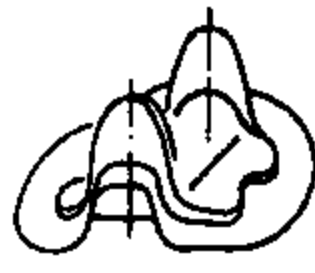

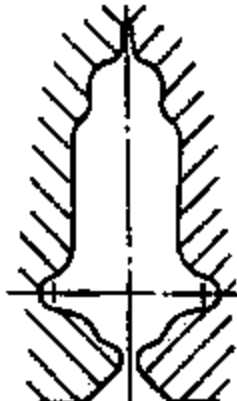
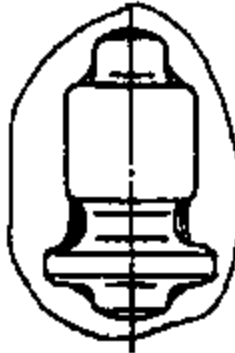
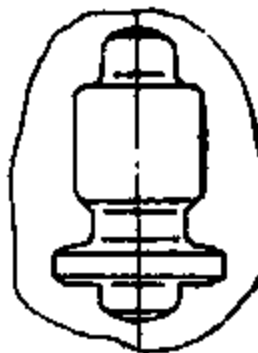
序号	毛坯	变形工步及简图	说明
1			一般齿轮锻件

(续表)

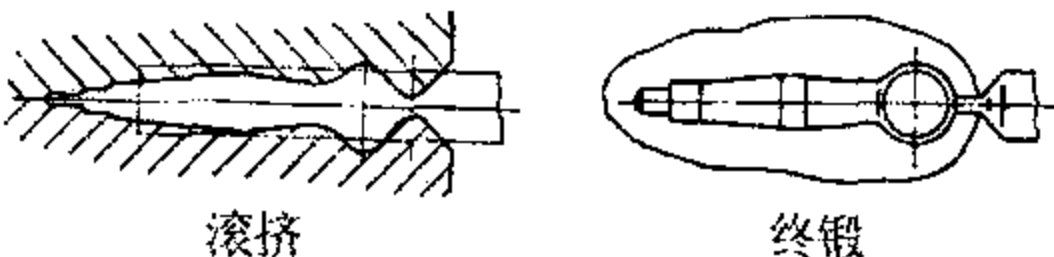
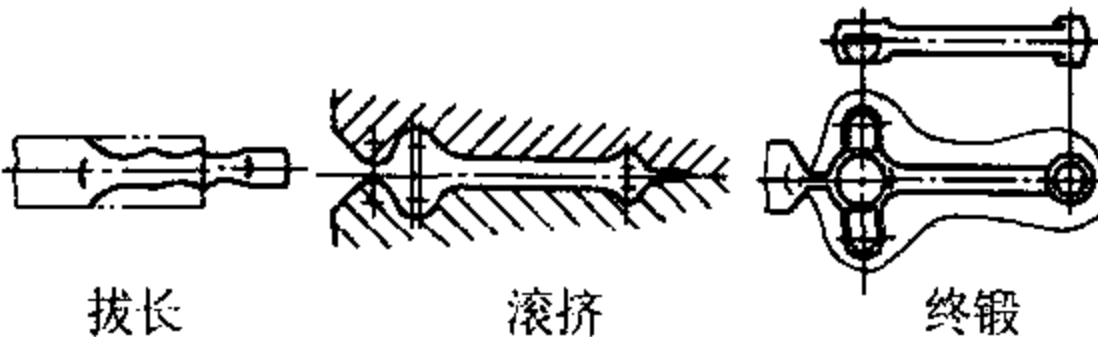
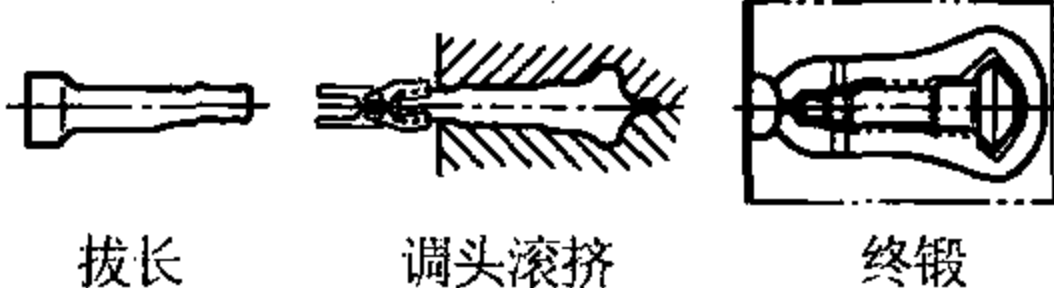
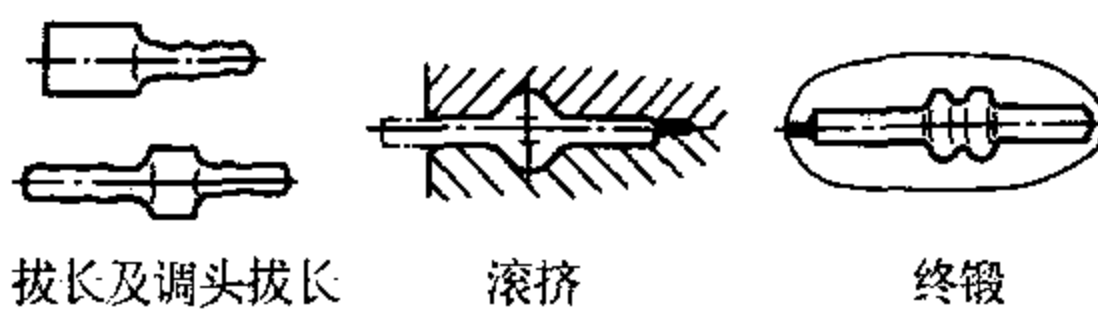
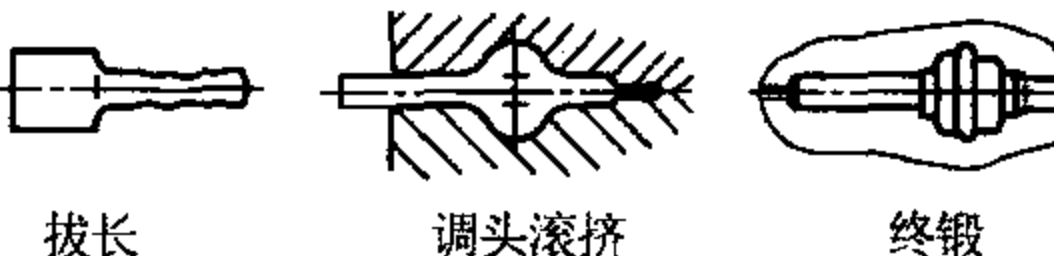
序号	毛 坯	变形工步及简图	说 明
2		 <p>镦粗 成形镦粗 终锻</p>	轮 毂 较 高、孔较深 的法兰类 锻件
3		 <p>镦粗 预锻 终锻</p>	高 筋 薄 壁锻件
4		 <p>终锻</p>	直径较大 的套环锻件, 不便在锻模 上安排镦粗 台,直接终锻 (或在另一台 设备上进行 镦粗)
5		 <p>拔长 终锻</p>	轮 毂 特 高的法兰 锻件

2. 长轴类锻件工步选择(表 5.3-4)

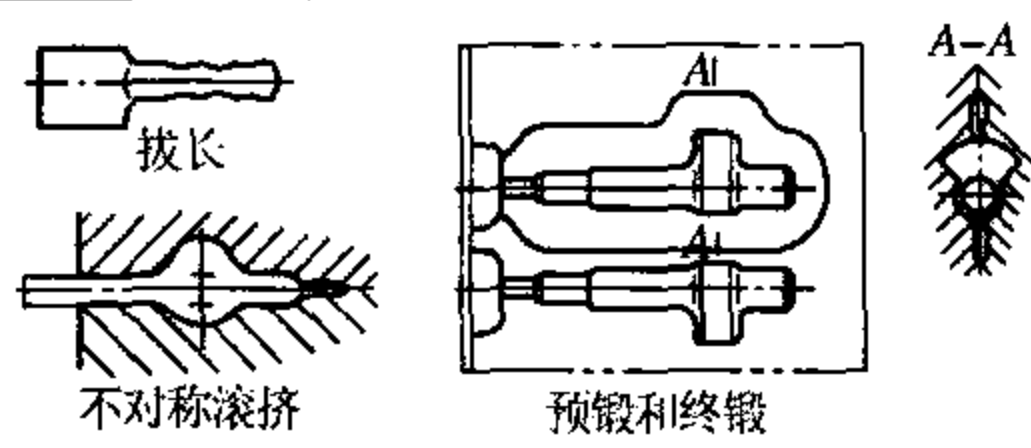
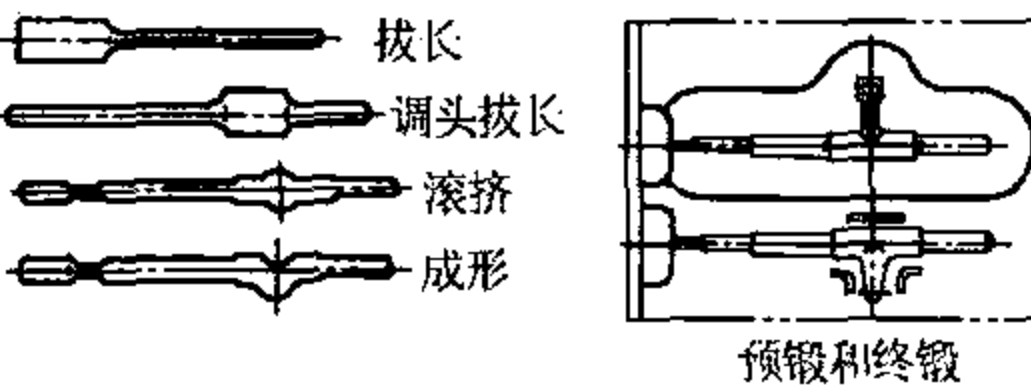
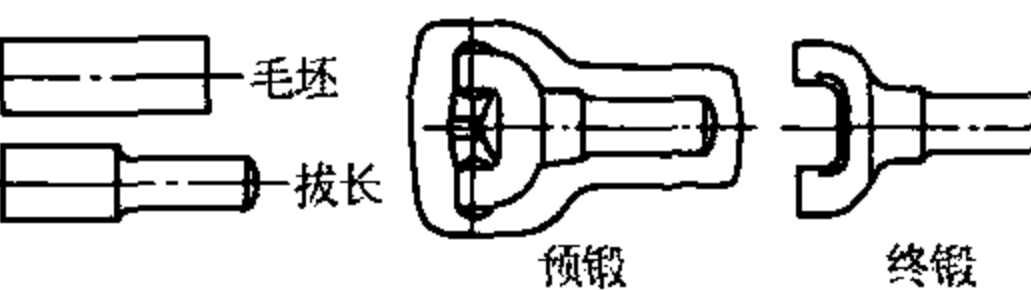
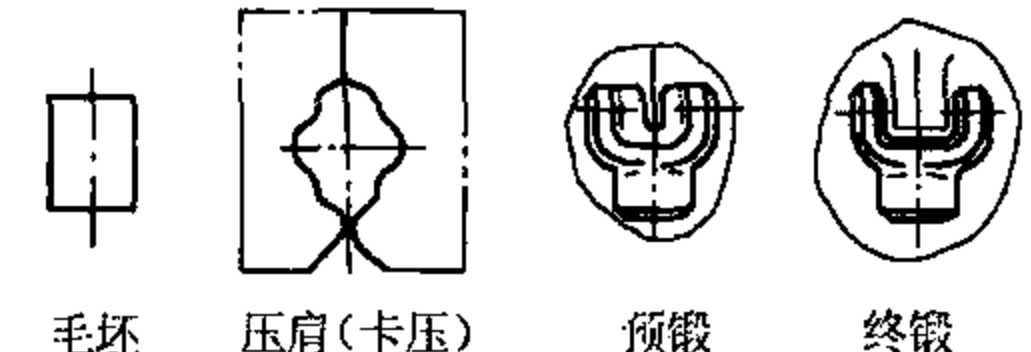
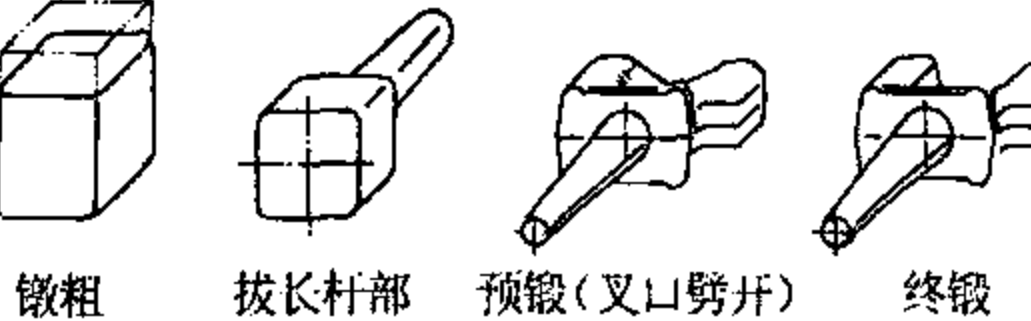
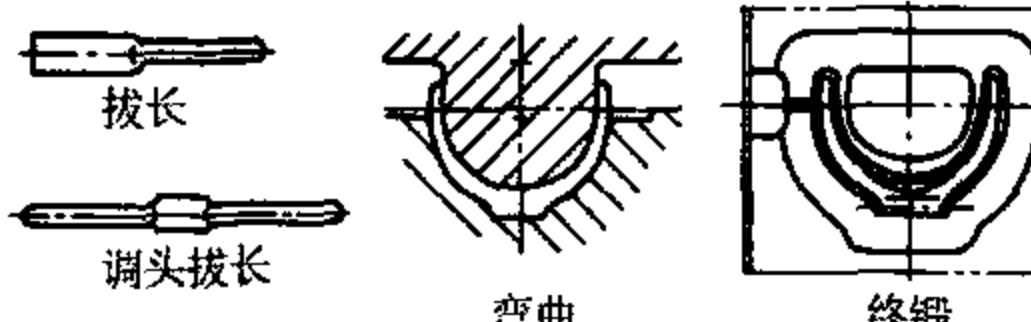
表 5.3-4 长轴类锻件工步选择实例

序号	类别	变形工步及简图	说 明
1	较短的锻件	 毛坯  压扁  压扁后转90°终锻	锻件截面变化不大,毛坯长度与锻件长度相近
2		 毛坯  压扁  压肩(卡压)  压肩后平移终锻	锻件扁平,宽度较大
3		 毛坯  镦粗  压肩(卡压)  终锻	截面变化较大的汽车凸缘叉类锻件
4		 镦粗  压肩(卡压)  压肩(卡压)后翻转90°  预锻 终锻	锻件的法兰部分直径大、厚度小,采用预锻改善金属流动条件,有助于终锻充满

(续表)

序号	类别	变形工步及简图	说 明
5	直 长 轴 锻 件	 滚挤 终锻	锻件长度与毛坯长度(不计钳夹头)之差 不大于下列数值时,可 只用滚挤,不需拔长: 1~2' 锤: 20~35 mm 3' 锤: 35~45 mm 5' 锤: 45~50 mm 也可按下式确定,符合 下式时可不拔长: $L_d - L_p < (0.7 \sim 0.8)d_p$ 式中 L_d ——锻件长度 L_p ——毛坯长度 d_p ——毛坯直径
6		 拔长 滚挤 终锻	$L_d - L_p < (0.7 \sim 0.8)d_p$ 式中 L_d ——锻件长度 L_p ——毛坯长度 d_p ——毛坯直径
7		 拔长 调头滚挤 终锻	锻件有明显大 小头之分,头部较 大,毛坯较短,此 例工艺不用钳夹 头,节省材料
8		 拔长及调头拔长 滚挤 终锻	锻件中部截面 大,两端截面小构 成杆部,设计时尽 量使一个拔长模 膛可用于两端的 拔长
9		 拔长 调头滚挤 终锻	锻件虽两端都 有杆部,但其一较 短,调头滚挤时小 头也作延伸

(续表)

序号	类别	变形工步及简图	说明
10	枝芽类锻件		带枝芽的锻件往往采用不对称滚挤,并且一般均有预锻
11			该锻件较复杂,枝芽较长,采用了滚挤及成形工步
12	叉类锻件		采用了拔长制坯,预锻模膛叉口内带劈料台
13			锻件叉部与杆部连接处截面较大,采用了压肩工步,有时也可用压扁代替压肩
14			转向节杆部截面小,需拔长杆部,调头预锻,翻转 180°终锻
15			叉口宽而敞开,杆部短,弯曲工步制坯,不用预锻劈料

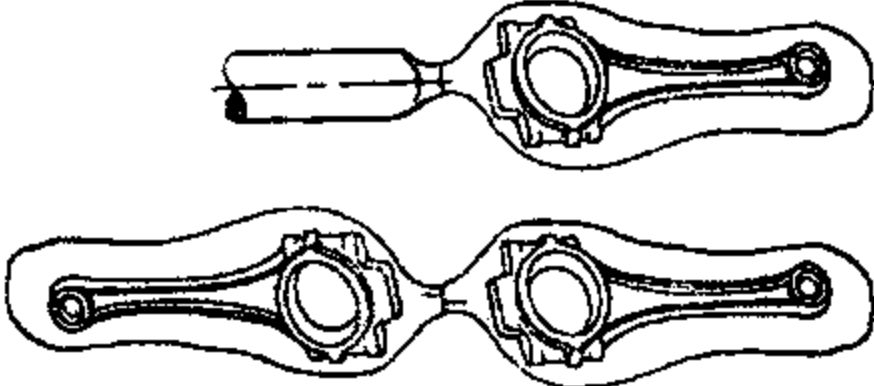
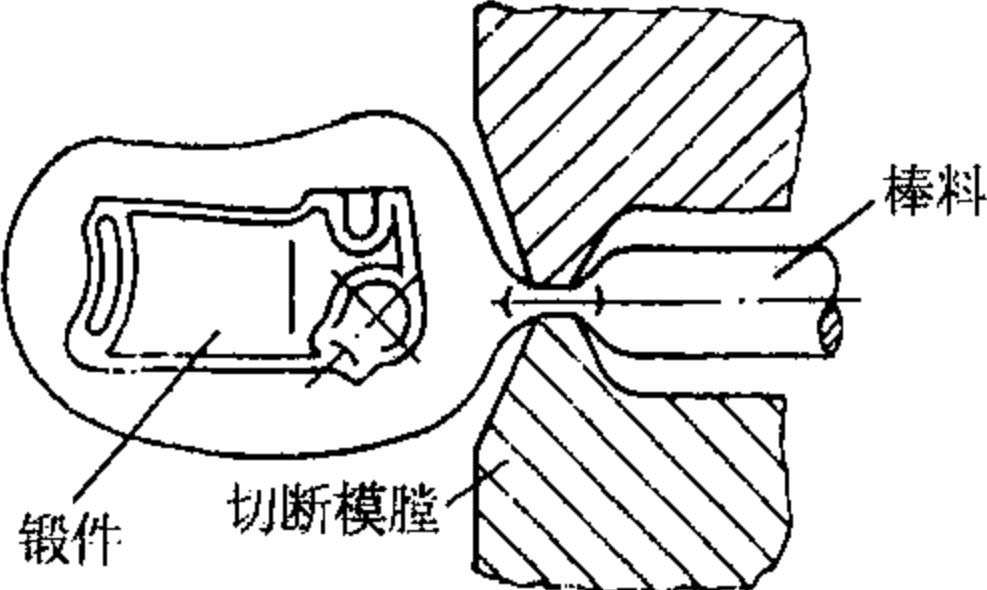
(续表)

序号	类别	变形工步及简图	说 明
16	有工字筋的锻件	<p>拔长 滚挤 预锻 终锻</p> <p>此段长度用于锻第二个连杆 已锻出的第一个连杆</p>	连杆类锻件常采用拔长、滚挤、预锻、终锻,为了省去钳夹头,常采用调头模锻
17	弯曲轴线锻件	<p>毛坯 拔长 滚挤 弯曲 终锻</p>	根据弯度大小可采用弯曲或成形工步,根据截面变化大小可增加拔长、滚挤工步
18	弯曲轴线锻件	<p>拔长 滚挤 弯曲 预锻、终锻</p>	该锻件为空间弯曲的复杂锻件,采用拔长、滚挤、弯曲、预锻、终锻等五个工步

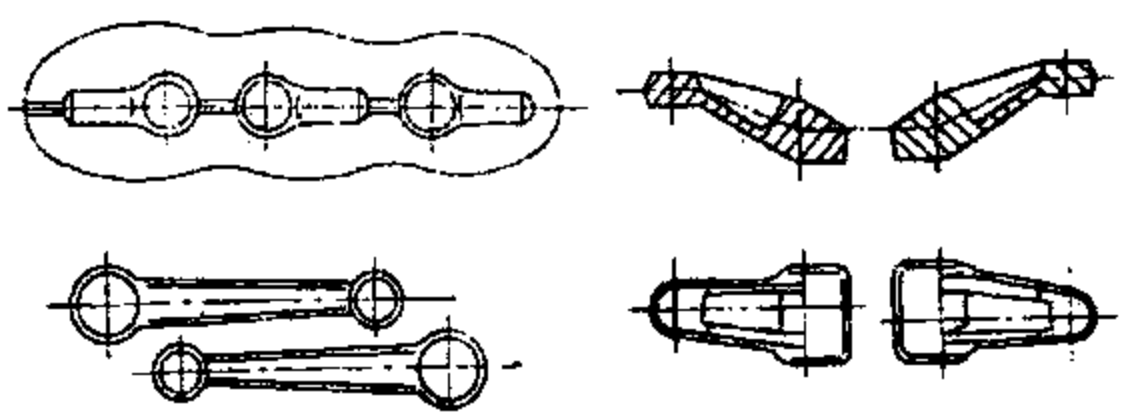
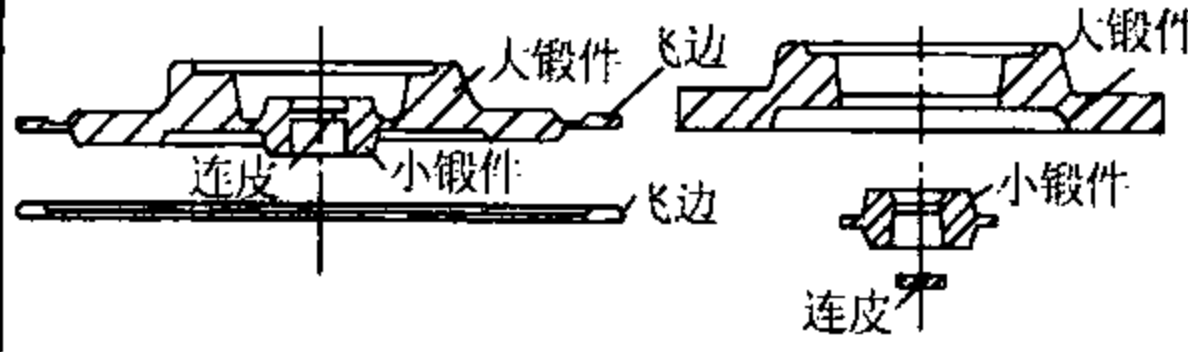
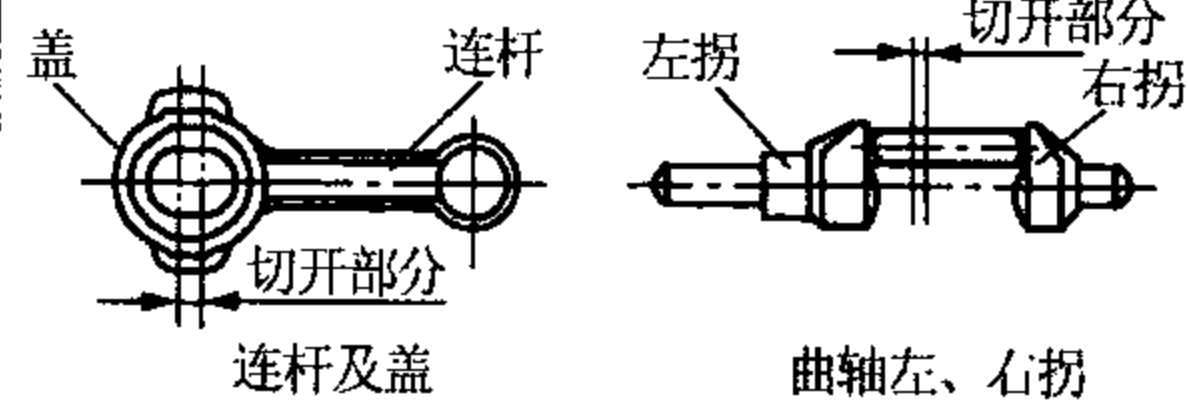
四、几种模锻方法的选用

多数锻件是单个模锻,但在一定条件下,有些锻件可采用调头模锻、一火多件、一模多件、复合模锻、合锻等不同的模锻方法,可以提高生产率、节省材料、降低成本,见表 5.3-5。

表 5.3-5 几种模锻方法的选用

序号	方法	简 图	说 明
1	调头模锻		用可供两个锻件用的毛坯整体加热,锻成第一个锻件后调头锻出另一锻件,单个锻件质量应小于 3.5 kg,锻件长度应小于 350 mm
2	一火多件	 <p>在一火多件锻造中切下一个锻件</p>	用一根加热好的棒料连续锻多个锻件,每锻完一个锻件,从棒料上切下。每火件数一般为 4~6 件,单件质量应小于 0.5 kg

(续表)

序号	方法	简 图	说 明
3	一模多件		适用于质量小于 0.5 kg, 长度不超过 200 mm 的锻件。合理的排列可减小截面差, 减少工步, 或抵消带落差锻件的错移力
4	复合模锻		为了节省材料, 在同一模具中模锻大小两种锻件, 或把连皮用来生产其他小锻件
5	合 锻		两种锻件合为一个锻件生产, 减少品种, 便于管理, 有时还使金属分布均匀, 更易成形

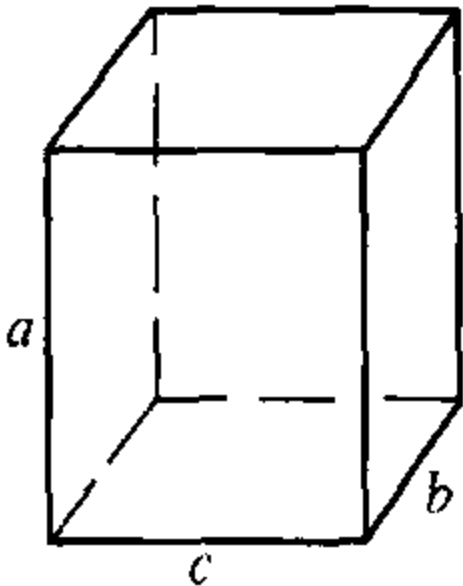
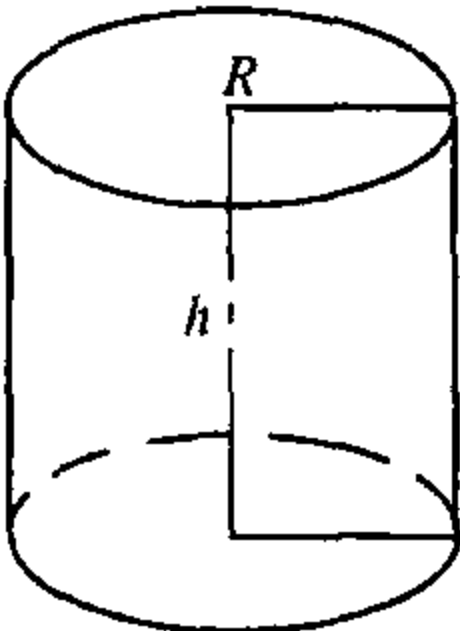
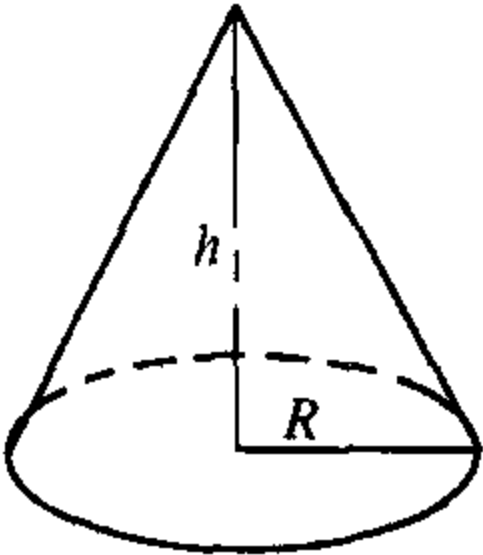
五、毛坯尺寸的确定

1. 锻件质量计算(表 5.3-6)

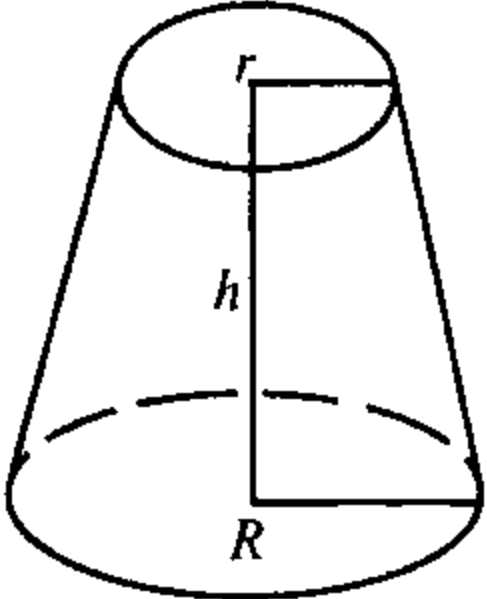
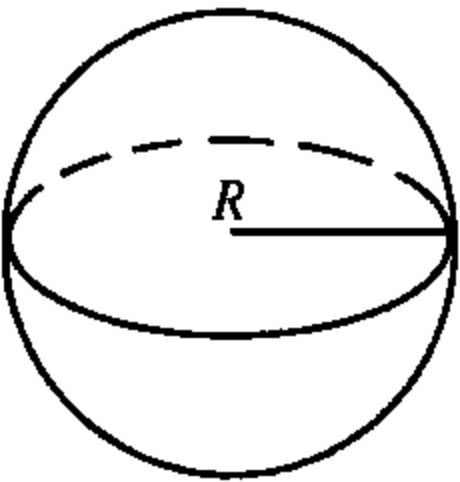
表 5.3-6 锻件质量计算方法

序号	锻件类别	计算方法	具体作法
1	形状简单的锻件	划分简单实体法	<p>将锻件划分为若干部分,每一部分都接近规则的几何形体,如圆柱、棱柱、圆锥、圆台等,分别计算体积并相加,再乘以材质密度即为锻件质量</p> <p>几种典型几何形体的求积公式见表 5.3-7</p>
2	形状复杂的锻件	计算毛坯图法	<ol style="list-style-type: none"> ① 将冷锻件图按 1:1 比例画在方格纸上 ② 沿锻件轴线选取典型部位画出截面图 ③ 求出各截面面积(mm^2) ④ 在方格纸上,以锻件的总长为横坐标,标出与锻件图各截面相对应的位置 ⑤ 以各截面的面积值为高度,在纵坐标的对应位置上作坐标点,为作图方便,可用一缩尺比 M 将各点高度缩小 ⑥ 将坐标点用圆滑曲线连接起来,即为计算毛坯截面图,见图 5.3-1 ⑦ 求出曲线与横坐标所包容的面积并乘以比例 M 即得锻件体积,即 $V_d = M \cdot \Sigma F$ (mm^3) ⑧ 用体积乘以材质密度即为锻件质量。求面积的方法可采用坐标纸法,也可采用求积仪法;考虑到锻件打不靠的因素,计算质量时可将厚度公差的正公差之半计入厚度

表 5.3-7 几种典型几何形体的求积公式

序号	几何形体	简 图	求体积公式
1	长方体	 <p>A 3D line drawing of a rectangular prism. The front bottom edge is labeled 'c', the right bottom edge is labeled 'b', and the left vertical edge is labeled 'a'.</p>	$V = a \cdot b \cdot c$
2	圆柱体	 <p>A 3D line drawing of a cylinder. A vertical dashed line from the center of the top circular face to the center of the bottom circular face is labeled 'h'. A horizontal line from the center of the top face to the outer edge is labeled 'R'.</p>	$V = \pi R^2 \cdot h$
3	圆锥体	 <p>A 3D line drawing of a cone. A vertical dashed line from the apex to the center of the circular base is labeled 'h'. A horizontal line from the center of the base to the outer edge is labeled 'R'.</p>	$V = \frac{1}{3} \pi R^2 \cdot h$

(续表)

序号	几何形体	简 图	求体积公式
4	圆台		$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$
5	球		$V = \frac{4}{3} \pi R^3$

2. 飞边质量的计算

模锻时,飞边并不完全充满飞边槽,可按充满飞边仓部的一半来考虑(飞边槽结构形式见本章第四节)。

飞边体积等于飞边截面积乘以距锻件 x 处的周长,见图 5.3-2,这个周长可在锻件图中量出。按仓部一半考虑的飞边截面积和 x 值列于表 5.3-8。实际上,飞边分布是不均匀的,见图 5.3-2,计算时视具体情况修正。

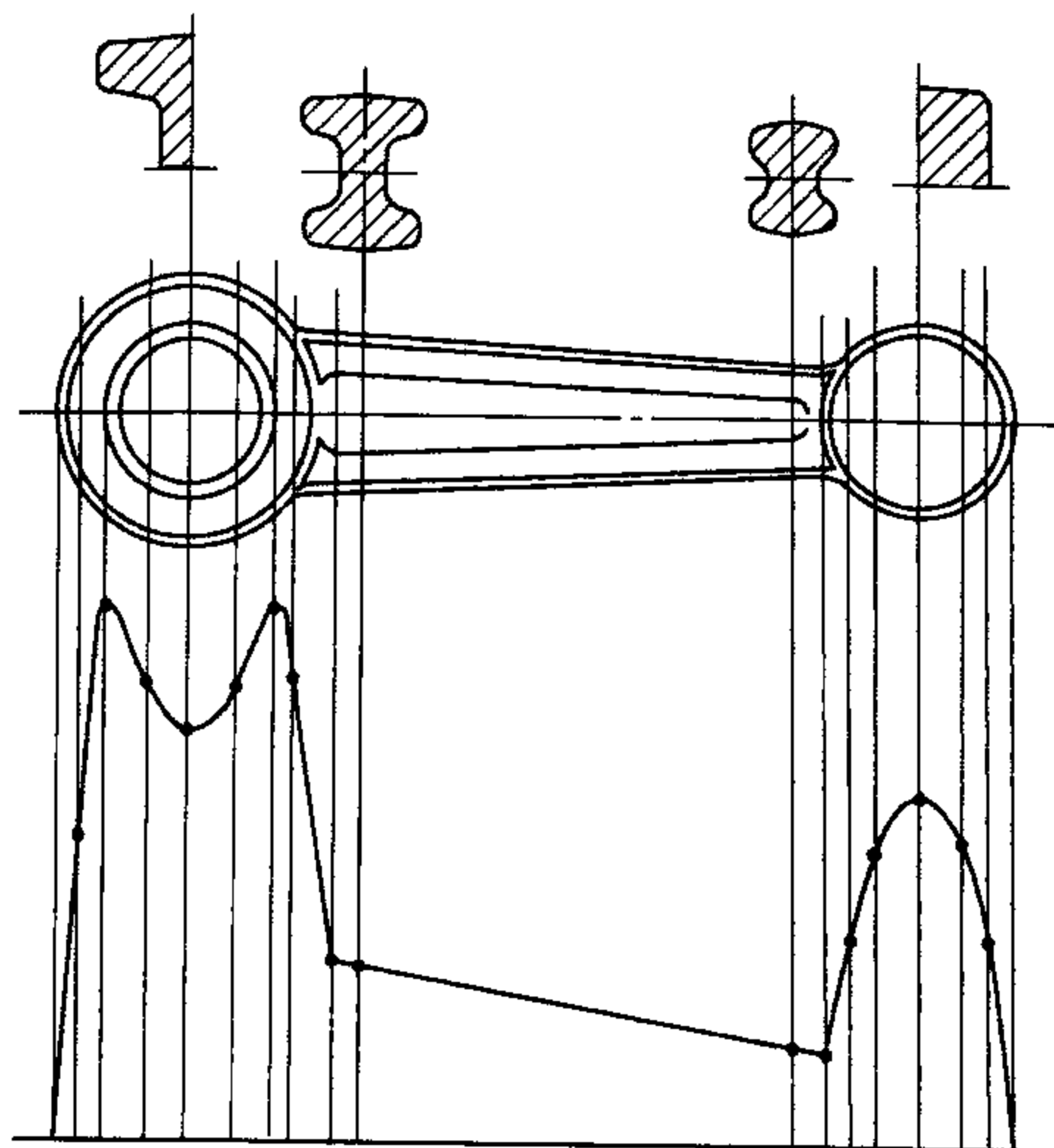


图 5.3-1 计算毛坯截面图

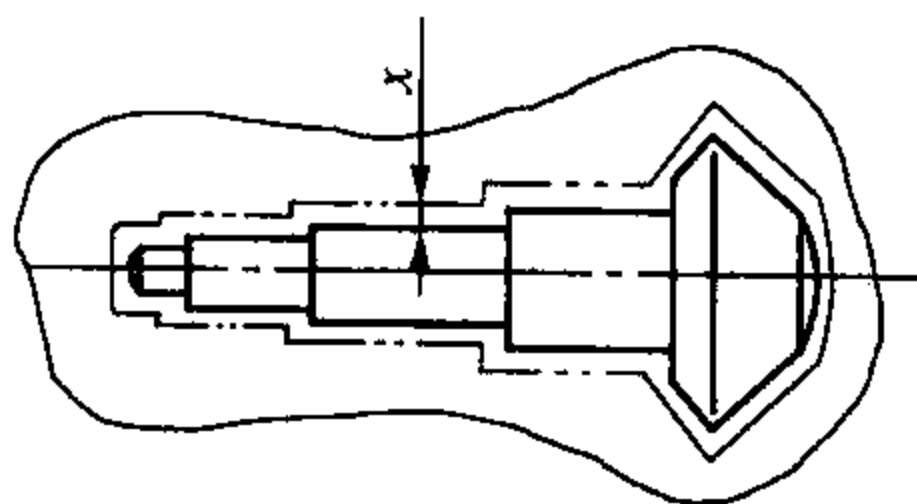


图 5.3-2 飞边的不均匀分布

表 5.3-8 飞边截面积与 x 值

锻锤吨位/t	飞边截面积(仓部的 50%)/mm ²	x 值/mm
1	70	12
2	100	16
3	150	18
5	225	20
10	380	24
16	380	24

3. 毛坯的体积和质量

$$V_p = (V_d + V_f)(1 + \delta)$$

式中 V_p ——毛坯体积(mm³);

V_d ——锻件体积(mm³);

V_f ——飞边体积(mm³);

δ ——烧损率,见表 5.3-9。

将毛坯体积乘以材质的密度即为毛坯质量。

表 5.3-9 金属烧损率

加热方式	室式煤炉、 室式油炉	室式煤气炉	半连续煤炉、 半连续油炉	半连续 煤气炉	感应加热
δ	2.5%~4%	2.5%~3%	2.5%~3%	2%~2.5%	0.5%~1%

另外,飞边的体积也可用计算毛坯图的方法求得。将锻件的

截面图和带飞边的截面图同时画在计算毛坯图上,下面那条曲线下的面积是锻件体积,上面那条曲线下的面积是毛坯体积,见图 5.4-23。不过在这种方法中,截面急剧变化处的飞边体积会有误差,需修正。

4. 毛坯规格的确定

表 5.3-10 毛坯规格的确定

序号	锻件类别	公 式	公式中参数的含义
1	饼类锻件	$m = \frac{L_p}{d_p} = 1.5 \sim 2.2$ $V_p = \frac{\pi}{4} d_p^2 \cdot L_p = \frac{m \pi}{4} \cdot d_p^3$ $d_p = (0.83 \sim 0.95) \sqrt[3]{V_p}$ $L_p = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot d_p^2} = 1.27 \frac{V_p}{d_p^2}$	m ——镦粗时的高径比 L_p ——毛坯长度(mm) d_p ——毛坯直径(mm) V_p ——毛坯体积(mm ³)
2	杆类锻件	$F_p = K \cdot F_{dmax}$ $d_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot F_p} = 1.13 \sqrt{F_p}$ $L_p = 1.27 \frac{V_p}{d_p^2}$	F_p ——坯料截面积(mm ²) F_{dmax} ——计入飞边的锻件最大截面积(mm ²) K ——系数,按表 5.3-11 选取 d_p ——毛坯直径(mm) L_p ——毛坯长度(mm)

表 5.3-11 系数 K

采用的制坯工步	不制坯、压扁、拔长	拔长并滚挤	滚挤、卡压
K	0.95~1	0.75~0.9	0.7~0.85

六、锻锤吨位的确定

1. 模锻锤的吨位系列及打击能量(表 5.3-12)

表 5.3-12 模锻锤的吨位系列及打击能量

落下部分 公称重量/t	1	2	3	5	10	16
打击能量/J	≥25 000	≥50 000	≥75 000	≥125 000	≥250 000	≥400 000

2. 锻锤吨位计算的经验公式

$$G = (3.5 \sim 6.3)k \cdot F_{\text{总}} \times 10^{-3}$$

式中 G ——模锻锤吨位(t);

k ——材料系数,按表 5.3-13 确定;

$F_{\text{总}}$ ——锻件水平投影面积(包括连皮和按仓部的 50% 计算的飞边面积)(cm^2)。

当要求较高的生产率时,公式中的系数可取 6.3;当不要求较高的生产率时取 3.5。

表 5.3-13 终锻温度时各种材料的变形抗力 σ 和系数 k

材 料	k	σ/MPa			σ/MPa 热切边
		锤上	锻压机	平锻机	
碳素结构钢 $C < 0.25\%$	0.9	55	60	70	100
碳素结构钢 $C > 0.25\%$	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 $C < 0.25\%$	1.0	60	65	80	120
低合金结构钢 $C > 0.25\%$	1.15	65	70	90	150
高合金结构钢 $C > 0.25\%$	1.25	75	80	90	200
合金工具钢	1.55	90~100	100~120	120~140	250

3. 模锻锤的吨位与其他锻造设备的换算(表 5.3-14)

表 5.3-14 模锻锤与其他锻造设备的吨位换算

序号	模锻锤/t	锻压机/t	螺旋压力机/t	对击锤/t
1	<0.4	<400	<120	1
2	0.4~0.63	400~630	120~189	1~1.575
3	0.63~1.0	630~1 000	189~300	1.575~2.5
4	1.0~1.8	1 000~1 800	300~540	2.5~4.5
5	1.8~2.5	1 800~2 500	540~750	4.5~6.25
6	2.5~3.15	2 500~3 150	750~945	6.25~7.875
7	3.15~6.3	3 150~6 300	945~1 890	7.875~15.75
8	6.3~8.0	6 300~8 000		15.75~20
9	8.0~12	8 000~12 000		20~30
10	12~16	12 000~16 000		30~40

第四节 锤锻模设计

一、终锻模膛与预锻模膛

1. 终锻模膛

(1) 热锻件图

① 终锻温度下的金属收缩率(表 5.4-1)。

表 5.4-1 终锻温度下的金属收缩率 δ

序号	金属种类	终锻温度下的金属收缩率(%)
1	钢	一般取:1.2~1.5 细长杆件、扁薄件、打击次数多的件:0.8~1.2
2	不锈钢	1.5~1.8

(续表)

序号	金属种类	终锻温度下的金属收缩率(%)
3	铝合金	0.8~1.0
4	镁合金	0.8
5	钛合金	0.5~0.7
6	铜合金	1.0~1.3

② 热锻件图尺寸:

$$L = l(1 + \delta)$$

 式中 L ——热锻件尺寸;

 l ——冷锻件尺寸;

 δ ——终锻温度下的金属收缩率。

③ 热锻件图设计原则(表 5.4-2)。

(2) 飞边槽

① 飞边槽的形式(表 5.4-3)。

② 飞边槽的尺寸。

a. 吨位法: 根据生产经验, 常按锻锤吨位确定飞边槽尺寸(表 5.4-4)。吨位法使用简便, 但不考虑锻件形状复杂程度, 因而准确性不足。

表 5.4-2 热锻件图设计原则

序号	设计原则	图 例
1	当模锻设备吨位不足时或锻件腹板较薄时, 厚度尺寸按负偏差减小, 减小量一般为 0.5~3.0 mm	

(续表)

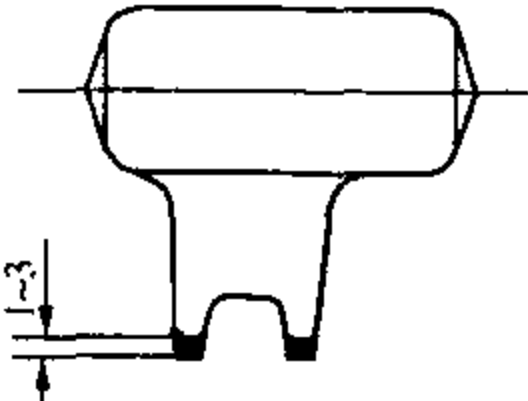
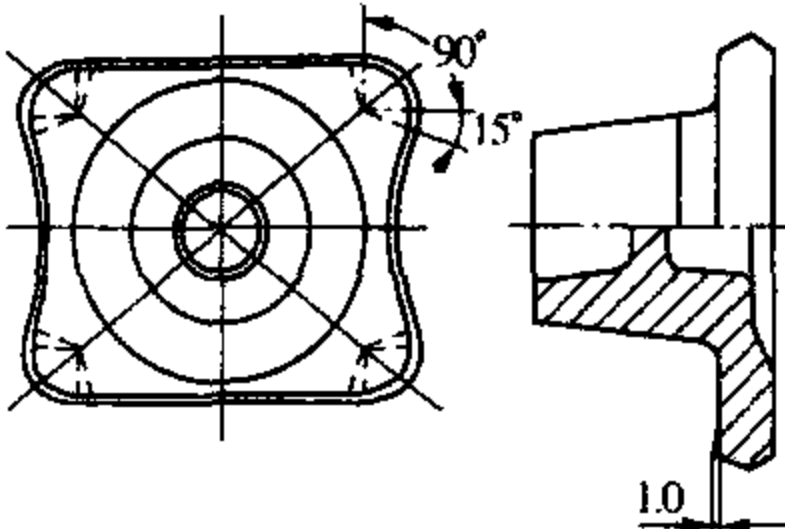
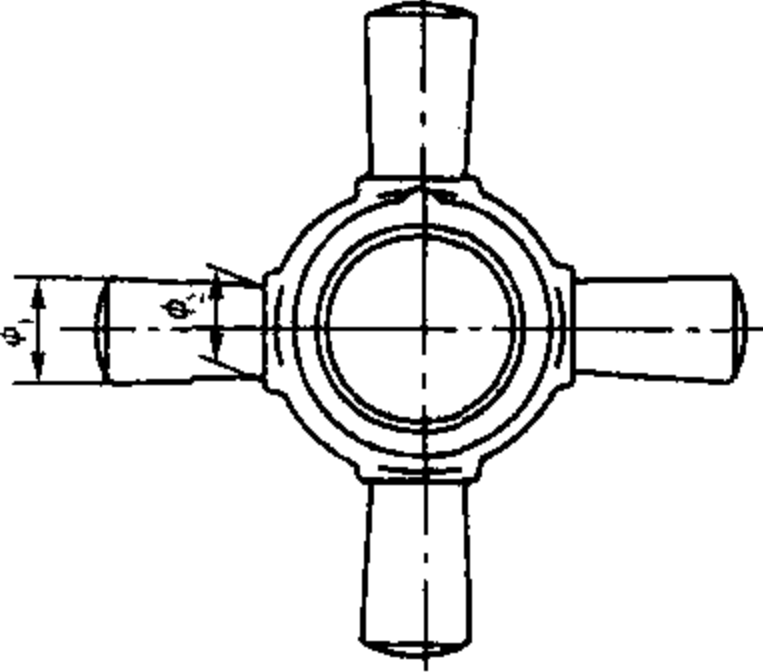
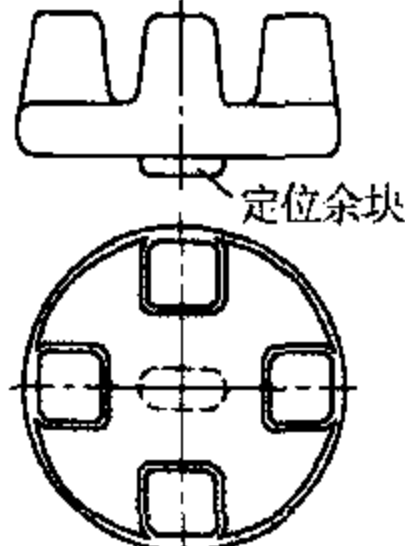
序号	设计原则	图 例
2	若锻件的某些部位窄而深,容易堆积氧化皮不易清除,则应将这些部位加深,加深量一般 1~3.0 mm	
3	对于带有四脚扁薄法兰的锻件,应考虑切边时的四角变形拉薄,拉薄量约 1.0 mm。热锻件图中可局部加厚 1.0 mm	
4	终锻模膛易磨损处应预先考虑,使它磨损后仍能得到合格锻件。例如十字轴的四个轴的根部磨损极快。因此,可按允许的负偏差缩小	
5	有些锻件上模部分具有较高的筋,下模部分是圆形的平面,锻造时定位不良,两锤之间锻件可能转动而锻坏,需在热锻件图上增设定位余块	

表 5.4-3 飞边槽的形式

形式	图 形	特点及用途
形式 I		这是最常用的飞边槽, 桥部设在上模, 因而受热小, 不易磨损或压塌
形式 II		用于高度方向形状不对称的锻件, 切边时需将锻件翻转 180°, 或者用于整个锻件都在下模内成形的情况
形式 III		适用于锻件形状复杂和毛坯体积难免偏大的锻件, 增大仓部容积, 以便容纳更多的金属
形式 IV		为增大水平面方向的阻力, 加宽桥部并增设阻力沟, 迫使金属更好地充填深而复杂的模膛。一般只用于难充满的局部地方

(续表)

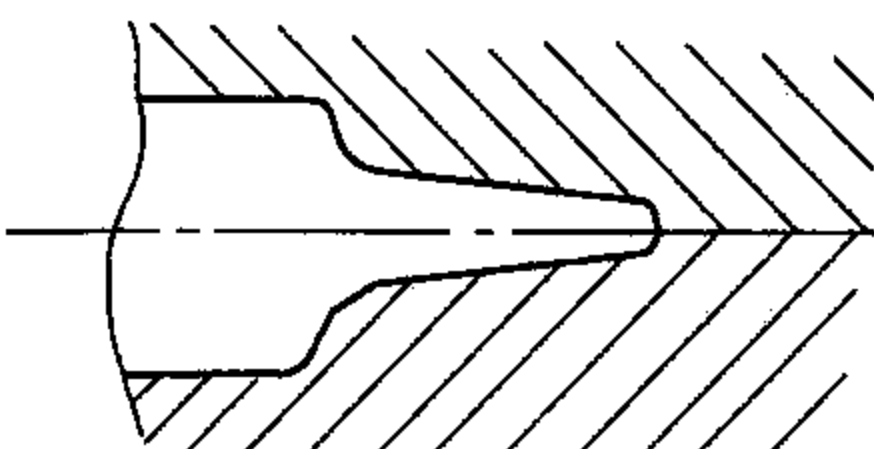
形式	图 形	特 点 及 用 途
形式 V		这是楔形飞边槽，终锻时水平方向的阻力愈来愈大，适用于形状特别复杂的锻件，缺点是切除飞边较困难

表 5.4-4 飞边槽尺寸与锻锤吨位的关系/mm

锻锤吨位/t	h	b	b_1	h_1	r
1	1.0~1.6	8	22~25	4	1
2	1.8~2.2	10	25~30	4	1.5
3	2.5~3.0	12	30~40	5	1.5
5	3.0~4.0	12~14	40~50	6	2
10	4.0~6.0	14~16	50~60	8	2.5
16	6.0~9.0	16~18	60~80	10	3

注：① 锤吨位偏大或偏小时， h 适当修改。② 锻件较复杂时， b 、 b_1 适当增大。

b. 计算法：先用经验公式计算桥部高度：

$$h = 0.015 \sqrt{F_{\text{件}}}$$

式中 h ——飞边桥部高度(mm)； $F_{\text{件}}$ ——锻件在水平面上的投影面积(mm²)。

再根据 h 值由表 5.4-5 查得飞边槽的其他尺寸。表 5.4-5 中宽度尺寸分三组，锻件形状愈复杂、充满愈困难，则愈增大宽度尺寸。

表 5.4-5 飞边槽尺寸/mm

飞边槽 编 号	高度 尺寸		r			宽 度 尺 寸								
			入口处半径			第一组			第二组			第三组		
	h	h ₁				b	b ₁	A _K /mm ²	b	b ₁	A _K /mm ²	b	b ₁	A _K /mm ²
1	0.6	3	1	1	1.5	6	18	52	6	20	61	8	22	74
2	0.8	3	1	1.5	1.5	6	20	69	7	22	77	9	25	88
3	1.0	3	1	1.5	2	7	22	80	8	25	91	10	28	104
4	1.6	3.5	1	1.5	2	8	22	102	9	25	113	11	30	155
5	2.0	4	1.5	2	2.5	9	25	136	10	28	153	12	32	177
6	3.0	5	1.5	2	2.5	10	28	201	12	32	233	14	38	278
7	4.0	6	2	2.5	3	11	30	268	14	38	344	16	42	385
8	5.0	7	2	2.5	3	12	32	343	15	40	434	18	46	506
9	6.0	8	2.5	3	3.5	13	35	435	16	42	530	20	50	642
10	7.0	10	3	3.5	4	14	38	601	18	46	745	22	55	903
11	8.0	12	3	3.5	4	15	40	768	20	50	988	25	60	1 208

第一组用于镦粗法充填的锻件(表 5.1-2 序号 1);第二组用于压入法充填的锻件(表 5.1-2 序号 2);第三组用于混合法充填的锻件(表 5.1-2 序号 3)。

(3) 钳口

终锻模膛和预锻模膛都需设置钳口(图 5.4-1)。常用的钳口形式如图 5.4-2 所示,其尺寸可由表 5.4-6 和表 5.4-7 查得。当终锻模膛与预锻模膛的钳口之间壁厚 $e \leq 15 \text{ mm}$ 时,可开通成一个大钳口,便于加工制造,见图 5.4-3。

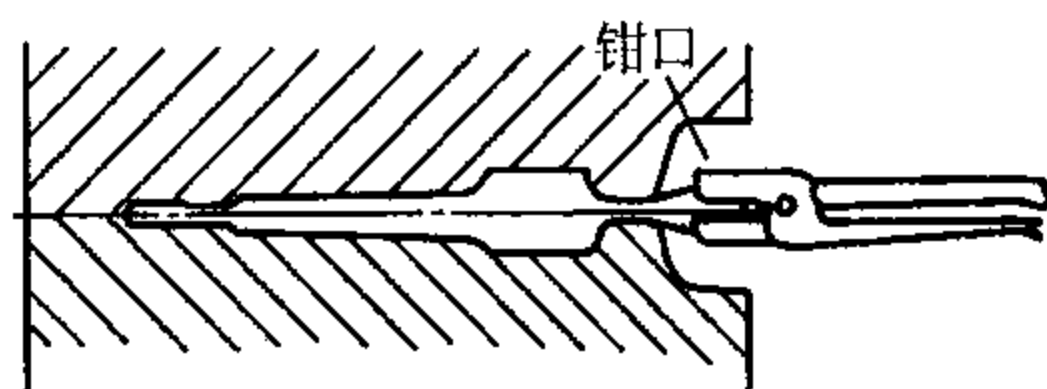


图 5.4-1 钳口

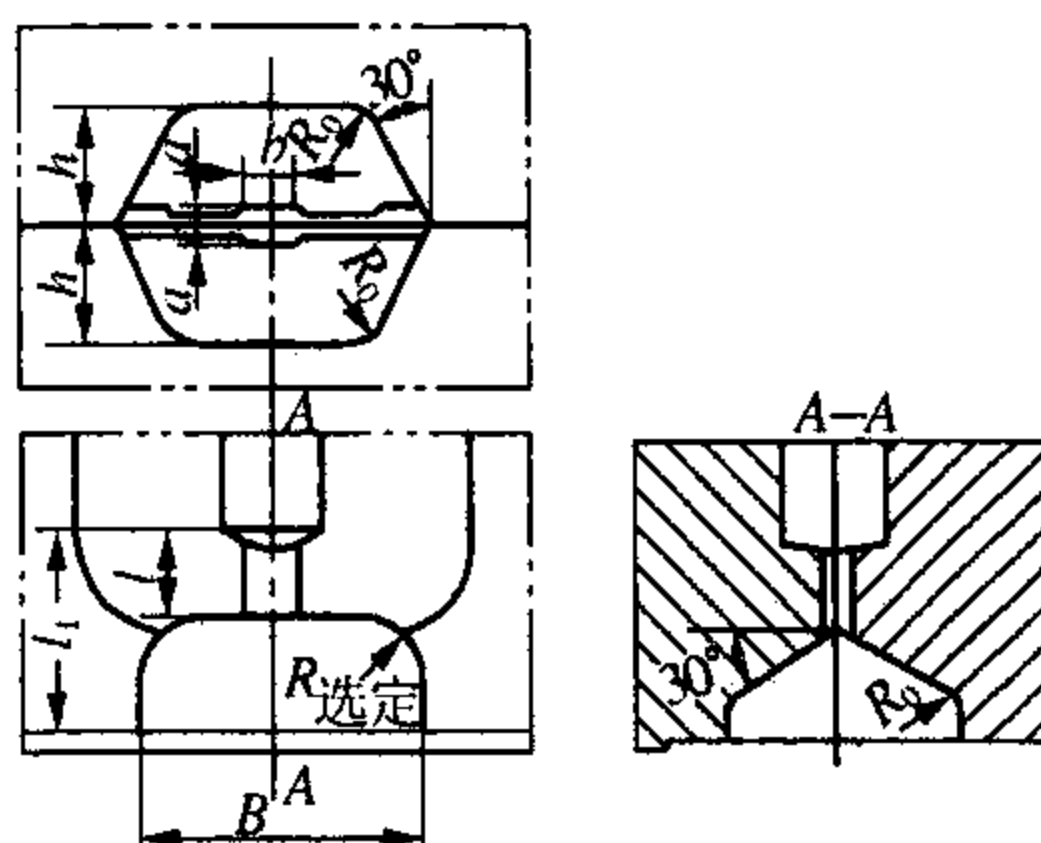


图 5.4-2 常用的钳口形式

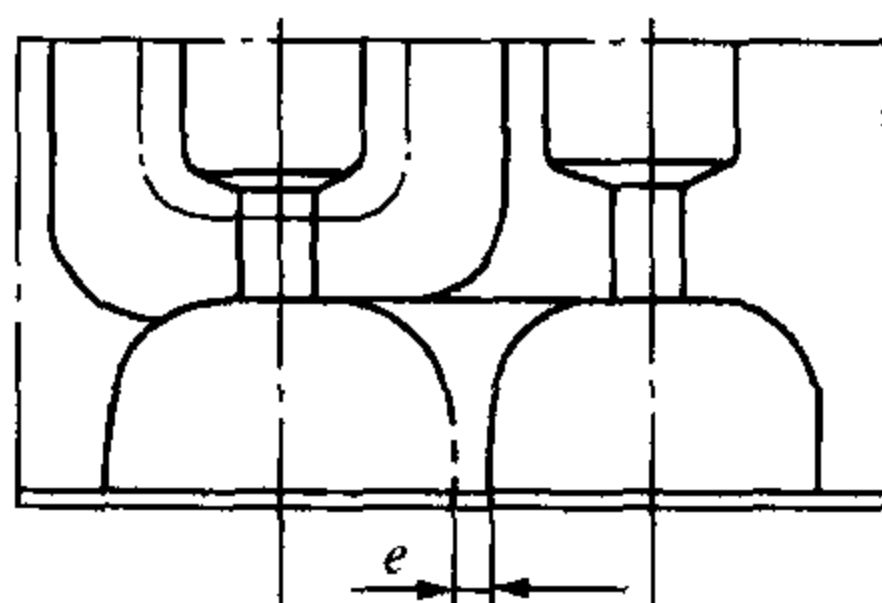


图 5.4-3 公用的钳口

表 5.4-6 钳口尺寸/mm

钳夹头直径 d	B	h	R_0	钳夹头直径 d	B	h	R_0
<18	50	20	10	60~65	120	55	15
18~28	60	25	10	65~75	130	60	15
28~35	70	30	10	75~85	140	65	20
35~40	80	35	15	85~90	150	70	20
40~50	90	40	15	95~105	160	75	20
50~55	100	45	15	105~115	170	80	20
55~60	110	50	15				

表 5.4-7 钳口颈尺寸

锻件重量/kg	b/mm	a/mm	l/mm
<0.2	5	1	$l \geq 0.5t_0$ t_0 ——锻模外壁最小厚度
0.2~2	6	1.5	
2~3.5	7	2	
3.5~5	8	2.5	
5~6.5	10	3	
6.5~8	12	3.5	
8~10	14	4	

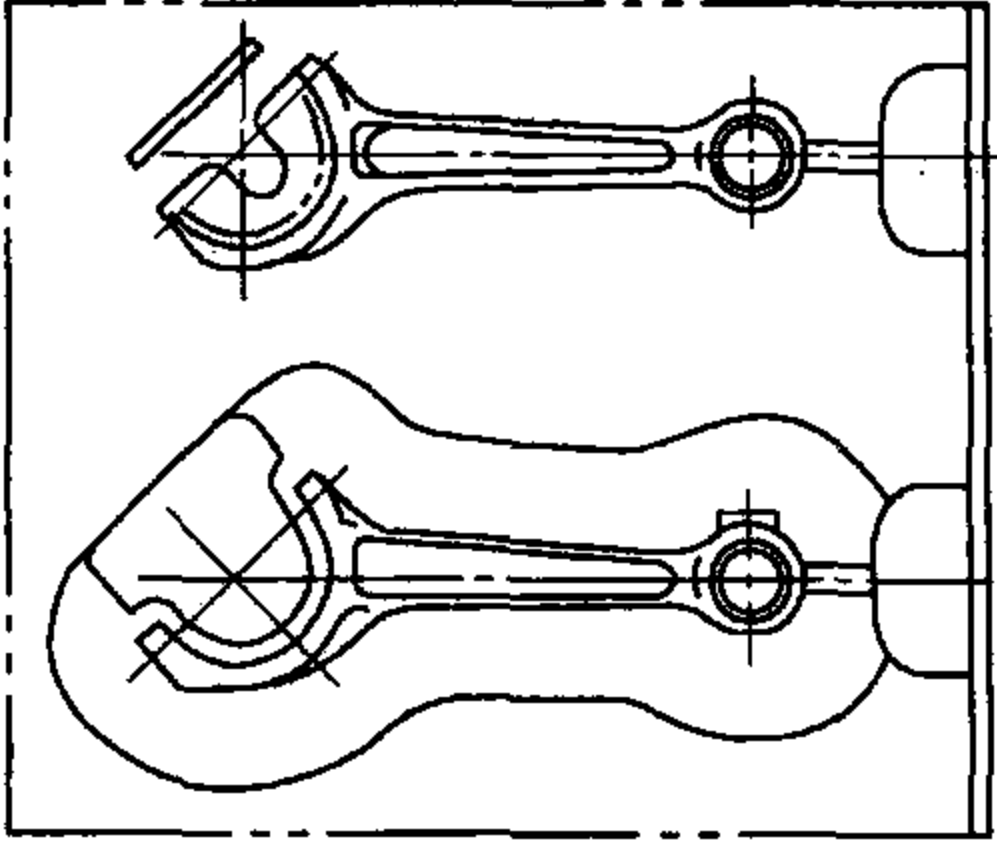
2. 预锻模膛

- ① 预锻模膛的作用与缺点(表 5.4-8)。
- ② 需要采用预锻模膛的锻件(表 5.4-9)。
- ③ 预锻模膛设计要点(表 5.4-10)。

表 5.4-8 预锻模膛的作用与缺点

项目	序号	内 容
作用	1	改善金属在终锻模膛中的流动条件,避免产生折叠
	2	使金属易于充满终锻模膛,避免锻件充不满
	3	减少终锻模膛的磨损,提高锻模的寿命
缺点	1	使终锻时产生偏心打击,上下模膛容易错移
	2	增大了模块尺寸
	3	对于宽度尺寸较大的锻件,需采用两套锻模,分别在两台锤上联合锻造,增加了设备数量
	4	对于有预锻模膛的模具,不利于采用锁扣

表 5.4-9 需要采用预锻模膛的锻件

序号	锻件类别	图 例
1	带有 工字形的 截面 锻件	

(续表)

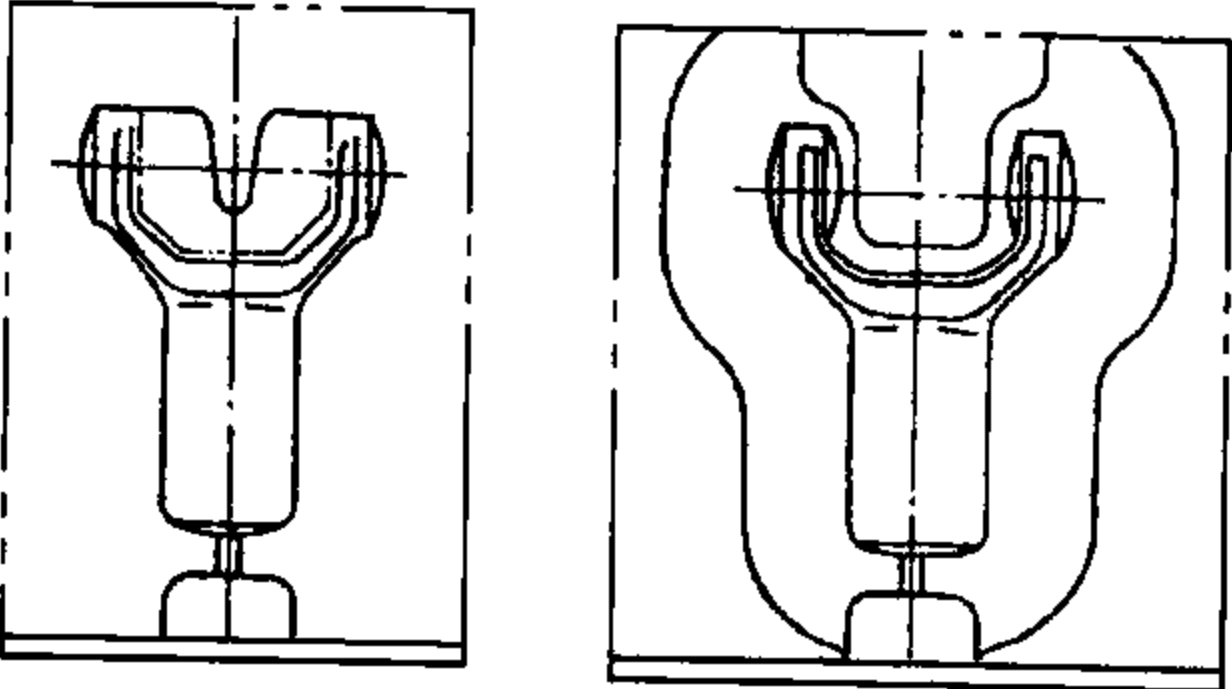
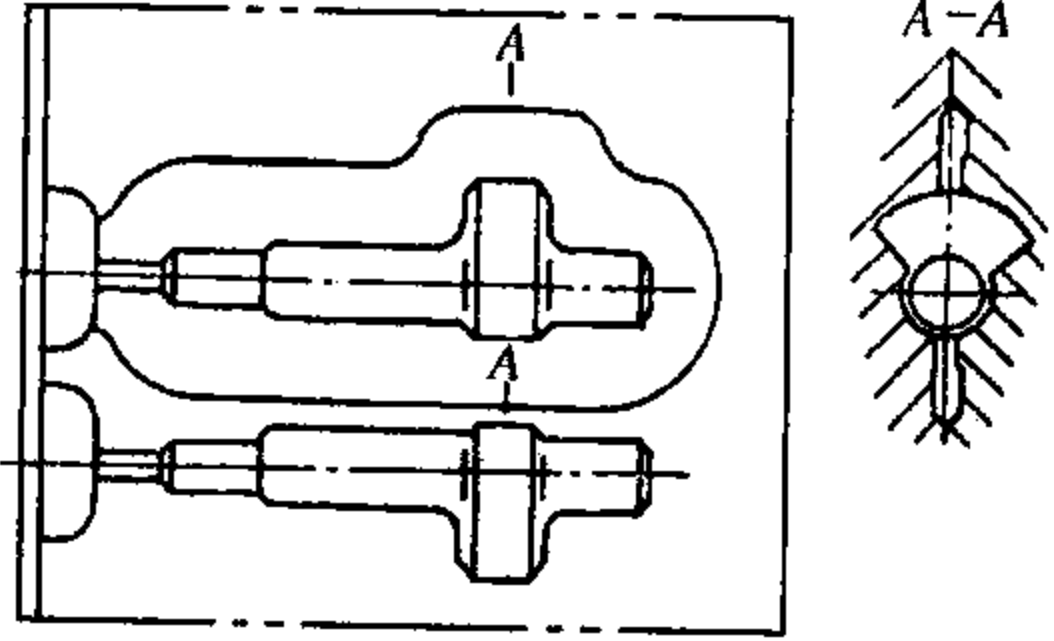
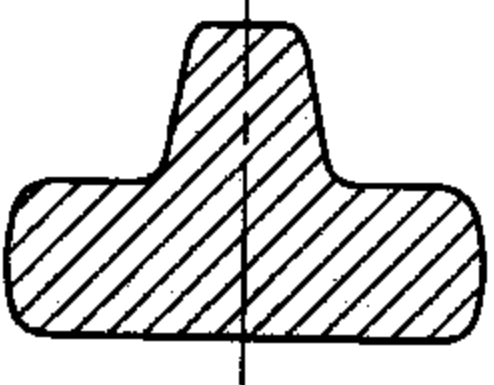
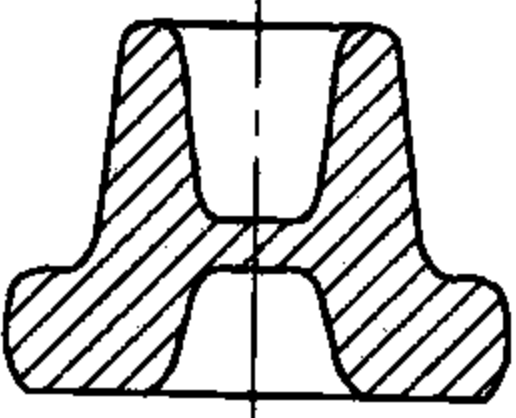
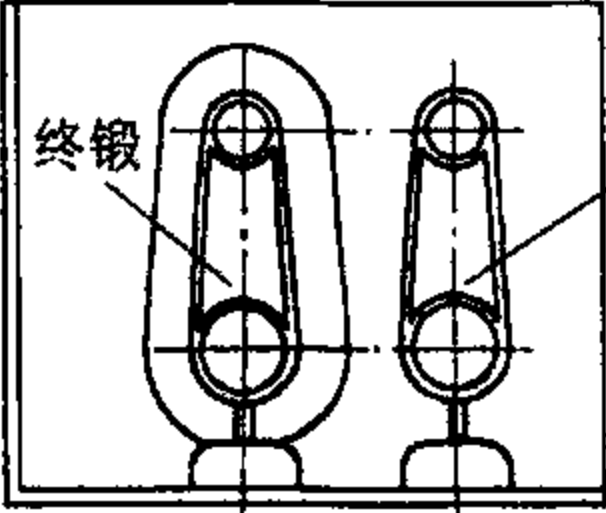
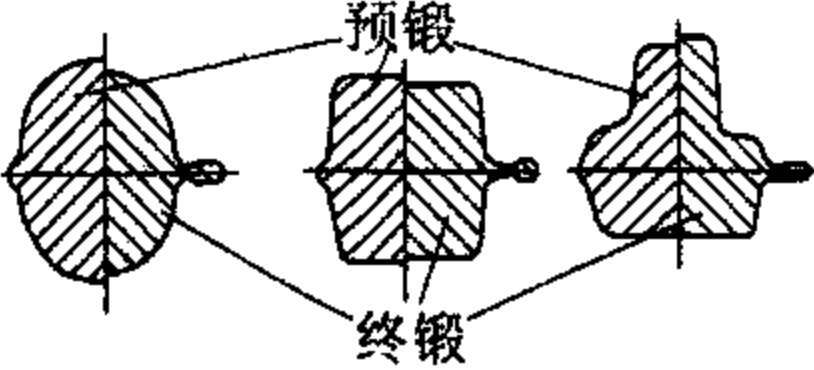
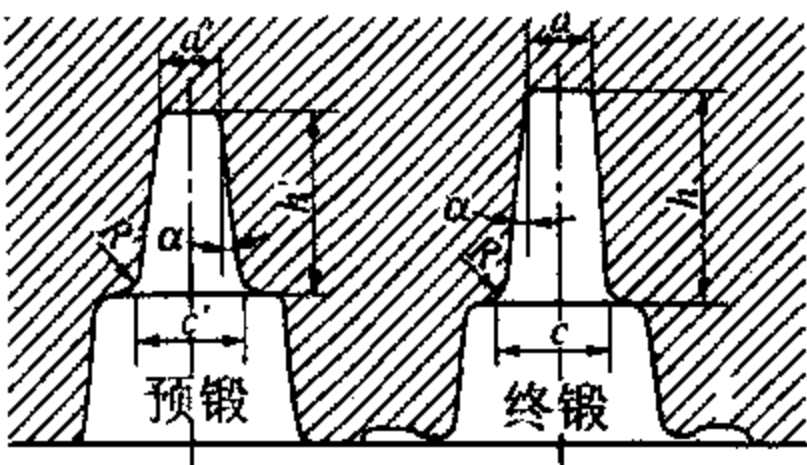
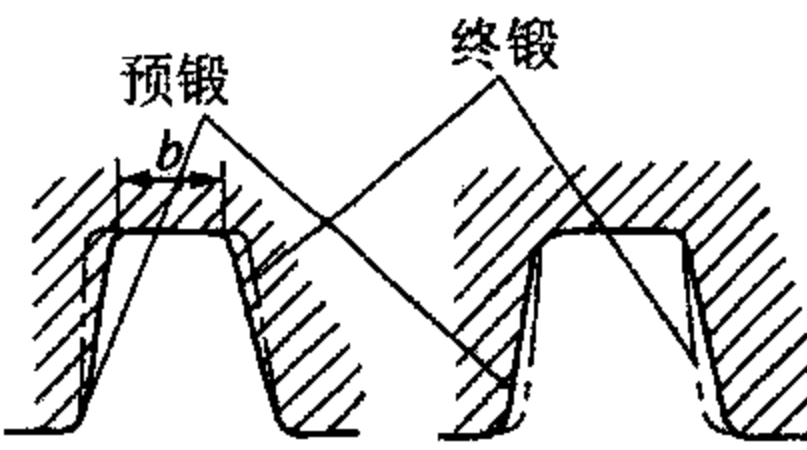
序号	锻件类别	图 例
2	需要的 劈开形 锻件	
3	具有的 枝芽 锻件	
4	具有的 高筋 锻件	
5	具有的 深孔 锻件	

表 5.4-10 预锻模膛设计要点

序号	项 目	设计要点	图 例
1	飞边槽	预锻模膛的四周不设置飞边槽,模锻时由于不打靠,仍会有少量飞边形成	
2	模膛的宽度与高度	为使预锻后的毛坯在终锻时以镦粗法充填为主,预锻模膛宽度比终锻模膛小 1~2 mm,高度比终锻模膛大 2~5 mm	
		对于预锻模膛中依靠压入法充填的部位,其高度应略小于终锻模膛,即 $h' = (0.8 \sim 0.9)h$,顶部宽度相同,即 $a' = a$	
3	模锻斜度	预锻模膛的模锻斜度一般与终锻相同。但当模膛某些部分较深时应加大斜度,并保持分模面尺寸不变,靠缩小模膛底部尺寸获得	

(续表)

序号	项 目	设计要点	图 例
4	圆角半径	<p>预锻模膛的圆角半径一般比终锻模膛稍大, 即 $R_1 = R + C$, 圆角半径的增大值 C 与模膛深度有关, 一般 $C = 2 \sim 8 \text{mm}$</p>	
5	叉类锻件	<p>预锻时常做成劈料台, 一般采用形式 a, 尺寸为: $A = 0.25B$, $8 < A < 30$ $h = (0.4 \sim 0.7)H$ $\alpha = 10^\circ \sim 45^\circ$ 当 $\alpha > 45^\circ$ 时, 建议采用形式 b</p>	
6	枝芽类锻件	<p>对带有枝芽的锻件, 预锻时应增大该处的圆角半径, 简化其形状, 必要时可增设阻力沟</p>	

(续表)

序号	项 目	设计要点	图 例
7	截面急剧变化处	<p>预锻模膛在水平面上拐角处(截面急剧变化处)应加大圆角半径,做成类似球面的圆浑形,以防预锻和终锻时产生折叠</p>	
8	带工字筋的锻件	<p>根据工字筋的相对高度 h/b 值来决定模锻工步:</p> <p>① $h/b < 1$ 可不采用预锻</p> <p>② $h/b < 2$ 采用矩形预锻模膛</p> <p>$\beta = \beta - (2 \sim 3) \text{mm}$</p> <p>③ $h/b > 2$ 采用工字形预锻模膛,且用大圆弧光滑连接</p>	

二、制坯模膛设计

1. 拔长模膛

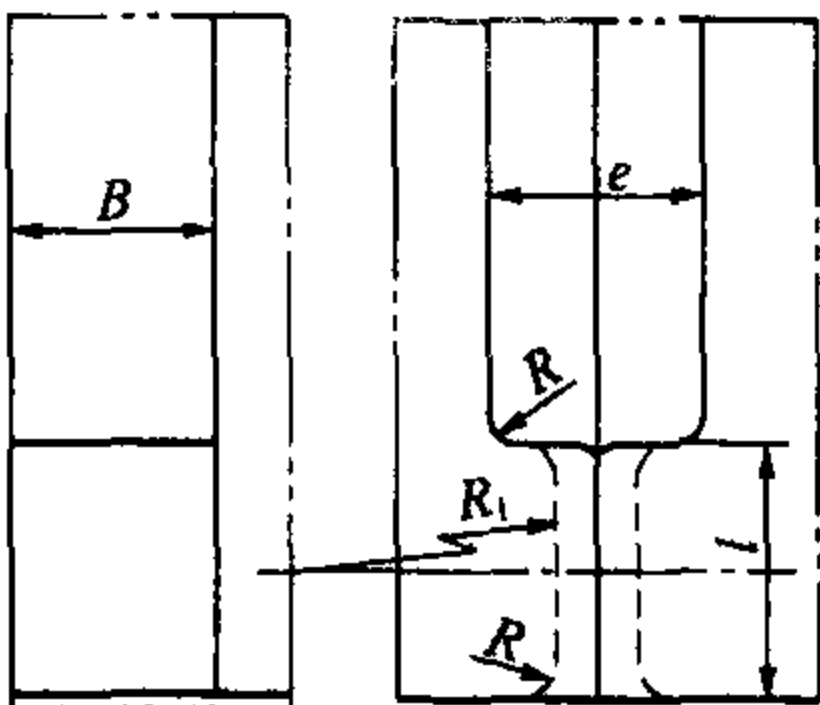
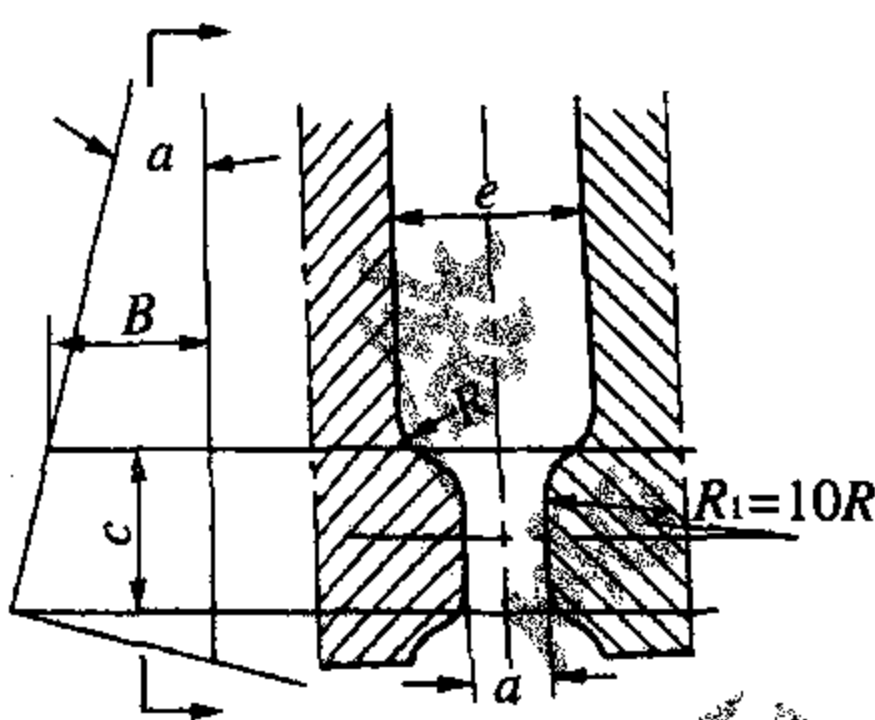
(1) 拔长模膛的形式及其特点(表 5.4-11)

表 5.4-11 拔长模膛的形式及其特点

序号	形式	特 点	图 例
1	开式拔长模膛	其拔长平台断面呈矩形, 边缘开通, 这种形式结构简单、制造方便, 但效率较低	
2	闭式拔长模膛	其拔长平台断面呈椭圆形, 边缘封闭, 这种形式拔长效率较高, 而且坯料光滑	

(2) 拔长模膛的排列方式及其特点(表 5.4-12)

表 5.4-12 拔长模膛的排列方式及其特点

序号	排列方式	特 点	图 例
1	直排	模膛中心线与模块燕尾中心线平行,优点是可控制拔长尺寸和避免坯料弯曲	
2	斜排	模膛中心线与燕尾中心线呈一定的夹角 α 。斜排适用于较长的锻件,有利于增加承击面, α 一般为 10° 、 12° 、 15° 、 18° 、 20° 等	

(3) 拔长模膛尺寸的确定(表 5.4-13)

表 5.4-13 拔长模膛主要尺寸的确定/mm

项 目	计 算 公 式				符 号 说 明
拔长坎高度 h	拔长后不滚挤 $h = k_1 d_{\min}$				d_{\min} ——计算毛坯的最小直径
	拔长后滚挤 $h = k_2 \sqrt{\frac{V_{\text{杆}}}{L_{\text{杆}}}}$				$V_{\text{杆}}$ ——计算毛坯杆部体积
	$L_{\text{杆}}$	<200	200~500	>500	$L_{\text{杆}}$ ——计算毛坯杆部长度
	k_1	0.85	0.8~0.75	0.7	
	k_2	0.9	0.85	0.8	
拔长坎长度 l	$l = k_3 d_p$				d_p ——毛坯直径
	L_p	<1.5 d_p	(1.5~3) d_p	(3~4) d_p	L_p ——毛坯长度
	k_3	1.1	1.3	1.5	
模膛宽度 B	$B = k_4 d_p + (10 \sim 20)$				
	d_p	<40	40~80	>80	
	k_4	1.5	1.3~1.4	1.2~1.3	
模膛深度 e	拔长后为一光杆 $e = 2h$ 拔长后端头有一小头部 $e = 1.2d_{\text{头}}, e \geq 2h$				
圆角圆弧半径	$R = 0.25l$ $R_1 = 10R$				
拔长模膛总长度	$L = L_{\text{拔}} + (5 \sim 10)$				

2. 滚挤模膛

(1) 计算毛坯图

表 5.4-14 计算毛坯图的绘制

序号	步 骤	图 例
1	<p>一般根据冷锻件图计算毛坯,其长度等于锻件长度,各断面面积等于相应的锻件断面积与飞边断面积之和:</p> $A_{\text{计}} = A_{\text{锻}} + A_{\text{飞}}$ <p>式中</p> <p>$A_{\text{计}}$——计算毛坯任一处断面面积</p> <p>$A_{\text{锻}}$——锻件相应处断面面积</p> <p>$A_{\text{飞}}$——飞边相应处断面面积</p> <p>$A_{\text{飞}} = 2\eta A_K$</p> <p>η 为充满系数,简单件取 0.3~0.5,复杂件取 0.5~0.8,两端取 1.0, A_K 为单边飞边槽断面积(见表 5.4-5)</p>	<p>锻件</p> <p>计算毛坯截面图</p> <p>平均截面</p> <p>锥度 K</p> <p>计算毛坯直径图</p> <p>平均直径</p> <p>计算毛坯图</p>

(续表)

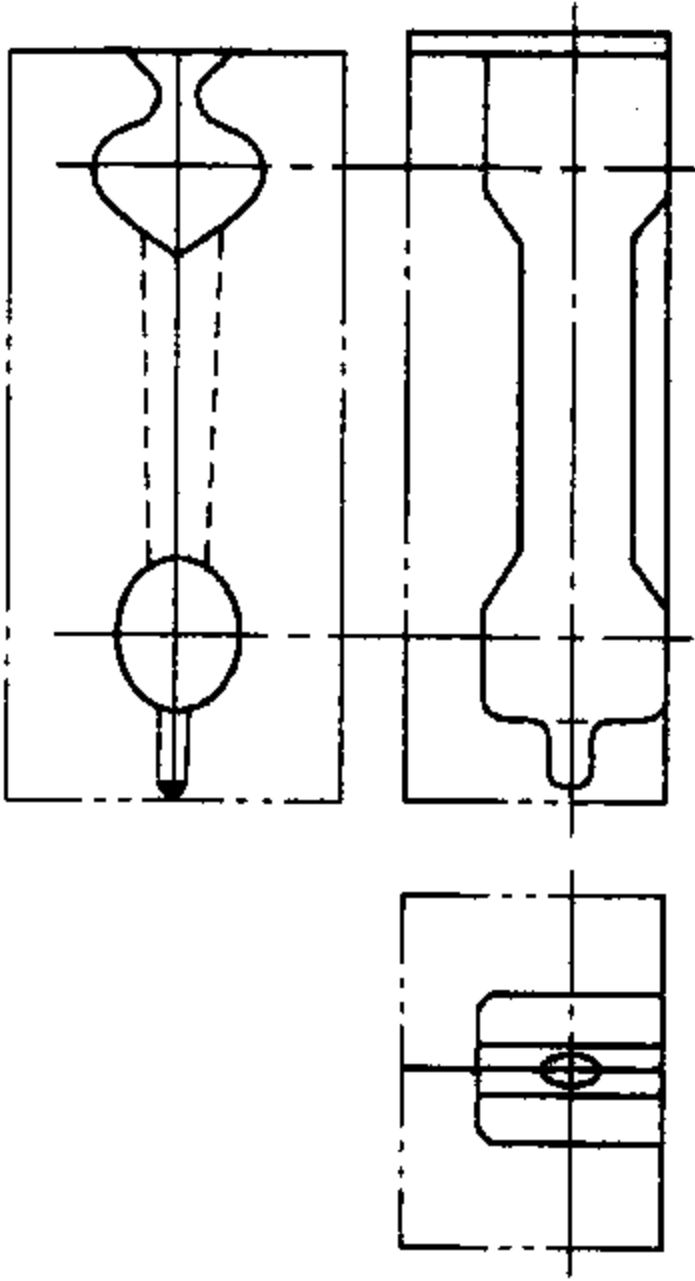
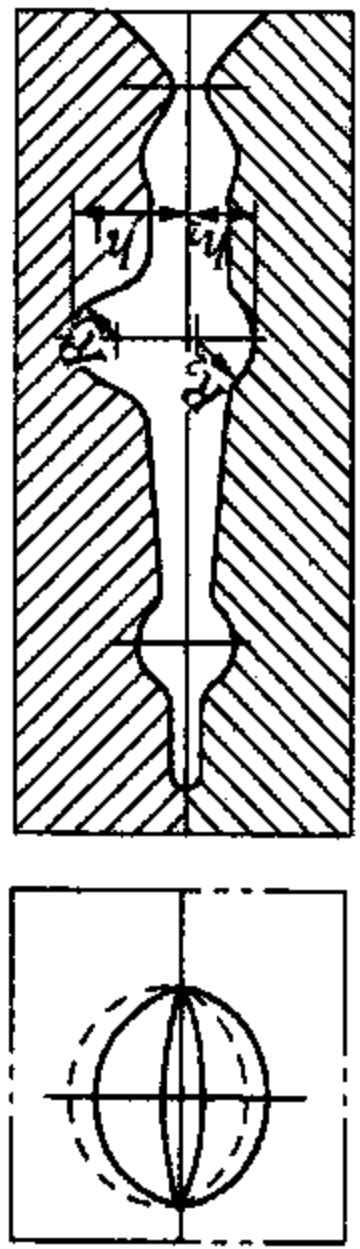
序号	步 骤	图 例
2	<p>计算毛坯任一处直径 $d_{\text{计}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{计}}}$ 用高度 $h_{\text{计}}$ 代表 $A_{\text{计}}$: $h_{\text{计}} = A_{\text{计}}/M$</p> <p>式中 M——比例系数, 一般 $20 \sim 50 \text{ mm}^2/\text{mm}$</p>	
3	<p>对典型断面用坐标纸绘出计算毛坯截面图和直径图, 由计算毛坯截面图计算出毛坯体积 $V_{\text{计}} = MS_{\text{计}}$</p> <p>式中 $S_{\text{计}}$——计算毛坯截面图曲线下面积</p>	
4	<p>计算毛坯平均直径:</p> $d_{\text{均}} = 1.13 \sqrt{A_{\text{均}}}$ <p>式中 $A_{\text{均}}$——计算毛坯截面图平均截面积, $A_{\text{均}} = V_{\text{计}}/L_{\text{件}}$</p> <p>$L_{\text{件}}$——锻件长度</p>	
5	<p>① 计算毛坯图对设计制坯工步和制坯模膛具有重要的作用, 是设计的基础</p> <p>② 应特别关注图中 $d_{\text{均}}$、d_{max}、d_{min}、$d_{\text{柄}}$、$L_{\text{杆}}$、$L_{\text{头}}$ 和选取的材料直径等重要参数, 以及它们相互之间的关系</p>	

(2) 滚挤模膛的形式及其特点(表 5.4-15)

表 5.4-15 滚挤模膛的形式及其特点

序号	形式	特点	图 例
1	开式	模膛断面呈矩形，侧面开通。结构简单，制造方便，但积聚效率低。适用于断面变化不大的长轴类锻件	
2	闭式	模膛断面呈椭圆形，整个侧面封闭，金属积聚效果良好，适用于断面变化较大的锻件	

(续表)

序号	形式	特点	图例
3	混合式	<p>模膛中杆部为闭式,头部为开式。适用于锻件头部有孔的情况</p>	
4	非对称式	<p>可以制出不对称的毛坯,适用于非对称轴类锻件。在不称的头部应采用开式或增大该处的宽度,以利聚料</p>	

(3) 滚挤模膛尺寸的确定(表 5.4-16)

表 5.4-16 滚挤模膛尺寸的确定/mm

项 目	计算公式或数据					符号说明	
模膛高度 h	$h = kd_{\text{计}}$ k 系数按下表选取					$d_{\text{计}}$ ——计算毛坯相应处的直径 $d_{\text{坯}}$ ——坯料直径	
	$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	杆 部		头部	拐点		
		闭式	开式				
		<30	0.8	0.75	1.15		1.00
		$30\sim60$	0.75	0.70	1.10		0.95
>60	0.70	0.65	1.05	0.90			
模膛宽度 B	坯料形式	闭 式		开 式		$A_{\text{坯}}$ ——坯料断面积 h_{min} ——模膛最小深度 d_{max} ——计算毛坯最大直径 $a_{\text{坯}}$ ——方坯边长 $A_{\text{杆均}}$ ——计算毛坯杆部平均断面积	
	原坯料	$1.7d_{\text{坯}}$ (或 $1.9a_{\text{坯}}$) $> B$ $> 1.15 \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}}$, $B > 1.1d_{\text{max}}$		$1.7a_{\text{坯}}$ (或 $1.5d_{\text{坯}}$) $+ 10 \geq B$ $\geq \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + 10$, 但 $B > d_{\text{max}} + 10$			
	经过拔长的毛坯	$(1.4 \sim 1.6) d_{\text{坯}} > B > 1.25 \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}}$, 但 $B > 1.1d_{\text{max}}$		$(1.4 \sim 1.6) d_{\text{坯}} + 10 > B$ $> \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}} + 10$, 但 $B > d_{\text{max}} + 10$			
	不同宽度的滚挤模膛	杆部 $B_{\text{杆}} = 1.25 \frac{A_{\text{杆均}}}{h_{\text{min}}}$ 头部 $B_{\text{头}} = 1.1d_{\text{max}}$					
模膛长度 L	$L = L_{\text{计}}(1 + \delta)$					δ ——收缩率	
模膛钳口尺寸	$n = 0.2d_{\text{坯}} + 6$ $m = (1 \sim 2)n$ $R = 0.1d_{\text{坯}} + 6$						

(续表)

项 目	计算公式或数据							符号说明
毛刺槽 尺寸		$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	a	c	R_3	R_4	b	
	无切刀	<30	4	20	5	4	20	
		$30\sim60$	6	25	5	6	30	
		$60\sim100$	8	30	10	8	40	
		>100	10	35	10	10	50	
	有切刀	<30	6	25	5	6	25	
		>30	8	30	5	8	30	

 注:表中毛刺槽 b 的尺寸仅适用于闭式滚挤模膛。

(4) 滚挤模膛的绘制方法(表 5.4-17)

表 5.4-17 滚挤模膛的绘制方法

序号	步 骤	图 例
1	按计算毛坯的典型截面,计算出各截面上的 h 和 B 值,将 h 从分模线对称标出	
2	以大圆弧或直线将各点 h 连接,画出滚挤模膛的纵剖面,应尽可能圆滑过渡	
3	如果计算毛坯的杆部为水平线,为了杆部金属易于流向头部,滚挤模膛可做成带斜度的,倾斜角取 $2^\circ\sim5^\circ$	

滚挤模膛的绘制方法

3. 压肩模膛

压肩模膛也有开式和闭式两种,但一般都用开式(图 5.4-4)。其主要尺寸见表 5.4-18。

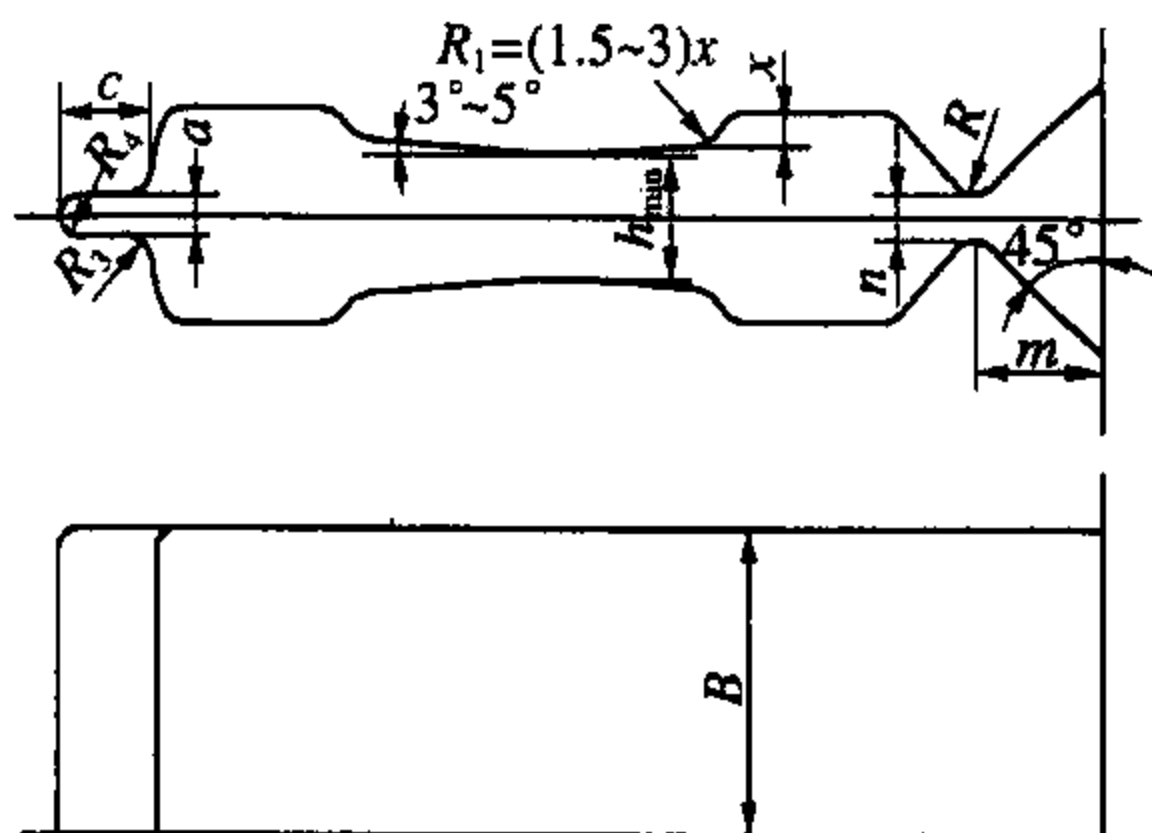


图 5.4-4 压肩模膛

表 5.4-18 压肩模膛的尺寸计算/mm

项 目	应 用 公 式				符 号 说 明
模膛深度 h	$h = kd_{\text{计}}$ 系数 k 按下表选择				$d_{\text{计}}$ ——计算毛坯直径
	$d_{\text{坯}}/\text{mm}$	<30	30~60	>60	$d_{\text{坯}}$ ——坯料直径
	杆部	0.75	0.65	0.60	
	头部	1.00	1.05	1.1	
模膛宽度 B	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\text{min}}} + (5 \sim 10)$				$A_{\text{坯}}$ ——坯料断面积 h_{min} ——压肩模膛的最小深度

(续表)

项 目	应 用 公 式	符 号 说 明
其他尺寸	$R = 0.2d_{\text{坯}} + 5$ $n = (0.2 \sim 0.3)d_{\text{坯}}$ $m = (1 \sim 2)n$ $a = 0.1d_{\text{坯}} + 3$ $c = 0.3d_{\text{坯}} + 15$ $R_3、R_4$ 同滚挤模膛	见图 5.4-4

4. 弯曲模膛

弯曲模膛示意图见图 5.4-5, 其尺寸见表 5.4-19。弯曲模膛的设计要点见表 5.4-20。

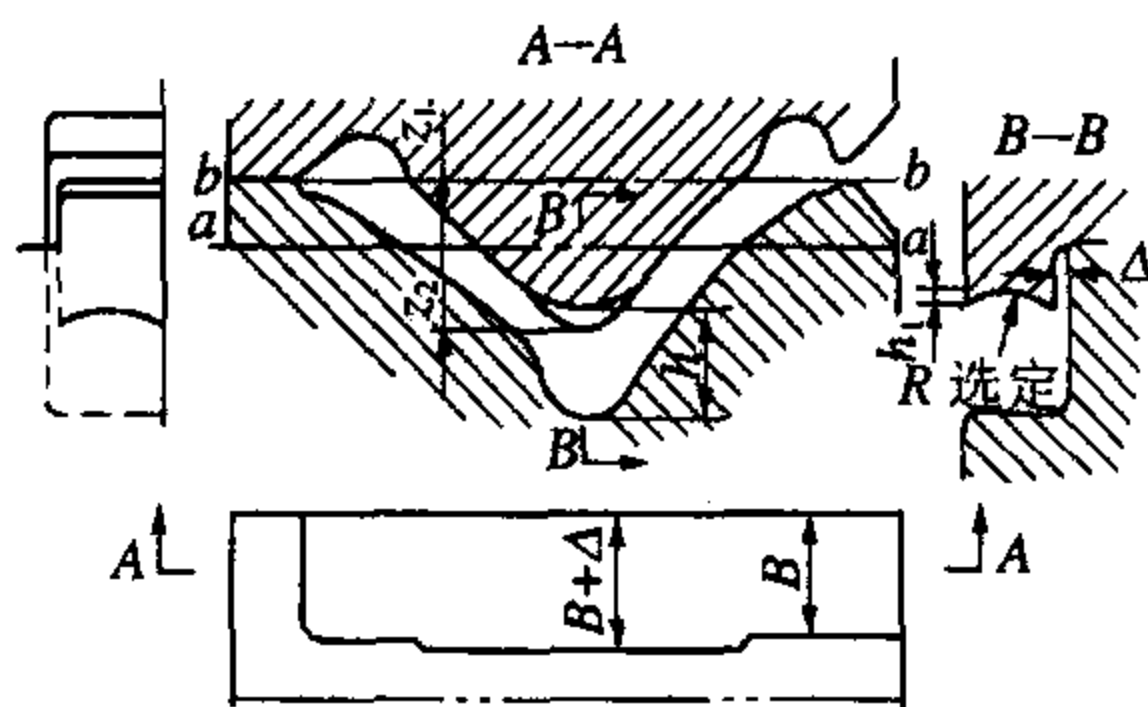


图 5.4-5 弯曲模膛

表 5.4-19 弯曲模膛主要尺寸/mm

项 目	计 算 公 式	符 号 说 明
模膛高度 h	$h = b_{\text{锻}} - (2 \sim 10)$ 大锻件取大值, 小锻件取小值	$b_{\text{锻}}$ ——锻件平面图上相应处尺寸
模膛宽度 B	$B = \frac{A_{\text{坯}}}{h_{\min}} + (10 \sim 20)$	$A_{\text{坯}}$ ——坯料断面积 h_{\min} ——模膛的最小高度

(续表)

项 目	计 算 公 式				符 号 说 明		
上下模 间隙 Δ	锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
	Δ/mm	4	6	6	7	9	9
凹面深度 h_1	$h_1 = (0.1 \sim 0.2)h$				h —模膛高度		

表 5.4-20 弯曲模膛的设计要点

序号	设计要点	图 例
1	模膛转角处的内侧应做成大圆弧,以防产生折叠	<p>弯曲型槽轮廓线</p> <p>飞边</p> <p>终锻型槽轮廓线</p> <p>折在锻件和飞边上 折在飞边上</p> <p>弯曲模膛转角形状</p>
2	下模应有两个支承点,且为了保证毛坯定位,需设挡料小凸台	<p>定位支承</p> <p>定位凸台</p>
3	模膛较深处(下模转角处)应加深,以便容纳氧化皮	见图 5.4-5

(续表)

序号	设计要点	图 例
4	模膛上下模凸出部分应大致相等, 即 $Z_1 = Z_2$	见图 5.4-5
5	上模凸出部分应做出横向小圆弧凹面, 深度 $h_1 = (0.1 \sim 0.2)h$	见图 5.4-5
6	上、下模侧面应留间隙 Δ	见图 5.4-5

5. 成形模膛

成形模膛分为对称成形模膛(图 5.4-6)和非对称成形模膛(图 5.4-7)两种形式。非对称成形模膛比较常用, 其设计依据是锻件在水平面上的轮廓线形状和尺寸。在锻件头部, 每边小 1~2 mm, 杆部每边小 3~5 mm, 杆部向头部过渡区做成 $2^\circ \sim 5^\circ$ 斜度, 以利金属流动。

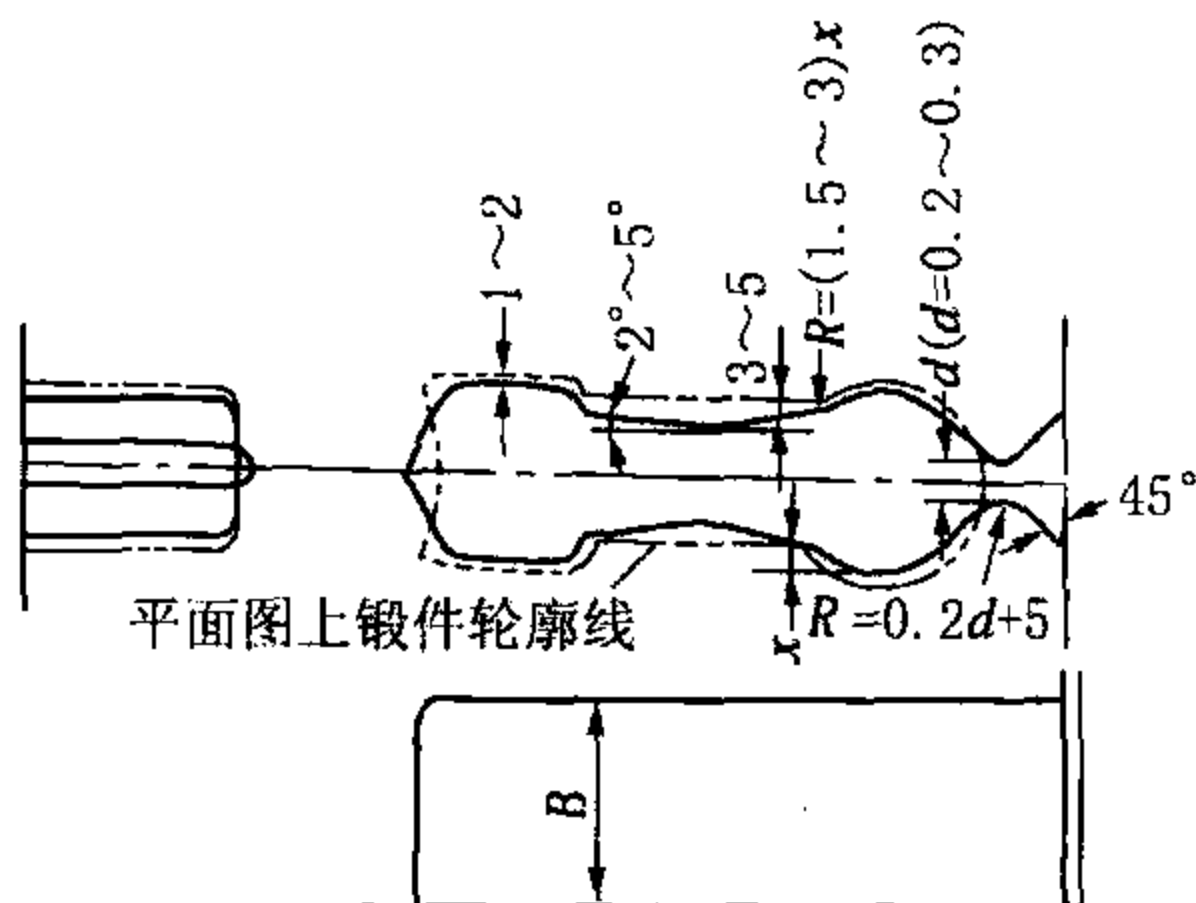


图 5.4-6 对称成形模膛

6. 镦粗台与压扁台

镦粗台(图 5.4-8)宽度应比镦粗后毛坯直径大出 20~

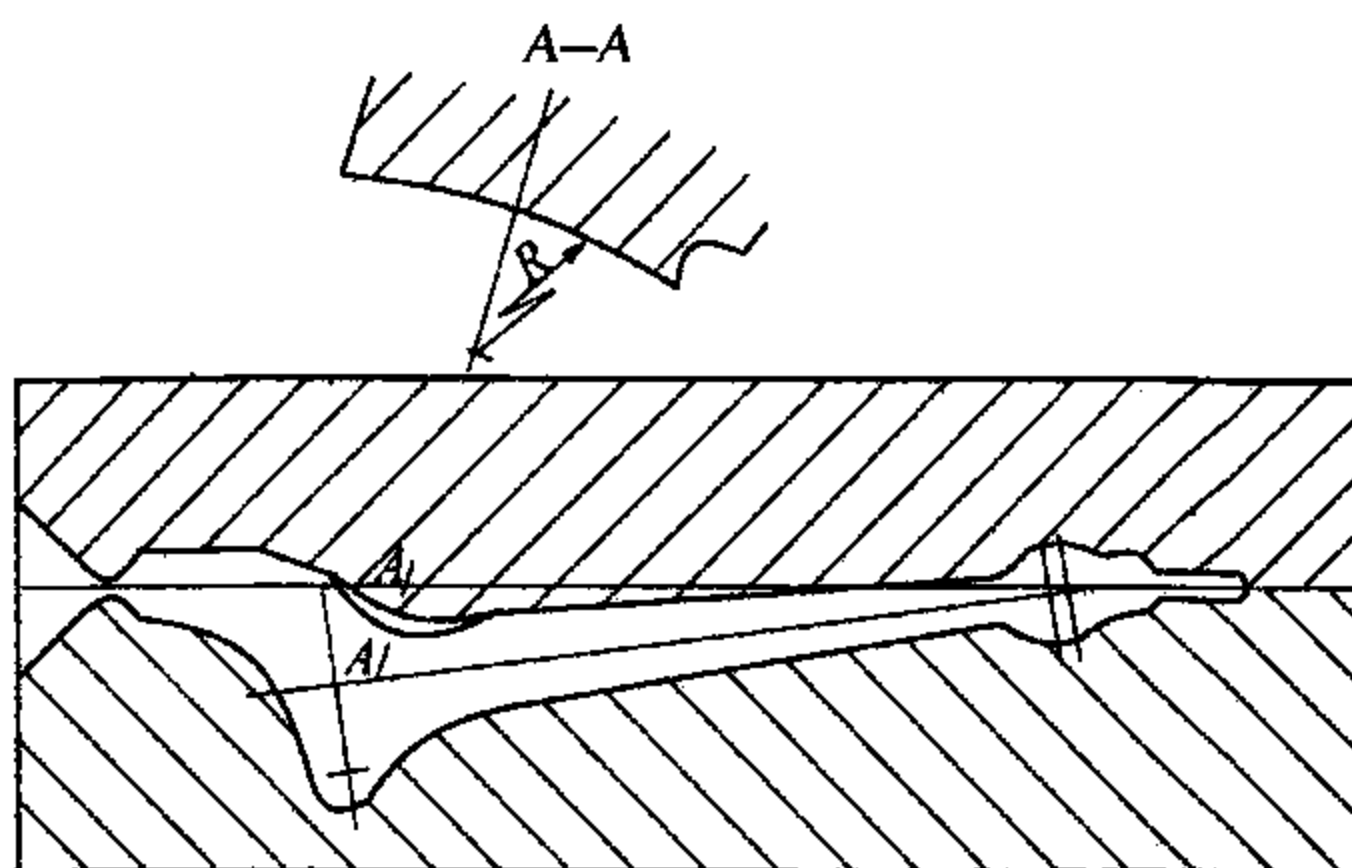


图 5.4-7 非对称成形模膛

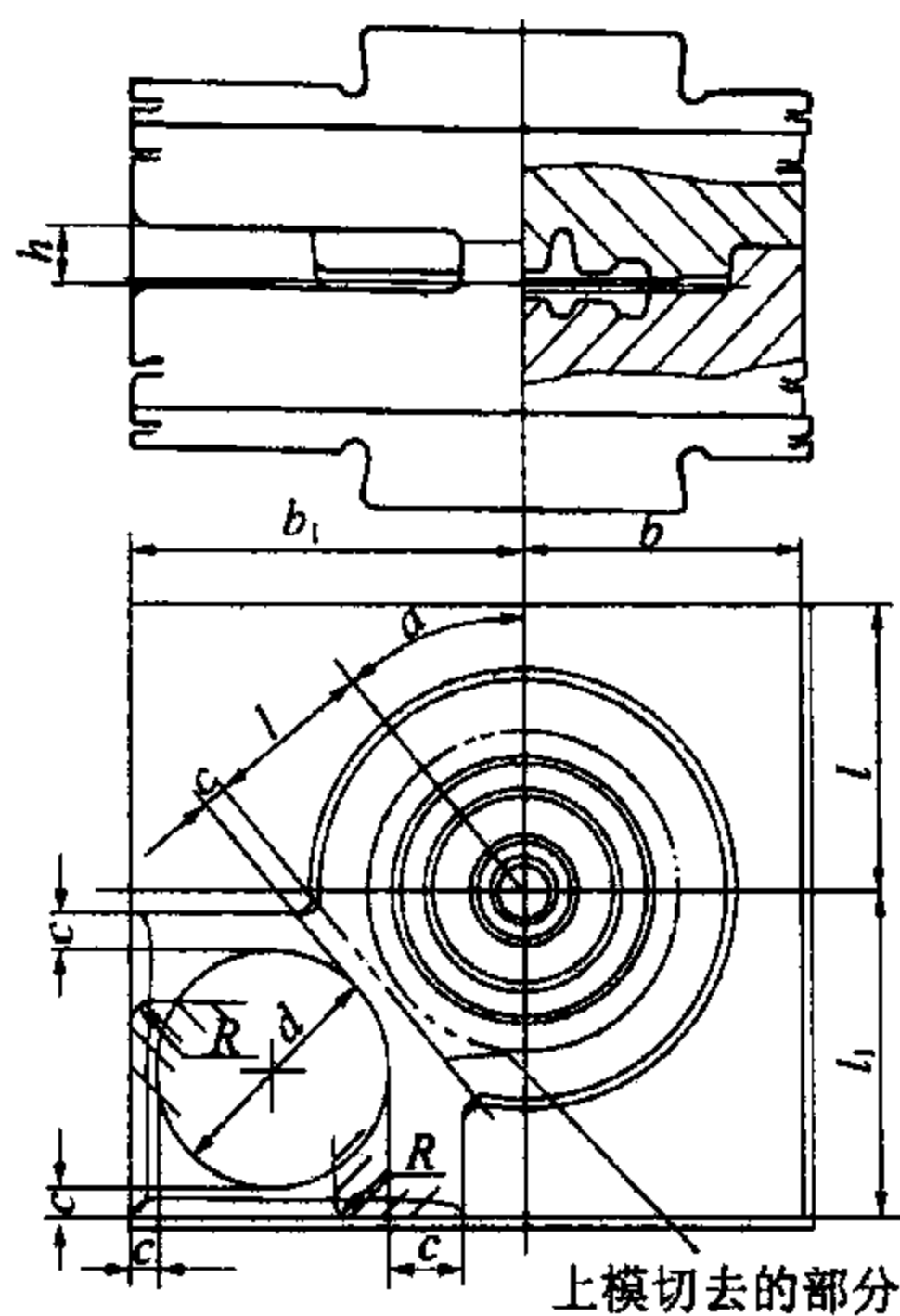


图 5.4-8 镦粗台

40 mm, 边缘应倒圆角 $R8 \sim R10$ mm。在压扁台(图 5.4-9)上, 压扁后的高度通常由操作者自行控制, 在模块上留出足够的压扁平面即可。

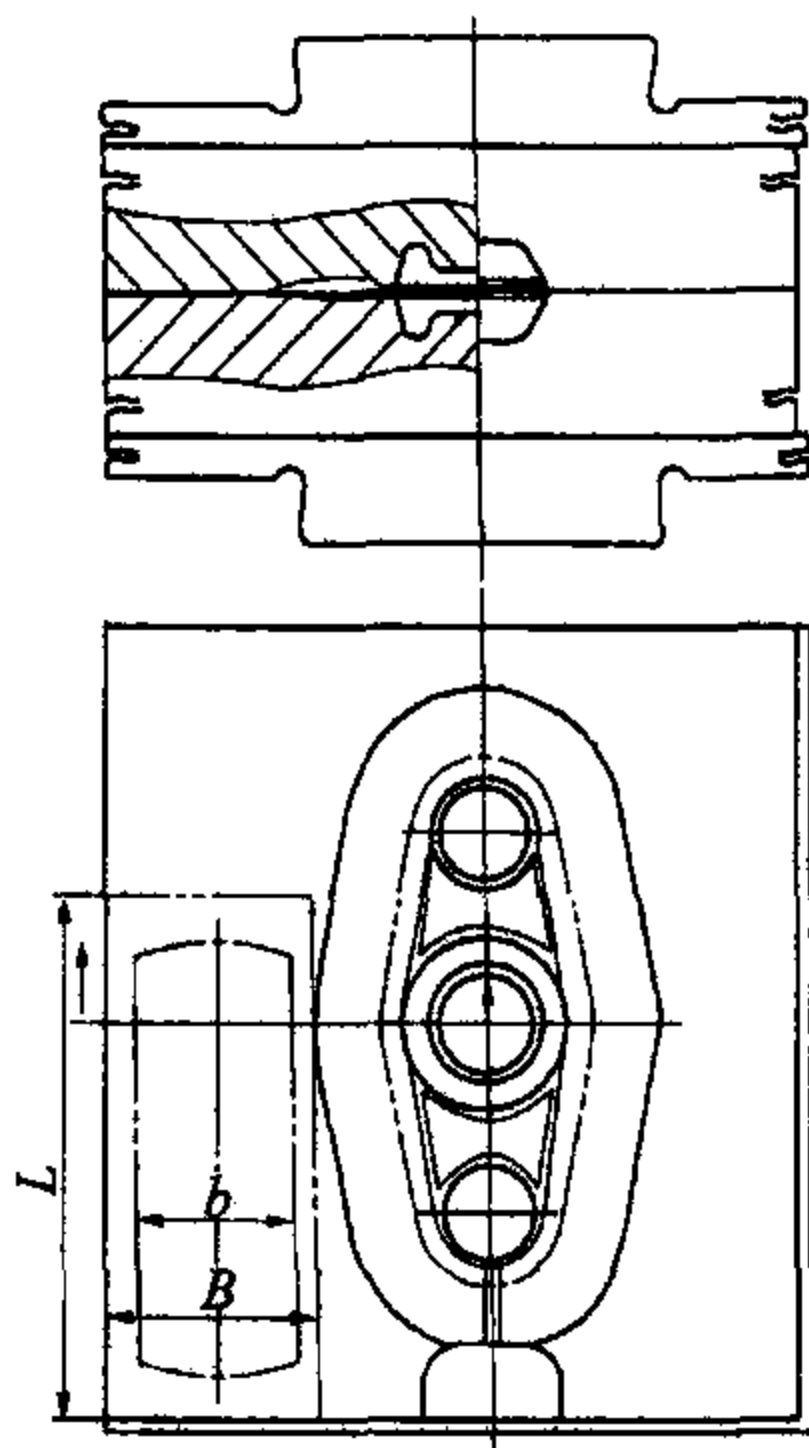


图 5.4-9 压扁台

三、锤锻模结构与模块尺寸

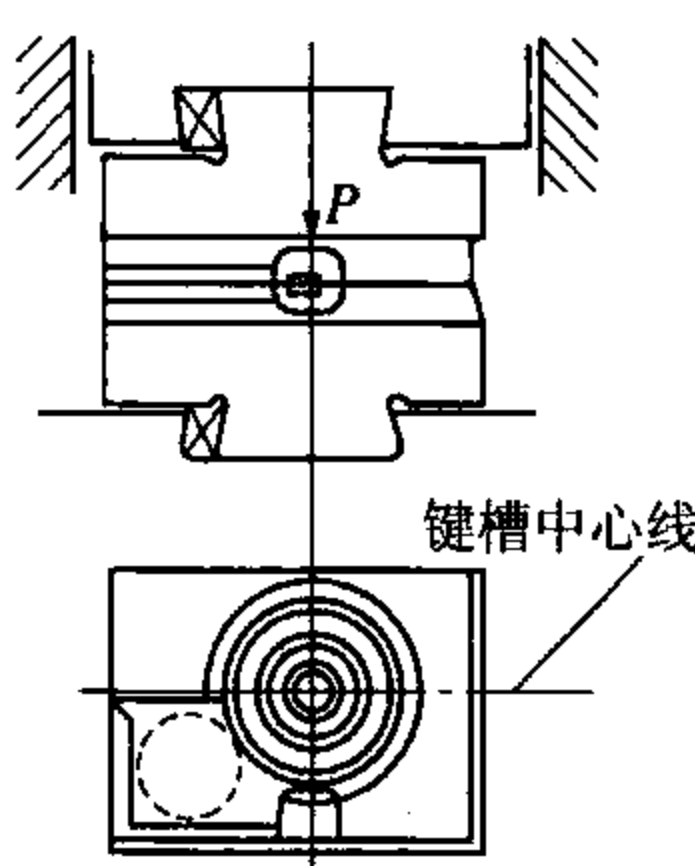
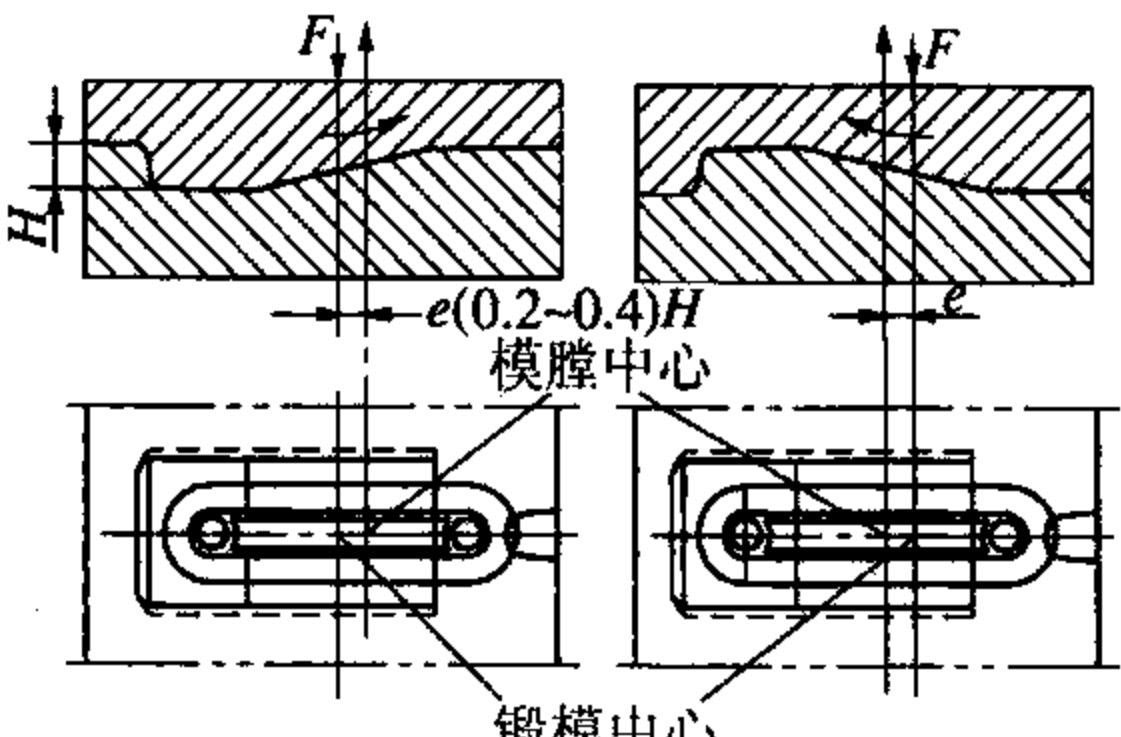
1. 模膛排列

- (1) 锻模中心与模膛中心(表 5.4-21)
- (2) 终锻模膛与预锻模膛的布置(表 5.4-22)

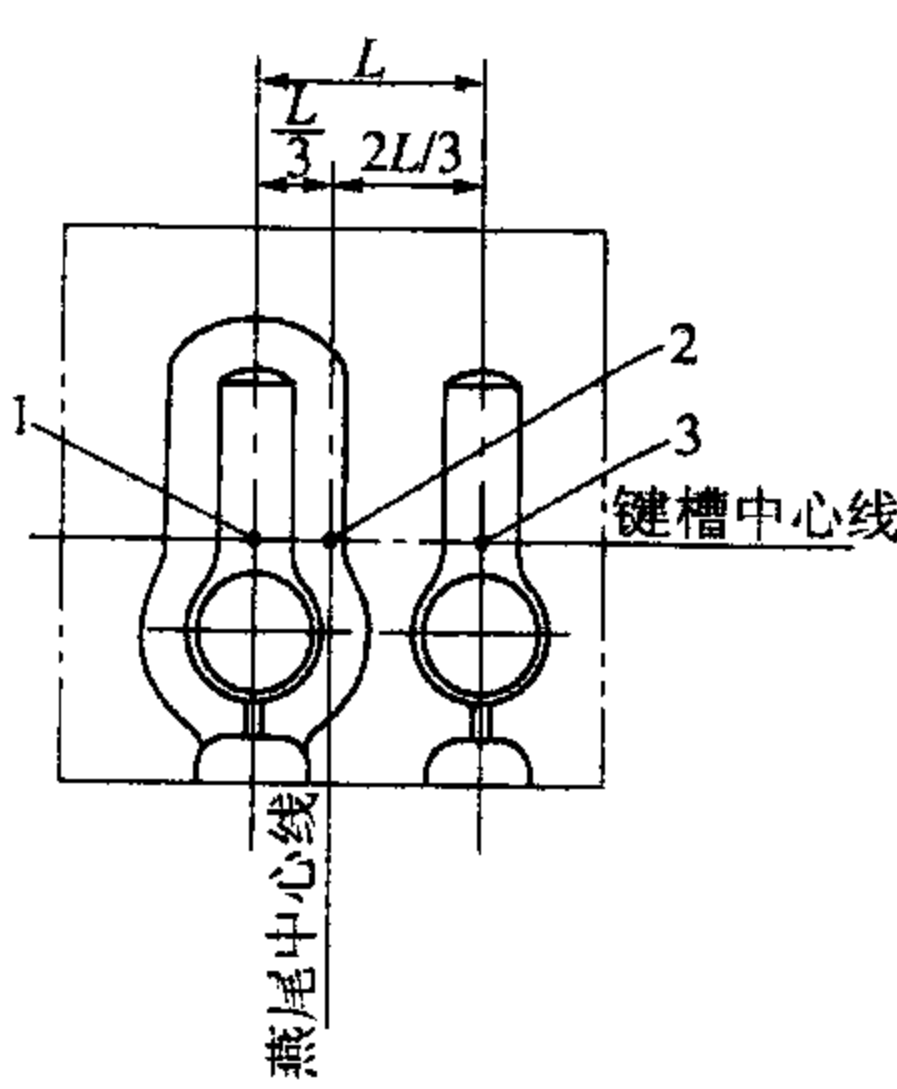
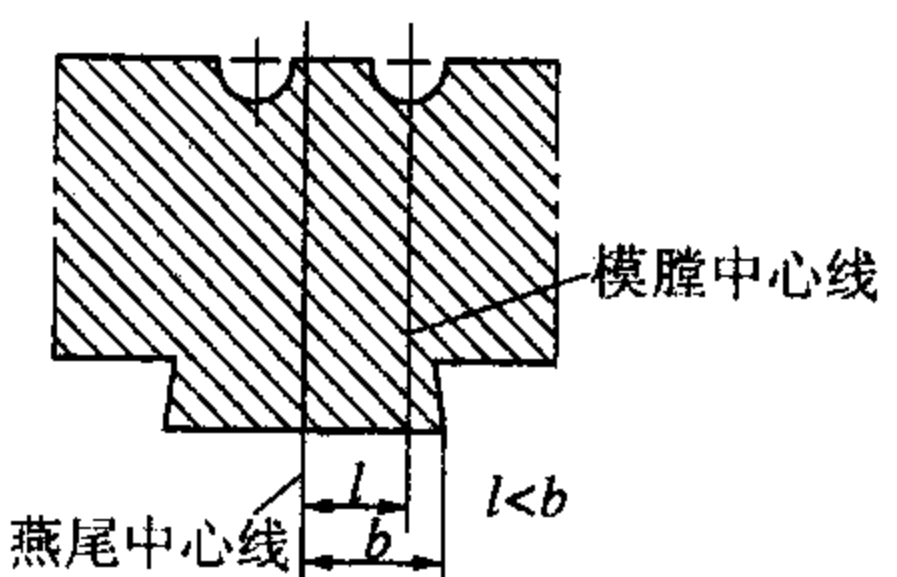
表 5.4-21 锻模中心与模膛中心

序号	项目	说 明	图 例
1	锻模中心	<p>锻模中心是锻模燕尾中心线与键槽中心线的交点。当锻模固定在锤上时,锻模中心与锤杆中心重合,锻模中心就是锤的打击中心</p>	<p>燕尾中心线 锻模中心 键槽中心线 模膛中心</p>
2	模膛中心	<p>模膛中心指锻打时模膛中变形抗力合力的作用点。如图中的 G 点。对平面分模的锻件,可近似地认为模膛中心就是模膛(包括飞边桥部)在分模面上投影面积的面心 G</p>	
3	模膛中心的确定	<p>模膛中心可用图解、计算等方法求出,对复杂锻件可用样板实测法:将模膛(包括飞边桥)轮廓画在厚纸板上剪下,任选两点 A、B 吊线,吊线的延长线交点就是模膛中心</p>	<p>飞边桥部 锻件</p>

表 5.4-22 终锻模膛与预锻模膛的布置原则

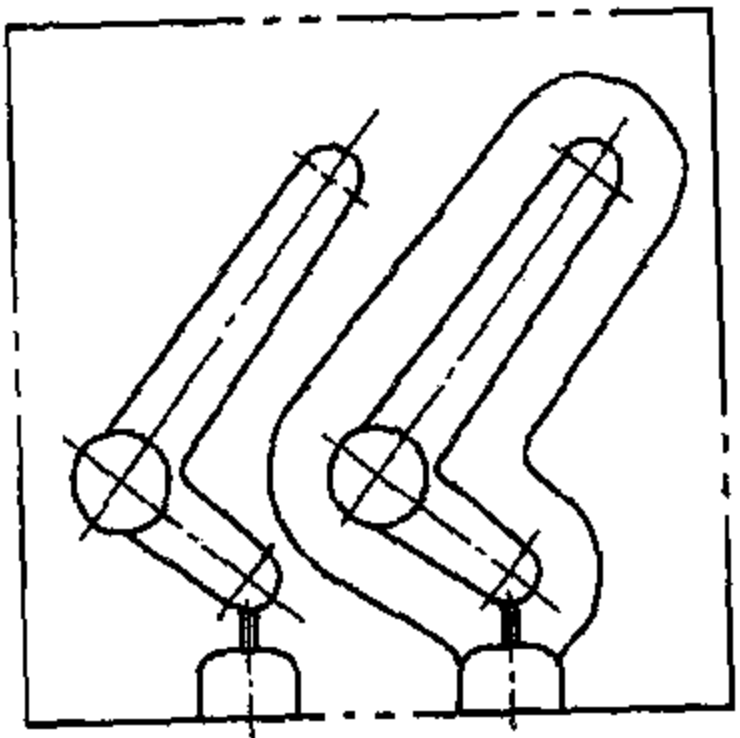
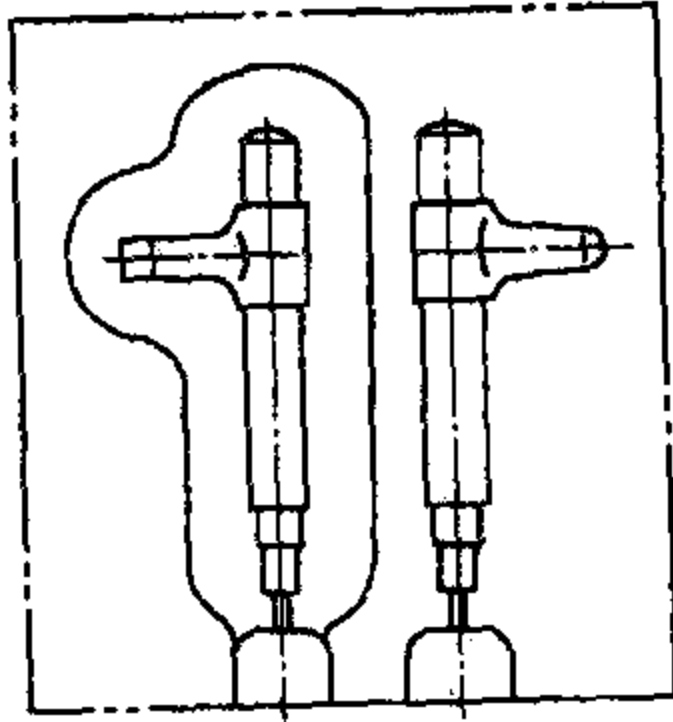
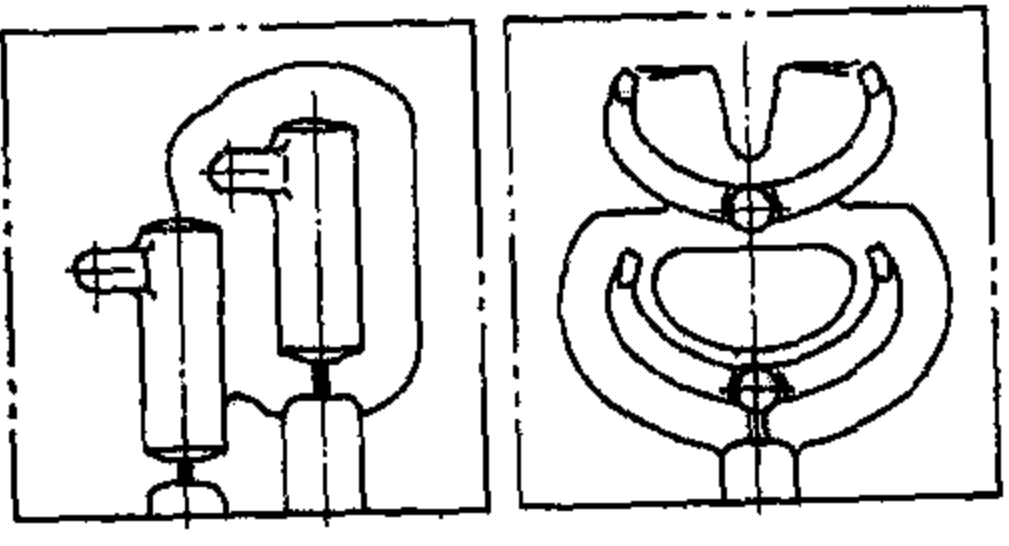
序号	原 则	图 例
1	<p>无预锻模膛时,模膛中心应尽可能与锻模中心重合。此时模锻时的合力通过锤杆中心线</p>	
2	<p>对设置了平衡锁扣的锻模,为了减少锁扣的碰损,模膛中心与锻模中心应偏移距离 e, $e = (0.2 \sim 0.4)H$, H 为平衡锁扣的高度</p>	

(续表)

序号	原 则	图 例
3	<p>预锻和终锻模膛同时存在时,应两者兼顾。在模壁强度允许的条件下,应尽量缩小两者中心距 L。终锻模膛的中心至锻模中心的距离与预锻模膛的中心至锻模中心的距离之比,一般为 $\frac{1}{3}L : \frac{2}{3}L$</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a mold block with two dies. The total distance between the centers of the two dies is labeled L. The distance from the center of the pre-forging die (labeled 1) to the mold center line is $\frac{L}{3}$. The distance from the center of the final forging die (labeled 2) to the mold center line is $\frac{2L}{3}$. The mold center line is labeled '键槽中心线'. The pre-forging die is labeled 1 and the final forging die is labeled 2.</p>
4	<p>在预锻模膛中心偏离锻模中心较大的情况下,仍应使锻模中心在燕尾承击面之内,即 $l < b$</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a mold block with a pre-forging die. The distance from the center of the pre-forging die to the mold center line is labeled l. The distance from the mold center line to the tail center line is labeled b. The condition $l < b$ is shown. The mold center line is labeled '模膛中心线' and the tail center line is labeled '燕尾中心线'.</p>

(3) 终锻模膛与预锻模膛的排列方式(表 5.4-23)

表 5.4-23 终锻模膛与预锻模膛的排列方式

序号	排列方式	特 点	图 例
1	同向排列	两个模膛方向相同,模膛中心均在锻模键槽中心线上,锻件前后方向的错差好控制,操作方便,最为常用	
2	反向排列	两个模膛中心也都在键槽中心线上,但两者方向相反。这样有时能使两个模膛靠近,锻打时从预锻到终锻需翻转 180°,但对清除氧化皮有利	
3	前后错开排列	用来布置宽而短的锻件,要求预锻做得更圆浑些,以防止产生折叠。容易产生错差,但可缩短两模膛中心距	

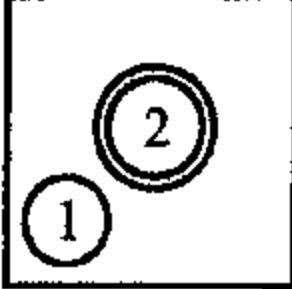
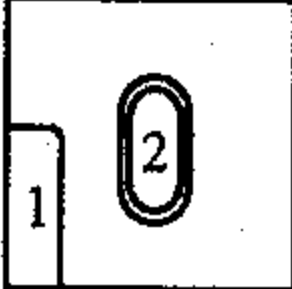
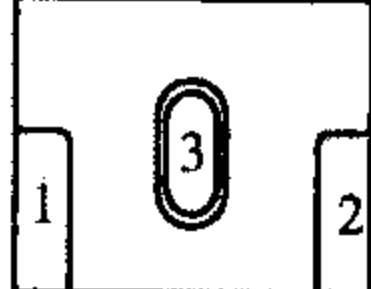
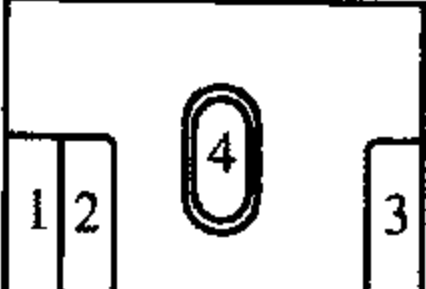
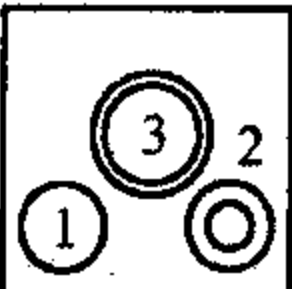
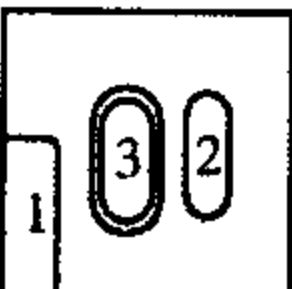
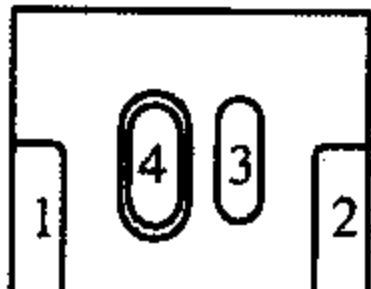
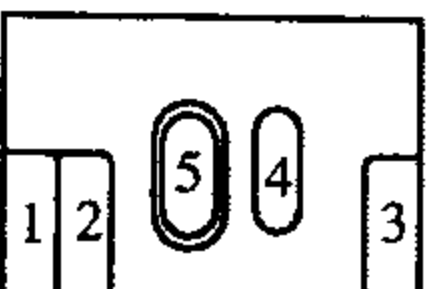
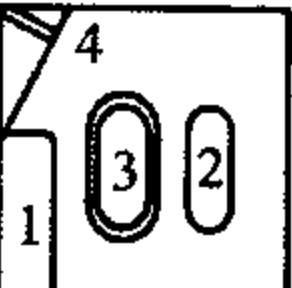
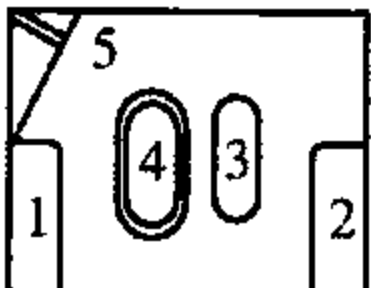
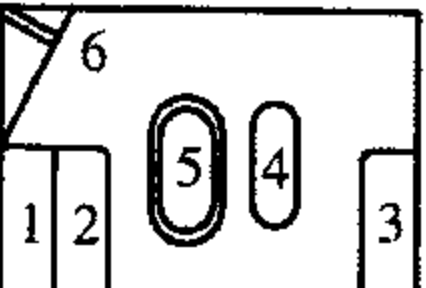






(4) 制坯模膛的布置原则(表 5.4-24)

表 5.4-24 制坯模膛的布置原则

序号	布置原则	图 例
1	模膛的位置应与加热炉、切边压力机的位置相适应。为了操作方便,第一个制坯模膛置于靠近加热炉一侧	<p>加热炉 切边压力机</p>
2	第一个制坯模膛应在吹氧化皮风管的对面,以避免氧化皮落入终锻模膛。通常加热炉在锻锤左边,吹风管在锻锤的右机架上,这时第一工步应在左侧	<p>加热炉 切边压力机</p>
3	终、预锻模膛布置在锻模中间,靠近燕尾中心,制坯模膛安排在锻模两边	
4	模膛应尽可能按工步顺序排列,以减少毛坯往返移动的次数	
5	拔长模膛一般直排在锻模右侧,如必须设在左侧时,以斜排为好,因一般工人都是右手握钳	
6	弯曲模膛位置应使锻件能以最小的移动与翻转放入终锻或预锻模膛	<p>合理 不合理</p>

(5) 模膛排列方案示例(表 5.4-25)

表 5.4-25 模膛排列方案示例

	有 镦 粗	有一个制坯模膛	有两个制坯模膛	有三个制坯模膛
无 预 锻				
有 预 锻				
带 切 口				
符 号 说 明	<div>  — 镦粗  — 成形镦粗 </div> <div>  — 终锻  — 预锻 </div> <div>  — 切断  — 拔长、滚挤、成形、弯曲等制坯工步 </div> <p>1、2、3…6 等数字代表工步的顺序</p>			

2. 错移力的平衡与锁扣

(1) 形状锁扣平衡错移力(表 5.4-26)

(2) 普通锁扣(表 5.4-27)

表 5.4-26 形状锁扣的形式与特点

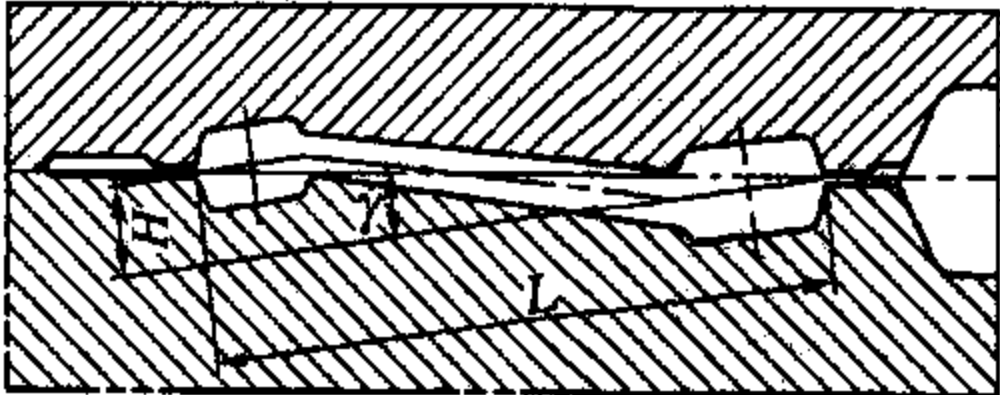
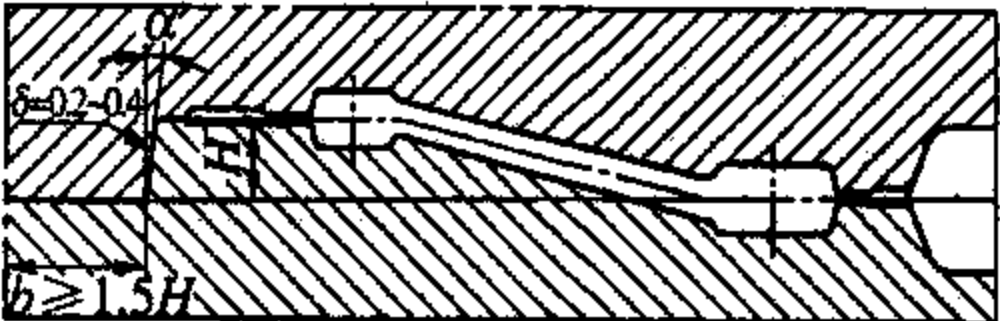
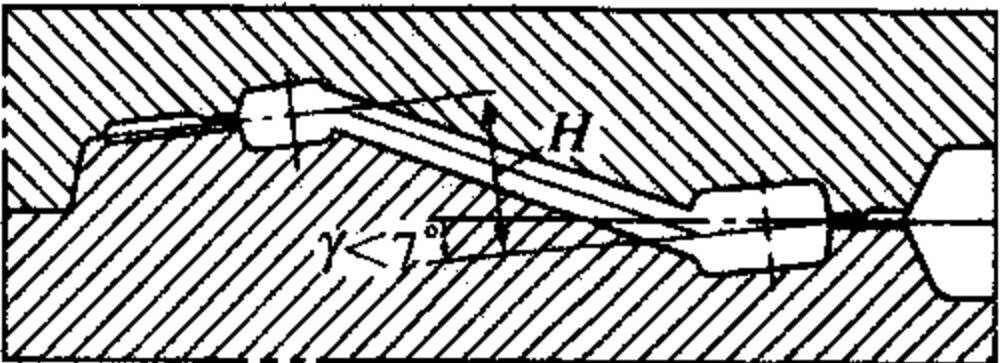
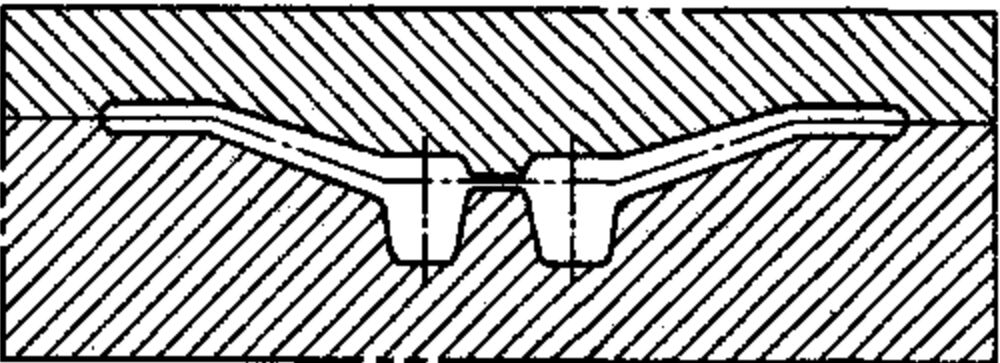
序号	方式	特 点	图 例
1	锻件斜置	当锻件落差 H 不大时, 将锻件斜置一角度 γ , 使 $\operatorname{tg} \gamma = H/L$, 模膛两端分模面处于同一高度, 可自然抵消错移力	
2	设置平衡锁扣	当落差 H 较大时, 应设置平衡锁扣。 $b \geq 1.5H$, $\alpha = 3^\circ \sim 5^\circ$, $\delta = 0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$	
3	锻件斜置并设平衡锁扣	当锻件落差 $H > 50 \text{ mm}$ 时, 可将锻件斜置再设置平衡锁扣	
4	锻件相对排列	当锻件分模面具有对称形状或将有落差的小锻件成对相对排列时, 错移力可以自行抵消	

表 5.4-27 普通锁扣

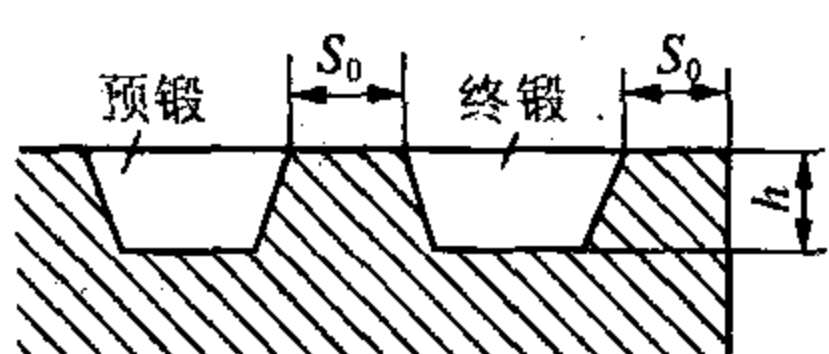
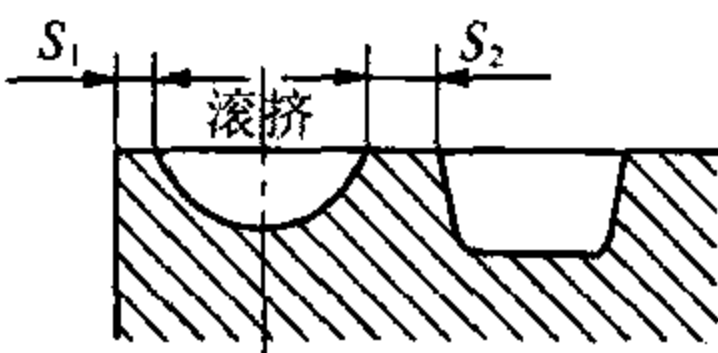
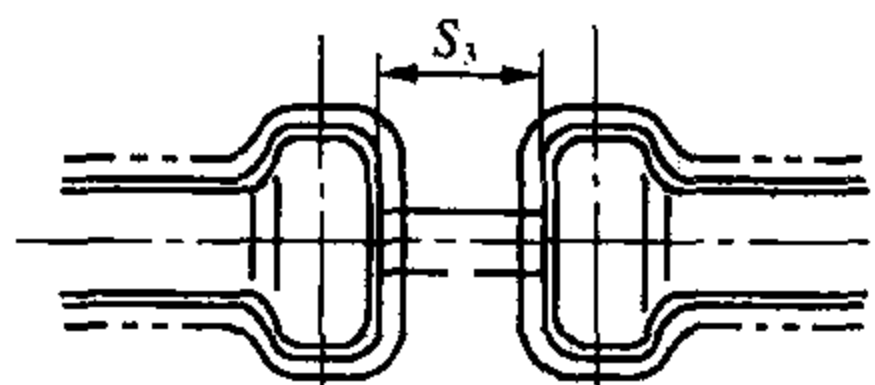
序号	形式	特点与用途	图 例
1	圆形锁扣	<p>主要用于 锻粗成形的 短轴类锻件。 锁扣凹部多 设在下模。α $= 3^\circ \sim 5^\circ$, 锁 扣间隙 $\delta =$ $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$</p>	
2	纵向锁扣	<p>主要用于 长轴类锻件 以限制其左 右错差。在 锁扣肩部,上 下模之间留 有间隙 $\Delta =$ $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$</p>	

(续表)

序号	形式	特点与用途	图 例
3	侧面锁扣	多用于中小型锻模。它能够限制左右、前后两个方向的错移。对承击面的影响也较少,但它的强度不如纵向锁扣	
4	角锁扣	这种锁扣多用于中小型锻模或单模膛锻模。锁扣设置在锻模的四个角上	

3. 模膛的壁厚(表 5.4-28)

表 5.4-28 模膛的壁厚/mm

项 目	公 式	图 例
终(预)锻模膛的最小壁厚 S_0	$S_0 = (1 \sim 2)h$ 式中: h ——模膛深度 h 小者系数取大值	
滚挤模膛的最小壁厚 S_1 , S_2	$S_1 = 5 \sim 10$ $S_2 = 10 \sim 15$	
一模多件模锻时, 相邻两终(预)锻模膛间的最小壁厚 S_3	$S_3 = (0.5 \sim 1)h$	

4. 锻模的承击面

承击面积是上下模接触部分的面积, 见图 5.4-10。允许的最小承击面积见表 5.4-29。

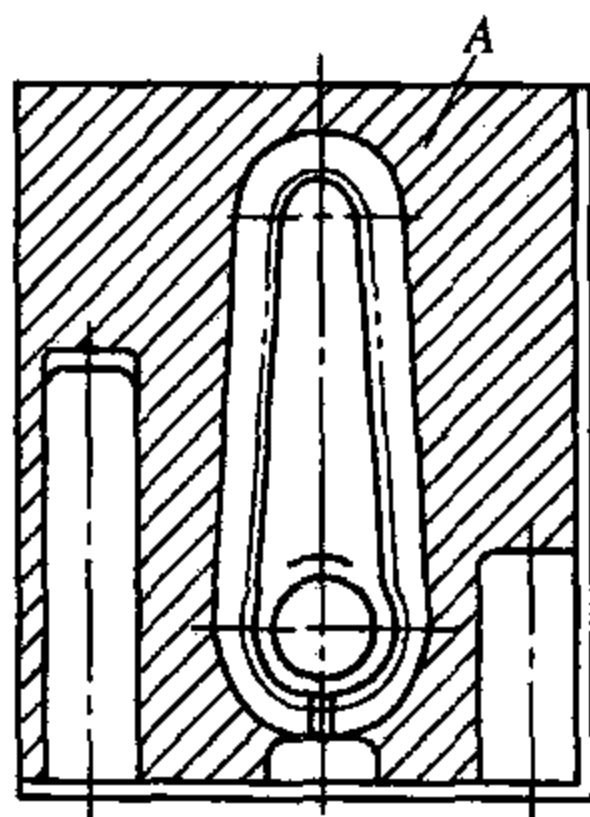


图 5.4-10 承击面

表 5.4-29 允许的最小承击面积

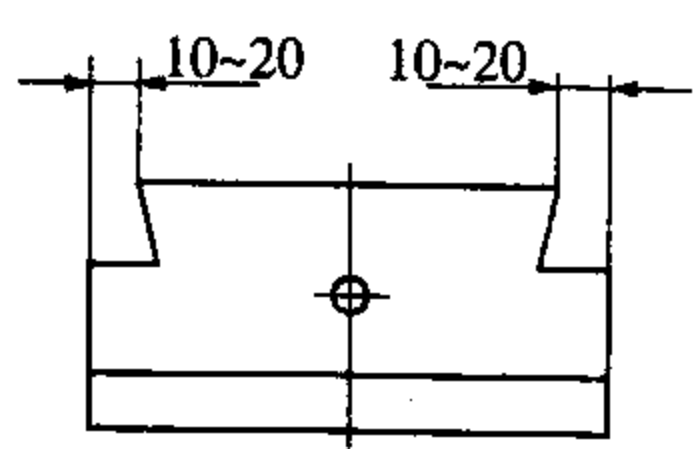
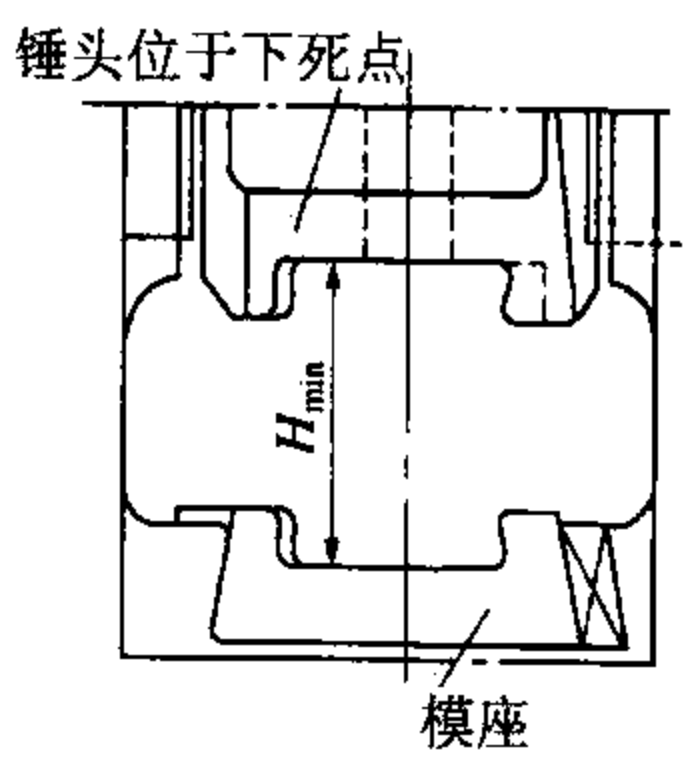
锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
承击面积 (\geq)/mm ²	25 000~ 30 000	45 000~ 50 000	65 000~ 70 000	90 000	160 000	250 000

5. 模块尺寸的确定(表 5.4-30)

表 5.4-30 模块尺寸的确定

序号	项目	原 则	图 例
1	锻模 中心与 模块中 心的偏 移量	最大偏移量应限制在 $a \leq 0.1A, b \leq 0.1B$ 的范围内	
2	模块 最大长 度	模块长度超出锤头以外时,应使伸出锤头的长度小于模块的最小壁厚,即 $l \leq h_{\min}$	
3	模块 最大宽 度	上模侧壁与锻锤导轨之间的间隙 ≥ 20 mm	

(续表)

序号	项目	原 则	图 例
4	模块 最小宽 度	模块的最小宽度 至少超出燕尾 10~ 20 mm	
5	锻模 高度	锻模高度按模膛 最大深度确定(表 5.4-31),且要保证 锻模最小闭合高度 大于锻锤允许的最 小闭合高度 H_{\min} 。 考虑到锻模翻新,一 般锻模高度 $H =$ (1.35~1.45) H_{\min} 。 H_{\min} 的值见表 5.4-32	
6	上模 最大质 量	上模质量过大将 影响锤的操作灵活 性或降低打击效 率,上模块质量应 不大于锻锤吨位的 35%	

(续表)

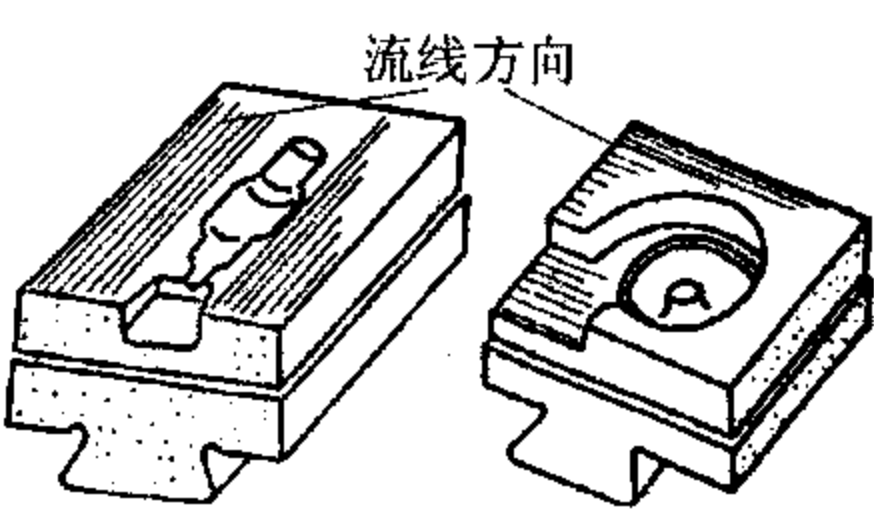
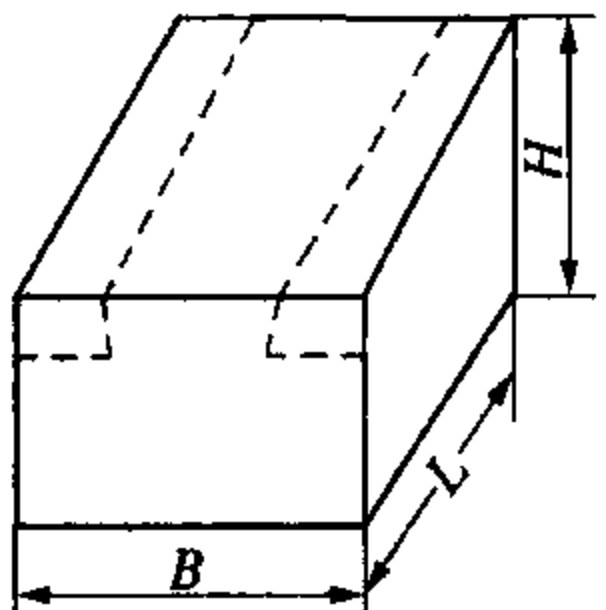
序号	项目	原 则	图 例
7	模块 流线方 向	流线方向应与打击方向垂直。对轴类锻件,流线方向应与锻件轴线一致;对圆饼类锻件,流线方向应与键槽中心线一致	
8	模块 规格标 准化	模块尺寸规格标准化(表 5.4-33),可减少模块品种	

表 5.4-31 模块最小高度/mm

终锻模膛 最大深度	<32	32~ 40	40~ 50	50~ 60	60~ 80	80~ 100	100~ 120	120~ 160	160~ 200
单个模块 最小高度	170	190	210	230	260	290	320	390	450

表 5.4-32 锻锤的最小闭合高度 H_{\min} (参考)

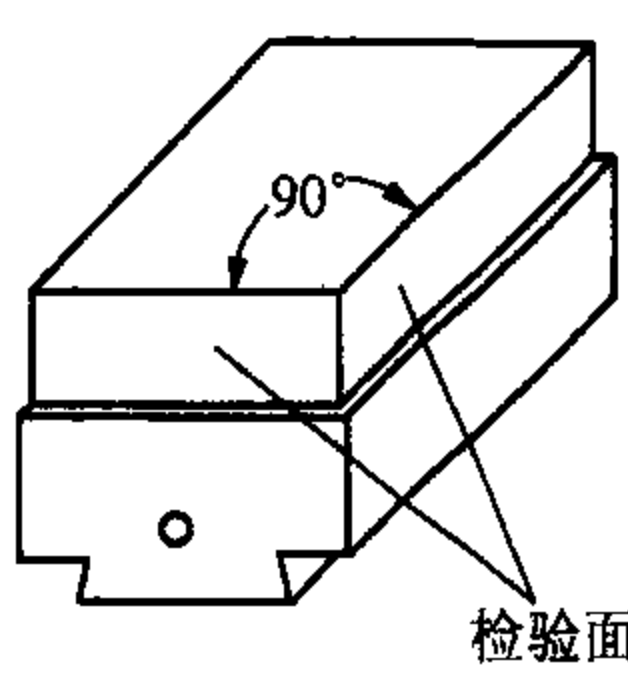
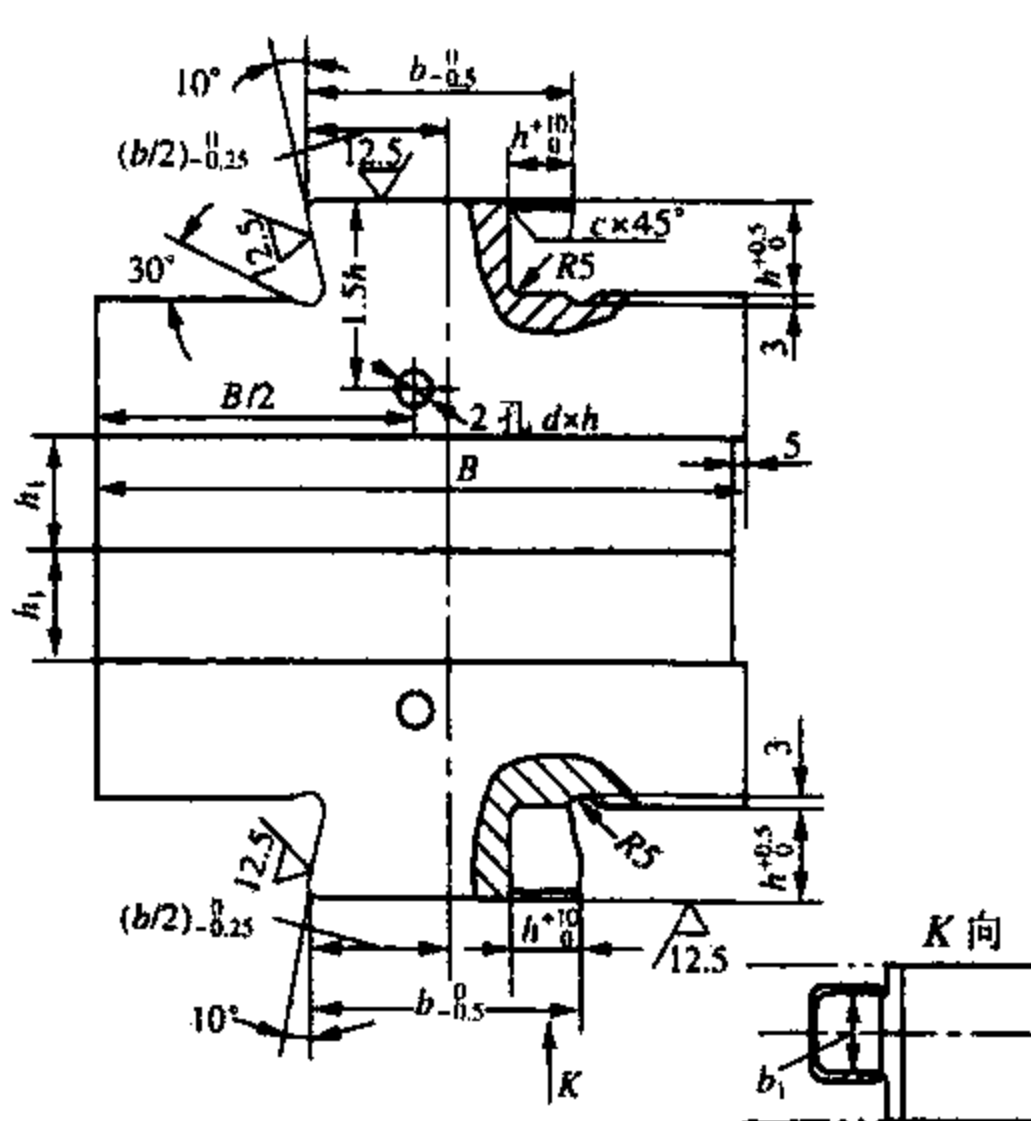
锻锤吨位/t	1	2	3	5	10	16
最小闭合 高度/mm	220	260	350	400	450	500

表 5.4-33 模块标准/mm

																		</	

6. 锻模的一般要素与装模零件(表 5.4-34)

表 5.4-34 锻模的一般要素与装模零件

序号	项目	原 则	图 例
1	检验角与检验面	检验角是锻模制造时的划线基准, 并作为上下模对齐的基准, 由两个加工表面构成约 90° 角。检验面即构成检验角的表面。检验面要求刨平, 刨进深度 5 mm	 <p>Diagram illustrating the inspection corner and inspection surface. A 90° angle is shown, with the inspection surface (检验面) indicated.</p>
2	燕尾与键槽	锻模结构见右图。锤锻模的紧固方法见图 5.4-11。燕尾和键槽的尺寸见表 5.4-35, 燕尾高度应比锻锤燕尾槽深度大 0.5~1.5 mm, 燕尾过渡处应有凹进的圆角 $R5$ (见图 5.4-12), 否则将导致锻模开裂 (见图 5.4-13)	 <p>Diagram illustrating the mold structure with dimensions and features. Key dimensions include: 10°, $(b/2) - 0.25$, 12.5, $b - 0.5$, $h + 0.10$, $c \times 45^\circ$, $R5$, $1.5h$, 30°, $B/2$, $2 \text{ 孔 } d \times h$, B, h_1, h_2, 3, $h + 0.5$, $h + 0.5$, $h + 0.5$, 12.5, 10°, $(b/2) - 0.25$, $b - 0.5$, $h + 0.10$, $R5$, $\Delta 12.5$, K, K 向, b_1.</p>
3	起重孔	起重孔供起吊锻模用, 建议 $\phi 26 \times 80$ mm	

(续表)

序号	项目	原 则	图 例
4	键	键的形状见右图, 键的尺寸见表 5.4-36	
5	楔	楔的形状见右图, 楔的尺寸见表 5.4-37, 应注意上下模的楔铁不能互换使用	<p>上模楔铁 (左) 和下模楔铁 (右)</p>

(续表)

序号	项目	原 则	图 例
6	垫片	垫片在安装锻模时,根据实际情况与键或楔配合使用。垫片材料为 45、50 或 65Mn,用冷轧钢板切成,厚度 0.5,0.75,1,2 mm	

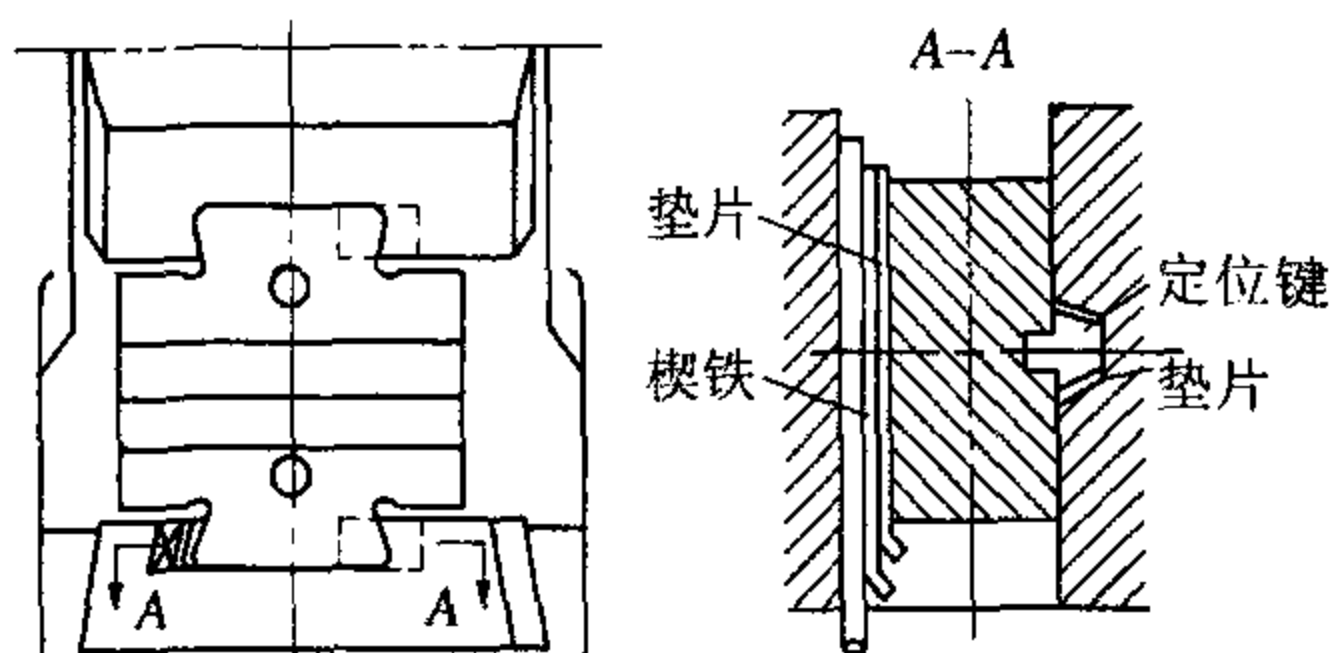


图 5.4-11 锤锻模紧固方法

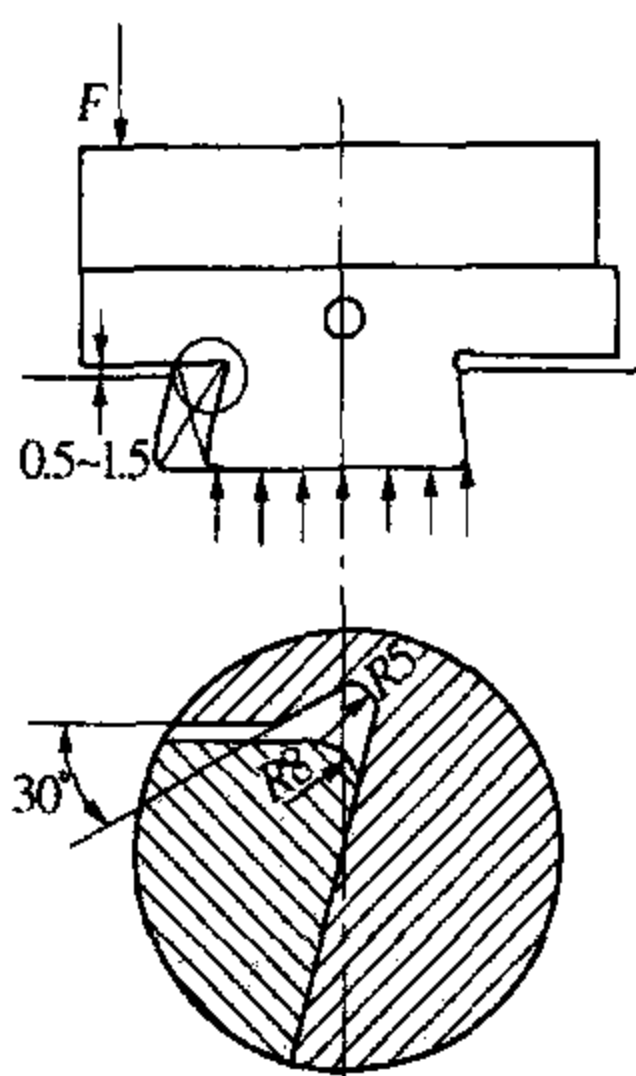


图 5.4-12 锻模燕尾配合要求

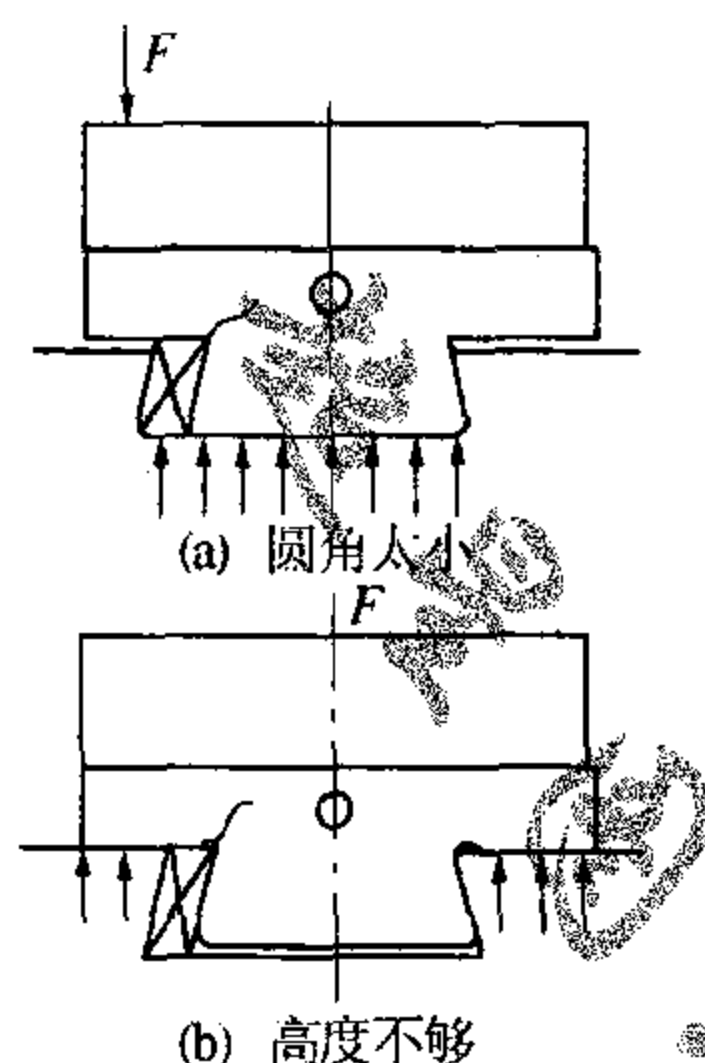


图 5.4-13 锻模燕尾紧固状况

表 5.4-35 锤锻模燕尾和键槽尺寸/mm

锻锤吨位/t	b	h	b_1			$d \times S$
			1	2	3	
0.5	160	45.5	45	48	51	30×60
1~2	200	50.5	50	53	56	30×60
3~5	300	65.5	75	78	81	30×60
10~16	400	80.5	100	103	106	50×100

表 5.4-36 键的尺寸/mm

锻锤吨位/t	f	h	L	L_1	b_1		
					1	2	3
0.5	72	45	90	46	44.9	47.9	50.9
1~2	80	50	97	48	49.9	52.9	55.9
3~5	110	65	123	62.5	74.9	77.9	80.9
10~16	132	80	148	75	99.9	102.9	105.9

表 5.4-37 楔的尺寸/mm

锻锤吨位/t	h	上楔铁		下楔铁		锻锤吨位/t	h	上楔铁		下楔铁	
		b	l	b	l			b	l	b	l
0.5	45	35.8	480	35.7	700	3	65	50.8	930	50.7	1 100
1	50	40.8	580	40.7	800	5	65	50.8	1 130	50.7	1 300
1.5	50	40.8	730	40.7	900	10	80	60.8	1 330	60.7	1 500
2	50	40.8	830	40.7	1 000	16	80	60.8	1 630	60.7	1 700

注:材料为 45 钢,中间部分硬度为 207~255 HB;两端硬度为 241~285 HB。

7. 镶块锻模

锻件较小、生产批量不大时,可采用镶块锻模(图 5.4-14),镶块锻模有圆形(图 5.4-15)和矩形(图 5.4-16)两种。镶块尺寸由表 5.4-38 确定。矩形镶块前后方向定位方法有三种(图 5.4-17、图 5.4-18、图 5.4-19)。

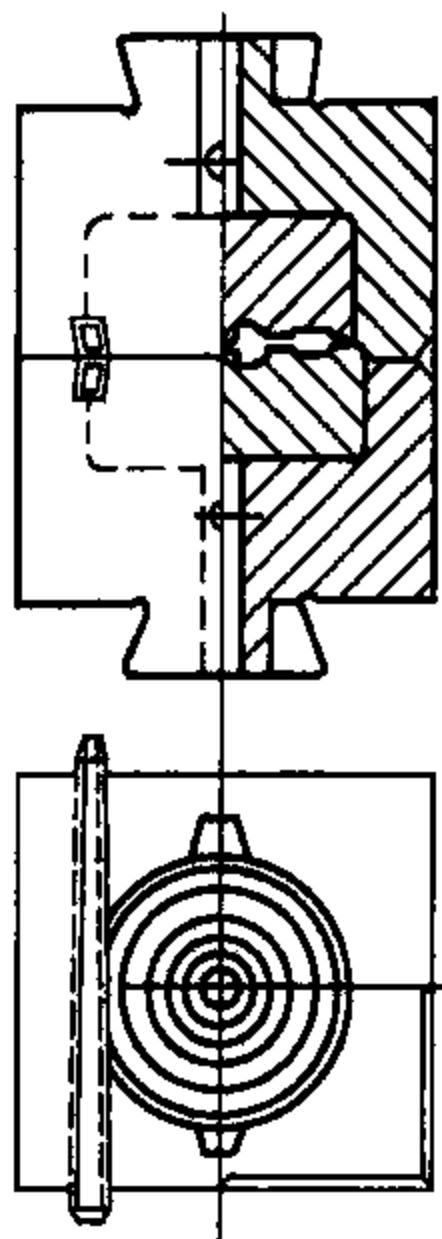


图 5.4-14 圆形镶块锻模

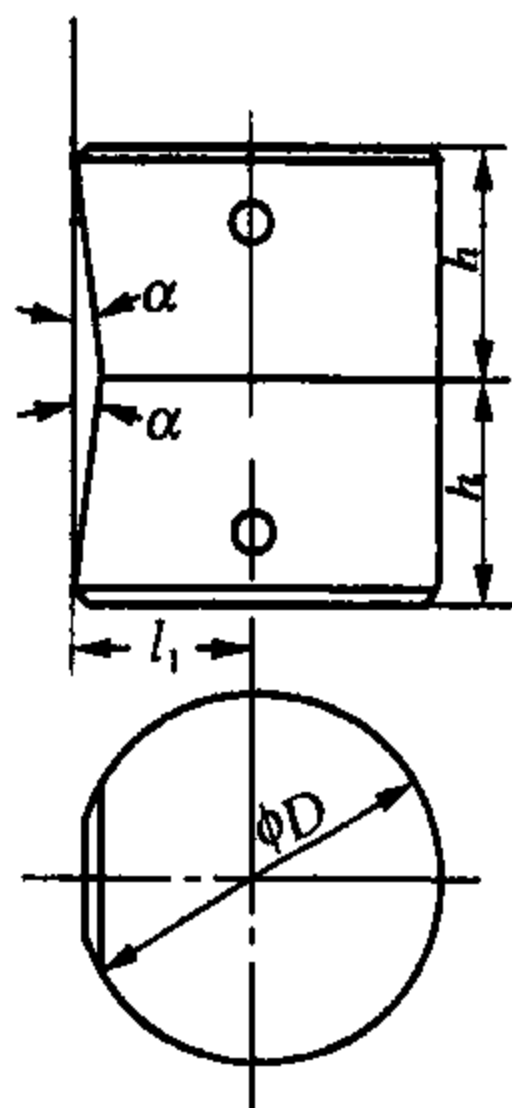


图 5.4-15 圆形镶块

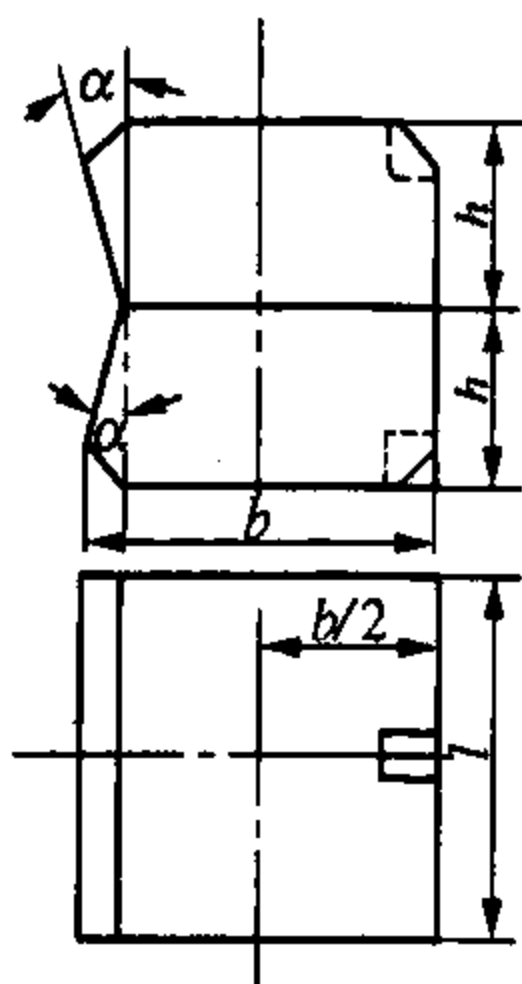


图 5.4-16 矩形镶块

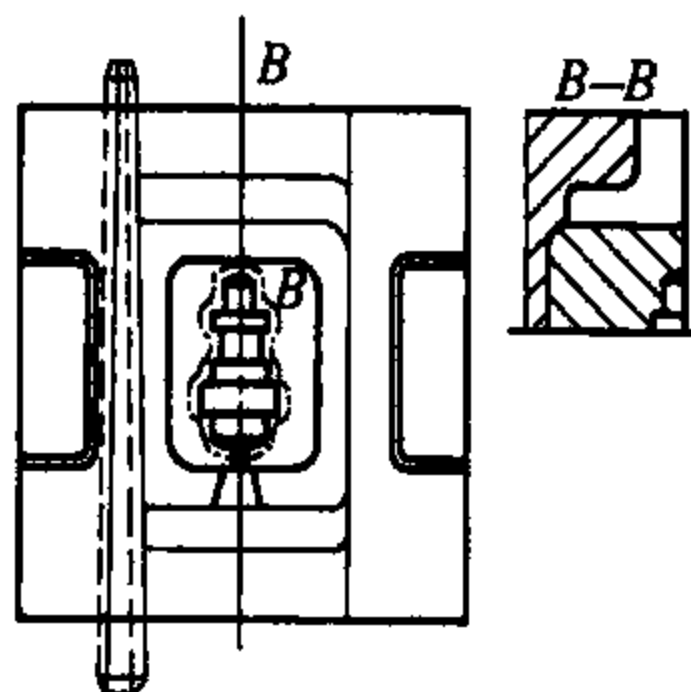


图 5.4-17 封闭式定位

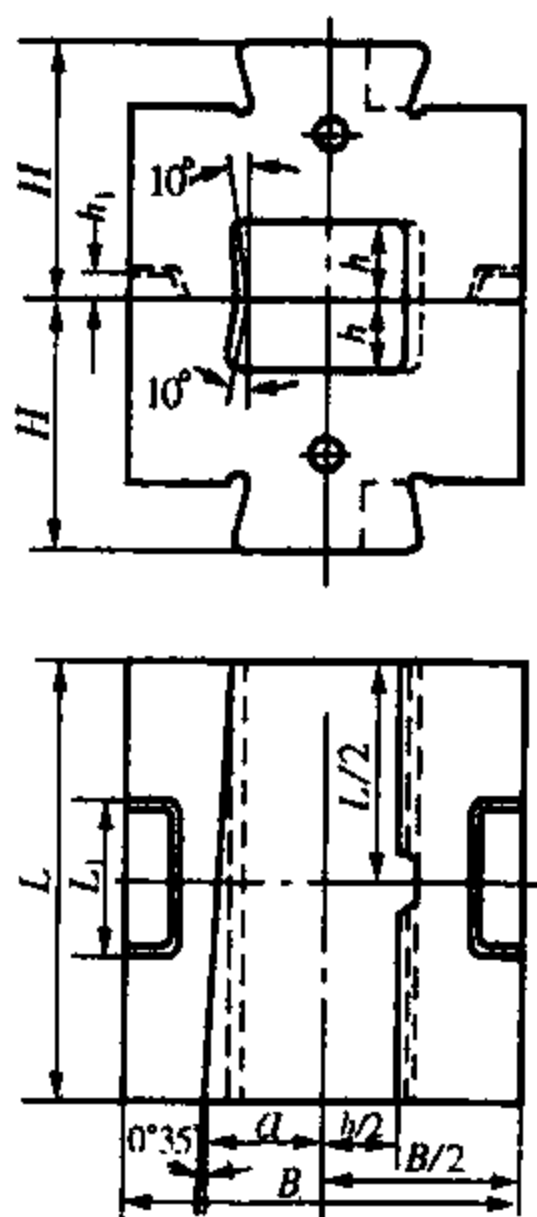


图 5.4-18 键定位

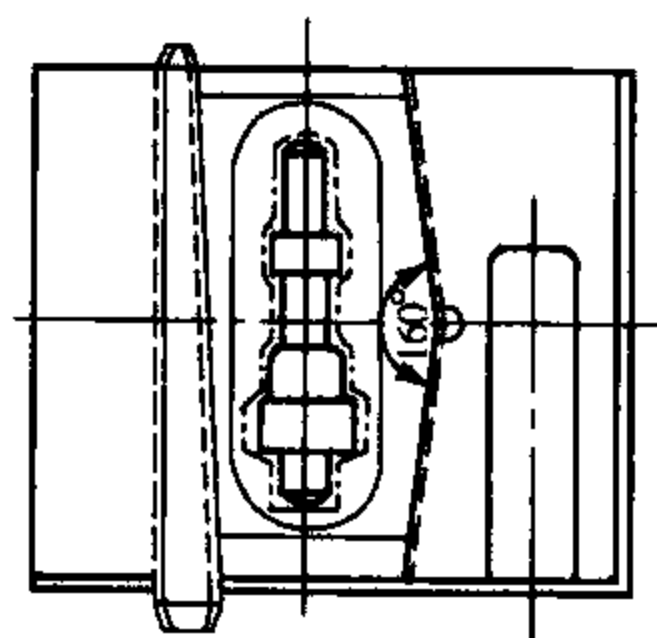


图 5.4-19 角定位

表 5.4-38 镶块的尺寸/mm

项 目	公式和数据	说 明
镶块外径 D	$D \geq D_{\text{锻}} + (1.5 \sim 2)S_0$	S_0 ——模块最小外壁厚度
镶块宽度 b	$b \geq B_{\text{锻}} + (1.5 \sim 2)S_0$	$B_{\text{锻}}$ ——锻件最大宽度
镶块长度 L	$L \geq L_{\text{锻}} + (1.5 \sim 2)S_0$	$D_{\text{锻}}$ ——锻件外径
镶块高度 h	$h \geq H_{\text{模}} + (1.5 \sim 2)S_0$	$L_{\text{锻}}$ ——锻件最大长度
镶块斜度 α	$\alpha = 5^\circ \sim 8^\circ$	$H_{\text{模}}$ ——模膛最大深度

四、锤锻模设计实例

1. 锻件图制定(表 5.4-39)

表 5.4-39 锻件图制定

序号	项 目	说 明
1	分模线的选定	根据汽车发动机连杆的形状特点是典型工字筋类锻件,确定分模线为上下对称的直分模线
2	锻件质量估算	可用划分简单实体法对锻件质量进行估算,其用途仅用于确定形状复杂系数、公差、余量等参数,因此估算不必太精确。连杆的估算锻件质量约 1.5kg
3	形状复杂系数	$S = \frac{m_L}{m_H} = \frac{1.5 \times 10^3}{245 \times 102 \times 40 \times 7.85 \times 10^{-3}} \approx 0.19, S_3 \text{ 级, 较复杂锻件}$
4	材质系数	连杆材料为 45 钢,材质系数为 M1
5	锻件公差确定	按照普通级查表 5.2-8,表 5.2-10 得:长度公差: $^{+1.9}_{-0.9}$,宽度公差: $^{+1.5}_{-0.7}$,厚度公差: $^{+1.5}_{-0.5}$,错差 0.6,残留飞边 0.7,表面缺陷深度 0.5

(续表)

序号	项 目	说 明
6	机加工余量	零件需磨削加工, $R_a < 1.6$, 查表得: 厚度和水平方向单边加工余量均为 $1.7 \sim 2.2 \text{ mm}$, 取 2.0 mm
7	精压工序	连杆的机加工用大小头端面定位, 要求较高的平面度和厚度精度, 因此在热处理、清理后增加一道精压工序。精压后公差 $\pm 0.2 \text{ mm}$, 加工余量 0.75 mm , 考虑到精压余量、厚度公差调整为 $\begin{smallmatrix} -1.0 \\ -0.3 \end{smallmatrix}$
8	模锻斜度	根据零件图、模锻斜度 7° , 是合理的
9	圆角半径	厚度方向单边余量 $= 0.75 + 0.4 = 1.15$, 需倒角的叉内圆角半径取 $R3$, 其余部位取 $R1.5$
10	中心距公差	查表得中心距 217 ± 0.8
11	机加工定位	大小头端面支承、压紧, 小头外圆分中
12	技术要求	① 未注明模锻斜度为 7° ② 未注明圆角半径为 $R1.5$ ③ 表面缺陷深度不大于 0.5 ④ 错差不大于 0.6 ⑤ 残留飞边不大于 0.7 ⑥ 热处理: 调质硬度 $207 \sim 241 \text{ HB}$ ⑦ 锻件表面酸洗 ⑧ 未注明尺寸公差按 GB/T12362 普通级 ⑨ 锻件 100% 探伤
13	锻件功能分类	$\frac{45 - \text{GB699}}{\text{II} - \text{GB/T12363}}$
14	打硬度处	连杆小头平面
15	绘制锻件图	见图 5.4-20

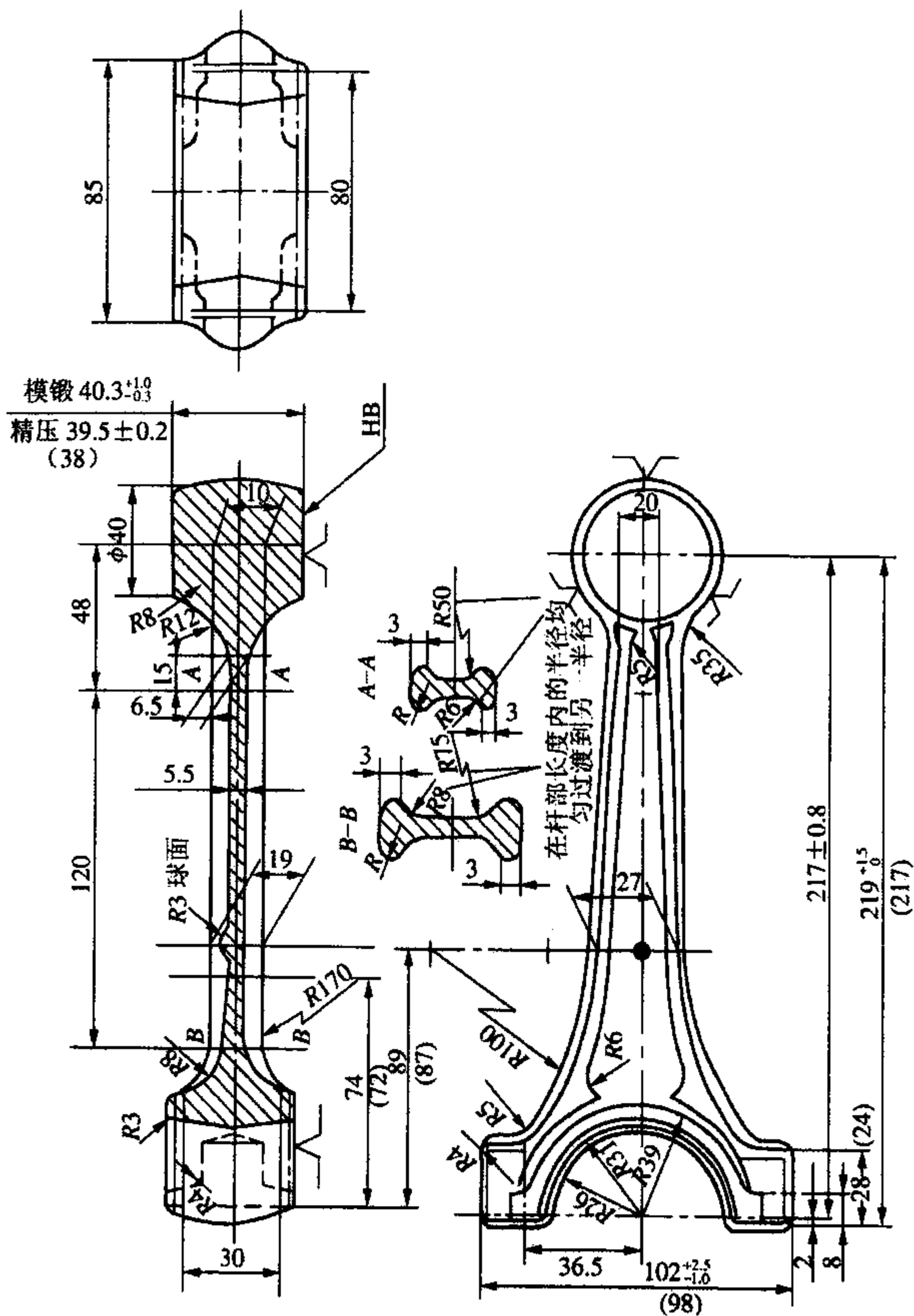


图 5.4-20 连杆锻件图

2. 锻锤吨位的确定(表 5.4-40)

表 5.4-40 锻锤吨位的确定

序号	项 目	说 明
1	锻件投影面积	锻件在水平面上的投影面积(可用求积仪或坐标纸求得)为 $8\,000\text{ mm}^2$
2	锻件周长	锻件周长 680 mm
3	确定飞边尺寸	$h=0.015\sqrt{F_{\text{件}}}=0.015\sqrt{8\,000}=1.34\text{ mm}$ 查表 5.4-5, 可选编号为 4 的飞边槽, 压入法成形, 飞边槽宽度尺寸选用第二组, $h=1.6\text{ mm}$, $b=9\text{ mm}$, $b_1=25\text{ mm}$, $A_K=113\text{ mm}^2$, $h_1=3.5\text{ mm}$, 飞边形式为形式 I (表 5.4-3), 也可以按表 5.4-4, 参考 1~2 t 锤(根据锻件质量估计)选定: $h=1.6\text{ mm}$, $h_1=4\text{ mm}$, $b=8\text{ mm}$, $b_1=25\text{ mm}$, $r=2\text{ mm}$, $A_K=126\text{ mm}^2$ 飞边平均断面积 $A_{\text{飞}}=0.7 A_K=88\text{ mm}^2$ 飞边体积 $V_{\text{飞}}=680\times 88=60\,000\text{ mm}^3$
4	确定锻锤吨位	假定飞边充满全部 50%, 飞边宽度大约为: $8+12.5=20.5$, 飞边的水平投影面积约为 $680\times 20.5=13\,940\text{ mm}^2$ $F_{\text{总}}=8\,000+13\,940=21\,940\text{ mm}^2$ $G=6.3\times 1\times 21\,940\approx 1\,400\text{ kg}=1.4\text{ t}$ 选用 2t 模锻锤

3. 绘制热锻件图

按锻件收缩率 1.5% 绘制热锻件图(图 5.4-21)。并对大小头厚度、小头外圆等尺寸作局部修正。

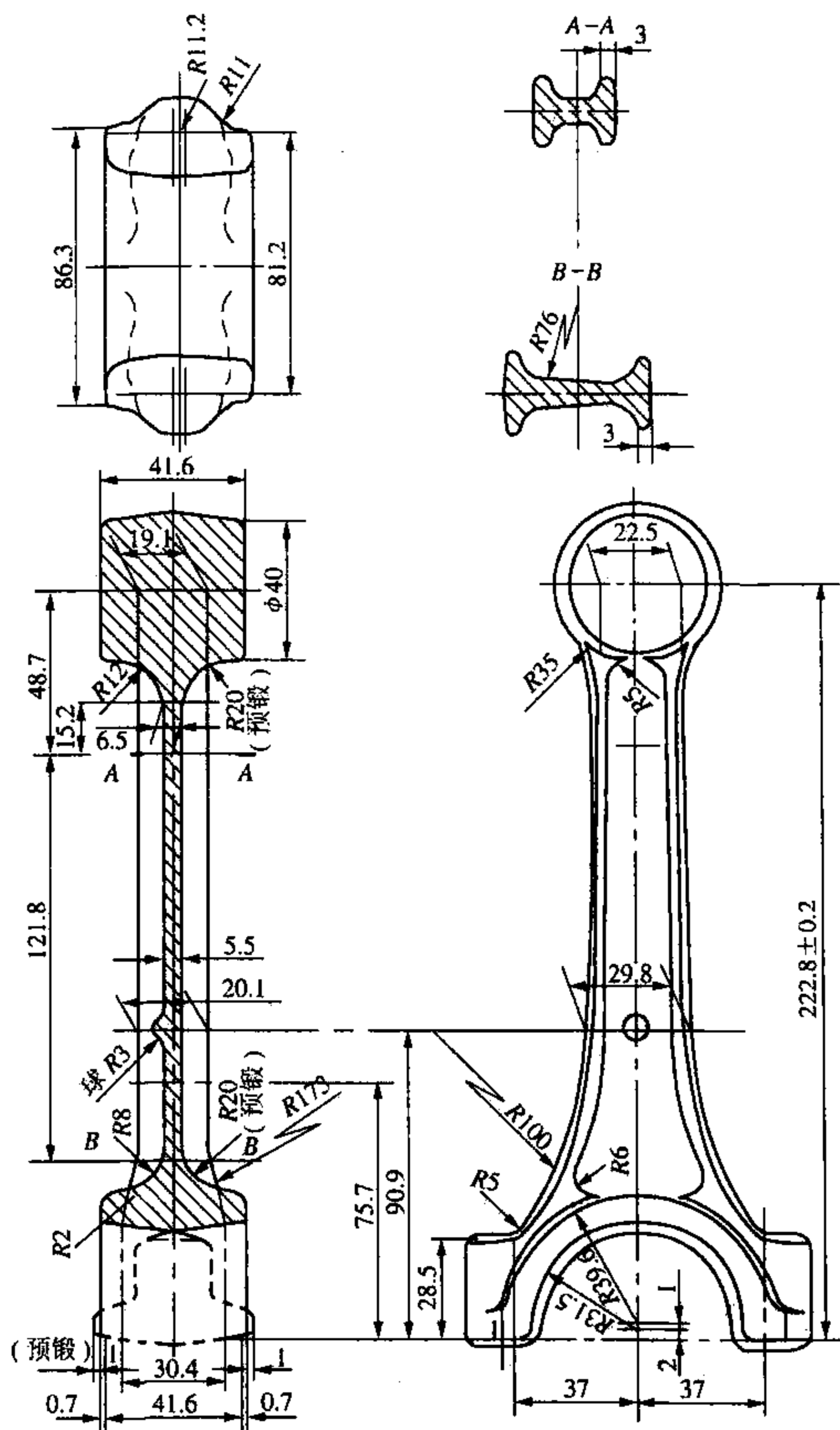


图 5.4-21 连杆热锻件图

4. 作计算毛坯图

共选 13 个断面,并在坐标纸上按 1:1 作出断面图(图 5.4-22),直接读取断面积(表 5.4-41)。绘出计算毛坯图(图 5.4-23),尺寸均按热锻件图。

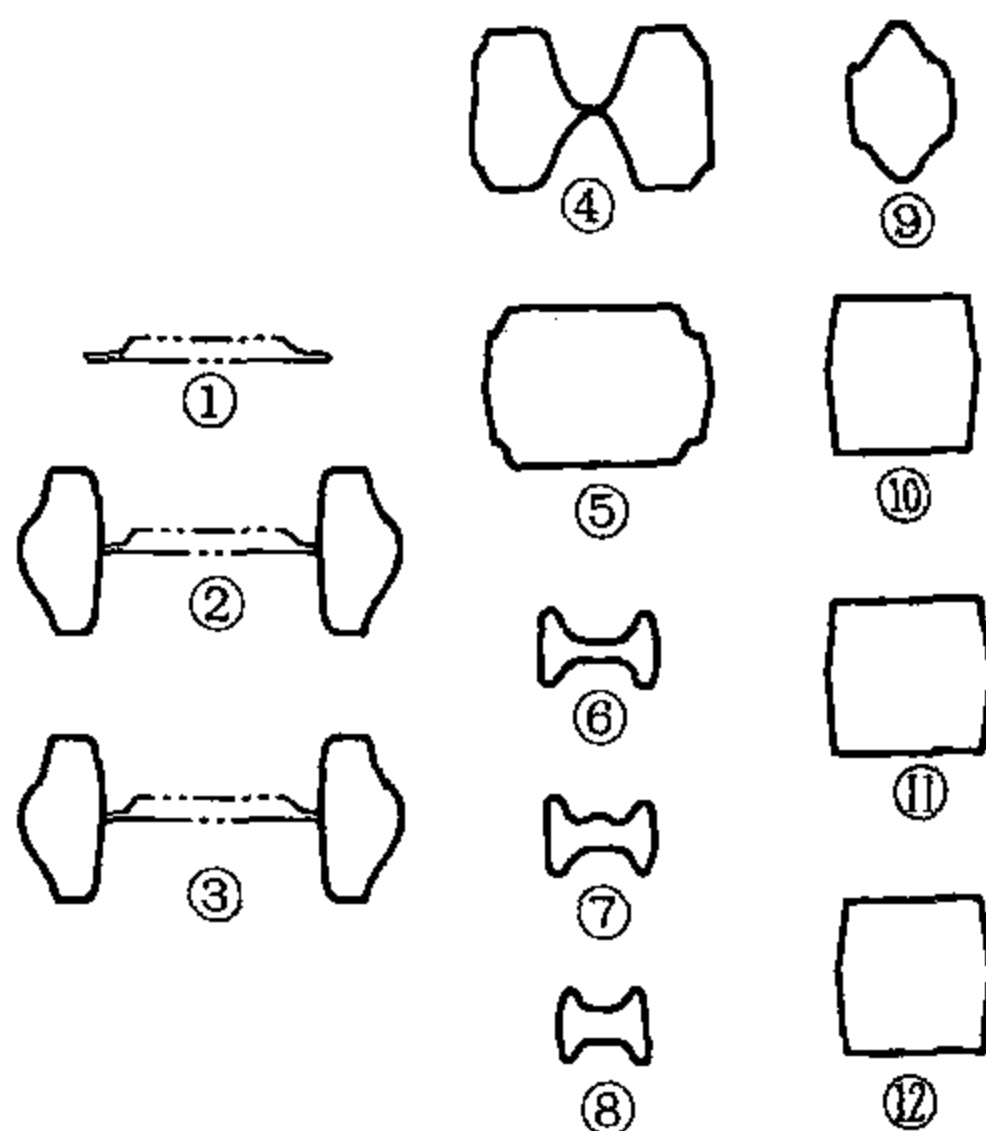


图 5.4-22 断面图

从计算毛坯图中截面图所围面积可读出锻件体积 = $184\,000\text{ mm}^3$, $V_{\text{锻}} + V_{\text{飞}} = 20 \times 12\,512 = 250\,240\text{ mm}^3$ 得锻件质量 = 1.44 kg 。

$$\text{平均断面积 } A_{\text{均}} = \frac{250\,240}{248} = 1\,009\text{ mm}^2$$

$$\text{平均断面边长 } a_{\text{均}} = \sqrt{A_{\text{均}}} = 31.8\text{ mm (原材料为方钢)}$$

按体积相等修正截面图和计算毛坯图(图 5.4-23 中双点划线)。修正后最大断面积 $2\,440\text{ mm}^2$, 最大断面边长 $a_{\text{max}} = 49.4\text{ mm}$ 。

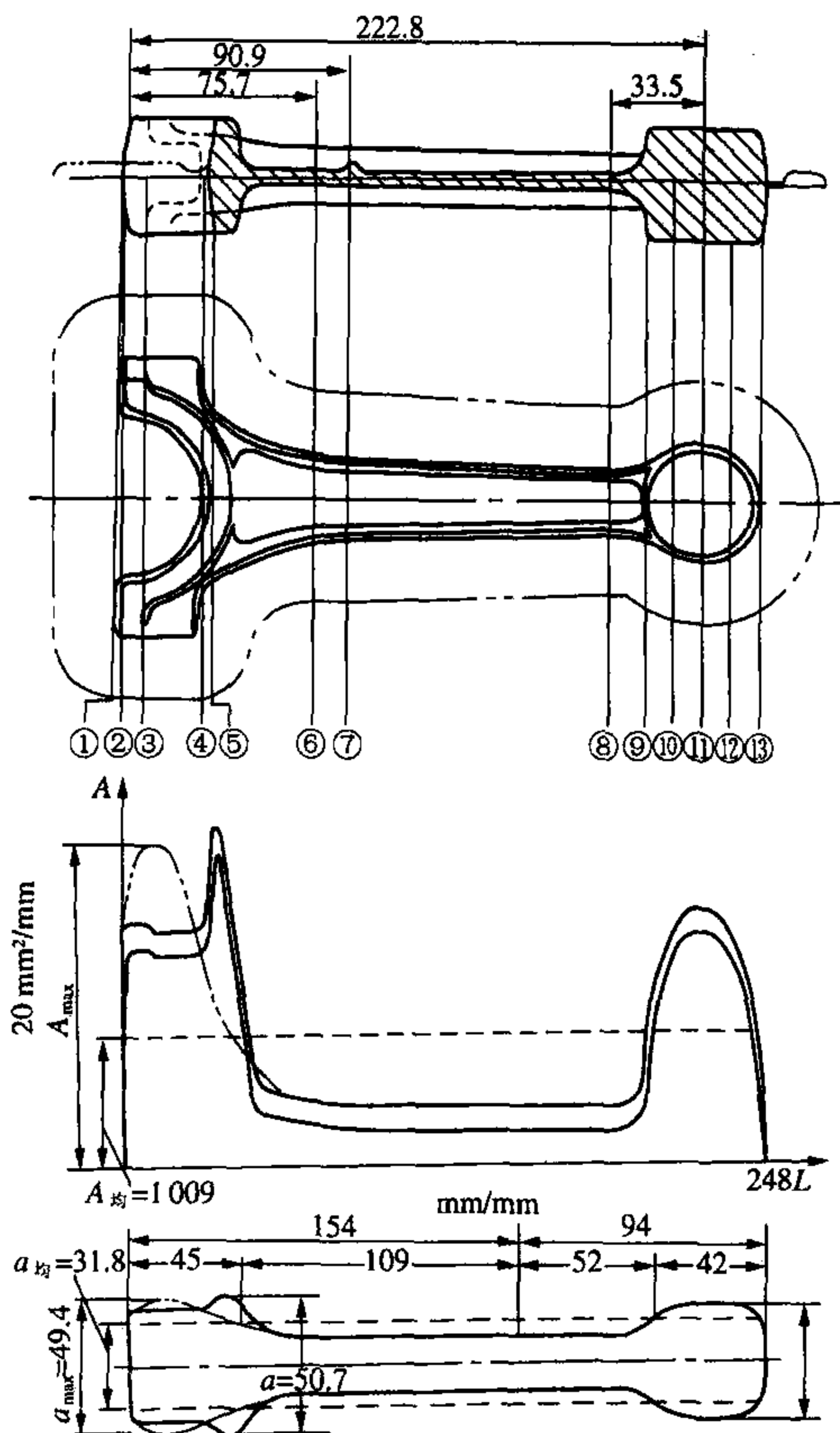


图 5.4-23 计算毛坯图

表 5.4-41 计算毛坯的计算数据

断面号	$A_{\text{锻}}$ /mm ²	$A_{\text{飞}} = 2A_{\text{飞}}$ 或 $1.4A_{\text{飞}}$ /mm ²	$A_{\text{计}} =$ $A_{\text{锻}} + A_{\text{飞}}$ /mm ²	$a_{\text{计}} = \sqrt{A_{\text{计}}}$ /mm	修正 $A_{\text{计}}$ /mm ²	修正 $a_{\text{计}}$ /mm	K	$h = K$ (修正 $a_{\text{计}}$) /mm
1	246	252	498	22.3	—	—	1.1	24.5
2	1 658	176	1 834	42.8	2 000	44.7	1.1	49.2
3	1 612	176	1 788	42.3	2 440	49.4	1.2	59.3
4	1 888	176	2 064	45.4	1 480	38.5	1.1	42.4
5	2 392	176	2 568	50.7	1 300	36.1	1.1	39.7
6	308	176	484	22	—	—	0.8	17.6
7	300	176	476	21.8	—	—	0.8	17.4
8	268	176	444	21.1	—	—	0.8	16.9
9	776	176	952	30.9	—	—	0.9	27.8
10	1 600	176	1 776	42.1	—	—	1	42.1
11	1 764	176	1 940	44.1	—	—	1	44.1
12	1 600	176	1 776	42.1	—	—	1	42.1
13	0	252	252	15.9	—	—	0.9	14.3

5. 锻模设计(表 5.4-42)

表 5.4-42 锻模设计

序号	项 目	说 明
1	终锻模膛	按热锻件图, 见图 5.4-21, 图 5.4-24
2	预锻模膛	预锻模膛与终锻模膛不同的地方, 见图 5.4-21, 预锻模叉部采用劈料台, 见图 5.4-24
3	制坯工步	连杆属于有工字筋的锻件, 工步选为: 拔长—滚挤—预锻—终锻

(续表)

序号	项 目	说 明
4	毛坯尺寸	$V_p = (V_d + V_f)(1 + \delta) = \frac{250\,240}{1.015^3}(1 + 3\%) = 250\,000 \text{ mm}^3$ <p>按表 5.3-10, 计入飞边的锻件最大截面积 $F_{dmax} = 2\,440 \text{ mm}^2$ 毛坯截面积 $F_p = K \cdot F_{dmax} = 0.85 \times 2\,440 = 2\,074 \text{ mm}^2$ 方形毛坯边长 $a_p = \sqrt{F_p} = \sqrt{2\,074} \approx 45.54 \text{ mm}$ 取 $a_p = 45 \text{ mm}$, 毛坯长度 $L_p = \frac{V_p}{a_p^2} = \frac{250\,000}{45^2} = 123 \text{ mm}$</p>
5	调头模锻	一料两件, 毛坯长度 $123 \times 2 = 246 \text{ mm}$
6	滚挤模膛	见图 5.4-25
7	拔长模膛	见图 5.4-26
8	锻模结构	见图 5.4-24

6. 连杆模锻工艺流程

- ① 下料: 500 t 剪床冷剪下料。
- ② 加热: 500 kW 中频感应加热, $1\,200 \sim 1\,250^\circ\text{C}$ 。
- ③ 模锻: 2 t 模锻锤, 拔长、滚挤、预锻、终锻。
- ④ 热切边: 160 t 切边压力机。
- ⑤ 磨毛刺: $\phi 400 \text{ mm}$ 砂轮机。
- ⑥ 热处理: 连续式电炉, 调质, $207 \sim 241 \text{ HB}$ 。
- ⑦ 酸洗: 酸洗槽。
- ⑧ 探伤: 100% 荧光磁力探伤。
- ⑨ 冷校正: 1 t 模锻锤。
- ⑩ 精压: 1 000 t 精压机。
- ⑪ 检验。

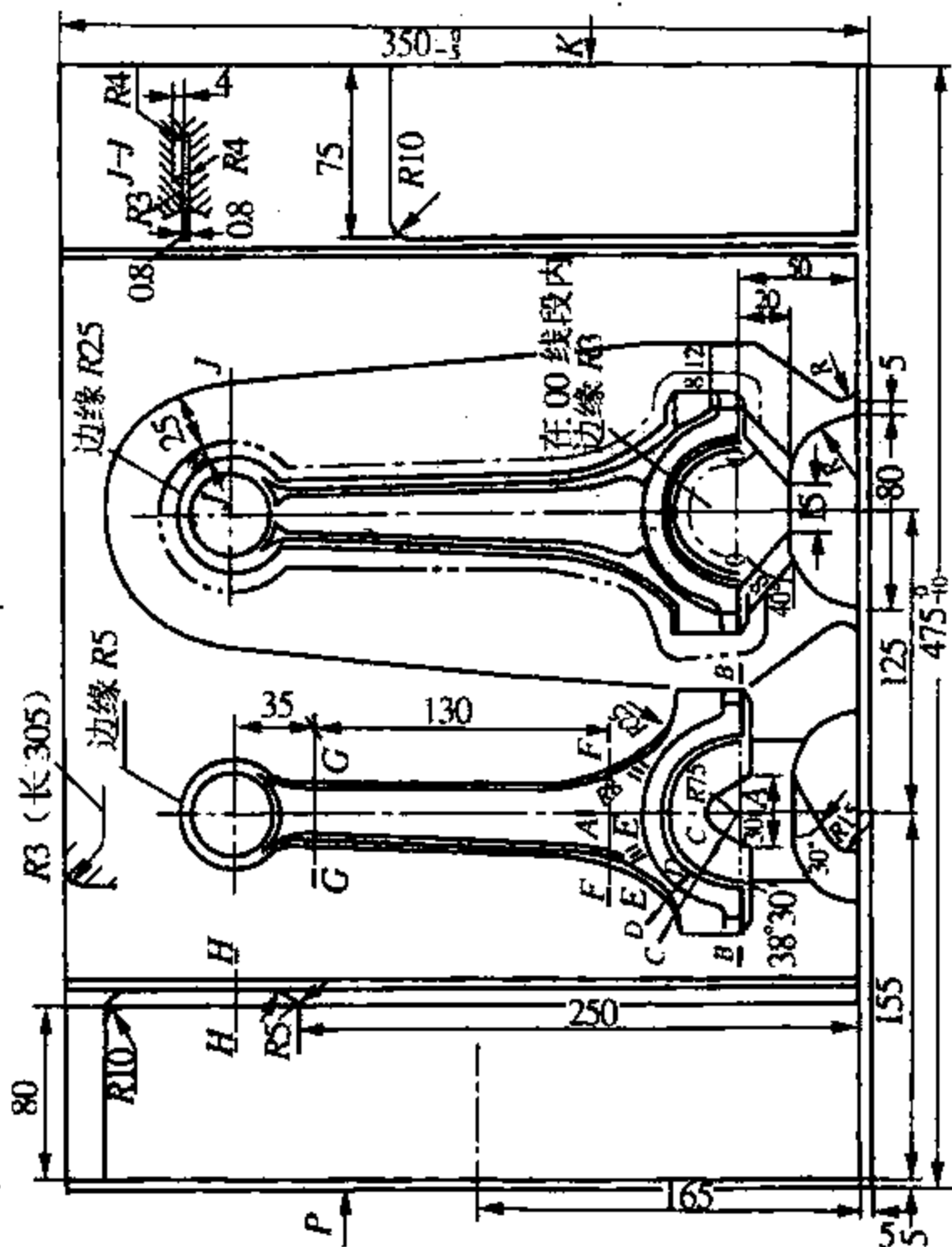


图 5.4-24 连杆锤锻模图

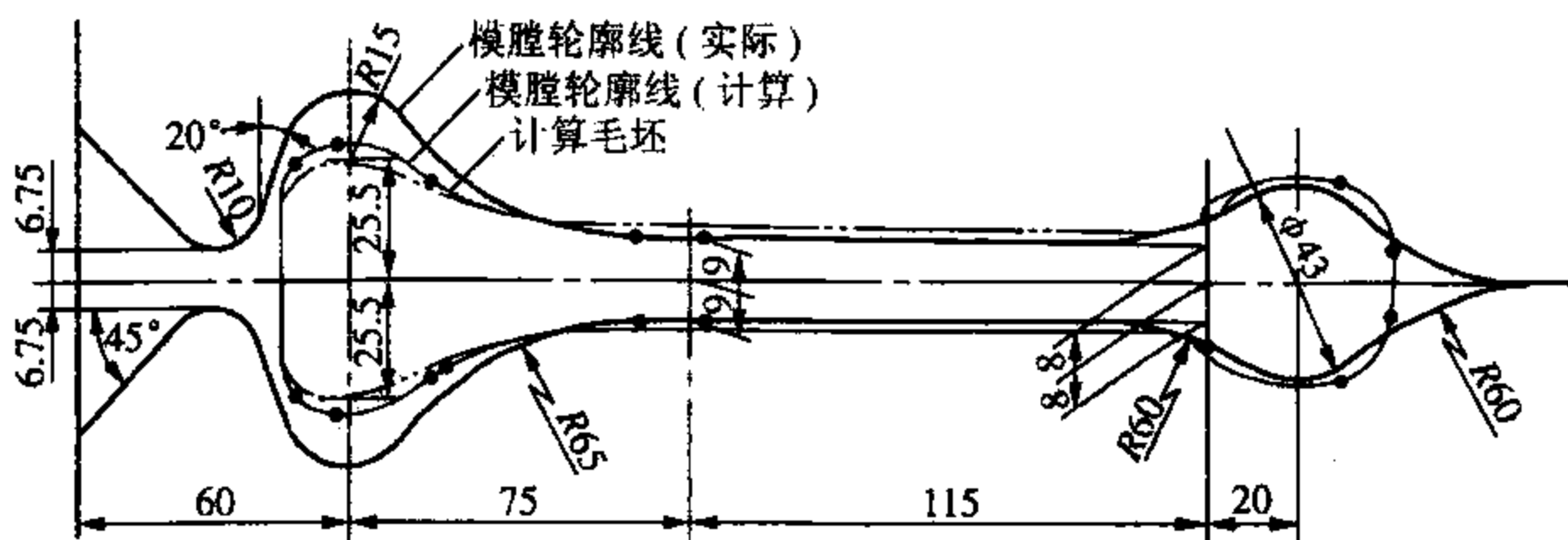


图 5.4-25 滚挤模膛

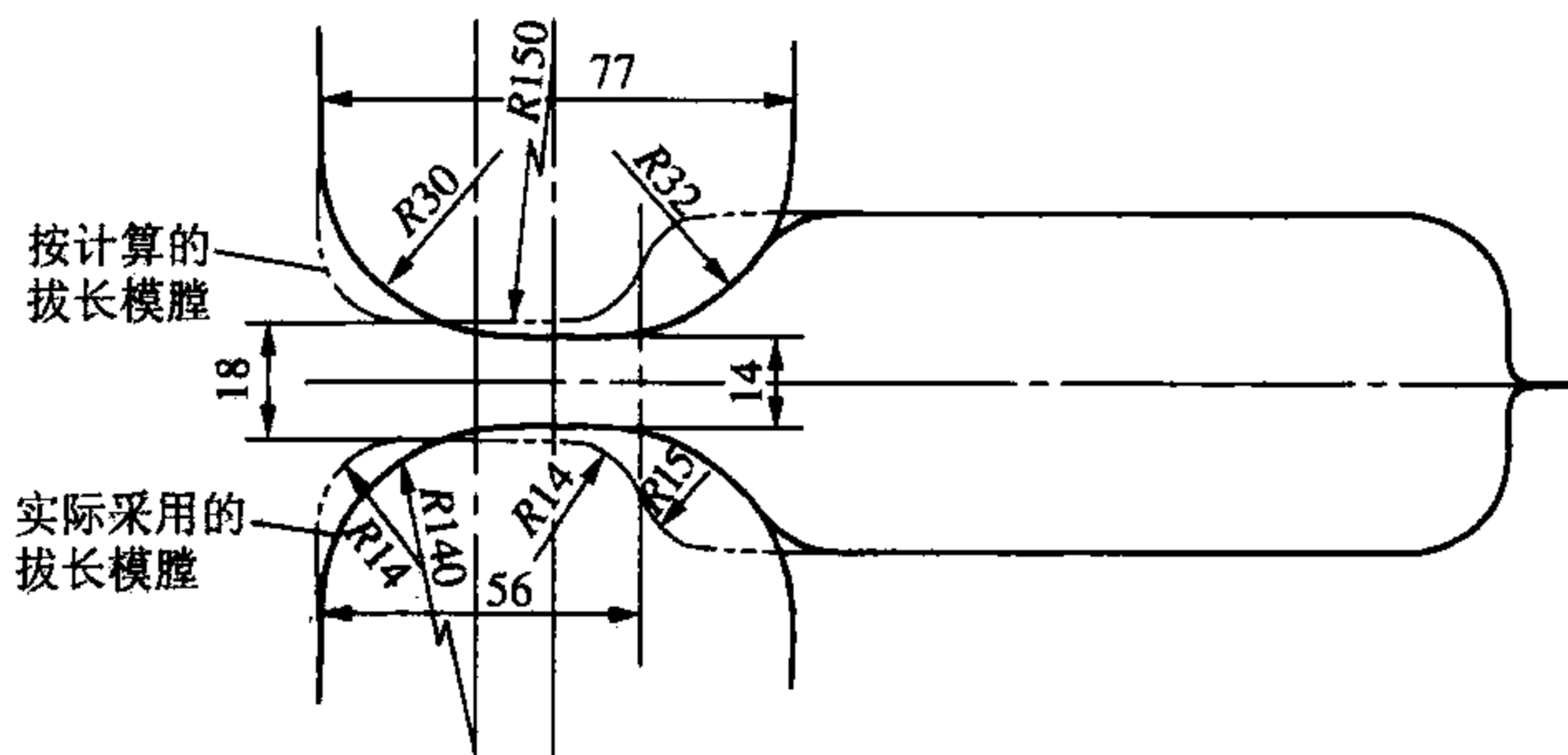


图 5.4-26 拔长模膛

第六章 压力机上模锻

第一节 热模锻压力机上模锻

热模锻压力机采用曲轴、连杆和滑块传动机构,是为热模锻件生产而专门设计制造的一种压力机。热锻压机震动小、低噪音;机架刚性大、弹性变形小;滑块导向精度高、承受偏载能力强;有上、下顶出料装置和模具润滑装置等,以保证热模锻工艺顺利进行。所以,在成批量生产中,已愈来愈多采用先进的热模锻压力机模锻。

一、热模锻压力机上模锻特点和锻件设计

1. 热模锻压力机上模锻特点(表 6.1-1)

表 6.1-1 热模锻压力机上模锻特点

模 锻 特 点	应用和设计注意事项
1. 载荷为静压力,变形力由机架本身承受	<ul style="list-style-type: none">① 震动小,噪音低,劳动条件好,适合成批量生产② 滑块速度低,惯性力不大,金属在一次行程内完成变形,所以向水平方向流动较为剧烈,向高度方向流动较缓慢,充填模膛较困难,通常需采用正确的制坯和预锻工步③ 模具寿命较低,应采用较好的模具钢和润滑剂
2. 滑块行程固定	<ul style="list-style-type: none">① 锻件尺寸精度好,而且稳定② 要防止闷车,上、下模不能压靠,必须留有适当的间隙③ 不利于拔长、滚压等制坯工步。要另置辊锻机、电锻机、空气锤和预成形压力机等制坯设备

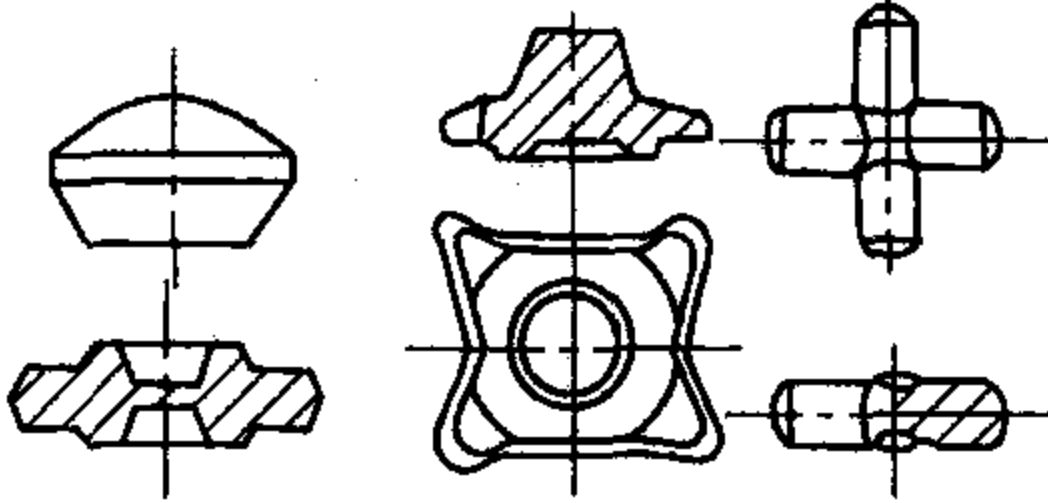
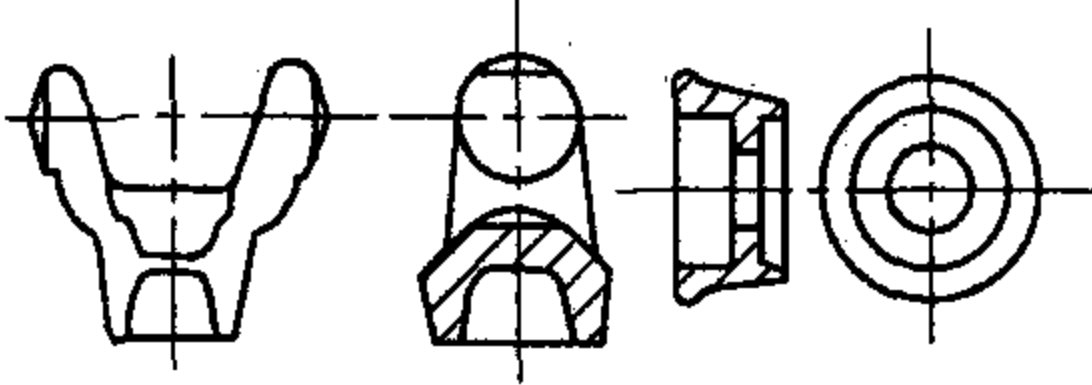
(续表)

模 锻 特 点	应用和设计注意事项
3. 导向良好, 承受偏载能力强	① 错模小, 锻件质量好 ② 适合多模膛模锻 ③ 模具易采用镶块结构, 费用低, 拆换方便
4. 有上、下顶出装置	① 锻件出模方便, 可减小出模斜度 ② 对一些长轴类锻件, 可采用立式模锻和挤压工艺

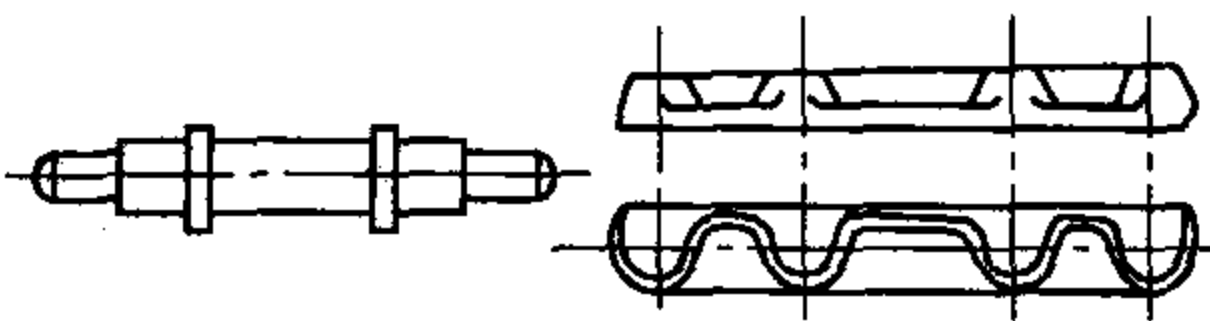
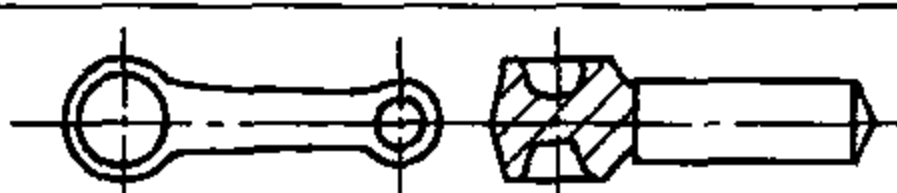
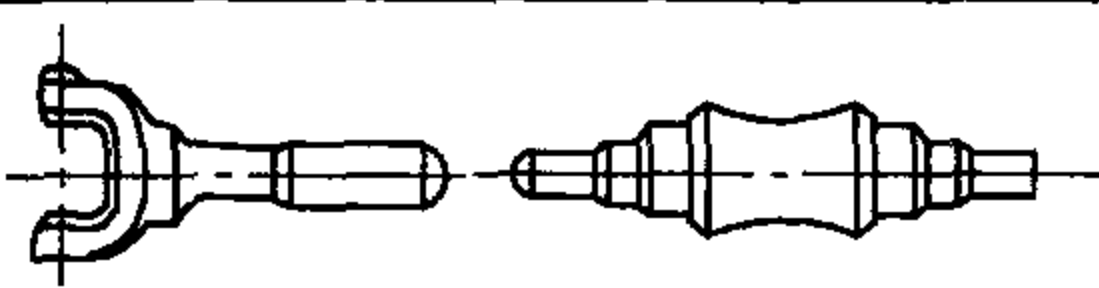
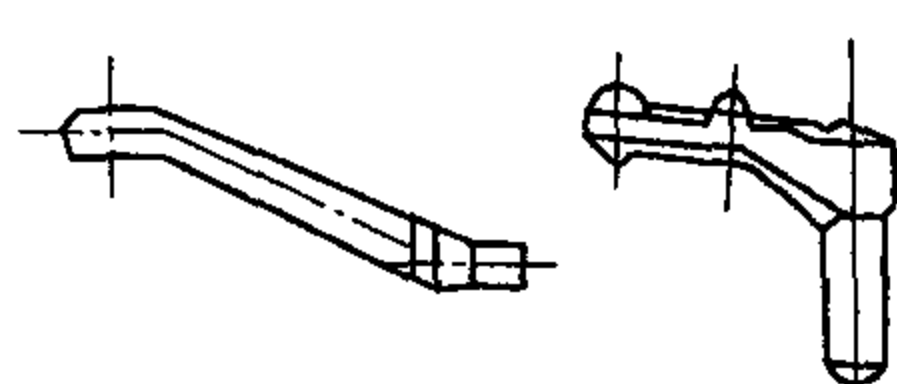
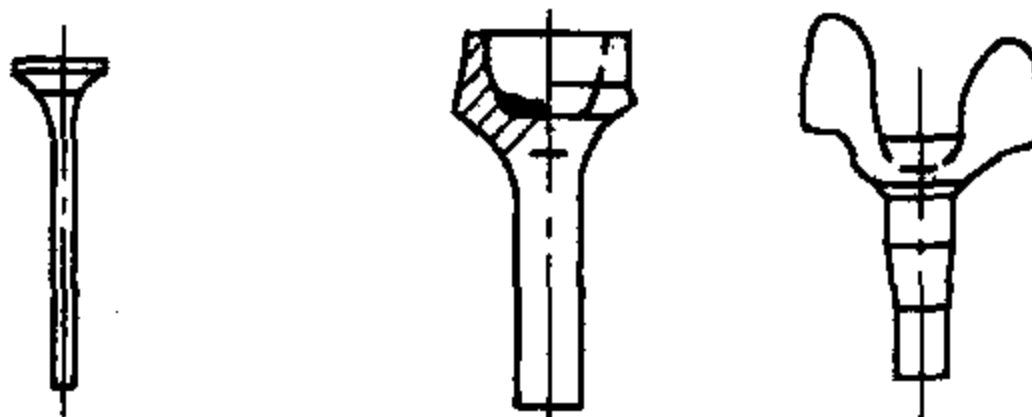
2. 热模锻压力机上模锻件分类

根据锻件的形状和模锻工艺特点, 热模锻压力机上模锻件可归纳为三大类, 见表 6.1-2。

表 6.1-2 模锻件分类

类	组	锻 件 示 例	主 要 特 点
I	1		在水平面上投影为圆形或方形 主要靠 锻粗和少 量挤压成 形
	2		不但靠 锻粗, 而 且有较大 挤压成形

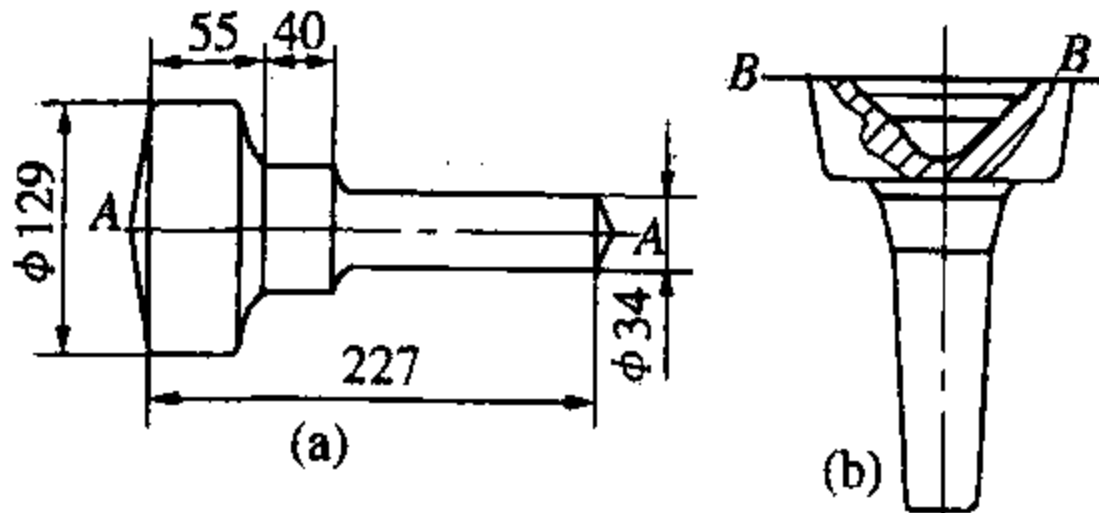
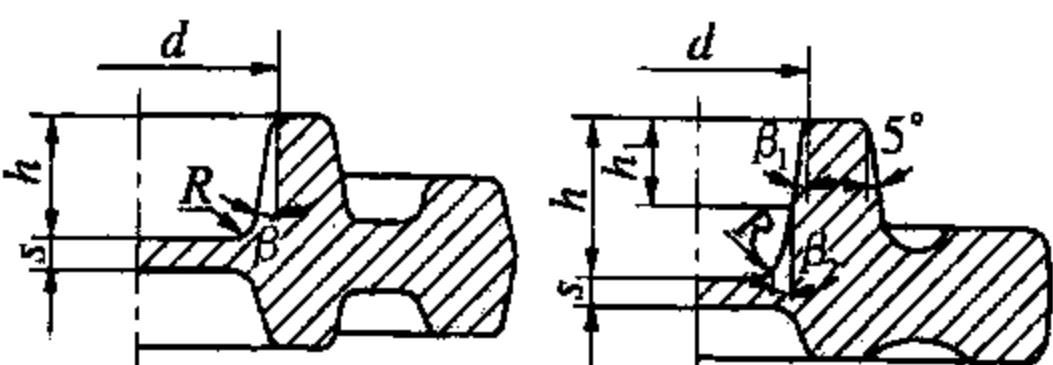
(续表)

类	组	锻件示例	主要特点	
II	1		杆 类	截面变化不大
	2			截面变化较大
	3			截面变化大
	4			弯曲杆
III				主要靠挤压和不大的镦粗成形

3. 锻件设计

在热模锻压力机上模锻所用的锻件设计原则和锤上模锻相同。但考虑到锻压机的结构和模锻工艺特点,在某些参数的具体数值上有所差别。具体设计见表 6.1-3。关于飞边槽的选定见表 6.1-4。

表 6.1-3 锻件设计

内容	简图、表格和说明			
分模面				<p>① 与锤上模锻的锻件分模面位置基本相同</p> <p>② 有顶出装置,可采用立锻或挤压工艺,此时,以端面为分模面如图 b,立锻能锻出内孔,节约材料,降低成本</p>
余量和公差	按国家标准 GB12362 - 90 确定(见第五章)			
模锻斜度				<p>① 有顶料机构,模锻斜度可比锤模锻小一个级别 外斜度取 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 常用 5° 内斜度取 $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$</p> <p>② 参照国家标准 GB12361 - 90</p> <p>③ 当孔深大于 0.75 倍孔径时,可采用两级模锻斜度</p>
	相对孔深	$h \leq 0.5 d$	$h \leq 0.75 d$	$h > 0.75 d$
	$\beta(^{\circ})$	10	12	—
	$\beta_1(^{\circ})$	—	—	$\leq 7 \sim 10$
	$\beta_2(^{\circ})$	—	—	10~15
	h_1/mm	—	—	$(0.4 \sim 0.6)h$
	R/mm	6~8	6~8	6~8

(续表)

内容	简图、表格和说明
圆角半径	按国家标准 GB12361 - 90 确定(见第五章)
冲孔连皮	设计方法与锤上模锻相同,连皮厚度通常取 6~8 mm。直径小于 26 mm 的孔一般不冲出

表 6.1-4 飞边槽

简图

形式 I

形式 II

尺寸/mm

压机吨位/kN

h

b

B

H

r_1

r_2

R

<10 000

1.0

8

25

5

1.0~1.5

1.5~2.0

10

10 000~16 000

1.2~1.5

10~12

30

5

1.5~2

2~3

10

18 000~25 000

1.5~2.0

10~14

40

5

2~2.5

2~3

12

31 500~40 000

2~2.5

12~15

50

5

2~2.5

2~3

12

63 000~80 000

3.0

15~20

60

6~8

2.5~3

3~4

15

(续表)

压机吨位 /kN	尺寸 /mm	h	b	B	H	r_1	r_2	R
12 000		4.0	24	60	8~10	3	3~5	15
说 明	① 飞边槽的结构形式,设计原则和锤模锻基本相同。但没有承击面 ② 飞边槽有两种形式,常用的是 I 型 ③ 锻压机模锻金属变形主要以镦粗方式进行,所以飞边槽的阻力作用较弱,主要是排泄和容纳多余金属的作用,故桥部和仓部较大一些 ④ 为防止闷车,上、下模之间要留有间隙。间隙的大小根据飞边槽的高度尺寸确定 ⑤ 当仓部离模块边缘的距离小于 20~25 mm 时,可将仓部直接开通到边缘							

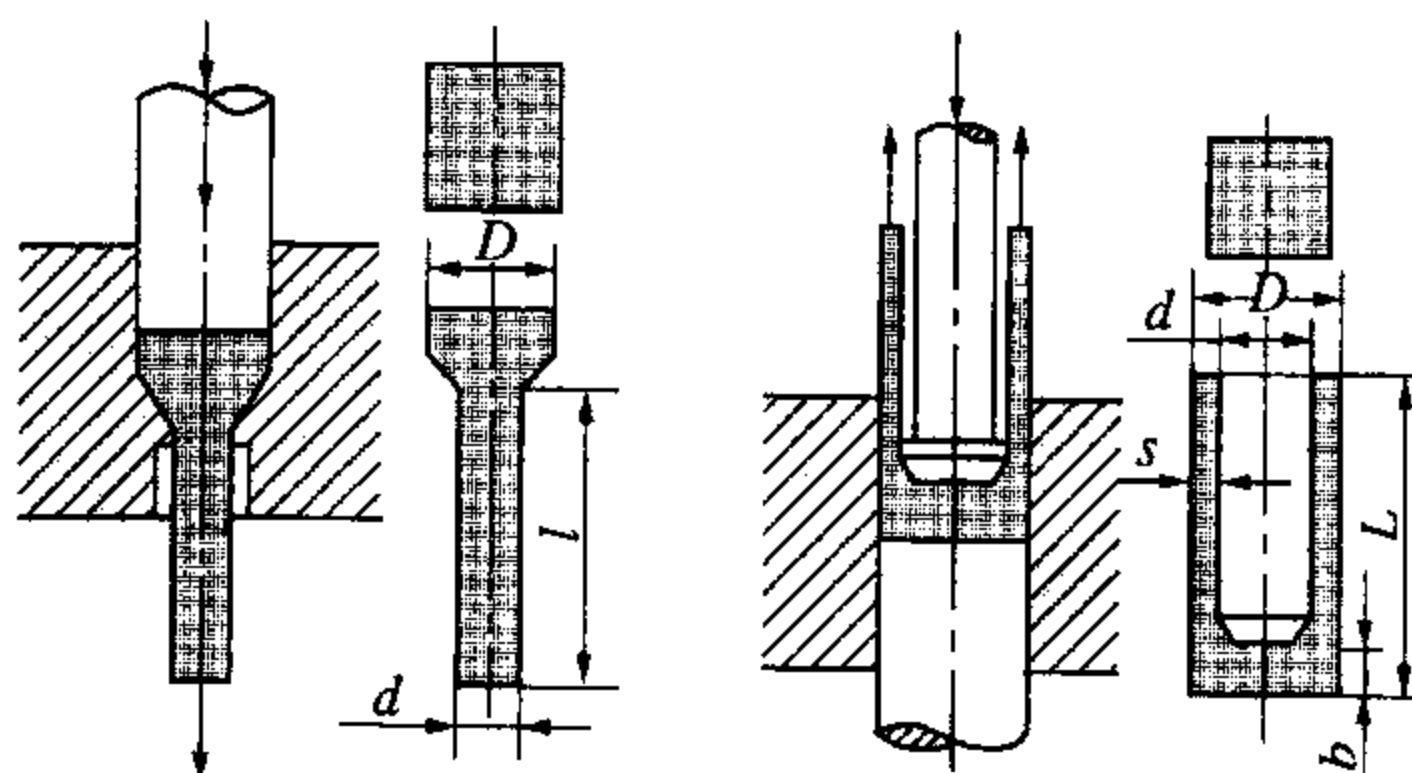
二、变形工步设计和设备吨位的确定

1. 变形工步设计

热模锻压力机模锻的变形工步可分为模锻和制坯工步两大类。模锻工步包括预锻和终锻二种工步;制坯工步主要有镦粗、成形、卡压、压扁、弯曲等。此外,可进行挤压工步,有正挤压和反挤压二种方式(图 6.1-1)。

锻压机上的成形,卡压和弯曲等制坯工步,其定义和作用均与锤模锻相同。如前所述,拔长和滚压工步不宜在热模锻压力机上进行。

锻压机上模锻的变形工步设计方法见表 6.1-5(对应表 6.1-2)。



(a) 正挤压

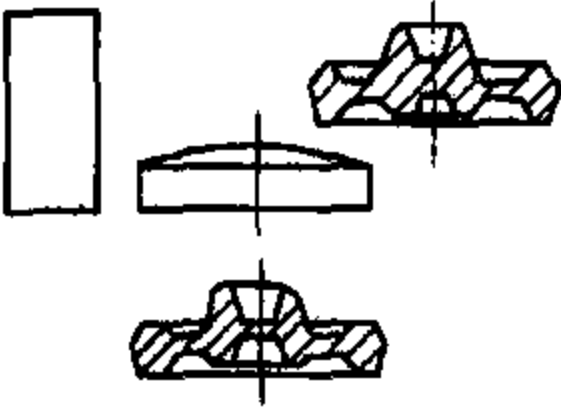
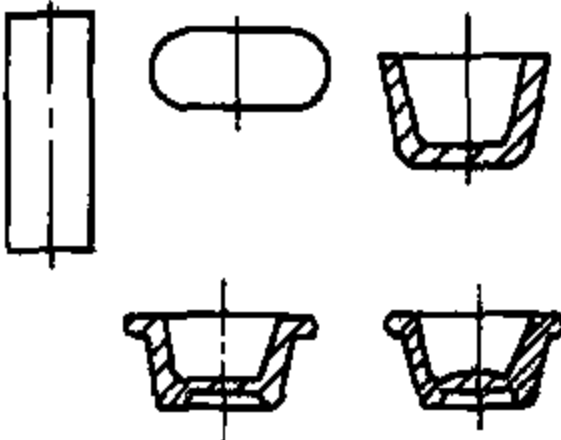
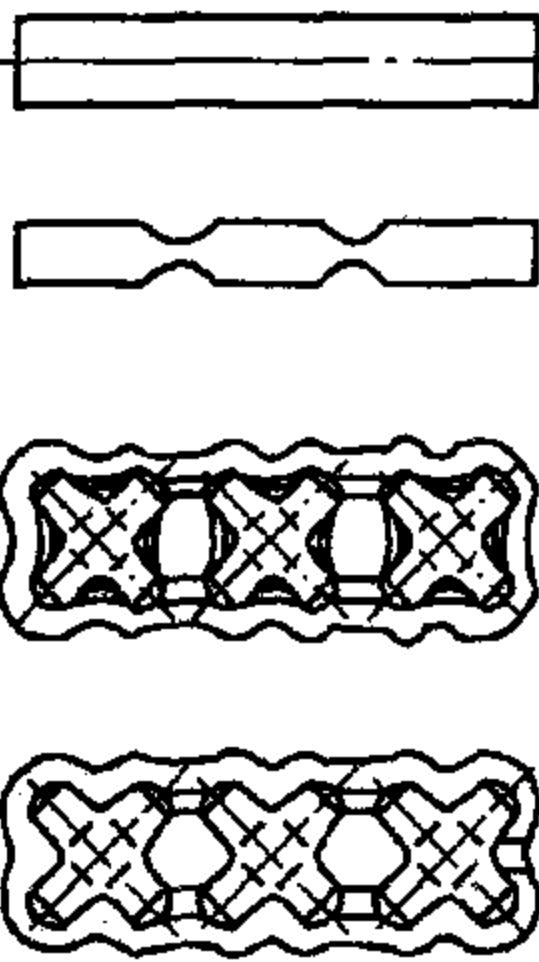
(b) 反挤压

图 6.1-1 挤压工艺

表 6.1-5 变形工步设计

类别	组	示 例	变形工步	特点·说明
第 I 类锻件	1		直接终锻	适合简单形状锻件
			镦粗-终锻	① 适合一般形状锻件 ② 镦粗又可去除氧化皮 ③ 使毛坯直径接近锻件外形尺寸
			预锻-终锻	① 适合较复杂形状锻件 ② 这里的预锻相当于局部镦粗

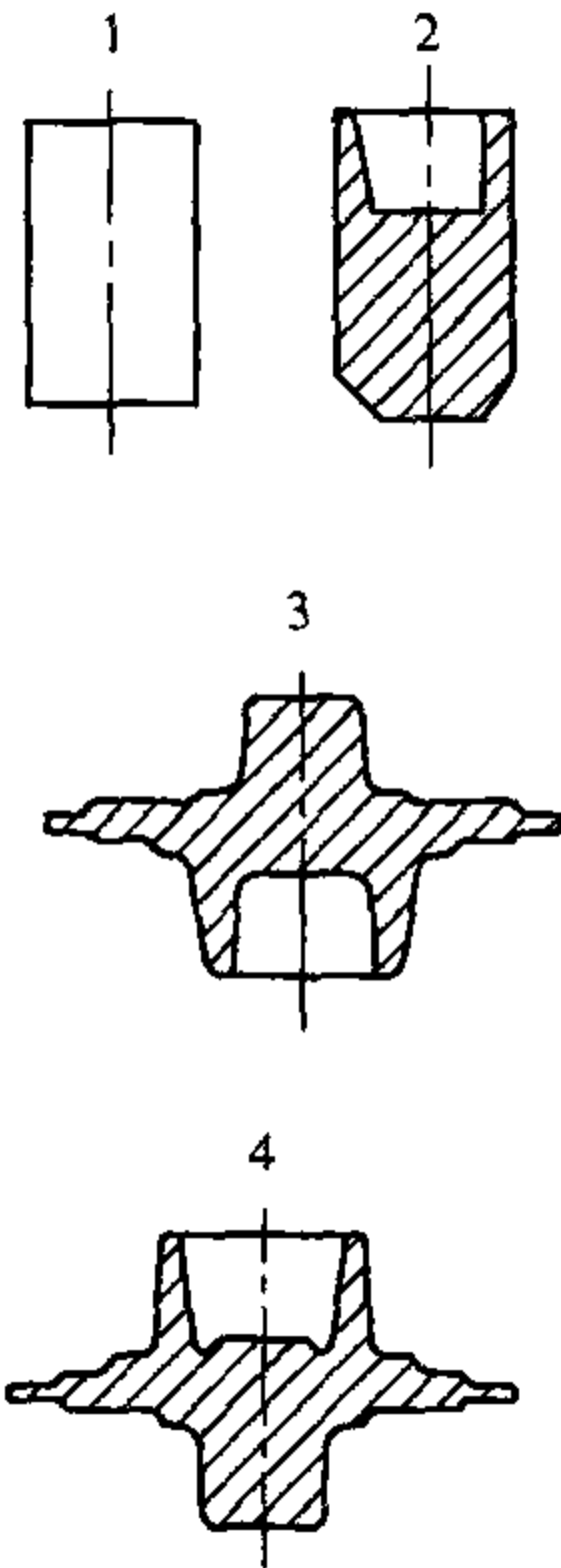
(续表)

类别	组	示 例	变形工步	特点·说明
第Ⅰ类锻件	1		锻粗-预锻 -终锻	① 适合复杂形状锻件 ② 毛坯与锻件外轮廓尺寸相差大 ③ 工步间要有良好的定位
	2		锻粗- 一次预锻 -二次预锻 -终锻	① 适合带有深孔腔的复杂锻件 ② 一次预锻中主要是挤压工步
			一模多件, 按长杆件 选择工步	① 适合质量和尺寸较小,形状适宜的锻件 ② 一模多件有多种排列方法:错开式、对接式、连续式等。常用2~3件为佳,最多不超过5件 ③ 一模多件可提高生产率、简化制坯、减少工步、降低成本。但对模具制造要求精度高,切边模的配合要精确

(续表)

类别	组	示 例	变形工步	特点·说明
第Ⅱ类锻件	1	截面变化小的杆类锻件	直接终锻-预锻-终锻	当锻件宽度与毛坯直径之比大于 1.6~2.0 时,应增加压扁工步
	2	截面有一定变化的杆类锻件	压挤-(预锻)-终锻	① 截面变化不超过 10%~15% ② 在锻压机上可完成制坯工步
	3	截面变化大的杆类锻件	制坯-(预锻)-终锻	① 需用其他制坯设备制坯 ② 为便于定位,有的要增加压扁工步
	4	有弯曲轴线的杆类锻件	制坯-弯曲-(预锻)-终锻	① 杆类锻件的工步设计原则上和锤模锻相同 ② 弯曲工步可在锻压机上完成

(续表)

类别	组	示 例	变形工步	特点·说明
第Ⅲ类锻件			制坯-预锻 (挤压)-终锻	① 挤压性模锻件要综合运用镦粗、挤压、终锻等工步成形 ② 严格控制氧化皮 ③ 最复杂的挤压锻件要采用多机联合锻造,如大型转向节锻件

2. 确定坯料尺寸

坯料的体积 $V_{\text{坯}}$ 可按下式计算:

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{锻}} + V_{\text{毛边}} + V_{\text{连皮}})(1 + \delta\%)$$

式中 $V_{\text{锻}}$ ——锻件的体积;

$V_{\text{毛边}}$ ——毛边体积(计算方法同锤模锻,见第五章);

$V_{\text{连皮}}$ ——冲孔连皮体积;

δ ——火耗(见第五章)。

锻压机模锻的坯料计算与锤模锻基本相似,但也有其特点。

(1) 第 I 类(盘形)锻件坯料尺寸计算

坯料长度与直径之比(L/D)为 1.8~2.2 时,坯料直径为:

$$D_{\text{坯}} = (0.83 \sim 0.9) \sqrt[3]{V_{\text{坯}}} \quad (\text{mm})$$

对于 $L/D > 2.5 \sim 3$ 时,可采用闭式镦粗模,把坯料插入模内进行镦粗;也就是坯料长度的一部分受上、下模的限制,只有中段或上段产生自由镦粗变形,这样 $L/D \leq 4$ 。

(2) 第 II 类(杆类)锻件坯料尺寸计算

与锤模锻一样,先做出计算毛坯图。按计算毛坯的最大截面积($F_{\text{大}}$)选用

$$D_{\text{坯}} = 1.13 \sqrt{F_{\text{大}}} \quad (\text{mm})$$

或
$$A_{\text{坯}} = \sqrt{F_{\text{大}}} \quad (\text{mm})$$

式中 $A_{\text{坯}}$ ——方形毛坯边长。

根据计算的 $D_{\text{坯}}$ 或 $A_{\text{坯}}$ 值,按国家标准选取圆钢或方钢,然后计算坯料的长度($L_{\text{坯}}$)。

(3) 第 III 类(挤压类)锻件坯料尺寸计算

基本上与第 I 类镦粗类锻件相似,只是坯料长度和直径之比 L/D 的范围更大一些,通常为 1.2~3.0。

3. 设备吨位的确定

模锻压力 P 可按下列经验公式进行计算

$$P = (6.4 \sim 7.3) KF \quad (\text{kN})$$

式中 F ——包括锻件飞边槽桥部宽度在内的投影面积(cm^2);

K ——钢种系数,取 0.9~1.1,中碳钢 45 取 1.0。对于外形简单、圆角较大、筋较厚而低,以及壁较厚的锻件,取小值;反之,取大值。

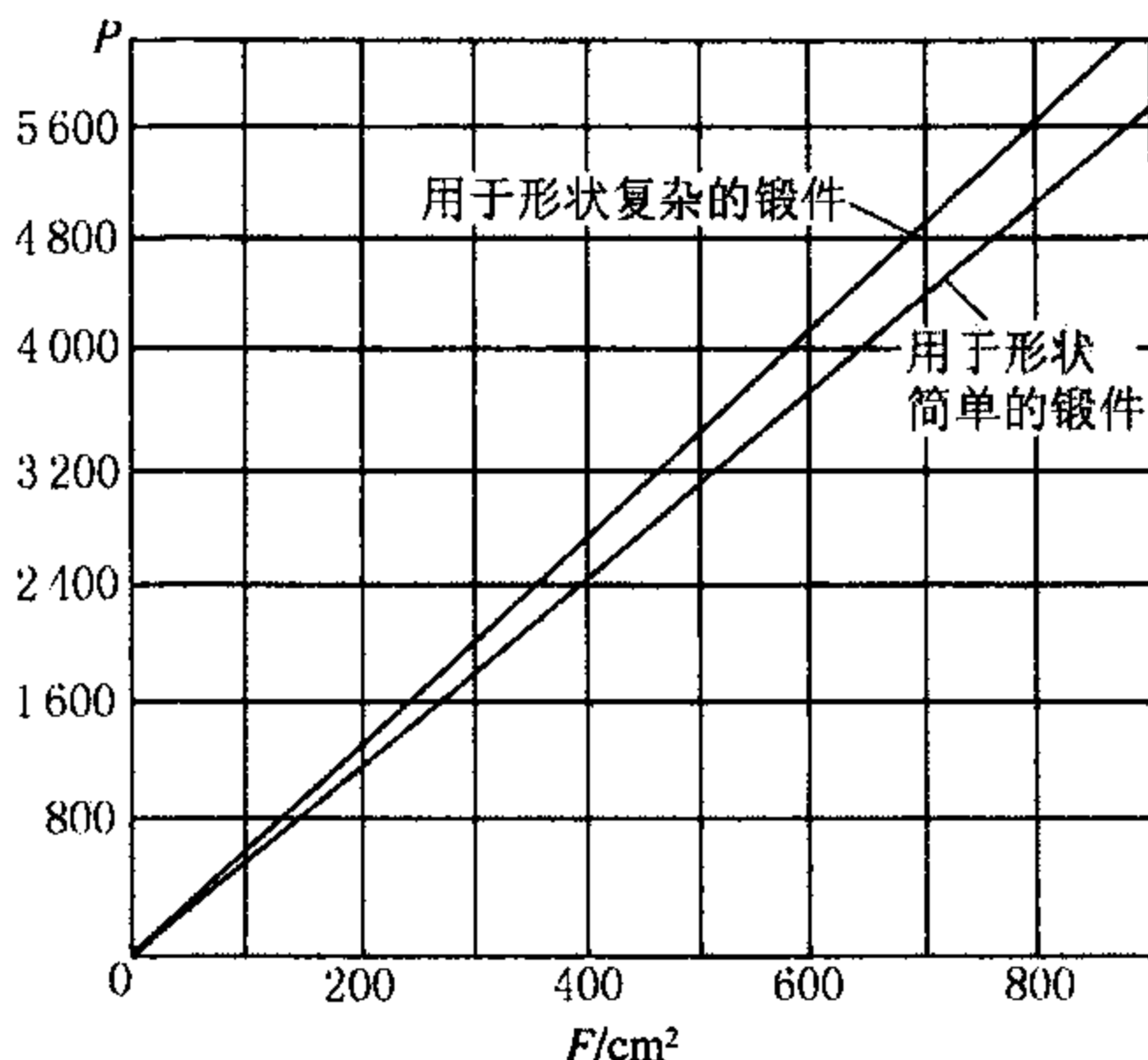
为使用方便,按上式计算的结果制成表 6.1-6 和图 6.1-2。

取 $K=1$ (锻件材料为钢 45)。

表 6.1-6 热模锻压力机吨位的确定

锻件投影面积 (包括毛边桥部) F/cm^2	盘形锻件允许锻造的直径/mm		推荐的合理 锻造直径 /mm	设备吨位 /kN
	包括毛边桥部	锻件本体		
137~159	132~143	112~123	100~110	10 000
219~250	167~178	147~158	125~138	16 000
246~281	177~189	157~169	138~149	18 000
274~312	187~199	163~175	147~158	20 000
342~390	208~223	184~199	163~175	25 000
430~490	234~250	210~226	182~199	31 500
547~625	264~282	240~258	212~228	40 000
860~985	331~354	301~324	276~292	63 000
1 095~1 250	374~399	344~369	308~326	80 000
1 570~1 820	422~465	392~435	369~390	120 000

注：根据实践经验，使用吨位最好不大于设备公称吨位的 80%，这样有利于防止闷车，提高锻件质量，减少设备维修。因此，表中列进了“推荐的合理锻造直径”。同时，生产实践表明，闷车常常在预锻工步中发生，在选用设备吨位及设计锻模时应予注意。

图 6.1-2 确定锻压机吨位图表($K=6.4\sim 7.3$)

三、模膛设计

热模锻压力机上模锻的模膛设计过程和方法与锤上模锻的基本相同。但由于锻压机上模锻是在一次行程内静压成形的,必须依靠良好的预锻成形才能保证终锻成形,因此,锻压机上预锻工步应用较多。预锻模膛的形状与终锻模膛差别较大,它的设计对锻件质量有较大的影响,所以除了设计热锻件图之外,还须设计各个热预锻件图,用于制造各个模膛。本节着重介绍终锻、预锻和镦粗模膛。

1. 终锻模膛

终锻模膛是模锻件最终成形的模膛。设计的主要内容是确定模膛本体的尺寸、飞边槽、排气孔、顶料杆、锁扣和钳口等。

(1) 热锻件图

终锻模膛是根据热锻件图设计的。其设计与锤模锻相

同,即将图上的所有尺寸计入收缩率绘制而成。对于钢质模锻件,收缩率一般为 $1\%\sim 1.5\%$ 。

在热模锻压力机上模锻,上下充满的难易程度无多大差别,因此,不一定要将形状复杂部分安排在上模,而应考虑锻件的定位和取出方便。

模锻时锻件的高度由锻压机行程保证,上、下模面并不靠合,而留有一定的间隙,以防止闷车。

(2) 飞边槽

飞边槽的设计方法见表 6.1-4。飞边槽的作用主要是排泄和容纳多余金属,其桥部高度尺寸大小决定上、下模之间的间隙。

锻压机模锻时金属沿分模面方向流动量较大,锻件的孔径较大时,应设计能容纳较大体积的连皮槽,以免产生内孔折叠(图 6.1-3)。

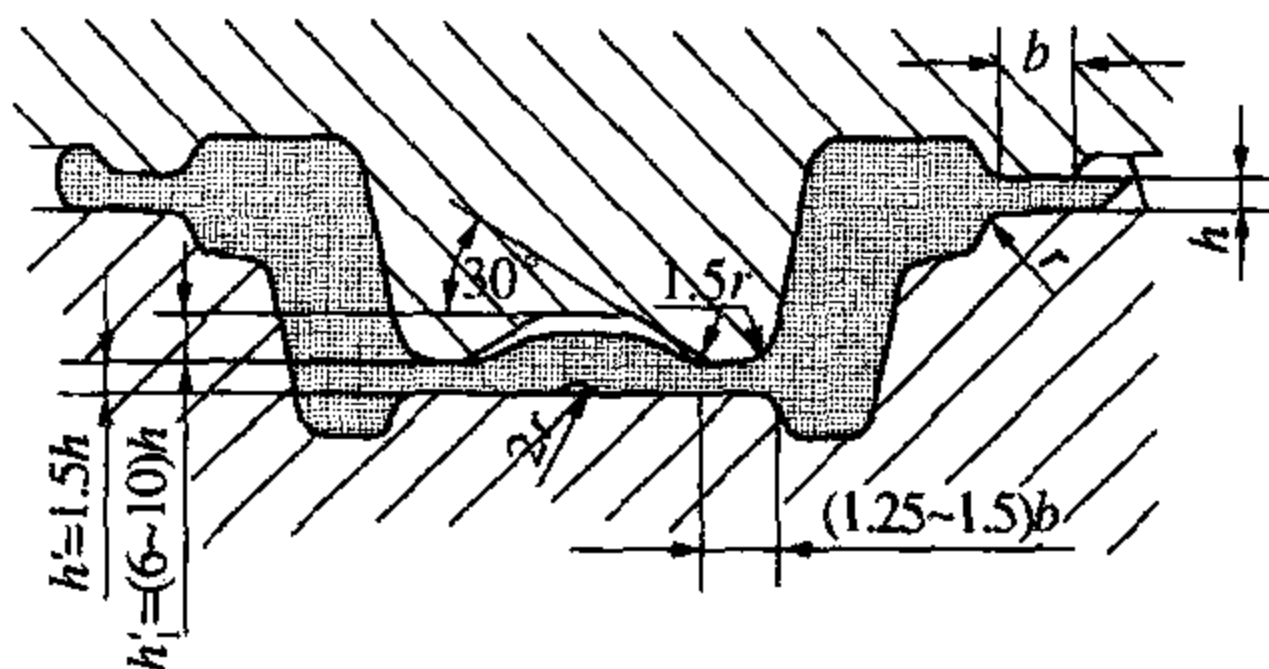


图 6.1-3 终锻模膛连皮槽

(3) 排气孔

终锻模膛若有较深的模腔,由于压机是一次行程充满模膛,聚积在深腔内的空气受到压缩,难于排出而产生很大的压力,从而阻碍锻件充满成形。因此,需开设排气孔,如图 6.1-4 所示。

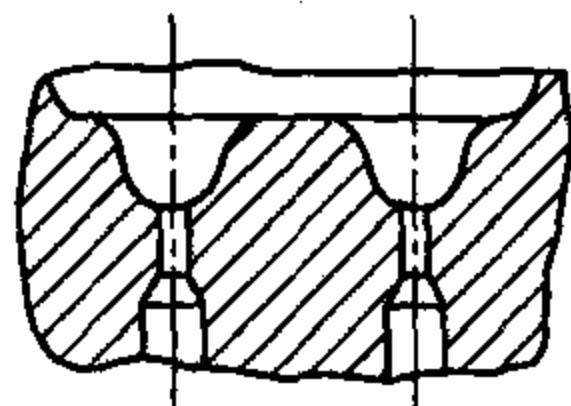


图 6.1-4 排气孔设置

排气孔孔径为 $\phi 1.2 \sim \phi 2$ mm, 孔深为 5~15 mm, 后端可用 $\phi 4 \sim \phi 5$ mm 的通孔连接。

(4) 顶料装置

锻压机上、下模都有顶出料装置, 对锻件出模极为有利。顶杆的配置视锻件的形状和尺寸而定。

(5) 锁扣

对模锻时容易产生水平分力的锻件, 在镶块上要设计出锁扣, 以防损坏模座上的导向装置和锻件的错模缺陷。

(6) 钳口

只有带夹钳头的毛坯必须在镶块上开出钳口外, 一般可不设钳口。可利用顶料孔作为浇盐样的浇口。但当不使用顶料机构时, 在下模制出斜坡式钳口, 供取出锻件和浇盐样用。钳口尺寸参照锤锻模确定。

2. 预锻模膛

预锻模膛设计的基本原则是保证终锻时锻件充满, 避免折叠。锻压机上模锻的成形规律是金属沿水平方向流动剧烈, 向高度方向的流动相对缓慢些。因此, 要使预锻后的坯件在终锻模膛里尽可能以镦粗方式成形。设计预锻模膛时, 除应参考锤上预锻模膛的设计原则外, 还要考虑以下几点:

① 预锻模膛的高度尺寸比终锻大 2~5 mm (齿轮类取小值, 叉类取大值)。而宽度尺寸比终锻要小 0.5~1 mm, 并使预锻件的横截面积略大于终锻件相应的横截面积。

② 若终锻件的横截面呈圆形, 则相应的预锻件横截面应为椭圆形, 横截面的椭圆度约为终锻件相应截面直径的 4%~5%。

③ 应严格控制预锻件各部分的体积, 使终锻时多余金属能合理地流动, 避免产生金属回流、折叠等缺陷。例如对于齿轮的轮毂

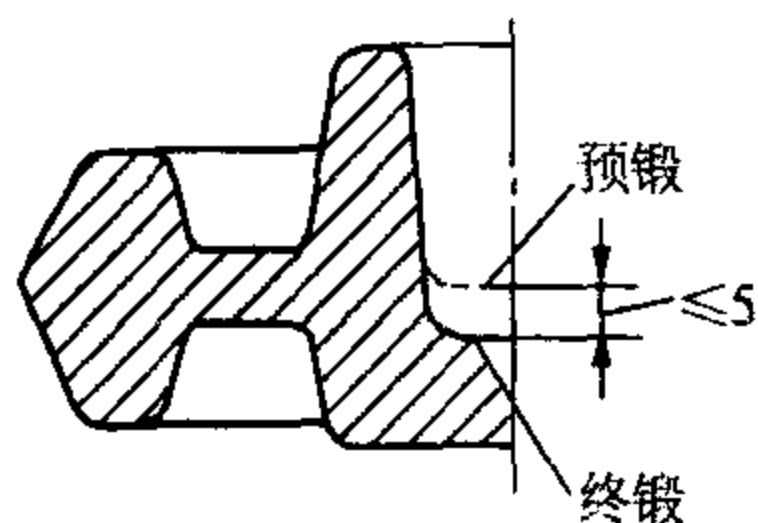


图 6.1-5 预锻冲孔

终锻时内孔将有较多的金属沿径向流动,形成折叠。当孔径较大时,还必须将终锻模膛设计成带凹仓的连皮结构,以容纳多余的金属(图 6.1-3)。

④ 应考虑预锻件在终锻模膛中的定位问题。为此,预锻件的某些部位的形状和尺寸应与终锻件基本吻合。

⑤ 当终锻时金属不能以镦粗为主,而主要靠压入方式充填模膛时,预锻件的形状与终锻件差别较大。应使预锻后毛坯的侧面在终锻模膛中变形一开始就靠在模壁上,以限制金属的径向剧烈流动,从而迫使其流向模膛深处(图 6.1-6)。否则,锻件飞边很大,且不能充满。

部分,预锻工步的金属体积可比终锻大 1%~6%。对于需要冲孔的锻件,当孔径不大时,预锻件的内孔深度与终锻件相应内孔深度之差不大于 5 mm(图 6.1-5),否则

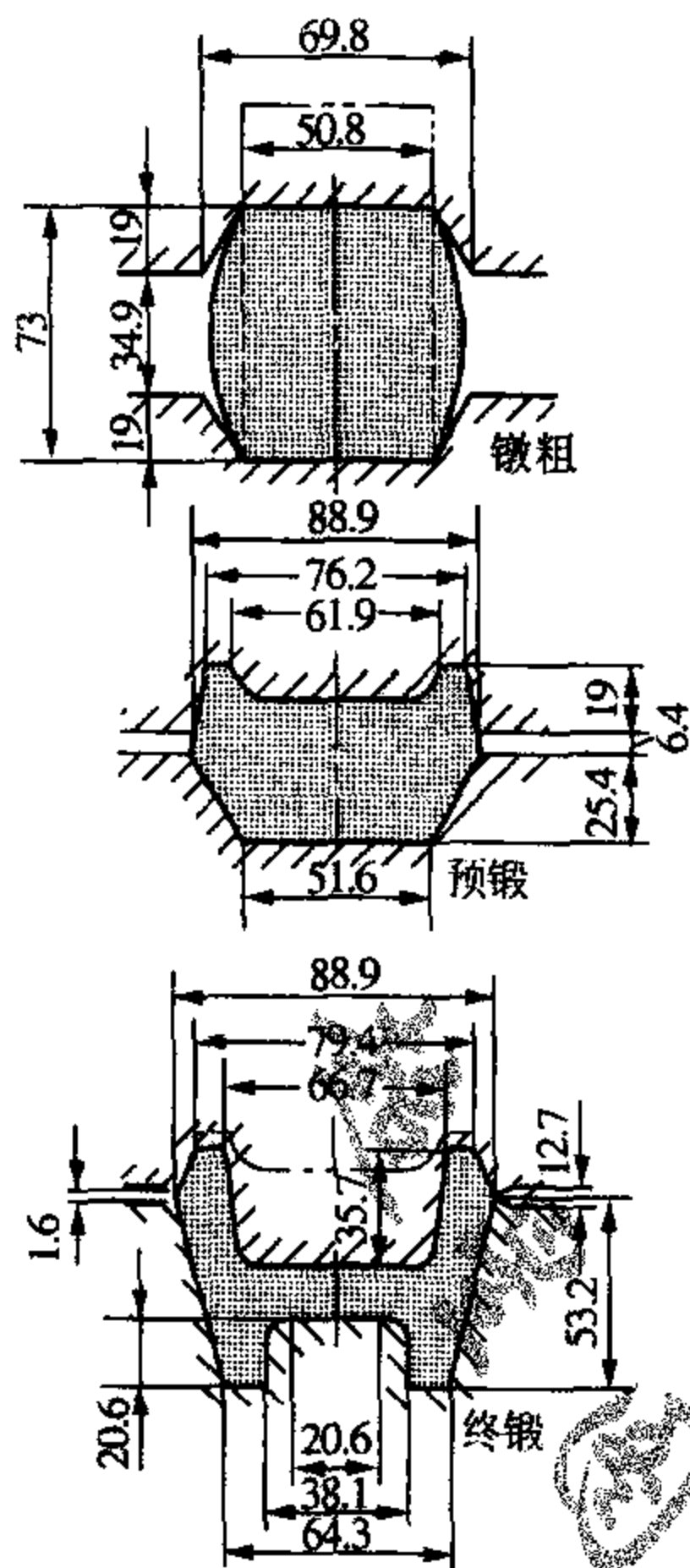


图 6.1-6 预锻件在终锻型槽中压入成形

⑥ 预锻件的圆角半径及模锻斜度设计原则与锤模锻相同。

⑦ 预锻模膛一般不设飞边槽,也不开排气孔。对个别复杂的锻件,需设置飞边槽时,则飞边桥部的高度应比终锻模膛相应大 30%~60%,而桥部宽度和仓部高度可适当减小。

⑧ 为了增大某一方向金属流动的阻力,迫使金属充满模膛,常常在该方向上设置阻力沟(如图 6.1-7)。

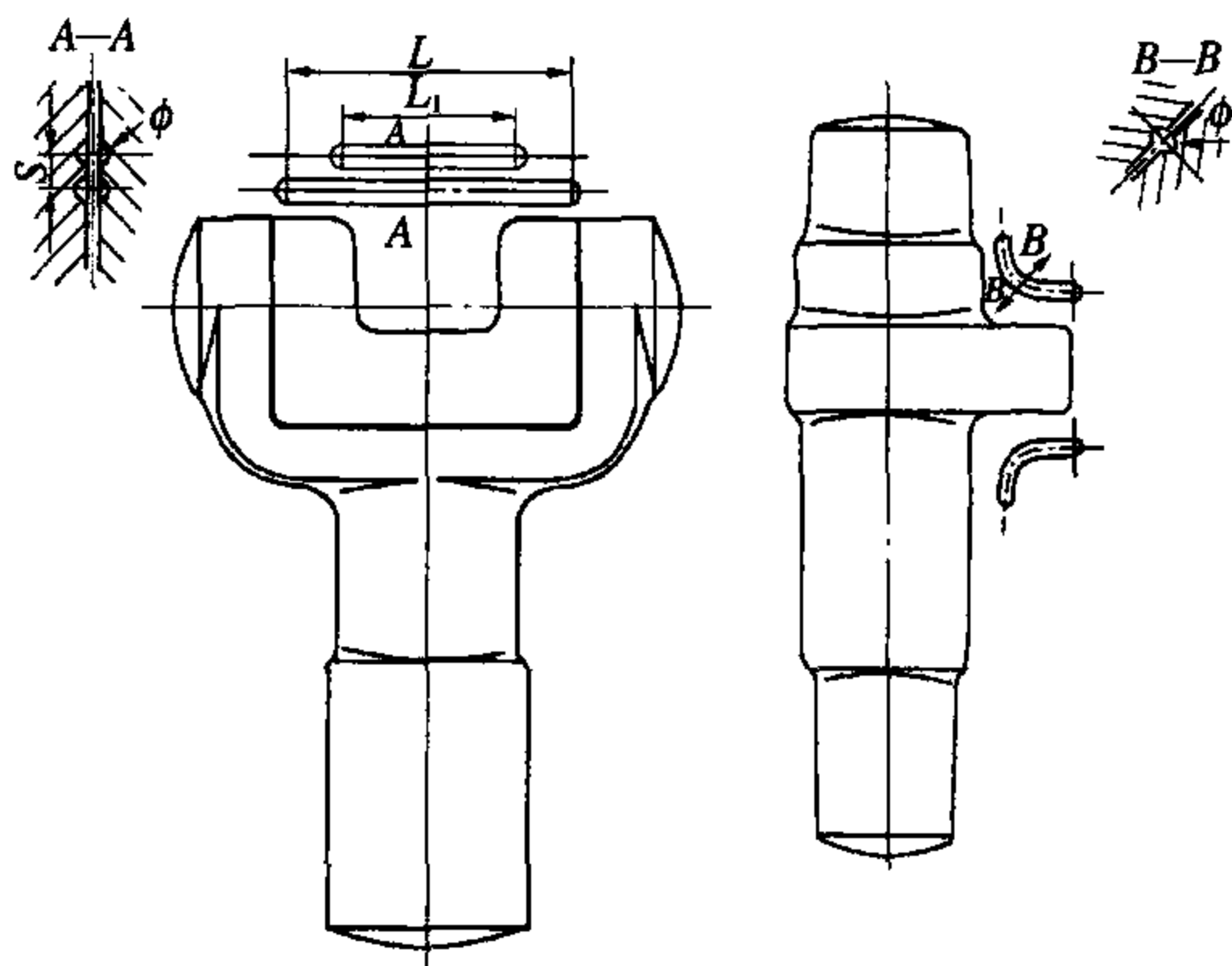


图 6.1-7 阻力沟

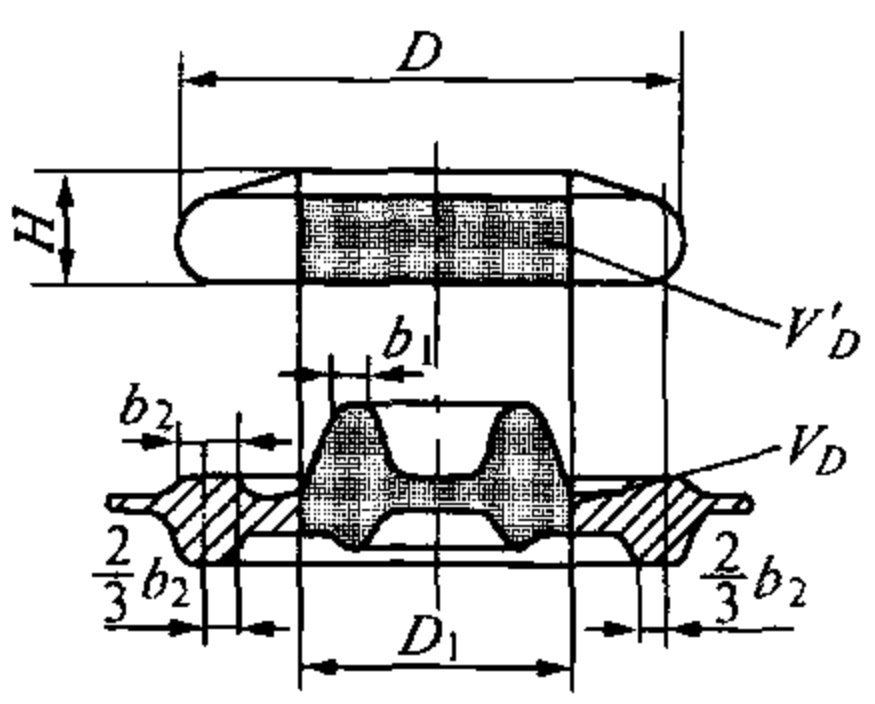
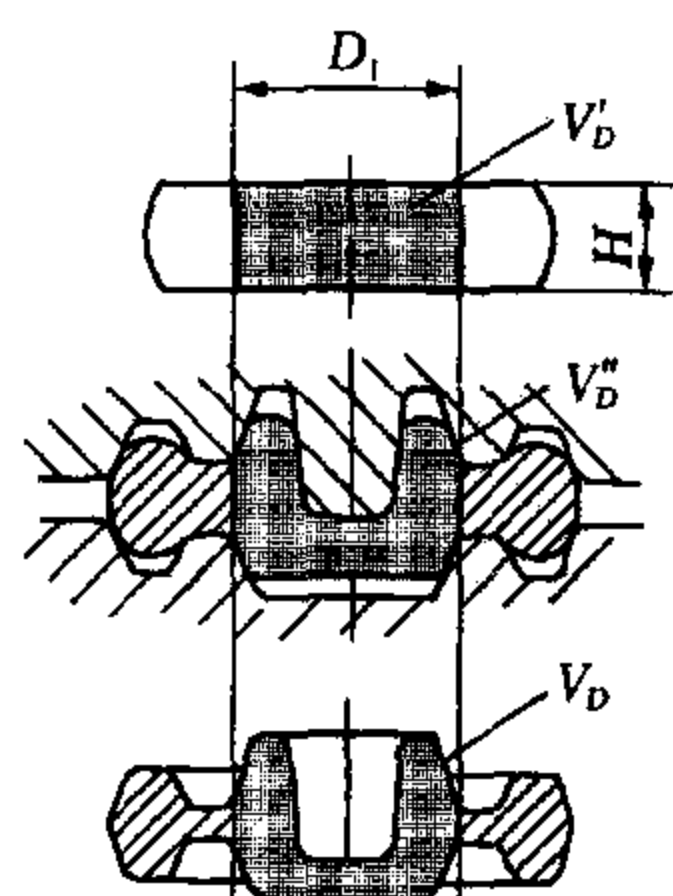
阻力沟采用圆柱形,直径约 $\phi 6 \sim \phi 12$ mm。

阻力沟长度应比叉口的内侧宽度大。第二条阻力沟长度为第一条的 60% 为宜,间距为 20 mm。

3. 镦粗模膛

镦粗模膛可分为自由镦粗和成形镦粗模膛两类,其设计方法见表 6.1-7。

(续表)

类别	简 图	设计·说明
镦粗高度H的确定		<p>① 设计原则是将锻件截面图分解成几个部分,先设计出成形最困难部分(如轮毂部分)的毛坯高度 H</p> $H = (1.01 \sim 1.05) \frac{V_D}{\frac{\pi}{4} D_1^2}$ <p>系数—复杂形状取大值</p> <p>② 再按锻件总体积计算出镦粗外径 D, D 值最好在 $2b_2/3$ 处(如图),避免形成折叠</p>
		<p>本图适合内孔深度较大,又为单向盲孔的锻件。计算成形最困难部分毛坯高度 H 时,其系数应取 $1.2 \sim 1.3$,以保证轮毂顶端的充满</p>

四、锻模设计

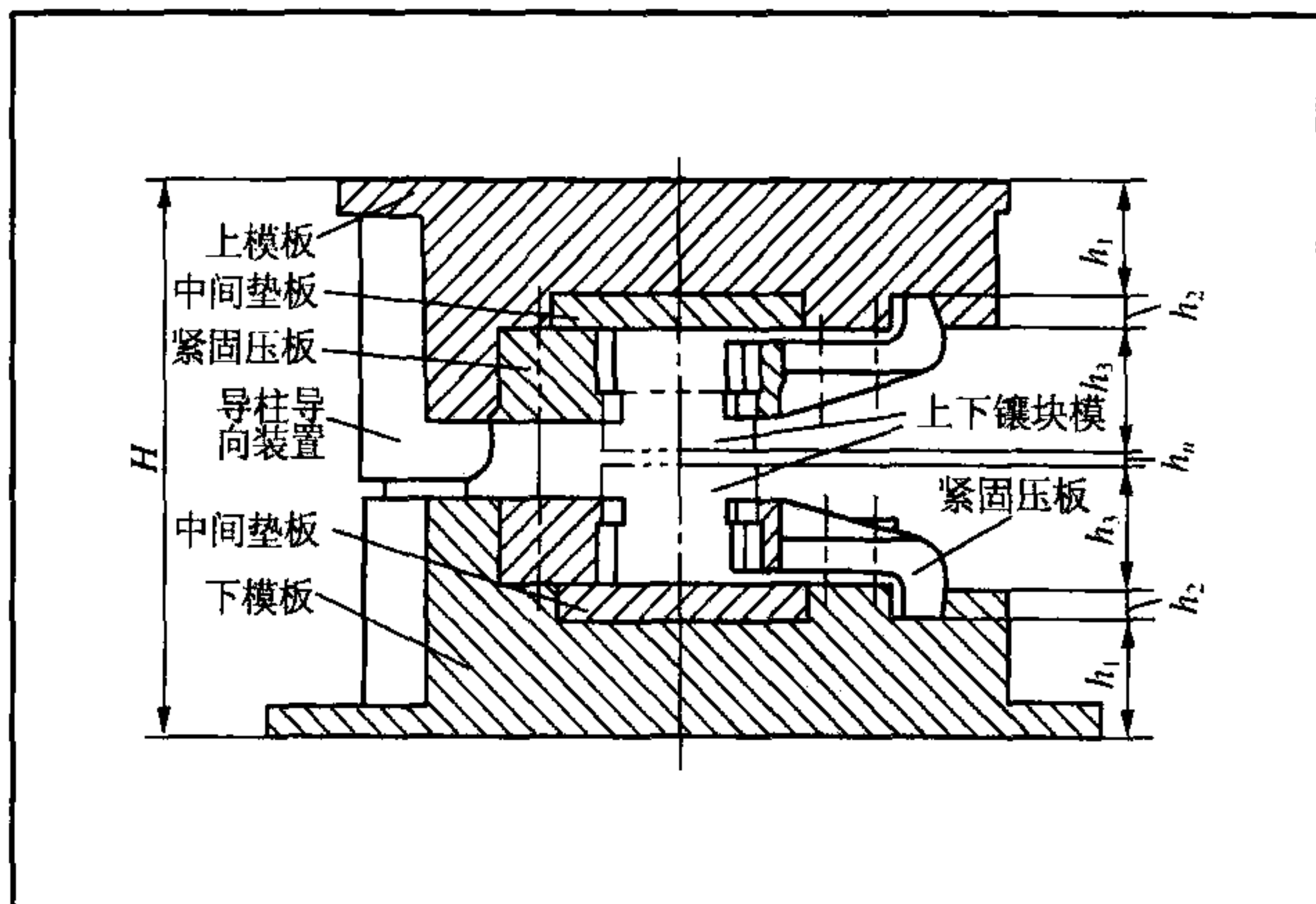
热模锻压力机上模锻特点是变形压力较平稳、滑块有固定的下死点、金属在一次行程中成形,所以要采用多模膛模锻,使毛坯逐渐成形,一般都采用通用模架和多付镶块组成组合式锻模。

由于锻件的形状和尺寸、采用的模锻工步数、镶块的形状和顶杆数等因素各不相同,所以要把在此设备上生产的锻件整理、归纳分类,在搞好通用化、标准化的基础上确定组合式锻模结构形式。每台热模锻压力机要配备一套至几套组合式锻模通用模架。

1. 锻模封闭高度的确定

热模锻压力机锻模的封闭高度的确定方法见表 6.1-8。

表 6.1-8 锻模封闭高度



(续表)

$$H = A + 0.70a$$

式中 H ——模具封闭高度;
 A ——锻压机最小封闭高度;
 a ——锻压机封闭高度调节量。

$$2(h_1 + h_2) = (0.6 \sim 0.65)H$$

式中 h_1 ——模板的底板厚度;
 h_2 ——垫板厚度。

说明: 锻模封闭高度 H 确定后, 模板底板厚度 h_1 、垫板厚度 h_2 和镶块模体高度 h_3 等三个尺寸是相互关联的。某一个数值增大将影响另外两个数值, 因此要有合适的分配比例。而 h_1 、 h_2 和 h_3 都是根据强度条件来确定的。下表列出了按设备吨位选择模板底板厚度 h_1 和垫板厚度 h_2 的参考数值:

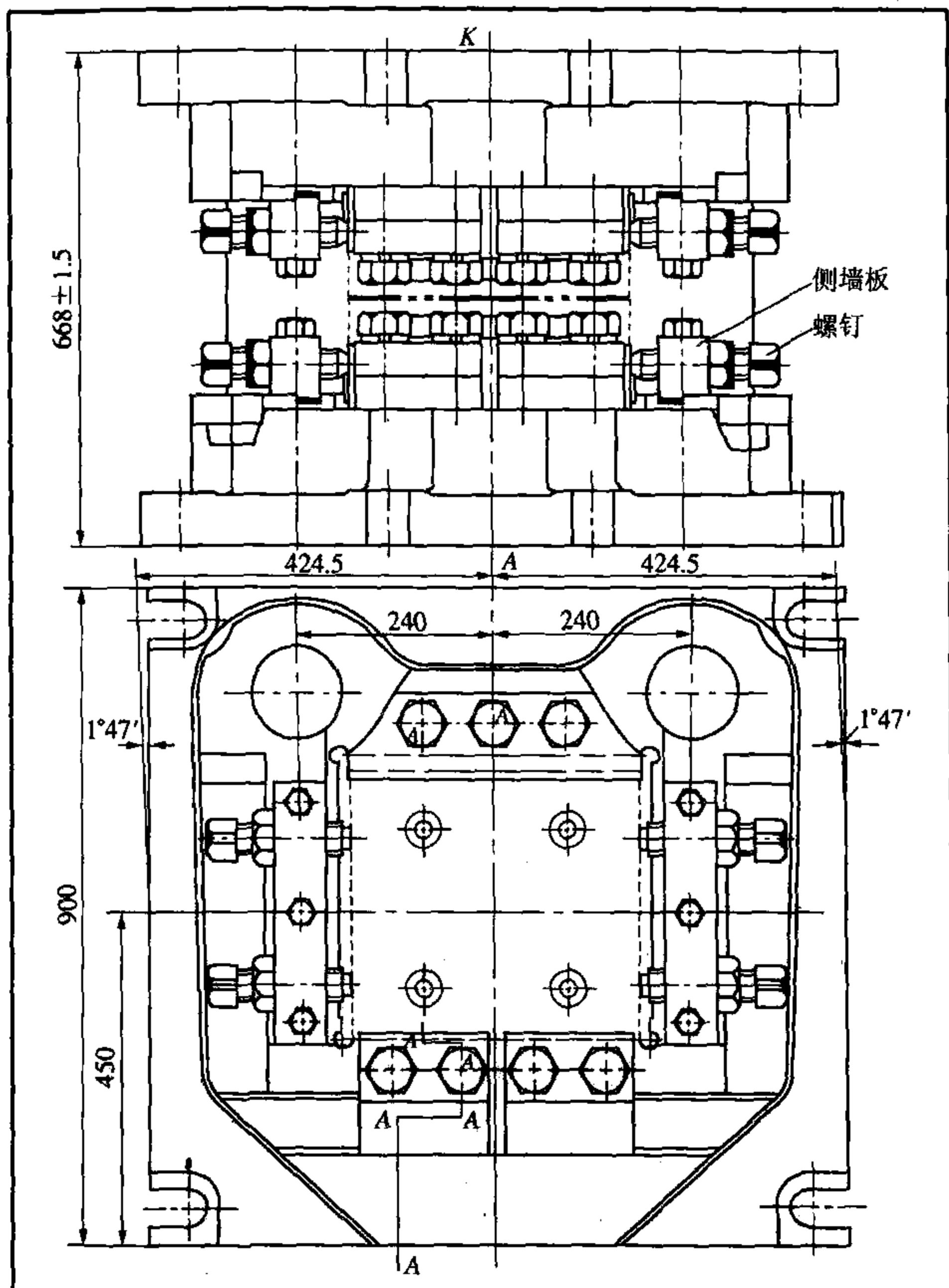
热锻压机 规格/kN	10 000	16 000	20 000~25 000	31 500~40 000
模板底板 厚度/mm	115~120	140~145	160~200	220~230
垫板厚度 /mm	40~45	60~65	65~90	100~110

2. 锻模结构形式

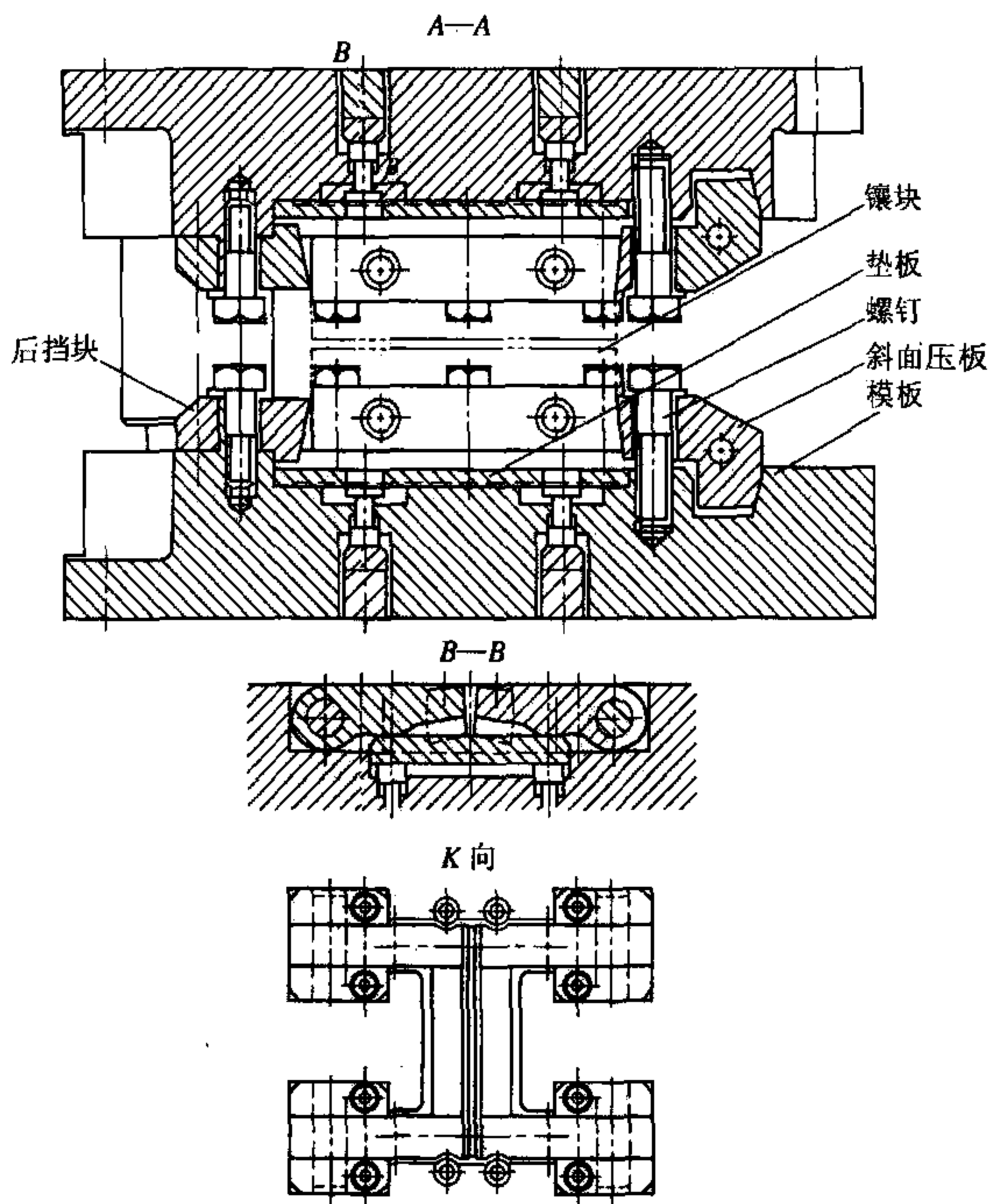
热模锻压力机用的组合式锻模的结构有很多种, 如按镶块形状可分为矩形或圆形; 按工位数可分为单工位, 二、三、四工位; 按紧固方式又可分为斜楔式、压板式、压圈式和螺钉式等形式。

组合式锻模由模架和镶块模两部分组成。模架(又称夹持器)是由上模板、下模板、导向装置、镶块垫板、镶块紧固件等零件组成。常用的模架有压板式模架(表 6.1-9)、回转体锻件圆形模架和十字键式模架(表 6.1-10 和表 6.1-11)等三种形式。

表 6.1-9 双工位矩形镶块压板式模架



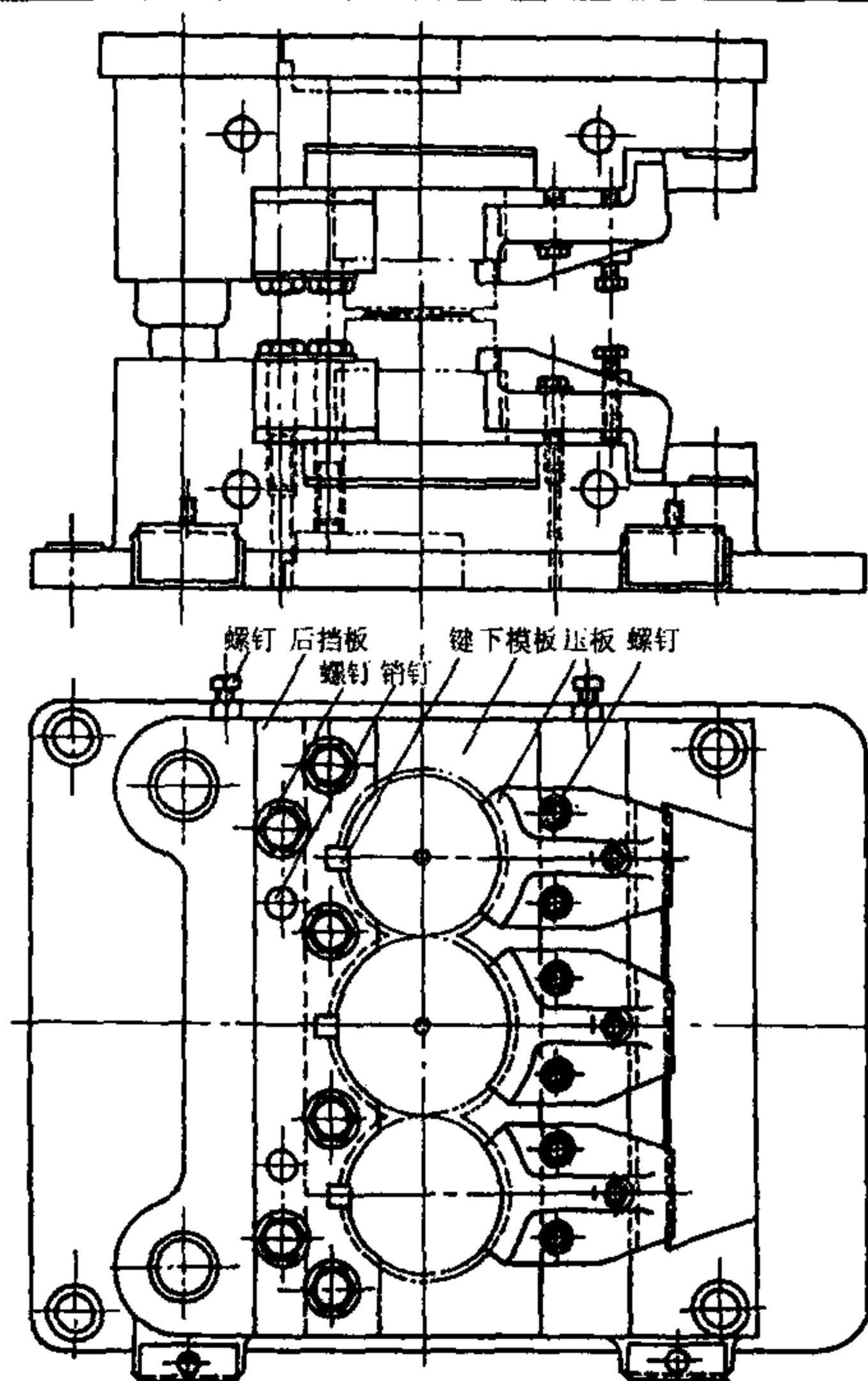
(续表)



说明:

- ① 双工位对称布排于压力机中心线两侧,用斜面压板 4 紧固矩形镶块,左右方向用螺钉 8 调整和紧固
- ② 这种模架制造简便,刚性好,通用性和万能性尚可,安装调试方便可靠,应用较广泛

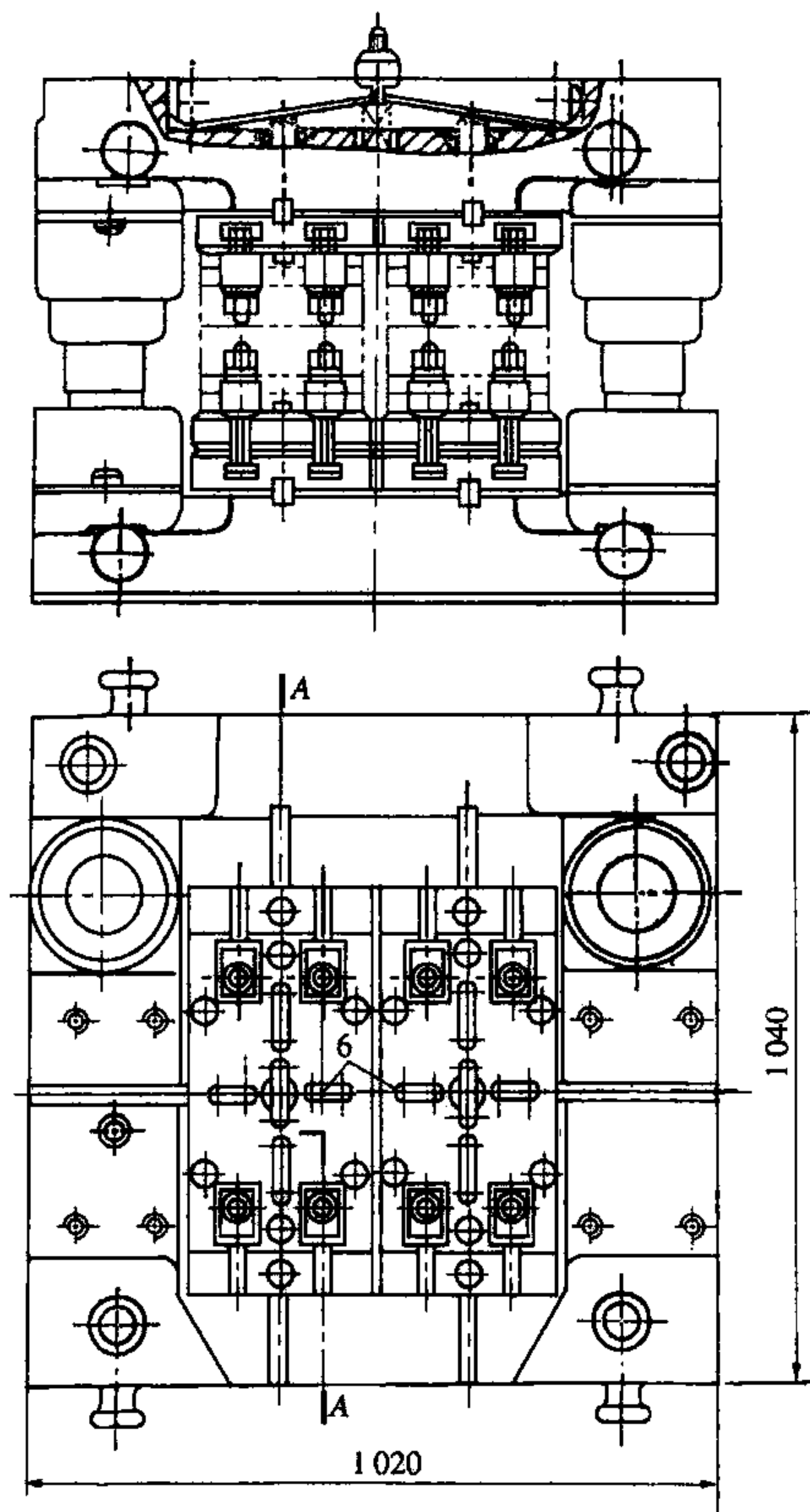
表 6.1-10 三工位回转体锻件圆形模架



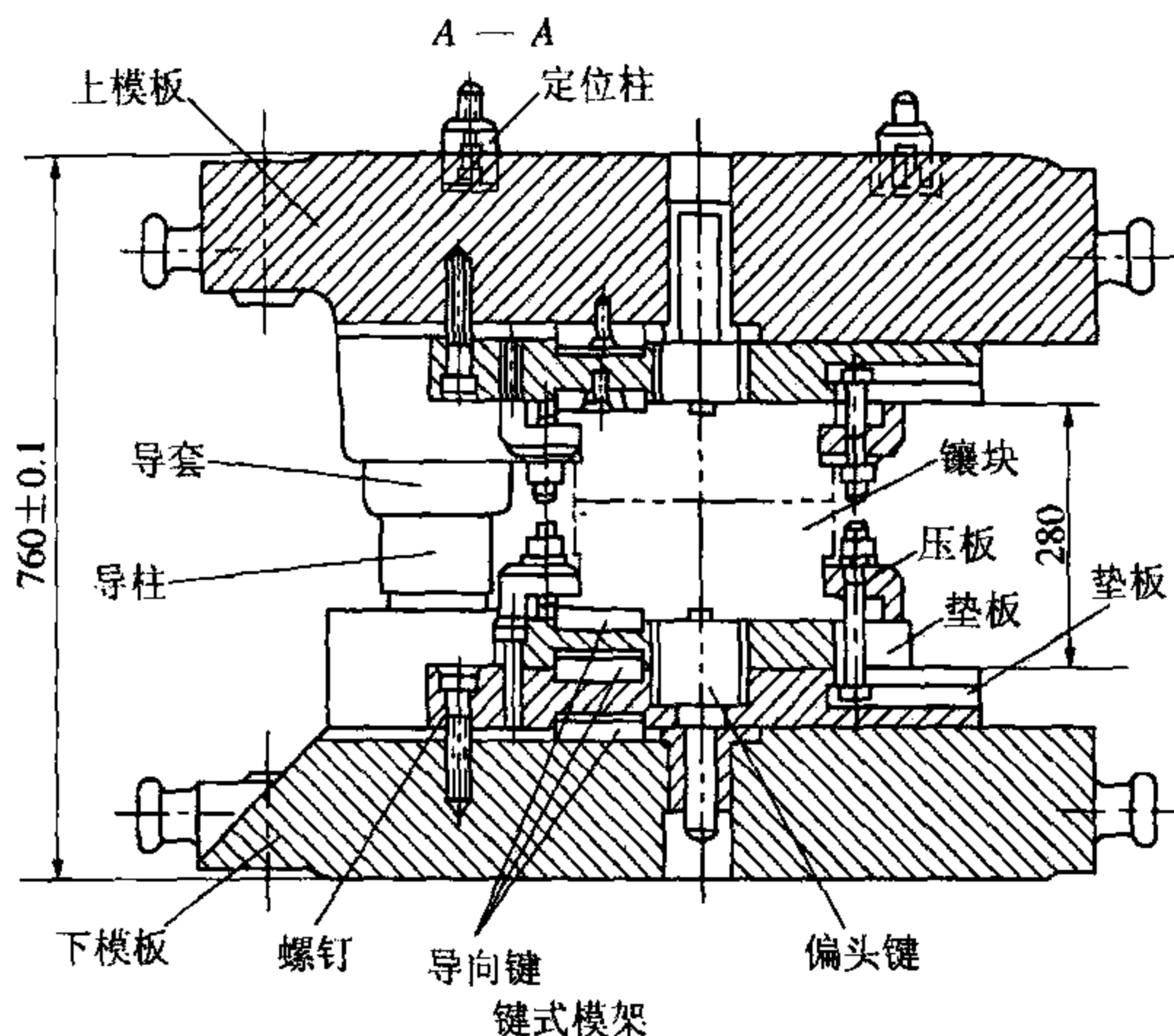
说明:

- ① 适用于回转体类锻件,是专用性模架
- ② 圆形镶块用键 7 定位和压板 2 紧固。受力较大的模膛可布置在中心
- ③ 加工制造简便,安装调整方便可靠

表 6.1-11 四工位矩形镶块十字键式模架



(续表)



说明:

- ① 镶块、垫板、模板之间都用十字形布置的键进行前后左右方向的定位和调整,采用压板紧固
- ② 四工位中间为预锻和终锻,两侧为制坯和切边、冲孔或校正模。工艺通用性和万能性好
- ③ 加工制造简便,装拆、调整方便可靠,可快速调换,但刚性略差。应用较广泛

3. 模块(镶块)

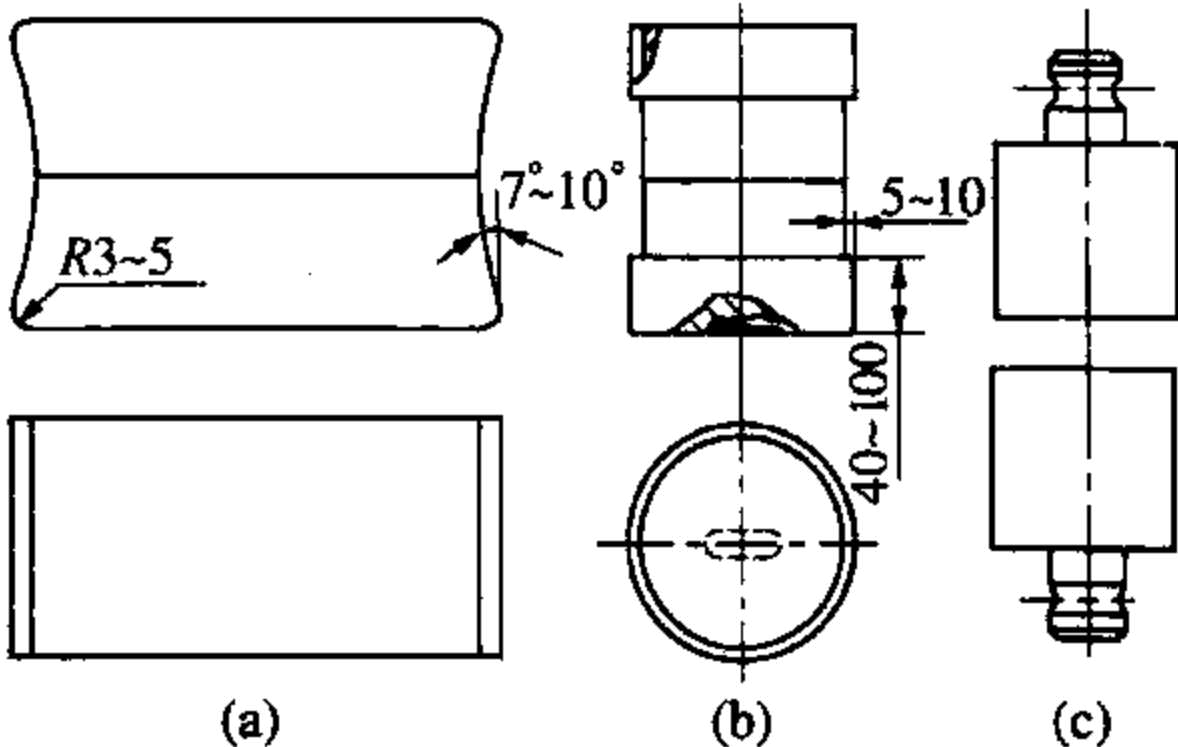
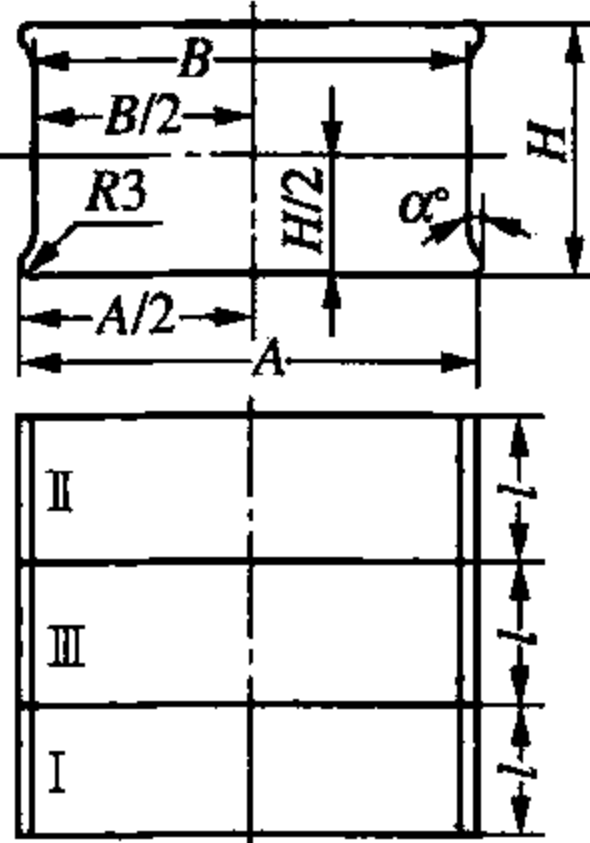
锻压机上模锻采用组合式锻模,在模块上开设各种成形模膛,通过更换模块生产不同的锻件。模块的形状有矩形和圆形两种。矩形模块可调整错模,适用于任何形状的锻件;圆形模块仅

适用于圆形锻件。

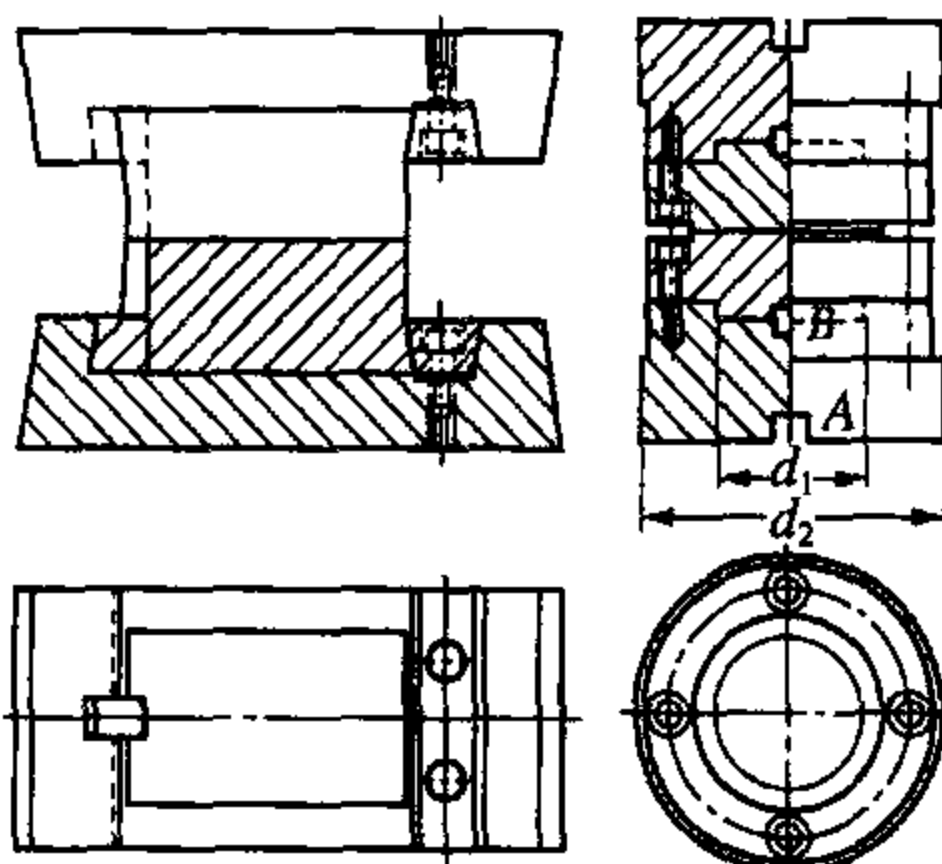
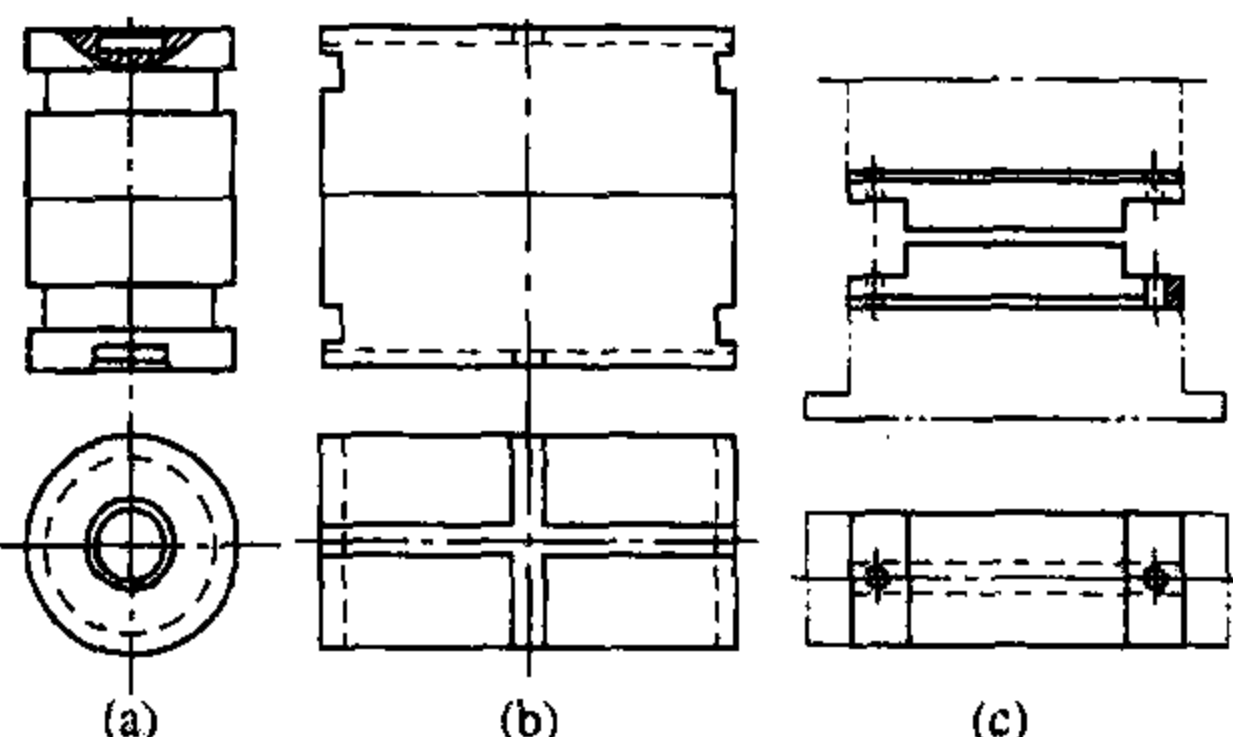
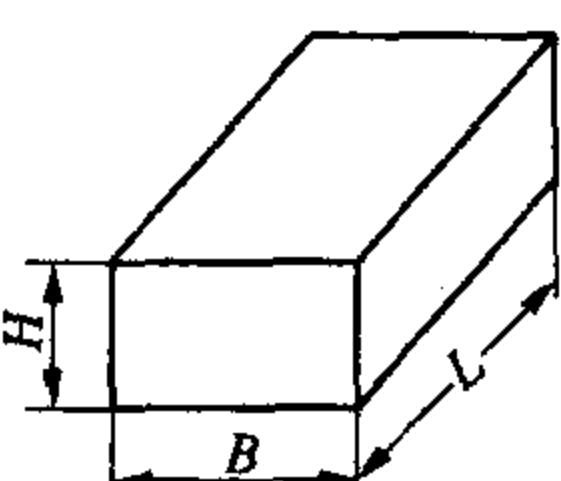
模块的形状和主要尺寸与模架结构形式同时确定。模块尺寸要做到通用化和标准化,应将生产的锻件分类和分组,确定最有利的通用的模块标准尺寸,尽可能减少模块的规格,便于组织生产。

模块(镶块)的形式和尺寸见表 6.1-12。

表 6.1-12 模块的形式和尺寸

模架	内容	简图·说明·尺寸							
压板 式模架	模块形式						(a) 矩形模块 (b) 圆形模块 (c) 轴头式模块		
	模块尺寸			锻压机吨位 /kN	A	B	H	l	l ₁
			6 300	310	292	240	140	—	7
			10 000	220 265	200 242	230 240	110 190	110 —	7 7
			16 000	275	250	260	200	140	7
			20 000~ 25 000	440 395 559	406 370 528	380 304 282	178 310 140	152 — 140	7 7 10
			31 500~ 40 000	395 740	360 700	406 370	320 250	225 205	7 10

(续表)

模架	内容	简图·说明·尺寸	
压板式模架	组合镶块		<p>压板式模架用的模块不能翻新,为节约模具钢,采用组合镶块。紧固小镶块可采用斜块、螺钉和压配合等方法</p>
十字键式模架	模块形式	 <p>(a) 圆形模块 (b) 矩形模块 (c) 制坯模块</p>	
	模块尺寸(参考)		

(续表)

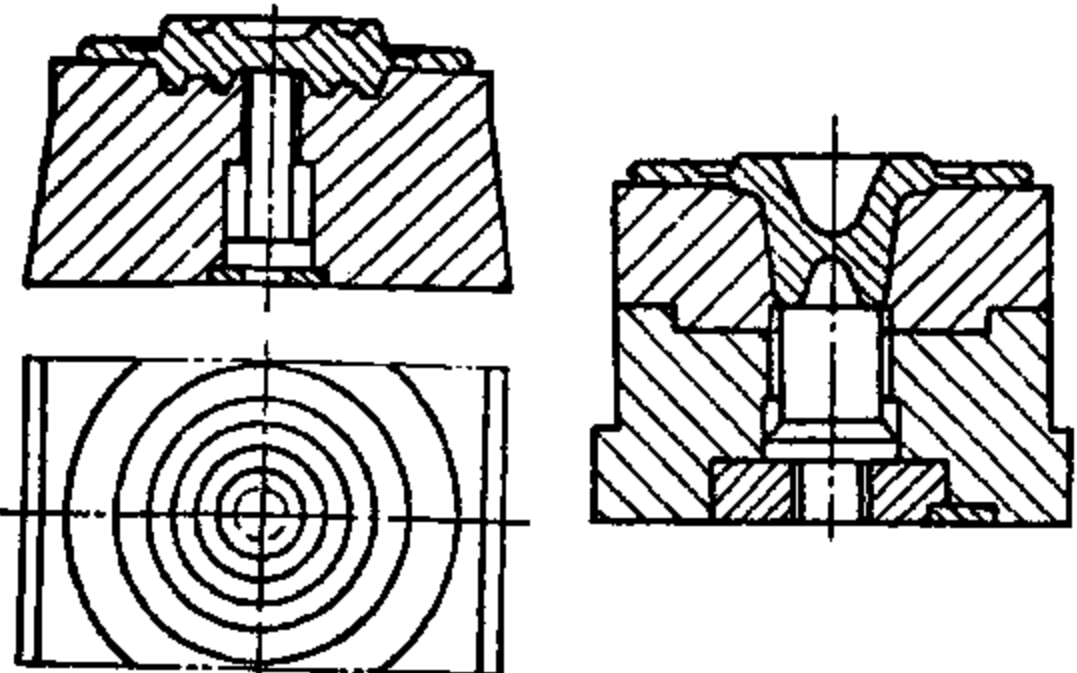
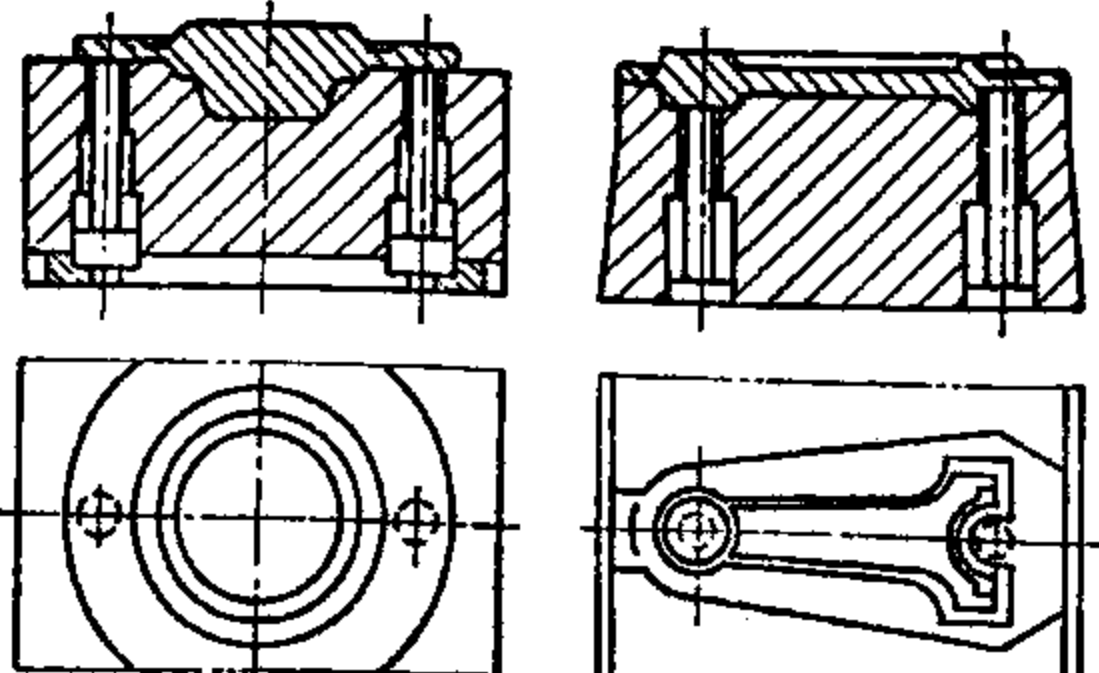
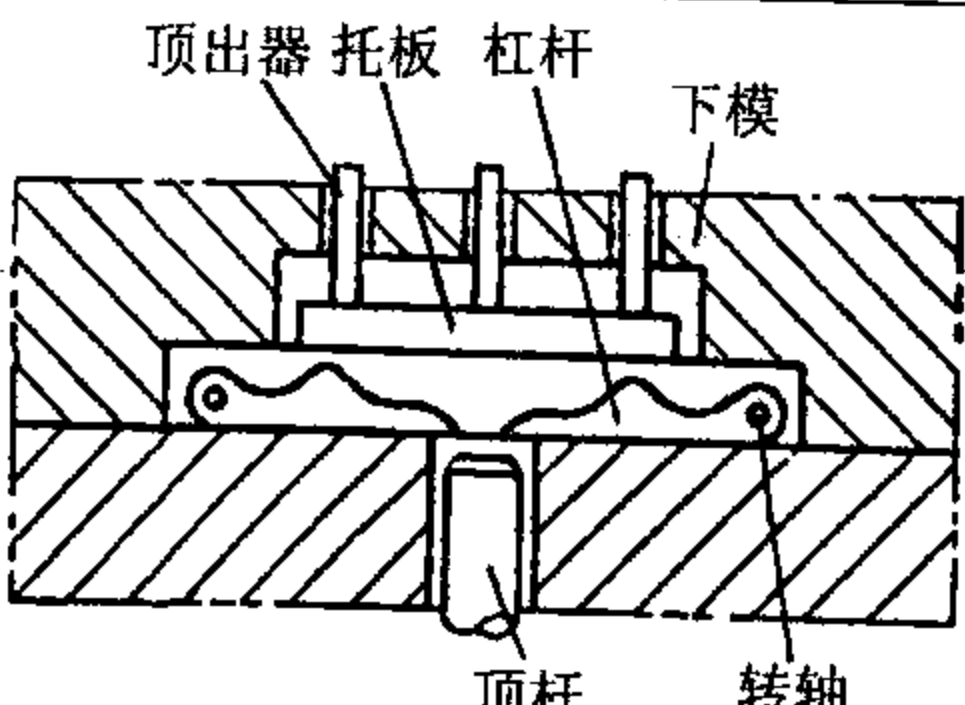
模架	内容	简图·说明·尺寸			
		设备/kN	模块规格 $L \times B \times H$	设备/kN	模块规格 $L \times B \times H$
十字键式模架	模块尺寸(参考)	16 000	$240 \times 240 \times 130$	31 500	$480 \times 260 \times 180$
		16 000	$300 \times 190 \times 130$	31 500	$550 \times 240 \times 160$
		20 000	$260 \times 260 \times 190$	31 500	$650 \times 240 \times 190$
		20 000	$290 \times 230 \times 190$	40 000	$500 \times 280 \times 200$
		20 000	$320 \times 230 \times 140$	40 000	$650 \times 200 \times 175$
		20 000	$350 \times 190 \times 140$	40 000	$630 \times 260 \times 200$
		20 000	$520 \times 230 \times 150$	31 500	$400 \times 314 \times 185$
		25 000	$380 \times 220 \times 150$	40 000	
		25 000	$600 \times 200 \times 160$		

4. 顶料装置

锻压机上设置机械式顶杆上下运动,推动模架内的杠杆顶料机构的转动,再传递到设在模块内的顶料器顶出锻件。锻压机上顶杆数有1~5个,应尽可能采取直接推动模块顶出器方式。只有当锻压机顶杆的数目、位置和行程与模块上顶出器不相符合时,需要在模架内设置杠杆式顶料机构,把顶料的动作均匀地传递到模块顶出器的各个顶杆上去。

锻模模块中顶料器的配置和尺寸应视锻件的形状和尺寸而定(表6.1-13)。

表 6.1-13 模块顶料器

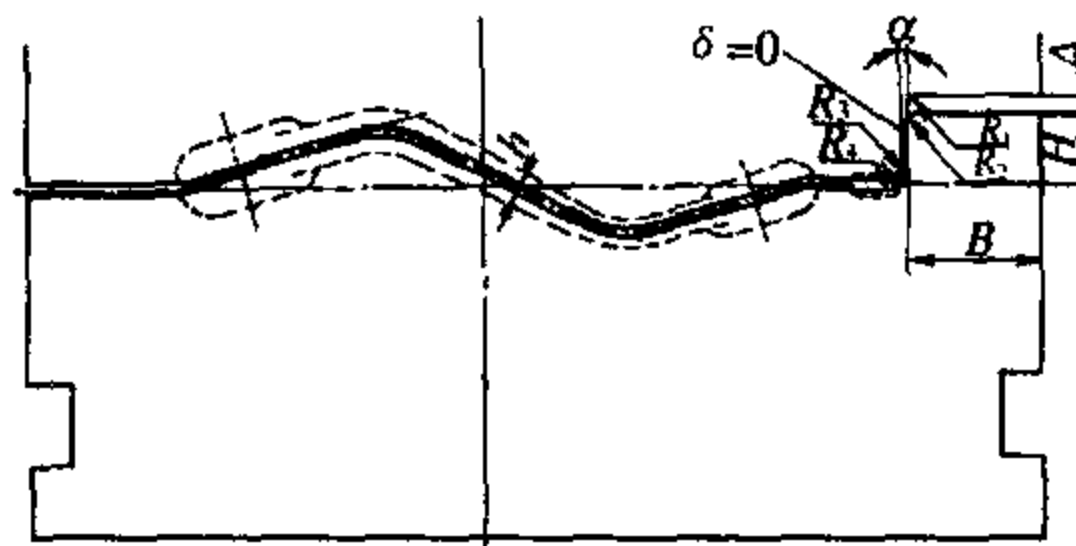
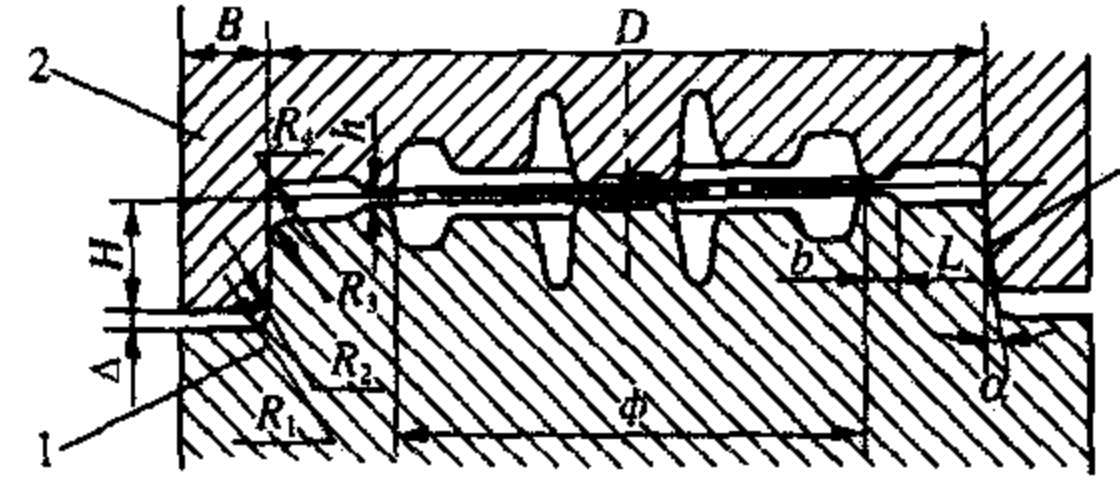
配置	简 图	说 明
中心单顶杆		<p>① 顶在冲孔连皮或加工面上</p> <p>② 右图顶出器是模膛的一部分</p> <p>③ 适合于回转头和长度不大形状简单的杆类锻件</p>
顶料器配置 双顶杆		<p>① 顶出料平稳, 用途较广</p> <p>② 尽可能顶在毛边上</p> <p>③ 要顶在加工表面上, 并避开加工定位的装夹面上</p>
多顶杆		<p>适合长度大和形状复杂的杆类锻件</p> <p>配置原则同上</p>

5. 导向装置

热模锻压力机虽有较好的刚性和导向,又在模架上设置了导柱导套导向装置,但是,锻件的分模面为斜面或曲面、模膛中心偏移锻模中心较大时,模锻过程中将产生较大的水平分力。为了平衡错移力,必须在模块上设备锁扣导向;又为了保证要求较高的锻件精度,减少错模和便于安装调正也需设置锁扣导向。

常用的导向装置有锁扣和导柱导套两类(表 6.1-14)。

表 6.1-14 导向装置

导向	形式	简图·尺寸·说明
锁扣	平衡锁扣	 <p> $B \geq 1.5 H$, $\alpha = 5^\circ$ $R_1, R_4 = 3 \text{ mm}$ $R_2, R_3 = 5 \text{ mm}$ $\Delta = 3 \sim 5$ 间隙 $\delta = 0$ 斜放锻件的倾斜度应小于模锻斜度,以利出模 </p>
	圆锁扣	 <p> $D = \phi + 2(b + L)$ b, L——飞边桥部, 仓部长度 间隙 $\delta = 0.3 \text{ mm}$ $H \geq 30 \text{ mm}$ $\alpha = 5^\circ$ $\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$ $R_1, R_4 = 3 \text{ mm}$ $R_2, R_3 = 5 \text{ mm}$ </p>

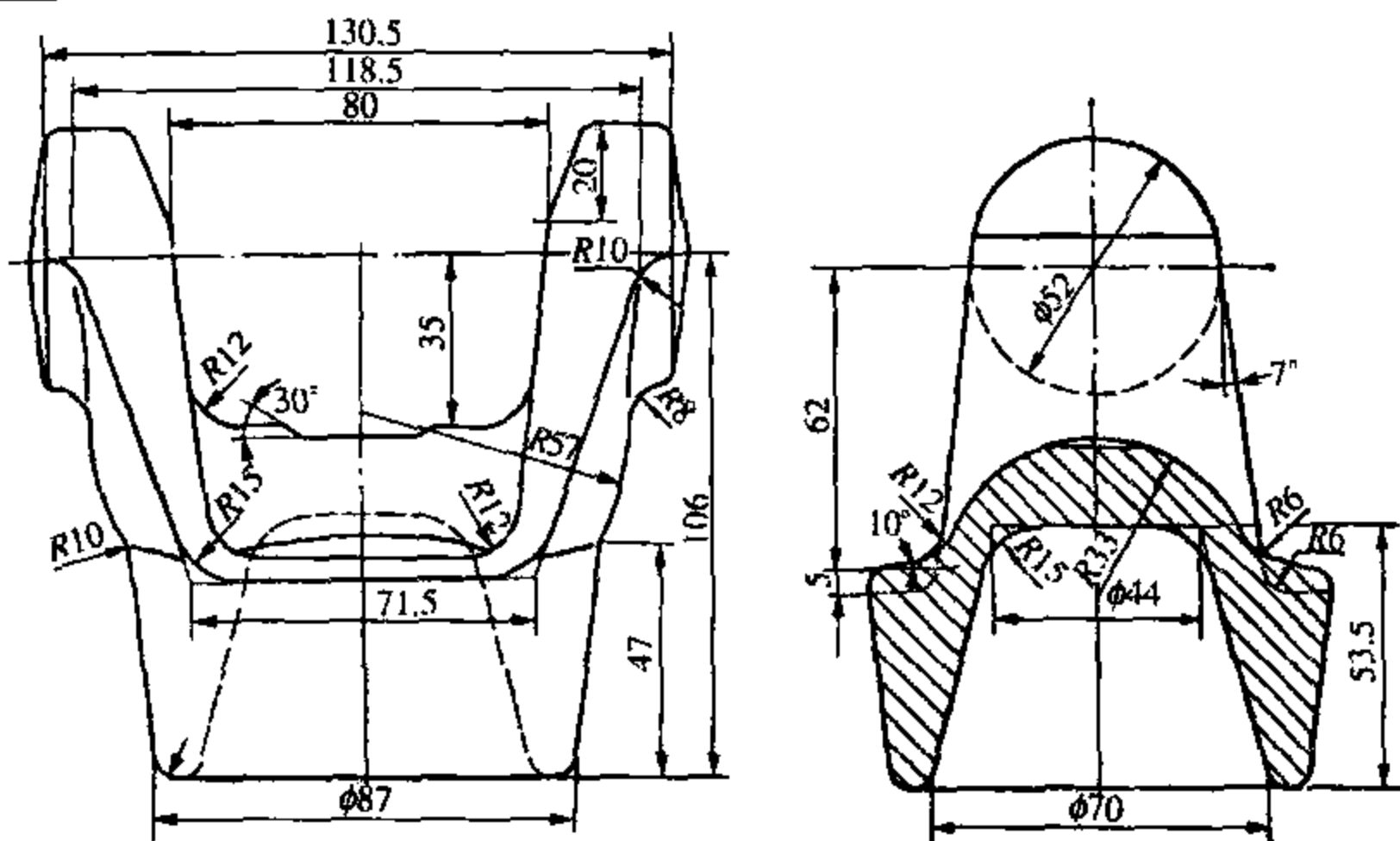
(续表)

导向	形式	简图·尺寸·说明																																			
锁扣	侧角锁扣		虚线表示侧向和纵向锁扣 $H \geq 25 \text{ mm}$ $B \geq 1.5 H$ $\alpha = 5^\circ$ $\Delta = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 间隙 $\delta = 0$ $R_1, R_4 = 3 \text{ mm}$ $R_2, R_3 = 5 \text{ mm}$																																		
导柱导套			<p>模架上大多采用双导柱形式,设置在模架的后部。特殊情况下,可增加导柱</p> <table><tr><th>吨位/kN</th><td></td><td></td><td>20 000</td><td>31 500</td></tr><tr><th rowspan="2">尺寸/mm</th><td>10 000</td><td>16 000</td><td>~</td><td>~</td></tr><tr><td></td><td></td><td>25 000</td><td>40 000</td></tr><tr><th>D, D_1</th><td>90</td><td>110</td><td>140</td><td>180</td></tr><tr><th>D_2</th><td>110</td><td>130</td><td>160</td><td>210</td></tr><tr><th>L_1 不小于</th><td>140</td><td>170</td><td>220</td><td>300</td></tr><tr><th>L_2</th><td>170</td><td>200</td><td>230</td><td>300</td></tr></table> <p>注: 导柱与导套之间间隙 0.25 ~ 0.5 mm 并有润滑</p>	吨位/kN			20 000	31 500	尺寸/mm	10 000	16 000	~	~			25 000	40 000	D, D_1	90	110	140	180	D_2	110	130	160	210	L_1 不小于	140	170	220	300	L_2	170	200	230	300
吨位/kN			20 000	31 500																																	
尺寸/mm	10 000	16 000	~	~																																	
			25 000	40 000																																	
D, D_1	90	110	140	180																																	
D_2	110	130	160	210																																	
L_1 不小于	140	170	220	300																																	
L_2	170	200	230	300																																	

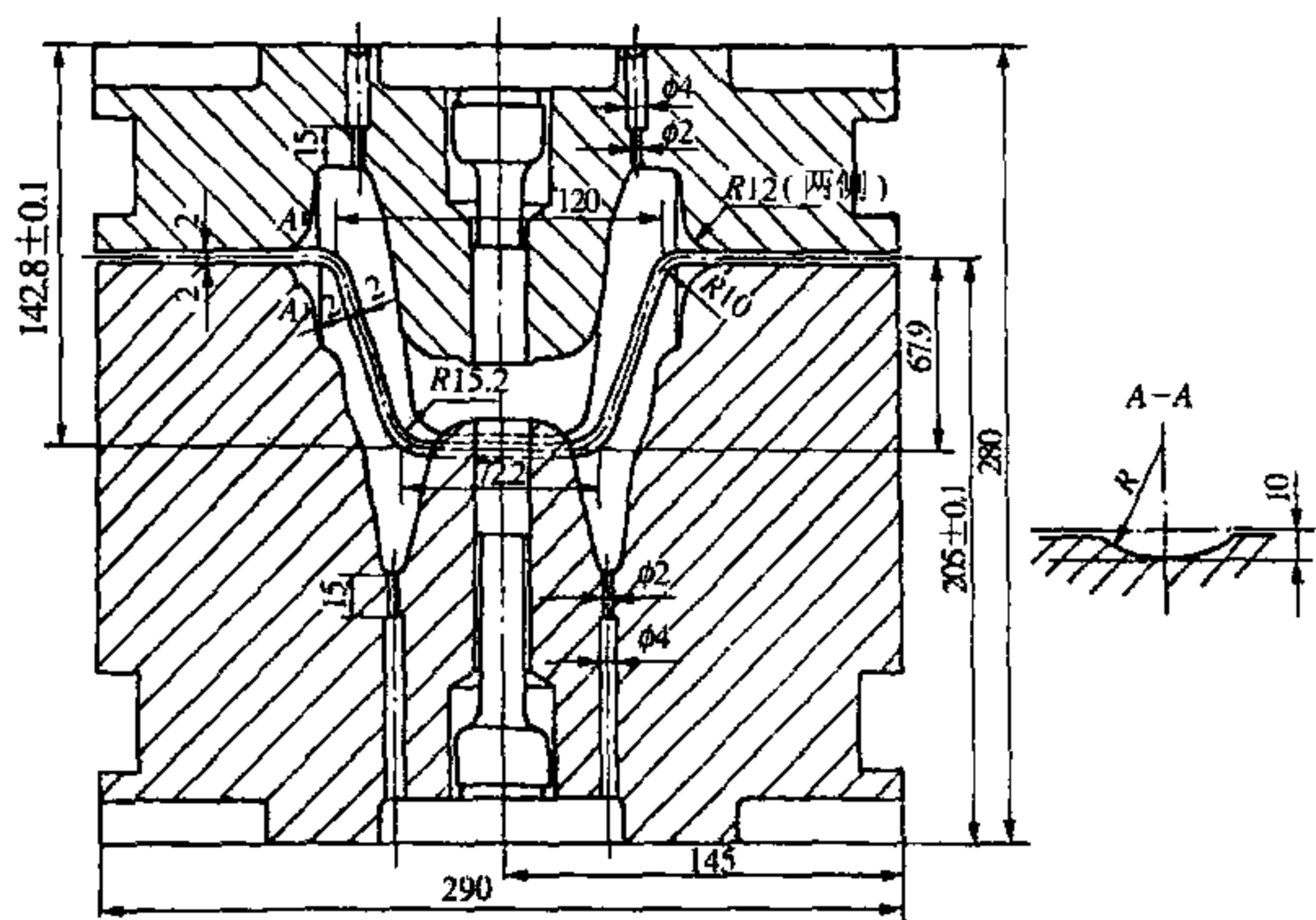
五、热模锻压力机上模锻实例

实例一 汽车万向节叉的模锻(表 6.1-15)

表 6.1-15 实例一：汽车万向节叉的模锻

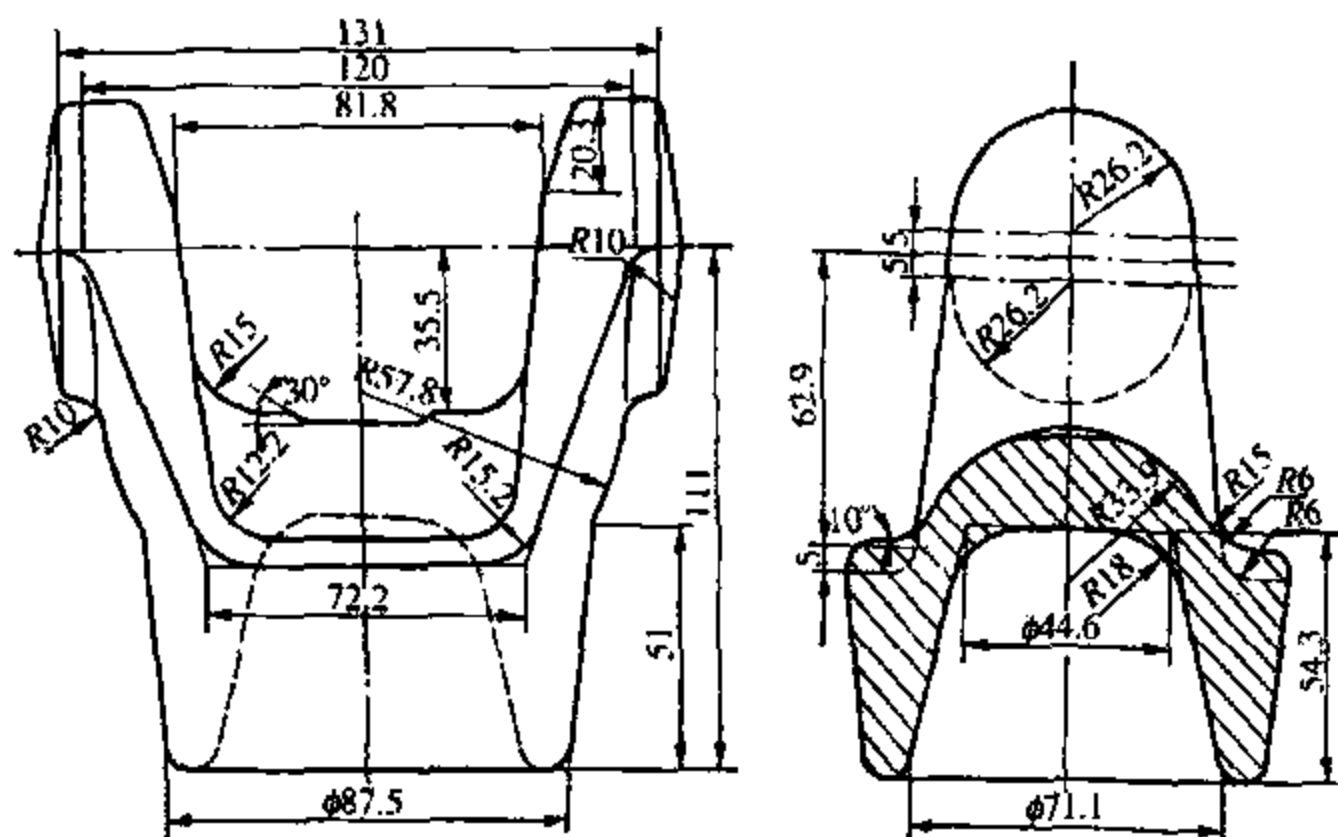


万向节叉锻件图

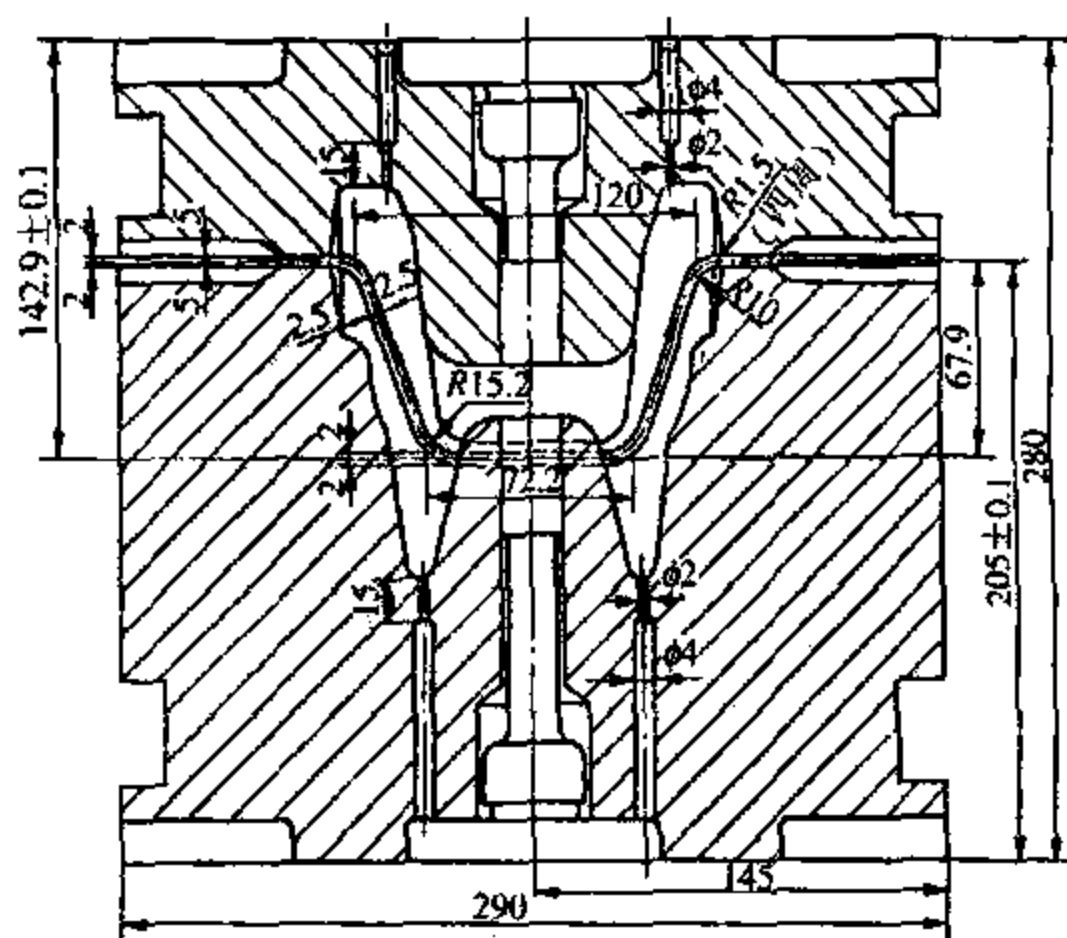


万向节叉预锻模

(续表)



万向节叉预锻热锻件图



万向节叉终锻模

材料: 40 MnB 毛坯尺寸: $\phi 65 \text{ mm} \times 165 \text{ mm}$ 锻件质量: 3.9 kg

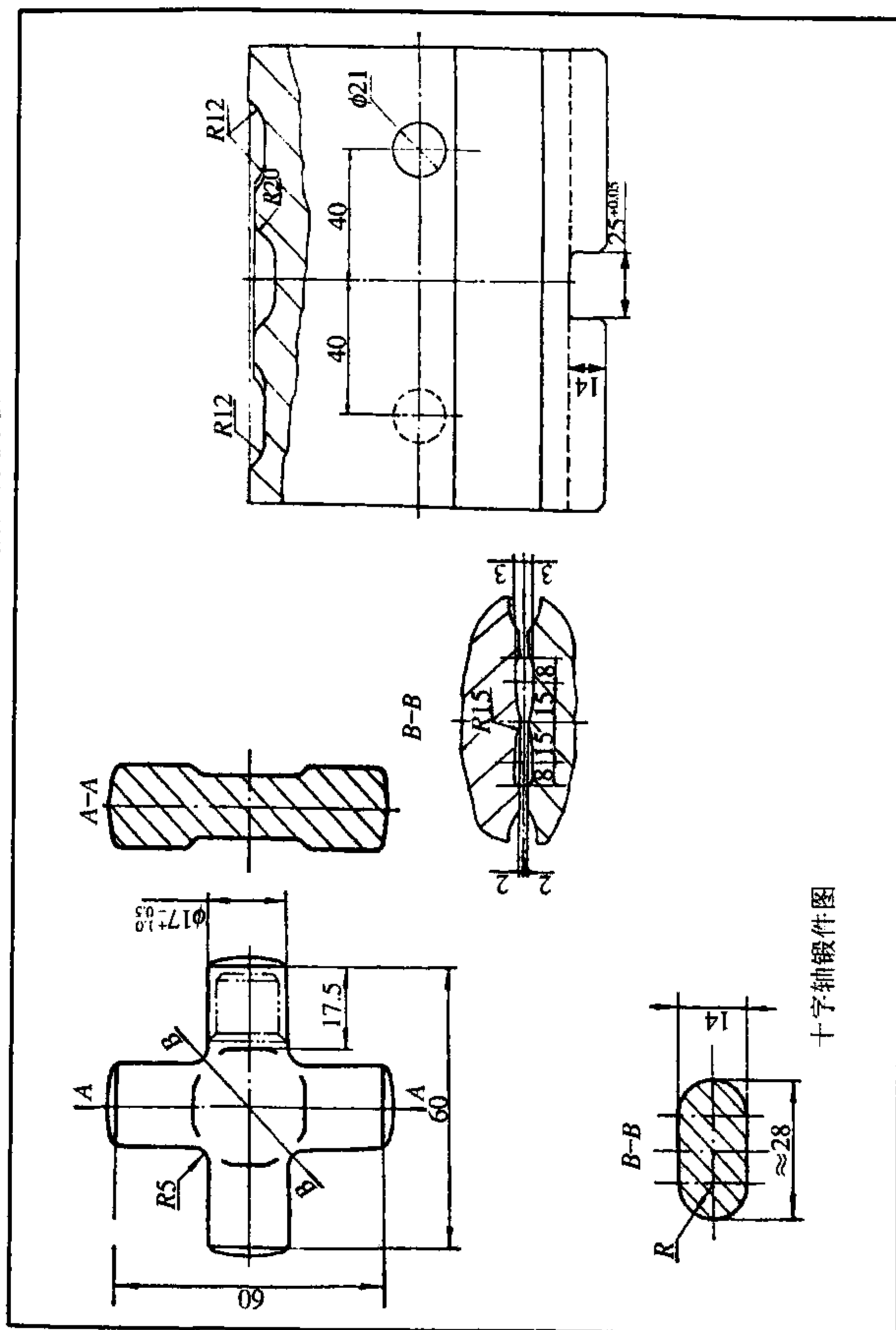
压力机吨位: 20 000 kN 模架: 十字键式

变形工步:

- ① 镦粗: 镦粗高度 $\sim 131 \text{ mm}$ 模膛设计类同实例一
- ② 预锻: 属复杂锻件压入成形, 设排气孔。镦粗后坯料横置在叉口上
- ③ 终锻: 分模线为曲面, 顶料杆在中心单杆

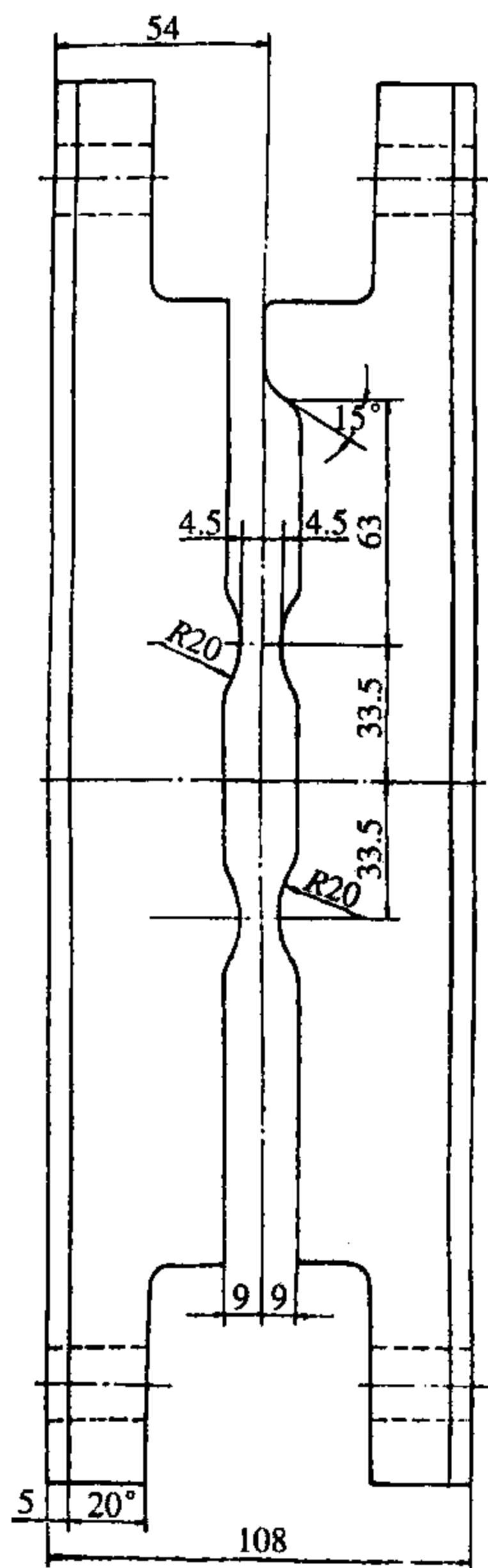
实例二 十字轴多件模锻(表 6.1-16)

表 6.1-16 实例二：十字轴多件模锻

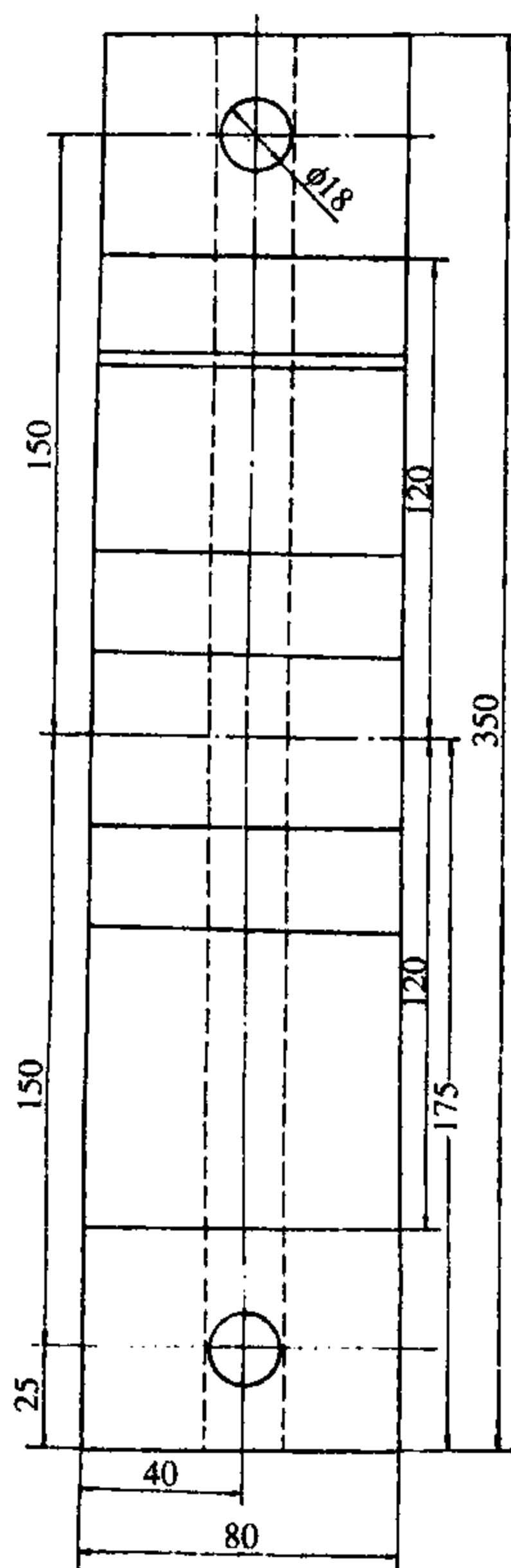


十字轴锻件图

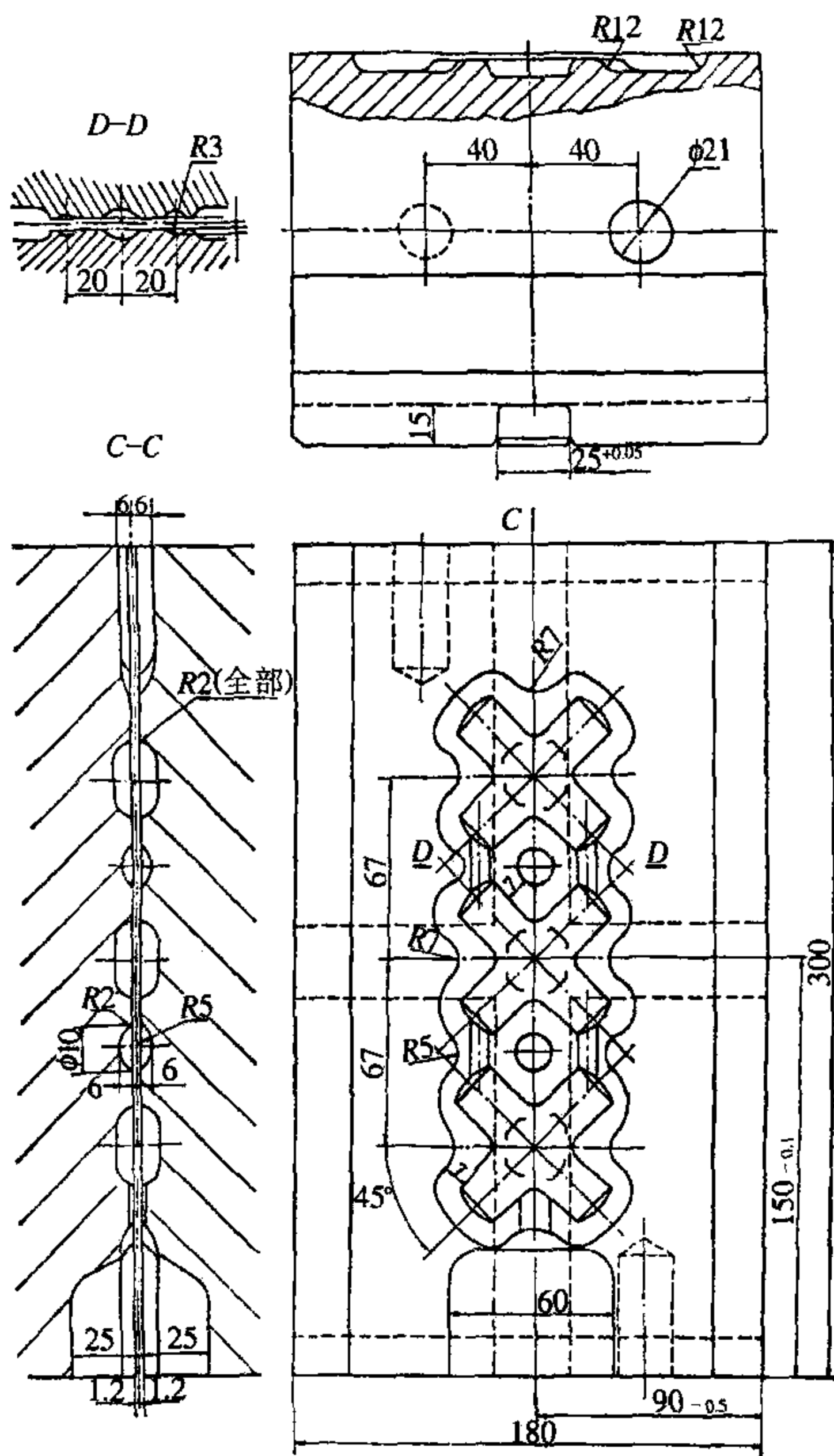
(续表)



十字轴锻模压挤用镶块

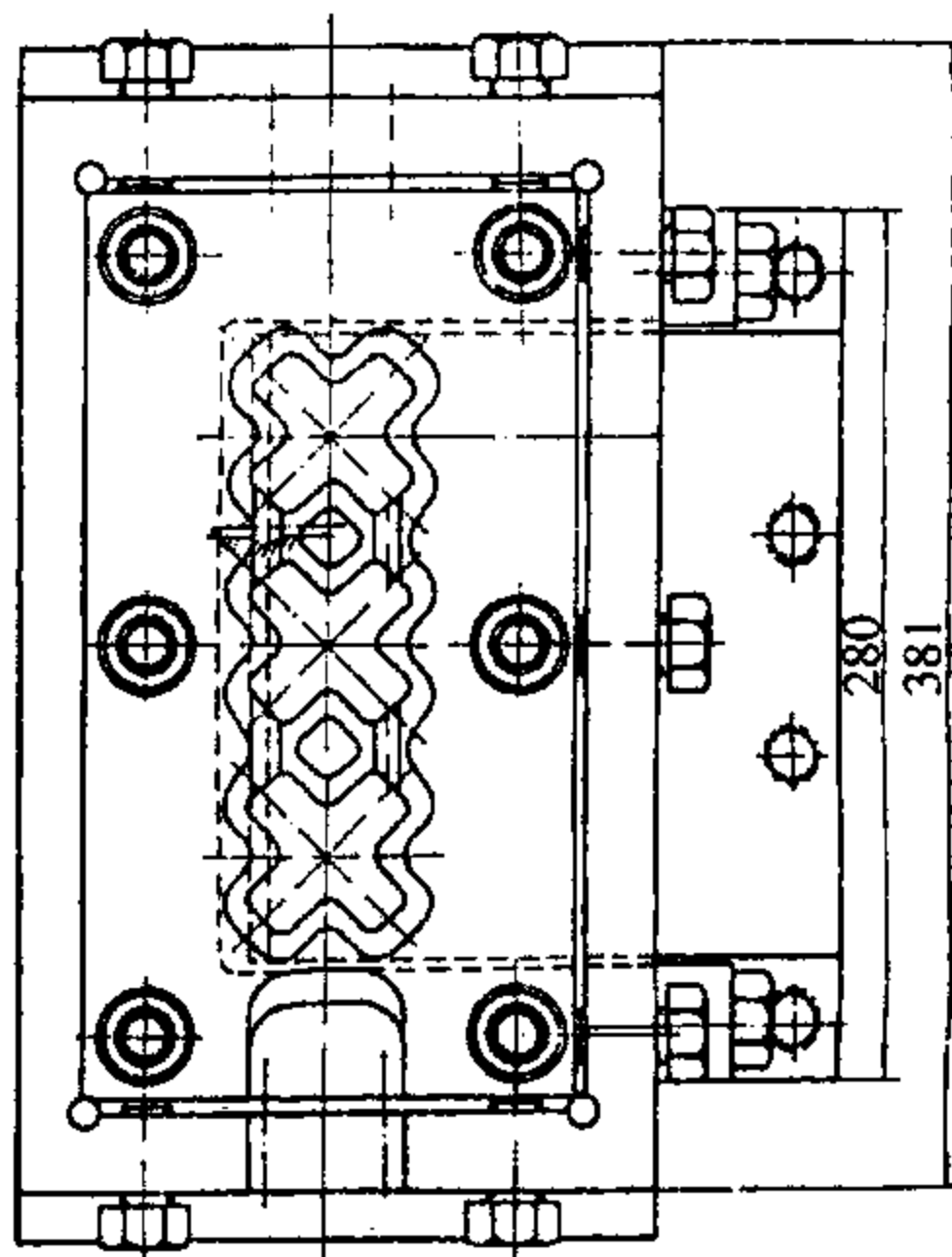
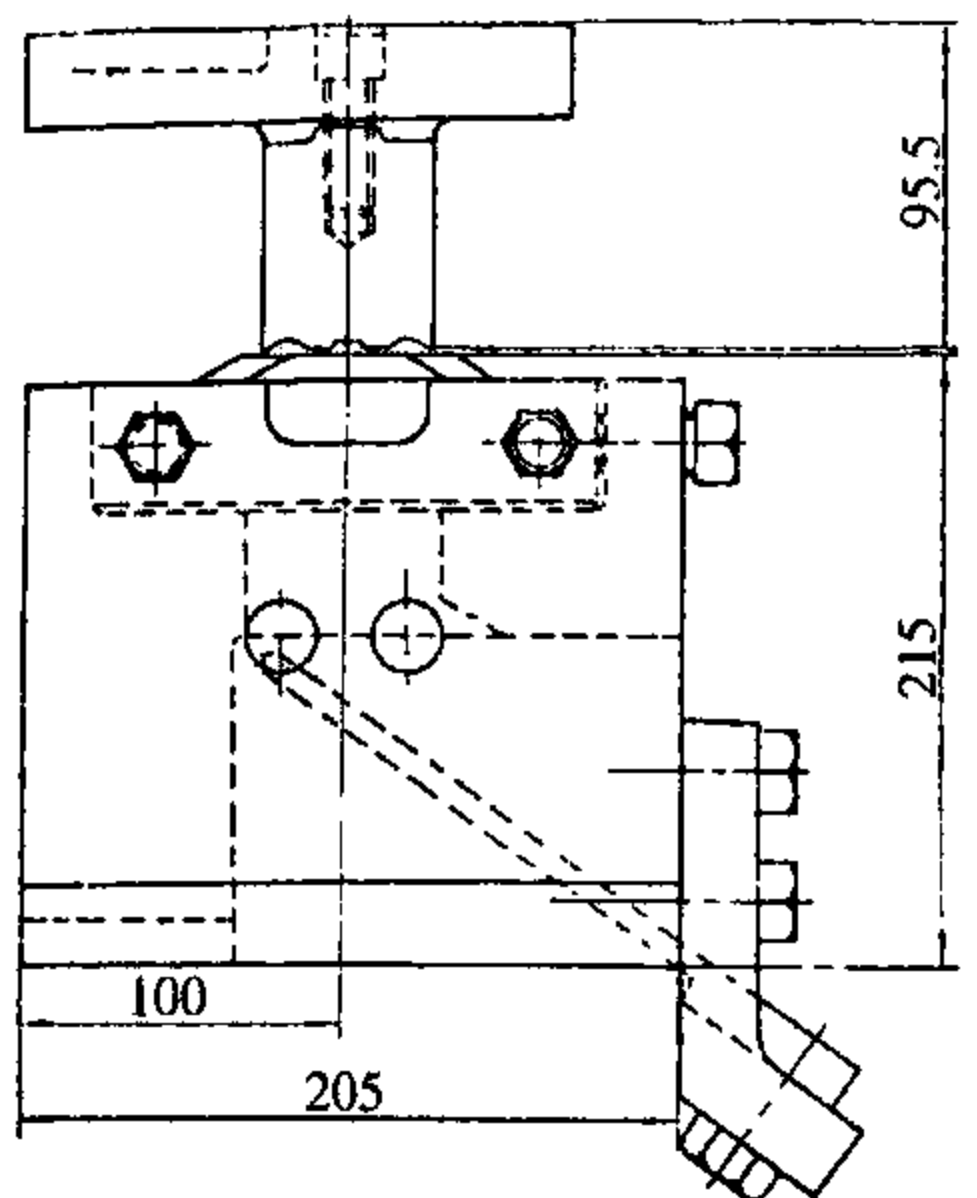


(续表)



十字轴终锻模

(续表)



十字轴切边模

锻件材料: 20 MnVB 毛坯尺寸: $\phi 30 \times 190/3$ 锻件质量: 0.2 kg 压力机吨位: 18 000 kN

模架: 十字键式

变形工步: 一模三件式多件模锻

① 压挤: 在压力机上压挤模膛进行

② 预锻: 开设毛边槽, 不设顶料器。锻件之间设连接用加强筋

③ 终锻: 设钳口料, 不设顶料器

④ 切边: 在热锻压机上进行, 切下的锻件由斜槽滑出去

第二节 螺旋压力机上模锻

一、螺旋压力机上模锻特点和锻件设计

螺旋压力机按其驱动装置不同可分为摩擦压力机、电动螺旋压力机和液压螺旋压力机(也称为液压螺旋锤)。这种设备的工艺用途很广,在其上可进行模锻、墩锻、挤压、弯曲、切边、冲孔、精压、压印、冷、热校正和精密锻造等。螺旋压力机上模锻比胎模锻生产率高,模具寿命长,劳动条件好;与模锻锤相比,造价低,投资少,工艺用途广泛。特别在中小批量或专业化生产条件下,其优越性较为突出。

1. 螺旋压力机模锻特点(表 6.2-1)

表 6.2-1 螺旋压力机模锻特点

螺压机模锻特点	应用和设计注意事项
① 通过螺旋副传递打击能量,由封闭式机架承受打击力 滑块行程和打击能量可调整,具有锻锤和锻压机双重工作特性	设备造价低,投资少,震动小,劳动条件好 具有锤的工作特性,可进行不同变形程度的反复打击,工艺用途广泛
② 滑块行程不固定,压力机本身导向性能比锤好 设有顶出机构	高度方向尺寸不受机架弹性变形影响,适合于精锻和无毛边模锻 对自身不闭合的模具需增设限位装置 用顶出料机构可减小模锻斜度、方便锻件出模,还适用于多分块组合式凹模

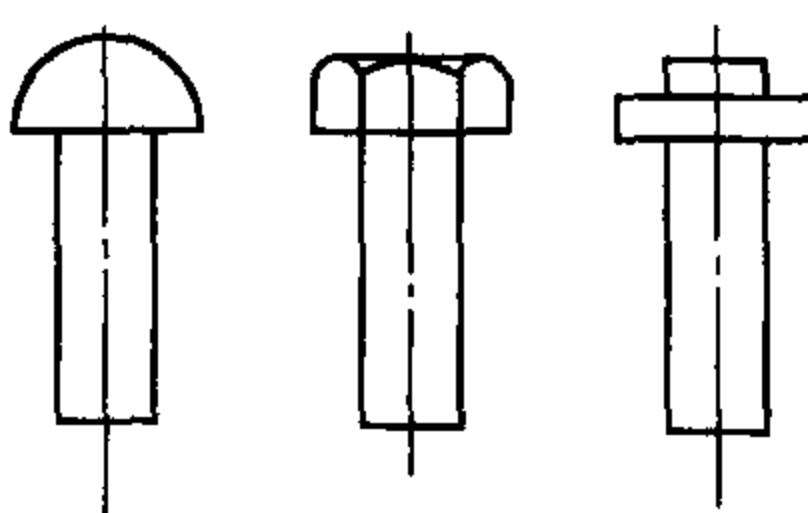
(续表)

螺压机模锻特点	应用和设计注意事项
③ 主螺杆与往复运动的滑块是非刚性连接, 承受偏载能力较差	通常只设单模膛模锻, 在偏心不大和工艺要求不高的情况下, 可进行双模膛模锻
④ 每分钟行程次数少 滑块行程的最后速度约为 3~4 m/s	金属在模膛中停留时间长、冷却快、充填模膛能力差。模锻时, 一般不超过三次打击 易于采用镶块式、组合式模具结构

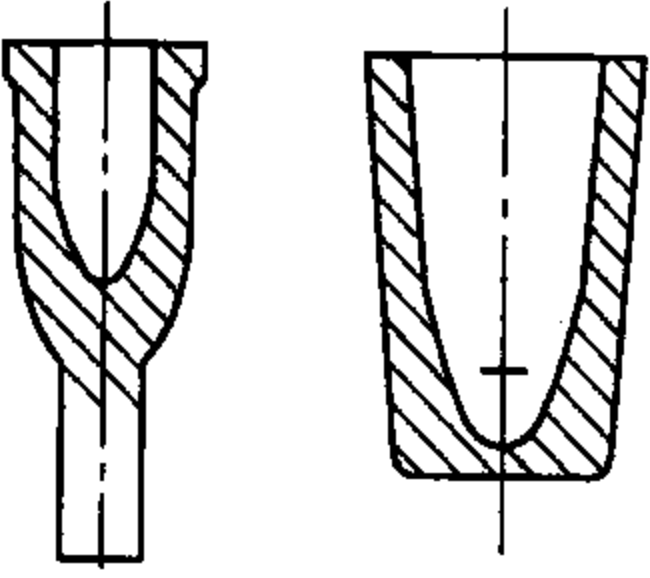
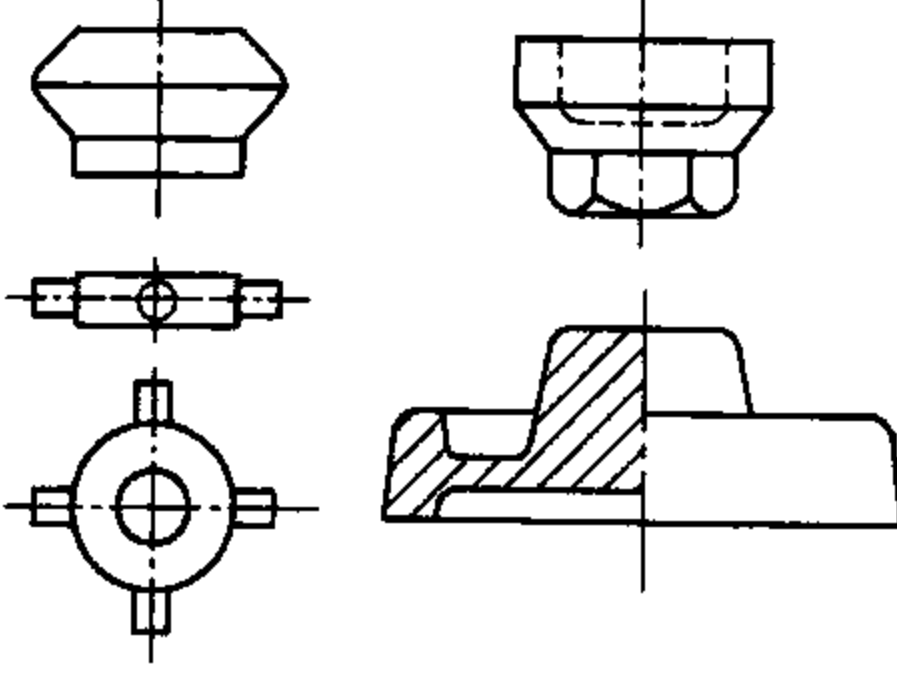
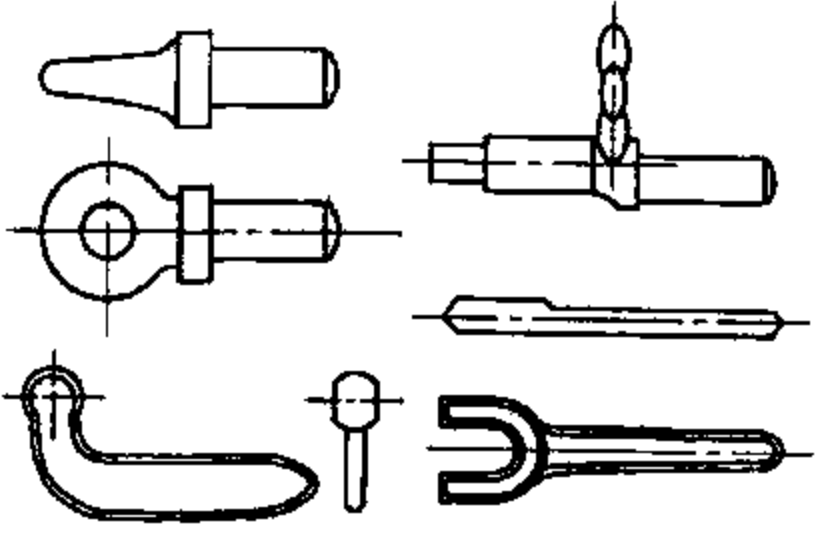
2. 螺旋压力机上模锻件分类

螺旋压力机通用性强, 生产的模锻件品种多。按照锻件形状、成形特点和所使用的模具形式的不同, 将其分为四类, 如表 6.2-2 所示。

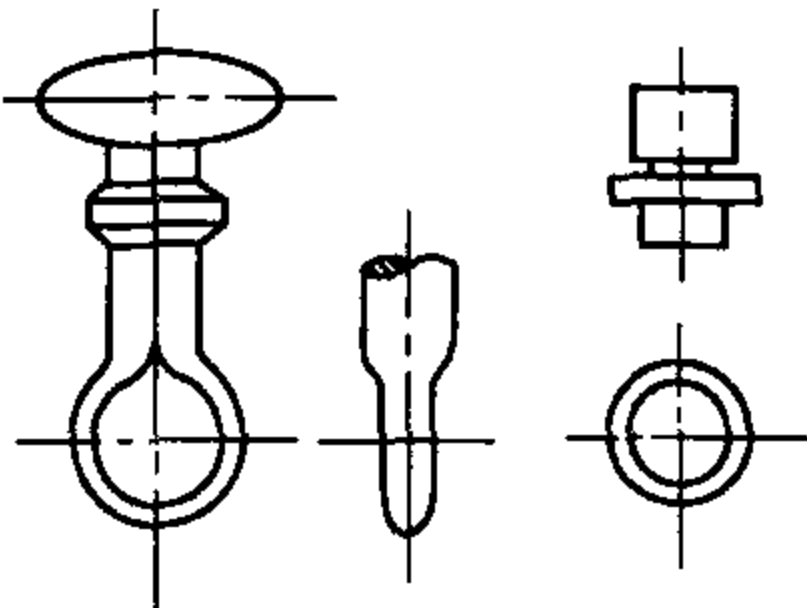
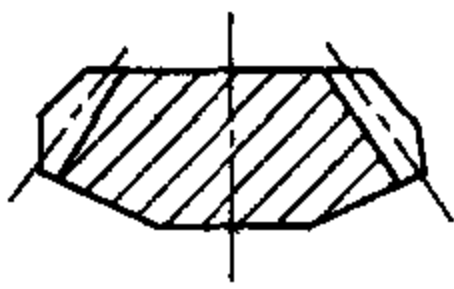
表 6.2-2 模锻件分类

类 别	锻件简图	形状、成形方法、模具特点
第 I 类 顶锻类		<p>① 锻件主轴成直线, 杆部长</p> <p>② 成形时毛坯立放, 头部局部镦粗成形, 杆部不变形</p> <p>③ 多用开式小毛边模锻, 也可用闭式模锻</p>

(续表)

类 别	锻件简图	形状、成形方法、模具特点
第 I 类		① 锻件主轴成直线 ② 成形时毛坯立放, 挤压成形 ③ 模具为挤压模结构
		① 锻件主轴成直线, 杆部或凸台短 ② 成形时毛坯立放, 整体锻粗, 局部挤压成形 ③ 多采用闭式无毛边模锻, 也可用开式模锻
第 II 类		① 相当于锤上模锻的长轴类锻件, 也分直线主轴、弯轴、带枝芽及叉形四小类 ② 成形时毛坯平放, 锻件主轴与分模面平行 ③ 都是采用开式有毛边模锻

(续表)


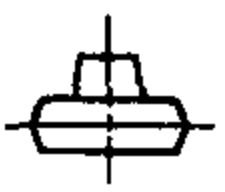
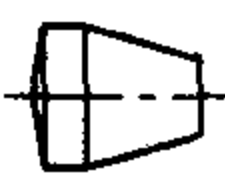
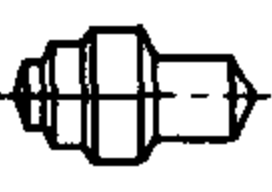
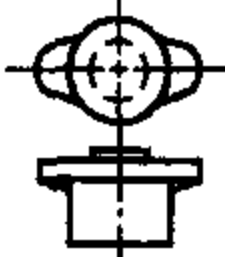

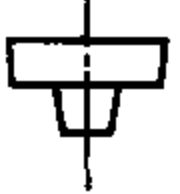



类 别	锻件简图	形状、成形方法、模具特点
第Ⅲ类 用组合凹模锻出的锻件		① 锻件圆周有凹陷缩颈或者有两个方向的凹陷凸起 ② 锻件主要靠挤压成形 ③ 必须采用具有两个以上分模面的组合凹模才能锻成
第Ⅳ类 精密锻件		① 锻件精度比一般模锻高 ② 毛坯与模具等都有专门的要求 ③ 是少无切削工艺在螺旋压力机上的应用,如齿轮和叶片精锻

3. 锻件设计

螺旋压力机模锻件设计的原则和内容与锤上模锻件基本相同,只是因有顶出装置,在分模面位置的选择和有关参数的具体数值上有所差别。

(1) 分模面位置的选择(表 6.2-3)

表 6.2-3 分模面位置的选择

锻件类别		分 模 面 位 置				
第Ⅰ、Ⅲ类锻件		多采用无毛边或小毛边模锻工艺,并用顶料装置,一般选在最大断面部分的端面或金属最后充满处				
第Ⅱ类锻件		多采用开式模锻,分模面的选择原则和锤上模锻相同。但螺压机上多为无钳口模锻,应尽量选择减小模膛深度方向的尺寸上,以利于锻件出模				
同一锻件,两种模锻方案的分模面						
模锻工艺	模锻件的类型					备 注
	1	2	3	4	5	
有飞边模锻						一 般 选 在 轴 称 上 线
无飞边模锻						一 般 选 在 最 大 截 面 的 端 部
说 明	此类指长杆形,可顶镦成形的锻件,无飞边模锻时,一般仅端部加热	平面图为圆形、方形或近似于这两种形状,可将分模面选在最大断面部分的一端,进行闭口模锻	锻件的成形部分全设在下模膛中,并能冲出深孔或通孔	锻件长度为其最大断面直径或边长的3倍以下,且具有几个凸出部分	非回转体类锻件,也可以用无飞边模锻	

(2) 锻件机械加工余量及公差

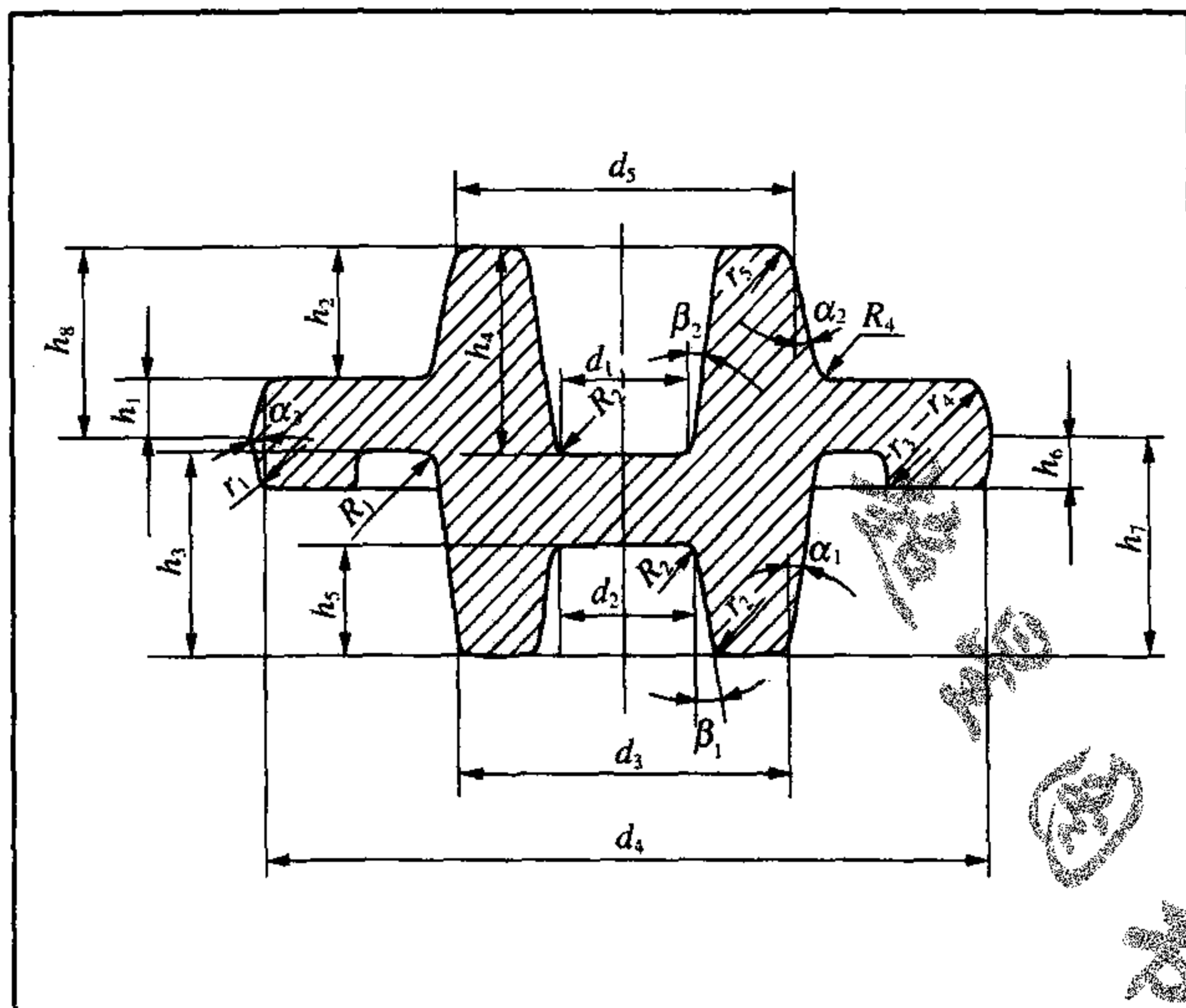
加工余量及公差值与锤上模锻相同,参照国家标准 GB - 12362 - 90(见第五章)确定。对较复杂或需两火锻造的锻件,余量可适当加大。对于无毛边模锻件,高度方向的余量及公差比有毛边模锻件大一些。

(3) 模锻斜度和圆角半径

钢质模锻件的模锻斜度和圆角半径可参照国家标准 GB - 12361 - 90(见第五章)或表 6.2 - 4 和表 6.2 - 5 选用。

① 模锻斜度(表 6.2 - 4)

表 6.2 - 4 模锻斜度

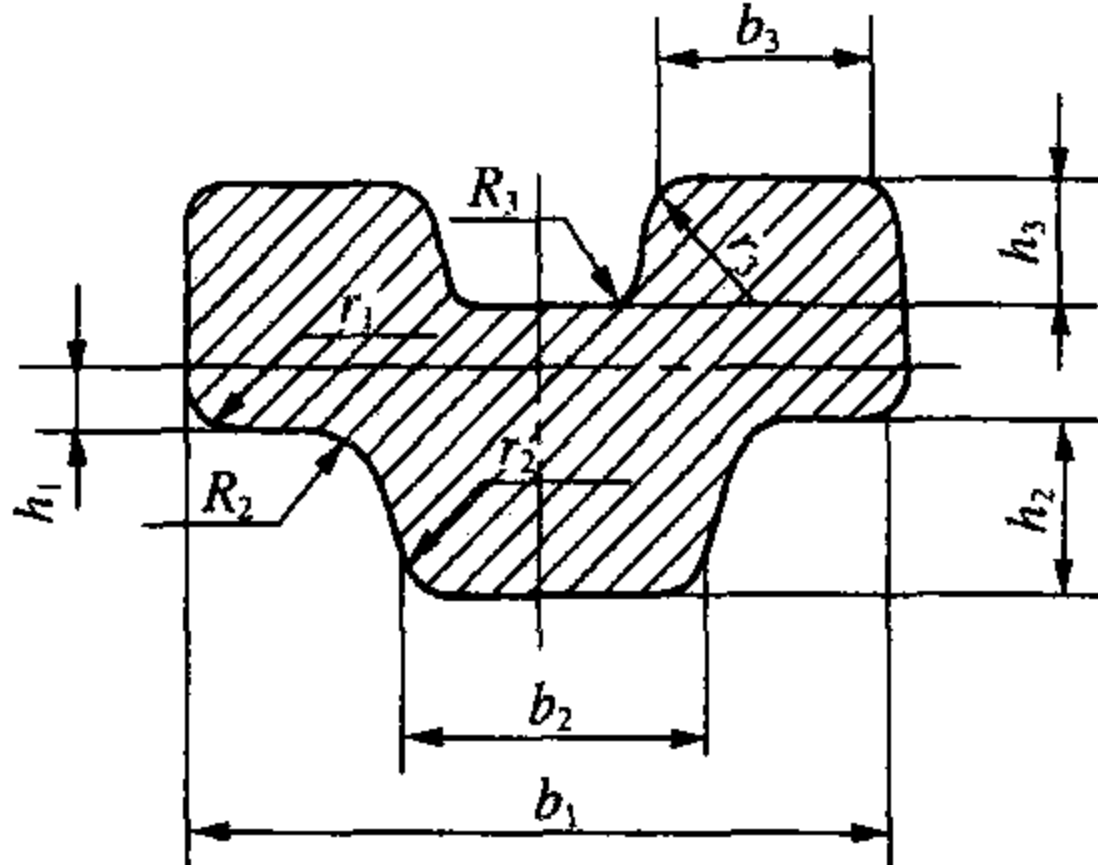


(续表)

对应的高 度与直径(或 宽度)之比 h/d	模锻斜度		外角 α°				内角 β°			
	材料	有无顶出装置	钢		有色金属		钢		有色金属	
			有	无	有	无	有	无	有	无
<1			1.5	5	0.5	1.5	3	7	1	1.5
$1\sim2$			3	7	1	3	5	10	1.5	3
$2\sim4$			7	10	1.5	5	7	12	2	5
>4			10	12	3	7	10	15	3	7

② 圆角半径(表 6.2-5)

表 6.2-5 圆角半径/mm

				
高度 h/mm	内圆角半径 R/mm		外圆角半径 r/mm	
	钢	有色金属	钢	有色金属
<10	3~4	1	2~2.5	1.5
10~15	4~5	1.5	2.5	1.5
15~20	5	1.5~2.0	3	1.5
20~30	6	2.5	3~4	2

(续表)

高度 h/mm	内圆角半径 R/mm		外圆角半径 r/mm	
	钢	有色金属	钢	有色金属
30~40	6~8	2.5	4	2
>40	>10	>3.0	>5	>2

为了便于模具制造时采用标准刀具,模锻斜度应按以下数值选用: $0^{\circ}15'$ 、 $0^{\circ}30'$ 、 1° 、 $1^{\circ}30'$ 、 3° 、 5° 、 7° 、 10° 、 12° 、 15° 。圆角半径按以下数值选用: (1.0)、(1.5)、2、2.5、3、4、5、6、8、10、12、16、20、25、30。

对于外圆角半径 r 必须保证:

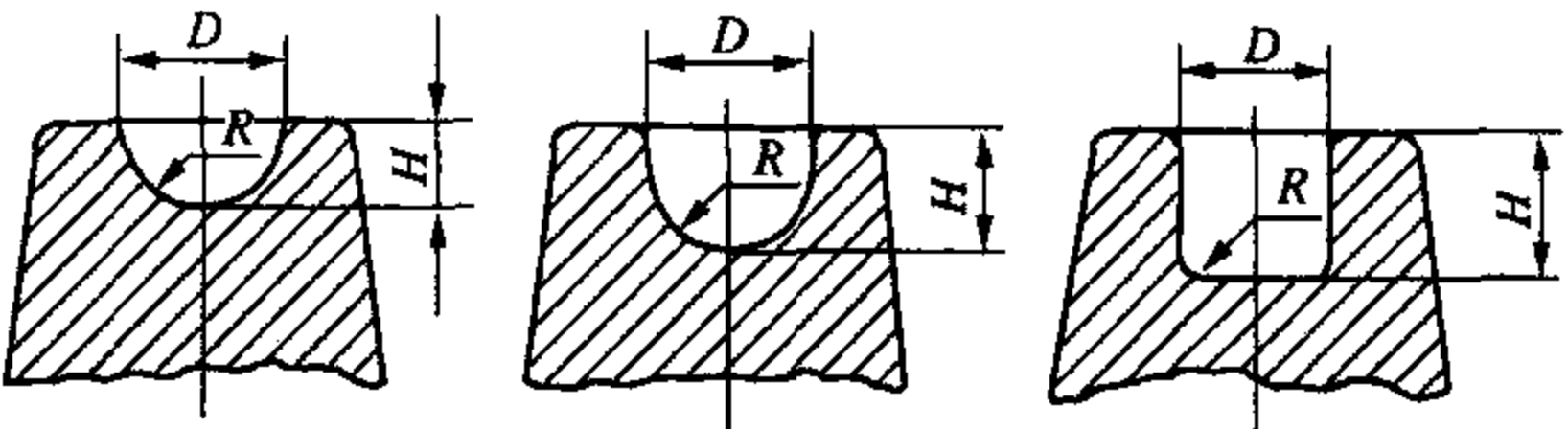
$$r = (1 \sim 2) a$$

式中 a ——单边加工余量(mm)。

(4) 冲孔连皮和压凹

带有通孔的锻件,冲孔连皮尺寸可参照锤上模锻选用(见第五章)。不通孔的锻件,压凹的尺寸见表 6.2-6。

表 6.2-6 压凹的尺寸

			
D/mm		H/mm	R/mm
钢	有色金属		
<20	<10	$D/2$	$D/2$
20~50	10~40	$2D/3$	$D/2$
>50	>40	$<D$	$<1/5D$

(5) 飞边槽

采用有飞边锻造时,飞边槽形式、设计与锤上模锻基本相同。但是,螺旋压力机上模锻的飞边槽的桥部高度 h 较大,仓部较小。

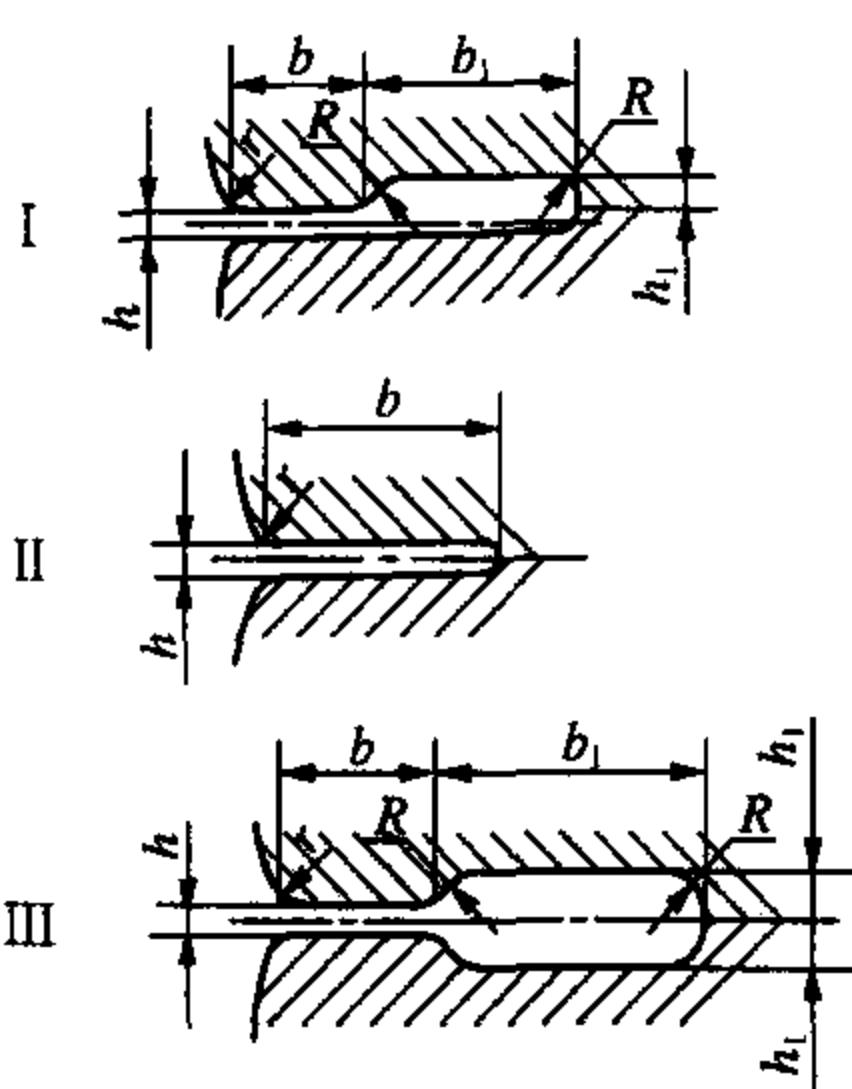
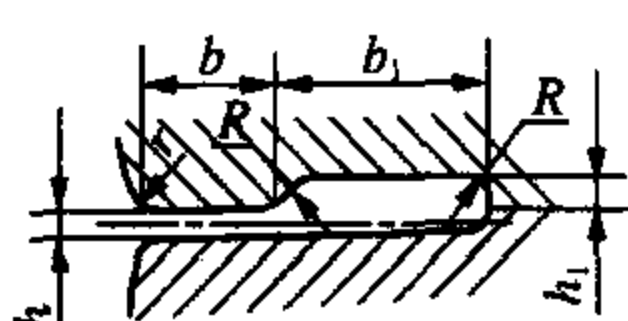
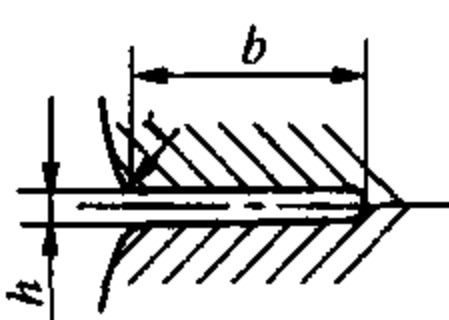
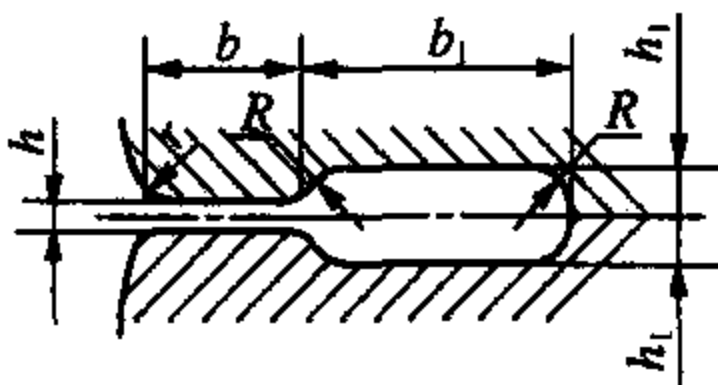
第Ⅰ类飞边槽:适用于一般锻件。

第Ⅱ类飞边槽:适用于小飞边模锻件。

第Ⅲ类飞边槽:适用于复杂形状的模锻件。

飞边槽尺寸可根据设备吨位来选择和确定,见表 6.2-7。

表 6.2-7 按设备规格确定飞边槽尺寸

		设备力 /kN	h /mm	h_1 /mm	b /mm	b_1 /mm	r /mm	R /mm
I		$\leq 1\ 600$	1.5	4	8	16	1.5	4
II		3 000	2.0	4	10	18	2.0	4
		4 000	2.5	5	10	20	2.5	5
III		6 300~ 10 000	3~ 3.5	6	12	25	3.0	6
		$>10\ 000$	4	7	14	30	3.5	7

二、模锻变形工步设计和设备吨位的确定

1. 模锻变形工步设计

螺旋压力机上可以进行的变形工步有:模锻工步、制坯工步、模锻后续工序。模锻工步包括终锻和预锻;制坯工步有镦粗、聚料、弯曲、成形、压扁等;模锻后续工序有精压、压印、校正、切

边、冲孔、锻后弯曲等。但是,在螺旋压力机上主要采用单、双模膛模锻。若锻件所需工步较多,须更换模具、增加火次、与制坯设备连线或多机联合锻造。

各类锻件的模锻变形工步见表 6.2-8。

2. 设备吨位的确定

螺旋压力机吨位可按下列经验公式确定

$$P=qS/K$$

式中 P ——螺旋压力机公称压力(kN);

q ——单位压力(N/mm^2),在热锻和精压时,约为 $80 \text{ N}/\text{mm}^2$,若锻件材料是低碳钢、轮廓又比较简单时,约为 $60 \text{ N}/\text{mm}^2$;

S ——锻件总变形面积(包括锻件面积、冲孔连皮和飞边面积)(mm^2);

K ——系数,变形程度小的精压件取 1.6;变形程度不大的锻件取 1.3;变形程度大的锻件取 0.9~1.1。

三、制坯工艺

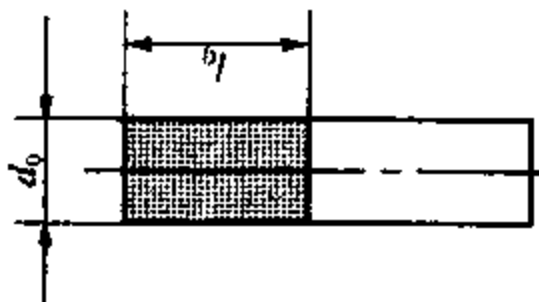
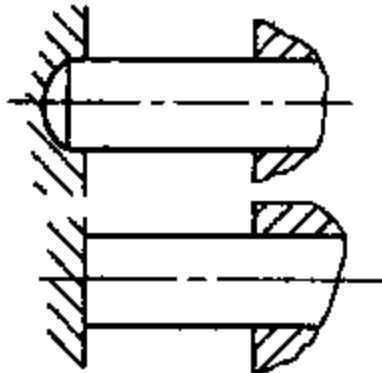
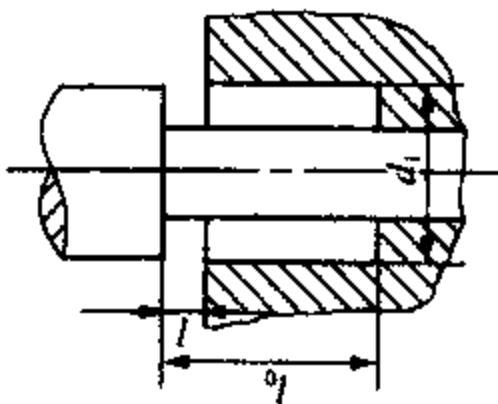
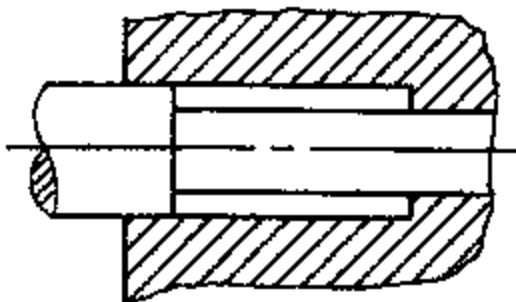
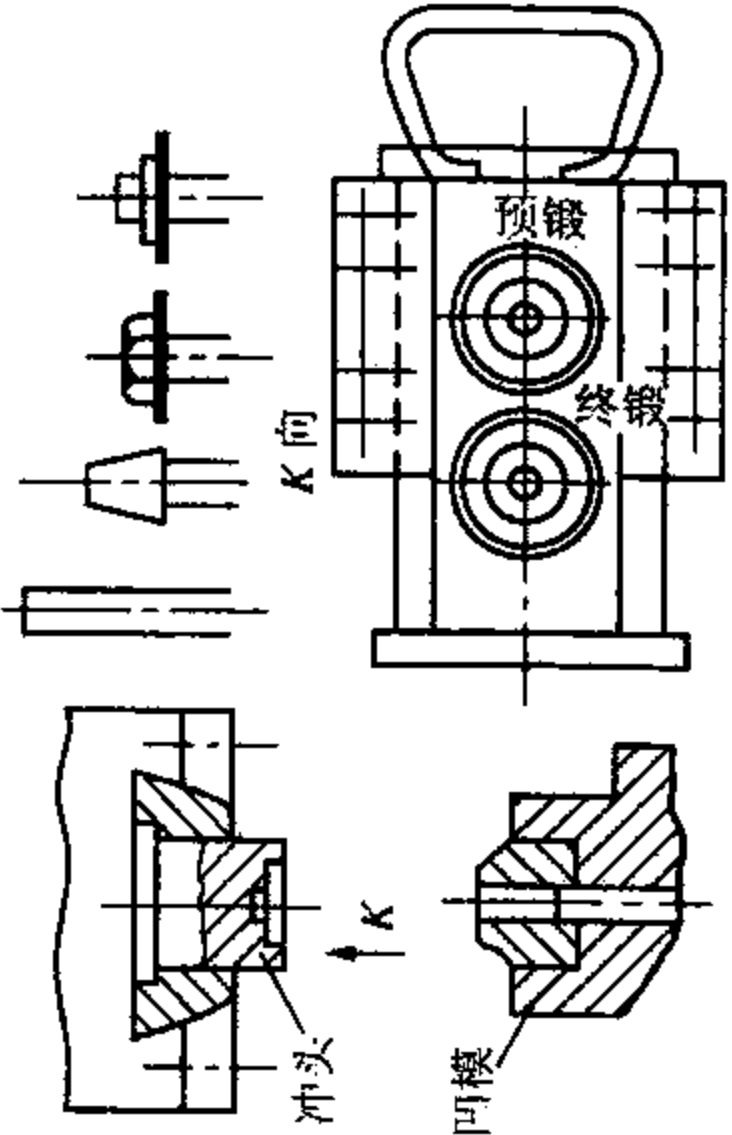
螺旋压力机上模锻受打击速度低、行程次数少的限制,对拔长、滚挤等制坯工步需在其他制坯设备上进行,如自由锻锤、空气锤、辊锻机、电锻机、楔横轧机和预成形压力机等。

由于空气锤价格便宜、操作使用灵活方便、生产率能与螺旋压机相匹配、制成的坯料形状好、可节省材料、降低成本,所以,在 $10\,000 \text{ kN}$ 以下的螺旋压力机采用空气锤作为制坯设备较为普遍。

1. 空气锤上制坯

在空气锤上制坯可分为平砧制坯和型砧制坯两类:

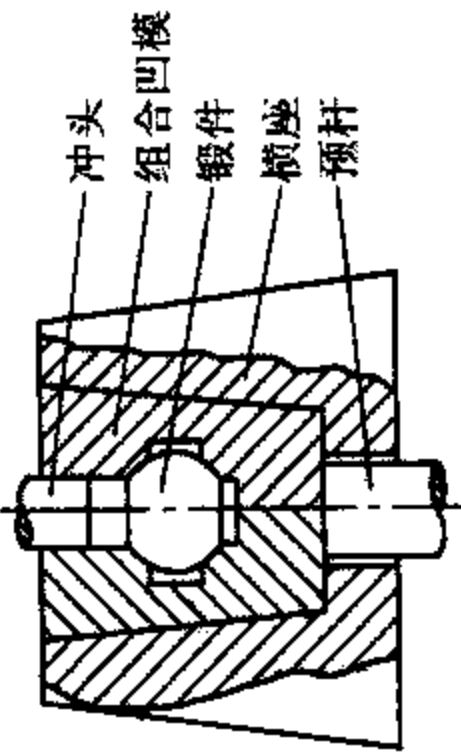
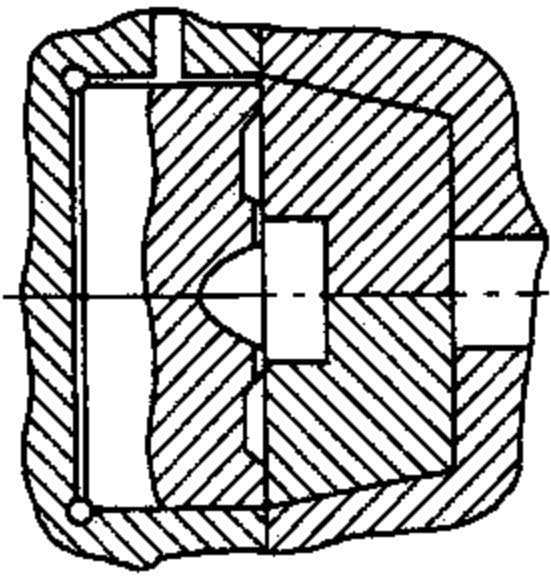
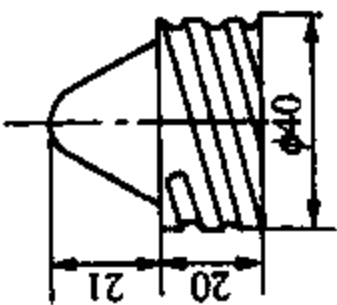
表 6.2-8 模锻变形工步

类别	分项目	变形工步				说明
第 I 类锻件	局部顶锻类					<p>① 要控制坯料变形部分的长度和直径之比 l_0/d_0</p> <p>② 端部要求平直、无毛刺</p>
		机器一次行程的顶锻件	$l_0 \leq 2.3 d_0$	若 $d_1 > 1.5 d_0$ $l \geq d_0$ 时 $l_0 \leq 2.5 d_0$	若 $d_1 < 1.5 d_0$ $l \leq d_0$ 时 $l_0 \leq 4.0 d_0$	
		二次行程顶锻				
			<p>① 对 $l_0/d_0 > 2.3$ 时, 可采用聚料工步, 二次锻压, 但 l_0/d_0 应小于 4.2</p> <p>② 本图是滑动小模, 保证中心连打击双工步连续顶锻</p>			

(续表)

类别	分项	变形工步	说明
第 I 类 锻 件	杯盘齿轮类	<p>(a)</p>	该类锻件多采用模锻
		<p>(b)</p>	图(a)形状简单、小孔厚壁,毛坯直接锻成形
		<p>(c)</p>	图(b)形状较复杂、带孔或小凸台,采用锻粗-终锻
			图(c)形状特别复杂,采用预锻-终锻工步

(续表)

类别	分项	变 形 工 步	说 明
第 II 类 锻 件	可在螺旋压力机上完成的制坯的锻件	螺旋压力机上单次打击能完成的制坯工步如：墩粗、弯曲、卡压、压扁和简单的滚挤(打击次数 2~3 次) 这类制坯工步可与终锻工步形成双模膛在螺旋压力机上完成	① 该类锻件属杆类锻件,多采用有毛边开式模锻 ② 变形工步设计主要依据计算毛坯图,工艺计算方法可参照锤上模锻相应内容 ③ 制坯工艺将专题叙述
	需用制坯设备的锻件	锻件截面相差较大,必须采用拔长、滚挤工步的,可根据生产批量的不同,采用制坯设备制坯 应尽可能把制坯设备和螺旋压力机组成生产线生产	
第 III 类 锻 件	闭式模锻	 <p>冲头 组合凹模 锻件 横座 预杆</p>	① 该类锻件一般在两个方向有凹档,为保证分出模,凹模必须是分块组合的 ② 工艺差别较大,模锻工步和模具设计要具体分析
	开式模锻	 	

(1) 平砧制坯

直接利用设备上的平砧座进行制坯工步,可进行镦粗、压扁、去氧化皮等工步。

(2) 型砧制坯

在砧面上制作拔长、滚压等模膛,称为型砧制坯(图 6.2-1)。在型砧上,可进行拔长、滚压、卡压、压扁、镦粗等工步。合理地选用和组合这些工步,可制成模锻所需的、符合要求的毛坯。设计型砧时应充分考虑到空气锤锤击力量的轻重和动作的缓急,容易控制和操作灵活等工艺特点。

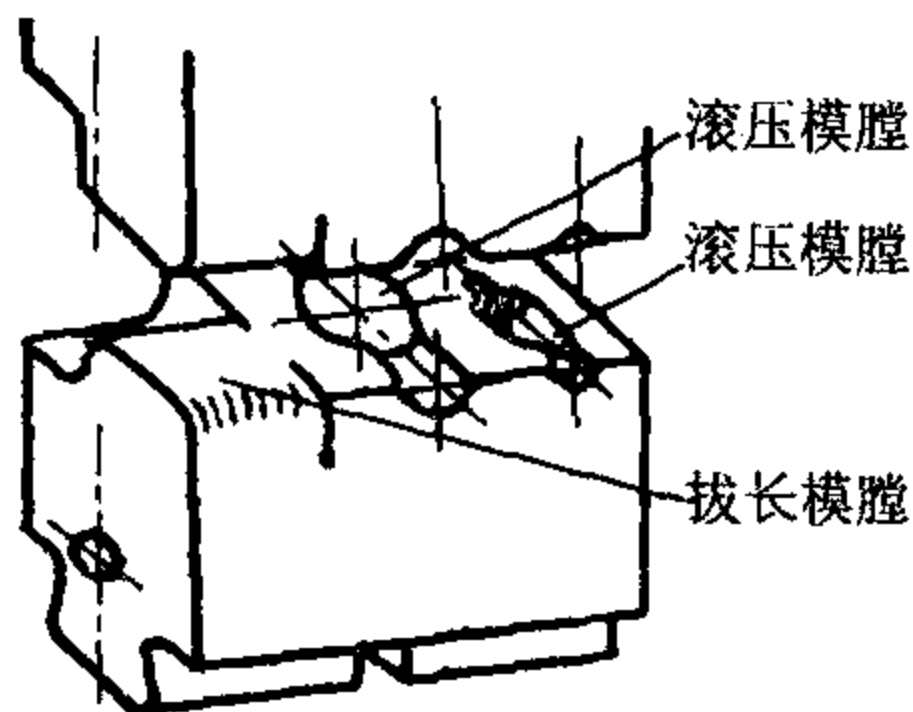


图 6.2-1 型 砧






(3) 坯料的分类

型砧按所锻的坯料形状可分为六类(表 6.2-9)。

表 6.2-9 坯料和型砧分类表

形式	序号	类 别	简 图	工 艺 方 法
型 砧	1	单球体		滚压球体-调头拔长
	2	双球体		滚压球体-调头拔长-滚压-拔中间杆部

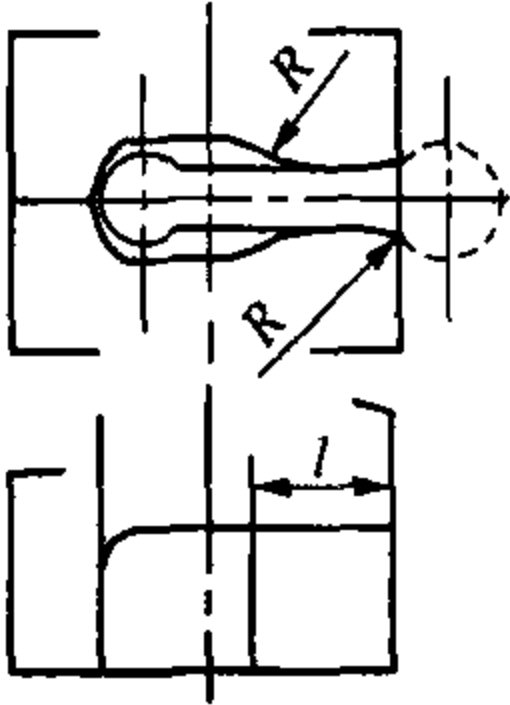
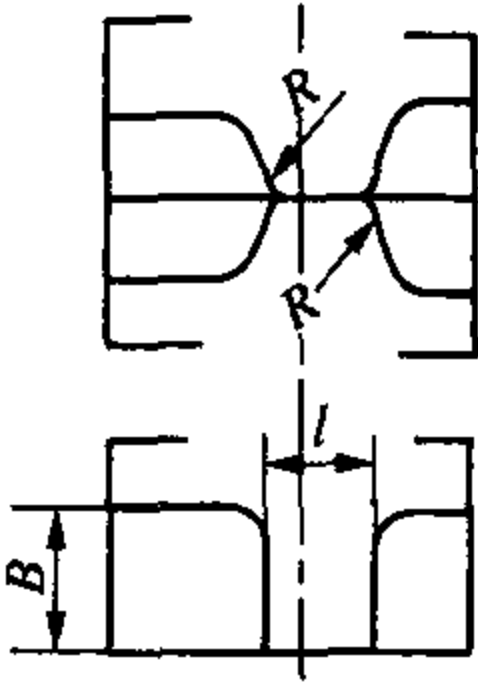
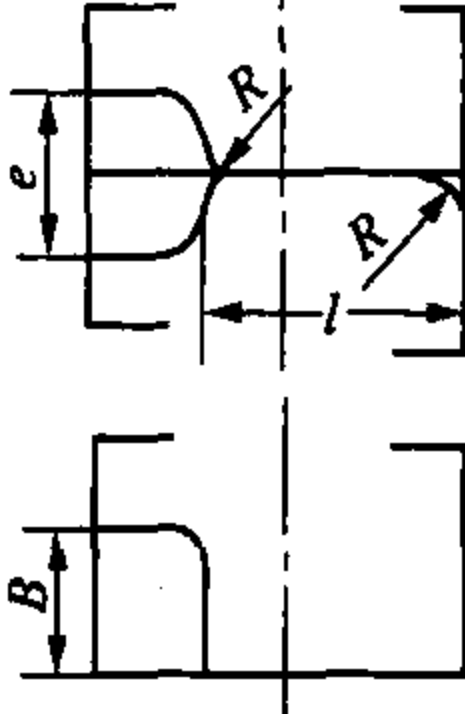
(续表)

形式	序号	类别	简图	工艺方法
型 砧	3	三球体		滚压中间球体 —一端拔长—滚压 —另一端拔长—滚压—拔杆部
				两球体中心距较近,可一次滚压。方法同第二类
	4	弯曲轴线		在前三类工艺方法基础上增加弯曲工步
异形型砧	5	扁平类		拔长—打扁到要求高度—倒圆弧
	6	一般成形类		按坯料形状具体订出

2. 型砧制坯模膛设计

(1) 拔长模膛(表 6.2-10)

表 6.2-10 拔长模膛

序号	简 图	特 点	备 注
①		① 前端在定位 ② 限制拔长高度和长度 ③ 中段拔长	适用于较小坯料
②		① 拔长膛宽度(l)较窄,两端让出球体高度 ② 不限制拔长高度	适用于双球体中间间距较小的坯料
③		① 拔长膛宽度(l)较宽,一端让出球体高度 ② 砧平面可做墩粗、压扁台	适用于双球体中间间距较大的坯料

(续表)

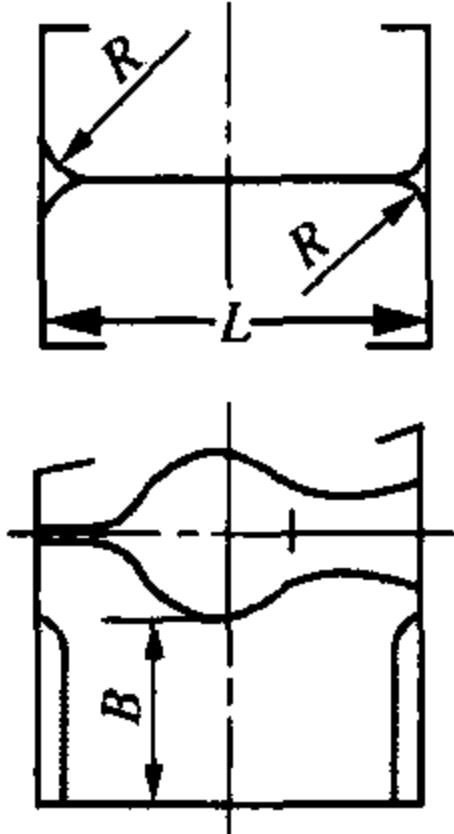
序号	简 图	特 点	备 注
④		① 拔长膛宽度(l)最宽 ② 砧平面可做镦粗、压扁台	适用于两球体距离较大或单球体坯料

表 6.2-10 所示拔长模膛尺寸,按下列公式确定:

$$l \geq \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3} \right) L$$

式中 l ——拔长模膛的长度,最大等于 L ;
 L ——型砧的宽度(mm)。

$$B = (1.0 \sim 1.3) D_{\text{坯}}$$

式中 $D_{\text{坯}}$ ——原材料直径(mm)。

$$e = d_1 - d_2 + 10(\text{mm})$$

式中 d_1 ——毛坯球体最大直径(mm);
 d_2 ——毛坯杆部直径(mm)。

$$R = (0.2 \sim 0.4) D_{\text{坯}}$$

拔长工步的操作方法可参照自由锻造(第四章)的拔长方法。

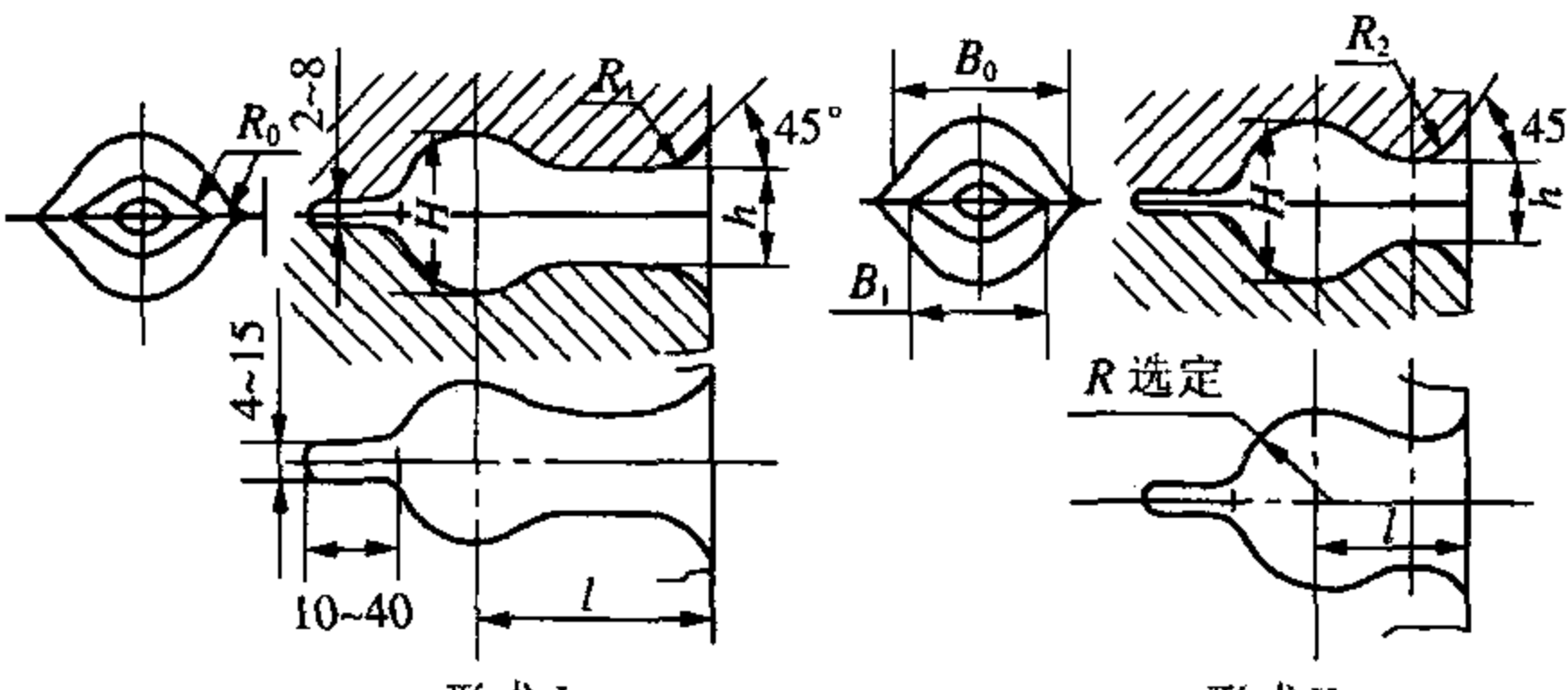
(2) 滚压模膛

滚压模膛各部分尺寸见表 6.2-11。

当 $h/H=0.4\sim0.9$ 时,可一次滚压得到球体。

当 $h/H<0.4$ 时,难于一次滚压成形,需适当放大 h 值或先拔长后滚压。

表 6.2-11 滚压模膛/mm

 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> 形式 I 形式 II </div>		
基 本 参 数	滚 压 型 槽	
	形式 I	形式 II
h/H	0.55~0.9	0.40~0.60
l	$(1.3\sim2.0)H$	$(1.0\sim1.3)H$
R_0	$h/2$	—
R_1, R_2	$R_1 = (0.2\sim0.4)D_{\text{坯}}$	$R_2 = (0.3\sim0.5)D_{\text{坯}}$
B_0	—	$(1.1\sim1.2)H$
B_1	—	$(0.8\sim1.0)H$

注: $D_{\text{坯}}$ 为原坯料直径(mm)。

表 6.2-11 中,形式 I 为最常用的滚压模膛。这类模膛在卡细部分有一段平直区域,便于操作定位,并保证球体与杆部较平直、不歪斜。

滚压操作时,锤击力应由轻到重,毛坯在模膛内有规律性的连续旋转,逐步成形,以防坯料表面出现折叠。

因型砧制坯滚压模膛的聚料作用较弱,材料大多沿轴线向后退出,所以材料直径应尽可能接近计算毛坯大球体的尺寸。

(3) 弯曲模膛

由于砧面大小有限,在其上同时布置多个模膛较困难时,常将弯曲工步放在螺旋压力机上完成。弯曲模膛的设计方法可参照锤上模锻弯曲模膛设计方法进行(见第五章)。

(4) 异形型砧

异形型砧是砧面上按毛坯图的要求加工出特殊模膛的型砧,如正方形、扁方形、半圆形、六角形等。设计时按具体要求进行。

(5) 模膛的布置和材料

模膛到砧边的壁厚和模膛间的壁厚,一般要求大于 20 mm。但当模膛深度较小、内壁斜度较大,斜壁至模膛底部圆角半径较大,或圆角半径大大超过模膛深度时,壁厚可适当减小,但最小不得少于 10 mm。

应把受力较大的滚压模膛设在砧面中心位置,尽可能接近锤杆中心。安排模膛的次序要考虑操作方便。

固定型砧制坯时,上型砧的最大砧面要比锤杆横截面积小,当上型砧进入空气锤的工作缸时,每边至少要留 3~5 mm 的间隙;下型砧水平方向尺寸不受此限制,但也不宜过大。型砧高度按空气锤原设计的平砧高度加上 5~10 mm。型砧一般用修磨或焊补方法修复,不翻新制造。

制作型砧的材料并无特别的要求,普通中碳钢 45、高碳工具钢 T7A、模具钢 5 CrMnMo 等均可,由生产批量的大小和制造条件来决定。热处理硬度砧面上约为 35~45 HRC,燕尾部分约为 25~35 HRC,空气锤吨位大的,其硬度可选偏低值。

3. 空气锤规格的确定

(1) 根据毛坯的直径和质量来确定空气锤的规格(表 6.2-12)

表 6.2-12 型砧制坯时空气锤规格确定

毛坯最大直径 /mm	毛坯最大质量 /kg	空气锤规格 /kg	砧面尺寸 长×宽/mm
30	1.0	75	145×65
50	2.0	150	200×85
65	5	250	225×90
80	10	400	265×100
95	15	560	280×110
110	20	750	345×130

(2) 按照螺旋压力机吨位来确定空气锤规格(表 6.2-13)

表 6.2-13 与螺旋压力机配套的空气锤规格

螺压机吨位 /kN	1 600~3 000	3 000~4 000	4 000~6 300	6 300~10 000
空气锤规格 /kg	65~150	75~200	150~400	250~750

在实际使用中,往往把上述两种方法结合起来,以确定空气锤的规格。

4. 型砧制坯实例

(1) 汽车转向节臂型砧制坯(图 6.2-2)

材料: 40 Cr $\phi 60 \times 155$ 坯料质量: 3.5 kg

设备: 400 kg 空气锤

型砧上开设大头滚压、小头滚压、拔长兼做压扁、弯曲等四个模膛。

操作工步为: 大头滚压 → 拔长 → 小头滚压 → 球体间拔长(控制长度) → 弯曲 → 压扁(为了坯料能平稳地搁置在终锻模膛上)。

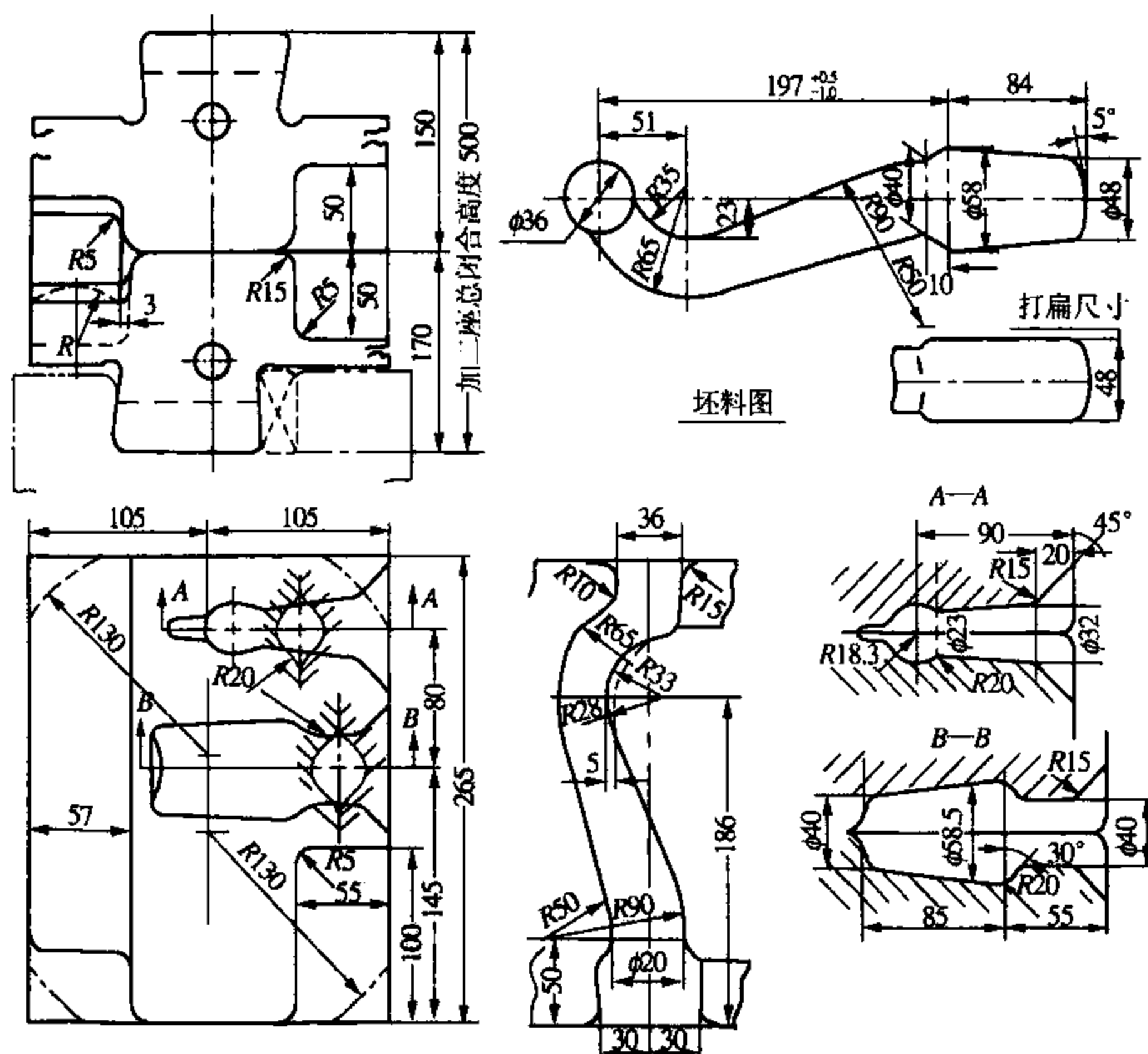


图 6.2-2 转向节臂型砧制坯图

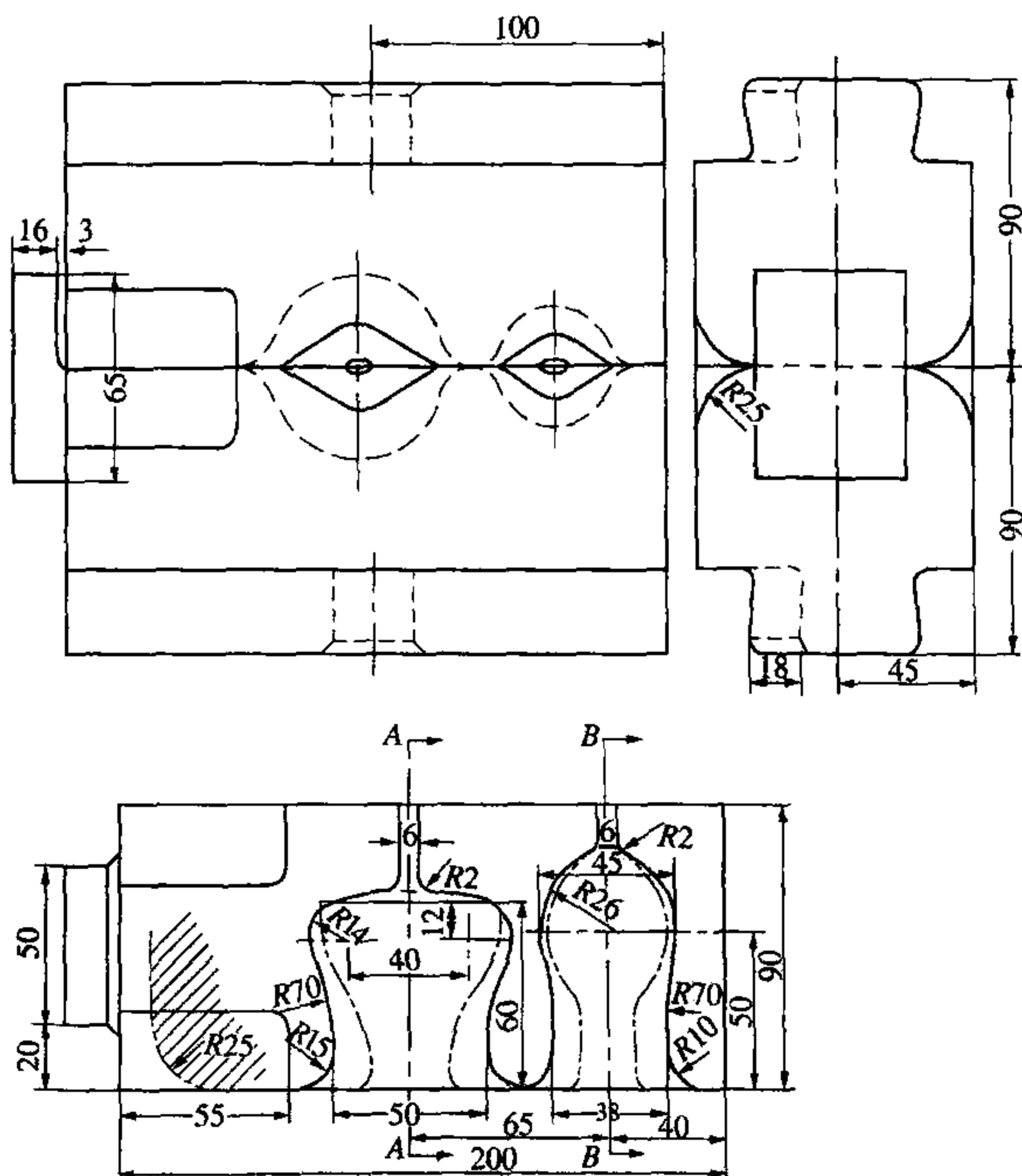
(2) 发动机连杆型砧制坯(图 6.2-3)

材料: 45 $\phi 55 \times 68$ 坯料质量: 1.25 kg

设备: 150 kg 空气锤

型砧上开设大头滚压、小头滚压、拔长等三个模膛。

操作工步为: 大头滚压 → 拔长 → 小头滚压 → 中间球体间拔长(控制长度) → 压扁。



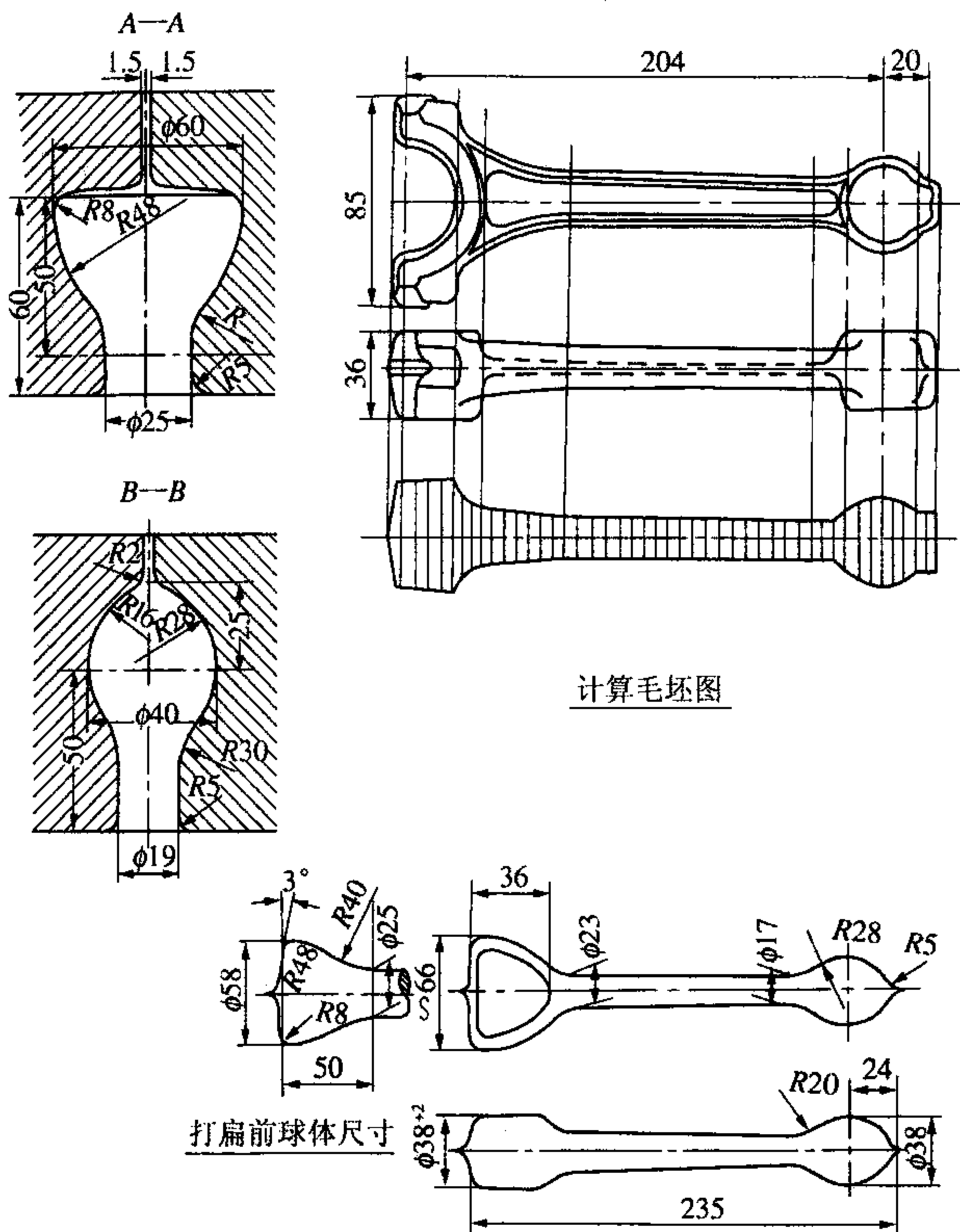


图 6.2-3 连杆型砧制坯图

(3) 耳环杠杆型砧锻工艺(图 6.2-4)

用空气锤固定型砧直接锻成产品。

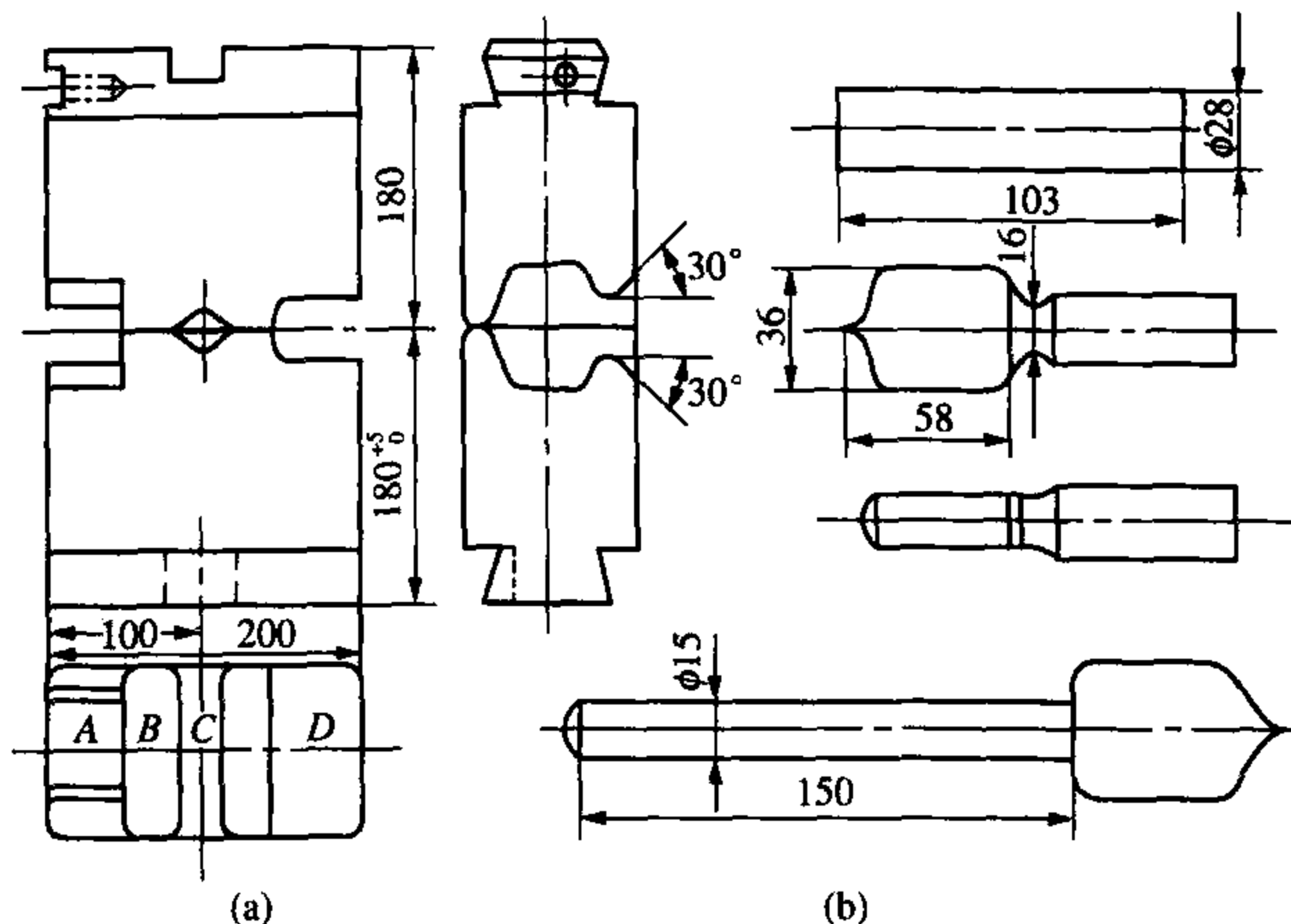


图 6.2-4 耳环杠杆型砧锻工艺

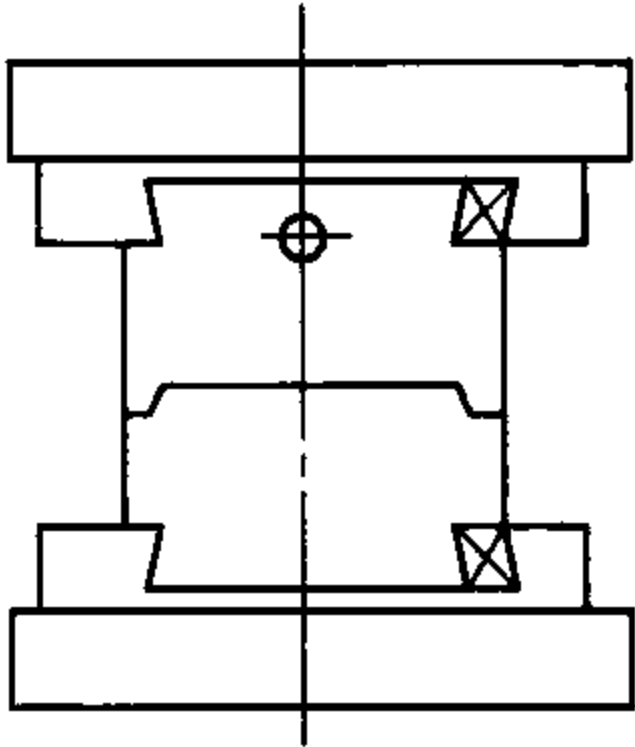
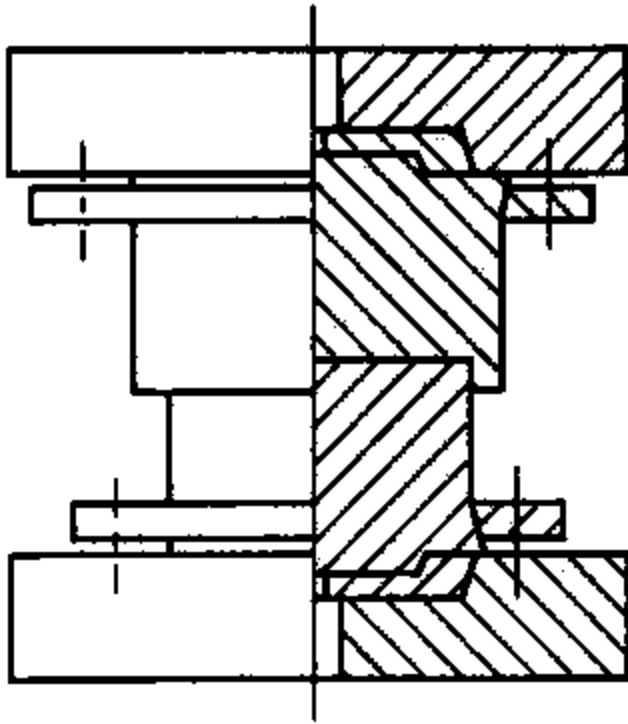
操作工步为：滚压→压扁→调头拔长→滚圆。

四、锻模设计

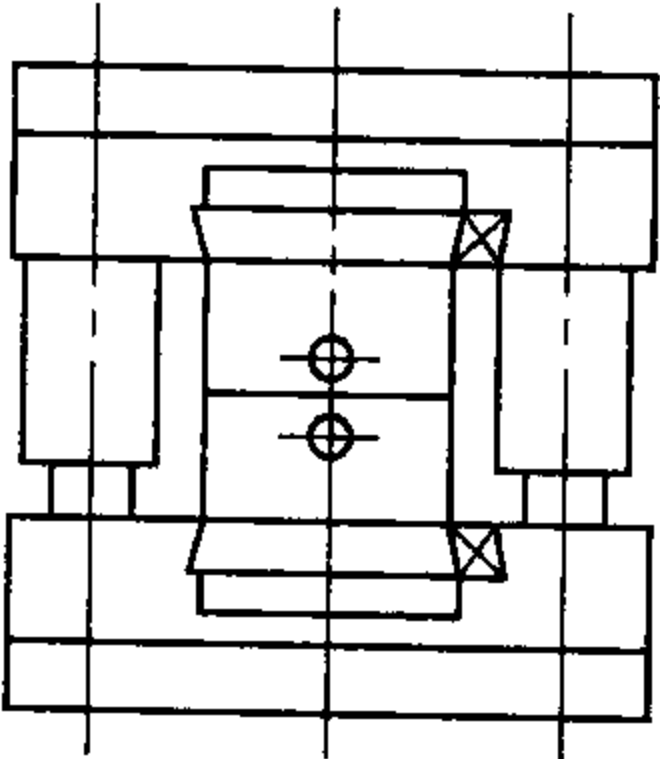
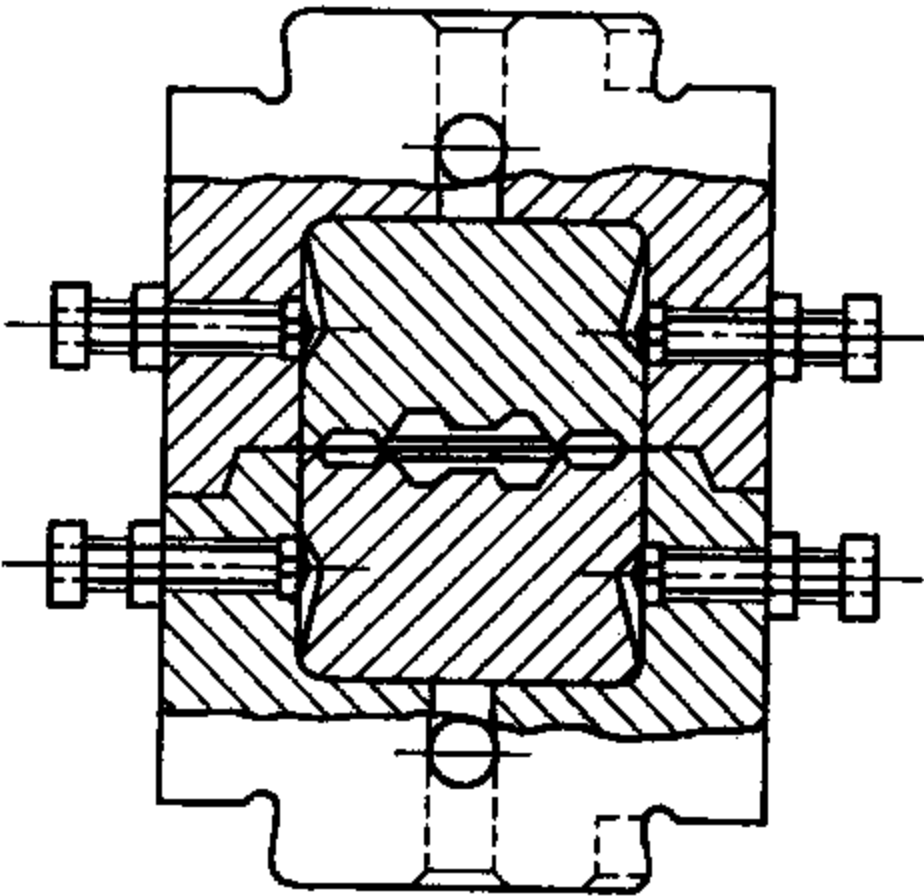
1. 锻模结构形式

螺旋压力机模锻所用模具的结构与锤锻模和热模锻压力机锻模结构大致相同，一般可分为整体式、镶块式和组合式三类(见表 6.2-14)。

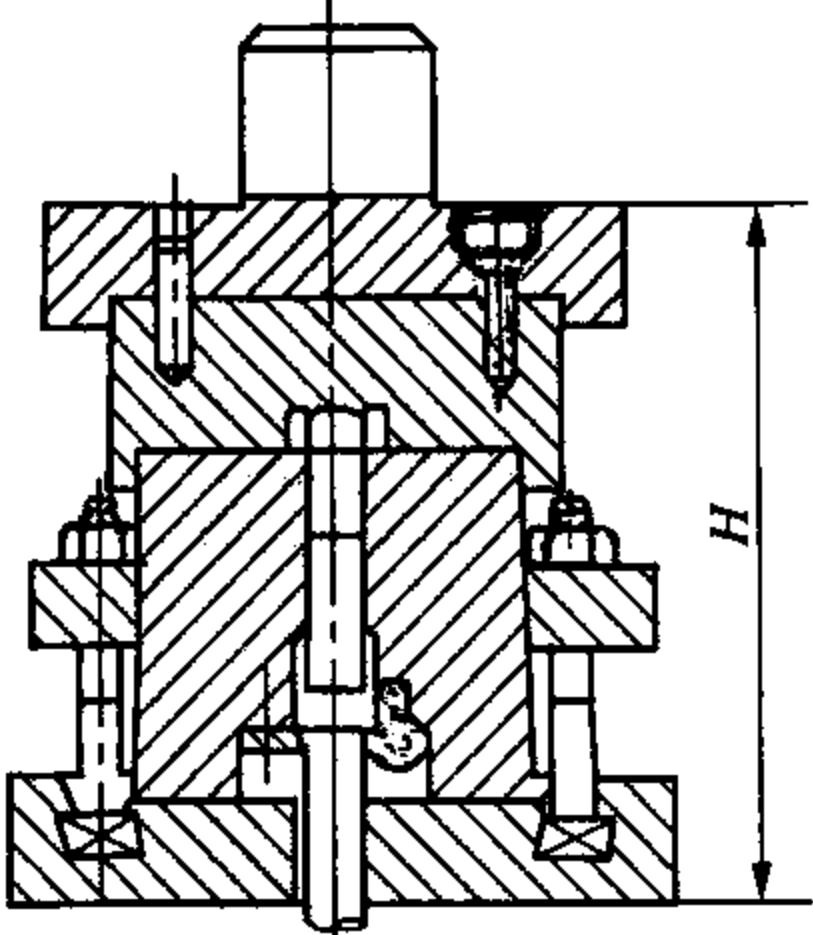
表 6.2-14 锻模结构形式

形式	序号	简 图	特 点
整体式锻模	I		<p>① 燕尾斜楔紧固、模块锁扣导向，与锤锻模结构相似</p> <p>② 结构简单可靠、通用性好、拆装方便，适用各类锻件，但模块较大</p>
	II		<p>① 圆形整体锻模，采用压圈、螺钉紧固，设圆形锁扣作为导向</p> <p>② 结构简单、拆装方便，制造加工容易，适合圆形锻件</p>

(续表)

形式	序号	简 图	特 点
镶块式锻模	Ⅲ		<p>① 镶块设置在模座上, 用斜楔或螺钉紧固, 用导柱导套作为导向</p> <p>② 镶块结构简便, 节约模具钢, 易于标准化, 适合单模膛模锻</p>
	Ⅳ		<p>① 镶块设置在模块上, 用斜楔或螺钉紧固, 用模块锁扣或模座导柱导套作为导向</p> <p>② 节约模具钢、降低成本, 适用于中、小锻件</p>

(续表)

形式	序号	简 图	特 点
组 合 式 锻 模	V		<p>① 是一种装配式锻模,用压圈、螺钉紧固,圆形锁扣导向。适用于圆形杆类锻件</p> <p>② 利用顶料装置顶出锻件</p>

2. 开式锻模设计

开式锻模包括整体式锻模(第 I、II 类)和镶块式锻模(第 III、IV 类)。

由于螺旋压力机没有固定的下死点,机架和主螺杆等弹性变形量可通过滑块的进一步向下移动来补偿,因此,只要能量足够,就能保证上、下模压靠。

(1) 模膛设计和布排的原则

① 模膛设计

螺旋压力机上开式锻模模膛与锤锻模设计方法基本相同(见第五章),但因螺压机速度慢、金属冷却快、模具受力条件较好和有顶料装置等特点,有下列注意事项:

① 热锻时钢料的收缩率一般取较低值 1.0%~1.5%来设计

热锻件图。

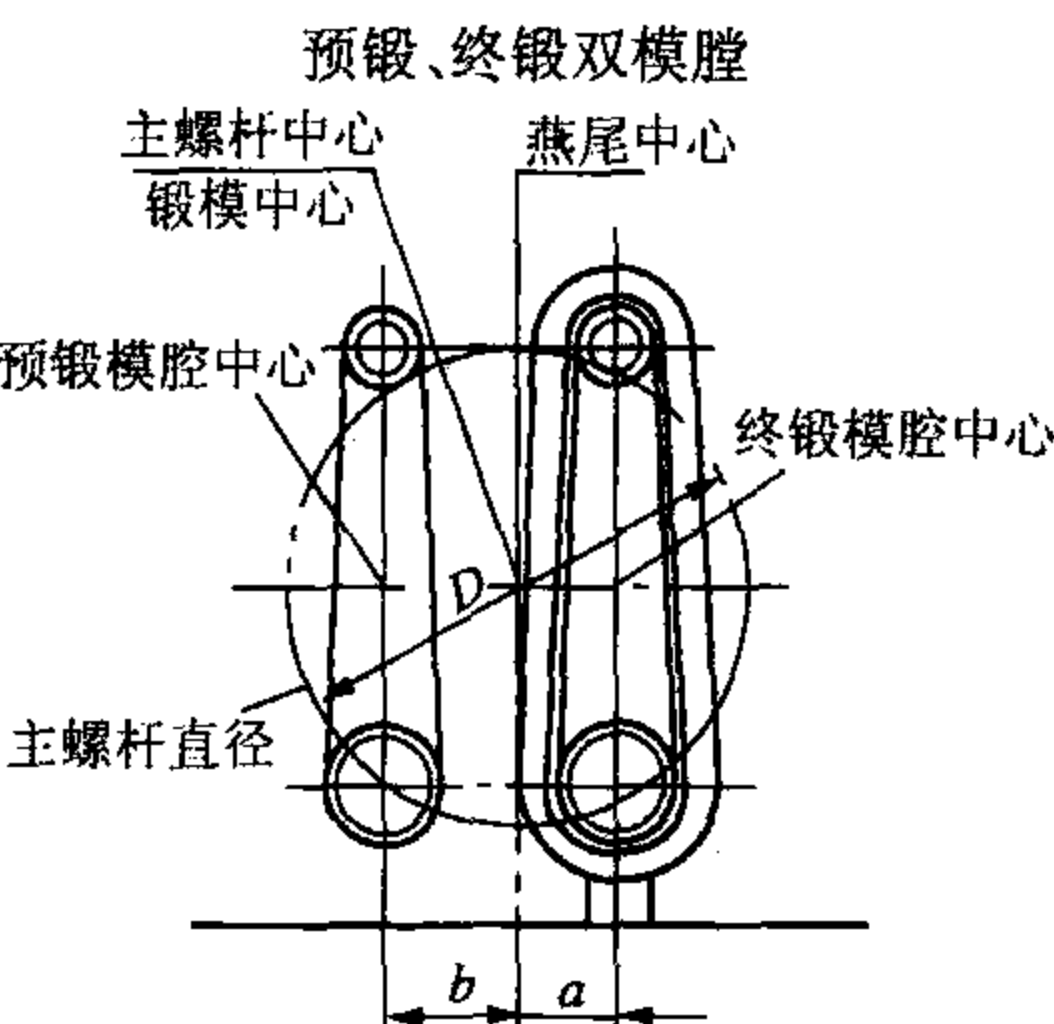
⑥ 模块承击面一般取锤上模锻的 $1/3$ 即可。

⑦ 采用下顶料时,锻件形状较复杂部分设置在下模,有意地让锻件粘在下模,以使用下顶杆顶出。反之,则应设置在上模。

⑧ 一般不设钳口料,操作时钳住锻件飞边出模。但是,终锻模膛端部开设浇注口,以便浇注盐样或铅样检查。

⑨ 模膛布排的原则(表 6.2-15)

表 6.2-15 模膛布排的原则

模膛形式和数量	布排原则
单一终锻模膛	模膛打击中心要与压机主螺杆中心重合
<p>预锻、终锻双模膛</p> 	<p>① 两模膛中心间距尽量减小</p> <p>② 模膛中心离主螺杆中心距离应符合:</p> $a/b \leq \frac{1}{2}$ $a+b \leq \frac{D}{2}$ <p>式中 D——压力机主螺杆直径 (mm)</p> <p>③ 两模膛中心应在燕尾宽度之内</p>

(续表)

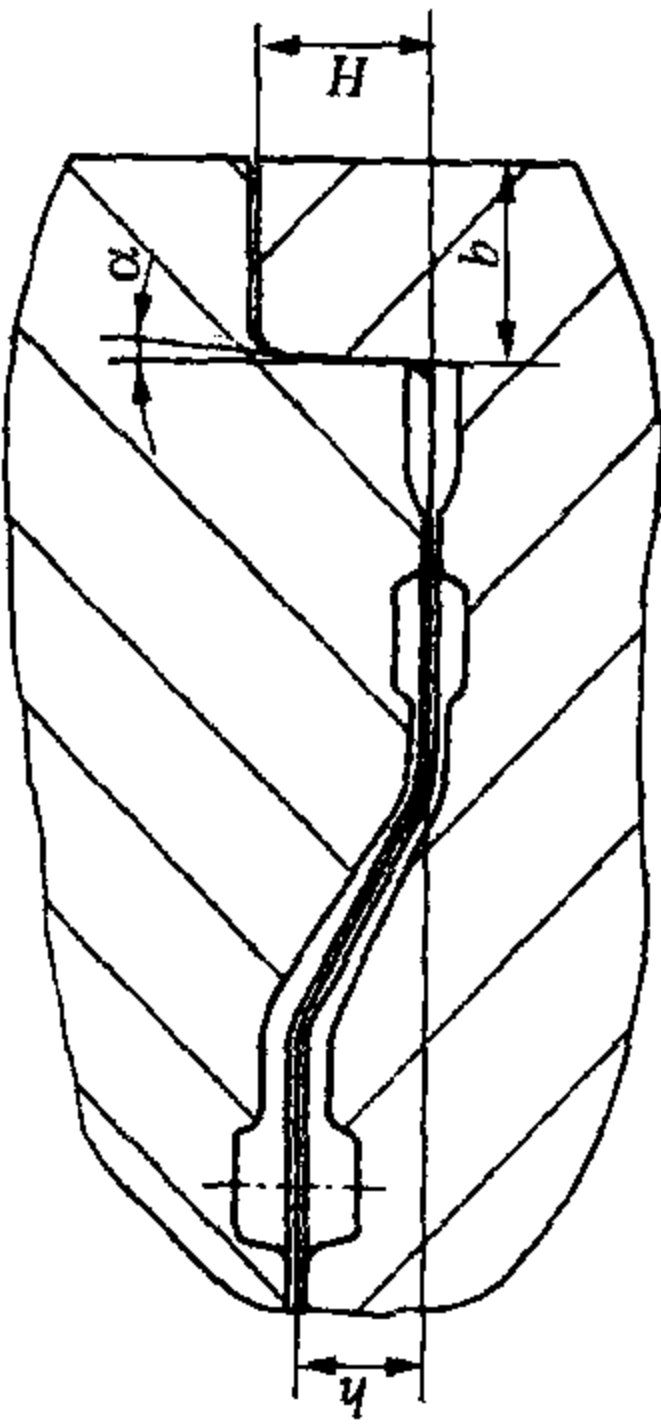
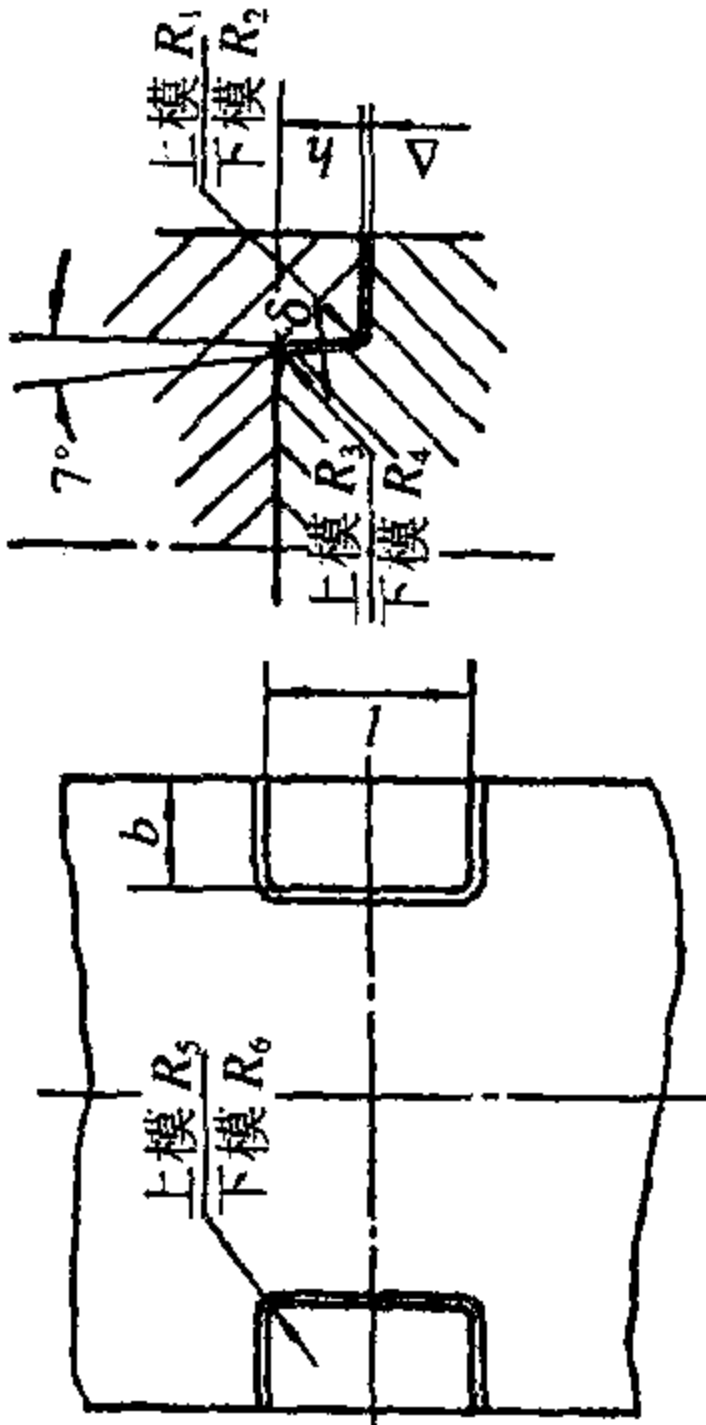
模膛形式和数量	布排原则				
有制坯模膛(镦粗、弯曲、卡压、打扁)和终锻模膛的双模膛	① 终锻模膛中心应尽量接近主螺杆中心线 ② 制坯模膛布排在锻模的两侧				
附: 螺旋压力机主螺杆直径/mm					
螺压机规格/kN	1 000	3 000	4 000	6 300	10 000
主螺杆外径/mm	145	222	260	310	400
主螺杆内径/mm	117	181	215	260	334

(2) 模具的紧固方式和导向装置

紧固模具的方法有斜楔紧固、压圈螺栓紧固和螺栓(螺钉)紧固等三种方式, 详见锻模结构形式表 6.2-14。

模具的导向装置: 用于平衡螺旋压力机模锻过程中所产生的纵向、横向和旋转性水平分力, 使上、下模导向准确, 减少错模, 保证锻件质量。同时, 为了便于安装和调正, 螺旋压力机模锻用的模具必须在模座或模块上设导向装置。常用的有锁扣、导柱导套和导锁等三种结构形式(表 6.2-16)。

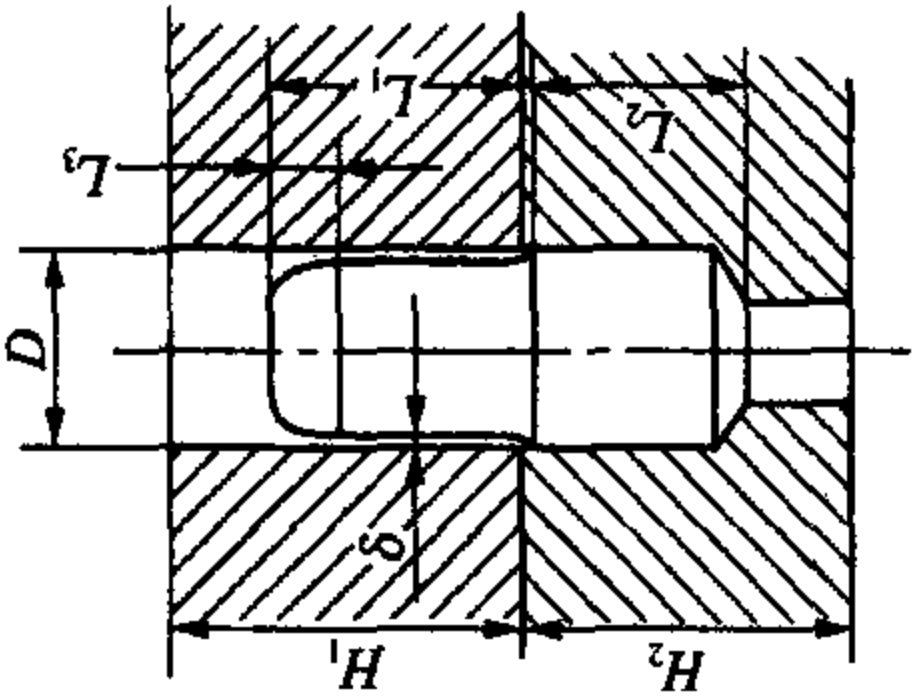
表 6.2-16 模具的导向装置

类别	形式	简 图	说明 · 计算 · 选用
锁 扣	平衡锁扣		<p>用于分模面有落差的锻件</p> <p>$H = h + (10 \sim 30) \text{ mm}$</p> <p>$b = (1.5 \sim 2) H \text{ mm}$</p> <p>$\alpha = 3^\circ \sim 5^\circ$</p>
	侧锁扣		<p>① 凸出部分置于上模</p> <p>② 按锻件形状和模块尺寸合理布排锁扣位置和尺寸</p> <p>③ 按设备吨位选用锁扣</p>

(续表)

类别	形式	简图	说明·计算·选用					
锁	角锁扣		吨位/kN 尺寸/mm	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
			h	20~25	25~30	30~35	35~40	40~50
			b	25~30	30~40	40~50	50~60	60~70
			l	取模块长度尺寸 1/3~1/2				
			R_1	4	5	6	8	10
			R_2	3	4	5	6	8
扣	圆锁扣		适用于圆形锻件的模具					
			吨位/kN 尺寸/mm	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
			h	15	20	25	25	30
			b	15	20	25	25	30

(续表)

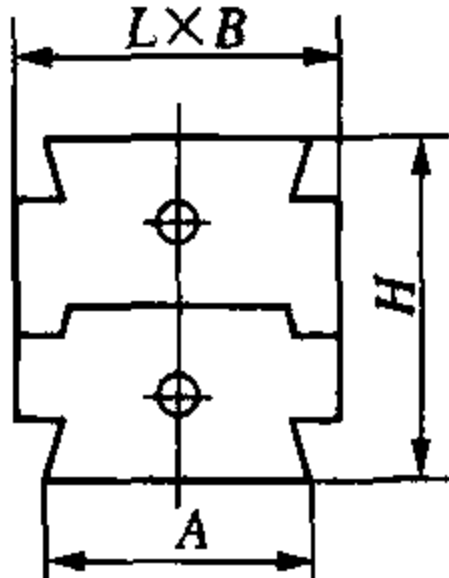
类别形式	简图	说明·计算·选用										
导销		<p>① 导销以压配合或热配合装在下模上,适用于中、小锻件</p> <p>② 导销长度: $L_1 = (0.8 \sim 0.9)H_1$ mm $L_2 = (0.6 \sim 0.7)H_2$ mm</p> <p>③ 销孔中心离模块边缘约 $1.2 \sim 1.4D$</p> <p>④ 导销直径 D</p> <table><tr><th>吨位/kN 直径/mm</th><th>1 000</th><th>1 600</th><th>3 000</th><th>4 000</th></tr><tr><th>D</th><td>30, 35</td><td>35, 40</td><td>40, 45</td><td>45, 50</td></tr></table>	吨位/kN 直径/mm	1 000	1 600	3 000	4 000	D	30, 35	35, 40	40, 45	45, 50
吨位/kN 直径/mm	1 000	1 600	3 000	4 000								
D	30, 35	35, 40	40, 45	45, 50								

(3) 模块、镶块和模座设计

按整体式、镶块式和组合式锻模分类叙述如下：

- ① 燕尾式整体模块(表 6.2-17)。
- ② 圆形整体模块(表 6.2-18)。
- ③ 燕尾斜楔式模座(表 6.2-19)。
- ④ 圆形整体模座(表 6.2-20)。
- ⑤ 圆形整体模的压圈(表 6.2-21)。

表 6.2-17 燕尾式整体模块

简 图	序号 尺寸/mm	1	2	3	4	5	6	7
	H	170	180	220	280	320	320	340
		200	210	260	320	380	400	420
	B	110	140	180	220	300	350	450
		150	180	200	300	400	500	600
	L	200	200	250	250	300	450	500
		230	300	350	400	450	600	700
	A	100	120	160	200	260	300	400

注：结合设备规格和模座尺寸选用 L、B、H 尺寸。

表 6.2-18 圆形整体模块

吨位/kN 尺寸/mm	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
D	160	200	240	270	350
D_1	190	240	280	310	400
ϕ	160	200	240	270	350
h_1	15	25	28	28	30
h_2	40	48	48	48	58
h_3	10	12	12	12	15
r_1	4.5	5.5	5.5	5.5	6.5
R	6	8	8	8	10
注：高度 H 由设备封闭高度决定					

表 6.2-19 燕尾斜楔式整体模座

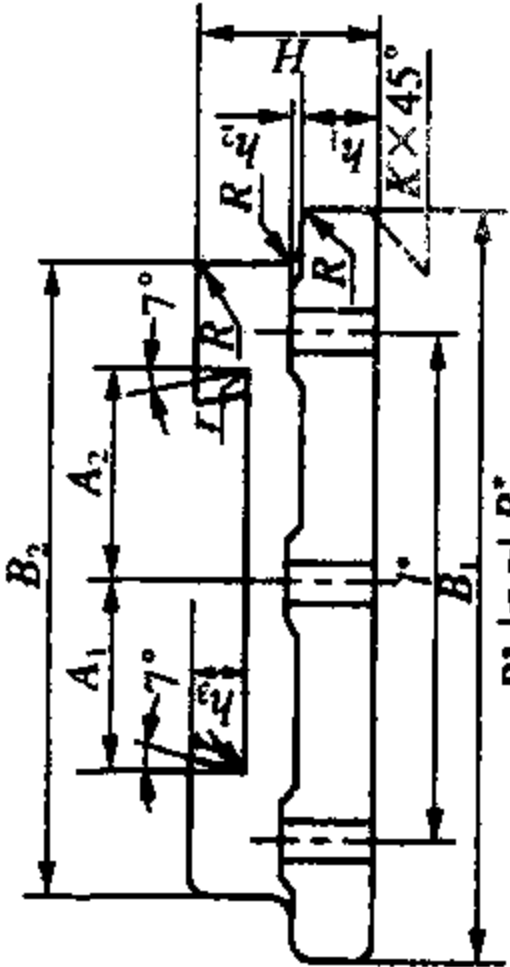
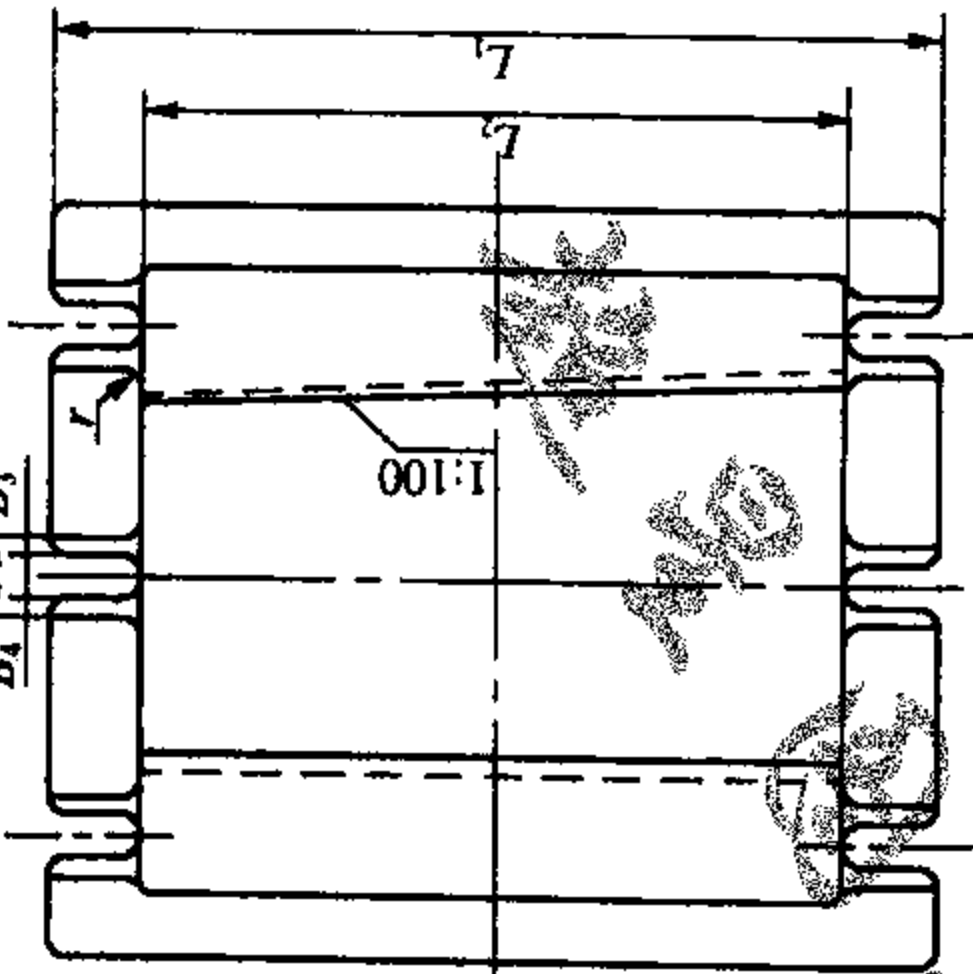
简 图	吨位/kN 尺寸/mm		1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
	H		90	110	130	150	170
	H_1		30	35	40	45	50
	B		300	350	500	600	680
B_1		按设备规格确定, 上、下模 尺寸不同					
	L_2		220	400	480	550	650
	L_1		320	520	620	750	850
	A_1		65	80	100	130	150
	A_2		85	105	135	170	190
	h_3		30	35	40	50	60
注: ① 斜楔位置上、下模对称 ② 结合设备规格确定							

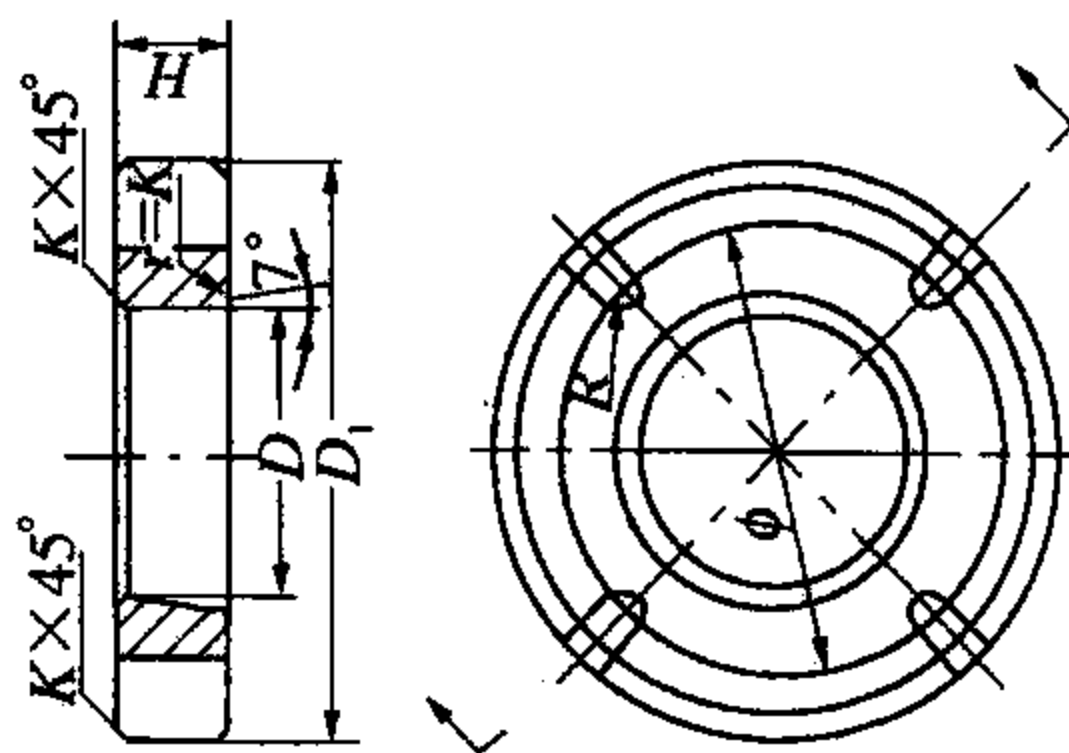
表 6.2-20 圆形整体模座

简 图	吨位/kN 尺寸/mm		1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
			160	200	240	270	350
	D_0		160	200	240	270	350
	ϕ		160	200	240	270	350
	L_1		300	400	450	580	700
	L_2		220	300	370	420	520
	B_1		220	300	370	420	520
	H		70	70	80	100	120
	h_1		22	22	25	25	25
	h_2		27	28	33	40	40
	r		2.5	2.5	2.5	2.5	3.0
	注: 模座 ϕ 孔处, 于模块结合部设垫板一块。垫板高度尺寸为 10、15、20、25 系列						

 圆形模块直径 D_0

表 6.2-21 圆形整体模上、下模压圈

吨位 / kN 尺寸 模 具 /mm		1 600	3 000	4 000	6 300	10 000
D	下	160	200	240	270	350
	上	190	240	280	310	400
D_1	下	265	330	370	410	535
	上	300	370	410	445	580
ϕ	下	230	285	325	365	465
	上	280	320	360	400	520
H		30	36	36	36	46
R		9	14	14	14	18



[illegible]

⑦ 圆形和矩形镶块通用模座(图 6.2-5)。

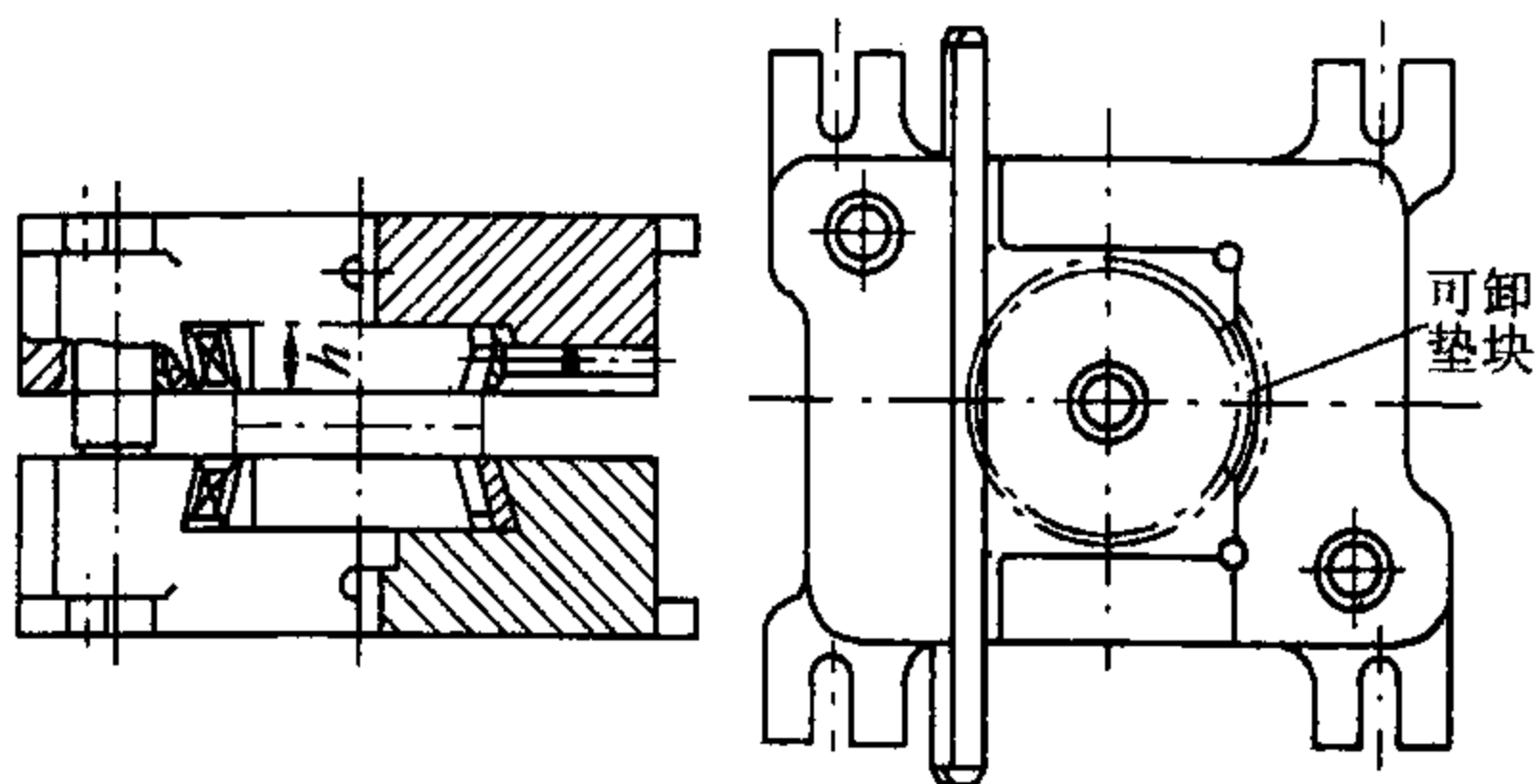


图 6.2-5 圆形和矩形镶块通用模座

镶块较小,适用于品种较多的中小锻件,镶块高度 h 约为 40~50 mm。

3. 组合式锻模(闭式锻模)设计(表 6.2-23)

五、螺旋压力机上模锻实例

实例一 发动机连杆的模锻(图 6.2-6)

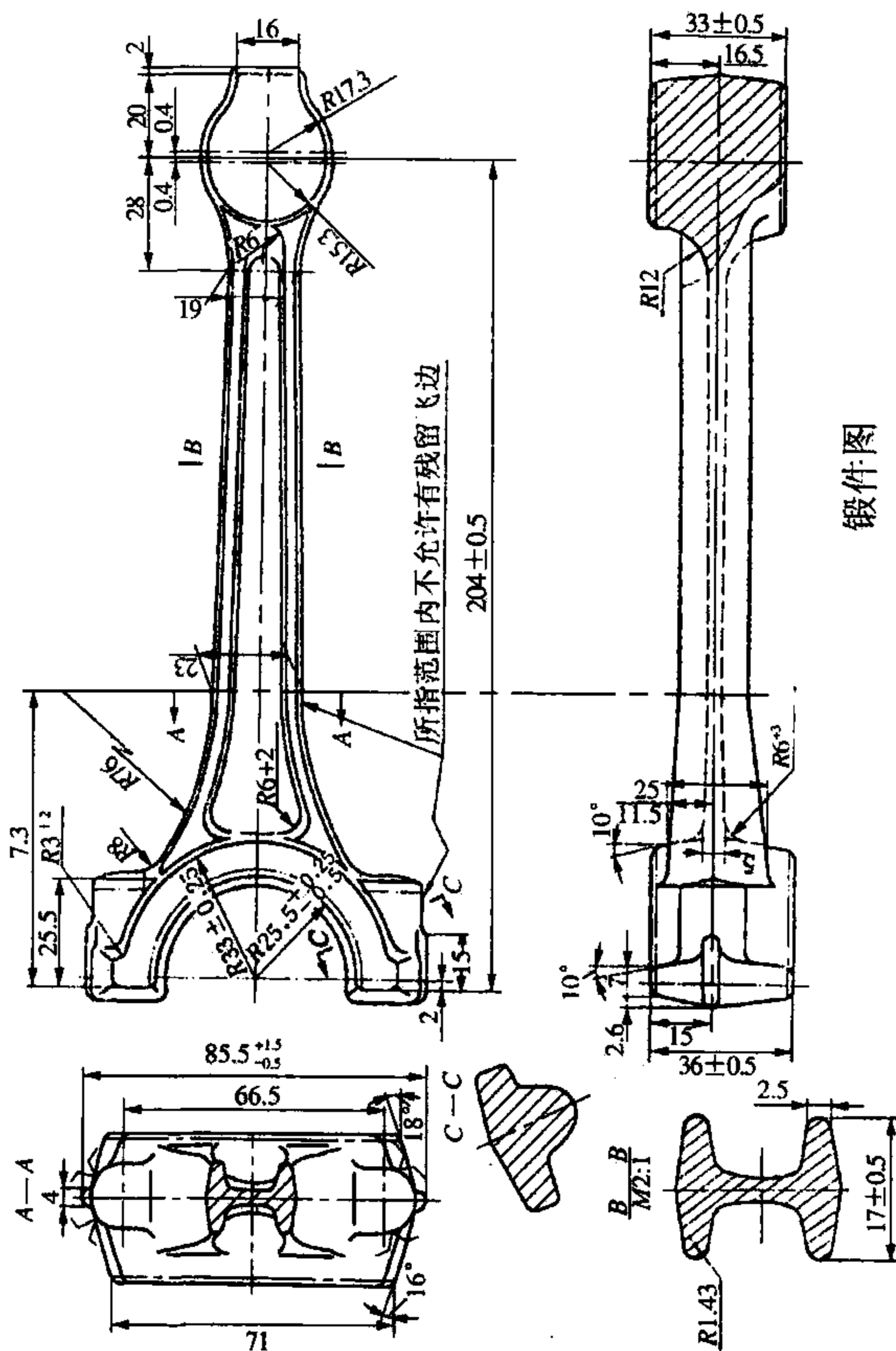
制坯工步见图 6.2-3,材料:45 钢

锻件质量:0.87 kg 设备:4 500 kN 螺旋压力机

变形工步:预锻——终锻,双模膛模锻

表 6.2-23 组合式锻模

简图	设计特点																												
	<p>① 这是装配式锻模, 根据锻件的形状具体设计适合于旋转体锻件。采用闭式模锻或小毛边模锻</p> <p>② 模块采用压圈和螺栓紧固</p> <p>③ 采用凹凸模自身导向或圆形锁扣导向</p> <p>④ 凸模是主要受力构件, 应有足够的截面积(mm^2)</p>																												
	<table><tr><th>吨位/kN</th><th>1 000</th><th>1 600</th><th>3 000</th><th>4 000</th><th>6 300</th><th>10 000</th></tr><tr><th>材料</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>18CrNiW ($\sigma_p=600 \text{ MPa}$)</td><td>1 700</td><td>2 700</td><td>4 100</td><td>6 700</td><td>10 500</td><td>17 000</td></tr><tr><td>5CrNiMo ($\sigma_p=720 \text{ MPa}$)</td><td>1 400</td><td>2 200</td><td>3 500</td><td>5 500</td><td>8 800</td><td>14 000</td></tr></table>	吨位/kN	1 000	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000	材料							18CrNiW ($\sigma_p=600 \text{ MPa}$)	1 700	2 700	4 100	6 700	10 500	17 000	5CrNiMo ($\sigma_p=720 \text{ MPa}$)	1 400	2 200	3 500	5 500	8 800	14 000
	吨位/kN	1 000	1 600	3 000	4 000	6 300	10 000																						
	材料																												
	18CrNiW ($\sigma_p=600 \text{ MPa}$)	1 700	2 700	4 100	6 700	10 500	17 000																						
5CrNiMo ($\sigma_p=720 \text{ MPa}$)	1 400	2 200	3 500	5 500	8 800	14 000																							
<p>表中是闭式模锻允许的凸模最小截面积(mm^2)</p>																													
<p>⑤ 凸模和凹模, 顶杆和凹模要有适当的间隙。间隙过大, 将产生纵向毛刺、出模困难和加速模具磨损。间隙过小, 则模具运动困难</p>																													
<table><tr><th colspan="2">凸模与凹模间的间隙/mm</th></tr><tr><th>凸模直径</th><th>间隙值</th></tr><tr><td><20</td><td>0.10</td></tr><tr><td>20~40</td><td>0.10~0.15</td></tr><tr><td>40~60</td><td>0.15~0.20</td></tr><tr><td>>60</td><td>0.20~0.30</td></tr></table>	凸模与凹模间的间隙/mm		凸模直径	间隙值	<20	0.10	20~40	0.10~0.15	40~60	0.15~0.20	>60	0.20~0.30																	
凸模与凹模间的间隙/mm																													
凸模直径	间隙值																												
<20	0.10																												
20~40	0.10~0.15																												
40~60	0.15~0.20																												
>60	0.20~0.30																												
	<p>⑥ 要采用顶出料装置, 顶出的高度以锻件能出模为宜, 不宜过高</p>																												



实例二 齿轮锻件的模锻(图 6.2-7)

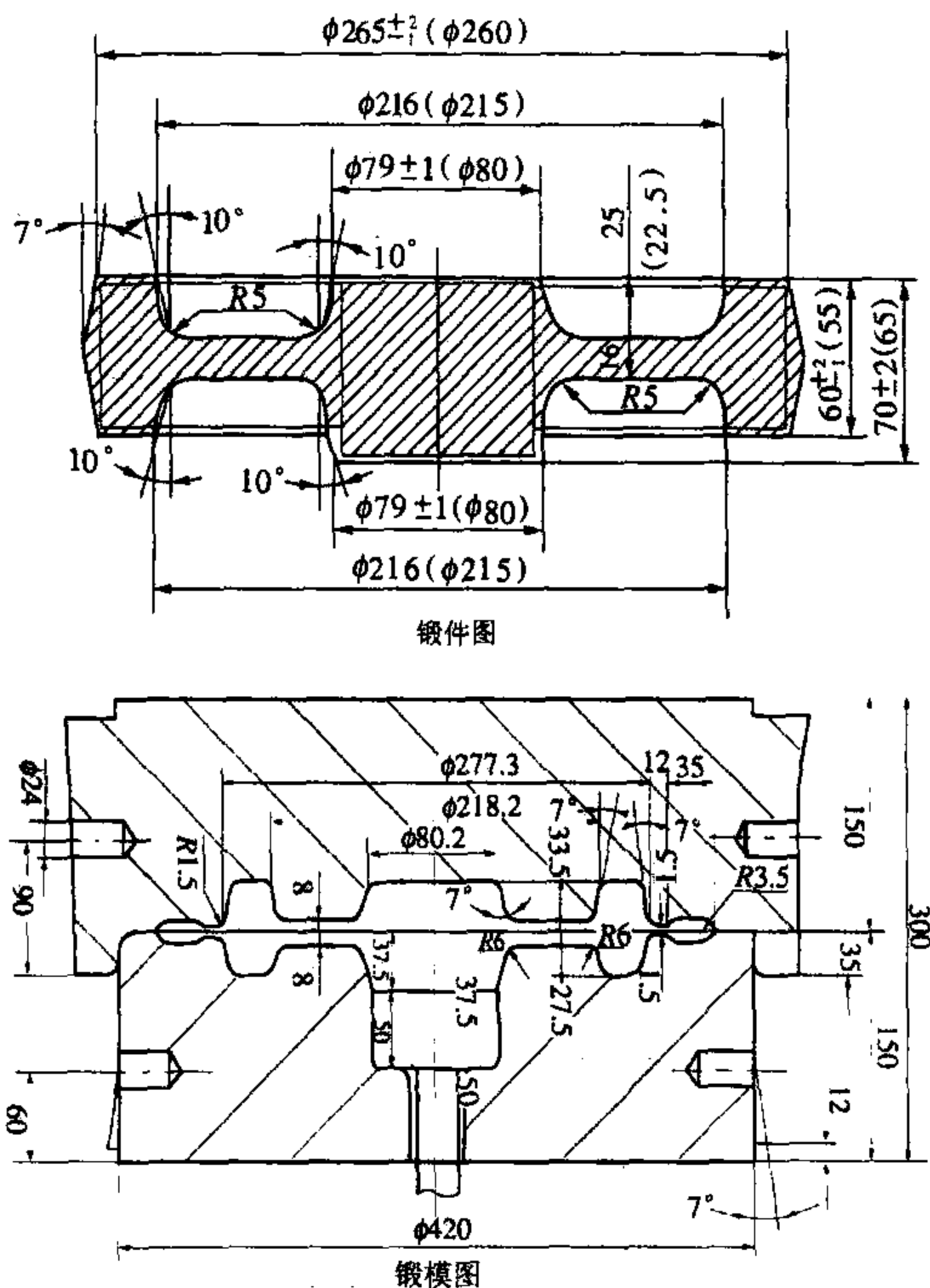


图 6.2-7 齿轮锻件的模锻

材料: 45 钢 锻件质量: 16.7 kg

变形工步: 锻粗——750 kg 空气锤;

终锻——10 000 kN 螺旋压力机。

第三节 平锻机上模锻

平锻机全称水平锻造压力机,是一种曲轴——连杆水平传动的设备。与热模锻压力机的滑块做上、下往复运动不同,平锻机的滑块做前、后往复运动。为把坯料放置到凹模内打击成形,特设置成对分式凹模。一半凹模装在固定于机架上的模块上,另一半凹模装在由凸轮——杠杆传动机构做分开、闭合运动的夹紧滑块的模块上。也就是棒料装进固定凹模后,装在夹紧滑块上的凹模闭合,并夹紧棒料后,主滑块上的凸模打击坯料成形。

按夹紧滑块上凹模分模面的开闭方式,可分成垂直分模平锻机和水平分模平锻机两种形式。

平锻机震动小、低噪音、机器刚性好、导向精度较高,有主滑块和夹紧滑块二个滑块运动,特别适合头部局部成形的长杆件和孔环类锻件生产,所以在成批、大量生产中,平锻机是一种应用较广泛的模锻设备。

一、平锻机上模锻特点和锻件设计

1. 平锻机上模锻特点(表 6.3-1 和表 6.3-2)

表 6.3-1 平锻机上模锻特点

平 锻 特 点	应用和设计注意事项
1. 载荷为静压力,滑块行程是固定的	① 震动小,劳动条件好,适合成批大量生产 ② 设备精度好,采用多模膛模锻 ③ 要防止闷车和过大的纵向毛刺 ④ 模具可设计成组合式和镶块式,节约模具钢

(续表)

平 锻 特 点	应用和设计注意事项
<p>2. 有两个分模面, 一个在冲头和凹模之间, 另一个在两块凹模之间。</p>	<p>① 能锻出两个不同方向具有凹档的锻件</p> <p>② 模锻斜度小或不需要模锻斜度, 节约金属和机加工工时。下图为节约金属示例:</p> <div data-bbox="835 816 1701 1187"> </div> <p>(a) 锤模锻件</p> <div data-bbox="997 1335 1648 1795"> </div> <p>(b) 平锻件</p>
<p>3. 主滑块在水平方向运动</p>	<p>① 坯料水平放置, 其长度不受设备限制。便于锻造长杆类和长杆空心锻件, 以及进行深冲孔、深穿孔工序</p> <p>② 可用长棒料进行多件模锻, 节省棒料剪切劳动量</p> <p>③ 可进行切飞边、剪料、弯曲、挤压、热精压等联合工序, 不需另外配置压力机</p>
<p>4. 有坯料定位装置</p>	<p>根据锻件形状和工艺要求确定采用前定位或后定位</p>

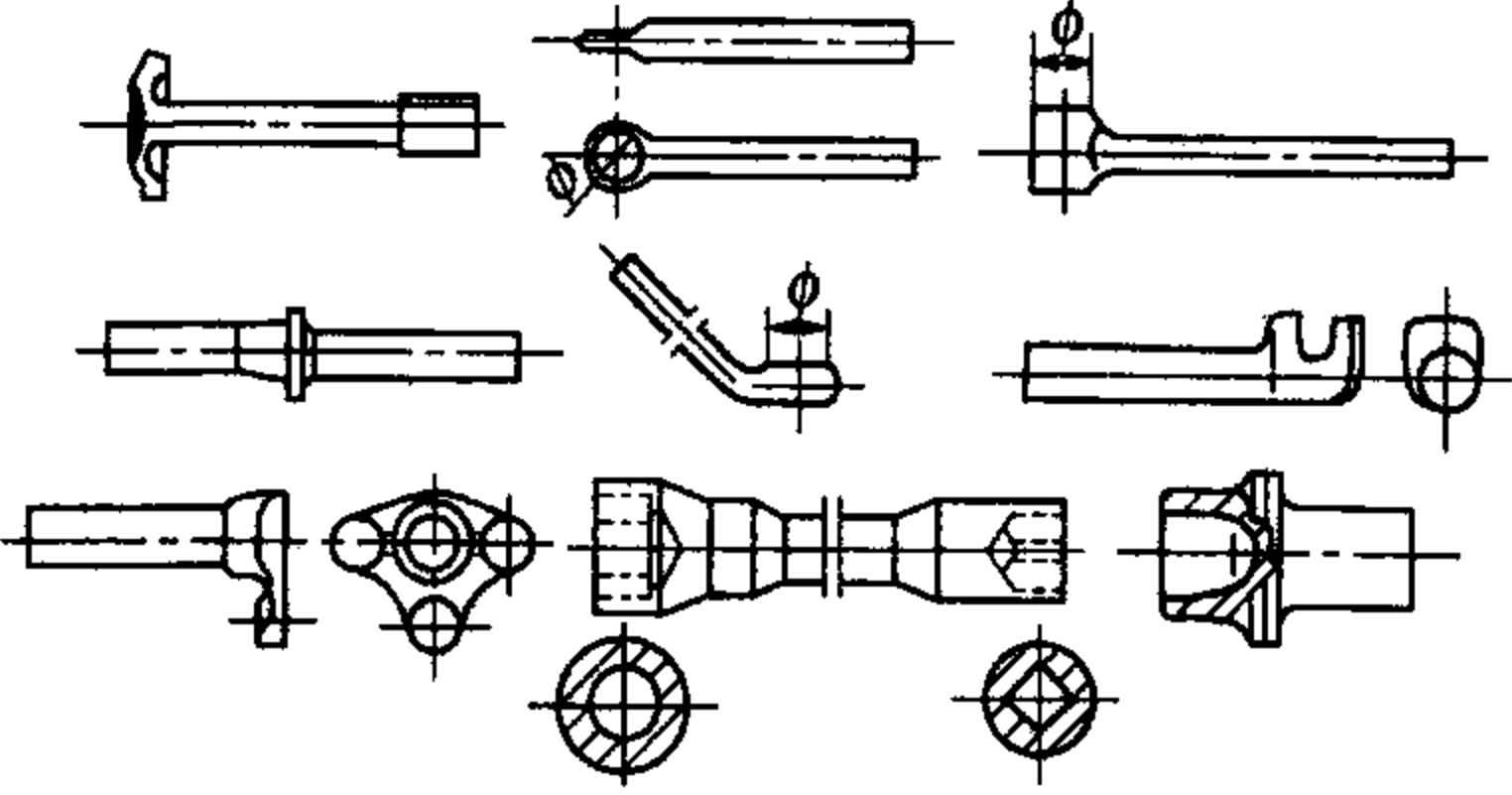
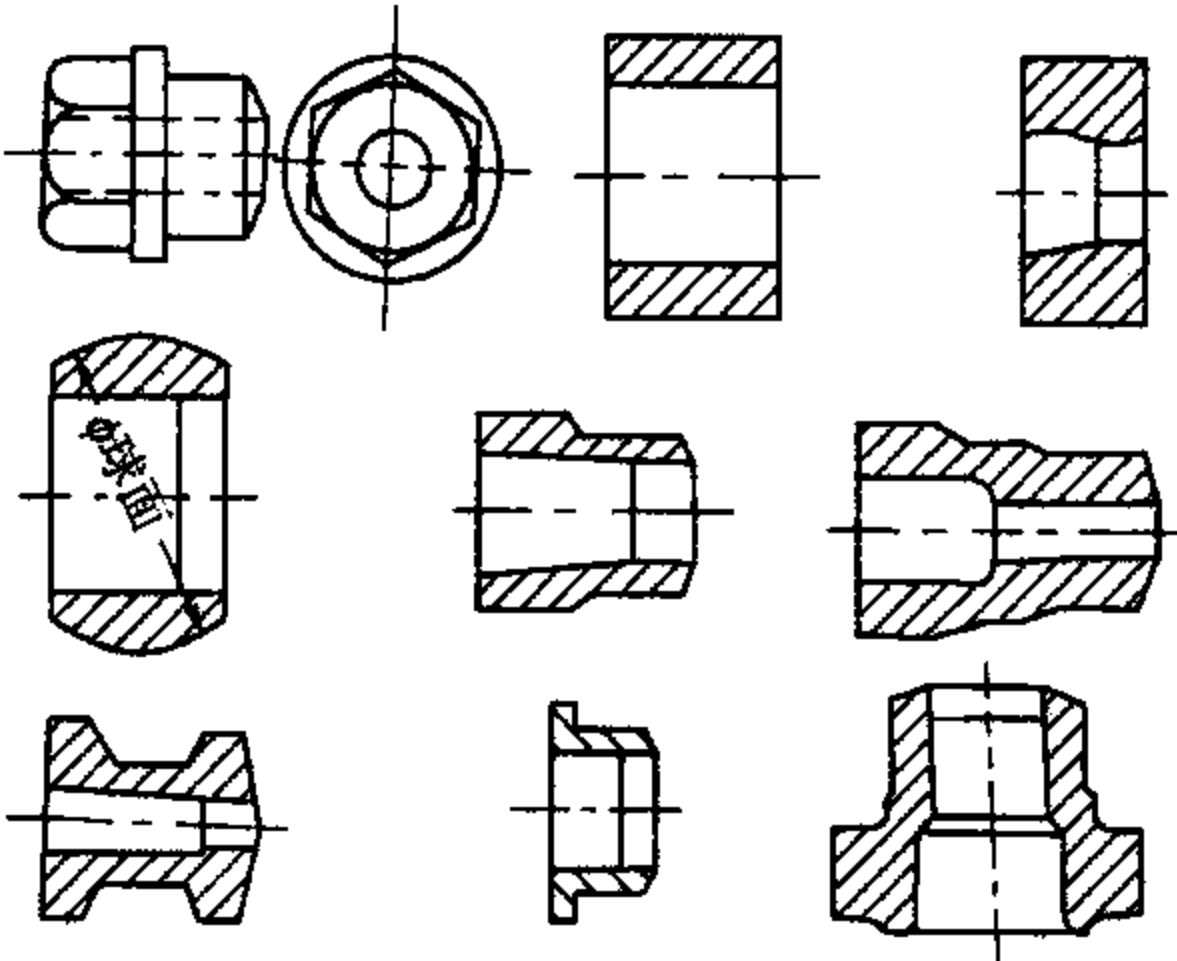
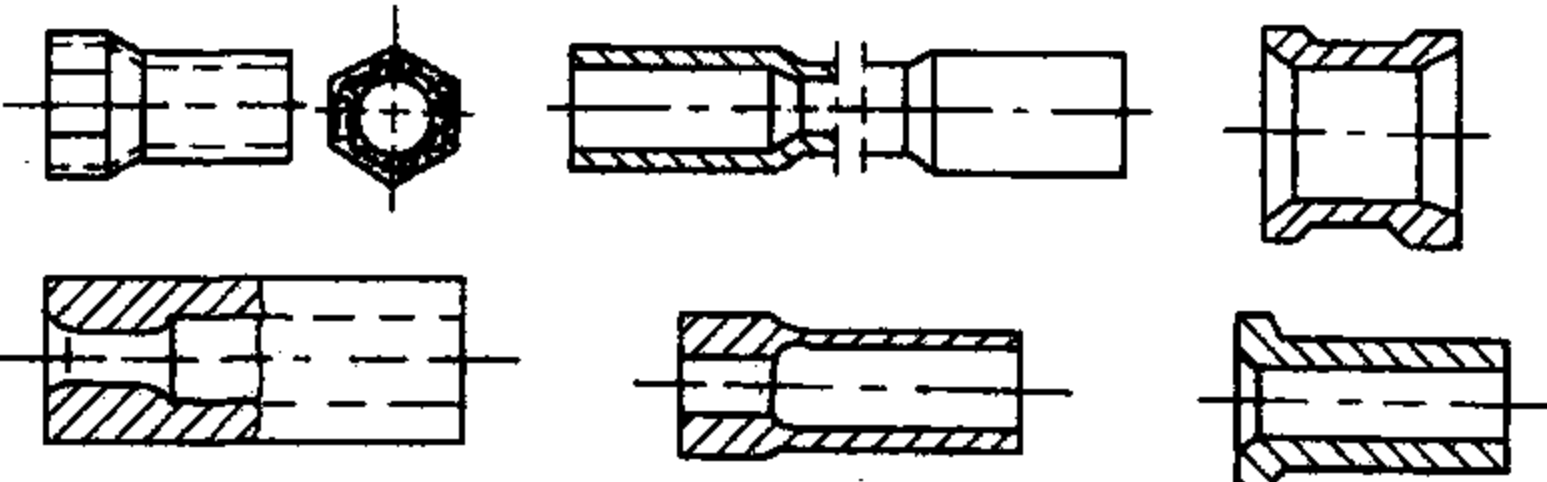
表 6.3-2 垂直分模和水平分模平锻机上模锻工艺特点

序号	项 目	垂直分模平锻机	水平分模平锻机
1	主滑块压力	相 同	相 同
2	夹紧滑块传动环节和机器总质量	传动环节多、质量重	环节少,基本零件数量少约 25% 质量轻约 15%~20%
3	夹紧滑块夹紧力	夹紧力为锻锻力的 25%~30%,夹紧力小	夹紧力为主滑块锻锻力的 125%,约 1~1.3 倍。可提高锻件精度,又可作为模锻变形机构
4	机床刚性	略 差	刚性好,夹紧机构闭合时与机架一起形成封闭箱体,整体刚性亦好
5	机械化、自动化	较麻烦	坯料水平移动,较容易
6	安装、调整	机器上部敞开,较方便	较麻烦
7	氧化皮、冷却水下落	容易	不方便
8	锻件出料	易落入设备底部出料	需用辅助装置推出锻件

2. 平锻件分类

为了便于平锻件工艺和模具设计,根据锻件形状和成形工艺特点,平锻件可分为四类,见表 6.3-3。

表 6.3-3 平锻件分类

分类	平锻件实例
局部锻粗类锻件	
孔类锻件	
管类锻件	

(续表)

分类	平锻件实例
联合锻造锻件	<p>锤上模锻的毛坯 平锻机上平锻的毛坯</p> <p>平锻机上模锻的锻件 锤上模锻的锻件</p> <p>平锻机上模锻的毛坯 扩孔机上生产的锻件</p>

3. 锻件设计

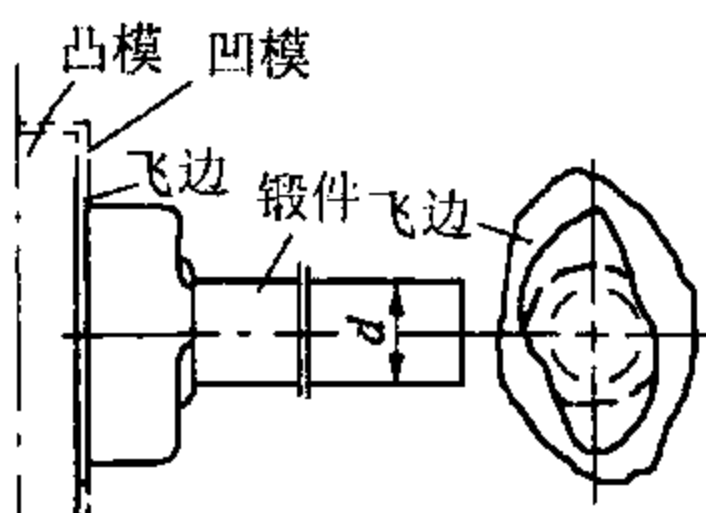
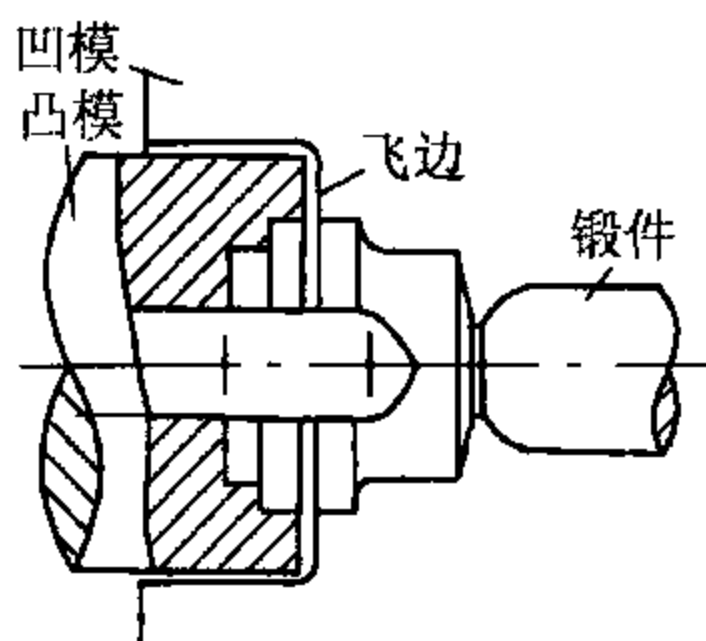
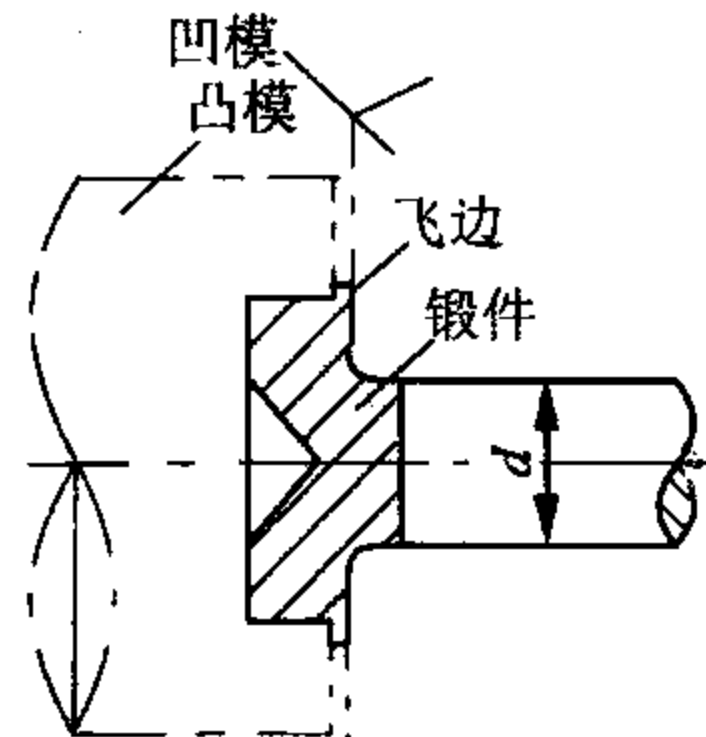
(1) 分模面的选择

平锻件有两个分模面。锻件夹紧方向的分模面较容易选择，而在主滑块锻造方向的分模面位置较灵活，其分模形式可分为闭式平锻和开式平锻两类(表 6.3-4)。

表 6.3-4 分模面的选择

闭式平锻	<p>凹模 凸模 锻件</p>	<p>在封闭的模膛内成形，要准确控制变形金属的体积，防止形成过大的纵向毛刺和发生“闷车”现象</p>
------	-------------------------	--

(续表)

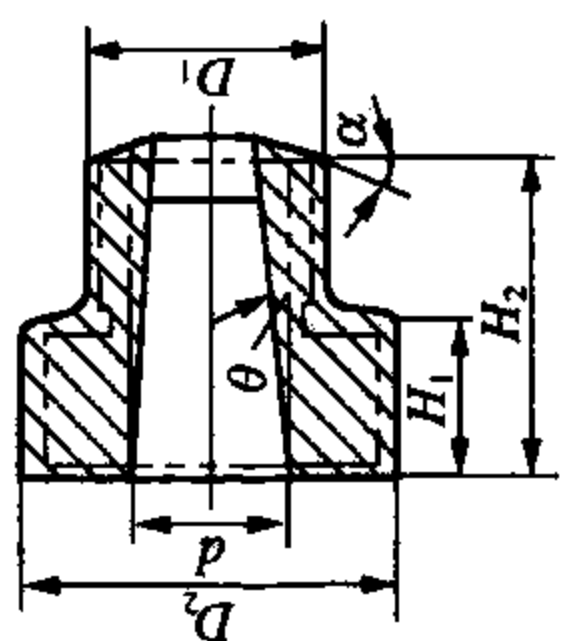
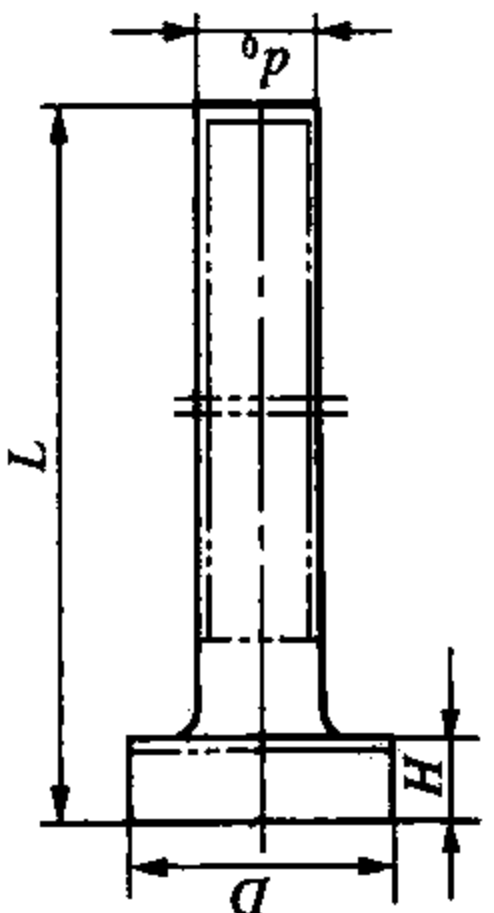
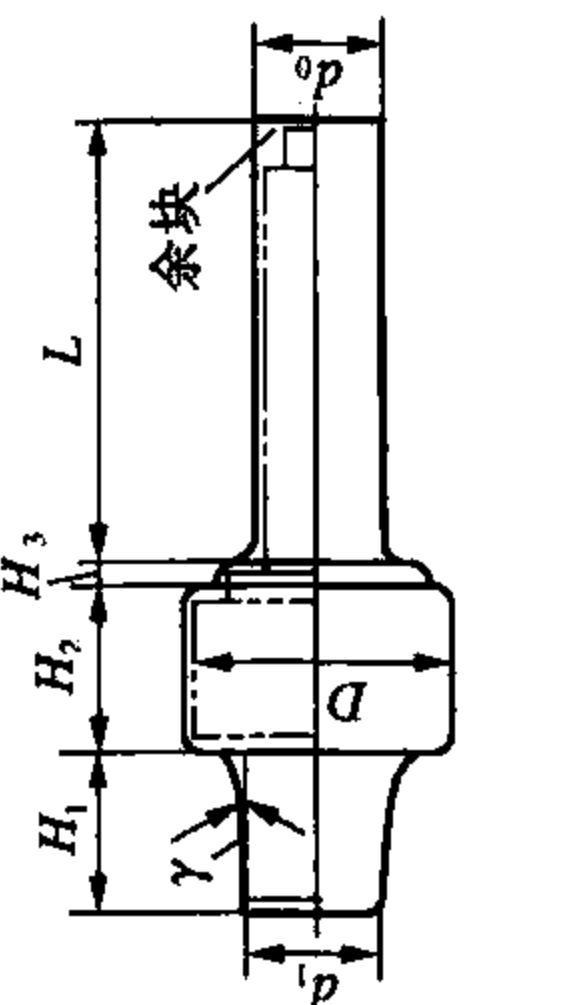
开式平锻		<p>飞边设在锻件最大轮廓的前端面。凸模结构简单,锻件的同心度好,适合非回转体锻件,切边时易拉出纵向毛刺</p>
		<p>飞边设在锻件最大轮廓中间。便于检查凸模和凹模的错移,切边质量较好</p>
		<p>飞边设在锻件最大轮廓的后端。锻件在凸模内成形,内外圆同心度好</p>

(2) 锻件机械加工余量及公差

钢质平锻件可根据国家标准“GB12362-90 钢质模锻件公差及机械加工余量”来确定公差和加工余量(见第五章)。

对一般性平锻件,亦可按设备吨位选取公差和余量,见表 6.3-5。

表 6.3-5 锻件余量和公差/mm

						设备规格 /kN					
						<3 150		4 500~6 300		8 000~12 500	
公差	余量	尺寸	余量和公差	D	H	D	H	D	H	D	H
				1.5~2.0	1.25~1.75	1.75~2.5	1.5~2.25	2.0~3.0	1.75~2.75	2.25~3.5	2.0~3.25
				1.0~1.5	1.0~1.75	1.0~1.75	1.0~2.0	1.0~2.0	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~3.0
公差	负偏差			0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.5	1.0~1.5	1.0~1.5	1.0~1.5	1.0~1.5

注：① 表中所列值为单边余量。

② 孔和凹档的尺寸，其公差取偏差相反的符号。

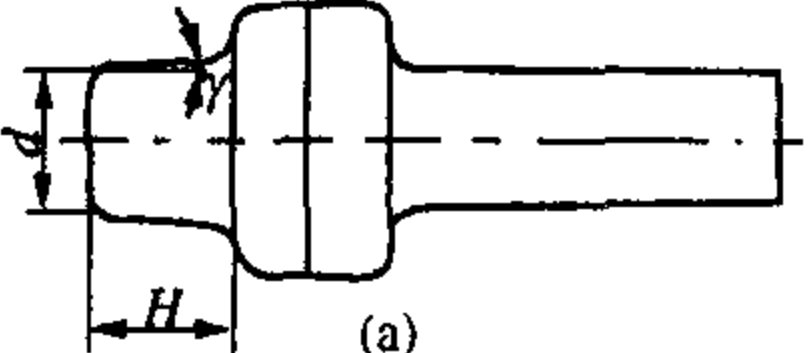
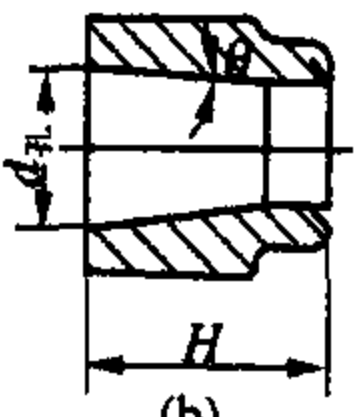
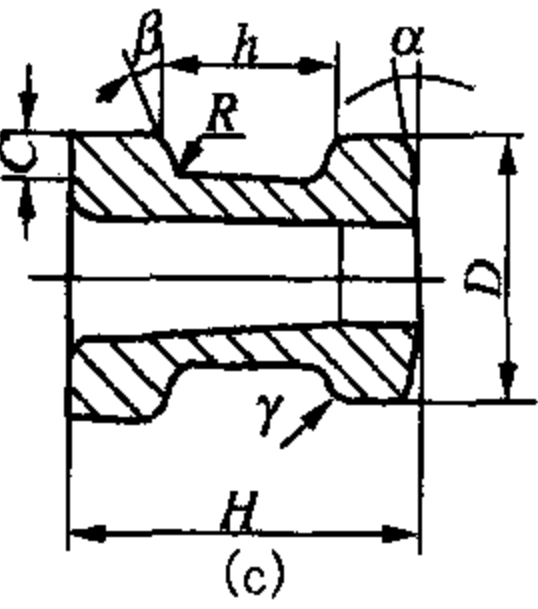
③ 对要求精磨的零件，增加余量 0.5 mm；反之，可酌情减少 0.5 mm。

(3) 模锻斜度和圆角半径

可根据国家标准“GB12361-90 钢质模锻件 锻件模锻斜度和圆角半径”来确定。

① 模锻斜度(表 6.3-6)。

表 6.3-6 平锻件模锻斜度

a. 凸模内成形模锻斜度 γ				
 <p>(a)</p>	$\frac{H}{d}$	≤ 1	$>1 \sim 3$	$>3 \sim 5$
	γ	$0^{\circ}15'$	$0^{\circ}30'$	$1^{\circ}00'$
b. 锻件内孔模锻斜度 θ				
 <p>(b)</p>	$\frac{H}{d_n}$	≤ 1	$>1 \sim 3$	$>3 \sim 5$
	θ	$0^{\circ}30'$	$0^{\circ}30' \sim 1^{\circ}00'$	$1^{\circ}30'$
c. 锻件夹紧方向内模锻斜度 β				
 <p>(c)</p>	C	≤ 10	$>10 \sim 20$	$>20 \sim 30$
	β	$5^{\circ} \sim 7^{\circ}$	$7^{\circ} \sim 10^{\circ}$	$10^{\circ} \sim 12^{\circ}$
	α	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$	$3^{\circ} \sim 5^{\circ}$

② 圆角半径[表 6.3-6 中(c)图]。

锻件外圆角半径 r ：

$$r = \frac{H \text{ 方向余量} + D \text{ 方向余量}}{2} + \alpha$$

式中 α ——零件边缘倒棱或圆角半径。

锻件内圆角半径 R ：

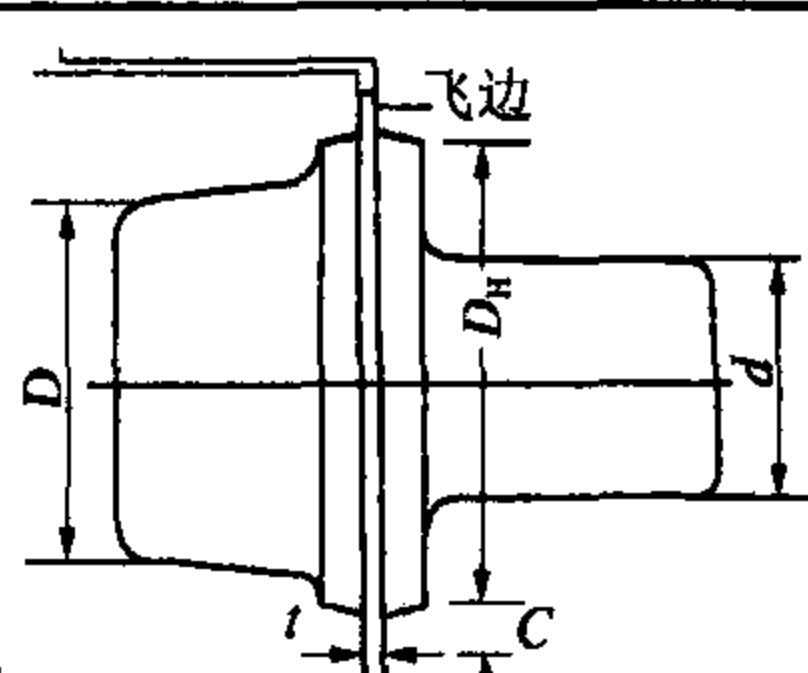
$$R = 0.2C + 1 \text{ (mm)}$$

一般内、外圆角半径 r 、 $R \geq 3 \text{ mm}$ 。

(4) 飞边尺寸

开式平锻在锻件模锻过程中将产生飞边，飞边尺寸见表 6.3-7。

表 6.3-7 飞边尺寸/mm

	D_H	<20	20~80	80~160	160~260
	C	5	8	12	15
	t	1.5~2	2~4	3~5	4~6

(5) 锻件允许形状偏差值

由于平锻件的锻件形状和工艺特点，为保证锻件质量，要求在技术条件中定出锻件形状偏差值。在国家标准“GB12362-90

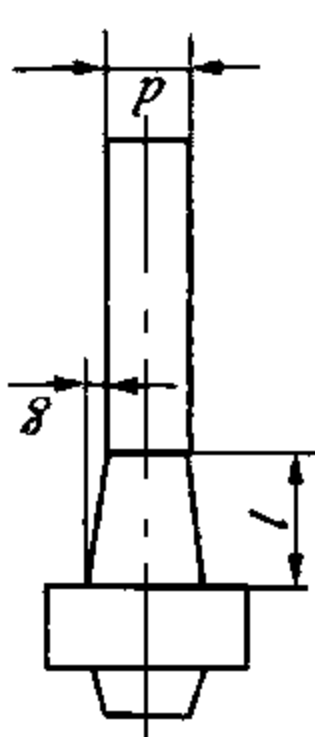
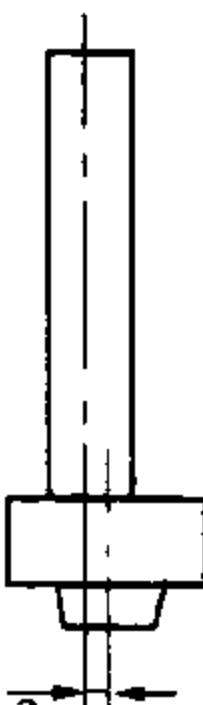
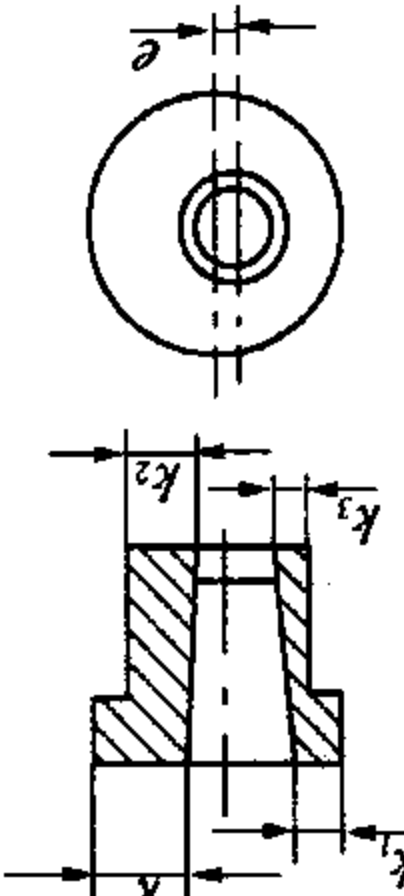
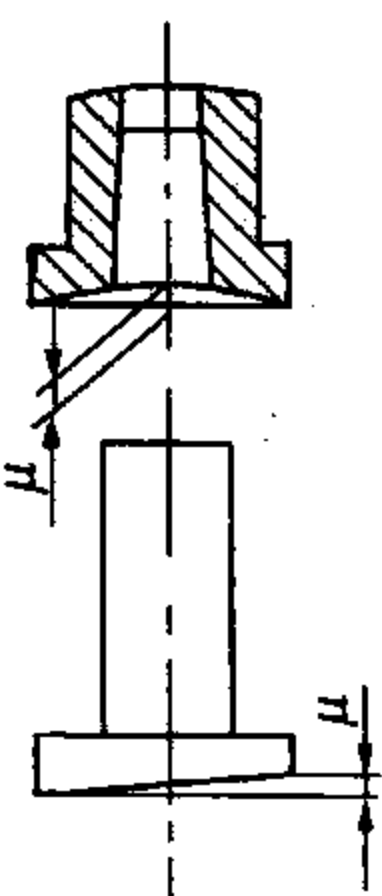
钢质模锻件 公差和机械加工余量”中，也已明确了平锻件的部分形位偏差值，如同轴度、直线度、平面度壁厚差等。

按设备吨位选取平锻件的允许形状偏差值，可以参考表 6.3-8 选取。

表 6.3-8 平锻件允许形状偏差/mm

技术条件项目	允许形状偏差				图 示	
	3 150 kN 以下	5 000 kN	8 000 kN	12 000 kN		
毛 刺	分模面毛刺 Z	0.5~1.0	0.5~1.5	1.0~2.0	1.5~2.0	
	横向毛刺 Z ₁	0.5~1.5	0.5~1.5	1.0~2.0	1.5~2.0	
	纵向毛刺 Z ₂	2.0~3.0	2.0~3.0	<3.0	<3.0	
	出口处毛刺 Z ₃	<2.0	<2.0	<3.0	<3.0	
不加工表面	0.5~1.0	0.5~1.0	0.75~1.2	0.75~1.2		
加工表面	≤ 1/2 实际加工余量					
杆部弯曲 值	杆部长度	<200	0.5~1.0	0.75~1.5	1.0~2.0	
		200~300	0.75~1.25	1.0~1.5	1.5~2.0	
		>300	1.0~1.5	1.0~1.5	1.5~2.0	
错 差	左右凹模 前后错差 λ ₁ 左右凹模 上下错差 λ ₂ 凸凹模错差 λ ₃	<0.5	0.5~0.75	0.5~0.8	0.5~1.0	

(续表)

技术条件项目	允许形状偏差				图 示
	3 150 kN 以下	5 000 kN	8 000 kN	12 000 kN	
杆部变粗 在 $L=(1\sim1.5)d$ 内杆部变粗 g 值	0.25~0.6	0.5~0.75	0.75~1.0	1.0~1.5	
e 值 不同心度	0.5~0.75	0.5~0.75	0.75~1.0	0.75~1.0	
头部壁厚差 $k-k_1=2e$ 尾部壁厚差 $k_2-k_3=2e$ 壁厚差应小于 实际余量之半	<1.0	1.0~2.0	1.5~2.5	2.0~3.0	
μ 值 不平度	0.5~1.0	0.5~1.0	1.0~1.5	1.0~1.5	

二、平锻机变形工步设计和设备吨位的确定

在平锻机上可进行的变形工步有：局部镦粗（聚集）、成形（预锻、终锻）、冲孔、穿孔、挤压、扩径、切断、切边及特种工步（在凹模中压扁、弯曲、卡细）。将各种变形工步按一定顺序加以不同的组合，就能制成所需的锻件（图 6.3-1）。

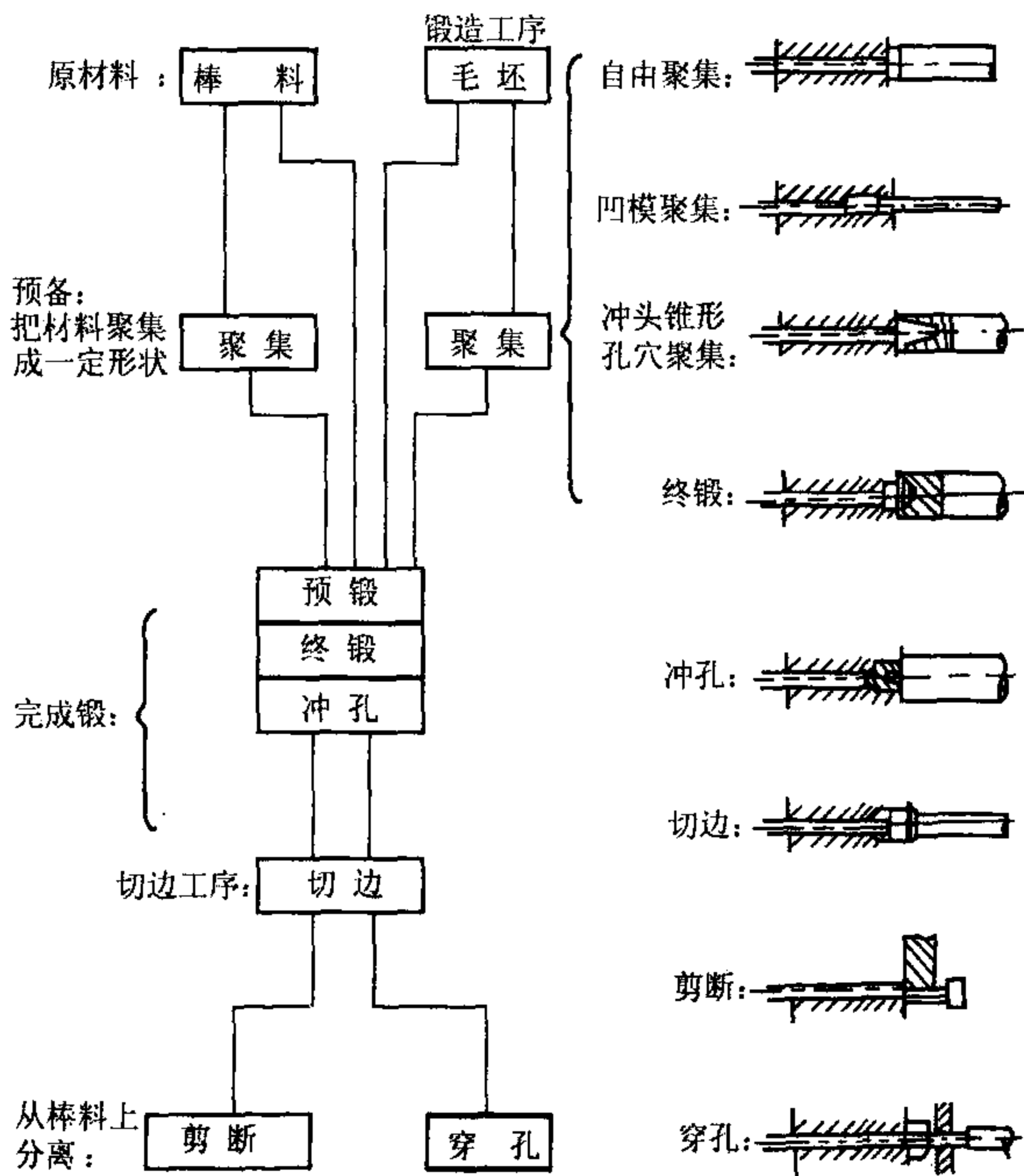


图 6.3-1 平锻变形工步

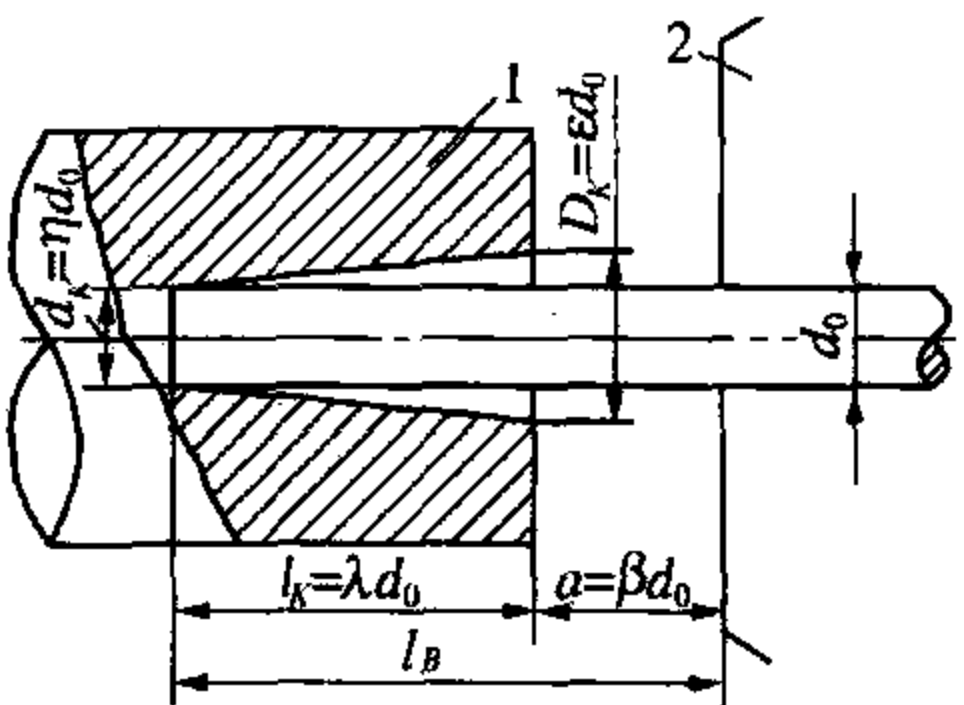
1. 局部镦粗类(第 I 类)锻件的工步设计

(1) 局部镦粗三规则(表 6.3-9)

表 6.3-9 局部镦粗三规则

	简 图	说 明
第一规则 自由镦粗		<p>平锻机一次行程中自由镦粗而不发生纵向弯曲的条件:</p> <p>① 理想状态下,顶镦变形长度 l_0 和直径 D_0 之比 $\varphi = l_0/D_0$ 可达到 3.0</p> <p>② 在生产条件下,长径比</p> $\varphi \leq 2.5$
第二规则 凹模内镦粗		<p>当长径比 $\varphi > 2.5$ 时,可在凹模内聚集</p> <p>凹模孔径 D_K 一般控制在 $(1.25 \sim 1.5) D_0$ 之间,同时要控制棒料伸出凹模的自由端长度 a</p> <p>当 $D_K = 1.5d_0$ 时, $a \leq d_0$</p> <p>当 $D_K = 1.25d_0$ 时, $a \leq 1.5d_0$</p> <p>因产生纵向毛刺,应用较少</p>

(续表)

	简 图	说 明
第三规则	<div data-bbox="262 816 325 1231" style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 125px; top: 275px;">凸模锥孔内镦粗</div> 	<p>当长径比 $\varphi > 2.5$ 时,可在凸模的锥形孔腔内聚集,是最常用的方法</p> <p>当锥体小头直径 $d_k = d_0$ 时,应满足</p> <p style="padding-left: 40px;">$D_k = 1.5d_0$ 时, $a \leq 2d_0$</p> <p style="padding-left: 40px;">$D_k = 1.25d_0$ 时, $a \leq 3d_0$</p>

(2) 顶镦(聚集)工步计算

当长径比 $\varphi > 2.5$ 时,大多采用凸模锥形模膛顶镦聚集的变形工步。在表 6.3-9 中,局部镦粗第三规则仅能得到特定情况下的锥形模腔尺寸。

在具体情况下,锥形模膛最佳值的计算方法见图 6.3-2。图中 abc 折线为界限限制线,要选用折线 abc 以下的系数,可得到合格的产品,否则将会产生顶镦弯曲折叠缺陷。

根据已计算好的长径比 Ψ ,找到图中与折线 abc 的交点,在纵坐标轴得到 β 值,而在横坐标轴得到 ϵ 值。而 ϵ 值随锥体的小头系数 η 而变化。其中:

β —— 压缩量系数 $\beta = a/d_0 \leq 3$;

ϵ —— 锥体大头系数 $\epsilon = D_k/d_0$;

η —— 锥体小头系数 $\eta = d_k/d_0$ 取 $1.0 \sim 1.2$ 。

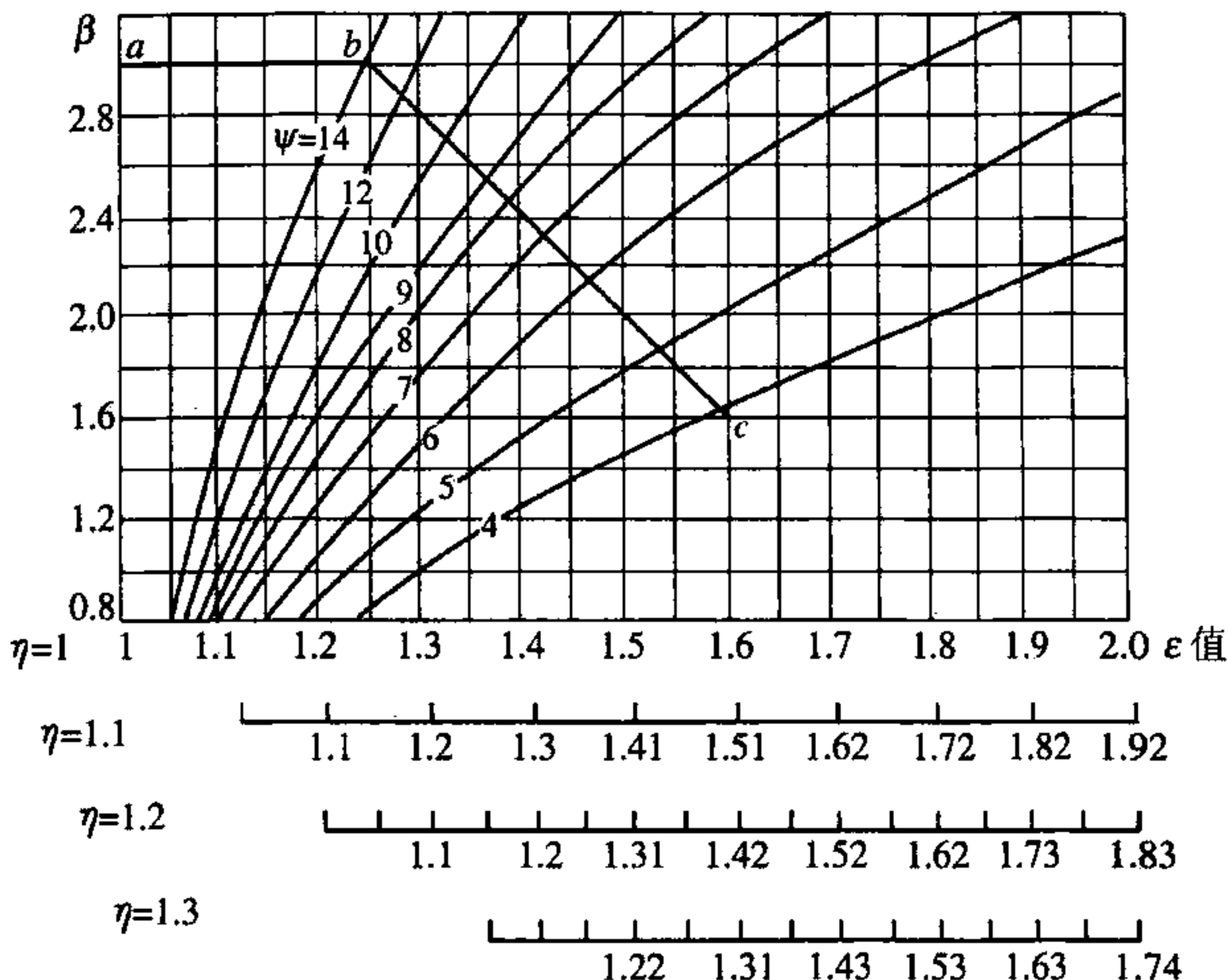


图 6.3-2 锥形顶锻限制线

这样,就能确定第一次顶锻的锥孔尺寸参数。例如:变形部分坯料尺寸为 $\phi 20 \times 120$, 长径比 $\psi = 6.0$, 第一次顶锻,取 $\eta = 1.0$, 查图中得到 $\beta = 2.15$, $\epsilon = 1.48$, 即可计算出锥孔的具体尺寸。

经第一次聚集后,应验算是否需要第二次聚集。以第一次聚集后锥体的平均直径 $d_{\text{平}} = (D_K + d_K)/2$ 和锥体长度 l_K , 求得聚集后新的长径比 $\phi_1 = l_K/d_{\text{平}}$ 。如果 $\psi_1 > 2.5$, 需进行第二次、第三次……聚集,依此类推,直到满足 $\phi \leq 2.5$ 的第一规则。

锥形模膛设计还须注意以下几点:

① 在聚集时,为防止由于坯料尺寸偏差而挤出毛刺,应考虑

模膛不充满系数 K , 其值如下:

第一道 $K_1 = 1.06 \sim 1.08$

第二道 $K_2 = 1.04 \sim 1.06$

第三道 $K_3 = 1.03 \sim 1.04$

第四道 $K_4 = 1.03 \sim 1.04$

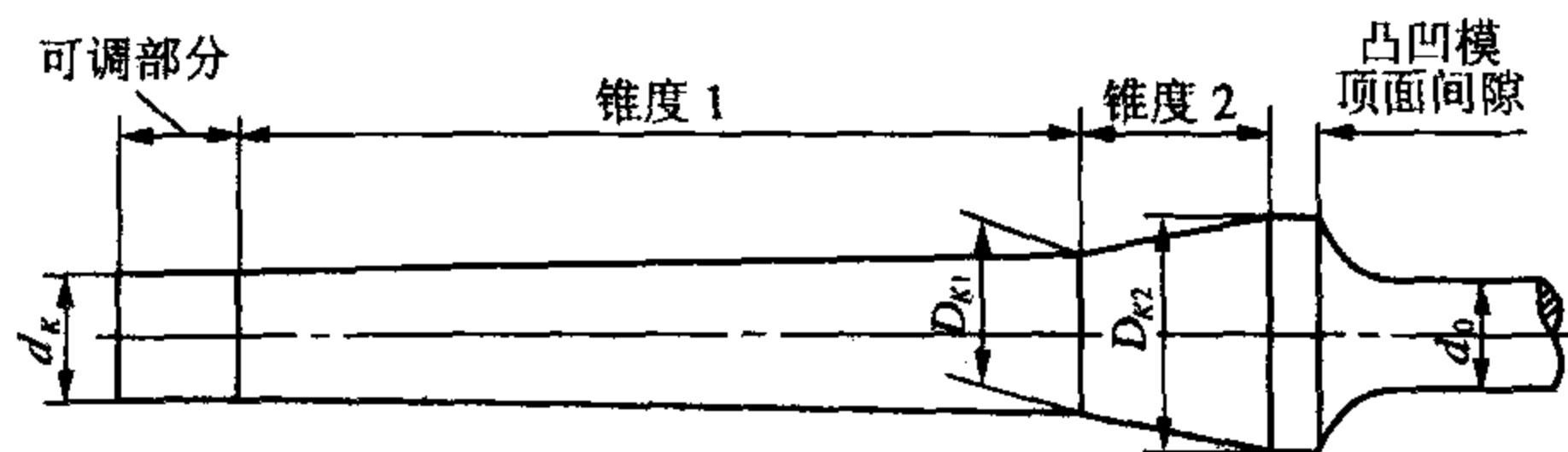


图 6.3-3 二级锥度、可调式聚集

② 当长径比 $\varphi > 7$ 时, 为了增加聚集压缩量, 可采用二级锥度模膛(图 6.3-3)。

③ 当长径比 $\varphi > 4.5$ 时, 在锥体小头处, 设计一定长度的调节量(约 5~30 mm), 以便调整聚坯料的体积。

④ 在进行多次聚集时, 小头系数 η 取小值, 而可调节量取大值, 各工步尺寸应取与限制线 abc 相靠近的值, 这样在聚集时就可以得到比较满意的结果。

图 6.3-4 是常用的三道次顶镦变形工步参考图。依此类推, 四次聚料变形长度 L 约为 $9.7 \sim 13d_0$; 五次聚料变形长度 L 约为 $13 \sim 16d_0$ 。

局部镦粗类(第 I 类)锻件通常采用的变形工步是: 聚集、预锻、终锻、切边等, 其最基本的变形工步是聚集(顶镦)。该类锻件的毛坯直径按锻件杆部确定, 大多数情况采用一坯一件式单件模锻。

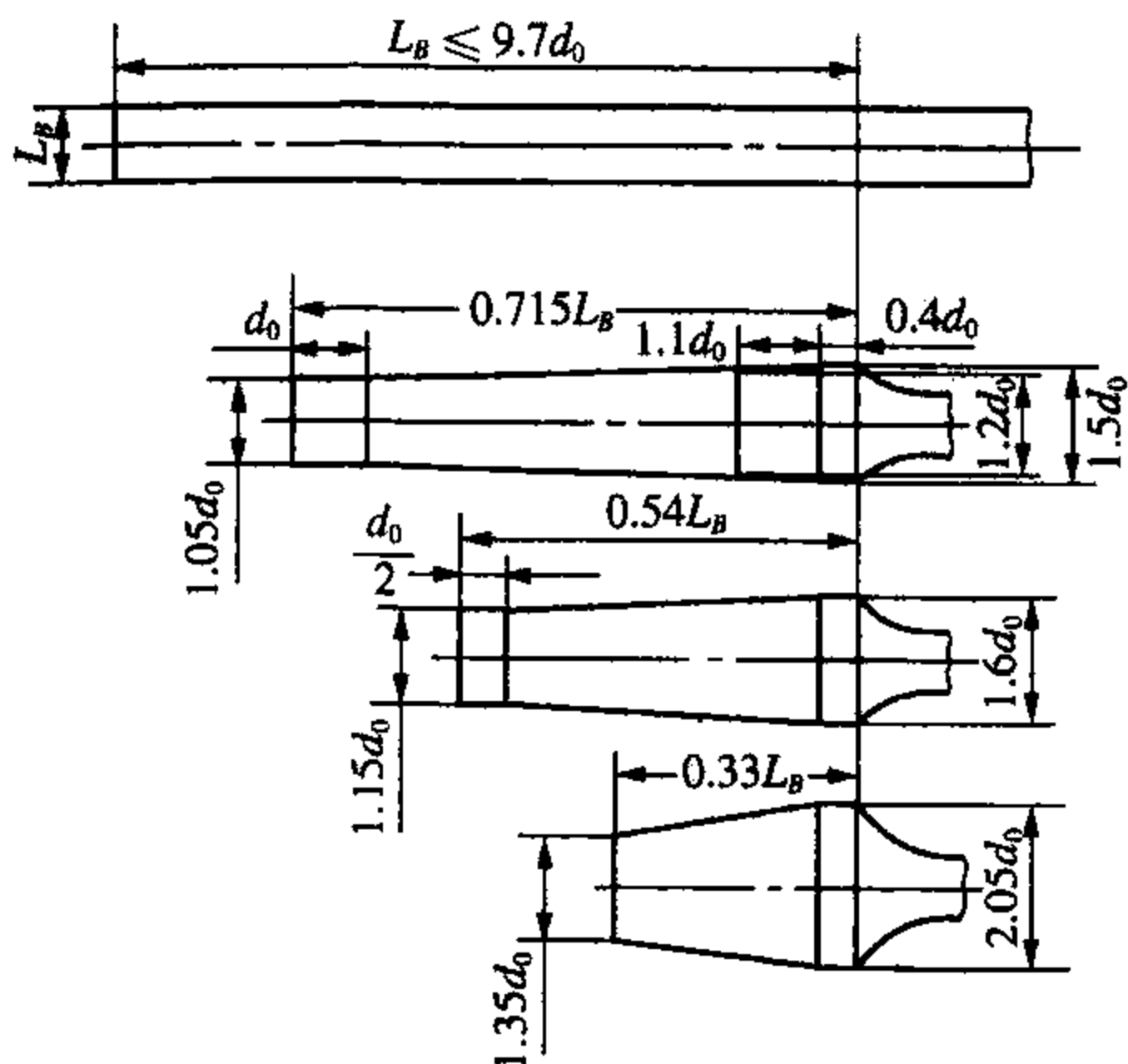
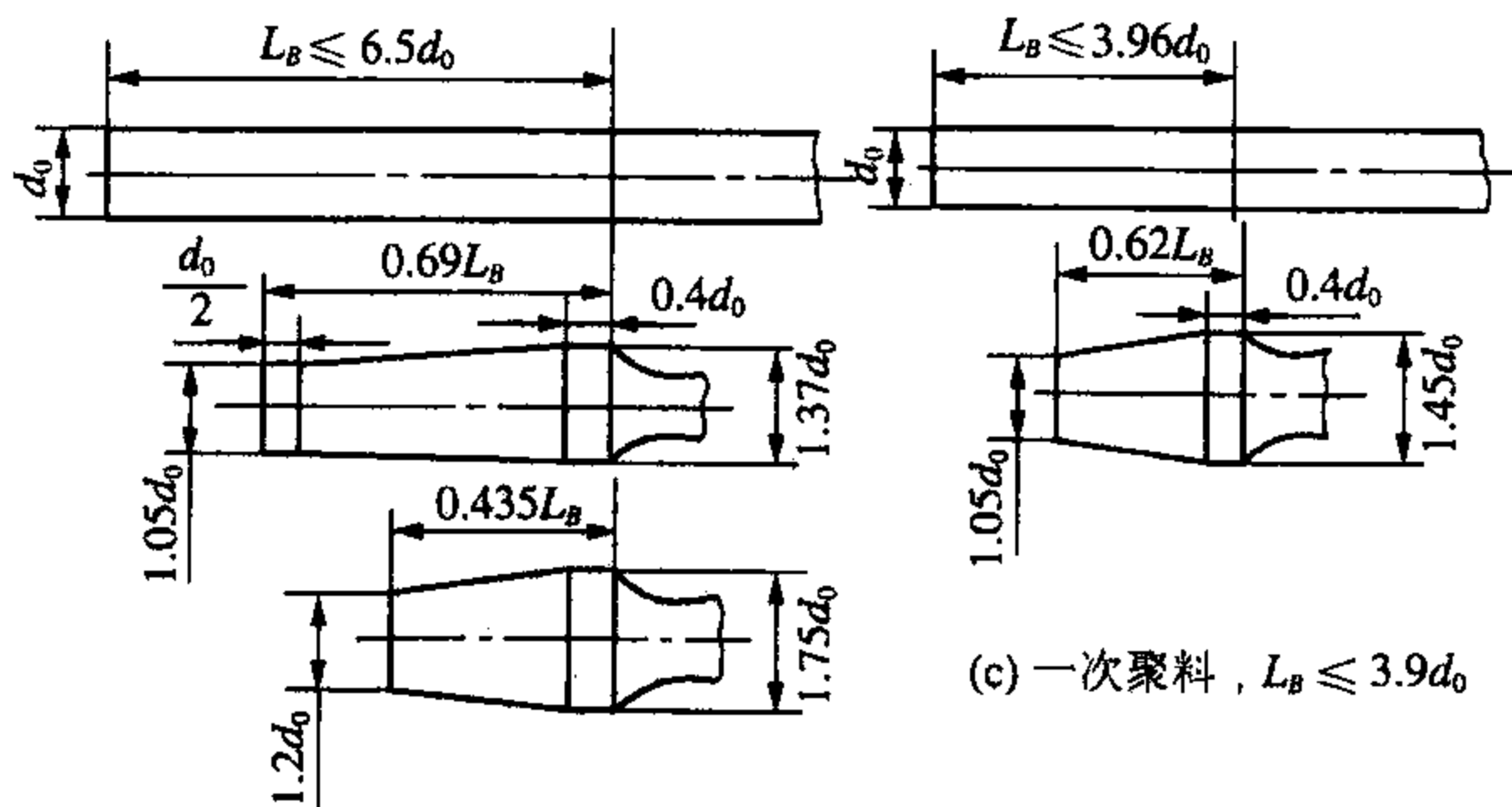
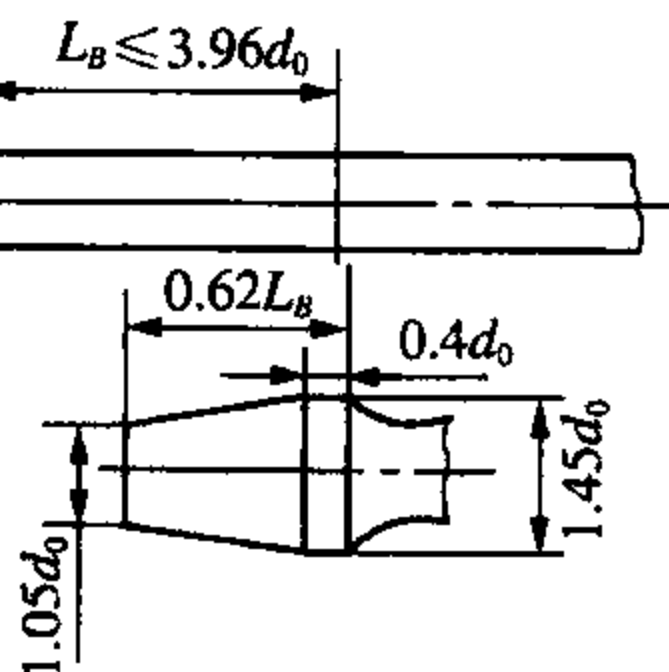

 (a) 三次聚料, $6.5d_0 \leq L_B \leq 9.7d_0$

 (b) 二次聚料, $3.9d_0 \leq L_B \leq 6.5d_0$

 (c) 一次聚料, $L_B \leq 3.9d_0$

图 6.3-4 顶锻变形工步计算图

2. 孔类(第Ⅱ类)锻件工步设计

孔类锻件可分为透孔的环形件和不透孔的杯形件两类。该类锻件的变形工步主要是聚集、冲孔(1~4次)、穿孔、切断等,冲孔工步中包含预锻和终锻工步,如图 6.3-5 所示。工步设计首先确定终锻工步(冲孔成形),在此基础上确定预成形冲孔次数和冲孔尺寸等。

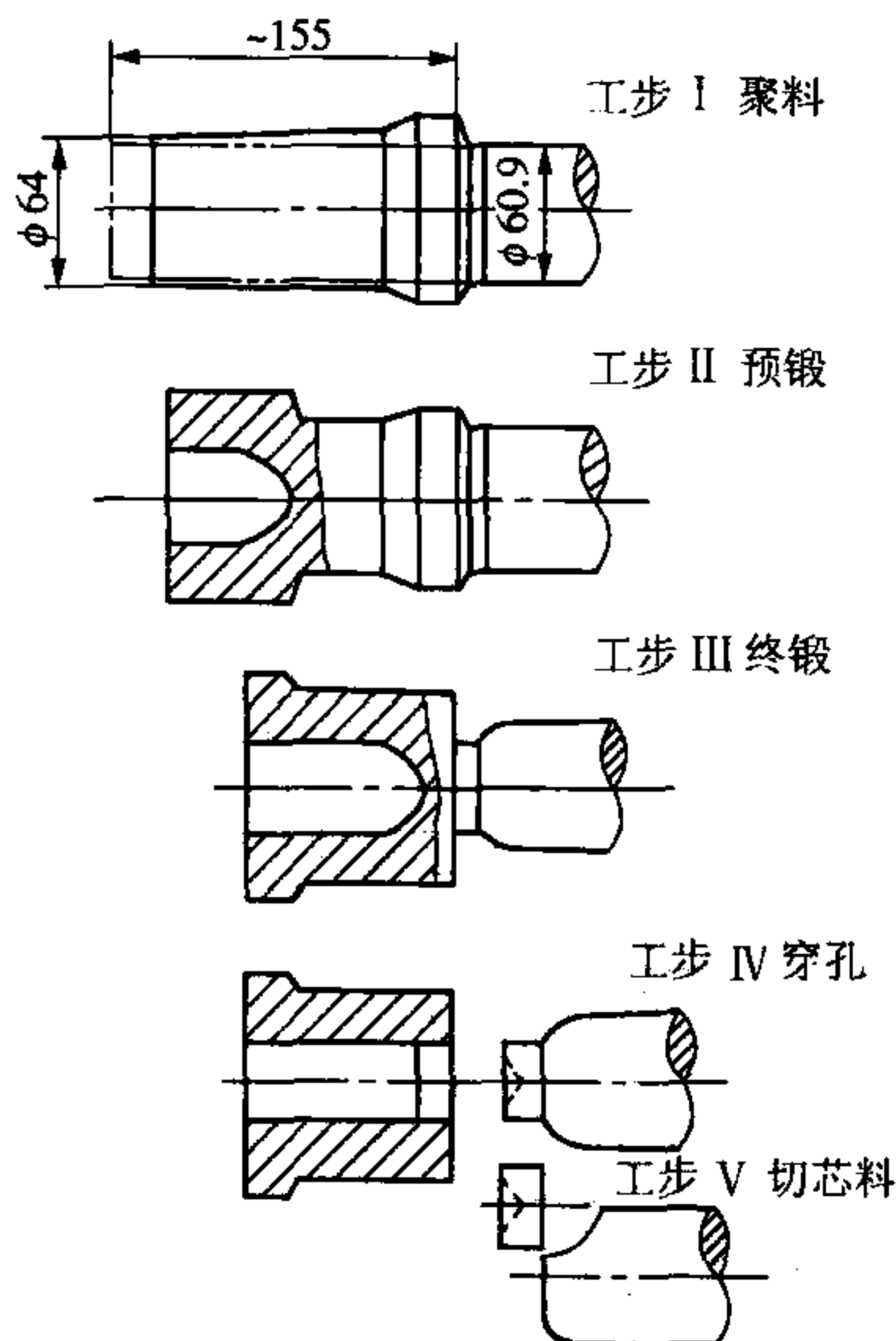


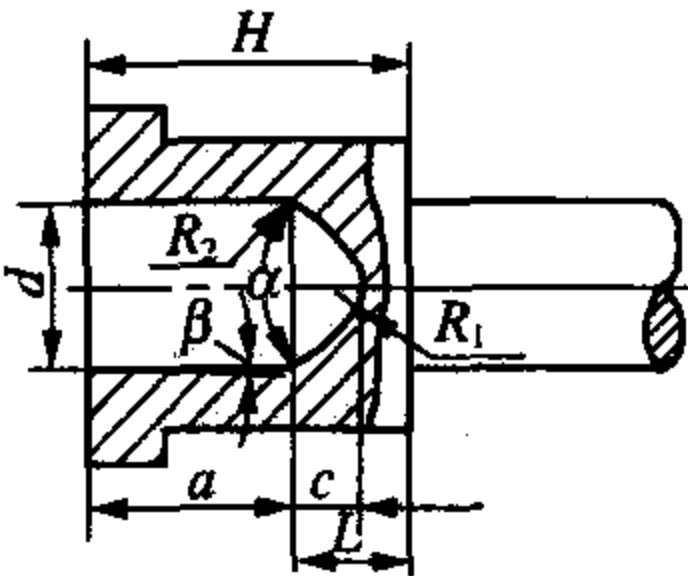
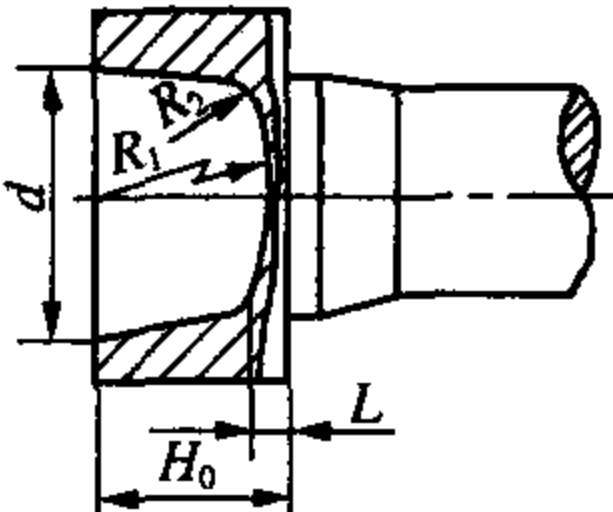
图 6.3-5 联轴节滑套平锻工步

(1) 终锻成形设计

终锻成形时只能得到不通孔锻件。如需得到透孔锻件,则须

经冲穿冲孔芯料的穿孔工步,要注意芯料太厚则穿孔力大,可能引起锻件支承面变形;芯料太薄,在终锻冲头回程时,可能将芯料拉断而将锻件带走。具体设计见表6.3-10。

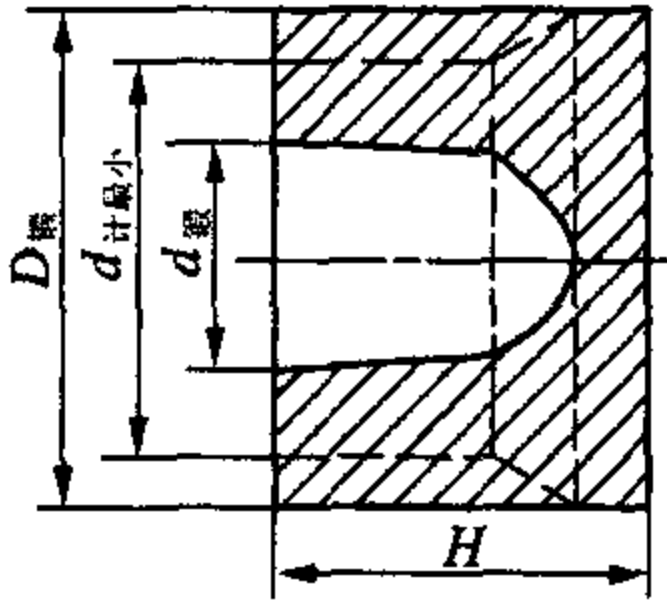
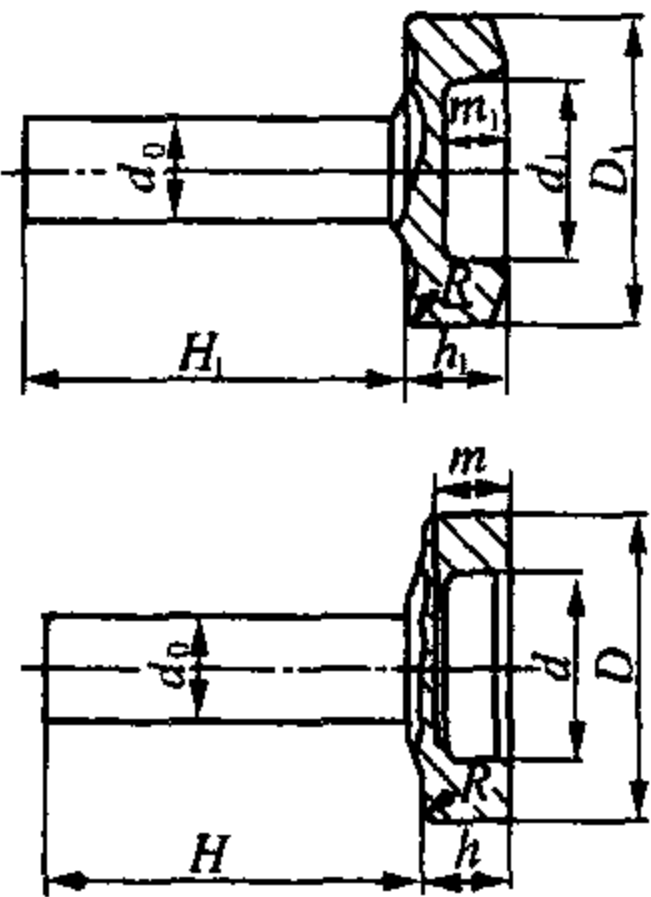
表 6.3-10 终锻成形设计

项目	简 图	计算·系数·说明								
尖冲头冲孔		<p>适用于 $H/d > 1$ 的深孔锻件。冲孔力较小,壁厚均匀,但冲穿力大,冲头寿命较短</p> <p>$L=Kd$ $c=0.5L$ $R_1=0.2d$ $R_2=0.4d < a$</p> <p>α 常用 60°、75°、90°、110°等</p> <table><caption>系数 K 值</caption><tr><th>$\frac{H}{d}$</th><td>0.4</td><td>0.8</td><td>≥ 1.2</td></tr><tr><th>K</th><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.5</td></tr></table>	$\frac{H}{d}$	0.4	0.8	≥ 1.2	K	0.2	0.4	0.5
$\frac{H}{d}$	0.4	0.8	≥ 1.2							
K	0.2	0.4	0.5							
平冲头冲孔		<p>平冲头冲孔适合于 $H/d \leq 1$ 的浅孔锻件。需较大的终锻变形力,但冲穿省力,穿孔质量好</p> <p>$L=2\sim 8\text{ mm}$ $R_1=(0.8\sim 1.8)d$ $R_2=(0.1\sim 0.15)d$</p>								
确定冲孔次数	<table><caption>确定冲孔次数的数据</caption><tr><th>$\frac{l'}{d}$</th><td><1.5</td><td>$1.5\sim 3.0$</td><td>$3.0\sim 5.0$</td></tr><tr><th>冲孔次数</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> <p>孔深 $l'=a+c$</p>	$\frac{l'}{d}$	<1.5	$1.5\sim 3.0$	$3.0\sim 5.0$	冲孔次数	1	2	3	<p>平锻机一次行程的冲孔深度常取为 $1.0\sim 1.5d$。一次冲孔过大,容易弯曲和冲偏,甚至使飞轮降速,所以,对深孔锻件必须多次冲孔</p>
$\frac{l'}{d}$	<1.5	$1.5\sim 3.0$	$3.0\sim 5.0$							
冲孔次数	1	2	3							

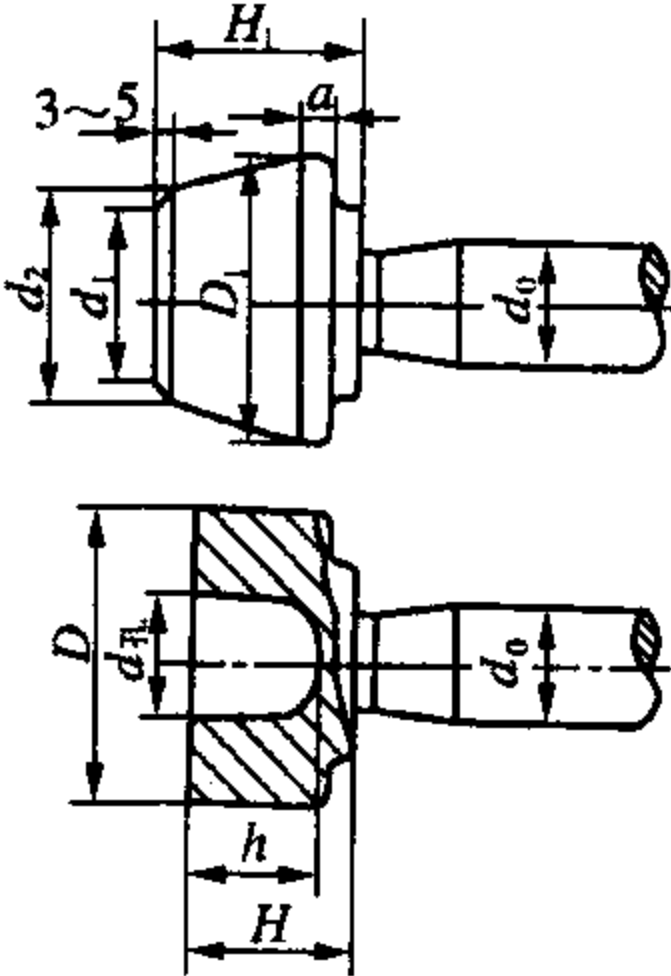
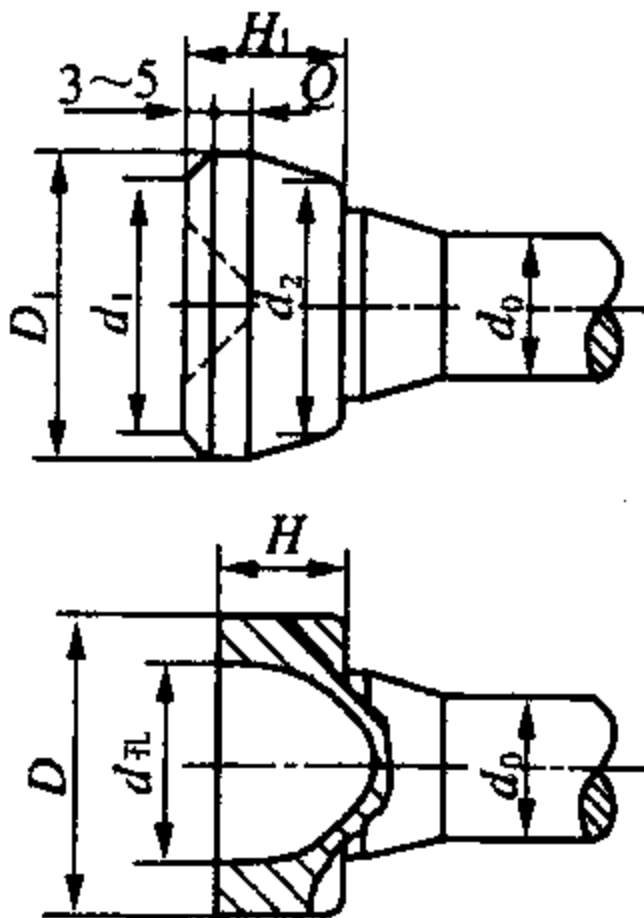
(2) 预锻成形设计

预锻成形设计是指冲孔终锻成形前的毛坯形状设计,是在终锻工步的基础上设计的。其目的是改善终锻成形时金属流动条件,使得易于充满,避免产生冲孔偏斜和折叠等缺陷。预锻成形设计方法见表 6.3-11。

表 6.3-11 预锻成形设计

内 容	简 图	计 算 · 说 明
设计要点		<p>① 预锻成形应留有 5~15 mm 压缩量,使终锻时以镦粗变形为主,利于充满</p> <p>② 应尽量使预成形的直径等于终成形在该处的计算毛坯直径 $d_{\text{计}}$</p> $d_{\text{计}} = \sqrt{D_{\text{锻}}^2 - d_{\text{锻}}^2}$ <p>③ 预成形应考虑一定的不充满系数,以防产生毛刺和折叠</p>
不通孔杯类锻件		<p>预锻为终锻作准备</p> $H_1 = H \quad d_1 = d$ $h_1 = h + (6 \sim 8) \text{ mm}$ $m_1 = m - (4 \sim 6) \text{ mm}$ $D_1 = D - (0.5 \sim 2) \text{ mm}$

(续表)

内 容		简 图	计 算 · 说 明
孔类锻件设计	浅孔厚壁件		$h/d_{\text{孔}} < 1.5$, 不必预冲孔, 只需终锻时一次冲孔 $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - (1 \sim 2) \text{ mm}$ $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$ $H_1 = H + (8 \sim 15) \text{ mm}$ $d_1 = d_{\text{孔}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$ 不充满系数 $K = 1.1 \sim 1.2$
	浅孔薄壁件		$h/d_{\text{孔}} < 1.5$, 孔壁较薄, 不必预冲孔 $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - (1 \sim 2) \text{ mm}$ $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$ $H_1 = H + (8 \sim 15) \text{ mm}$ $d_1 = d_{\text{孔}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$ 不充满系数 $K = 1.1 \sim 1.2$ d_2 按体积不变求出

$h/d_{\text{孔}} < 1.5$, 不必预冲孔, 只需终锻时一次冲孔
 $D_1 = D$ 或
 $D_1 = D - (1 \sim 2) \text{ mm}$
 $a = 5 \sim 20 \text{ mm}$
 $H_1 = H + (8 \sim 15) \text{ mm}$
 $d_1 = d_{\text{孔}} + (8 \sim 10) \text{ mm}$
 不充满系数 $K = 1.1 \sim 1.2$

(续表)

内 容	简 图	计 算 · 说 明
<p>孔类锻件设计</p> <p>深孔薄壁件</p>		<p>$h/d_{孔} > 1.5$ 孔较深, 须预冲孔。孔壁薄, 计算直径小</p> <p>$D_1 = D$ 或 $D_1 = D - (1 \sim 2)$ mm</p> <p>$H_1 = H + (5 \sim 10)$ mm</p> <p>$H_2 = H_1 + (5 \sim 10)$ mm</p> <p>$d^2 = (1.05 \sim 1.1) (D^2 - d_{孔}^2)$</p> <p>壁厚小取小系数, 采用扩孔镗粗成形</p> <p>冲头顶角度 $\alpha_1 < \alpha$, α 取 60°、75°、90°、110°、120°。冲头斜度 β 保持不变</p> <p>壁厚偏厚时, 后端不易冲满, 可设计成虚线形状</p> <p>$D'_1 = D - (0 \sim 2)$ mm</p> <p>$b = 5 \sim 20$ mm</p>

(续表)

内 容	简 图	计 算 · 说 明
孔类锻件设计	<div data-bbox="478 655 1430 1041"> </div> <div data-bbox="569 1092 1430 1457"> </div> <div data-bbox="625 1537 1430 1902"> </div>	<p> $h/d_k > 1.5$ 孔较深, 须预冲孔。孔壁厚, 计算直径大 $D_1 = D$ 或 $D_1 = D - (1 \sim 2)$ mm $D_2 = D_1$ $d_{\text{计}} = (1.1 \sim 1.3) \sqrt{D^2 - d_k^2}$ $h_2 = (1 \sim 1.5) d_k$ d_k 按体积不变原则计算确定 其他尺寸 $H_1, H_2, l_0, \beta, \alpha$ 的要求与深孔薄壁件相同 </p>

3. 管类(第Ⅲ类)锻件工步设计

该类锻件通常采用聚集、终锻和切边等变形工步, 其基本变形工步是聚集。管料五种墩粗方式见表 6.3-12, 管料局部墩粗的原则列入表 6.3-13。实践证明, 管壁失稳产生纵向弯曲的方向大多向外, 因此管料墩粗采用表 6.3-12(c) 方式, 即外径不变, 内径减小方式, 不易产生折纹, 可提高一次顶墩 t_1/t 的比值, 减少顶墩次数。

表 6.3-12 管料镦粗方式

<p>(a) 管壁不变, 内外径同时增大</p> <p>(b) 外径增大, 内径不变</p> <p>(c) 外径不变, 内径减小</p> <p>(d) 内、外径变化, 壁厚增大</p> <p>(e) 凸模锥体成形 通常多采用在凹槽内成形</p>	<p>a. 管壁不变, 内外径同时增大</p> <p>b. 外径增大, 内径不变</p> <p>c. 外径不变, 内径减小</p> <p>d. 内、外径变化, 壁厚增大</p> <p>e. 凸模锥体成形 通常多采用在凹槽内成形</p>
--	---

表 6.3-13 管料镦粗原则

<p>顶镦 1</p> <p>顶镦 2</p>	<p>① $l_0/t \leq 3$, 允许一次顶镦到任意外径</p> <p>② $l_0/t > 3$ 时, 在模膛内多道次顶镦</p> <p>$t_1/t \leq 1.25 \sim 1.5$</p> <p>$t_2/t_1 \leq 1.25 \sim 1.5$</p> <p>这样, 才不致产生折纹</p>
-------------------------	--

锻锻过程中,夹紧管坯较困难,常采用后挡板定位。为了提高凸模的导向,凸模在变形开始前应进入凹模,坯料前端不伸出凹模。

4. 棒料尺寸的确定

(1) 坯料体积的确定($V_{\text{坯}}$)

$$V_{\text{坯}} = (V_{\text{锻}} + V_{\text{芯}} + V_{\text{飞}} + V_{\text{扩}})(1 + \delta)$$

式中 $V_{\text{锻}}$ ——锻件体积,按冷锻件图名义尺寸加正公差的一半计算;

$V_{\text{芯}}$ ——芯料体积;

$V_{\text{飞}}$ ——飞边体积,见表 6.3-7;

$V_{\text{扩}}$ ——扩径部分体积,对扩径穿孔类锻件;

δ ——加热烧损率,火焰炉加热 $\delta=3\%$,电加热 $\delta=1\%\sim 1.5\%$ 。

(2) 选取棒料直径的原则

① 局部锻粗类锻件的棒料直径等于杆部直径。

② 孔类锻件的棒料直径按下列原则确定。

(a) 棒料直径等于锻件冲孔直径(参见表 6.3-11 的设计要点图), $d_{\text{坯}} = d_{\text{锻}}$ 。

(b) 尽量防止冲孔时金属倒流,应使 $d_{\text{坯}} < d_{\text{计最小}}$ 。

(c) 采用前挡板定位时,要求毛坯伸出凹模的长度大于 15 mm,否则应减小毛坯直径。

(d) 受模具安装空间限制,一般不超过四道成形工步(长径比 $\phi = l_{\text{坯}}/d_{\text{坯}} < 8\sim 9$),否则就要加大坯料直径,以减少工步数。

综合以上情况,按下列方法确定棒料直径:

当 $d_{\text{计最小}}/d_{\text{锻}} = 1\sim 1.2$ 时,尽量采用 $d_{\text{坯}} = d_{\text{锻}}$,即 $d_{\text{坯}} = (0.82\sim 1.0)d_{\text{坯}}$ 。

当 $d_{\text{计最小}}/d_{\text{锻}} > 1.2$ 时,为减少工步,应取 $d_{\text{坯}} > d_{\text{锻}}$ 。

在此情况下,毛坯要进行卡细工步。

当 $d_{\text{计最小}}/d_{\text{锻}} < 1.0$ 时,为防止金属倒流,应取 $d_{\text{坯}} < d_{\text{锻}}$ 。

在此情况下,毛坯要进行扩径。

(3) 毛坯变形长度的确定

用已计算好的坯料体积($V_{\text{坯}}$)和棒料直径($d_{\text{坯}}$)计算出毛坯变形长度。

5. 设备吨位的确定

平锻机确定设备吨位的方法是:先计算变形镦锻力,初步确定设备吨位后,要核算平锻机安装模具的空间和平锻机有效行程,并作出修正。

(1) 镦锻力计算

采用经验公式

$$P = 57.5 KF \quad (\text{kN})$$

式中 F ——锻件最大投影面积(包括飞边)(cm^2);

K ——钢种系数, $K = 1 \sim 1.3$, 中碳钢取 1.0, 中碳合金钢取 1.15, 高合金钢取 1.3。

(2) 核算安装模具空间

根据锻件形状、尺寸和变形工步数计算出各道次的凹模体的宽度或高度,核对初选平锻机的安装模具空间宽度或高度,若凹模体装不进去,就要加大平锻机的吨位。

(3) 核算有效行程

根据坯料镦粗长度 l_0 ,核对初选平锻机的全行程和有效行程。如对用“前挡料”定位的锻件,要保证在凸模内聚集的镦粗长度 l_0 ,应符合如下公式:

$$l_0 \leq \text{全行程} - (100 \sim 150) \text{mm}$$

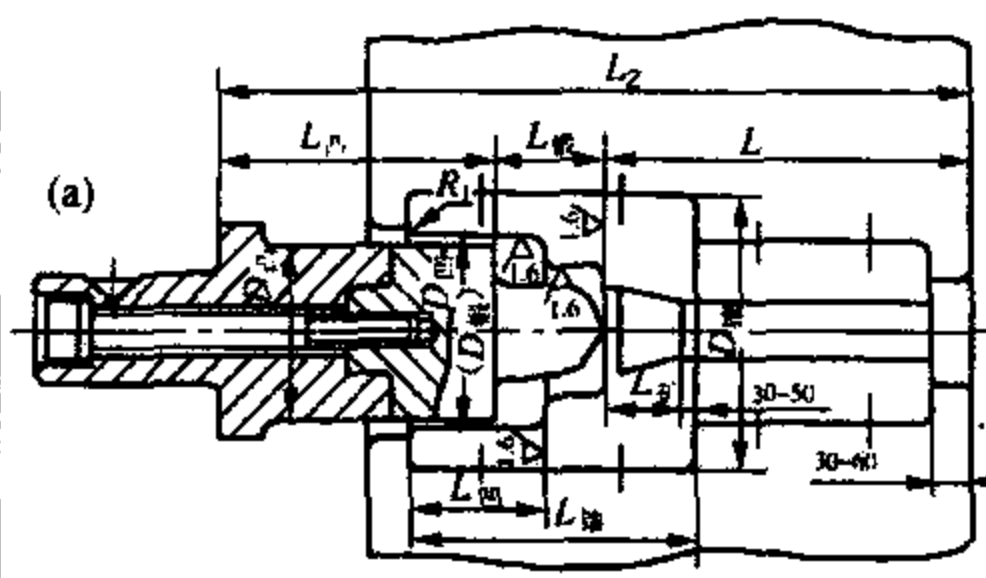
若有效行程不够,则要加大平锻机的吨位或修改加大棒料直径。

三、平锻模膛设计

1. 终锻模膛设计

模膛的形状和尺寸取自热锻件图。关于凹、凸模的设计见表 6.3-14 和表 6.3-15。

表 6.3-14 终锻模膛设计

形 式	示 例	计 算 · 说 明
闭式平锻		① 凹模直径: $D_{凹} = D_{锻}$ (图 a) $D_{凹} = D_{锻} + (2 \sim 2.5)C$ (图 b) $D_{凹} = D_{锻} + (2.5 \sim 3)C$ (图 c) C ——飞边宽度,见表 6.3-7

(续表)

形式	示 例	计 算 · 说 明								
开式平锻	<p>(b) 前挡板定位</p>	<p>② 凸模直径</p> $D_{凸} = D_{凹} - 2\delta$ <p>间隙 δ 见下表</p> <table border="1"> <tr> <td>吨位 / kN</td><td>2 250 6 300</td><td>8 000 12 500</td><td>16 000 20 000</td></tr> <tr> <td>间隙 / mm</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td></tr> </table>	吨位 / kN	2 250 6 300	8 000 12 500	16 000 20 000	间隙 / mm	0.4	0.5	0.6
	吨位 / kN	2 250 6 300	8 000 12 500	16 000 20 000						
间隙 / mm	0.4	0.5	0.6							
后挡板定位	<p>(c) 后挡板定位</p>	<p>③ 凸模长度</p> $L_{凸} = L_2 - (L + L_{凹} + t)$ <p>L_2——凸凹模封闭尺寸</p> <p>L——夹紧长度</p> <p>$L_{凹}$——凹模成形长度</p> <p>t——毛边厚度</p> <p>见表 6.3-7</p> <p>其余尺寸见表 6.3-15</p>								

表 6.3-15 终锻凸凹模其他尺寸/mm

锻件直径 $D_{锻}$	<20	21~80	81~160	161~260	261~360
R_1	2	3	5	6	6
R_2	1	1.5	2	2.5	3
a	1.5	2	3	4	5

2. 预锻模膛设计

模膛的形状和尺寸按预锻变形工步图设计,设计方法与终锻模膛一样。

3. 聚集模膛设计

聚集(顶镦)模膛设计主要依据是聚集变形工步图的锥体尺寸 D_K 、 d_K 、 L_K 等。凸模外形尺寸和凹模模膛尺寸要考虑强度设计。凸、凹模工作时不应发生撞击,要保持一定的顶面间隙 δ_2 , 见表6.3-16。聚集模膛设计方法见表 6.3-17。

表 6.3-16 凸模与凹模的顶面间隙 δ_2

设备吨位/kN		2 250~6 300	8 000~16 000
间隙 δ_2/mm	第一次聚集	5	7
	第二次聚集	4	6
	第三次聚集	2	3

4. 扩径模膛设计

当坯料直径 d_0 比锻件的孔径 $d_{\text{锻}}$ 小时,就需采用扩径模膛。扩径模膛设计方法见表 6.3-18。

5. 夹紧模膛设计

夹紧模膛常用的有平滑式和带筋条式夹紧模膛两类。平滑式夹紧模膛制造简单,杆部没有压痕,用于杆部质量要求较高的锻件,一般使用后挡板。带筋条式夹紧模膛夹紧力较大,可缩短夹紧长度,减少料头损失,适用于平锻孔类锻件或杆部要求不高的杆类锻件。夹紧模膛设计方法见表 6.3-19。

表 6.3-17 聚集模膛设计

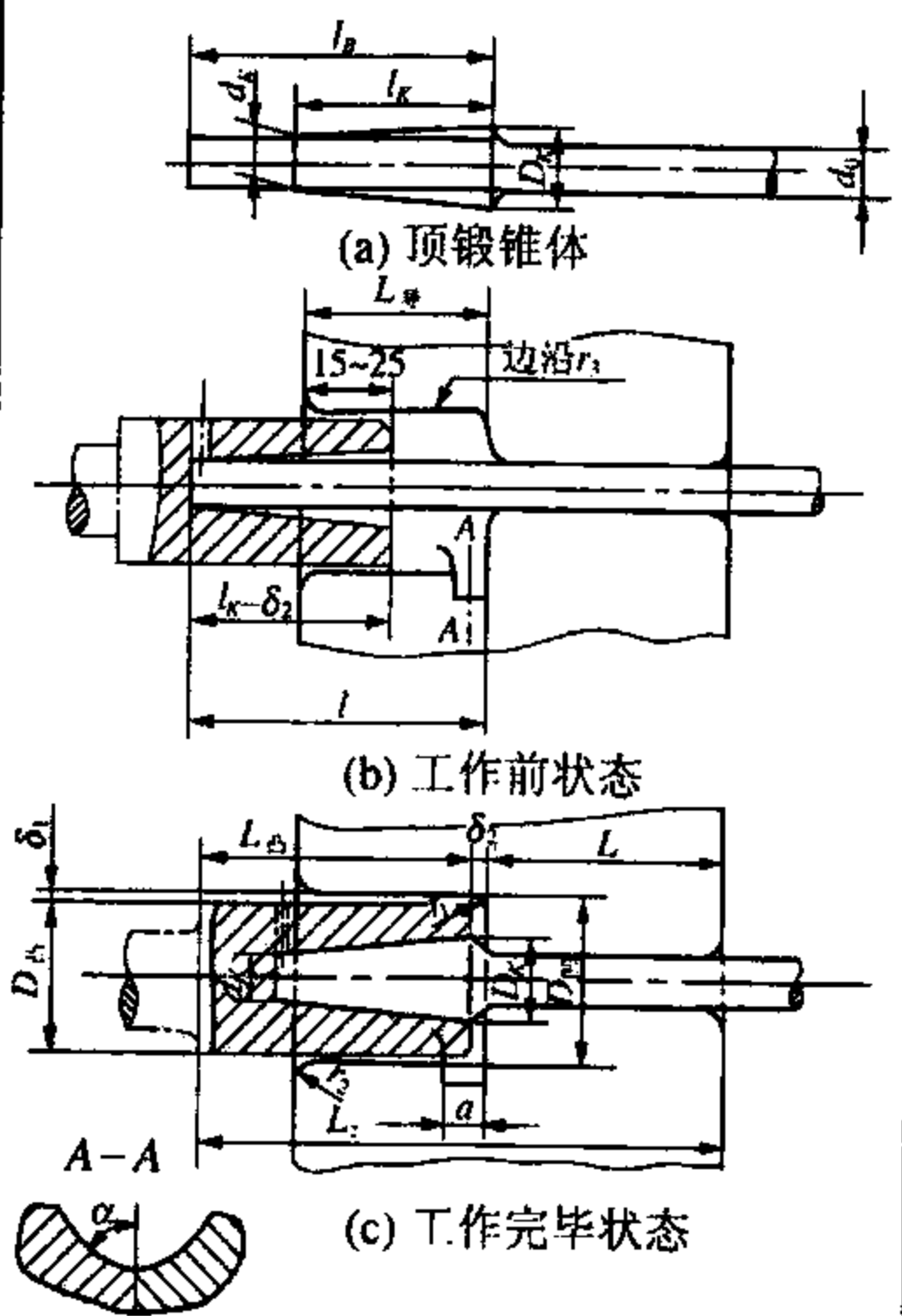
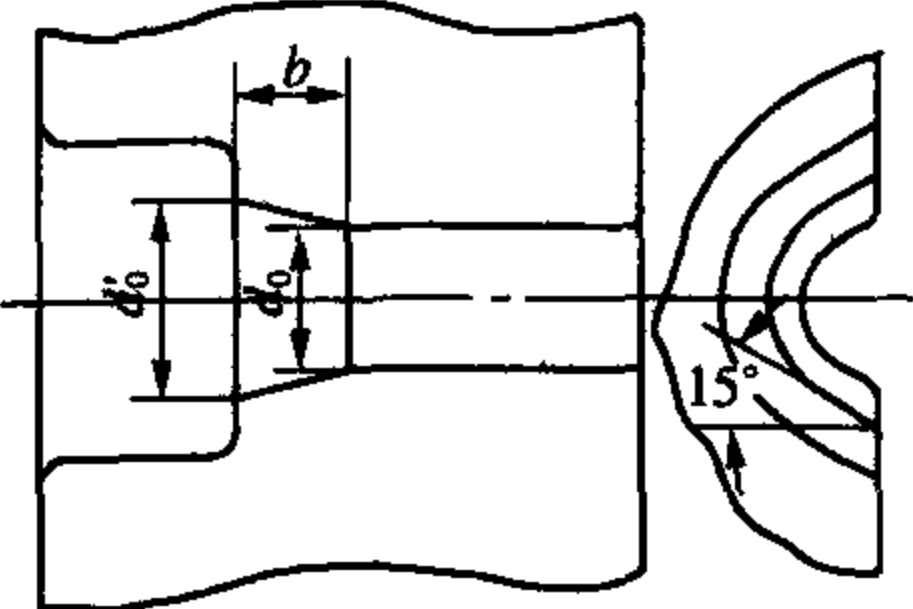
简 图	计 算 · 说 明																		
 <p>(a) 顶锻锥体</p> <p>(b) 工作前状态</p> <p>(c) 工作完毕状态</p> <p>氧化皮槽 $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ $a = 20 \sim 30 \text{ mm}$</p>	<p>① 凸模外径 $D_{\text{凸}}$</p> $D_{\text{凸}} = D_K + 0.2(D_K + L_K) + 5 \text{ mm}$ <p>② 凸模长度 $L_{\text{凸}}$</p> $L_{\text{凸}} = L_2 - (L + \delta_2)$ <p>式中 L_2——模具封闭长度 (mm)</p> <p>δ_2——顶面间隙, 见表 6.3-16</p> <p>③ 凹模外径 $D_{\text{凹}}$</p> $D_{\text{凹}} = D_{\text{凸}} + 2\delta_1 \text{ (mm)}$ <p>式中 δ_1——径向间隙, 见下表</p> <p>④ 导程长度 $L_{\text{导}}$</p> $L_{\text{导}} = L_B - L_K + (15 \sim 25) \text{ mm}$ <p>凸、凹模的径向间隙/mm</p> <table><tr><td colspan="2" rowspan="2">设备吨位/kN</td><td>2 250~ 6 300</td><td>8 000~ 16 000</td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="3">径向 间隙 δ_1</td><td>第一次聚集</td><td>0.6</td><td>0.7</td></tr><tr><td>第二次聚集</td><td>0.5</td><td>0.6</td></tr><tr><td>第三次聚集</td><td>0.4</td><td>0.5</td></tr></table>			设备吨位/kN		2 250~ 6 300	8 000~ 16 000			径向 间隙 δ_1	第一次聚集	0.6	0.7	第二次聚集	0.5	0.6	第三次聚集	0.4	0.5
设备吨位/kN		2 250~ 6 300	8 000~ 16 000																
径向 间隙 δ_1	第一次聚集	0.6	0.7																
	第二次聚集	0.5	0.6																
	第三次聚集	0.4	0.5																

表 6.3-18 扩径模膛设计

示 例	设计·计算·说明
	<p>扩径后的毛坯直径 d'_0 比锻件孔径小,以利穿孔</p> $d'_0 = d_{\text{孔}} - 0.5(\text{mm})$ <p>扩径部分宽度 b</p> $b = 0.5d_0(\text{mm})$ <p>式中 d_0——坯料直径(mm)</p>

6. 卡细模膛设计

卡细模膛用于孔径比棒料直径小的锻件。利用平锻机夹紧滑块运动使棒料卡细变形。每卡细一次之后,需将棒料转动 90° 后再次卡细,因为卡细变形是圆形-椭圆形-圆形的变形方法。

卡细模膛设计方法见表 6.3-20。

对需要剪断的局部墩粗的杆类锻件,也要采用卡细模膛。

表 6.3-19 夹紧模膛设计

简图

平滑式夹紧模膛

B-B

带筋条式夹紧模膛

设计·计算·说明

① 平滑式夹紧模膛的长度 L

$$L = Kd_0 \text{ (mm)}$$

式中 d_0 ——棒料直径

K ——系数, 见下表

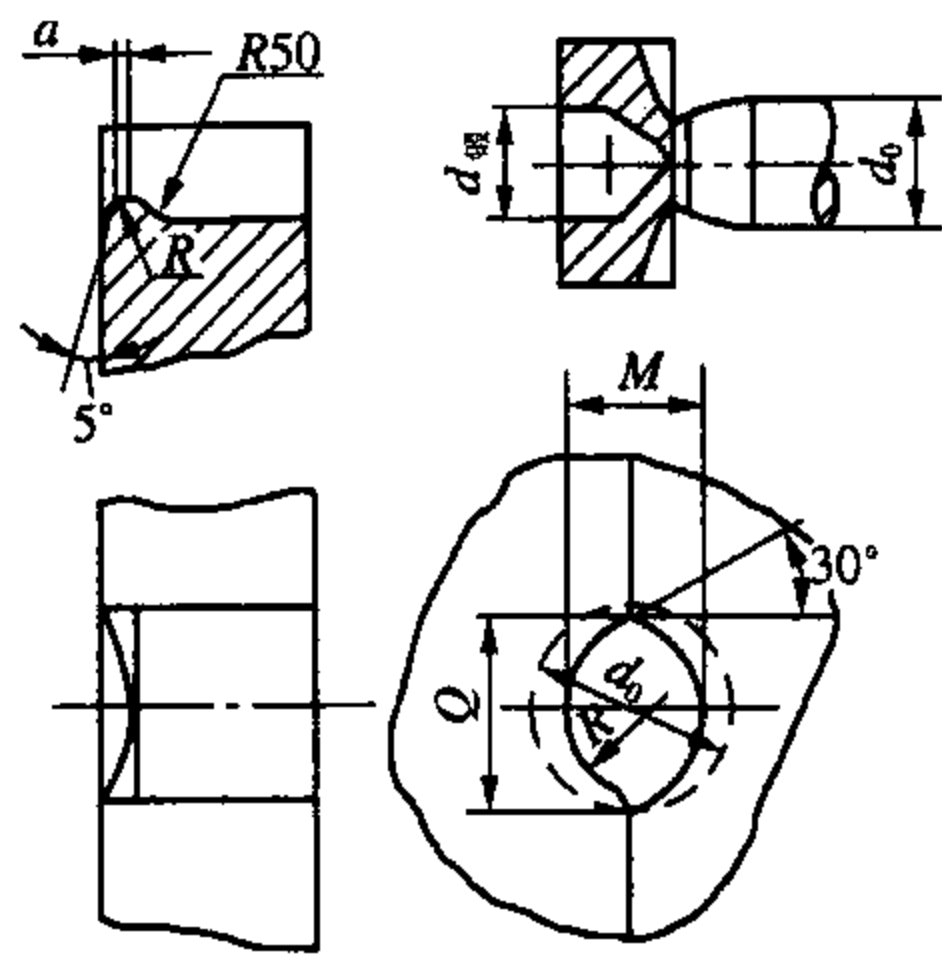
夹紧模膛的横截面呈椭圆形, 由两个偏心 Δ 的圆弧组成 Δ 值见下表

直径 d_0	10~19	20~28	30~38	40~48	50~58	60~65	70~75	80~85	90~95
K	9~5	5~3.8	3.8~3.3	3.3~2.8	2.8~2.5				
Δ	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
r_1	3	3	3	4	5	6	6	8	8
r_2	1	1.5	1.5	2	2.5	3	3	3.5	3.5

② 带筋条式夹紧模膛长度 L_1 比平滑式模膛长度 L 短 (20~40)mm。直径越大, 可短得多

棒料直径 d_0	20~40	40~60	60~80	80~100	>100
筋条宽度 a	25	35	40	45	50
设备吨位 /kN	2 250~3 150	4 500~5 000	6 300~9 000	12 000~16 000	
h/mm	0.4	0.5	0.5	0.6~0.8	
r_1	2	3	3	4	
r_2	3	4	5	6~8	

表 6.3-20 卡细模膛设计

示 例	设计·计算·说明				
	① 卡细次数决定于 $d_0/d_{\text{锻}}$				
	$d_0/d_{\text{锻}}$	<1.56	1.56~ 2.5	>2.5	
	卡细次数	2	3	4	
	② 卡细直径 $d_{\text{细}} = d_{\text{锻}} - (0.5 \sim 2)\text{mm}$				
	③ 卡细模膛尺寸				
	设备吨位 /kN	2 250	5 000	8 000	12 500
	刃口宽度 a /mm	3	5	5	6
	R/mm	5	9	12	17

7. 切断模膛设计

切断模膛用来把锻件从棒料上剪断,见图 6.3-6;或用来切掉穿孔后棒料的废芯(在 $d_0/d_{\text{锻}} > 1.15$ 时采用),见图 6.3-7。利用平锻机夹紧滑块进行切断工步。固定切刀和活动切刀的尺寸见表 6.3-21。

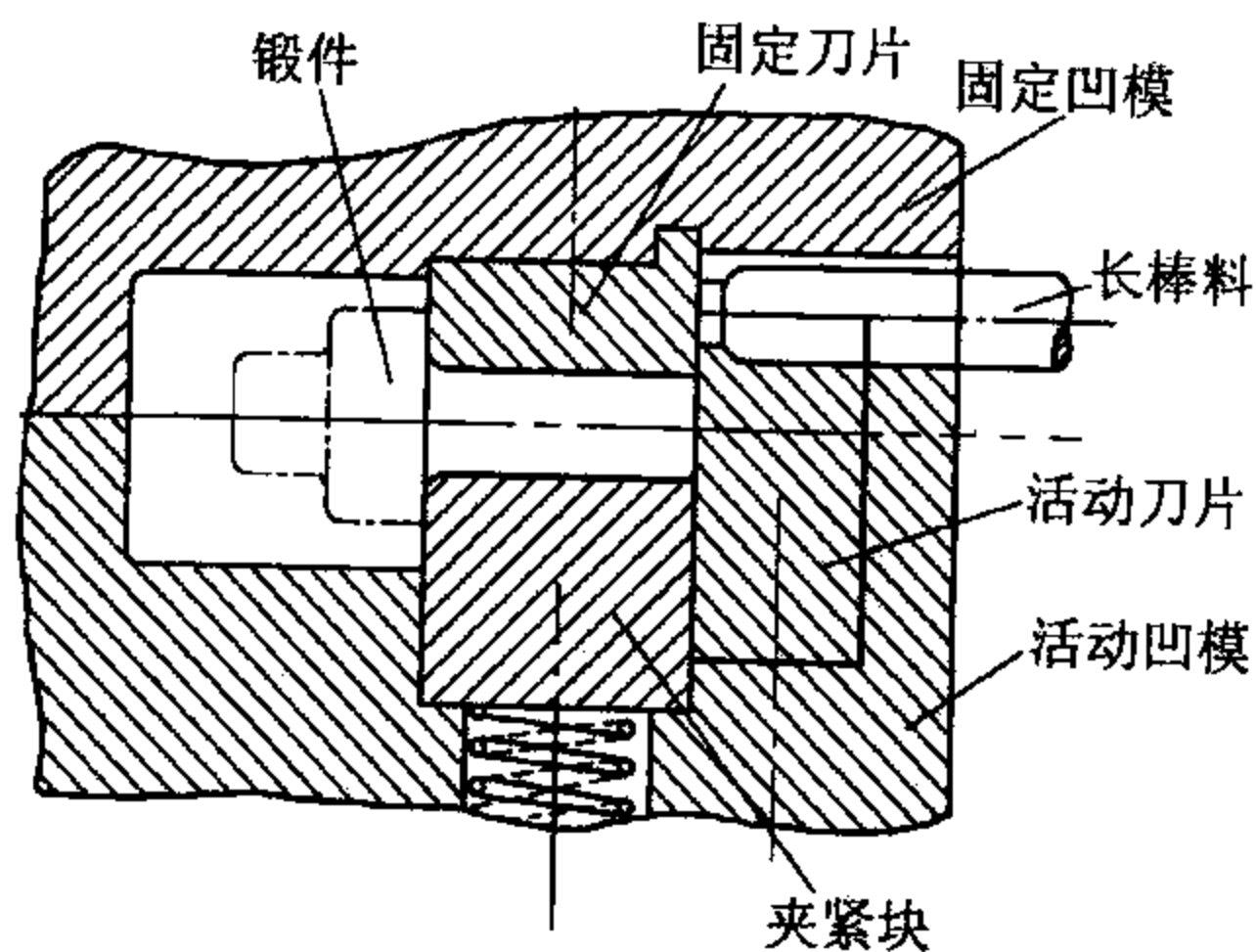


图 6.3-6 锻件切断模膛

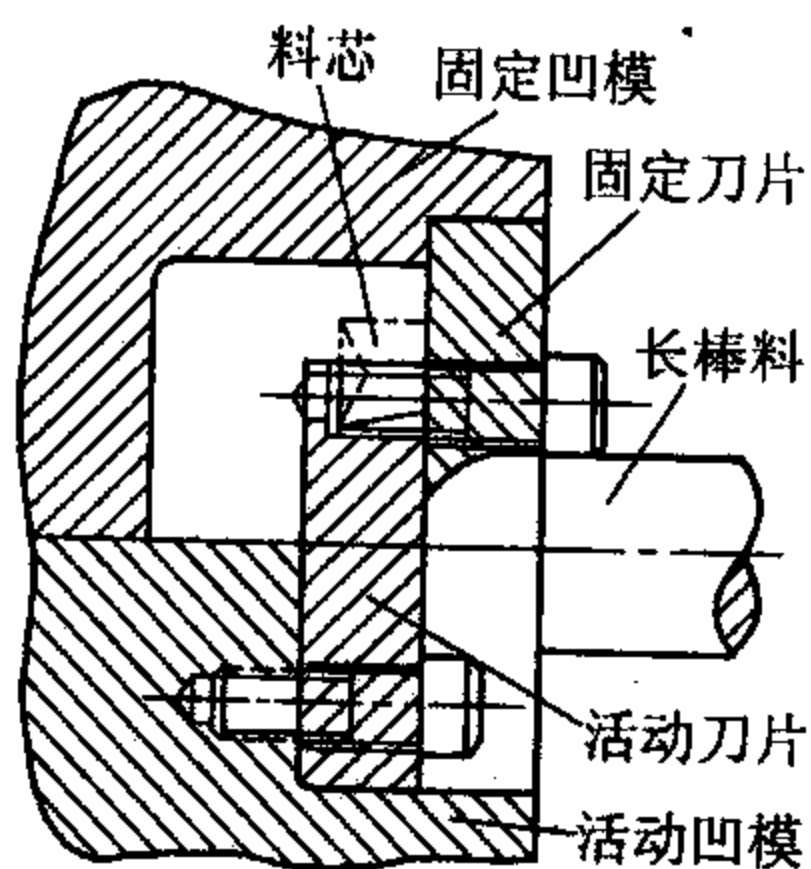


图 6.3-7 穿孔后废芯切断模膛

8. 穿孔模膛设计

穿孔模膛一般有两种形式：棒料经过卡细的穿孔模膛和经过扩径的穿孔模膛。穿孔模膛设计方法见表 6.3-22。

表 6.3-22 穿孔模膛设计

	<p>冲头直径： $d_4 = d_{\text{锻}}$ 凹模刃口直径： $d_5 = 1.01d_{\text{锻}} + 0.2(\text{mm})$ 冲头进入凹模长度： $10 \sim 15 \text{ mm}$ $a = 5 \text{ mm}$ $b = 35 \sim 40 \text{ mm}$ 容纳锻件的空腔均按锻件正公差设计，保证锻件进出模膛</p>
--	---

9. 切边模膛设计

切边模膛用于开式平锻切除飞边。其设计方法见表 6.3-23。

表 6.3-23 切边模膛设计

--

(续表)

凹模刃口尺寸 $d_4 = D_{\text{锻}}$ 冲头进入凹模长度 10~15 mm 刃口宽度 3~5 mm	冲头直径 $d_3 = d_4 - \Delta$ Δ ——凸、凹模的间隙(mm)			
	$D_{\text{锻}}$	<30	30~80	80~100
	Δ	0.4	0.6	0.8

四、平锻模结构尺寸设计

平锻机模锻特点是滑块沿水平方向运动,其行程是固定的,有夹紧滑块而形成两个分模面。平锻模由凸模(冲头)和可分凹模组成。凸模通过凸模夹持器安装在平锻机主滑块上;可分凹模的一半装在机架上,称为固定凹模,另一半装在夹紧滑块上,称为活动凹模。

平锻模根据锻件成形工步数量不同,可分为三个、四个和五个模膛(工位)等几种。

由于锻件的形状和尺寸、采用的变形工步数、凸模和凹模的形状等因素各不相同,所以要把生产的平锻件整理,归纳分类,搞好模具的通用化和标准化工作,可节省模具。

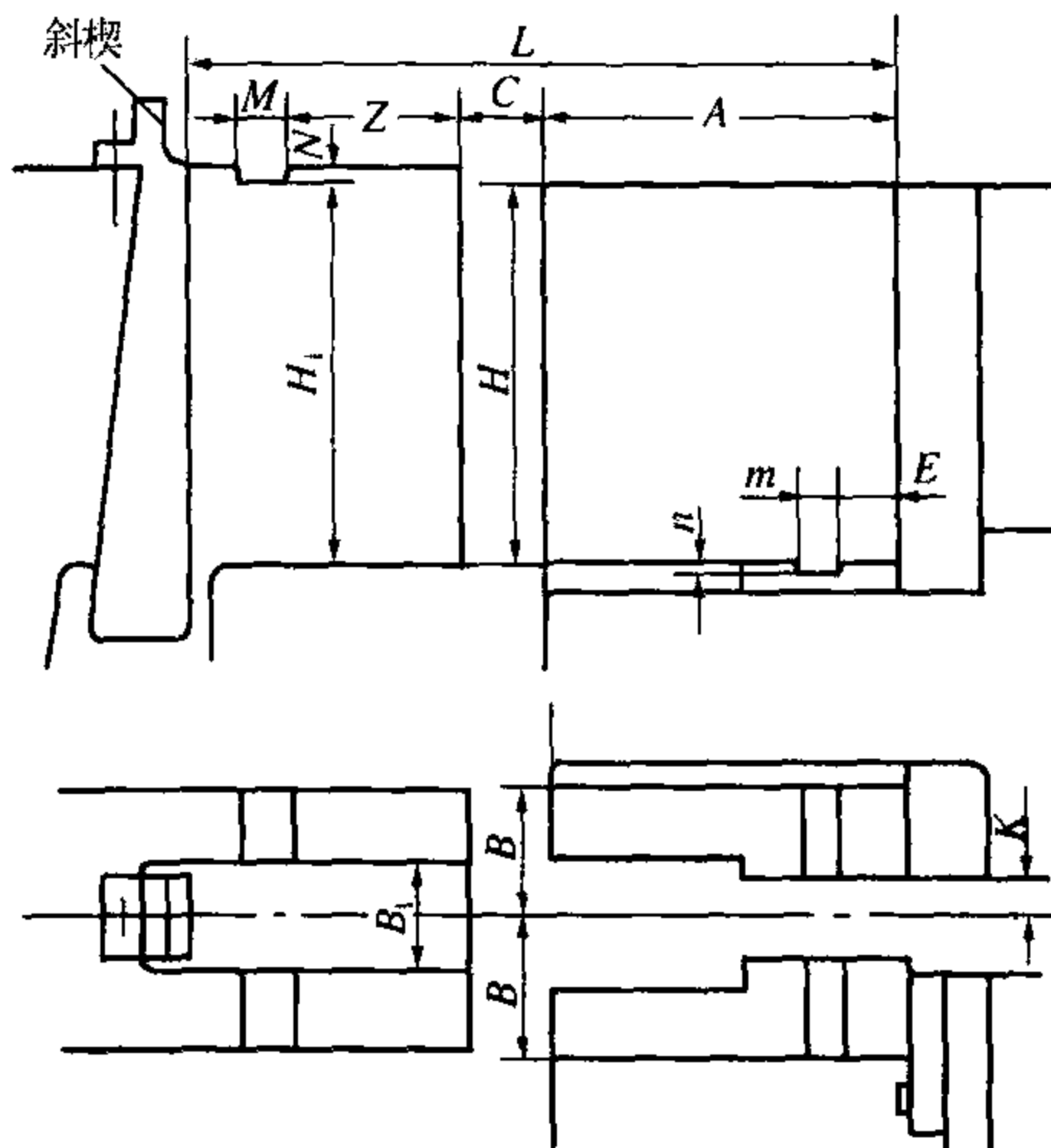
1. 平锻模安装空间

平锻模具安装空间尺寸及安装方法,由设备说明书上查得,它是设计平锻模的原始资料。

垂直分模平锻机安装模具空间尺寸见表 6.3-24。

水平分模平锻机安装模具空间尺寸见表 6.3-25。

表 6.3-24 垂直分模平锻机安装模具尺寸/mm



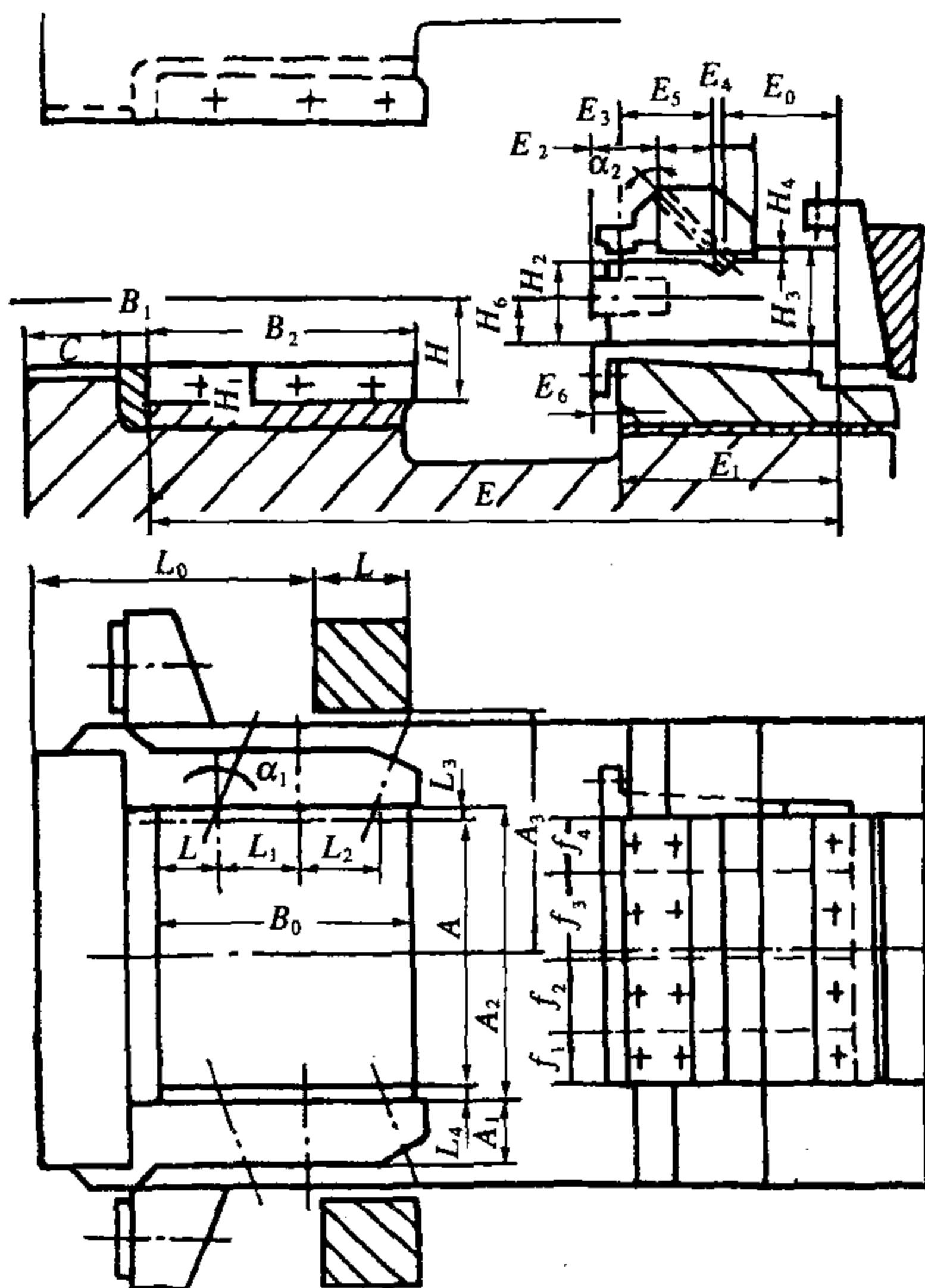
垂直分模平锻机装模空间尺寸/mm

设备公称规格/kN	2 500	4 000	6 300	8 000	10 000	12 500
主滑块公称压力/kN	2 500	4 000	6 300	8 000	10 000	12 500
每分钟行程数 (次/min)	55	45	35	33	31	27

(续表)

装模空间尺寸/mm							
最大闭合长度	<i>L</i>	750	910	1 120	1 200	1 300	1 420
凹模安装空间	<i>A</i>	350	450	560	590	640	700
	<i>H</i>	380	480	590	660	740	820
	<i>B</i>	140	160	200	220	240	260
	<i>K</i>	30	45	55	65	75	85
	<i>E</i>	70	70	100	100	100	127
	<i>m</i>	20	20	50	50	50	50
	<i>n</i>	7	7	10	10	10	10
凸模安装空间	<i>c</i>	75	100	125	140	160	180
	<i>H</i> ₁	380	480	590	660	740	820
	<i>B</i> ₁	100	130	160	200	210	230
	<i>Z</i>	180	225	280	330	340	380
	<i>M</i>	80	80	80	80	100	100
	<i>N</i>	20	20	20	20	20	20

表 6.3 - 25 水平分模平锻机安装模具尺寸/mm



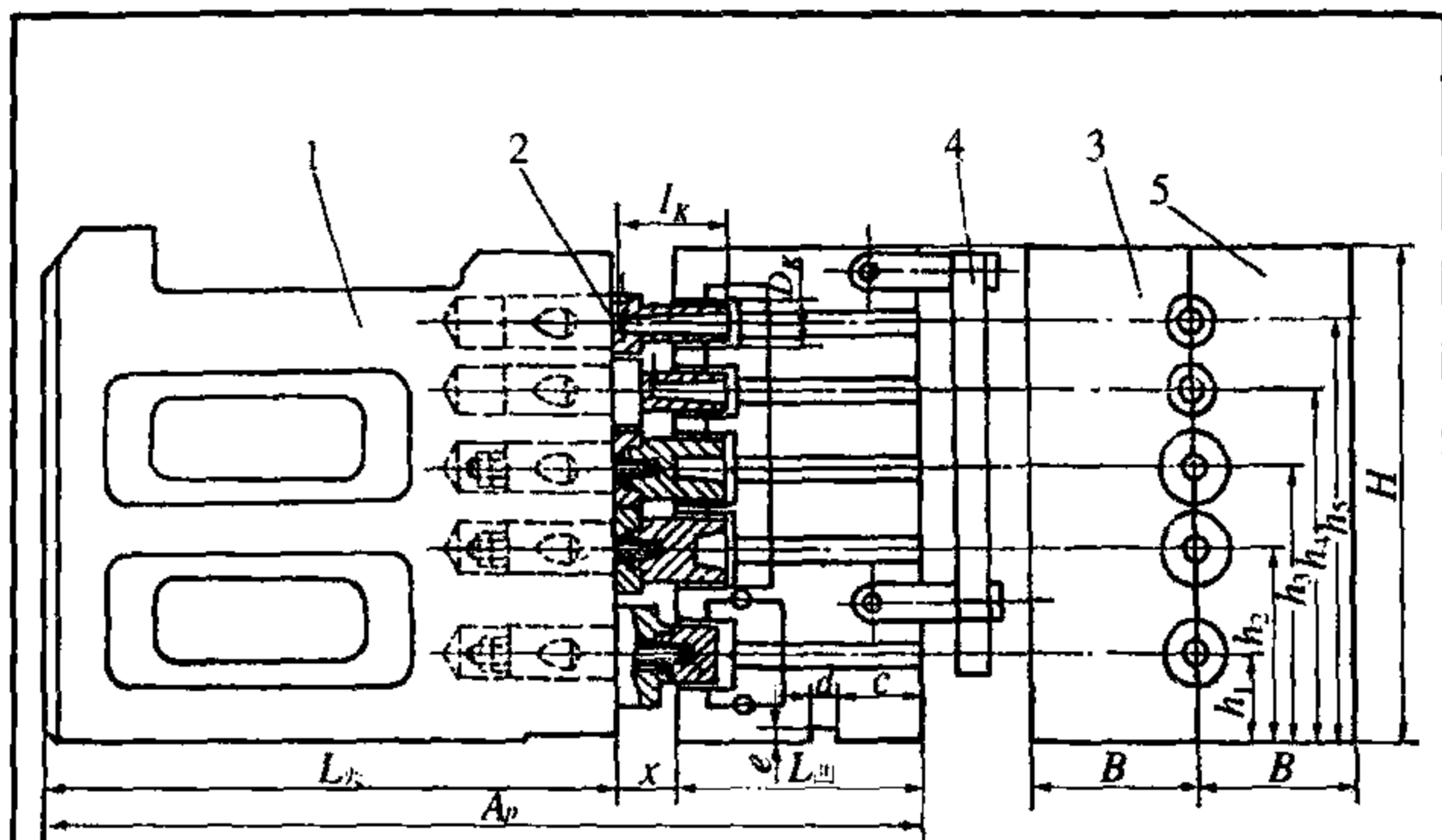
(续表)

名称·代号 \ 吨位/kN		3 150	4 500	6 300	9 000	12 500	16 000
夹紧力/kN		3 150	4 500	6 300	9 000	12 500	21 200
行程次数/min		55	45	35	32	28	20
最大棒料直径		65	80	95	115	140	160
上模开启度		120	135	155	180	205	230
全行程		290	330	360	420	460	540
有效行程		150	170	190	215	245	280
闭合长度 E_0		755	860	1 020	1 270	1 380	1 570
凹模	长度 B_0	330	400	450	530	600	680
	宽度 A	380	450	530	600	720	760
	高度 H	145	170	190	220	250	280
凸模空间尺寸	长度 E_1	315	390	450	560	600	670
	高度 H_2	120	140	165	200	230	260
	中心高 H_6	60	70	82.5	97.5	115	130
	宽度 $F = \text{凹模 } A$						
	f_1	90	90	105.5	113	135	170
	f_2	70	122	145	170	150	210
	f_3	105	150	174	204	150	210
	f_4	110	88	105.5	113	150	170
	f_5	—	—	—	—	135	—

2. 平锻模结构形式

(1) 垂直分模平锻机的模具结构(表 6.3-26)

表 6.3-26 垂直分模平锻机模具结构形式

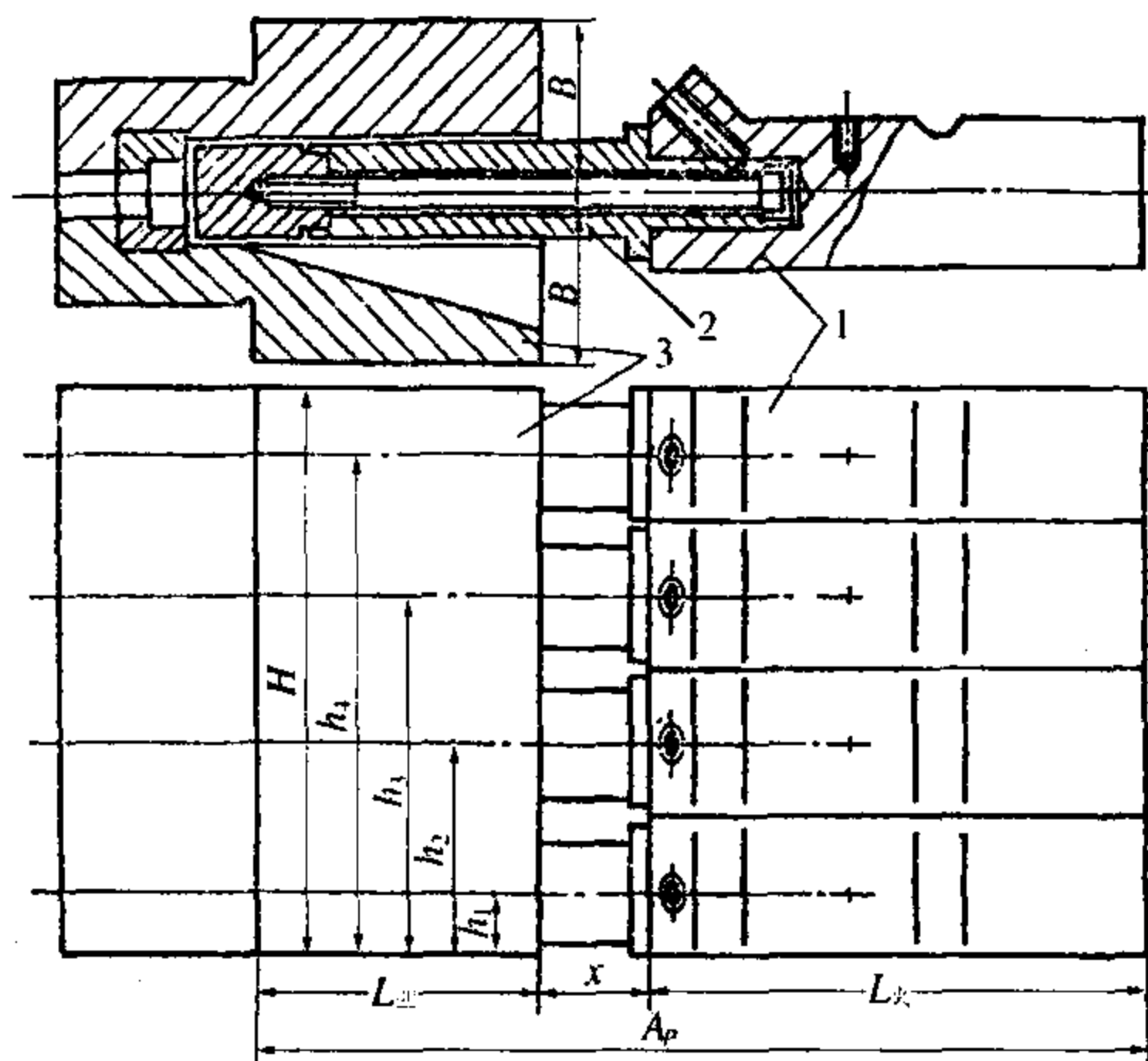


特点:

- ① 平锻模一般由凸模夹持器 1; 凸模 2; 固定凹模 3; 后挡料板 4 和活动凹模 5 组成
- ② 各工步的凸模装于凸模夹持器上, 夹持器装于平锻机主滑块的凹座内
- ③ 工作时活动凹模向固定凹模靠拢或分离, 使凹模闭合或分开
- ④ 模膛布排一般是受力较大的终锻和预锻居中, 靠近设备主轴线
- ⑤ 夹持器和凹模上各工位之间的中心距依靠模具机加工精度保证, 工作时不能调整
- ⑥ 后挡板装在模具上, 用来控制锻件杆部的长度。特殊需要时, 后挡板可设在机身上。前挡板设在平锻机上, 主要用来控制变形金属的长度, 一般在一根棒料锻造若干个锻件时用

(2) 水平分模平锻机的模具结构(表 6.3-27)

表 6.3-27 水平分模平锻机模具结构形式



特点:

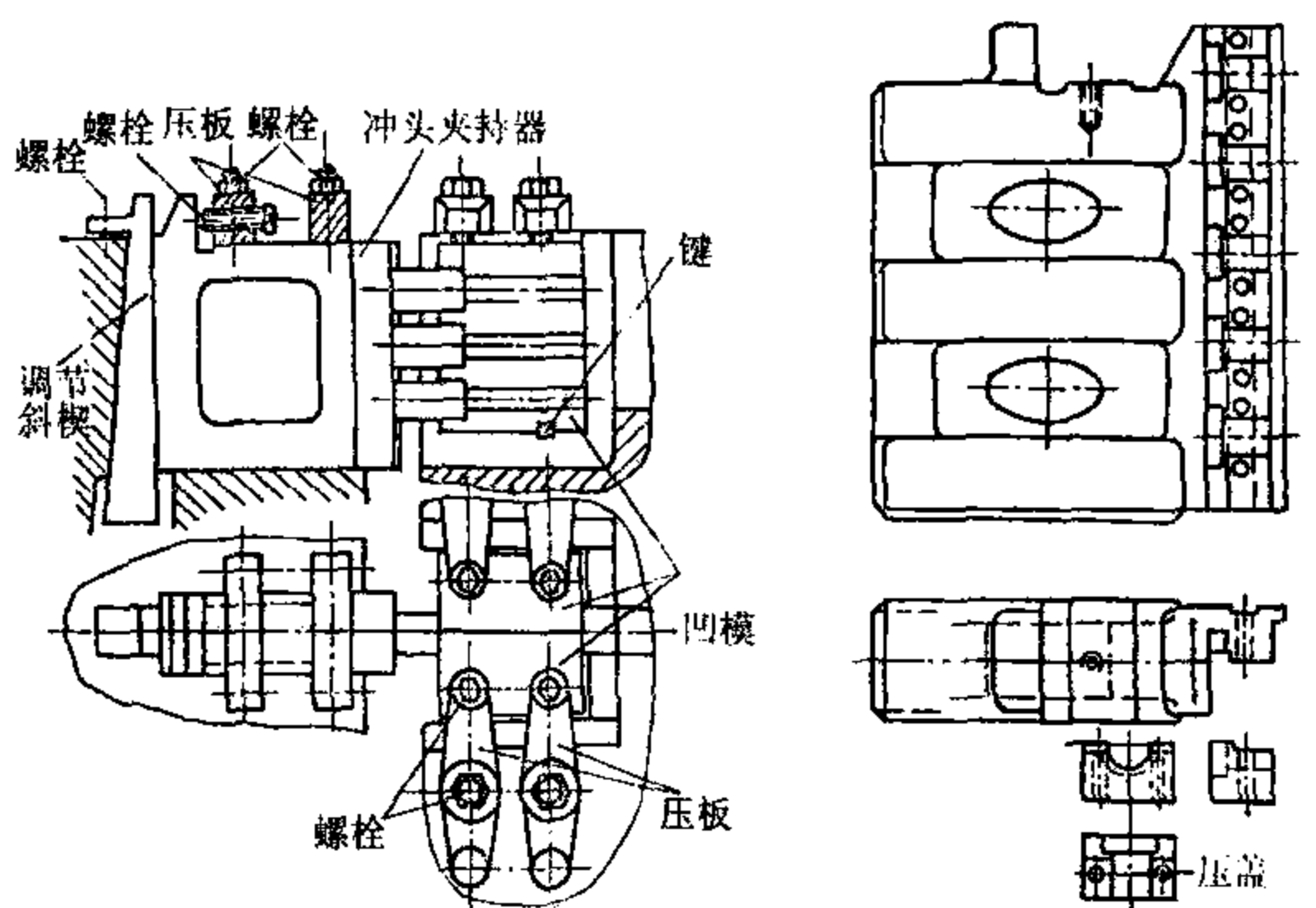
- ① 模具结构的原理和垂直分模平锻机相同。由凸模夹持器 1; 凸模 2 和上、下可分凹模组成
- ② 凸模夹持器采用分块式, 以便于安装、调整
- ③ 活动凹模装在上面, 固定凹模装在下面机架上。工作时活动凹模随夹紧滑块上下运动, 向固定凹模合拢或分离
- ④ 模膛布排一般是从右到左在模具上顺序排列
- ⑤ 凹模和凸模夹持器上各工位之间的中心距依靠模具机加精度保证, 工作时不能调整
- ⑥ 上、下凹模体内设有冷却水道, 当凹模打开时, 冷却水喷出, 冷却模膛和凸模
- ⑦ 前、后挡板设置与垂直分模平锻机相同

3. 凸模夹持器和凸模

凸模夹持器和凸模在工作时应牢固连接成一体。按其连接的紧固方式,可分为螺钉顶紧式、压盖式和插销式等三种形式。设计时要考虑锻造压力,也要防止凸模转动和避免回程时承受卸件力的作用而造成凸模脱落。

(1) 垂直分模平锻机凸模夹持器和固定方法(表 6.3-28)

表 6.3-28 垂直分模平锻机凸模夹持器和固定



垂直分模平锻机模具固定简图

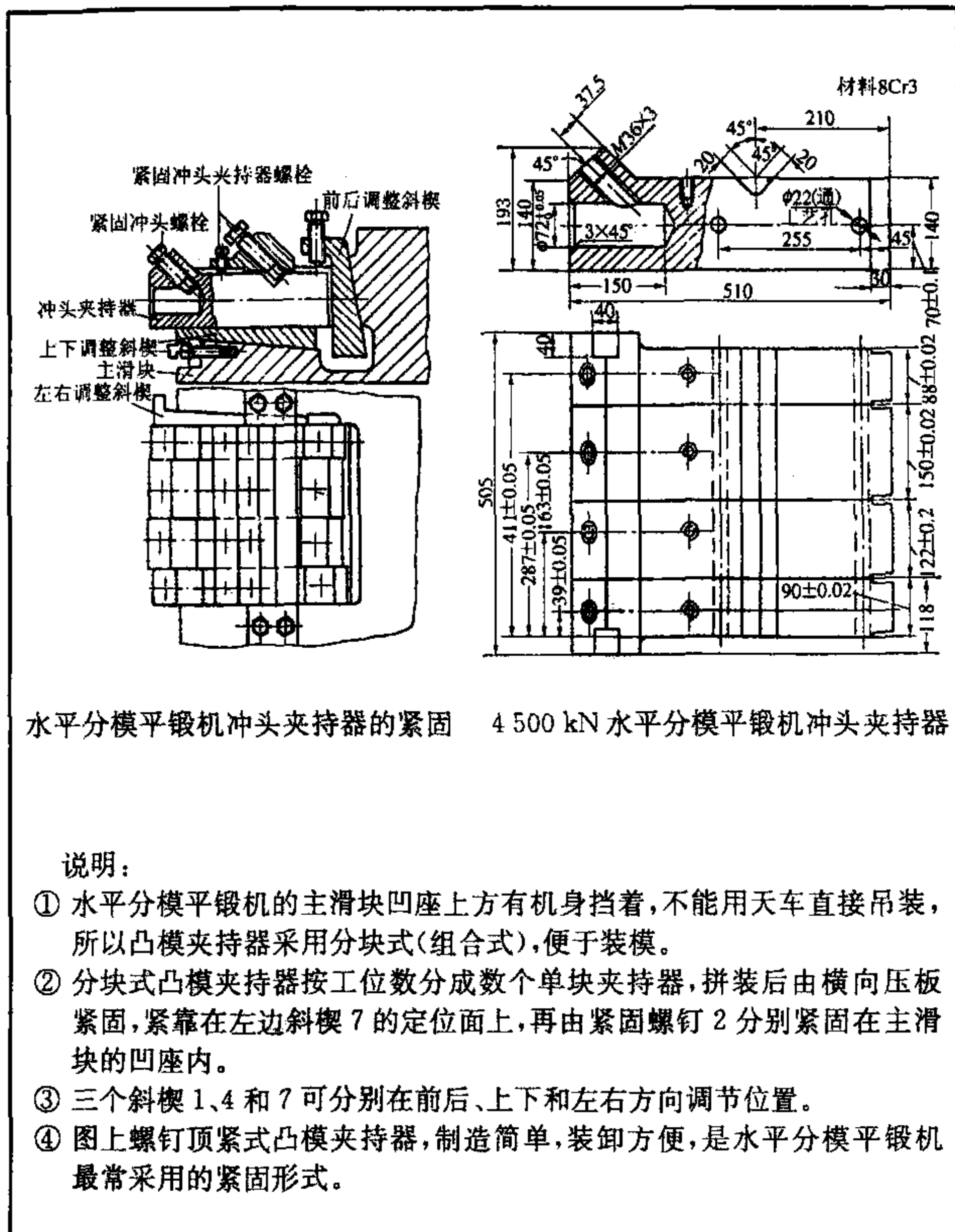
压盖式冲头夹持器

说明:

- ① 凸模夹持器 1 安装在滑块的凹座内。用压板 3 紧紧压住,又用螺钉 4 顶紧,防止前后松动,使它紧靠斜楔 6 定位面
- ② 夹持器的前后相对位置用斜楔 6 调节,上下位置可在底部加减垫片调节
- ③ 上图也介绍了凹模体的安装固定方法
- ④ 压盖式凸模夹持器由夹持器本体、压盖、螺钉和螺帽组成,是三种常用的紧固方式之一。这种方式紧固凸模较为牢固,不易松动,但机加工较复杂
- ⑤ 整体式凸模夹持器吊装方便,制造简单,紧固耐用

(2) 水平分模平锻机凸模夹持器和固定方法(表 6.3-29)

表 6.3-29 水平分模平锻机凸模夹持器和固定



(3) 凸模

凸模可分为整体式和组合式两种结构,见图 6.3-8。组合式凸模由两部分组成,即凸模柄和工作部分。

整体式凸模适用于模腔较深的聚集锥形凸模,其他凸模一般都采用组合式的,这样只需更换易损部分,节省模具材料。

凸模的模柄形状根据所配的夹持器紧固方式而定。凸模工作部分尺寸按模膛设计和参考设备安模空间尺寸确定。

图 6.3-8 中(a)、(b)为整体式凸模,其余均为组合式。组合式凸模的模柄和工作部分的连接,以螺钉、螺栓和螺纹连接居多。

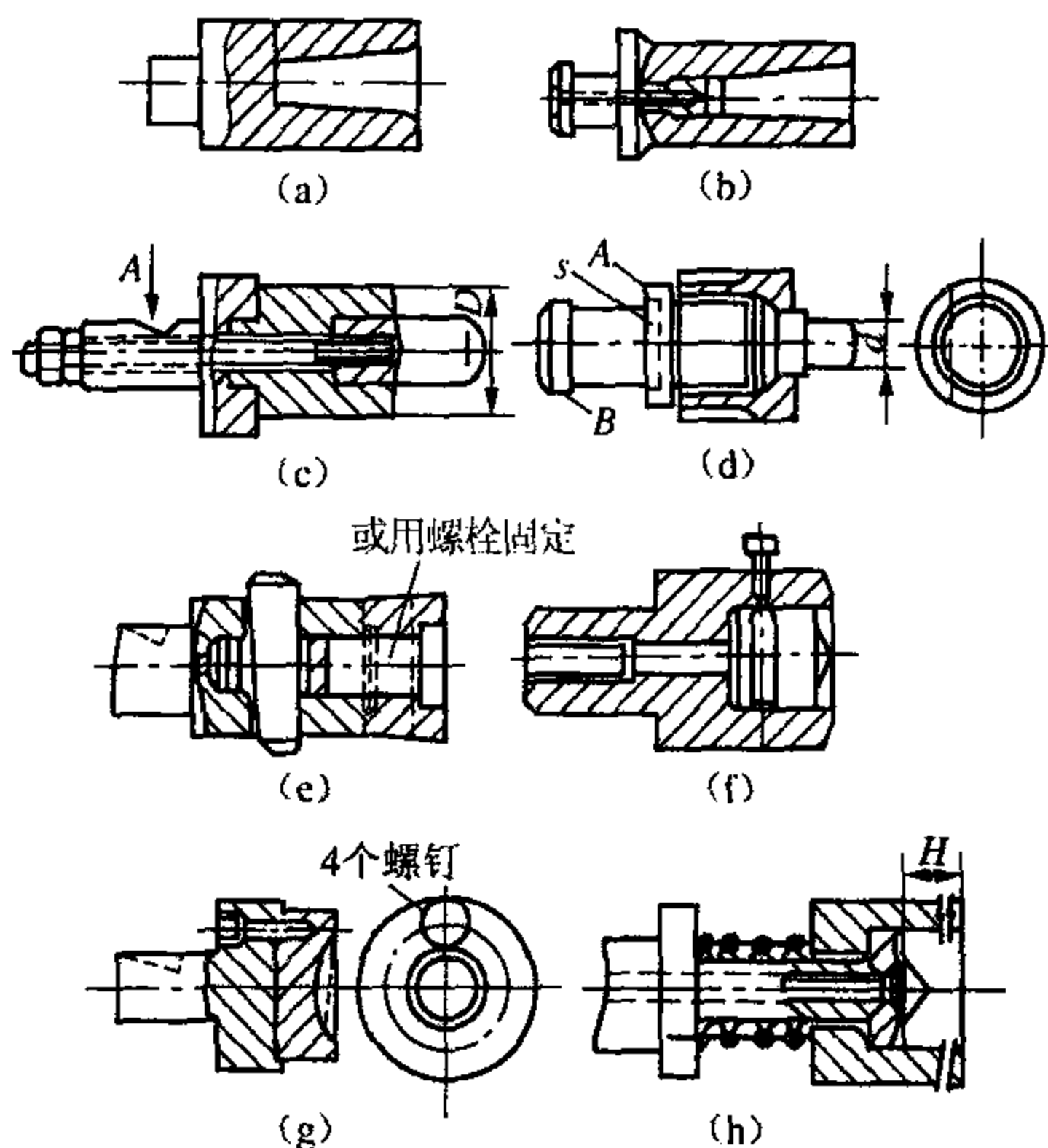
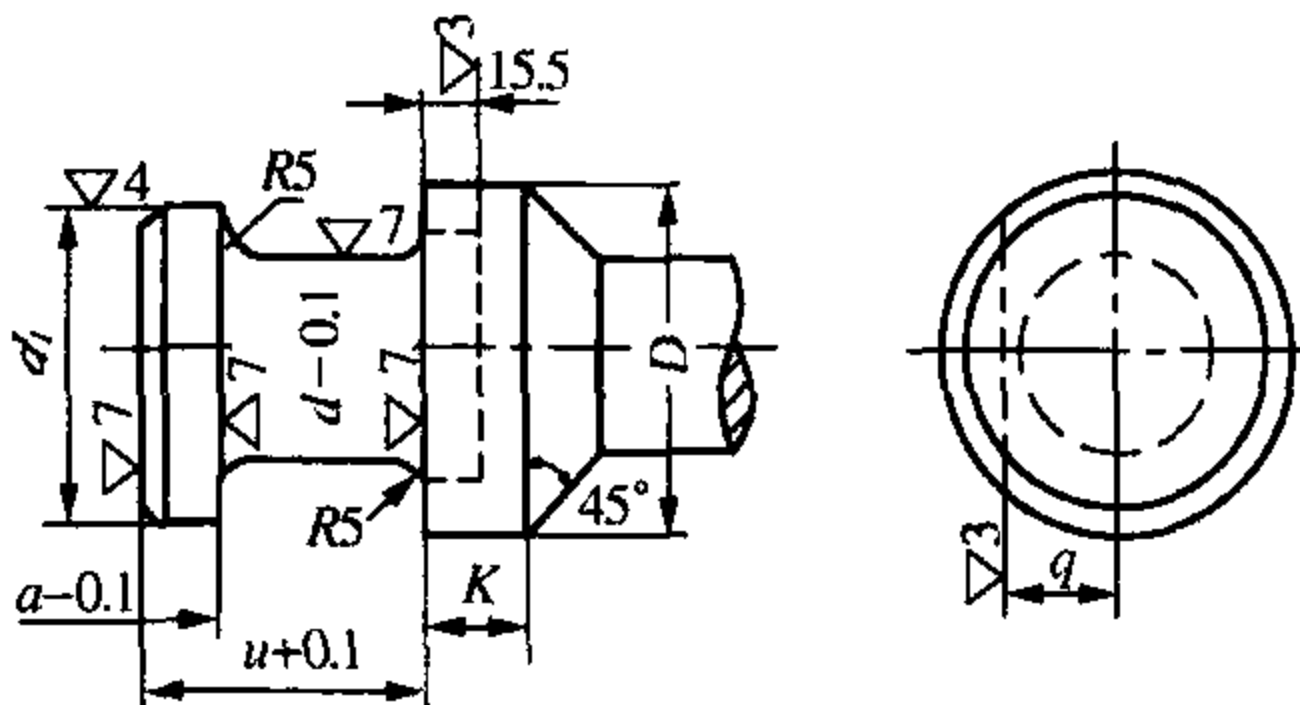


图 6.3-8 凸模及其结构形式

与压盖式凸模夹持器相配合的凸模柄尺寸见表 6.3-30。

表 6.3-30 压盖式凸模尾柄部分尺寸/mm

							
尺寸	d_1	d	u	a	K	q	D
平锻机吨位/kN							
12 000	99	70	120	30	30	70	100
8 000	99	60	105	25	25	66	100
5 000	89	60	95	25	25	60	90
2 250	59	40	60	15	20	36	60

4. 凹模

凹模可分为整体式、组合式和镶块式等三种结构形式。镶块式锻模因模具材料省和寿命长,已被广泛应用。

凹模总体尺寸可结合平锻设备吨位计算、平锻模凹模空间和结构形式,以及锻件变形工步和模膛尺寸来确定。具体尺寸可参考表 6.3-31 和表 6.3-32。

表 6.3-31 是垂直分模平锻机凹模尺寸,图形参见表 6.3-26。

表 6.3-32 是水平分模平锻机凹模尺寸,图形参见表 6.3-27。

表 6.3-31 垂直分模平锻机凹模尺寸/mm

平锻机吨位 /kN	型槽数	凹模尺寸		A_p	$L_{夹}$	x	型槽尺寸分配						键槽尺寸		
		B	$L_{凹}$	H			h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	c	d	e
2 250	3	138	200	400	742	30	50	195	340				70	22	10
	4		200	375		30	50	130	210	290					
	4		280	425		40	65	170	275	370					
	5		200	400		50	70	155	220	285	340				
	6		200	450		60	50	120	190	260	330	400			
5 000	3	178	300	450	1 002	135	80	235	380				55	26	10
	3		350	450		85	80	235	380						
	4		300	500		135	70	190	320	430					
	4		350	500		85	70	190	320	430					
8 000	3	208	400	680	1 201	90	175	375	575				101	52	15
	4		350	680		85	80	235	390	545					
	4		400	680		35	80	235	390	545					
	4		350	720		140	110	290	460	630					
	4		400	720		90	110	290	460	630					
12 500	1	258	560	820	1 415	40	455						127	52	15
	2		400	820		270	175	375							
	3		400	820		270	175	375	575						
	4		400	830		105	175	375	575	745					

注：图形参照表 6.3-26。

表 6.3-32 水平分模平锻机凹模尺寸/mm

平锻机吨位 /kN	型槽数	凹模尺寸			A_P	$L_{夹}$	x	型槽尺寸分配				
		B	$L_{凹}$	H				h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
3 150	3	145	240	380	755	340	175	60	190	320		
	3		220				195					
	3		320				95					
	4		260			400	95					
4 500	4	170	290	545	860	510	60	75	199	323	447	
6 300	3	190	375	565	1 020	600	45	82.5	227.5	372.5		
	4		290	600			130	82.5	227.5	372.5	447	
	4		285	570			135	75	220	365	517.5	
	4		290	565			130	82.5	227.5	372.5	510	
9 000	3	220	400	665	1 270	760	110	110	280	450		
	4		340	710			170	110	280	450	620	
	4		340	700			170	110	270	440	610	
	4		350	700			160	100	270	440	610	
	4		340	750			170	120	290	460	630	
	5		375	750			135	95	235	375	575	655
12 500	4	250	360	860	1 380	840	180	130	350	530	730	
	5		370	870			170	270	420	570	720	
	5		360	840			180	270	420	570	720	

注：图形参照表 6.3-27。

镶块式凹模根据模膛各部分磨损情况的不同,各模膛可以全部采用镶块,也可以部分采用镶块,见图 6.3-9。

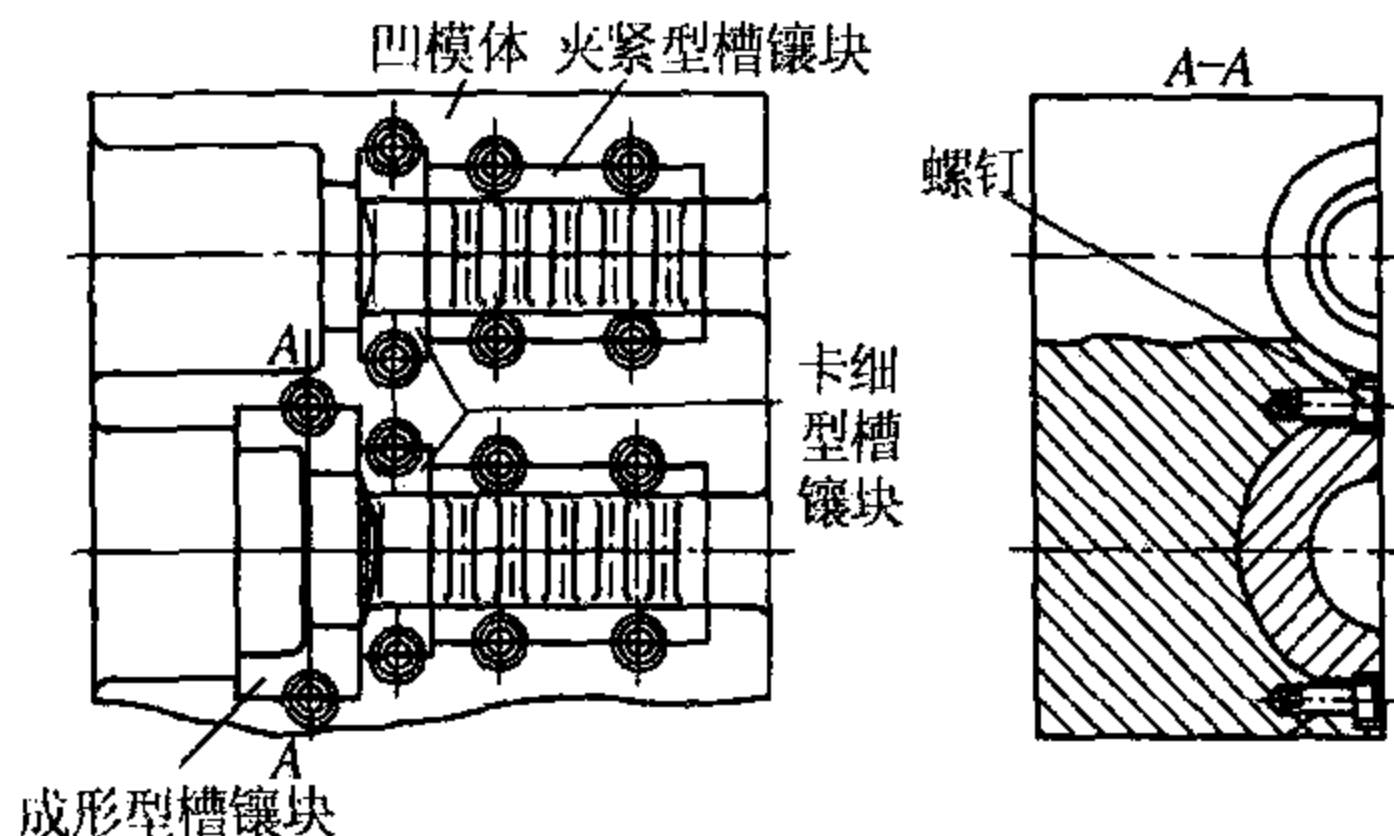


图 6.3-9 从正面紧固凹模镶块

镶块常用半圆形[图 6.3-10(a)]或方形镶块[图 6.3-10(b)]。镶块外形尺寸要足够大,保证自身的强度和模体间的承压面积。通常工作镶块直径 D 为:

$$D = D_{\max} + 2(0.1D_{\max} + 10) \text{ mm}$$

式中 D_{\max} ——锻件本身的最大直径(mm)。

镶块在模体上的紧固方式通常采用螺钉或螺栓紧固[图 6.3-10(c)]。

5. 后挡板

平锻杆类锻件常用后挡板定位,主要作用是保证锻件的总长,有时也承担小部分镦锻力。使用后挡板时,前端镦锻部分的体积因棒料直径和长度的公差而产生较大波动,所以常用开式模锻,产生飞边,保证充满锻件,避免闷车。如果必须采用闭式平锻,则应使用直径公差较小的冷拔钢和下料公差较小的下料设备。

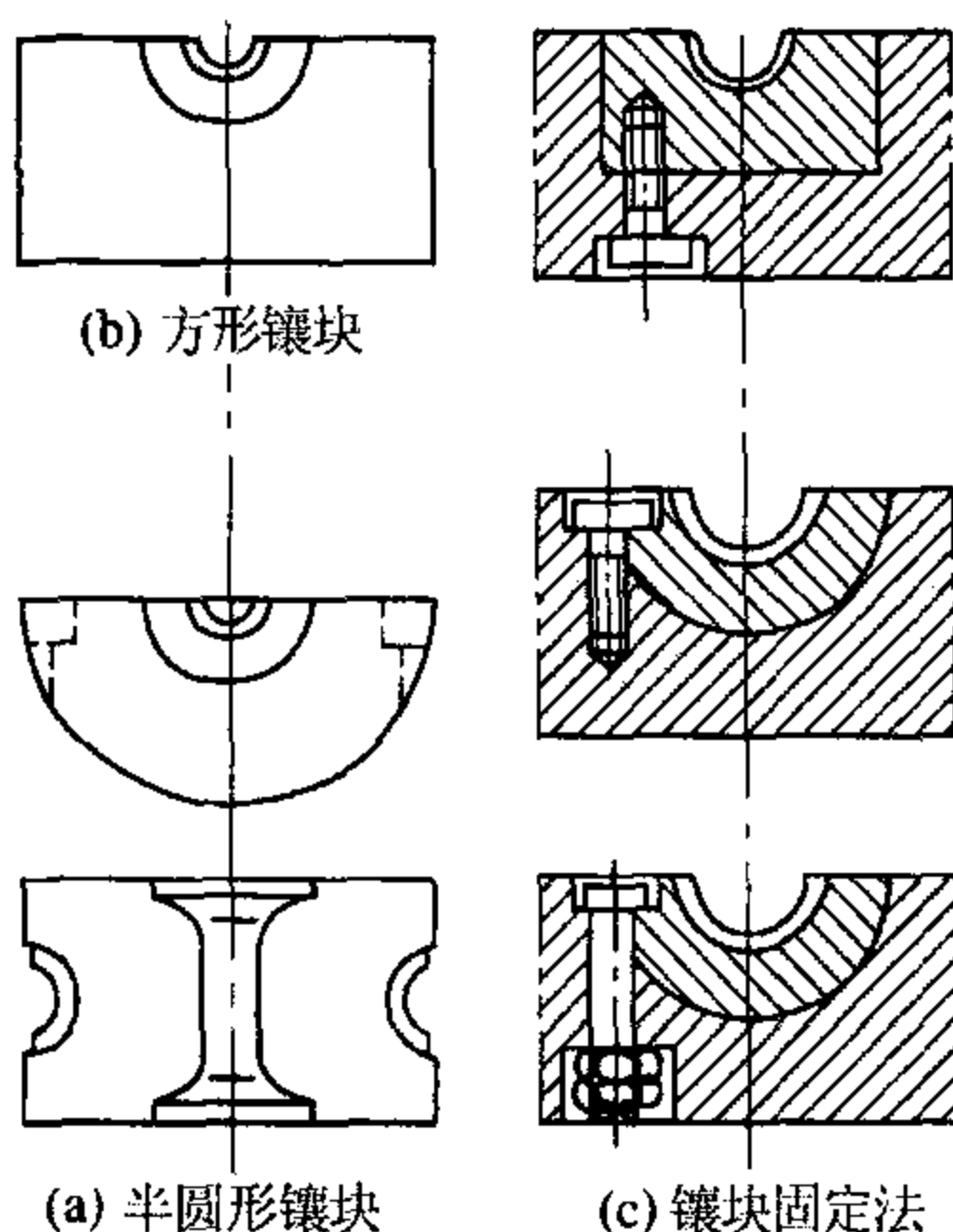


图 6.3-10 凹模镶块

后挡板的结构形式,见图 6.3-11。按杆类锻件长度选用不同的后挡板装置。图 6.3-11 中,钳子挡板(a):适用于锻件杆部较短、伸不出凹模时。设置在固定凹模上的后挡板(b):锻件杆部稍长但仍不伸出凹模时采用。用横挡板紧固在固定凹模上的后挡板(c):适用锻件杆部伸出凹模不大的情况。框架式后挡板(d):适用于锻件杆部长度超过凹模较长,且 $L < 500 \sim 1000$ 时用,锻件长度可用螺钉调整。支架式后挡板(e):当锻件杆部长度特长时采用支架式后挡板。支架式挡板一端紧固在平锻机机架上,另一端支架在地面上,挡板用卡爪和螺钉调整。

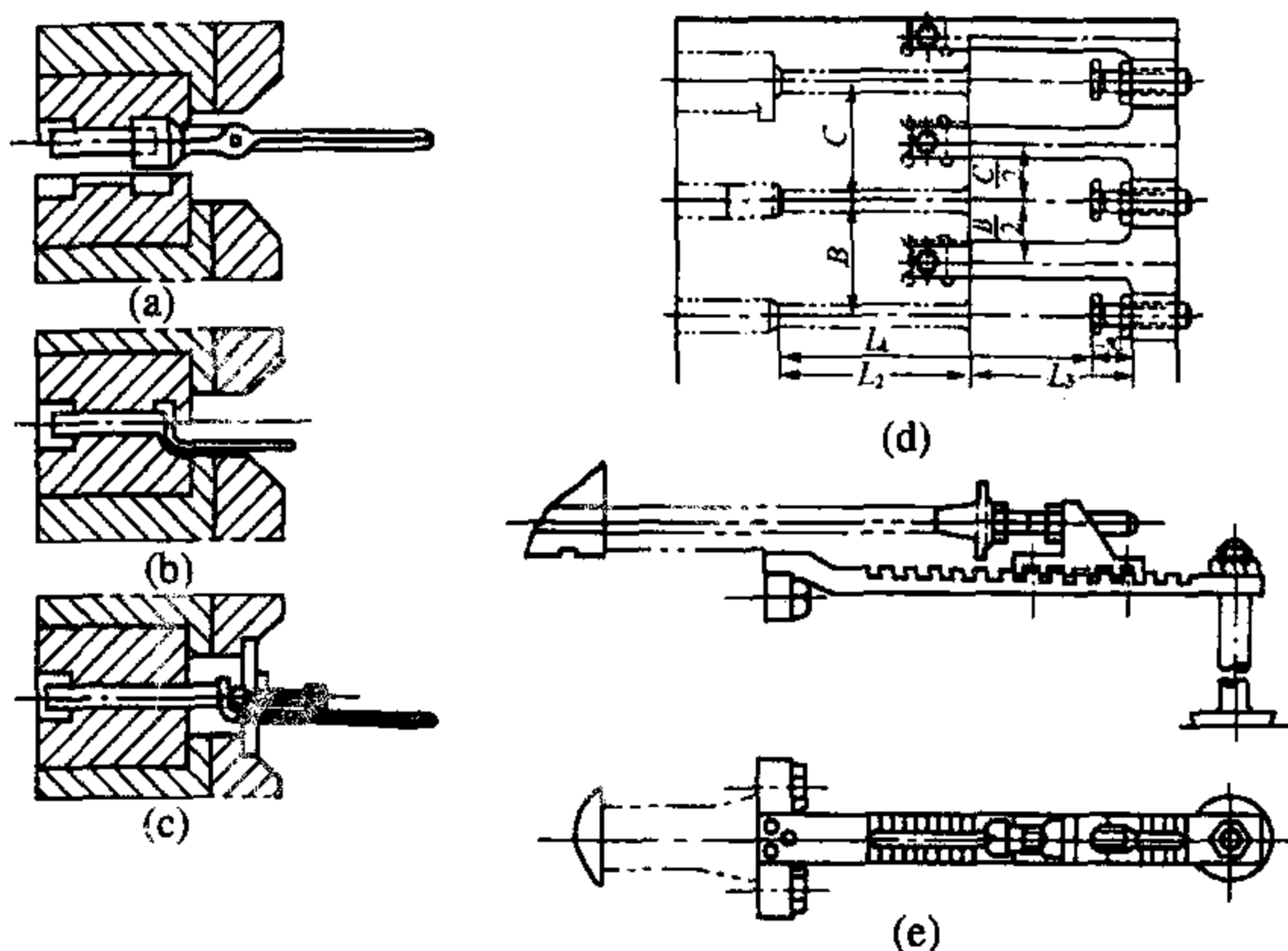


图 6.3-11 后挡板结构

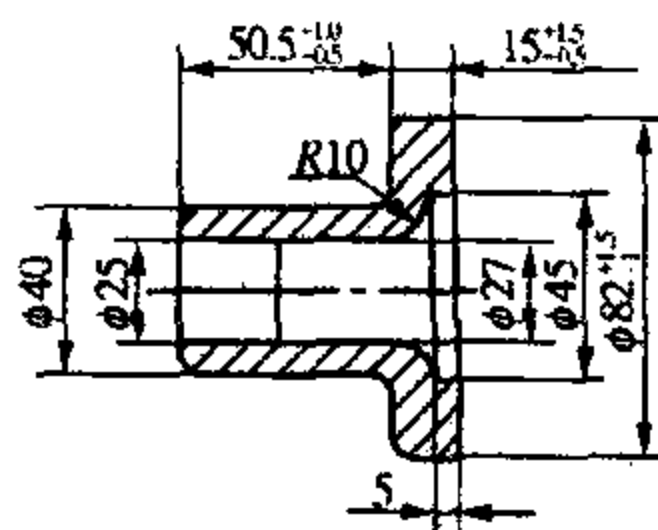
- (a) 夹钳挡板 (b) 定料挡板 (c) 定料挡板(在机架上)
(d) 定料挡板(在机架之外) (e) 支架式挡板

五、平锻机模锻实例

实例一 小链轮轮毂平锻件见表 6.3-33。

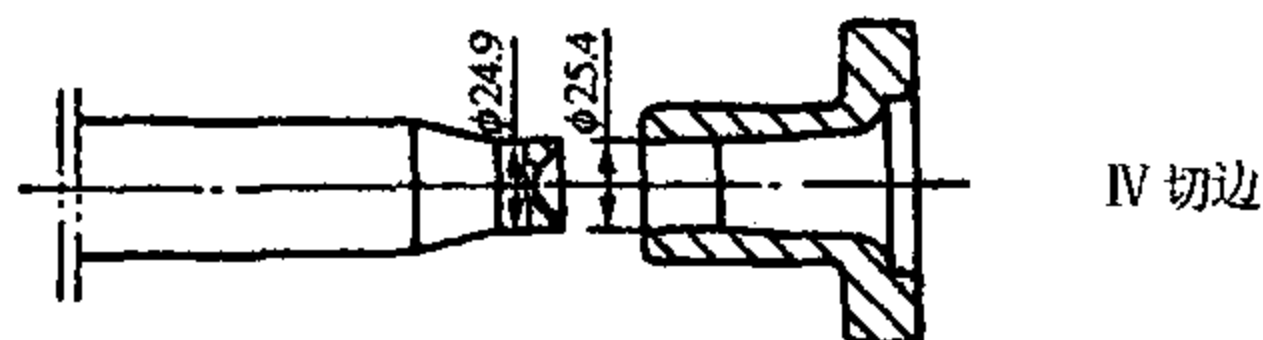
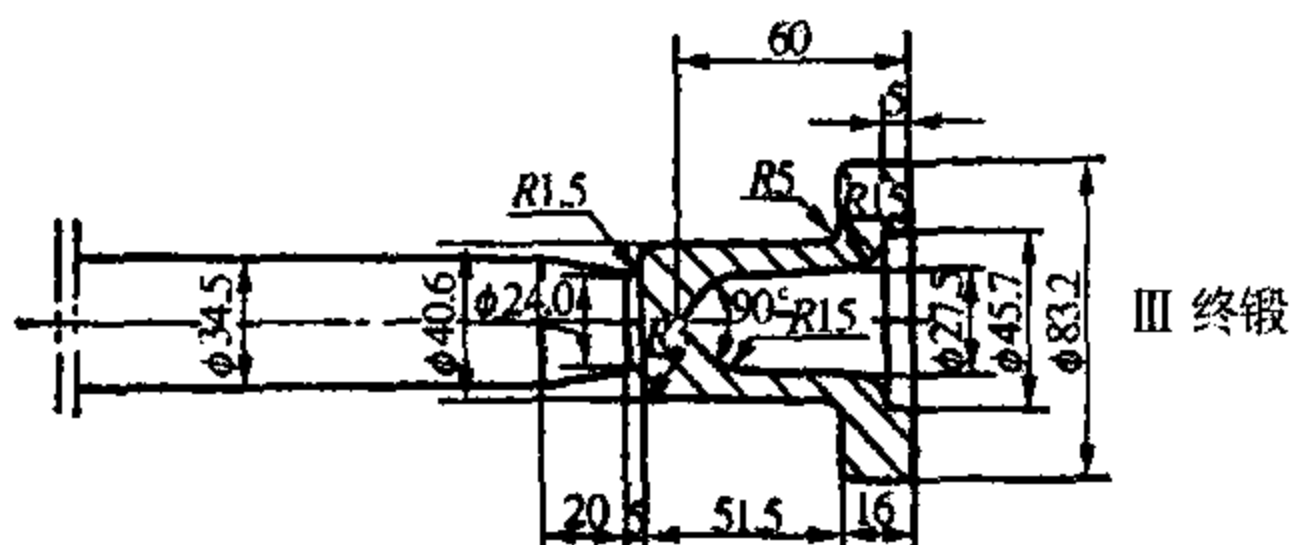
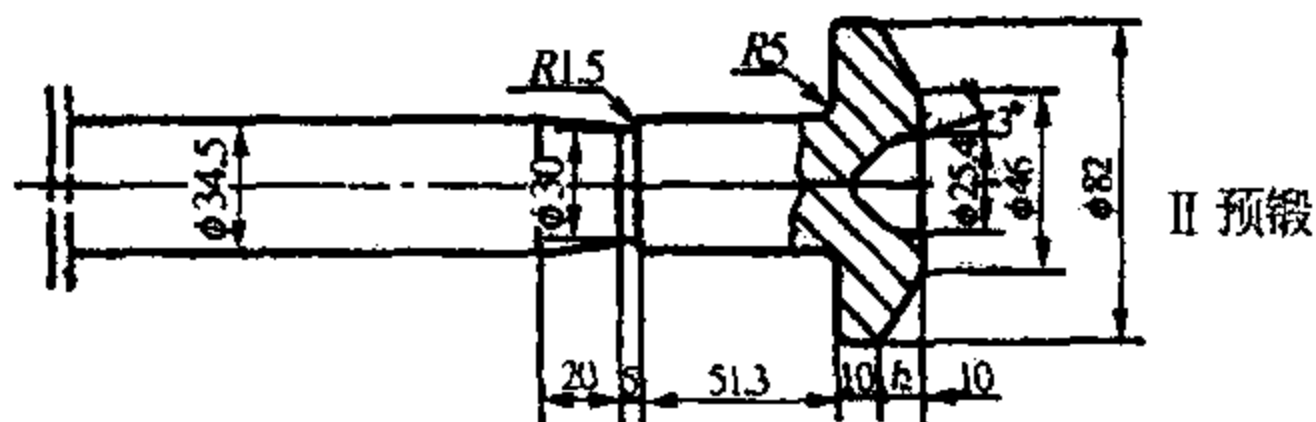
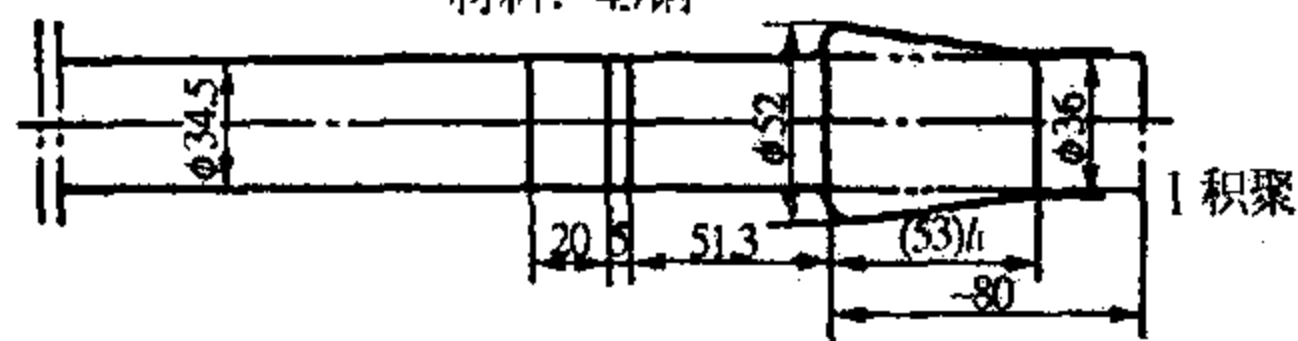
实例二 汽车半轴平锻件见表 6.3-34。

表 6.3-33 实例一 小链轮轮毂平锻件



小链轮轮毂锻件图

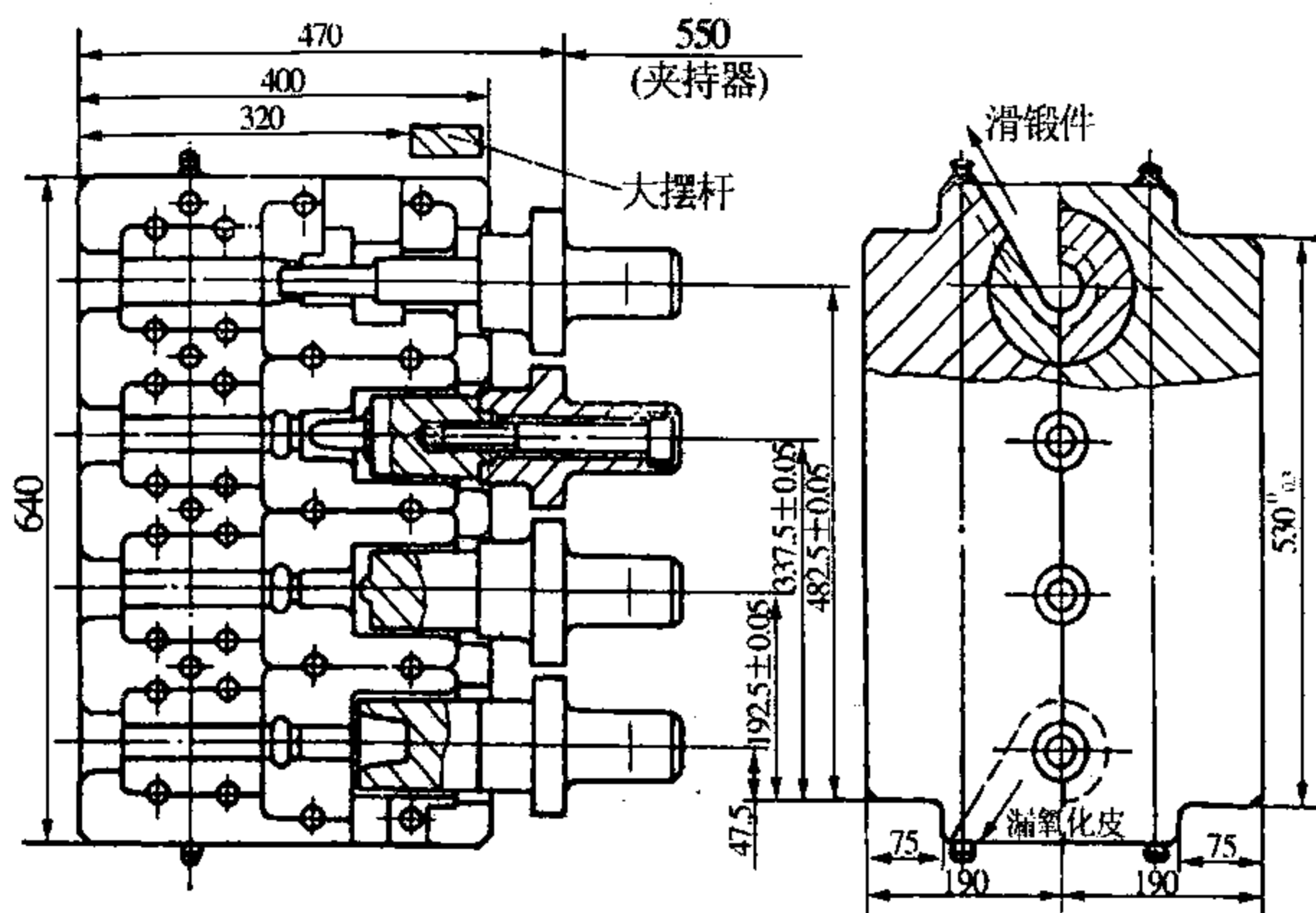
材料: 45钢



小链轮轮毂工步图

(热尺寸, 未注明R3)

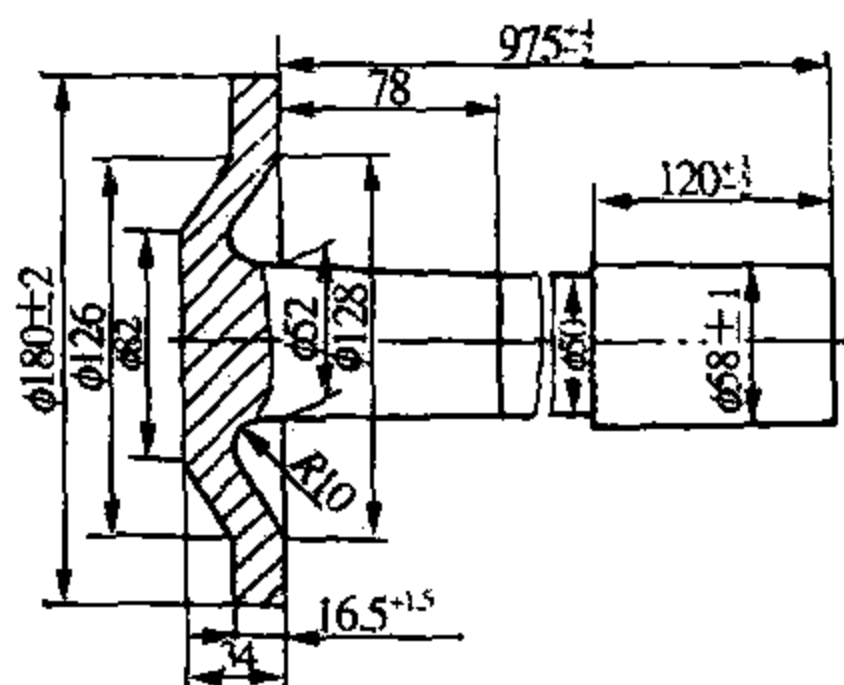
(续表)



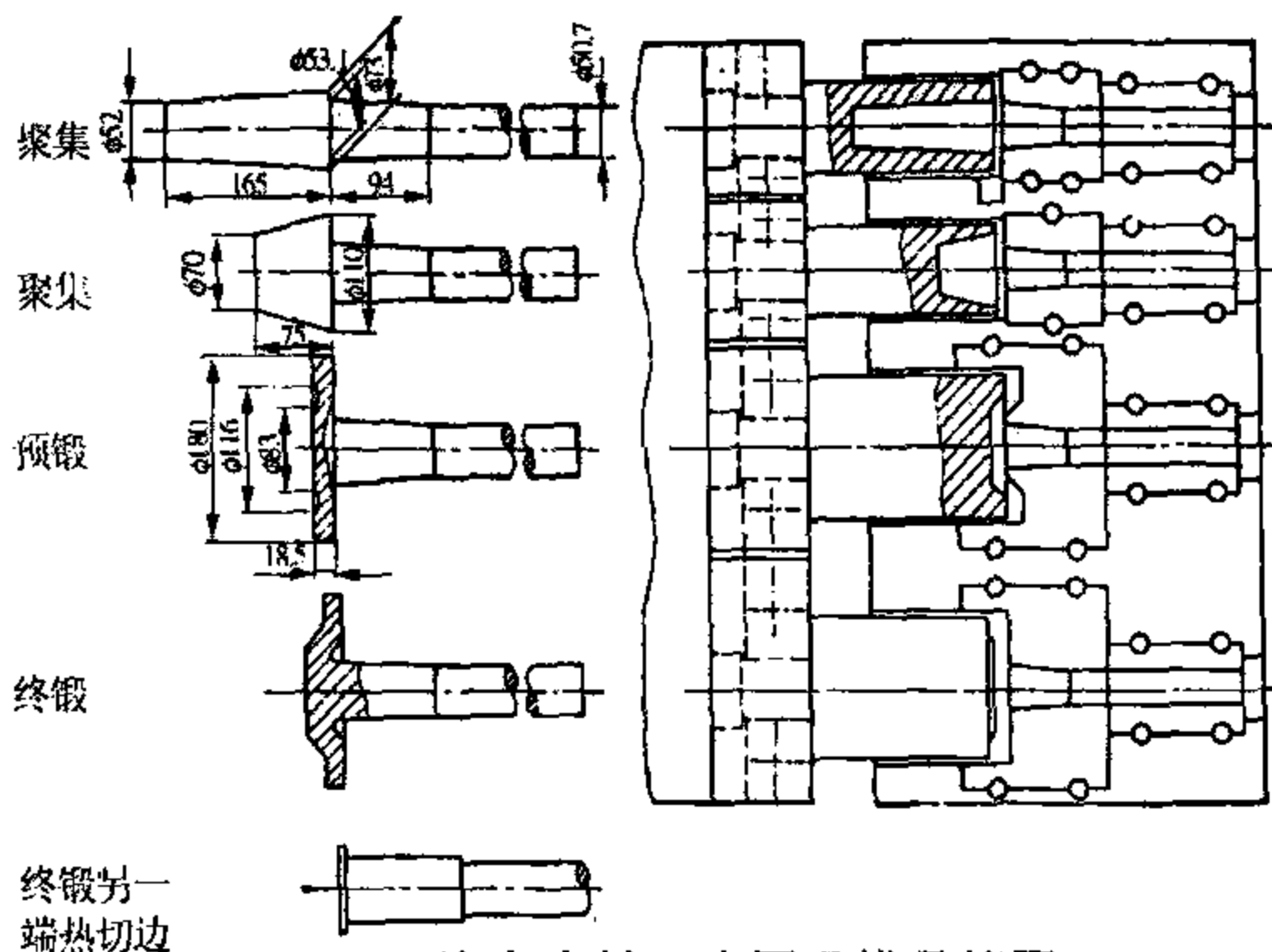
小链轮轮毂模具图

- ① 锻件质量: 0.83 kg
- ② 下料: $\phi 34 \times 1550/11$ 件穿孔类锻, 穿孔后连续进料, 可锻 11 件, 料头长度 230 mm
- ③ 变形工步: 聚集-预锻-终锻-切边
- ④ 设备: 按计算锻造力
 $P = 3150 \text{ kN}$
 因凹模体宽度要 640 mm 而改选用 6300 kN 水平分模平锻机

表 6.3-34 实例二 汽车半轴平锻件



汽车半轴锻件图



汽车半轴工步图及模具简图

材料: $\phi 50 \times 1310$, 局部镦粗长度 $l_0 = 375 \text{ mm}$, 长径比 $\phi = 7.5$

工艺: I. 第一次聚集

II. 第二次聚集

III. 预锻

IV. 终锻成形

另一端: 加热-终锻-切边

第七章 高合金钢及有色金属的锻造

合金元素含量大于 10% 的合金钢称之为高合金钢,如高速工具钢、不锈钢、高温合金等。而高合金钢中的合金元素除了使它具有与其他碳钢不同的组织和性能外,还影响钢在加热时的热导率、扩散速度、热加工塑性变形和再结晶特性等。见表 7.1-1。即高合金钢有其特定的锻造特性。

表 7.1-1 纯金属的熔点 T_m 和再结晶温度 T_R

金 属	T_m/K	工业纯度的 T_R/K	高纯度的 T_R/K
Al	933	423~500	200~275
Au	1 336	475~525	—
Ag	1 234	475	—
Co	1 765	800~855	—
Cu	1 375	475~505	235
Cr	2 148	1 065	1 010
Fe	1 808	678~725	575
Ni	1 729	775~935	575
Mo	2 898	1 075~1 175	—
Mg	924	375	250
Nb	2 688	1 325~1 375	—
V	1 973	1 050	925~975
W	3 653	1 325~1 375	—
Ti	1 933	775	723
Pb	600	260	165
Sn	505	275~300	—
Zn	692	300~320	—
Zr	2 133	725	445

第一节 高速工具钢的锻造

一、基本组织和性能

高速工具钢(高速钢)是含碳量为 0.75%~1.65%,含合金元素大于 10%(含有 W、Mo、Cr、V 等)的高合金钢。如 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。

高速钢的铸态组织中有莱氏体(即共晶奥氏体和共晶碳化物的混合物)出现。其中的共晶碳化物呈粗大的鱼骨状,这种碳化物使钢的韧性大大降低,但又不能用热处理来消除,而反复锻造可以将其击碎,并均匀分布在基体上。然后再经适当的热处理,便可得到高硬度、高耐磨性。而且,即使在约 600℃时,硬度不明显下降,保持热处理后的高硬度($\geq 55\text{HRC}$)。这种性能叫“红硬性”。

二、碳化物对高速钢性能的影响

高速钢中碳化物的形态、大小及分布直接影响高速钢的性能。如果高速钢在淬火前具有细小、均匀分布的碳化物,则在淬火加热时,这些碳化物可以最大限度地溶入金属基体中,而在随后的回火中又能以细小的、弥散的、均匀分布的碳化物形式析出来,使高速钢具有高硬度、高耐磨性、高红硬性。反之,若碳化物分布不均、大小不一、有聚集现象,就会使淬火加热时碳化物的总溶解量降低,还会有大小不均的未溶碳化物存在。

碳化物的热膨胀系数与金属不同,未溶的不均匀的碳化物会使淬火加热、冷却过程中存在有较大的应力,引起淬裂危险。此外,碳化物本身硬度高、塑性差,而粗大碳化物可成为应力裂纹的发生源,降低高速钢的韧性。

钢厂提供的高速钢原材料为退火状态,碳化物均匀度分为

8级(一级最好,八级最差)。共晶碳化物不均匀度验收标准见表 7.1-2。

表 7.1-2 共晶碳化物不均匀度验收标准

钢材直径/mm	>120~160	>160~200	>200~250
允许最大级别	6A、5B	7A、6B	8A、7B

退火处理的高速钢锻件,碳化物均匀度分为 5 级(一级最好,五级最差)。根据锻件的用途不同,对锻件的碳化物均匀度有不同要求,各种刀具的碳化物均匀度级别要求见表 7.1-3。

表 7.1-3 碳化物均匀度合格级别

刀具名称	刀具直径 D /mm	碳化物均匀度合格级别 \leq
直齿插齿刀	<100	3
	$\geq 100 \sim 160$	4
齿轮滚刀 剃齿前滚刀 渐开线花键滚刀	≤ 100	4
	$>100 \sim 125$	5
盘形剃齿刀	≤ 240	4

注:① 带状和弯曲状碳化物均匀评级合格级别图与碳化物均匀度合格级别相同。

② ≤ 240 mm 是指公称分度圆直径。

碳化物均匀度对钢材力学性能的影响见表 7.1-4;碳化物均匀度对钢材热处理性能的影响见表 7.1-5。

表 7.1-4 碳化物均匀度对钢材力学性能的影响

均匀度级别	3	4	5
弯曲强度/MPa	366	341	317
扭转强度/MPa	234	217	217
冲击韧性/(J/cm ²)	22.8	22.2	16.9

表 7.1-5 碳化物均匀度对钢材热处理性能的影响

均匀度 级别	硬度 HRC			热硬度 HRC		
	退火状态	淬火状态	回火状态	600℃	625℃	650℃
3	239	65.1	65.2	61.3	59.2	51.1
4	225	64.7	64.5	61	59	50.6
5	235	64.3	65	59.9	58.9	50.1

三、高速钢的锻造方法

高速钢锻造包括钢锭的锻造和钢材的改锻。前者主要是为了击碎粗大的共晶碳化物；后者一是为获得所需形状和尺寸的毛坯或锻件，更为重要的是破碎钢材中网状或带状的未溶碳化物。以此改变碳化物的形状和分布，使金属基体上分布着细小的、均匀分布的碳化物，提高硬度和耐磨性。

1. 锻造方法

高速钢的锻造方法见表 7.1-6。

表 7.1-6 高速钢的锻造方法

锻造方法	应用范围	说明
单向镦粗	当原材料的碳化物均匀度与对锻件的要求接近时,可以直接将原材料镦粗成圆盘类锻件,无须拔长	镦粗锻造比不小于 3
单向拔长	当原材料的碳化物均匀度与对锻件的要求接近时,可以直接将原材料拔长成轴类锻件,无须镦粗	拔长锻造比为 2~4
轴向反复镦拔	保持原材料的轴线方向不变,反复进行镦粗、拔长	
十字镦拔 (径向十字锻造法)	先将圆柱形坯料镦粗成圆盘,再沿圆盘的直径方向拔长并镦粗成方形坯料,再沿与先前拔长方向垂直的方向进行拔长并镦粗成方形坯料,如此往复。相邻两次的拔长方向互相垂直	
综合镦拔	此法是各种镦拔方法的综合,但主要是指轴向反复镦拔加十字镦拔	

2. 锻造比与镦拔次数

高速钢锻造时的变形量用锻造比 K 表示,通常随着锻造比的增加,碳化物均匀度级别逐渐降低。对从钢材(或钢坯)锻成工件的高速钢改锻来说,一般取锻造比为 5~14 较合适。

除单向镦粗和单向拔长外,锻造比的计算较为困难,在实际生产中常简化成根据原材料的情况确定镦拔次数见表 7.1-7。

表 7.1-7 锻拔次数

原材料碳化物 均匀度等级	对锻件碳化物均匀度的要求		
	3	4	5
4	4~3		
5	6~5	4~3	
6		6~5	3~2
7		7~6	5~4

四、锻前加热、锻后冷却和热处理

1. 锻前加热

(1) 常用高速钢的锻造温度范围(表 7.1-8)

表 7.1-8 常用高速钢锻造温度范围

钢 号	锻造温度范围/℃			
	钢 锭		毛 坯	
	始 锻	终 锻	始 锻	终 锻
W18Cr4V	1 150~1 180	975~1 000	1 150~1 180	900~920
W6Mo5Cr4V2	1 100~1 150	900~950	1 090~1 130	900
W9Cr4V2	1 170~1 190	900	1 130~1 150	900
W9Cr4V	1 170~1 190	900	1 130~1 150	900

(2) 加热规范

高速钢(以 W18Cr4V 为例)的锻造加热规范见表 7.1-9。

表 7.1-9 高速钢锻造加热规范

锻件尺寸 D/mm	预 热		加 热	
	预热温度/℃	预热时间 (min/mm)	加热温度/℃	加热时间 (min/mm)
$D < 80$	不预热		1 150~1 180	0.6~1.0
$D \geq 80$	800~900	1.0	1 150~1 180	0.5

(3) 加热注意事项

高速钢锻造加热时的注意事项见表 7.1-10。

表 7.1-10 高速钢锻造加热时的注意事项

注 意 事 项	原 因
1. 加热高速钢钢锭或大型毛坯时,要严格控制加热温度	高速钢钢锭或大型毛坯的中心一般都存在较严重的莱氏体共晶体现象,加热温度控制不严时易产生过热和过烧
2. 钢锭或毛坯在加热温度下的保温时间不宜过长,热透即可。尽量选择在中性炉气气氛中加热	减少氧化、脱碳,避免晶粒粗大
3. 当锻件不能一次锻造成形时,后续的加热不宜直接放入高温下快速加热	防止锻件内部的内应力在后续的快速加热过程中产生较大的热应力,引起锻件开裂

2. 锻后冷却和热处理

高速钢锻后在空气中冷却时会发生马氏体转变,易产生淬火裂纹,因此锻件锻后应缓慢冷却。通常,直径或边长小于 80 mm 的锻件,锻后应置于温度为 100~200℃ 不通风的干砂或白灰中冷却。直径或边长大于 80 mm 的锻件,锻后可置于炉温为 600℃ 左右的炉内保温一段时间后随炉冷却。

锻后应及时退火,退火的目的一是降低钢的硬度,以利切削加工;二是为以后的淬火作好组织准备;三是消除内应力,增加工件韧性。

高速钢退火加热温度为 860~880℃,钨系高速钢取上限,钨钼系高速钢取下限。

高速钢的退火工艺有普通退火工艺(图 7.1-1)和等温退火工艺(图 7.1-2)两种。

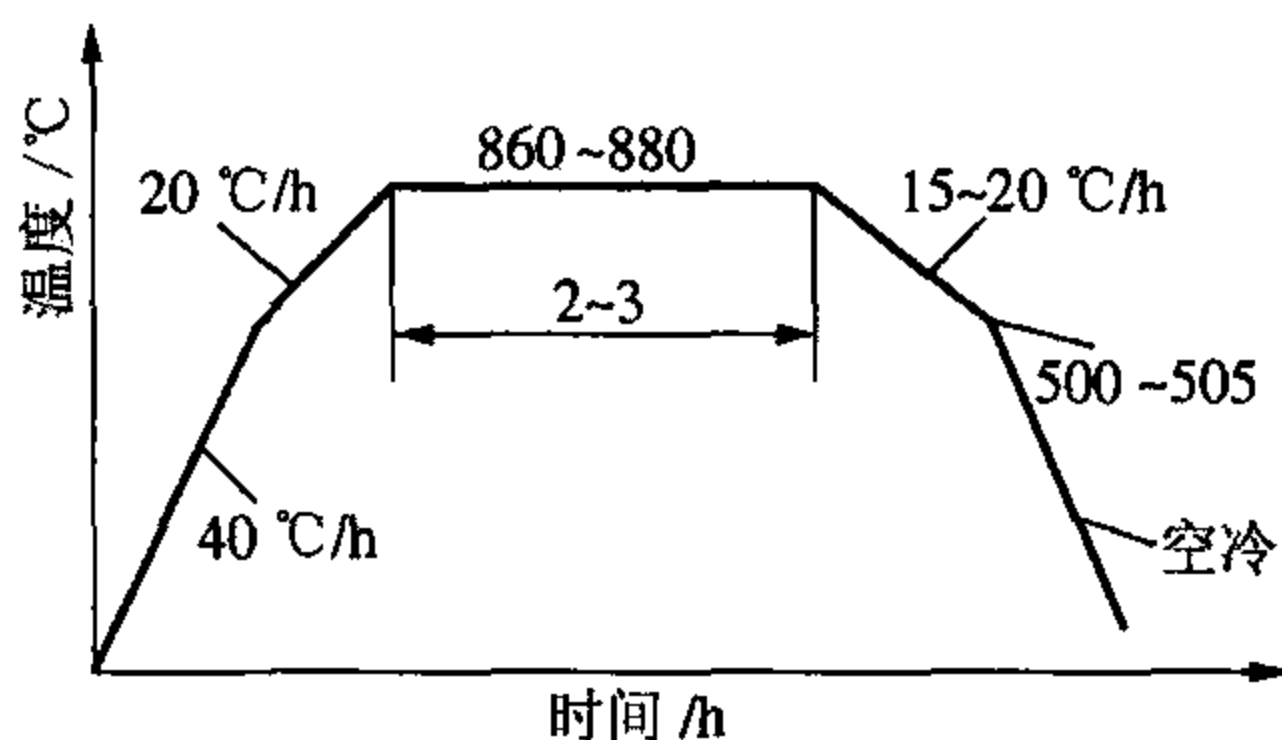


图 7.1-1 高速钢普通退火工艺曲线

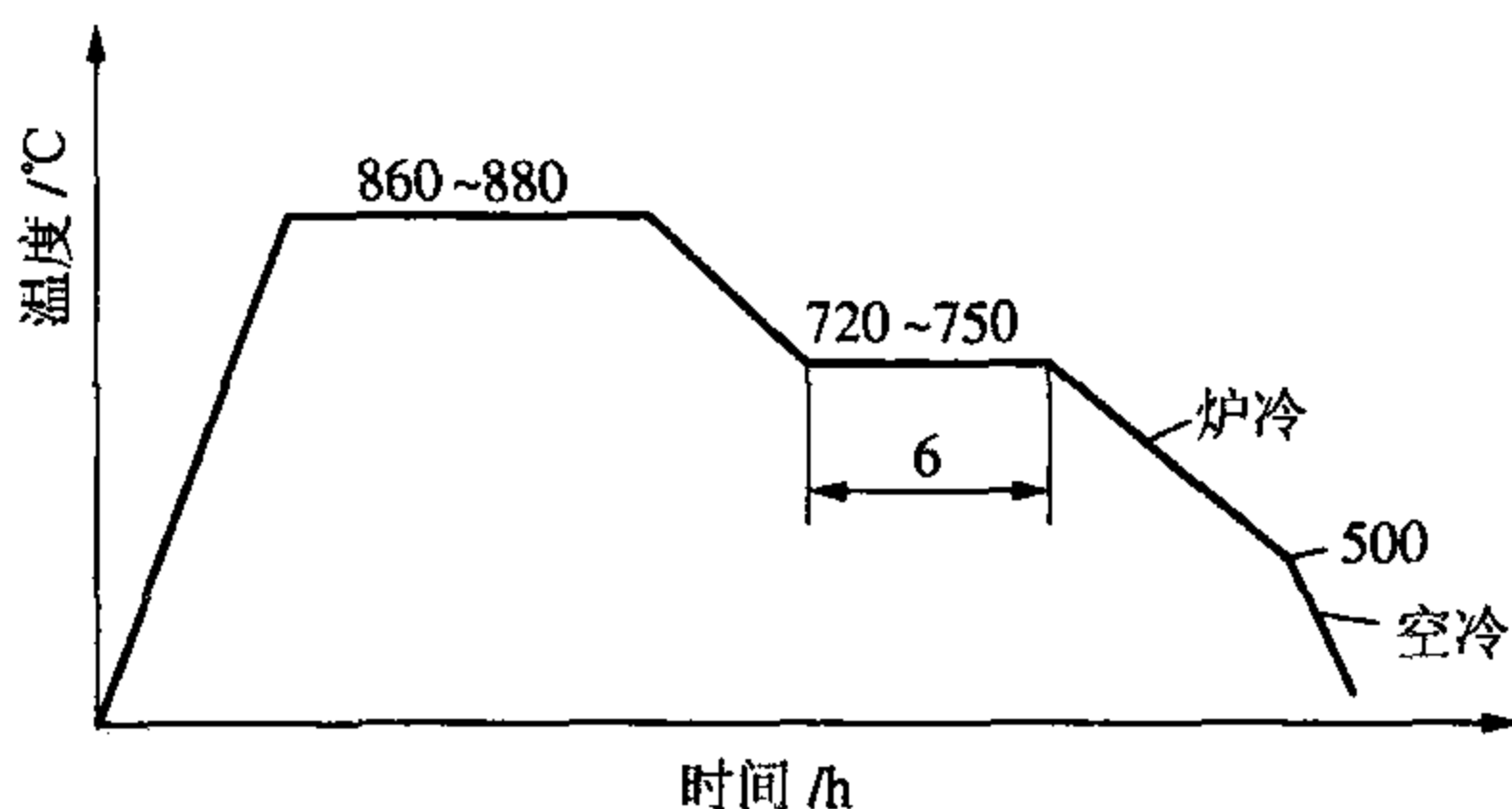


图 7.1-2 高速钢等温退火工艺曲线

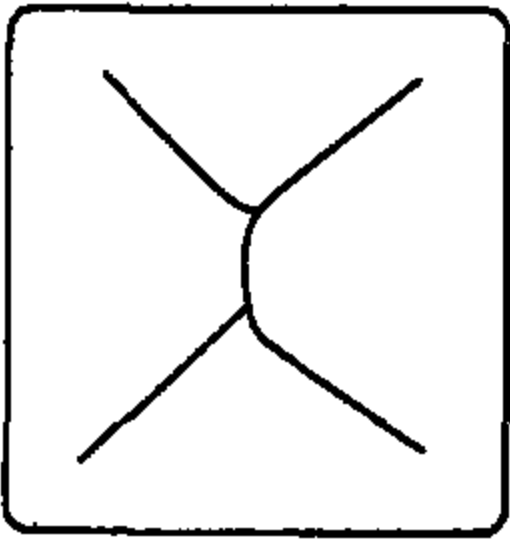
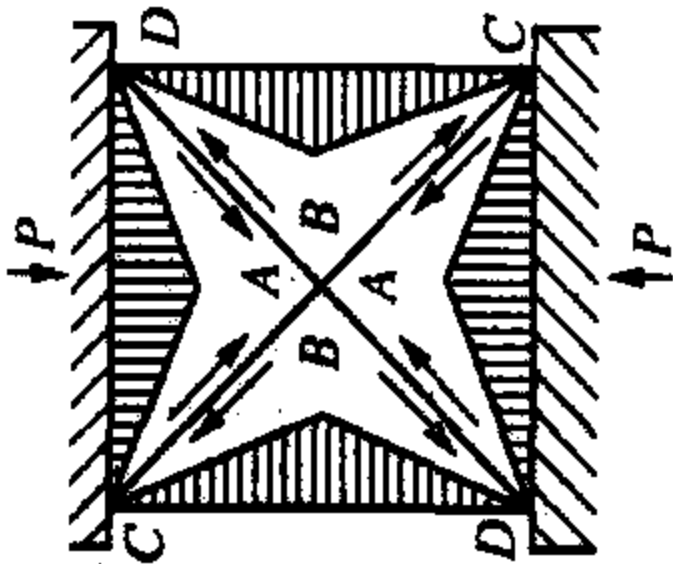
五、常见锻造缺陷的产生和预防措施

高速钢锻件中常见的锻造缺陷有：过烧、蔡状断口、重复加热开裂、锻造裂纹等，见表 7.1-11。

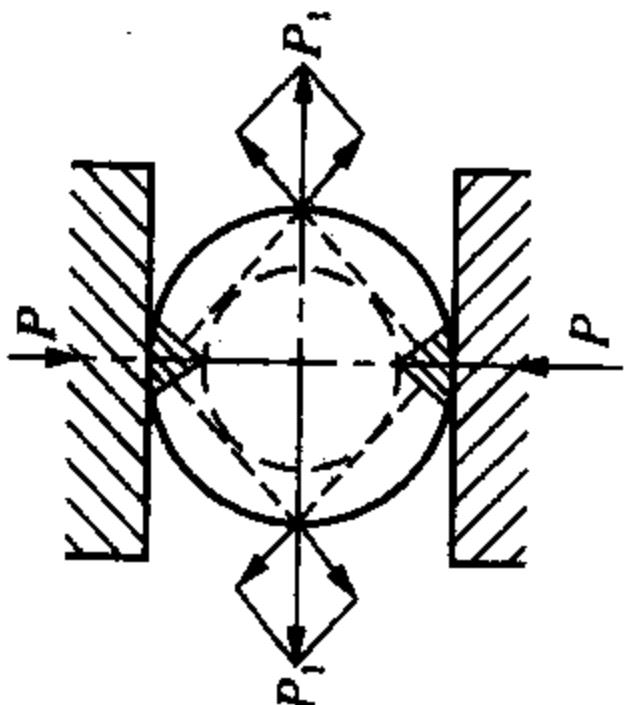
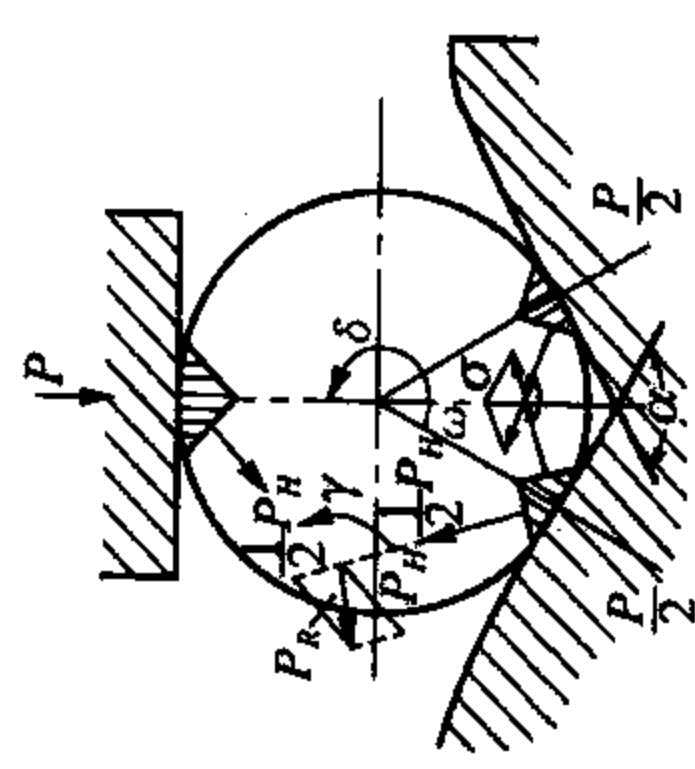
表 7.1-11 高速钢常见锻造缺陷及预防措施

种 类	特 征	原 因	预 防 措 施
过烧	显微组织中有鱼骨状的莱氏体,断口非常粗糙。毛坯一经锻造便成碎块	加热温度过高或在高温下停留时间过长	严格控制加热温度
蔡状断口	显微组织中晶粒粗大,断口上呈现鱼鳞状的白色闪点,钢的韧性低,作刀具使用时易崩刃和折断。这种缺陷不能用热处理消除	终锻温度过高($>1\ 000^{\circ}\text{C}$),终锻变形量较小($<10\%\sim 15\%$),处于临界变形范围	最后一火的终锻温度控制在 930°C 以下
重复加热开裂	对中间完全冷却的高速钢锻造时,有时会在重复加热时出现开裂	高速钢的导热性差,淬透性高,空冷时也会形成马氏体,因此,热应力和组织应力较大	中间完全冷却后的锻坯最好经过退火再进行加热锻造。对厚度不大的锻件,也可采用延长预热时间的方法来消除锻坯中的残余应力
锻造裂纹	见表 7.1-12		

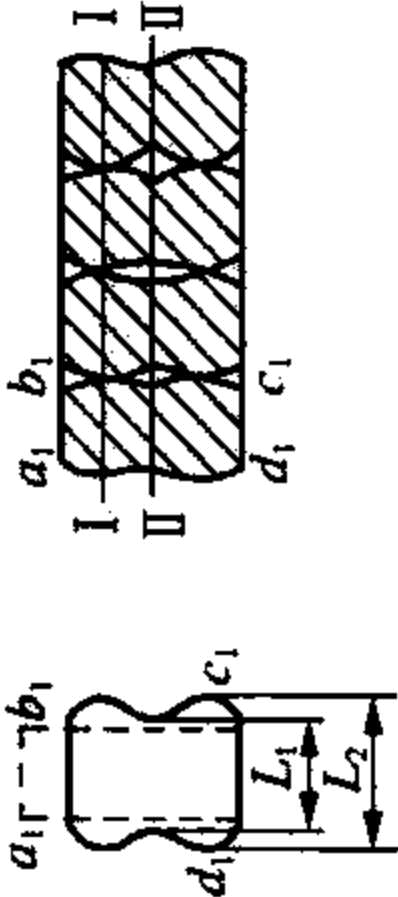
表 7.1-12 常见高速钢锻造裂纹

种 类	特 征	原 因	预 防 措 施
纵向 内部纵向 剪裂(十字 裂纹)	<p>对方形截面坯料拔长时,在坯料端面或离端面一定距离的横截面上出现沿对角线分布的十字形裂纹</p> 	<p>方形截面坯料拔长时,在横截面的对角线上剪切变形最剧烈,剧烈的变形升高了温度,而高速钢的高温塑性差,变形抗力大,硬化倾向大</p> 	<p>① 严格进行原材料质量检查,保证原材料中心疏松、碳化物不均匀度符合规定要求</p> <p>② 保证中心部分在加热时不产生过热或未热透</p> <p>③ 保证送进量 l 与锻件高度 h 之比为 $0.6 \sim 0.8$,以减小不均匀变形引起的剪应力</p> <p>④ 若对角线上出现升温发亮时,立即减轻锤击力</p>

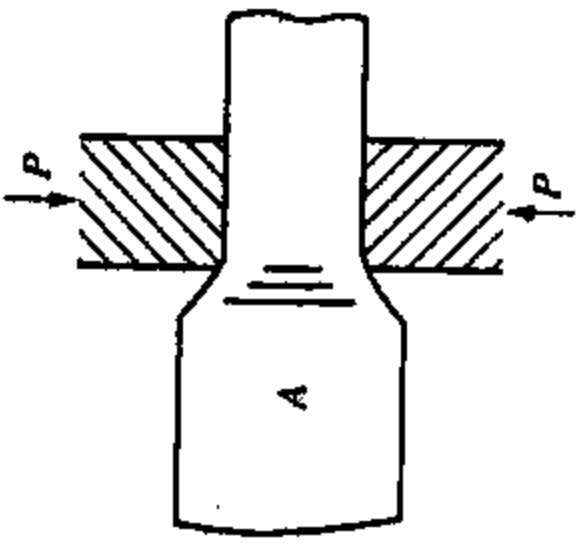
(续表)

种 类	特 征	原 因	预 防 措 施
纵向内裂 内部纵向 拉裂	在用平砧拔长 圆截面毛坯、方坯 倒棱或滚圆时会 出现内部纵向拉 裂	毛坯的水平方向出现拉 应力,且拉应力自毛坯表面 至中心逐渐增大 	① 采用型砧拔长。如采用 上下 V 型砧拔长时, 可使毛坯在中心部分的 拉应力减小 ② 在倒棱滚圆时轻击,避 免重击、连击 

(续表)

种 类	特 征	原 因	预 防 措 施
横 向 裂 纹	在沿毛坯高度的中部垂直于毛坯轴心会出现圆周、半圆周或局部裂纹	<p>当毛坯拔长时,若送料比 $l/h < 0.5$ 时,毛坯中存在拉应力。如图,取锤砧作用下的那部分金属为分离体,对其进行单独压缩,当 $l/h < 0.5$,便形成双鼓凸。但毛坯是一个整体,不允许分离体金属形成双鼓凸。因此,毛坯中将分别出现拉应力(II-II)和压应力(I-I)</p> 	使送料比 $l/h > 0.5$, 常取 $0.6 \sim 0.8$
端 裂	当毛坯端部受到单向压力时,会在垂直打击方向产生拉应力,产生平行于打击方向的裂纹 端裂可以直接出现在端面上,也可以由内裂扩展而引起,这时的特征是端面发亮,然后再开裂	端面有拉应力存在	<p>① 刚出炉的锻件毛坯不能重击,应遵循“两轻一重”(高温、低温阶段轻击,中温阶段重击)的操作原则</p> <p>② 最好先锻粗后拔长</p>

(续表)

种 类	特 征	原 因	预 防 措 施
应力集中引起的侧裂		当大截面毛坯拔成小截面锻件时,过渡阶梯不圆滑,引起应力集中,导致侧裂	采用较大圆角半径的锤砧
横向内裂扩展成侧裂,横向展宽过大引起侧裂		<p>当送料比 $l/h < 0.5$ 时,金属沿坯料高度流动不均而在其中部产生拉应力。这样,首先形成横向内裂,然后向外扩展成侧裂</p> <p>当送料比 $l/h > 0.8$ 时,金属沿纵向难以流动,而横向展宽过大,故侧面变成鼓形。鼓形严重时,便在侧面引起胀裂(侧裂)</p>	严格控制拔长时的送料比,使 l/h 取值在 $0.6 \sim 0.8$
角 裂	呈开口状,约 45° 倾斜。常常在锻件已成方形,棱角部分由于散热快而出角裂	坯料表面接触层金属受拉应力	<p>① 拔长时应重击、快打、勤送,以保证棱角部分降温不多</p> <p>② 当金属各处温度均匀还出现角裂时,应立即转为轻击</p>

侧 裂

第二节 奥氏体型不锈钢的锻造

一、基本组织和性能

奥氏体不锈钢是含有大量铬和镍的低碳合金钢,一般含碳 $0.03\% \sim 0.15\%$,含铬 $16\% \sim 24\%$,含镍 $8\% \sim 11\%$,也可用锰、氮代替部分镍。此外,还可根据需要添加钛、铌、钼等。

常用奥氏体不锈钢是18-8型不锈钢,其牌号为:0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、2Cr18Ni9和1Cr18Ni9Ti。

奥氏体不锈钢在高温和室温下的基本组织都是奥氏体,在加热和冷却过程中不发生相变。

18-8型不锈钢有很强的耐腐蚀性能,无磁性,高温下抗氧化能力强。故广泛用于化工、炼油、食品、钟表、医疗、轻工等行业,有时也做耐热钢使用。这类不锈钢在高温下的变形抗力比碳素钢和普通合金钢都高,它所需的锻造压力也随之增大(图7.2-1)。例

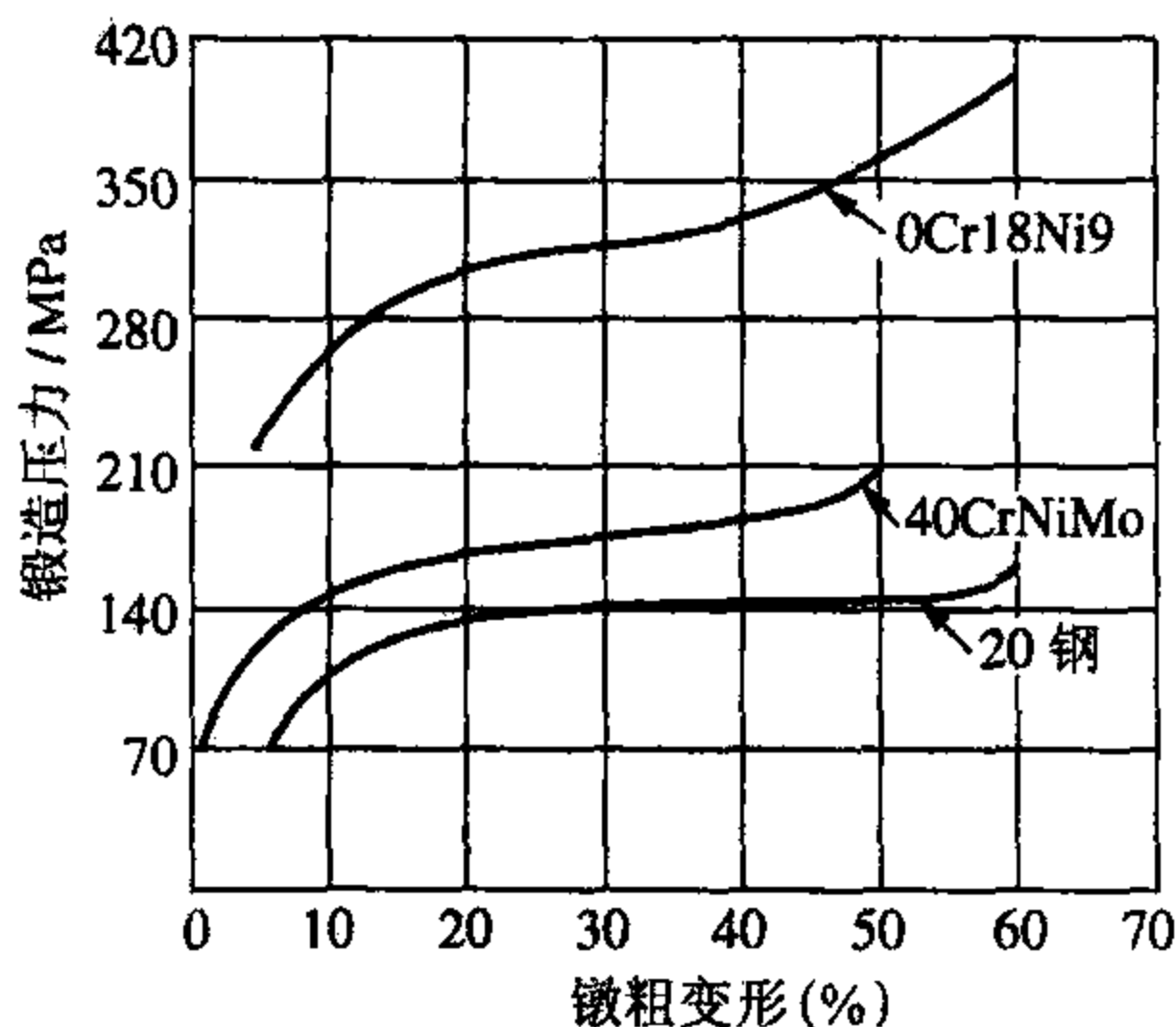


图 7.2-1 三种钢在 1000℃ 时锻造压力与锻造变形的关系

如,在 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 温度和大于 6% 的变形程度情况下,锻造 $0\text{Cr}18\text{Ni}9$ 不锈钢所需的压力至少是锻造 20 钢所需压力的两倍,比锻造 40CrNiMo 钢所需压力大 60% 。因此,锻造这类不锈钢所需的锻造设备吨位比锻造普通钢的大 $1/3$ 倍,从而,模具材料也应选择强度高的材料。

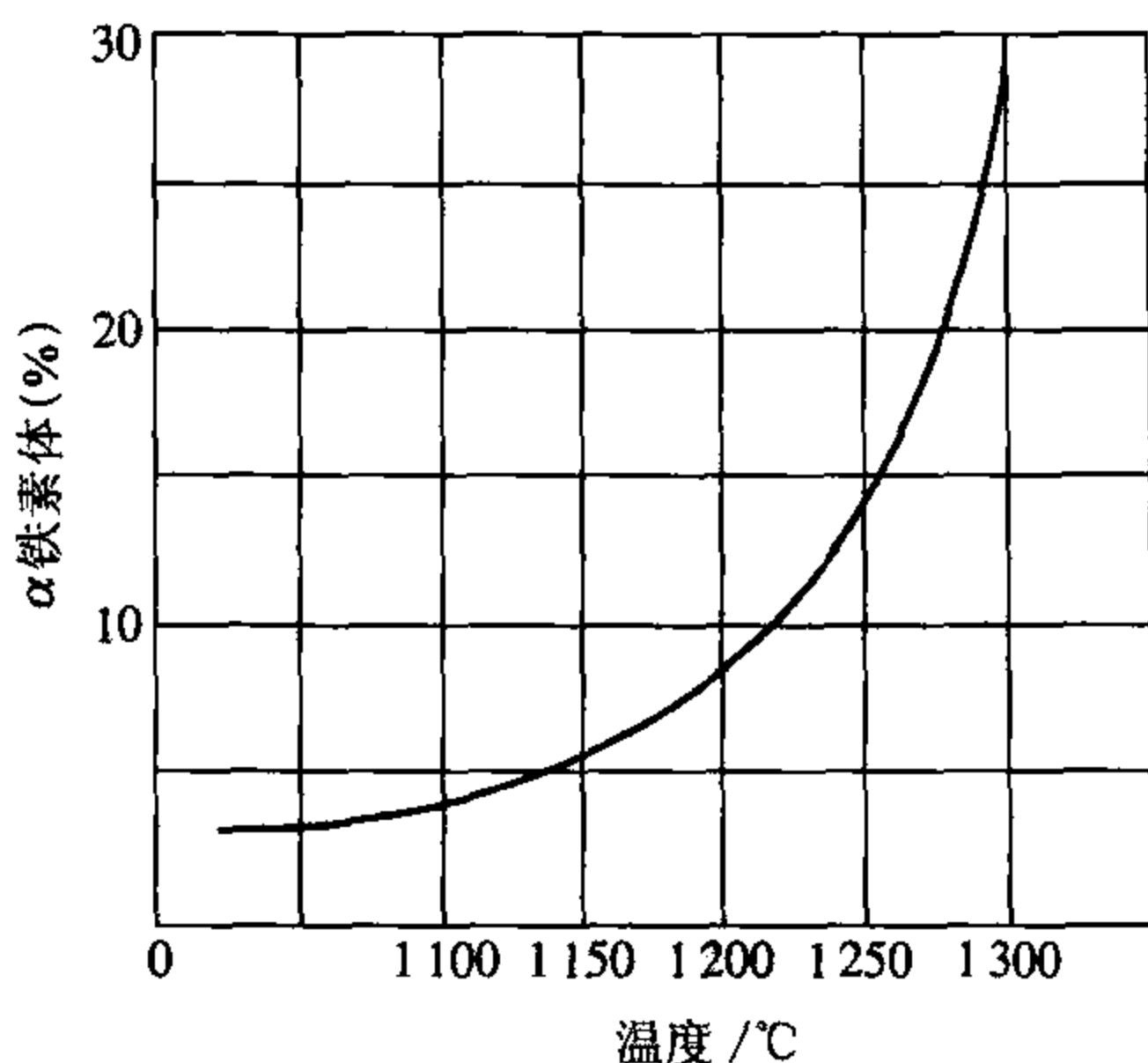
不同类型不锈钢的锻造性能是不相同的,高温下变形抗力较大的铬镍不锈钢如 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 、 $1\text{Cr}18\text{Ni}11\text{Nb}$ 等较难锻造,锻造性能较差;铬不锈钢如 $1\text{Cr}13$ 、 $2\text{Cr}13$ 、 $3\text{Cr}13$ 、 $\text{Cr}17$ 、 $\text{Cr}17\text{Ni}2$ 等较易锻造,锻造性能较好; $0\text{Cr}18\text{Ni}9$ 、 $1\text{Cr}18\text{Ni}9$ 等不锈钢的锻造性能介于以上两者之间。

$18-8$ 型不锈钢不能通过热处理来提高其力学性能,不能“淬硬”,只能“淬软”。

二、锻前加热、锻后冷却和热处理

1. 锻前加热

奥氏体不锈钢在加热过程中不发生相变,始锻温度的影响因素较少,仅受过热限制。但是,有些奥氏体不锈钢如 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 、 $\text{Cr}17\text{Mn}9$ 、 $\text{Cr}18\text{Mn}10\text{Ni}5\text{Mo}3$ 等,在高温下的组织除 γ 相基体外,还有过剩相 α 相。 α 相的数量与加热温度有关。如图 7.2-2, $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 奥氏体不锈钢,当加热温度超过 $1\,200^{\circ}\text{C}$ 以上,由于 TiC 溶入固溶体的量明显增多,因而钢中 α 相的数量也随温度的升高而增多。特别是当加热温度超过 $1\,250^{\circ}\text{C}$ 时, α 相增多的趋势更为明显。而奥氏体不锈钢中含有 $20\%\sim 40\%\alpha$ 相时,其塑性显著降低,奥氏体不锈钢原材料中 α 相含量应控制在 20% 以下。因此, $18-8$ 型奥氏体不锈钢的始锻温度一般不超过 $1\,200^{\circ}\text{C}$,其终锻温度只要高于碳化物析出敏化温度($480\sim 820^{\circ}\text{C}$)即可。通常取大于 850°C 。因为若在 $480\sim 820^{\circ}\text{C}$ 终锻,则由于有碳化物的

图 7.2-2 加热温度对 1Cr18Ni9Ti 钢 α 相数量的影响

析出,增大了钢的变形抗力,降低了塑性,降低了耐腐蚀能力。典型奥氏体不锈钢的锻造温度范围见表 7.2-1。

表 7.2-1 典型奥氏体不锈钢的锻造温度范围及加热规范

钢 号	锻造温度/°C		预 热		加 热	
	始锻	终锻	温度/°C	保温时间 /(min/mm)	温度 $^{+20}_{-10}$ /°C	保温时间 /(min/mm)
0Cr18Ni9 1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti 2Cr18Ni9	1 180	850	直径大 于 100 mm 预热 800°C, 其余 750°C	0.6~0.8	1 200	0.5~1.0

如果锻造 18-8 型不锈钢,原材料是采用经过轧制和剥皮的

合格型材,加热时按常规工艺加热即可;原材料若是钢锭,应采用分段加热的方法。加热规范与前述的高速钢加热规范相似(表 7.1-9),但可以适当提高加热速度。

2. 锻后冷却

18-8 型不锈钢锻件锻后常常在空气中冷却或风冷。

3. 热处理

奥氏体不锈钢不能通过热处理改善其力学性能,但是,可以通过热处理来提高其耐腐蚀性能。常见的奥氏体不锈钢热处理方法见表 7.2-2。

表 7.2-2 奥氏体不锈钢热处理方法

热处理名称	热处理工艺	热处理目的
固溶处理	将钢加热到 1 050~1 150℃,保温后快速冷却(水冷)	获得单相奥氏体,提高耐蚀性
去应力退火	将钢加热到 300~350℃,保温后缓慢冷却	消除冷加工后的内应力
稳定化处理	将钢加热到 880~900℃,保温后缓慢冷却。经此处理后,碳几乎全部稳定在 TiC 或 NbC 中,而不会再析出 $Cr_{23}C_6$,从而提高固溶体中的含 Cr 量,起到减小晶间腐蚀的作用	对于含 Ti 或含 Nb 的 18-8 型奥氏体不锈钢,经固溶处理后必须进行一次稳定化处理,其目的是彻底消除晶间腐蚀隐患,提高耐蚀性

三、锻造要点

奥氏体不锈钢的锻造要点见表 7.2-3。

表 7.2-3 奥氏体不锈钢锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 应严格控制始锻温度和终锻温度。积极采取预防措施防止裂纹的产生	奥氏体不锈钢的锻造温度范围较窄,高温下的变形抗力大,锻造过程中易产生裂纹
② 仔细清除铸锭或毛坯的表面缺陷。即在加热前用剥皮或铲除的方法去除表面缺陷	表面缺陷在锻造过程中会继续扩大发展,导致锻件报废
③ 这类钢在燃煤炉中加热时,表面易渗碳。故加热时要避免与任何含碳物质接触,并采用氧化性的加热介质	减少渗碳,防止晶间腐蚀
④ 选择适当的变形量。对于铸锭,锻造比可选 6~8;对于经过锻轧但已造成粗晶的坯料,锻造比可选 4~6;一般情况下选用锻造比 ≥ 2 ,终锻温度下的变形量应避免在临界变形程度范围内(7%~20%)	避免锻件晶粒粗大
⑤ 所选择的锻造设备吨位应比锻造普通钢材的吨位大三分之一	因为不锈钢的高温变形抗力大,比普通钢材大三分之一。选择较大设备吨位可达到锻透和细化晶粒的目的
⑥ 锻造奥氏体不锈钢铸锭时,要先轻击、后重击,并从方形→多角形→方形的方式进行,拔长时应沿轴向不停地翻转并送进坯料	避免铸锭组织中粗大柱状晶与碳化物引起的开裂

第三节 马氏体型不锈钢的锻造

一、基本组织和性能

马氏体不锈钢是含有大量 Cr,有时还含有较多的 Mo、Ni,含碳为 0.08%~0.95% 的合金钢。常见的马氏体不锈钢有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13、9Cr18 等。

马氏体不锈钢在高温下的组织是奥氏体,空冷至室温的组织为马氏体。由于马氏体不锈钢在加热、冷却过程中有组织变化,因此,可以通过热处理来改变力学性能,常常是通过淬火得到高硬度的马氏体。

马氏体不锈钢的耐腐蚀性能不如奥氏体不锈钢,其硬度、强度和耐磨性比奥氏体不锈钢要高。主要用于制造各种耐腐蚀的机械零件、弹簧、轴承、手术刀等。

二、锻前加热、锻后冷却和热处理

1. 锻前加热

马氏体不锈钢的组织与性能对含碳量十分敏感。当其(如 0Cr13、1Cr13、2Cr13)含碳量较低时,钢在高温下呈 $\alpha+r$ 两相组织。如 1Cr13 不锈钢在加热温度超过 1 000~1 050℃ 以后,便出现 $\alpha+r$ 两相。尤其是随着碳含量微量的变化,将导致 α 相数量急剧变化。如表 7.3-1 所示,当碳含量由 0.10% 增至 0.16% 时,钢中 α 相数量则自 70% 降至 20%。由此可知,马氏体不锈钢在高温下所含 α 相的多少,主要取决于其含碳量。此外,当加热温度超过 1 100~1 150℃ 以后,钢中 α 相数量将随加热温度的升高而较多地增加。

表 7.3-1 1Cr13 不锈钢的碳含量与 α 相含量的关系

碳含量 (%)	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16
α 相含量 (%)	70	60	50	40	30	20

马氏体不锈钢的始锻温度受 α 相形成温度的限制,锻造时钢中存在带状 α 相,则容易产生裂纹。 α 相一般在 1 100~1 270℃ 范围形成,因此,锻造加热温度不应超过它。如 2Cr13 不锈钢,加热温度不超过 1 180℃。马氏体不锈钢的终锻温度受其同素异构转变温度的限制(通常这一转变温度为 800℃ 左右),生产中一般控制在 900~925℃。如果终锻温度过低,不仅锻造时的变形抗力较大,难以锻造,而且锻后的内应力也增大。马氏体不锈钢的锻造温度范围见表 7.3-2。

马氏体不锈钢锻造前的加热应该采用缓慢的加热速度,尤其对截面尺寸较大的坯料应采用分段加热。

表 7.3-2 马氏体不锈钢的锻造温度范围及加热规范

钢 号	锻造温度/℃		预 热		加 热	
	始锻	终锻	温度/℃	保温时间/ (min/mm)	温度 ⁺²⁰ / ₋₁₀ /℃	保温时间/ (min/mm)
1Cr13 2Cr13 3Cr13 4Cr13	1 150	850	750	0.6~0.8	1 170	0.3~0.8
9Cr18	1 100	880	750	0.6~0.8	1 170	0.3~0.8

2. 锻后冷却和热处理

马氏体不锈钢坯料锻后应缓慢冷却,通常采用坑冷、灰砂冷或炉冷,严禁快速冷却。因为马氏体不锈钢对冷却速度特别敏

感,锻后空冷也会出现马氏体,容易产生裂纹。

为消除锻造内应力,这类钢锻后应及时进行退火,以防在存放过程中产生裂纹。退火工艺:加热温度为 $750\sim 800^{\circ}\text{C}$,保温 $1\sim 3\text{ h}$,随炉冷至 600°C 后空冷。

三、锻造要点

马氏体不锈钢锻造要点见表 7.3-3。

表 7.3-3 马氏体不锈钢锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 马氏体不锈钢的始锻温度不能超过 $1100\sim 1250^{\circ}\text{C}$,要严格控制	加热温度过高时,将会出现 δ 铁素体,锻造时易开裂
② 这类钢加热时要积极采取措施,预防表面脱碳	表面脱碳会促使 δ 铁素体形成
③ 严格控制坯料的表面质量,消除划痕、裂纹等表面缺陷	这类钢对坯料表面缺陷很敏感,表面划痕都会在锻造过程中扩散成为严重的裂纹
④ 锻造后要缓慢冷却至 600°C 左右,然后空冷。模锻时要避免用于冷却模具的介质(如水)喷到锻件上引起开裂	这类钢对冷却速度特别敏感,锻后空冷也会出现马氏体,易产生裂纹
⑤ 锻后要及时退火	消除内应力,避免产生裂纹

第四节 铁素体型不锈钢的锻造

一、基本组织和性能

铁素体型不锈钢是含有大量 Cr 的低碳合金钢,含碳量 $\leq 0.12\%$,含 Cr 量为 $13\%\sim 27\%$,另外还可添加 Al、Mo 等合金元

素。典型钢种有 1Cr17、0Cr17Ti、1Cr25Ti 等。

铁素体型不锈钢在加热和冷却过程中不发生组织变化,始终是铁素体组织。

铁素体型不锈钢常温下有磁性。高温下的变形抗力比奥氏体不锈钢的低,故锻造性能比奥氏体不锈钢的好。铁素体型不锈钢在强腐蚀性介质中的耐腐蚀能力不及奥氏体型不锈钢,但具有良好的耐大气腐蚀,常用于制造汽轮机叶片、测量工具、医疗器械、食品机械等。铁素体型不锈钢不能用热处理的方法来改变力学性能,不能淬硬。

二、锻前加热、锻后冷却和热处理

1. 锻前加热

铁素体型不锈钢比奥氏体不锈钢具有较大的晶粒长大倾向,属于本质粗晶粒钢。这类钢当加热温度超过 930°C 时,晶粒易急剧长大。为保证晶粒细小,铁素体不锈钢的始锻温度不宜过高,以低于 1200°C 为宜。毛坯的最后一火始锻温度最好不超过 1100°C 。这类钢的终锻温度决定于铁素体的再结晶温度(因这类钢没有相变,终锻温度不决定于相变温度),铁素体的再结晶温度较低,故终锻温度可低至 700°C ,生产上常采用 $720\sim 780^{\circ}\text{C}$ 。铁素体不锈钢的锻造温度范围见表 7.4-1。

表 7.4-1 铁素体不锈钢的锻造温度范围

钢 号	锻造温度/ $^{\circ}\text{C}$	
	始锻温度	终锻温度
Cr17	$1050\sim 1100$	$750\sim 800$
Cr28	$950\sim 1000$	$720\sim 800$

2. 锻后冷却和热处理

这类钢锻后一般都采用空冷,只有在极特殊的情况下(如锻件截面尺寸很大或用钢锭锻造时),才采用坑冷。冷却后应进行再结晶退火消除内应力。再结晶退火的加热温度为 $750\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。

三、锻造要点

铁素体不锈钢的锻造要点见表 7.4-2。

表 7.4-2 铁素体不锈钢锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 严格控制锻造温度范围和变形量。 即始锻温度 $\leq 1100^{\circ}\text{C}$, 终锻温度 $\leq 800^{\circ}\text{C}$, 变形量 $\geq 12\%\sim 20\%$	防止锻件晶粒粗大, 塑性降低
② 锻前加热时, 850°C 以前的加热应缓慢, $\geq 850^{\circ}\text{C}$ 的加热可加快加热速度, 避免高温停留时间过长	这类钢在低温阶段的导热系数较低
③ 锻后必须快冷(空冷或水冷)	避免出现脆性。因为这类钢在 475°C 停留时间过长时, 由于铁素体内的 Cr 原子重新排列, 形成许多富 Cr 小区, 它们与母相共格, 引起晶格点阵畸变和内应力, 使韧性、塑性急剧下降, 即出现 475°C 脆性
④ 锻后、冷却后必须即时进行再结晶退火	消除内应力

第五节 高温合金的锻造

一、基本组织和性能

1. 基本组织

可进行锻造的高温合金是一种可进行塑性加工的变形高温合金。按其基体元素的不同,可分为铁基高温合金、镍基高温合金以及钴基高温合金,见表 7.5-1。

表 7.5-1 变形高温合金的分类及其基本组织

分 类	基 本 组 织	说 明
铁基变形高温合金	铁素体-珠光体 马氏体 奥氏体	目前我国主要使用奥氏体型铁基高温合金
镍基变形高温合金	奥氏体	
钴基变形高温合金		因价格昂贵、加工困难,故很少使用

2. 性能

衡量高温合金高温性能的优劣常常从两方面考虑,其一是高温抗氧化、抗腐蚀性;其二是高温强度、高温疲劳强度以及与之相适应的塑性。其中高温强度指标有:蠕变极限、持久强度和持久寿命等。因此,若按高温性能分,变形高温合金可分为热稳定变形高温合金(主要抗高温氧化和抗高温腐蚀)和热强变形高温合金(在高温下抵抗塑性变形和断裂)。热稳定变形高温合金主要应用于制造受力不大而工作温度很高的零件,如燃烧室火焰筒。热强变形高温合金主要用于制造高温下承受大负荷及在复杂应力下工作的零件,如涡轮盘、涡轮叶片等。而高温合金锻造主要

是热强变形高温合金的锻造。

高温合金在高温下变形抗力大,塑性低,图 7.5-1 是合金结构钢、铁基变形高温合金 (GH2036) 和镍基变形高温合金 (GH4037) 的塑性曲线。由图可以看出,铁基变形高温合金的高温塑性比镍基变形高温合金的高。在受冲击变形时,锻锤每次锤击的允许变形量,对铁基合金为 60%~65%,对镍基合金为 40%~50%,而合金结构钢加热到高温时变形量高达 80% 以上仍不出现脆性。由此可说明:高温合金钢的锻造性能不及合金结构钢。有些高温合金如 GH2132、GH2036 的锻造性能与奥氏体不锈钢相近,但是,大多数高温合金,尤其是镍基变形高温合金的锻造性能比奥氏体不锈钢的低,更难锻造。在一般变形速度下,高温合金的变形抗力比合金结构钢高出 4~7 倍。因此,锻造高温合金时,必须采用能力较大的设备。

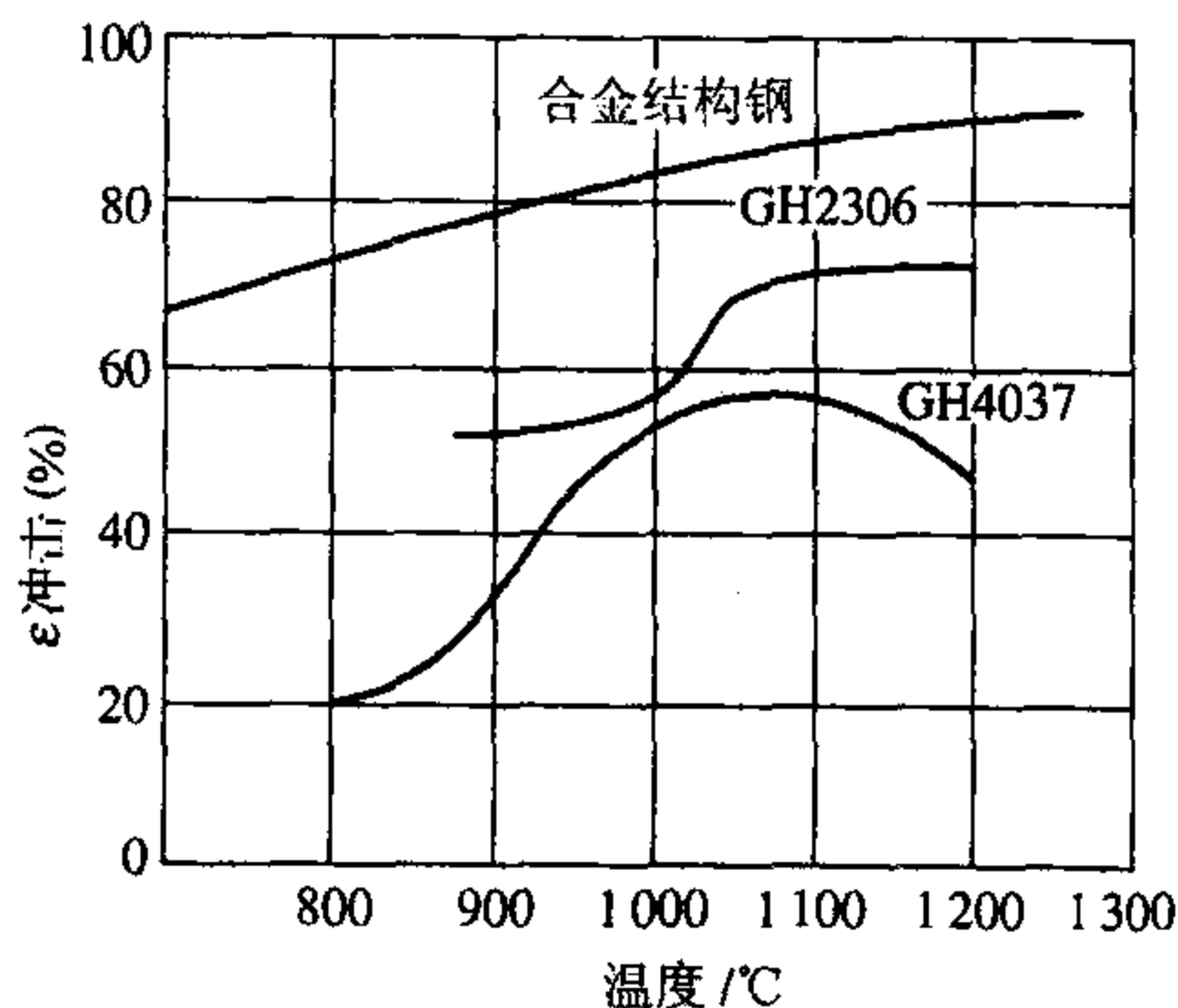


图 7.5-1 三种锻材的工艺塑性比较

变形速度也影响着高温合金的锻造性能。图 7.5-2 是镍基高温合金在两种变形速度(锻锤和压力机)下塑性随温度的变化。图中显示:由锻锤上的冲击变形改为压力机上静压变形时,镍基高温合金 GH4037 的工艺塑性明显提高:在 1100°C 时由 50% 提高到 75%。即对于像 GH4037 这样的较难锻造的高合金钢,可以通过降低变形速度来提高其锻造能力。

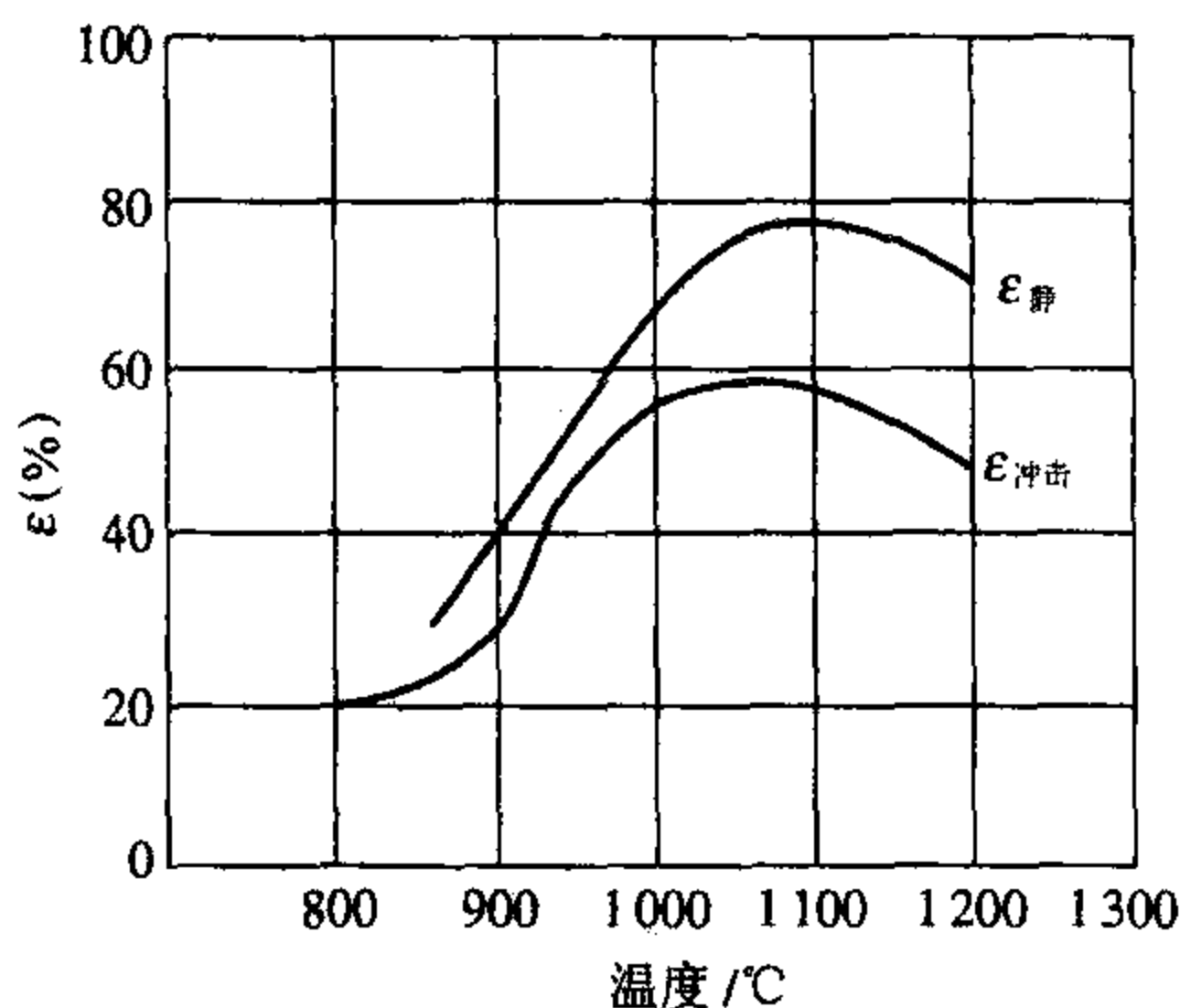


图 7.5-2 变形速度对 GH4037 塑性的影响

二、锻前加热、锻后冷却和热处理

1. 锻前加热

变形高温合金的始锻温度,随着合金成分的变化而不同。例如,铁基和镍基变形高温合金的始锻温度有所不同,其主要影响因素是合金的晶界强度、强化相的溶解程度、变形抗力的大小等。此外,还受锻件晶粒度要求的影响。在实际生产中常常根据合金随着温度变化其塑性变化的情况来决定始锻温度。

(1) 铁基变形高温合金的始锻温度

如图 7.5-3, 铁基变形高温合金 GH2036 在 1200°C 时, 由于合金中的 VC 、 Cr_{23}C_6 等强化相已基本溶解, 合金的组织比较均匀, 塑性较高, 适合锻造。因此, GH2036 的始锻温度可达 1200°C 。而以金属间化合物 $\gamma'[\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})]$ 为强化相的铁基高温合金 GH2132, 在 1075°C 时, 由于晶界上的硼化物 (M_3B) 大量溶解, 晶粒显著增大, 晶界强度下降, 故塑性开始下降, 而且冲击韧性值下降很快。因此, 其加热温度不宜超过 1100°C , 即 GH2132 的始锻温度 $<1100^{\circ}\text{C}$ 。如果锻件有晶粒度要求, 则其始锻温度 $<1050^{\circ}\text{C}$ 。

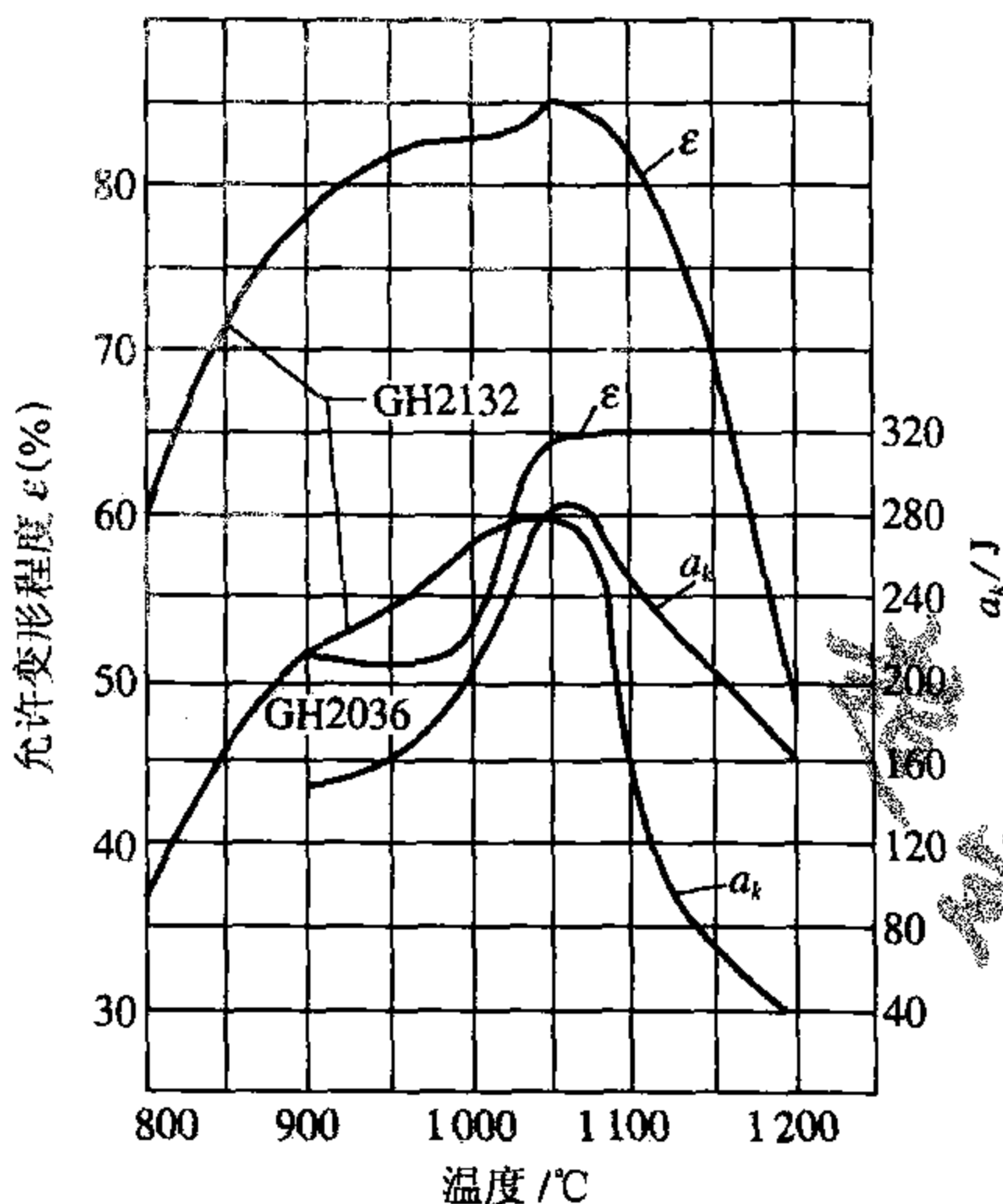


图 7.5-3 GH2132 和 GH2036 的塑性

(2) 镍基变形高温合金的始锻温度

如图 7.5-4, 镍基变形高温合金 GH4033 的冲击韧性从 1100℃ 开始下降, 温度超过 1150℃ 以后, 下降的速度更快, 而且压缩率 ϵ 也开始下降。GH4033 合金的基本组成相是 γ 固溶体和 γ' 强化相及少量的碳化物相 (Cr_7C_3 和 Cr_{23}C_6)。 γ' 相在 900~950℃ 温度范围里长时间保温便可全部溶入固溶体中, 而碳化物相要加热到 1250℃ 才溶入固溶体中。因此, 当加热到 1100℃ 以上温度时, 晶粒开始长大, 晶界强度减弱, 冲击韧性下降。所以, 镍基变形高温合金 GH4033 的始锻温度宜取 1100~1150℃。若在压力机上模锻, 由于是一次行程中完成模锻, 始锻温度可取下限

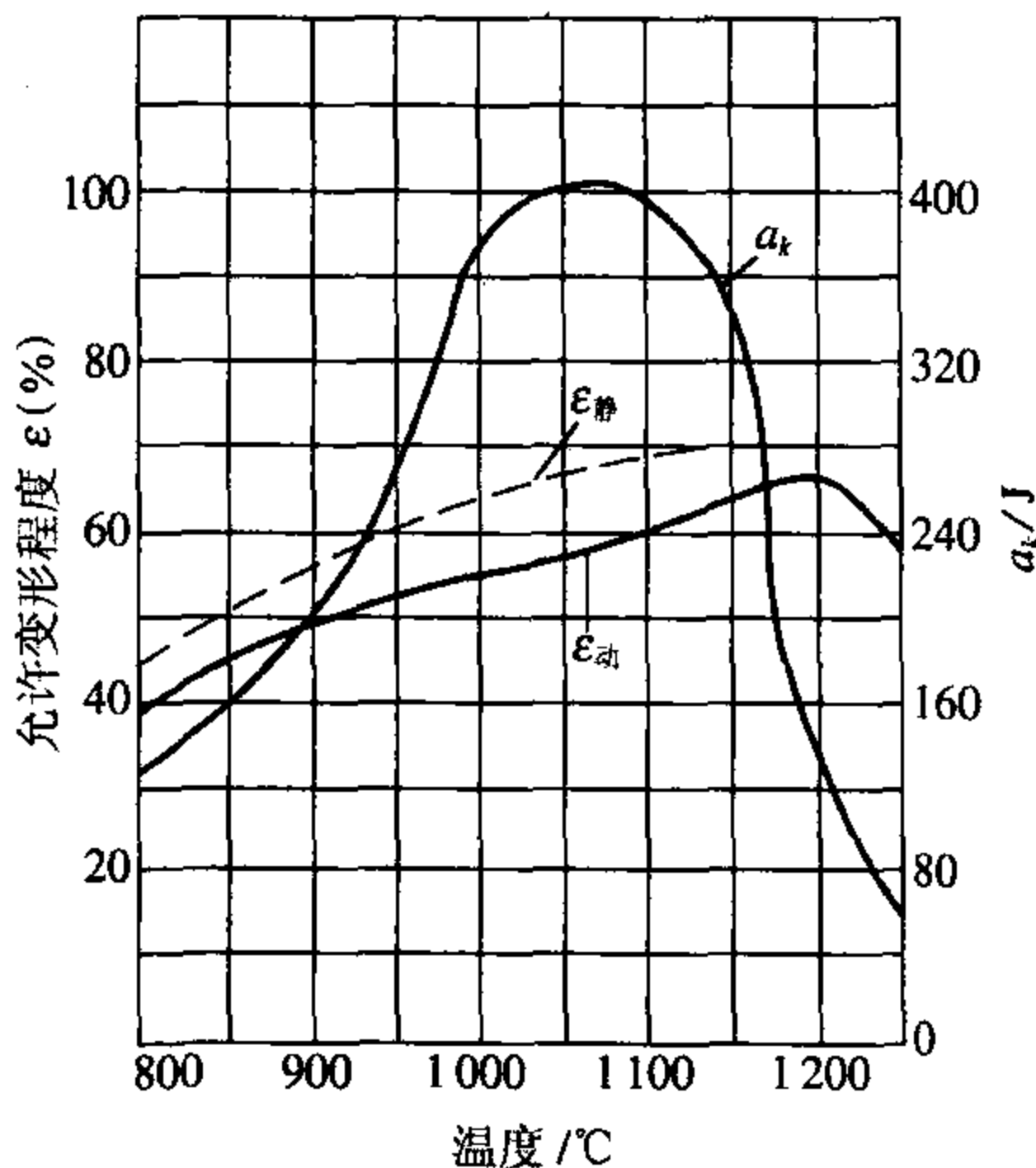


图 7.5-4 GH4033 毛坯的塑性

1 100℃;若在锤上模锻,由于是多次打击才能完成模锻,操作时间长,始锻温度可取上限 1 150℃。而对于变形抗力很大的镍基变形高温合金如 GH4037,其始锻温度还可取得再高一些,可达 1 190℃。

(3) 终锻温度

目前,我国使用的铁基和镍基高温合金都是奥氏体基体,在加热和冷却过程中没有相变。因此,其终锻温度主要受再结晶温度的限制,即终锻温度不能低于合金的再结晶温度。对于铁基变形高温合金,其终锻温度随化学成分不同,在 900~1 000℃范围内变动;对于镍基变形高温合金的终锻温度在 1 000~1 100℃范围内变动。

我国几种典型变形高温合金的锻造温度范围见表 7.5-2。

表 7.5-2 典型变形高温合金的锻造温度范围/℃

类 别	牌 号	始锻温度		终锻温度	
		铸 锭	毛 坯	铸 锭	毛 坯
铁基	GH2036	1 200	1 160~1 200	900	980~1 000
	GH2038	1 050	1 100	900	900
	GH1040	1 000~1 050	1 100~1 150	900~800	900~950
	GH2018	1 100	1 050	950	900
	GH2184	1 100	1 100~1 050	900	900~950
	GH2135		1 120		950
镍基	GH3030		1 180		900
	GH4033	1 150~1 180	1 100~1 150	980	980
	GH4037	1 160~1 180	1 190	950~1 000	1 050
	GH4043	1 160~1 180	1 190	950~1 000	1 050
	GH4044		1 180		1 050
	GH4049	1 180	1 100~1 180	1 060	1 060~1 080

2. 锻后冷却与热处理

变形高温合金的再结晶速度非常缓慢,只有在很高的温度及

适当的变形程度下,才能在变形过程中使再结晶彻底完成。在实际生产中常常利用锻后余热来促使再结晶的完成。因此,对于一些铁基高温合金的中、小型锻件,常采用堆放空冷;对于镍基高温合金,由于其再结晶温度比铁基的高,再结晶速度更慢,有时为了使锻件的组织是已完全再结晶的组织,常将锻好的锻件及时置入比合金再结晶温度高出 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的炉中,保温 $5\sim 7\text{ min}$,再空冷。经过这样处理的锻件,其晶粒度更加均匀。

变形高温合金的热处理一般是固溶处理、中间处理、最终时效处理等,见表 7.5-3。

表 7.5-3 变形高温合金的热处理

热处理名称	热处理温度/ $^{\circ}\text{C}$	目 的
固溶处理	$1\ 040\sim 1\ 230$	获得均匀的、过饱和的固溶体,控制一定的晶粒度
中间处理(或称二次固溶处理或中间时效处理)	$1\ 000\sim 1\ 150$	改变晶界碳化物状态,使经固溶处理后获得的晶界上连续的网状或胞状的碳化物转变成不连续的碳化物
最终时效处理	$700\sim 1\ 000$	获得细小、均匀的强化相

三、锻造要点

高温合金中由于其合金元素含量高,工艺塑性低,高温变形抗力大,导热系数低等特性,使其锻造工艺具有如下特点:

① 原材料表面质量要求高,若原材料是非真空熔炼的铸锭,锻造前要进行剥皮(车光),而真空熔炼和浇注的铸锭是否要剥皮,则应根据铸锭表面质量来决定,如果表面存在缺陷,则应剥皮。加热前坯料表面要求清洁干净,不能沾上盐、碱之类的物质。

因为在高温下它们会使坯料遭受腐蚀,形成凹坑等表面缺陷。

② 由于高温合金在低温区的导热性很差,故对于直径或厚度大于 200 mm 的坯料和铸锭,应采用分阶段加热制度。常常在 600~700℃ 炉温下装炉,然后缓慢加热到要求的温度,再保温不小于 2~3 h 的时间。对于有晶粒度要求的重要模锻件和容易受应力而开裂的合金,即使是小尺寸坯料的加热,也应采用分段加热制度。

③ 锻造要点。变形高温合金在锻造过程中应注意的事项见表 7.5-4。

表 7.5-4 变形高温合金锻造要点

锻造方法	注 意 事 项	原 因
自由锻	① 对塑性较好的锭料,可在平砧上按照方形→矩形→方形的顺序拔长。开始要轻击,随后可逐渐增加变形量 ② 对塑性低的锭料,宜采用半圆形砧(半径稍大于锭料),由于其难以获得较大的压缩量,可在其后再用角度为 95°左右的 V 形砧拔长以获得较大的压缩量 ③ 对于塑性稍好的锭料,可直接在 V 形砧上拔长	半圆形砧使锭料在各个方向均受到压力而不易开裂
	① 采用碳钢软垫 ② 采用端面中心凸起的砧块 ③ 采用润滑纸。即用预先涂有 1~2 mm 厚玻璃润滑剂的纸,放在镦粗坯料的端面上作润滑用 ④ 采用叠镦。即对于直径 D 和高度 H 之比较大的坯料,可将若干个坯料叠在一起进行镦粗	使坯料变形均匀

(续表)

锻造方法	注 意 事 项	原 因
模锻	① 模锻前模具应预热到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 或更高的温度。夹具应预热到 150°C 以上 ② 加热好的坯料要迅速送到锻压机上模锻,减少坯料出炉至锻完的时间 ③ 模锻过程中选用良好的润滑剂,保持模具的润滑	保证坯料再结晶过程全部完成;获得细小均匀的晶粒组织;提高模具寿命和坯料的表面质量

④ 锻造后的冷却速度要慢,以保证锻件的再结晶过程完成的彻底。普通高温合金的中小型锻件常采用堆放空冷;对镍基高温合金,可将锻好的锻件及时放进比该合金再结晶温度高出 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的炉中,保温 $5\sim 7\text{ min}$,再空冷。

四、典型缺陷及预防措施

高温合金锻件典型缺陷及预防措施见表 7.5-5。

表 7.5-5 高温合金锻件典型缺陷及其预防措施

缺陷种类	形成原因	预防措施
表面粗晶	① 表层变形程度小,介于临界变形范围之内 ② 终锻时锻件表面温度低于合金的再结晶温度,留下了形变强化的痕迹,热处理后形成粗大再结晶晶粒	① 提高模具预热温度到 350°C ,夹具等工具预热到 150°C ② 操作迅速,防止闷模,整个模锻操作时间最好不要超过 10 s ③ 不要使整个坯料表面与模具表面接触,以免温度急剧下降。可选用效果较好的润滑剂

(续表)

缺陷种类	形成原因	预防措施
锻件内晶粒大小不均匀	① 变形分布不均匀,变形小的部分介入临界变形 ② 加热温度过高,或原始晶粒度过大 ③ 锻造温度过低,形成冷、热混合变形,固溶处理后,体内产生大小不均匀晶粒	① 严格控制锻造温度 ② 采用原始晶粒度小的棒料 ③ 改善坯料形状,使模锻时各断面变形尽量均匀一致
锻造裂纹	① 加热温度过高,产生了过热、过烧 ② 表面温度下降过多而引起塑性严重下降 ③ 原材料表面有裂纹、磨痕等缺陷,或皮下有夹杂、分层 ④ 坯料中心有残余缩孔或严重疏松 ⑤ 锤击力过大或变形量太大	① 严格控制锻造温度 ② 改变坯料形状,使模锻时不出现局部质量问题,尽量减小表面拉应力 ③ 严格检查原材料的表面和内部质量,棒材在车床上剥皮 ④ 表面温度降低过多时,应重新回炉加热再锻造 ⑤ 降低变形速度,减小变形程度
带状偏析	① 原材料中化合物呈带状分布 ② 原材料中合金元素偏析严重(特别是枝晶间钛含量容易偏高),在锻造时变成带状	改善冶炼质量,加强对原材料质量的检查

(续表)

缺陷种类	形成原因	预防措施
点状偏析	冶炼时脱氧不良,促使硼和碳化物堆集起来,或铸锭中冷凝较慢,硼、碳等元素发生聚集	改善冶炼工艺,或选用小截面铸锭
异金属夹杂	由冶炼过程带来或在浇注过程中掉入了异金属块	严格检查原料,把有异金属的夹杂挑出来
缩孔和疏松	铸锭头部在锻造前未切除干净	加强质量检查,把有缩孔原材料的端部切除掉,或把有这类缺陷的锻件挑出来
残留铸造组织	铸锭内有严重枝晶组织,锻造比不够大	增大锻造比

第六节 有色金属的锻造

一、铜及铜合金

1. 铜及铜合金的锻造性能

铜及铜合金具有良好的塑性,较小的变形抗力。但是铜及铜合金随着化学成分的不同、温度的变化,其锻造性能也有所变化。

由图 7.6-1 可以看出,纯铜的塑性在 500℃以下,随着温度的升高而降低,在 500~600℃塑性最低;超过 600℃以上,随着温

度的升高其塑性也增大,而在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 温度范围内其塑性非常高,且变形抗力(强度)特别低。即在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 范围内,纯铜的锻造性能最好。若温度超过 900°C 以上,由于晶粒迅速长大,使得塑性下降,锻造性能变差。

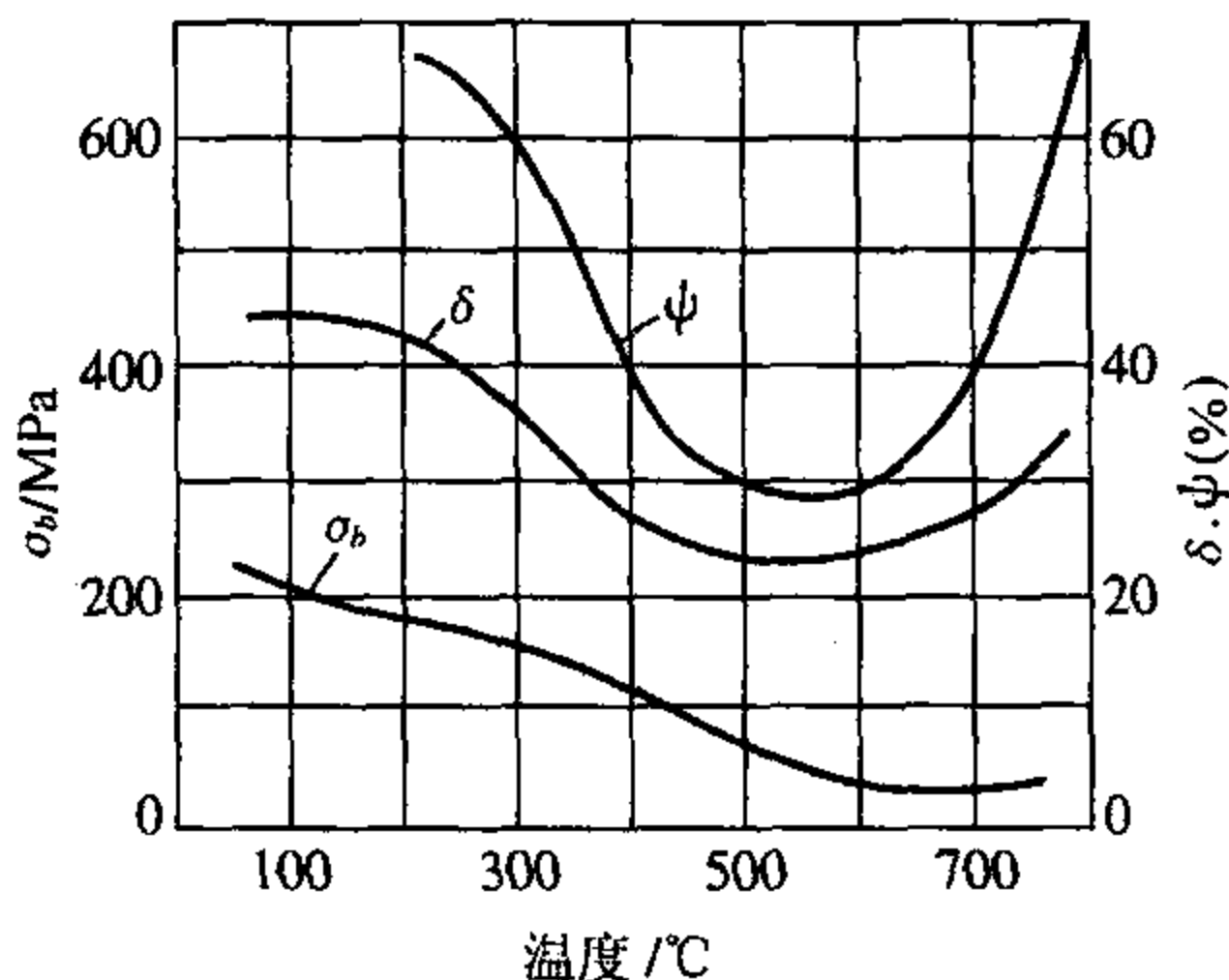


图 7.6-1 纯铜塑性随温度的变化

比较图 7.6-2 与图 7.6-1 普通黄铜随着温度的变化其锻造性能的变化与纯铜的相近。即在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 温度范围内塑性低,锻造性能差。在 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 温度范围的锻造性能好,加热温度超过 900°C 以后,锻造性能变差。在 200°C 以下的低温区,普通黄铜虽然有较高的塑性,但变形抗力(强度)高,故锻造性能差。

特殊黄铜由于加入合金元素对组织的影响,塑性比普通黄铜低,尤其是铅黄铜的塑性最差。铅黄铜的锻造加热温度比普通黄铜的低。图 7.6-3 是几种铅黄铜与普通黄铜 H80 塑性曲线的比较。

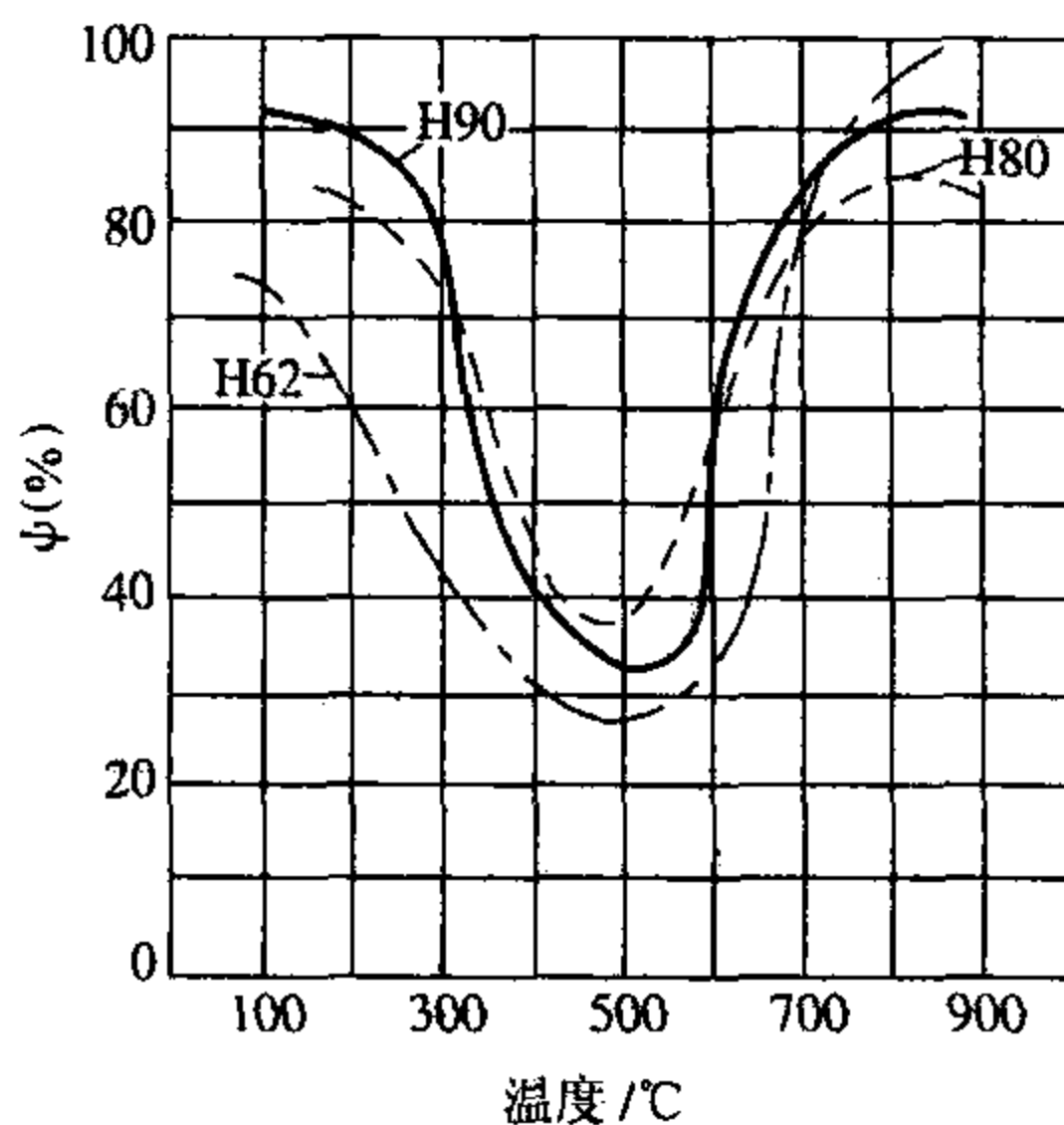


图 7.6-2 几种普通黄铜的塑性随温度的变化

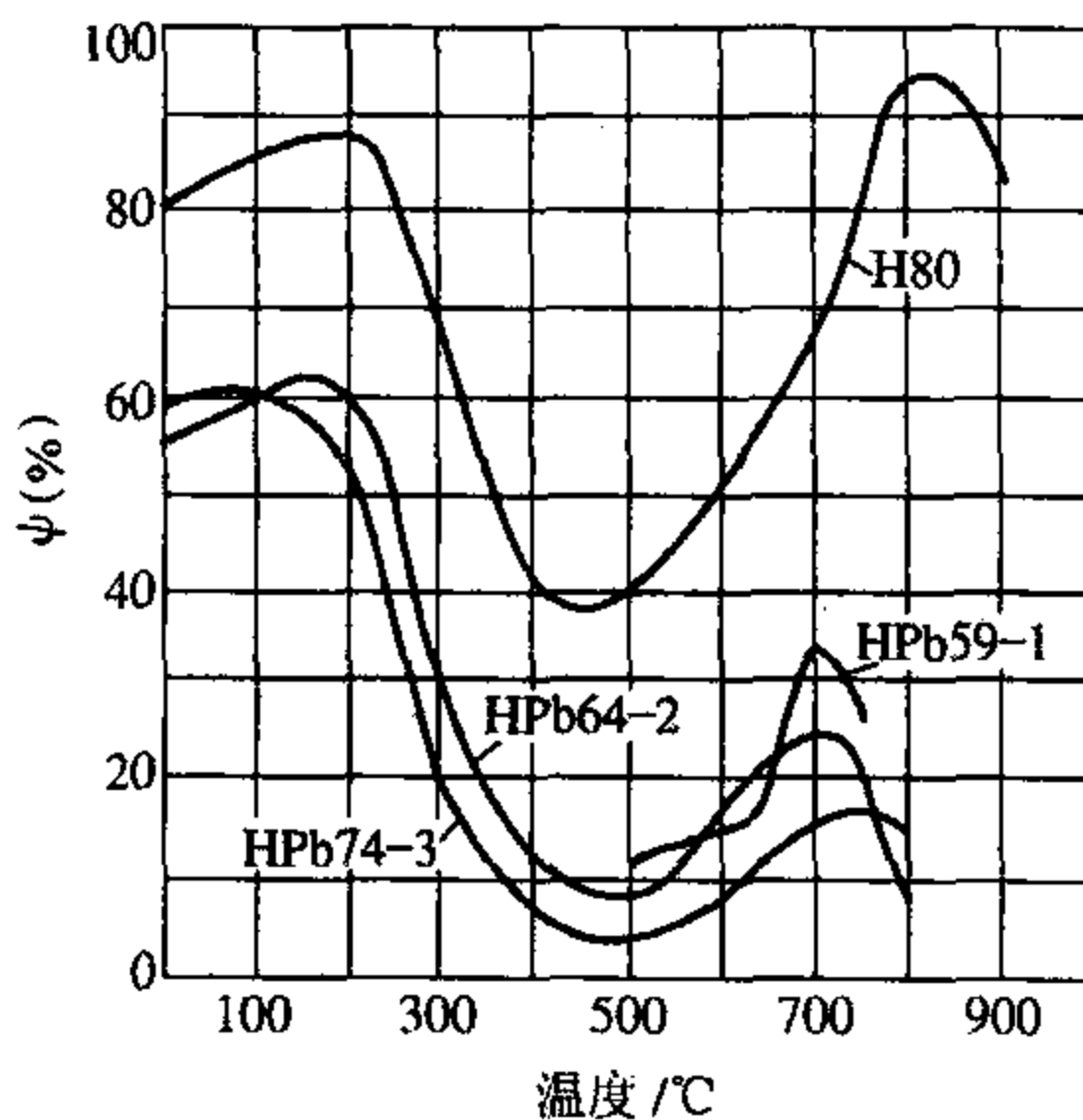


图 7.6-3 几种铅黄铜与 H80 的塑性比较

青铜中随着合金元素和含量的不同,其锻造性能各不相同,甚至差别很大。由于青铜的种类繁多,组织复杂,因此,生产中必须根据各种青铜的工艺特性,制定合理的锻造工艺。图 7.6-4 是 QBe2 和 QSn7-0.2 两种青铜的塑性随温度变化的曲线。

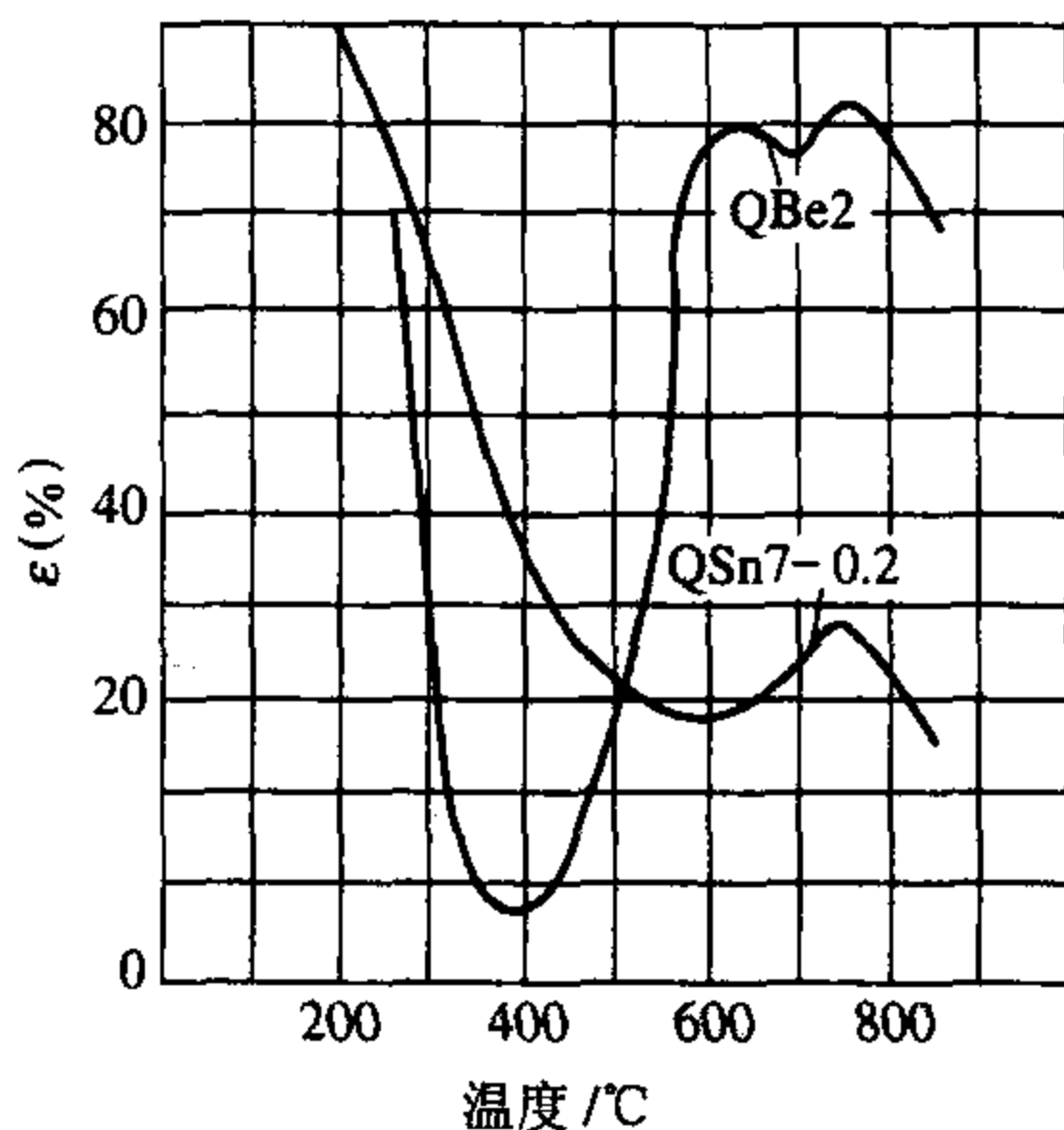


图 7.6-4 两种青铜的塑性随温度变化的曲线

2. 铜合金的锻造温度范围

表 7.6-1 是常用铜合金的锻造温度范围。

表 7.6-1 常用铜合金的锻造温度范围

类 别	牌 号	始锻温度/℃	终锻温度/℃
纯铜	T1、T2、T3、T4	960~1 000	800~850
黄铜	H59、H62	800~850	650~700
	H68	830~850	700~750
	H70	850~870	700~750
	H80	870~890	700~800
	H90	900~950	700~800
	HPb59-1	780~800	640~650
	HPb63-3	850	700
	HSn60-1	800~820	650~760
	HSn62-1	750~820	650~700
	HFe59-1-1	730~780	650~680
	HNi65-5	850~870	650~750
	HSi80-3	820~850	700~750
青铜	QAl5、QAl7	850~900	700~750
	QAl9-2	960	800
	QAl9-4、QAl10-3-1.5	830~900	700~750
	QAl10-4-4	900	800
	QBe2	750~800	620~650
	QSi3-1	780~800	600~630
白铜	B19	1 000~1 030	850~980
	BZn15-20	940~970	810~950
	BMn3-12	820~850	700~800
	BMn43-0.5	1 120~1 150	750~1 100
	BFe30-1-1	960	900

3. 铜合金锻造要点

铜合金锻造的要点见表 7.6-2。

表 7.6-2 铜合金锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 应严格、准确控制加热温度,锻造时应先将操作工具预热到 150℃ 左右,操作要快	该类合金锻造温度范围窄
② 最好在电阻炉中加热	可以准确控制温度
③ 可以在高温下直接装炉	铜合金的导热性好;提高加热速度
④ 该类合金的锻造一般不使用铸锭,而在使用铸锭时要进行表面清理或剥皮,并切除冒口	
⑤ 该类合金模锻后在空气中冷却	

4. 铜合金锻件典型缺陷及预防措施

铜合金锻件常见的缺陷种类、形成原因及预防措施见表 7.6-3。

表 7.6-3 铜合金锻件典型缺陷及预防措施

缺陷种类	形 成 原 因	预 防 措 施
“橘皮”表面	HPb59-1 等 $\alpha+\beta$ 两相黄铜的加热温度超过了 $\alpha+\beta \rightleftharpoons \beta$ 转变温度	控制加热温度,使其在 $\alpha+\beta \rightleftharpoons \beta$ 转变温度以下

(续表)

缺陷种类	形成原因	预防措施
与锤击方向成 45° 裂口	① 墩粗低塑性难变形铜合金时,变形量过大 ② 终锻温度过低,坯料塑性严重下降	① 减小墩粗时的变形量 ② 终锻温度不低于表 7.6-1 所列数值
分层	铸锭或毛坯中心有偏析、疏松等冶金缺陷	增大变形量,使锻件内各变形区的变形量大于 15%
墩粗毛坯侧表面纵向裂纹	① 墩粗变形量过大,侧表面上产生较大拉应力 ② 加热温度偏高,锤击过重	① 减小变形量,及时消除侧表面上不平度 ② 严格控制加热温度,锤击要轻而快
表面龟裂或密集细小裂纹	① 锻件内有残余应力,在潮湿大气或含氮盐大气中引起了应力腐蚀 ② 锻后未及时进行消除应力退火	① 锻件存放在干燥、洁净的空气中 ② 锻后及时在 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 温度中退火

二、铝及铝合金

形变铝合金又可分为:可以热处理强化的形变铝合金和不能热处理强化的形变铝合金。

1. 铝及铝合金的锻造性能

从塑性来看,铝合金的塑性主要受合金的成分、变形温度和变形速度的影响。图 7.6-5 是三种铝合金的塑性图。由图可见,合金化程度低的形变铝合金如防锈铝 3A21,在 $300 \sim 500^\circ\text{C}$ 温度范围内都具有很好的塑性,静变形和动变形的塑性相差不

大。因此,此类合金(即防锈铝)无论在压力机上还是锤上锻造,都可获得较大的变形量,其变形程度可达80%以上;合金化程度稍高的形变铝合金如锻铝2A50,在350~500℃温度范围内的塑性较高,锤上锻造时变形程度可达50%~60%,压力机上锻造时变形程度可高达80%以上;而合金化程度更高的形变铝合金如超硬铝7A04,在350~400℃温度范围内,锤上锻造时其允许变形程度为30%~60%,在350~450℃温度范围内,压力机上锻造时其允许变形程度为65%~85%。由此可见,随着合金化程度的加大,铝合金的塑性降低。

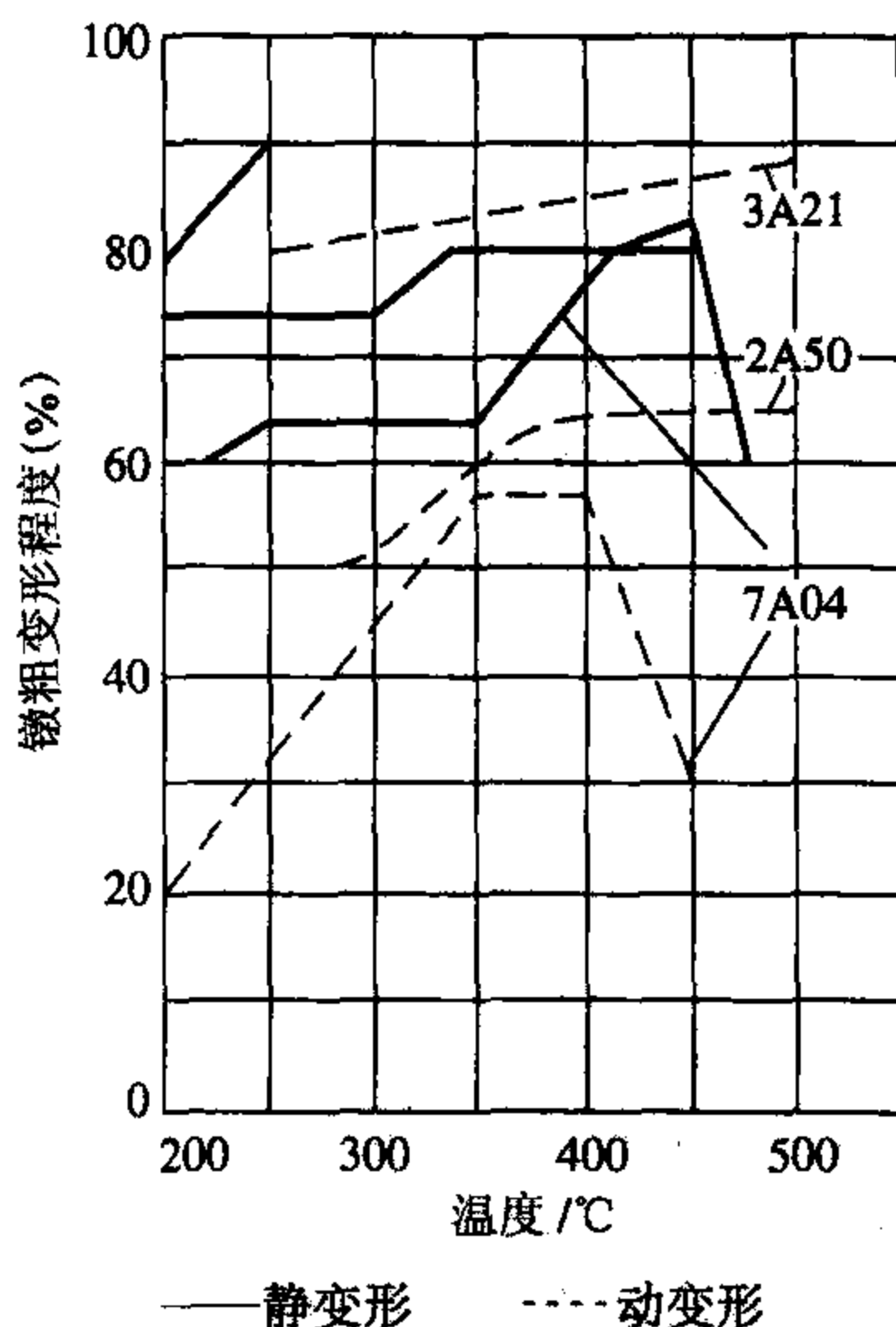


图 7.6-5 三种铝合金的塑性随温度的变化

从变形抗力来看,低强度铝合金的变形抗力比低碳钢还低,而高强度铝合金的变形抗力则较高。

总而言之,形变铝合金的锻造性能比较好,用低碳钢能锻出的各种形状的锻件,用形变铝合金都能锻出来,且适合各种锻造方法(自由锻、模锻、辊锻、顶锻等)。值得注意的是铝合金变形时摩擦系数大,流动性差。故在金属流动量相同情况下,形变铝合金比低碳钢变形需要多消耗约 30% 的能量。

2. 铝合金的锻造温度范围

铝合金的锻造温度范围见表 7.6-4。

表 7.6-4 铝合金锻造温度范围

类 别	牌 号	始锻温度/℃	终锻温度/℃
工业纯铝	1070A、1060、1050A、1035、1200	500	300
防锈铝	5A03	470	360
	5A02、3A21	470	360
	5A06	470	400
硬铝	2A01、2A11、2A16、2A17、	470	360
	2A02、2A12	460	360
锻铝	6A02	480	380
	2A50、2B50、2A70、2A80、2A90	470	360
	2A14	460	360
超硬铝	7A04、7A09	450	380

3. 铝合金锻造要点

铝合金的锻造温度范围窄,始锻温度低,导热性好,在高温下表面摩擦系数高,黏附力大,对裂纹的敏感性强,故锻造铝合金时应注意以下问题,见表 7.6-5。

表 7.6-5 铝合金锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 最好采用电阻炉加热,炉内最好装有强迫空气循环的装置,使炉温均匀	以便准确控制加热温度
② 坯料可直接高温装炉而不需预热,锻造过程应在静止的空气中进行,操作工具必须预热至 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。操作应迅速准确,锤击要轻快,拔长时应随时倒棱,以免棱角部分散热过快产生裂纹	尽量防止热量损失,延长每一火的锻造时间
③ 模具表面应涂以润滑剂,保证表面光滑	降低铝合金在高温时的黏附力
④ 需冲孔的锻件,最好先粗加工内孔再进行扩孔	这类合金冲孔时,铝屑往往黏附在冲头表面不易去除,造成扩孔时产生裂纹和折叠等缺陷
⑤ 锻造过程中如出现裂纹和折叠等缺陷,要及时清除	避免裂纹继续扩大而成废品

4. 铝合金锻件典型缺陷及预防措施

铝及铝合金锻件常见的缺陷名称、形成原因及预防措施见表 7.6-6。

表 7.6-6 铝合金锻件典型缺陷及预防措施

锻造方法	缺陷种类	形成原因	预防措施
自由锻	表面裂纹	① 坯料表面有折叠、划痕等缺陷 ② 锻造温度偏高或偏低 ③ 铸锭质量不好, 氢含量高	① 消除表面缺陷, 并把棱角倒圆 ② 严格控制锻造温度 ③ 严格检查铸锭质量
	中心裂纹	① 圆截面坯料滚圆时压下量太小 ② 坯料中心质量不好	① 加大滚圆时的压下量 ② 严格检查坯料内部质量
	折叠	① 拔长送进量太小, 压下量太大 ② 砧块圆角半径太小	① 控制适当的送进量和压下量 ② 加大砧块圆角半径
	端部内凹	① 拔长时变形仅在表面层 ② 设备功率过小 ③ 坯料未热透	① 加大压下量 ② 采用较大吨位设备 ③ 保证充分均匀加热
	弯曲	① 长径比大于 2.5~3 ② 坯料温度不均 ③ 坯料端面不平, 与中心轴不垂直	① 减小长径比 ② 充分均匀加热 ③ 车平端面 ④ 如发现弯曲, 立即进行矫直

(续表)

锻造方法	缺陷种类	形成原因	预防措施
模 锻	粗 晶	① 温度过高、变形量偏小,造成锻件加厚部分出现大晶粒 ② 毛边区附近和肋根部变形量太大 ③ 表层变形程度太小	① 选择坯料时应使厚大处有必要的变形量 ② 变形量大时要多次模锻逐步成形 ③ 提高模具表面质量,降低粗糙度,使 R_a 值达 $0.2 \sim 0.1$,并加强模具的润滑和预热
	分模线裂纹	① 金属加热不好 ② 毛边太薄 ③ 模锻锤功率过大 ④ 模腔到毛边槽的出口半径太小	① 提高加热质量 ② 加厚毛边 ③ 选择功率适当的模锻锤 ④ 增大出口圆角半径
	穿流或射流	① 肋太薄、肋间距太大 ② 肋与腹板连接半径小 ③ 加热质量不好 ④ 模具预热不好 ⑤ 腹板太薄 ⑥ 顶锻件金属量过多	① 增加肋的厚度 ② 增大连接半径 ③ 提高加热质量 ④ 模具充分预热 ⑤ 加厚腹板 ⑥ 改善顶锻槽形状,使之与终锻槽相匹配
	折叠	由下列原因引起了金属回流: ① 模具圆角半径小 ② 坯料放置不正 ③ 坯料过热 ④ 坯料局部金属过多或过少 ⑤ 棒材有粗晶环	① 坯料盖住肋腔,不使金属横向流动过多 ② 增大模具圆角半径 ③ 将坯料放正 ④ 严格控制加热温度 ⑤ 去除粗晶环

三、镍及镍合金

1. 镍及镍合金的锻造性能

镍及镍合金随着温度的变化具有较高的工艺塑性, 较低的变形抗力, 因此该类合金的锻造性能好。

2. 镍及镍合金的锻造温度范围

镍及镍合金的锻造温度范围见表 7.6-7。

表 7.6-7 镍及镍合金的锻造温度范围

类 别	牌 号	始锻温度/℃	终锻温度/℃
纯镍	N2、N4、N6、N8、DN	1 200~1 250	650~800
阳极镍	NY1、NY2、NY3	1 200~1 250	650~800
镍锰合金	NMn3	1 200	1 150
	NMn5	1 250	1 150
镍铜合金	NCu40-2-1	1 180	1 040
	NCu28-2.5-1.5	1 156~1 175	926~975

3. 镍及镍合金锻造特点

① 由表 7.6-5 可以看出, 纯镍的锻造温度范围较大, 以轧制或挤压的型材为原料进行锻造时, 锻造性能很好, 一般不必采取特殊措施。而镍合金的锻造温度范围窄, 应用电阻炉加热以便仪表控温, 镍合金的锻造特点与前述的铜合金相似, 请参阅。

② 该类合金的加热最好在电阻炉中进行, 不能在含硫量高的重油加热炉、燃煤加热炉中加热, 以保证锻件的力学性能和工艺性能。

③ 镍及镍合金以各种规格的板材、带材、管材、线材和棒材供应, 通常只进行小变形量的改锻工作。

四、钛及钛合金

钛及钛合金具有密度小、强度高、耐高温、耐腐蚀及良好的低温韧性等性能。因此,钛及其合金是飞机、导弹、火箭、宇宙飞船、海军舰艇及化工设备等方面的重要结构材料。钛合金特别适宜用在 $300\sim 600^{\circ}\text{C}$ 下工作的航空航天材料,因为,在这个温度范围内,铝合金和镁合金的强度低,不能使用;耐热钢虽强度较高,但因其比重大也不适用。

1. 钛合金的锻造性能

从塑性来看,钛合金的工艺塑性随着温度的升高而增大(图 7.6-6),温度升至 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 范围,各种钛合金的塑性都达到其最大值。最大的变形程度都大于 80% ,而且可将铸态钛合金的塑性提高到接近锻态的塑性。

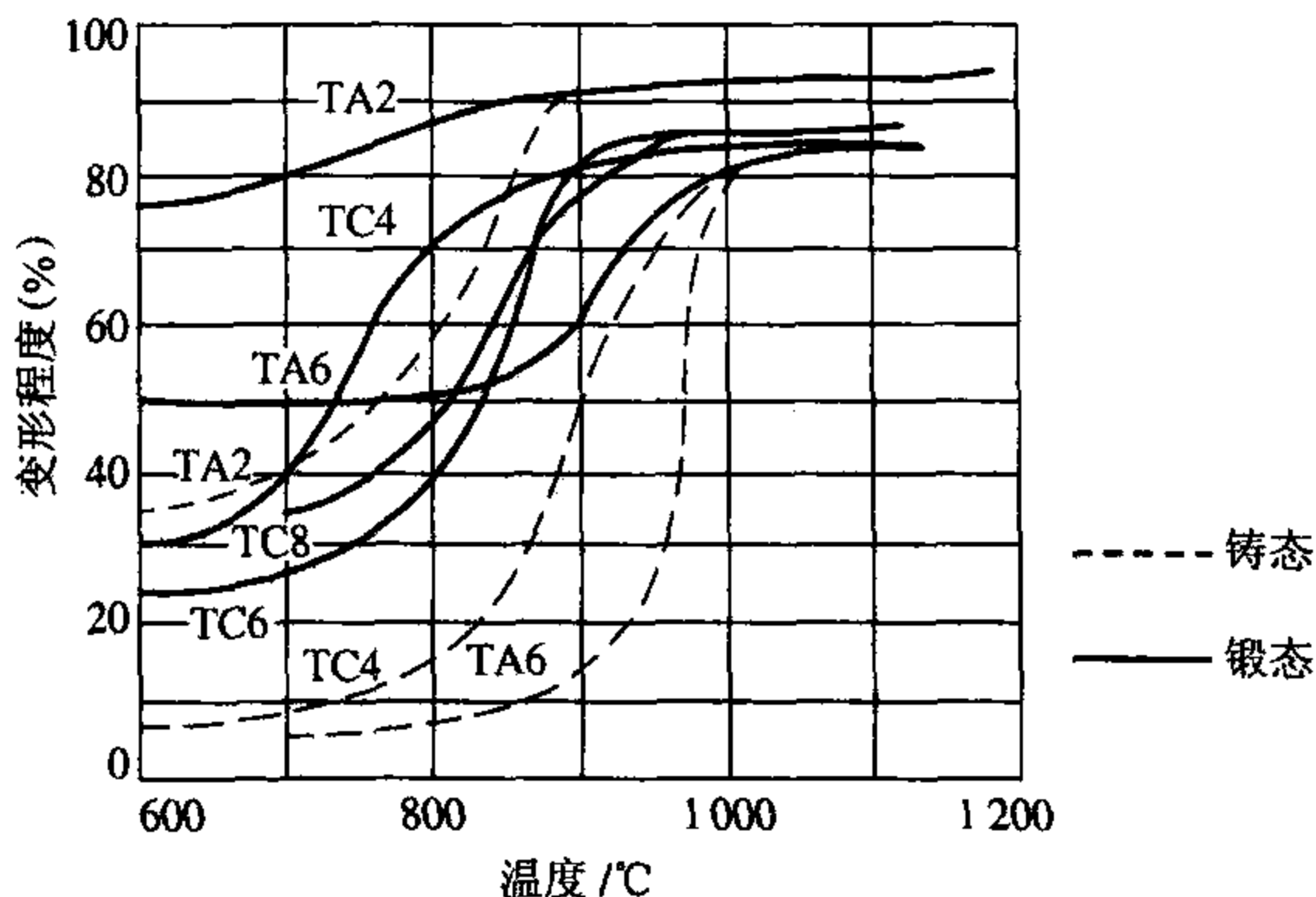


图 7.6-6 钛合金的变形程度与温度的关系

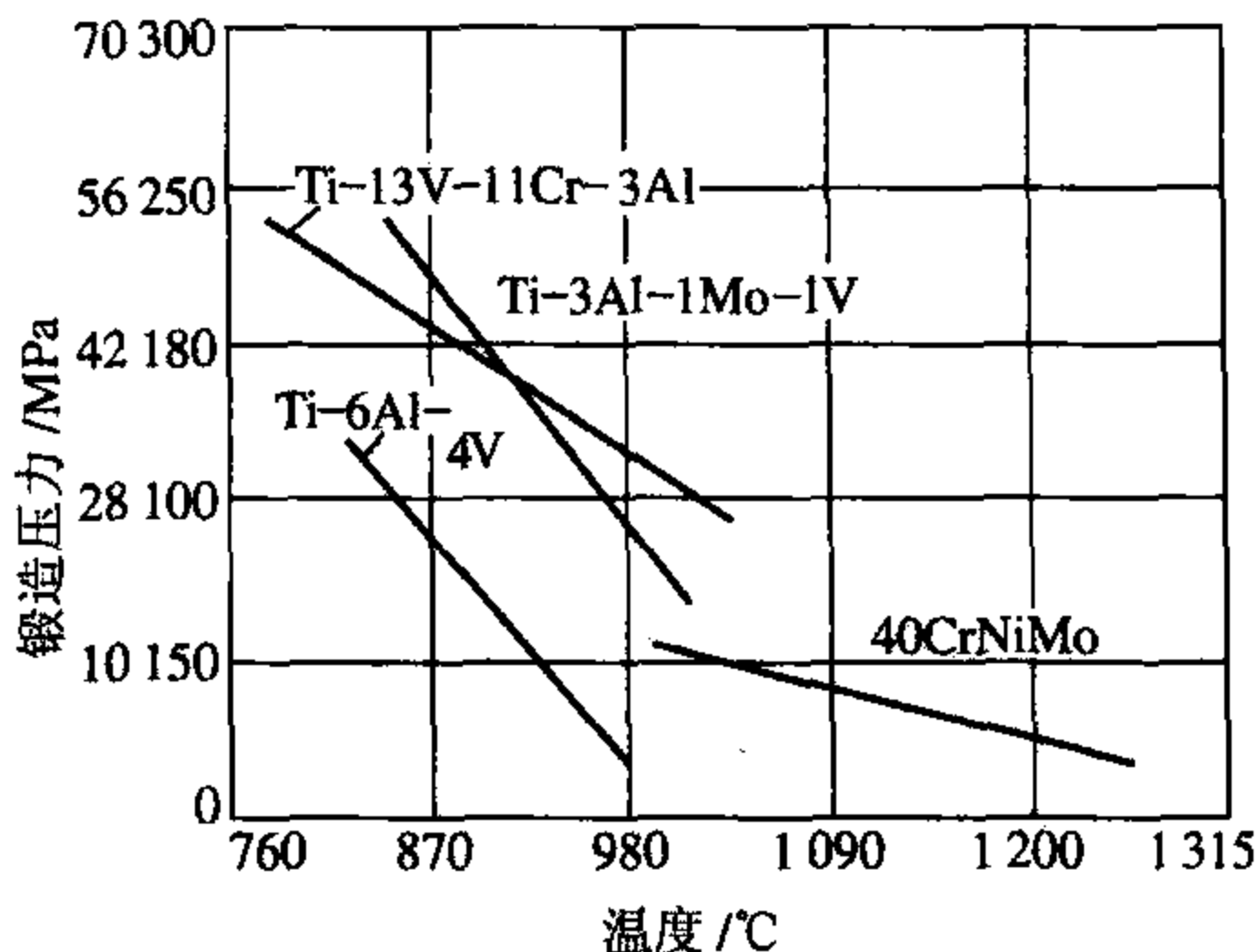


图 7.6-7 几种钛合金的变形抗力

从变形抗力来看,在锻造温度下,钛合金的变形抗力比铬镍钼合金结构钢(40CrNiMo)的大(图 7.6-7)。但应引起注意的是:钛合金的变形抗力随温度降低而增大的幅度比合金结构钢 40CrNiMo 大得多。所以锻造操作时应严格控制,以便坯料出炉后能在最短的时间内温度下降最少的情况下完成锻造。

总之,钛合金的锻造性能比合金结构钢、不锈钢差,但比镍基高温合金好。

2. 钛及钛合金的锻造温度范围

α 钛合金,一般都在 $\alpha+\beta$ 相区温度范围内进行锻造,因为此时锻造性能良好。如果在 α 相区进行锻造,常常出现脆性且有较大的变形抗力,在 β 相变以上温度锻造会引起 β 晶粒粗化。

对 α 钛合金铸锭自由锻开坯,始锻温度可取在 β 相变温度以上,以便降低变形抗力。

β 钛合金是介稳定合金,加热时有同素异构转变,如果始锻温度超过 β 转变温度,也会产生脆性。但是,一方面,由于 β 钛合金的合金化程度高,故其 β 转变温度较低,若在该温度范围内($700\sim 800^{\circ}\text{C}$)锻造,将因变形抗力过大使锻造困难;另一方面,该类合金加热到 β 转变温度以上后, β 晶粒长大的倾向较少,不如 α 钛合金和 $\alpha+\beta$ 钛合金。因此, β 钛合金的始锻温度总在其 β 转变温度以上。

$\alpha+\beta$ 钛合金一般在 $\alpha+\beta$ 两相区的温度范围内锻造。因为此时合金具有较好的锻造性能,且锻后能获得具有极好室温塑性的等轴晶粒。若在 β 相区的温度范围内锻造,因温度高导致 β 晶粒粗大,锻后冷却将产生针状 α 组织,使钛合金的室温塑性下降,强度不均匀。实践证明:只有当 $\alpha+\beta$ 钛合金的组织中含有 $20\%\sim 30\%$ 的等轴 α 细晶粒时,合金才具有最佳的综合力学性能。如果在比 β 相变温度低 50°C 左右的温度下终止锻造,且变形量达到 50% 以上,便可获得上述组织。

$\alpha+\beta$ 钛合金铸锭进行自由锻开坯时,始锻温度应在 β 相区,终锻温度应在 $\alpha+\beta$ 相区。这样可以提高塑性,减少变形抗力,即提高锻造性能,还可以扩大锻造温度范围。

钛及钛合金的锻造温度范围见表7.6-8。

表 7.6-8 钛及钛合金的锻造温度范围

牌 号	β 转变温度/ $^{\circ}\text{C}$	铸 锭		已变形的坯料	
		始锻温度/ $^{\circ}\text{C}$	终锻温度/ $^{\circ}\text{C}$	始锻温度/ $^{\circ}\text{C}$	终锻温度/ $^{\circ}\text{C}$
TA2、TA3		980	750	900	700
TA4		1 050	850	980	800

(续表)

牌 号	β 转变温度/°C	铸 锭		已变形的坯料	
		始锻温度 /°C	终锻温度 /°C	始锻温度 /°C	终锻温度 /°C
TA5		1 080	850	980	800
TA6		1 150	900	980	800
TA7	1 025~1 050	1 150	900	1 000	850
TA8	950~990	1 150	900	960	850
TB1	750~800			1 150	850
TC1	910~930	980	750	900	700
TC3	920~960	1 050	850	920	800
TC4	960~1 000	1 050	850	950	800
TC5	930~980	1 150	750	950	800
TC6	930~980	1 150	750	950	800
TC8	970~1 000	1 150	900	970	850
TC9	970~1 000	1 150	900	970	850
TC10	930~960	1 150	900	930	850

3. 锻造要点

钛及钛合金的锻造要点见表 7.6-9。

表 7.6-9 钛及钛合金锻造要点

注 意 事 项	原 因
① 锻造加热应在电炉中进行,必要时(如精密模锻)最好在保护性气氛中进行,或者在坯料表面涂一层玻璃防护涂料	这类金属在高温下会与加热炉中的氮、氧、氢等气体发生强烈作用,除形成氧化皮外,氮、氧会在坯料表层形成硬而脆的 α 脆化层,氢则能深入坯料内部形成氢脆
② 模锻时,模具应预热。锤上模锻或压力机上模锻时,模具预热到 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$,水压机上模锻时,模具应预热到 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$	减少坯料热量损失
③ 模锻时,应对模膛进行润滑处理	防止粘模,改善合金变形时的流动性
④ 形状复杂的低塑性钛合金锻件应选择在压力机上模锻	变形速度低,可提高其塑性,减小变形抗力
⑤ 锻造这类金属铸锭时应先轻后重,操作迅速,此外要及时倒棱	防止出现冷棱角或锻裂现象

4. 钛合金锻件典型缺陷及预防措施

钛合金锻件常见的缺陷种类、形成原因及预防措施见表 7.6-10。

表 7.6-10 钛合金锻件典型缺陷及预防措施

缺陷种类	形成原因	预防措施
β 脆性(过热)	① 加热温度偏高,或毛坯离碳化硅棒太近 ② 变形量太大,变形热效应使坯料温度升高过多,超过了 β 转变温度	① 严格控制加热温度,规定毛坯在炉中的位置 ② 减小变形量
表面裂纹	① 加热温度过高或时间过长,形成了较厚的 α 脆化层 ② 没有彻底清除表面缺陷	① 严格控制加热温度和时间 ② 在保护气氛炉中加热 ③ 仔细清除表面缺陷
内部裂纹和夹杂	① 铸锭中心有冶金缺陷,如气孔、夹杂物、氧化膜等 ② 润滑剂在挤压过程中被挤入棒材中	用超声波探伤或 X 射线透射检查,挑出不合格的毛坯
裂缝或裂口	① 合金工艺塑性低 ② 锻造温度偏低 ③ 锻造时毛坯局部变冷	① 在压力机上锻造 ② 严格控制终锻温度,使其不低于表 7.6-6 的数据 ③ 锻造工、模具要预热至 200~250℃
组织粗大不均匀或力学性能偏低	① 锻造温度偏高 ② 没有充分锻透 ③ 加热时毛坯没有均匀热透 ④ 毛坯在锻造时发生过热	① 采用两次或三次锻拔,变换侧面和棱角,使锻造温度从 β 相区温度逐渐降到 $\alpha+\beta$ 相区温度,在 $\alpha+\beta$ 相区温度终止锻造 ② 锤击要轻,或改用压力机锻造

第八章 锻件的锻后工序

第一节 切边和冲孔

开式模锻生产的锻件均有毛边,需切边工序加以切除;当模锻件带有冲孔连皮时,则需要冲孔工序。切边和冲孔通常在压力机上进行。

一、热冲切和冷冲切

切边和冲孔与模锻工序在同一火次进行,即模锻后立即切边和冲孔,称为热冲切;切边和冲孔在模锻以后集中在常温下进行,称为冷冲切。二者的特点及应用范围见表 8.1-1。

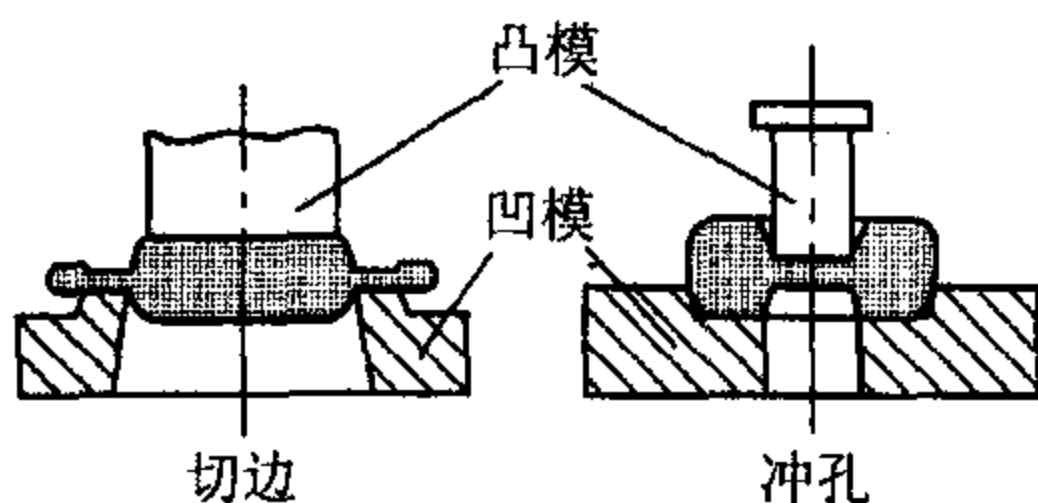
表 8.1-1 热冲切和冷冲切的特点及应用范围

冲切方法	特 点				应用范围
	与模锻设备配用	生产效率	所需冲切力	冲切质量	
热冲切	需要	较低	较小	不易产生裂纹,易变形和产生毛刺	钢锻件(除个别小型低碳钢、低合金钢锻件可用冷切外)和镁合金、钛合金、超硬铝合金及高温合金等锻件
冷冲切	不需要	较高	较大,约为热冲切的 5 倍	易产生裂纹,不易变形和产生毛刺	铜合金、铝合金(超硬铝合金除外),双刃切边的镁合金,含碳量小于 0.45% 的低碳钢及大批量生产的小型低合金钢锻件。奥氏体不锈钢锻件也可冷切边

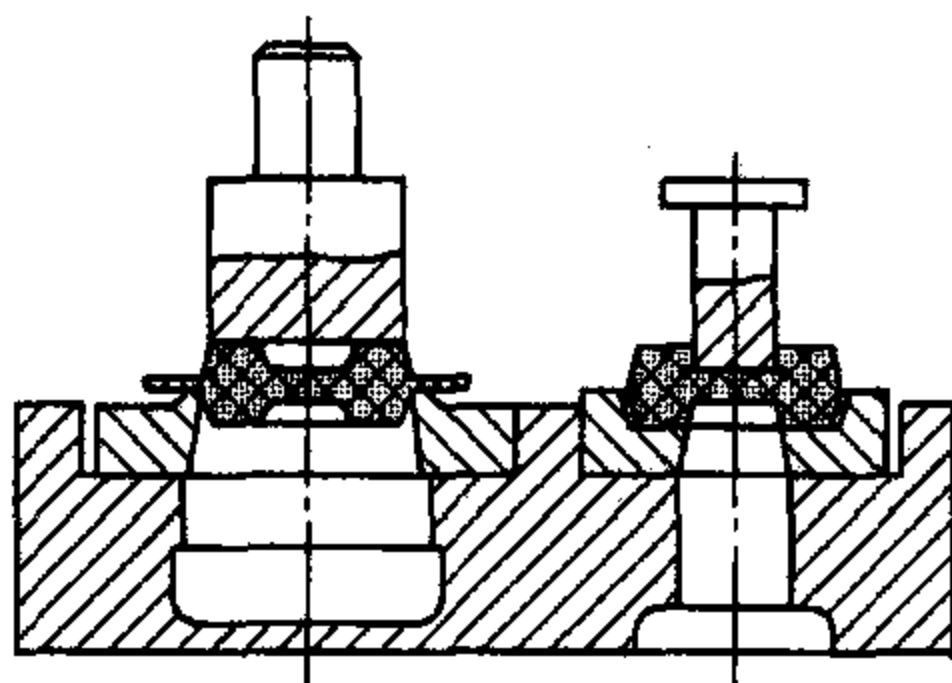
二、切边、冲孔模

1. 切边、冲孔模的类型

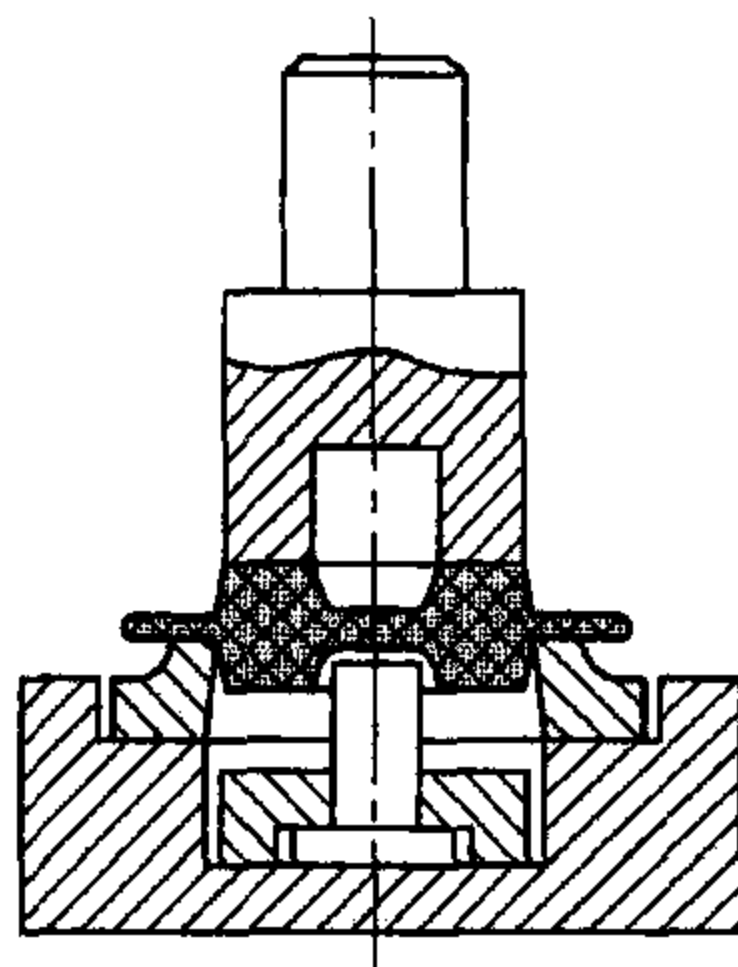
切边、冲孔模分为简单模、连续模和复合模,见图 8.1-1。各自的特点和应用范围见表 8.1-2。



(a) 切边、冲孔简单模



(b) 切边—冲孔连续模



(c) 切边—冲孔复合模

图 8.1-1 切边冲孔模的模具类型

表 8.1-2 切边冲孔模的模具类型及特点

模具类型	特 点	应用说明
简单模	压力机一次行程只完成切边或冲孔	应用较多

(续表)

模具类型	特 点	应用说明
连续模	压力机一次行程内在不同工位同时进行一个锻件的切边和另一个锻件的冲孔	提高生产效率;热冲切后需趁热校正的中小型锻件,还可连续进行校正
复合模	压力机一次行程内在同一工位完成切边和冲孔	适用于批量不大而质量较大的锻件;冲切精度较高;结构较复杂

2. 冲切间隙

冲切模的凸、凹之间应有间隙 δ , 其取向如下:

① 切边时凹模孔形尺寸等于切边温度下的锻件尺寸, 间隙取在凸模上。

② 冲孔时凸模尺寸等于冲孔温度下锻件孔的尺寸, 间隙取在凹模上。

(1) 切边模间隙

当凹模起切刃作用, 进行单刃切边时, 间隙 δ 可参照第四章表 4.6-21 确定。

当凸、凹模同时起切刃作用, 进行双刃切边时, 间隙 δ 可按下式计算:

$$\delta = kt \text{ (mm)}$$

式中 k ——材料系数; 钢、钛合金, 硬铝: $k=0.08\sim0.1$;

铝、镁、铜合金: $k=0.04\sim0.06$ 。

t ——切边厚度(mm)。

(2) 冲孔模间隙

冲孔内连皮时, 凸、凹模之间间隙靠扩大凹模孔尺寸保证。

如图 8.1-2, 冲端面连皮时, 凸、凹模均起切刃作用, 其间隙值见表 8.1-3。

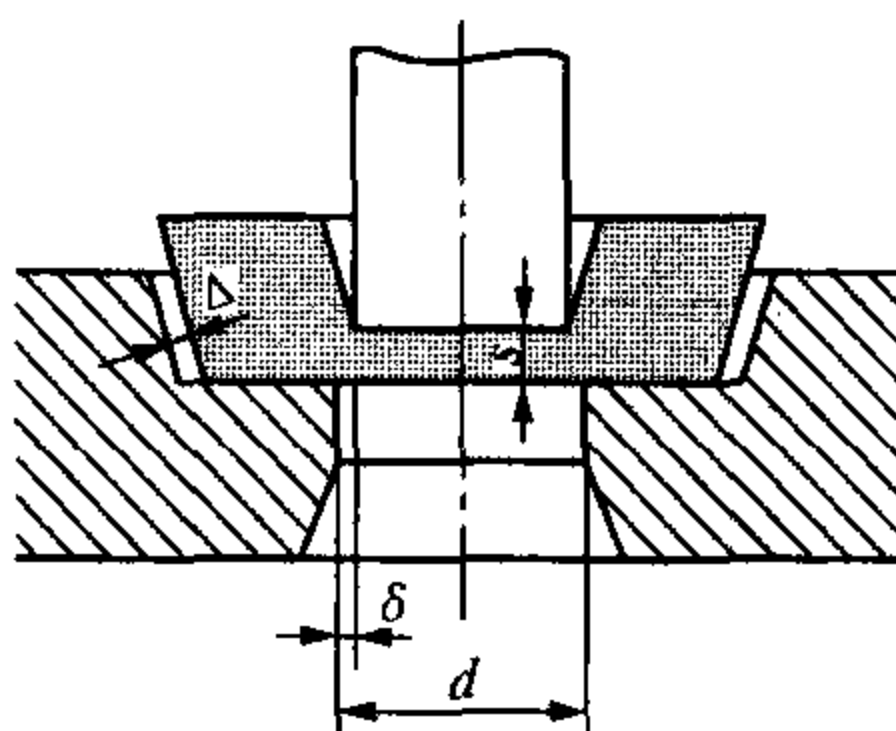


图 8.1-2 冲端面连皮示意图

表 8.1-3 冲孔模凸、凹模之间的间隙/mm

连皮厚度 s	每边间隙为连皮厚度的百分数(%)			
	热冲孔	冷 冲 孔		
		10、20 钢	20、25、35 钢	45 钢以上
<2.5	1.8~2.0	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0
2.5~5	2.0~2.5	4.0~4.5	4.0~5.5	5.0~6.0
6~10	2.5~3.0	4.5~5.5	5.5~6.5	6.0~7.0
>10	3.0~4.0	5.5~7.0	6.5~8.0	7.0~9.0

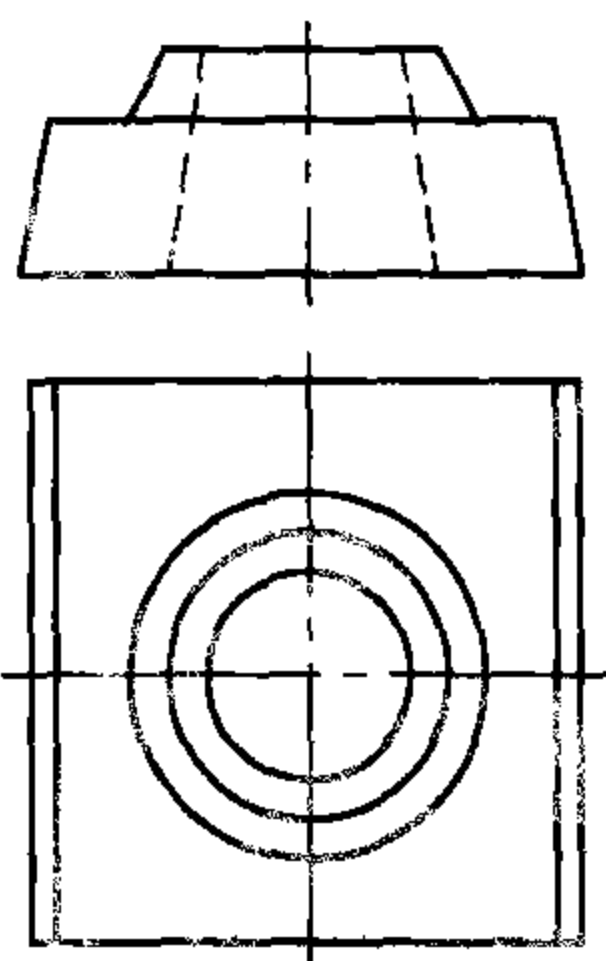
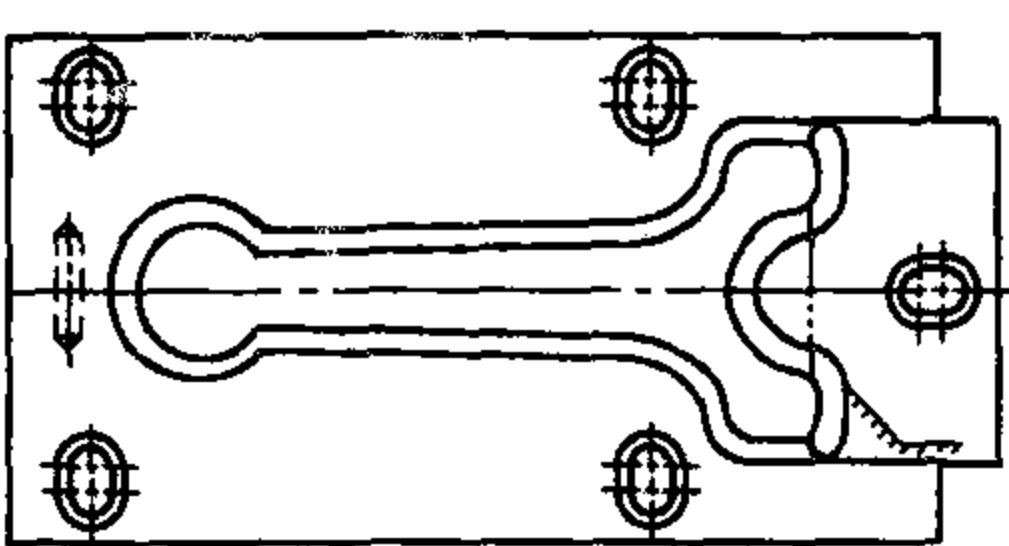
3. 切边模设计

切边模一般由切边凹模、切边凸模、模座、卸毛边装置等组成。

(1) 切边凹模

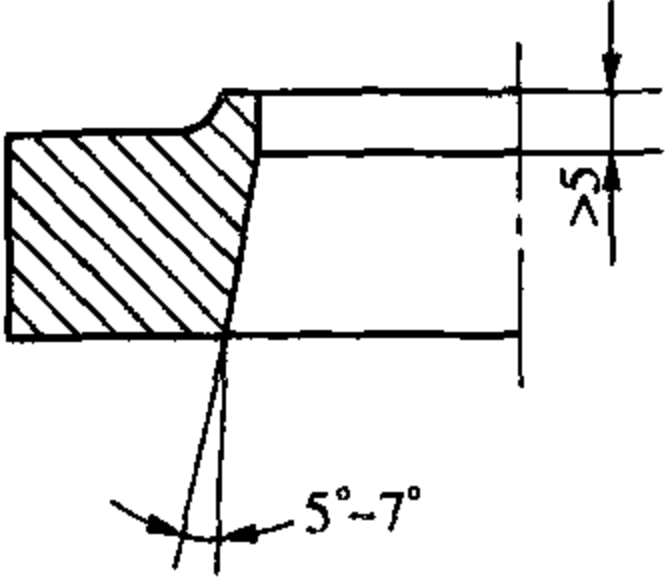
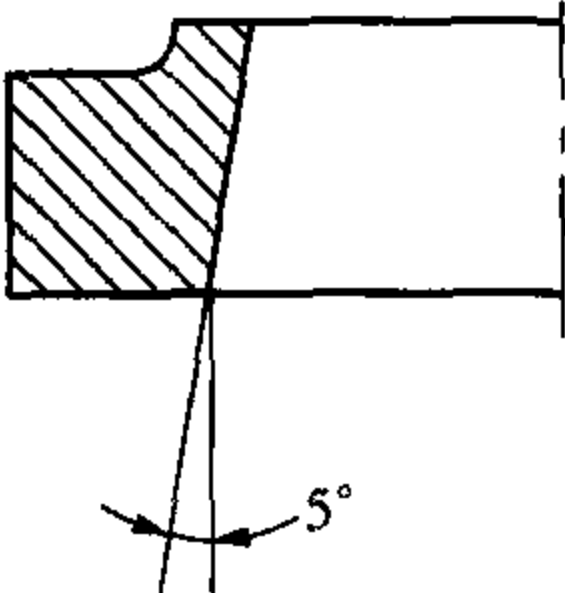
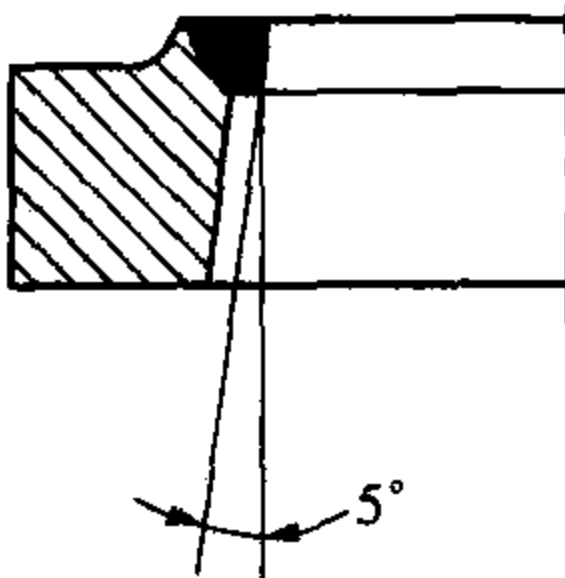
① 切边凹模有整体式和组合式两种, 见表 8.1-4。

表 8.1-4 切边凹模的结构形式

结构形式	特点·说明
 <p style="text-align: center;">整体式</p>	<p>适用于中小型锻件，特别是形状简单、对称的锻件</p>
 <p style="text-align: center;">组合式</p>	<p>由两块以上的凹模组成，制造比较容易，热处理时不易淬裂，变形小，便于修磨、调整、更换。多用于中、大型或形状复杂的锻件</p>

② 切边凹模的刃口用来剪切锻件毛边，制成锐边。刃口形式见表 8.1-5。

表 8.1-5 切边凹模的刃口形式

刃口形式	特点·说明
	<p>刃口磨损后,将顶面磨去一层即可恢复锋利,刃口轮廓尺寸不变,但切边力较大。一般用于整体式凹模</p>
	<p>切边力较小,易磨损,主要用于组合式凹模。刃口磨损后,轮廓尺寸扩大,可将分块凹模的接合面磨去一层,重新调整,或用堆焊方法修补</p>
	<p>凹模整体用铸钢浇注而成,刃口用模具钢堆焊,可降低模具成本,提高使用寿命</p>

③ 切边凹模的结构和尺寸可参考图 8.1-3 和表 8.1-6。图表中： B_{\min} 为最小壁厚， H_{\min} 为凹模许可的最小厚度， E 等于

(或小于)终锻模膛前端至钳口的距离, L' 等于毛边桥部宽度 b 或 $b - (1 \sim 2) \text{mm}$ 。

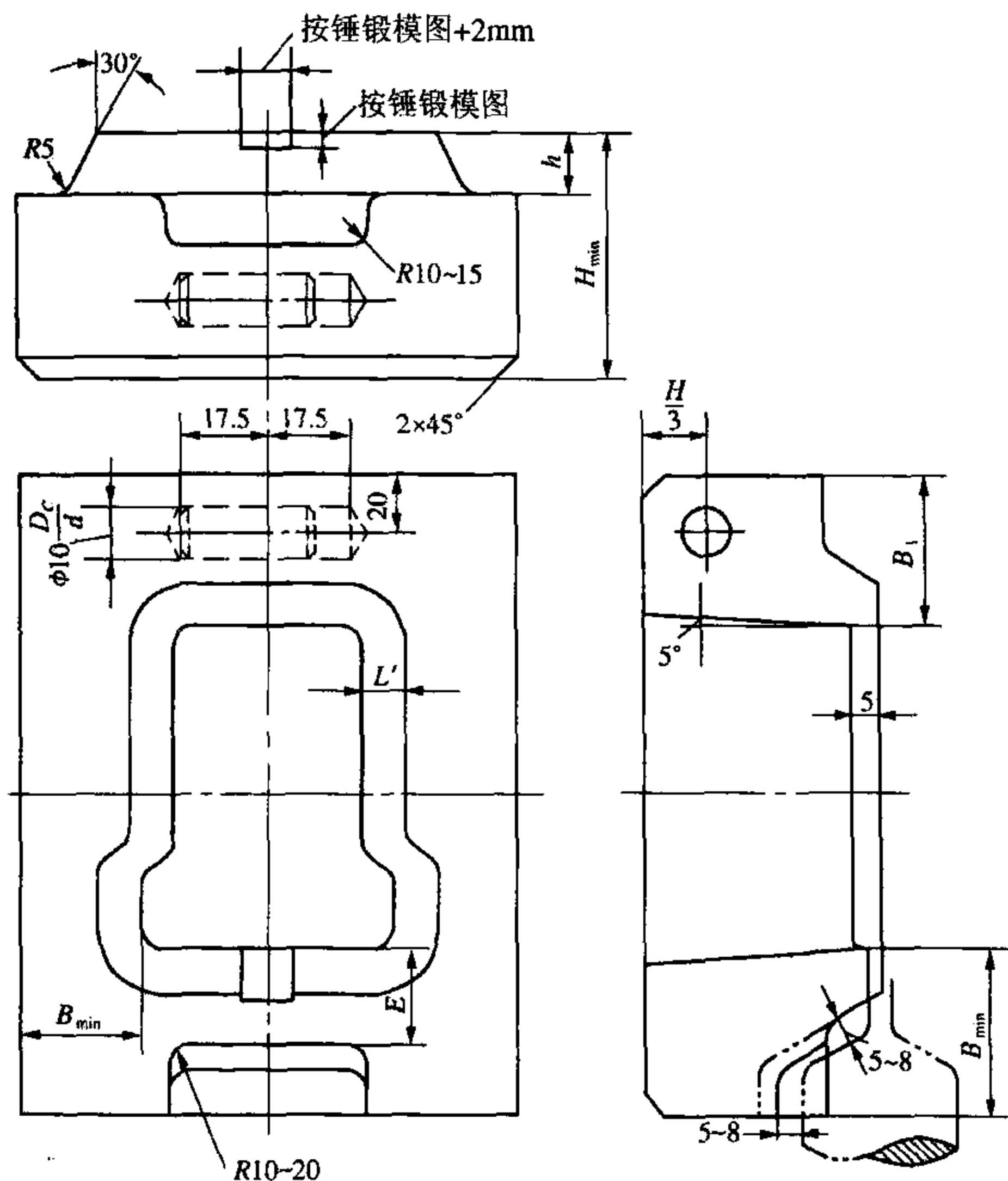


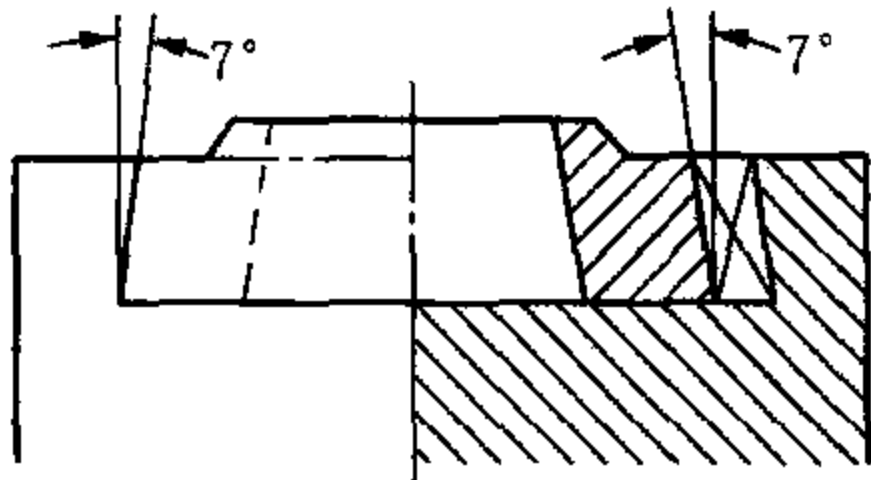
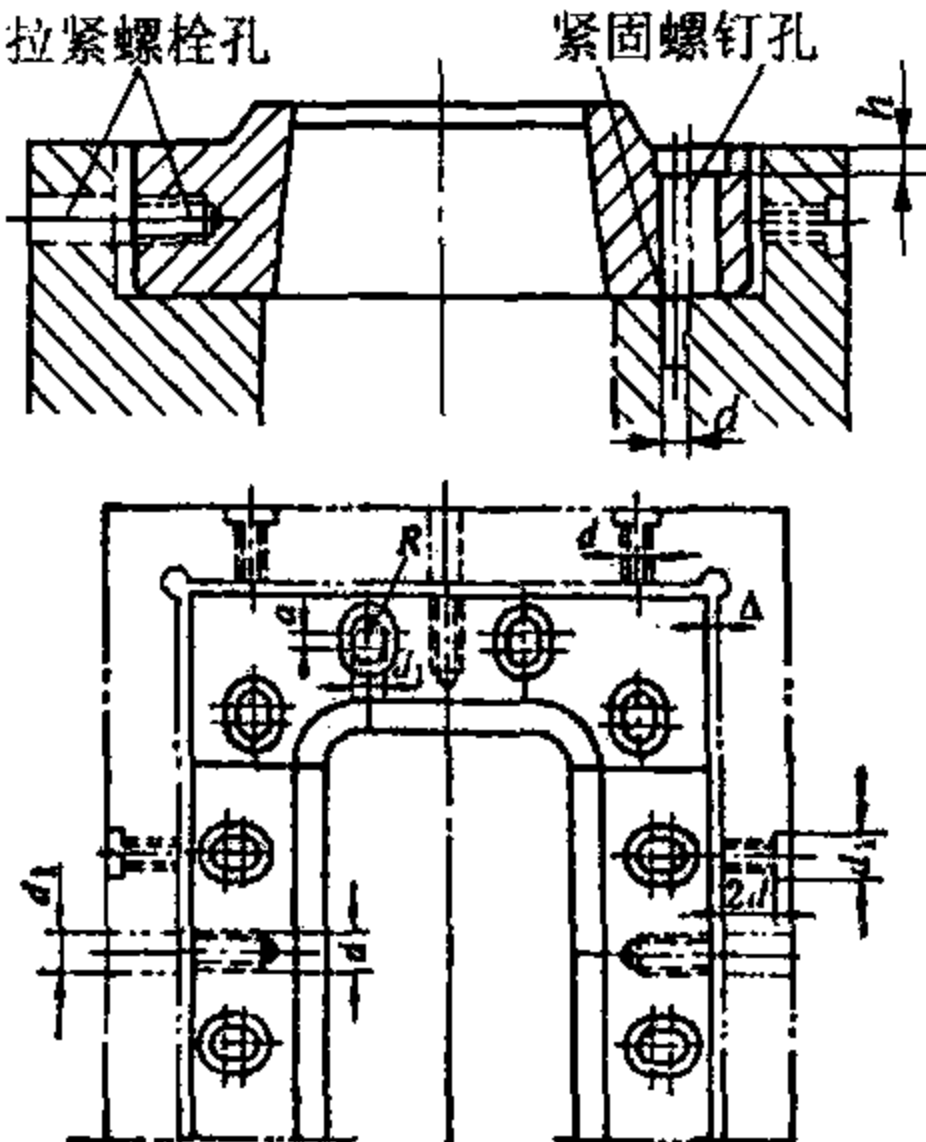
图 8.1-3 切边凹模的结构

表 8.1-6 切边凹模尺寸/mm

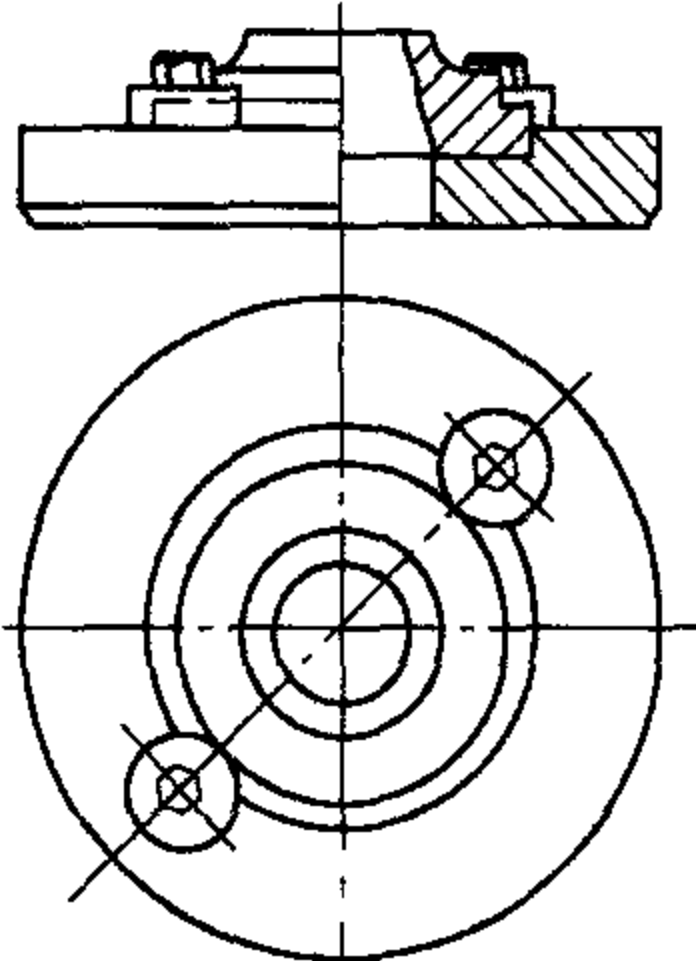
毛边桥部高度	H_{\min}	h	B_1	B_{\min}	备 注
<1.6	50	10	35	30	1 000kN 切边压力机
2~3	55	12	40	35	3 150kN 切边压力机
>4	60	15	50	40	5 000kN 切边压力机

④ 切边凹模的紧固方式见表 8.1-7。

表 8.1-7 切边凹模的紧固方式

紧固方式	图 示	特 点 · 说 明
镶块紧固		紧固简单、牢固,用于整体凹模或两块组成的凹模
螺钉紧固		多用于两块以上的组合凹模,便于调整刃口的位置

(续表)

紧固方式	图 示	特点 · 说明
压板紧固		<p>用于轮廓为圆形的小型锻件。凸、凹模之间的间隙靠移动模座来调整</p>

(2) 切边凸模

切边凸模起传递压力的作用,它与锻件需有一定的接触面积(推压面)且形状吻合,此外,为避免啃坏锻件的过渡断面处,应在该处留出空隙 Δ ,见图 8.1-4。

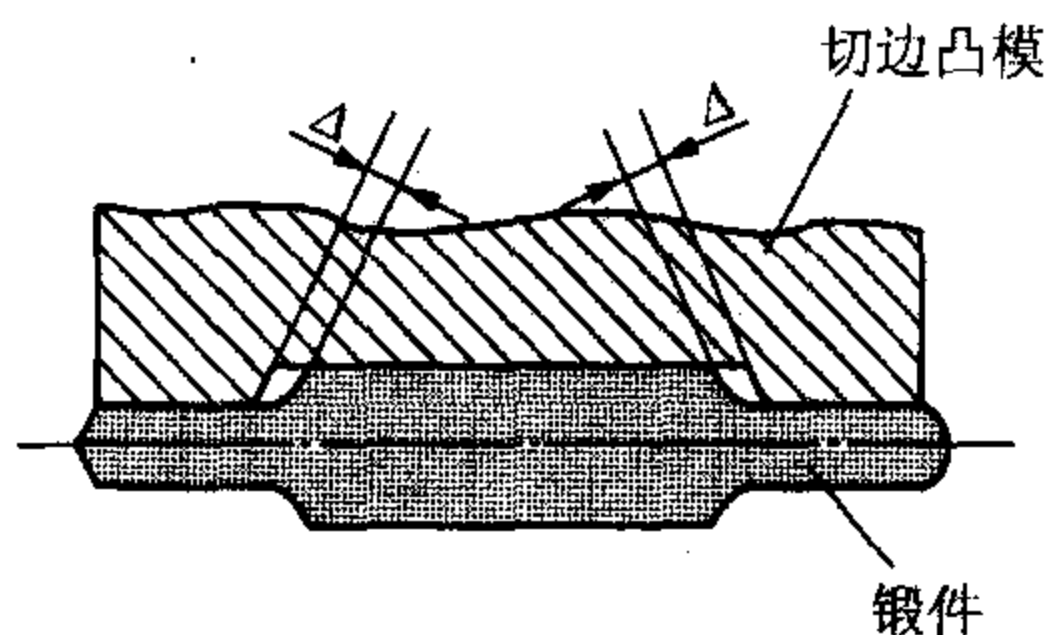


图 8.1-4 切边凸模与锻件间的空隙

Δ 的取值见表 8.1-8。

表 8.1-8 切边凸模与锻件间的空隙 Δ

压力机吨位/kN	500~600	2 000~3 500	5 000~10 000
Δ /mm	1.5~2.0	2.5~3.0	3.5~4.0

切边凸模可用楔、压板或压力机上的紧固装置直接紧固在切边压力机滑块上。中小型锻件切边凸模也常用键槽和螺钉或燕尾和楔固定在模座上,再将模座固定在切边压力机的滑块上,这样可减小凸模高度,节省模具钢。

(3) 模具闭合高度

切边模闭合时,上模座上平面到下模座下平面之间的高度称为模具的闭合高度 $H_{\text{闭}}$ 。它应与压力机的闭合高度相适应,即应满足:

$$H_{\text{最小}} - H_{\text{垫}} + (15 \sim 20) \text{ mm} \leq H_{\text{闭}} \leq H_{\text{最大}} - H_{\text{垫}} - (15 \sim 20) \text{ mm}$$

式中 $H_{\text{最小}}$ ——压力机的最小闭合高度;

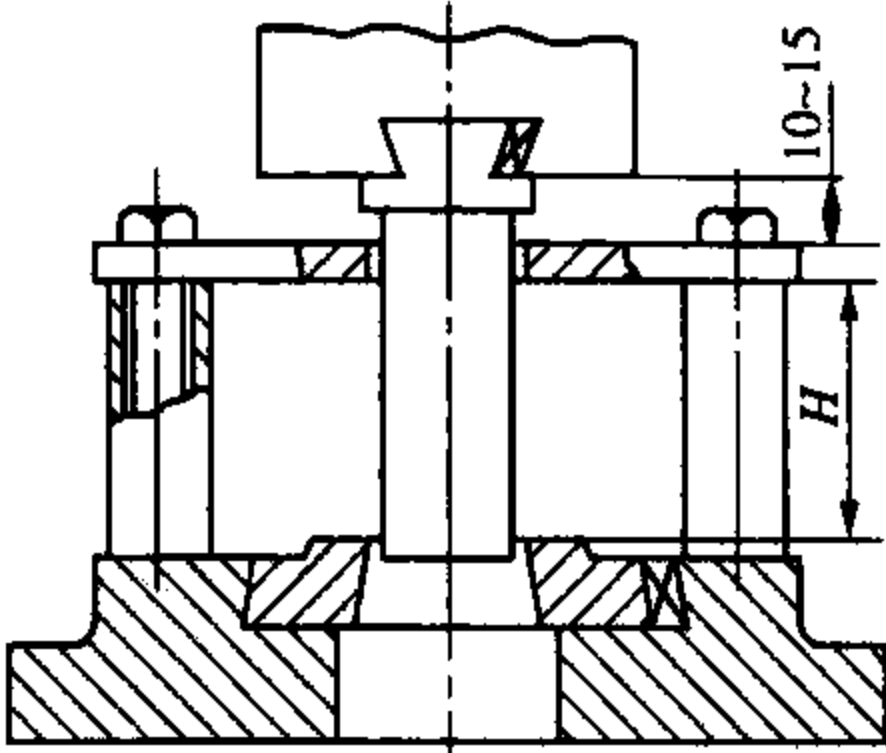
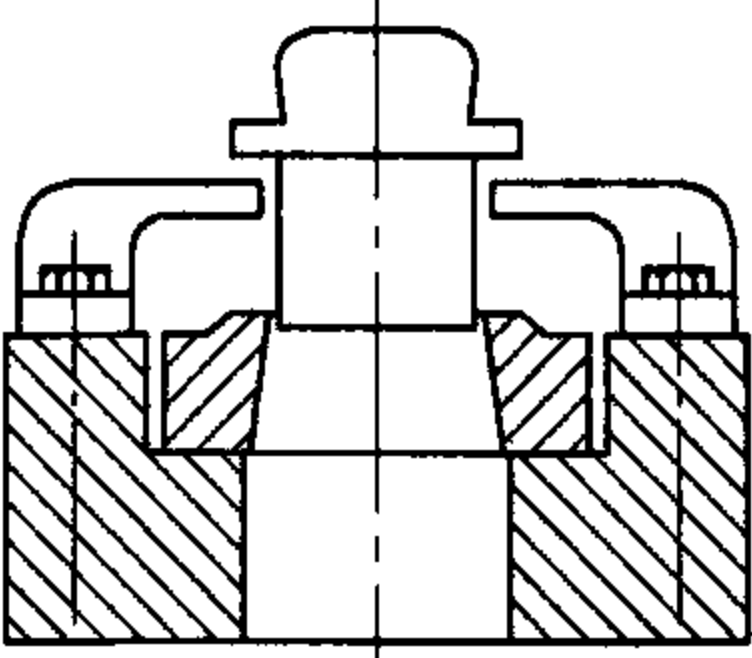
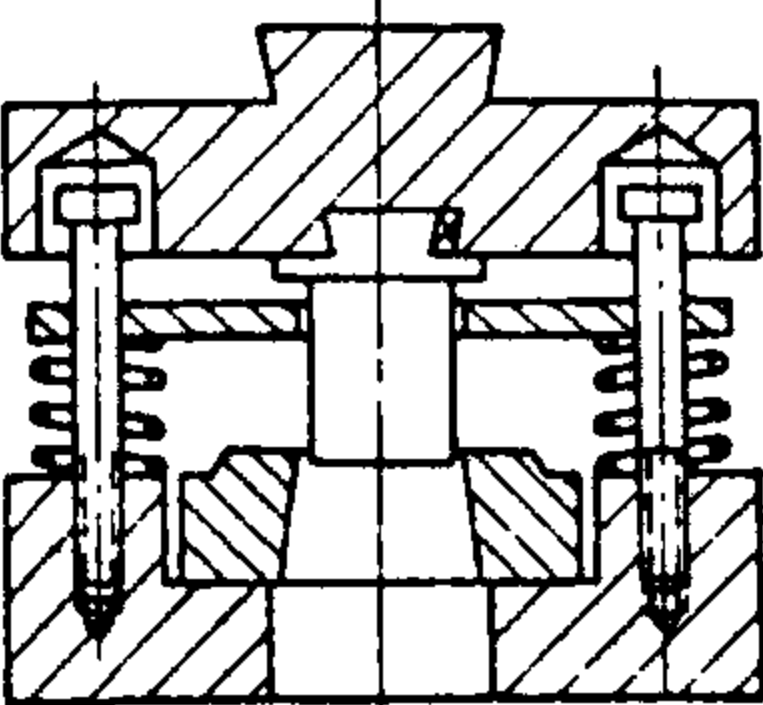
$H_{\text{最大}}$ ——压力机的最大闭合高度;

$H_{\text{垫}}$ ——垫板厚度。

(4) 卸毛边装置

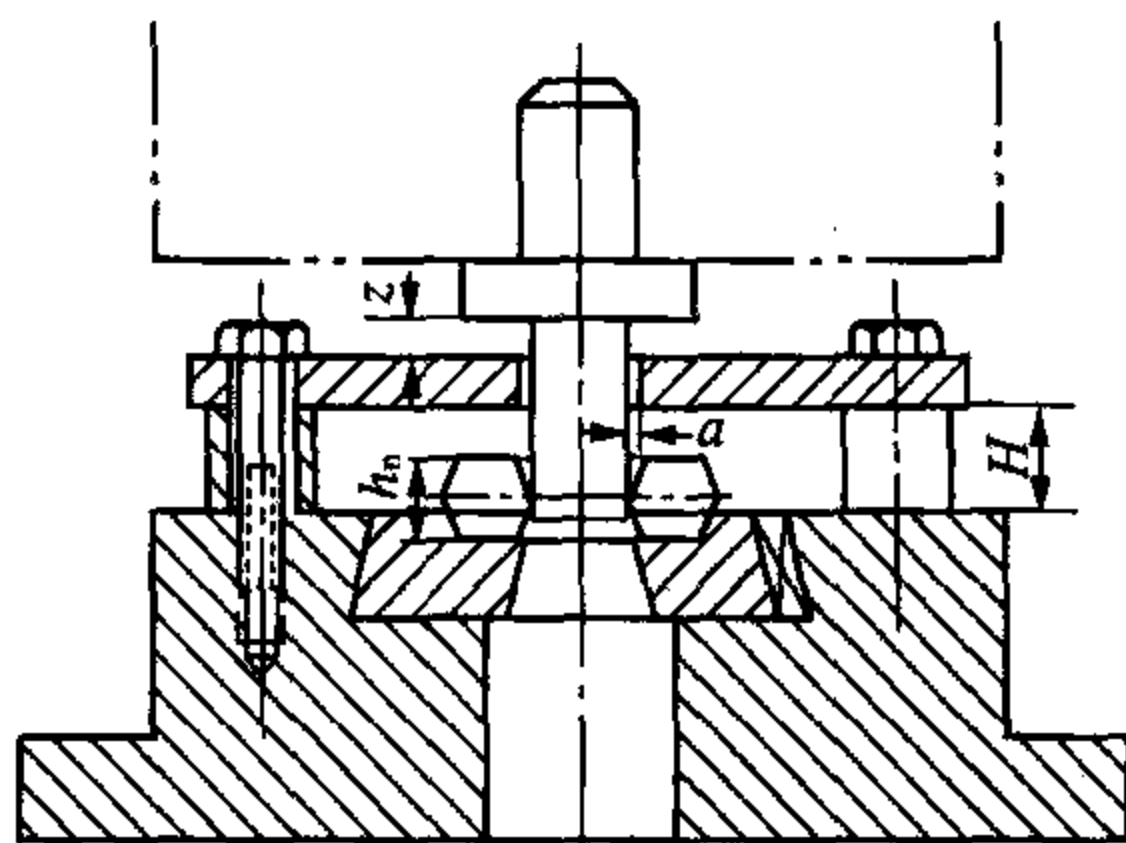
卸毛边装置的类型和应用见表 8.1-9。

表 8.1-9 卸毛边装置的类型和应用

	卸毛边装置类型	应用 · 说明
刚性卸毛边装置		中、小型锻件的冷、热切边,较为常用
		大、中型锻件的冷、热切边,结构简单,应用较广
弹性卸毛边装置		卸料板在压力机下压时被凸模肩部压下,回程时又被弹簧弹回原位,用于高度尺寸大的锻件。结构较复杂,应用不广

4. 冲孔模设计

冲孔模结构如图 8.1-5。



$$H = h_n + 5 \sim 8 \text{ mm}$$

$$a = 1.5 \sim 2.5 \text{ mm}$$

$$z = 10 \sim 15 \text{ mm}$$

图 8.1-5 冲孔模结构

冲孔凸模刃口部分尺寸按锻件冲孔尺寸确定。

冲孔凹模起支承作用,并以凹模凹穴定位。其垂直方向的尺寸按锻件相应部分的公称尺寸确定,凹穴的最大深度不超过锻件的高度。凹穴水平方向尺寸及其他尺寸见表 8.1-10。

冲孔模均需设置卸料装置;当凸、凹模之间间隙小于 0.5 mm 时,应设置导柱导套;冲孔模闭合高度的设计原则与切边模相同。

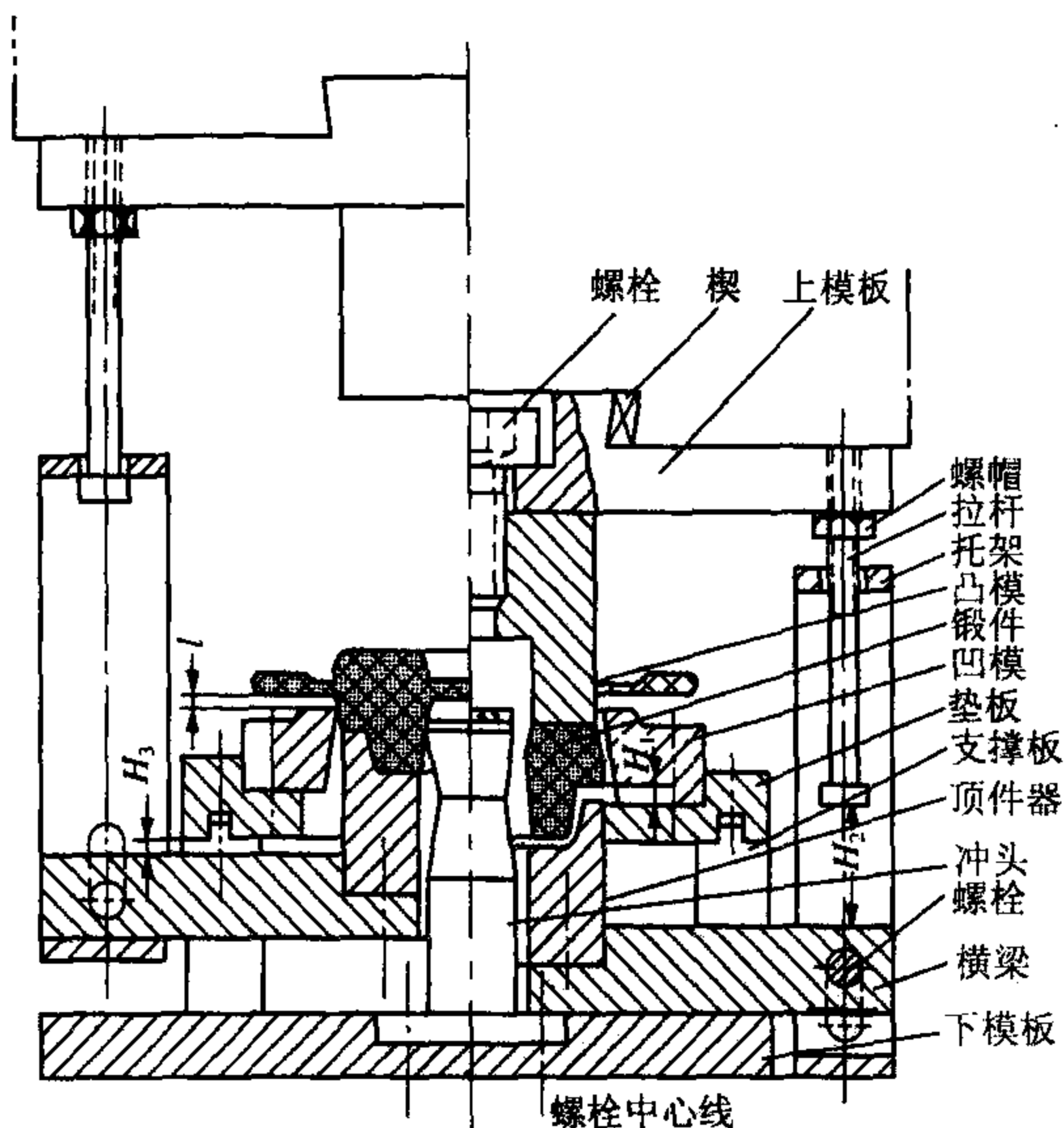


图 8.1-6 切边冲孔复合模

上移动时,凸模与拉杆同时上移,当拉杆上移一段距离后,其头部又与托架接触,然后带动托架、横梁与顶件器一起上移,并将锻件顶出凹模。

当生产批量不大时,可采用图 8.1-7 所示的简易切边冲孔复合模。先把压力传递给活动冲子,切除连皮,继而凸模推压锻件,切除毛边。

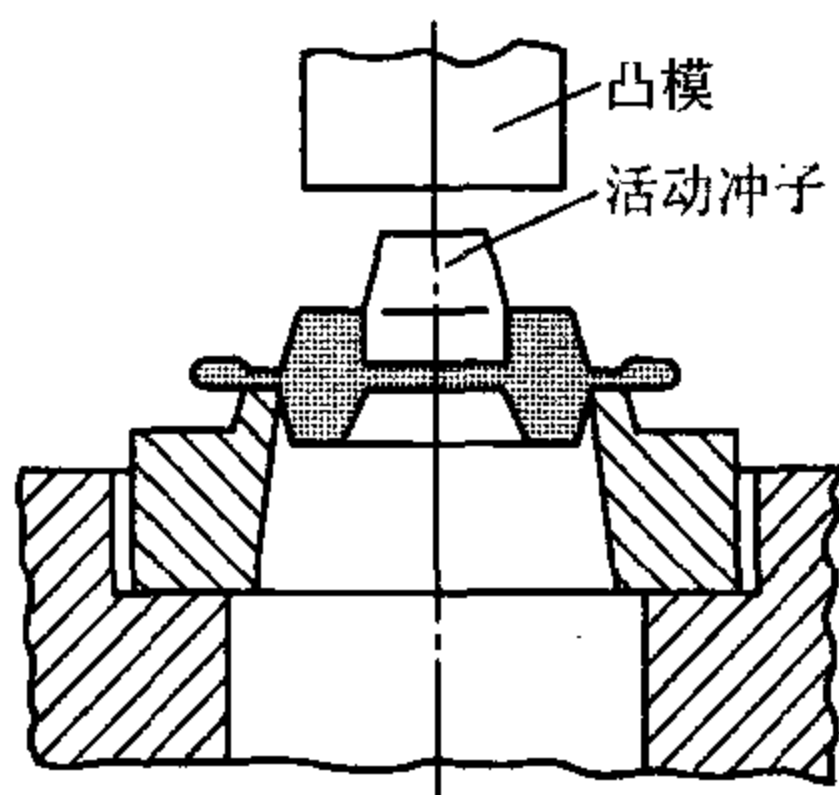


图 8.1-7 简易切边冲孔复合模

三、切边和冲孔力计算

切边和冲孔力可按下列公式计算：

$$F = \tau L (2.5t + B)$$

式中 F ——切边或冲孔力(N)；

τ ——材料剪切强度，通常 $\tau = 0.8\sigma_b$ ， σ_b 为材料在切边冲孔温度下的强度极限(MPa)；

L ——锻件剪切周长(mm)；

t ——毛边桥部或连皮厚度(mm)；

B ——锻件高度方向的正偏差(mm)。

实际切边冲孔力比上式计算的大，建议用下列公式计算：

$$F = 1.6\sigma_b L (2.5t + B)$$

第二节 校正和精压

一、校正

在锻压生产过程中，模锻、切边、冲孔、热处理等生产工序及

工序之间的运送过程,由于冷却不均、局部受力、碰撞等各种原因,锻件都有可能产生弯曲、扭转等变形,当锻件的变形量超出锻件图技术条件的允许范围时,必须用校正工序来加以矫正。

热校正可以在锻模的终锻模膛内进行。但大批量生产时,一般利用校正模进行校正,此时,不仅可以校正锻件,还可使锻件在高度方向因欠压而增加的尺寸减小。有些长轴类锻件,可直接将锻件放在油压机工作台的两块 V 形铁上,利用装在油压机压头上的 V 形铁对弯曲部位加压以进行校直。

1. 热校正与冷校正

校正分为热校正和冷校正两种,见表 8.2-1。

表 8.2-1 热校正和冷校正

校正方法	说 明	应 用
热校正	<p>通常与模锻同一火次并在切边、冲孔后进行。</p> <p>小批量生产时,在锻模终锻模膛内进行;</p> <p>大批量生产时,在校正设备(螺旋压力机、油压机等)的校正模内进行;</p> <p>还可在切边压力机上的复合式或连续式切边-校正、冲孔-校正模具内进行</p>	<p>一般用于中、大型锻件,高合金钢锻件,高温合金和钛合金锻件以及容易在切边、冲孔时变形的复杂形状锻件</p>
冷校正	<p>一般安排在热处理和清理工序之后进行。</p> <p>主要在锻锤、螺旋压力机、曲柄压力机、油压机等设备的校正模中进行;</p> <p>有些锻件冷校正前需进行正火或退火处理,以提高塑性,防止产生裂纹</p>	<p>适用于结构钢、铝合金、镁合金的中小型锻件以及容易在冷切边、冷冲孔、热处理和滚筒清理过程中产生变形的锻件</p>

2. 校正模膛设计特点

校正模的模膛根据校正用的冷、热锻件图设计。但模膛的形状并不一定要求与锻件的形状完全吻合,应力求形状简化、定位可靠、操作方便、制造容易,图 8.2-1 是简化校正模模膛的例子。

校正模膛设计的特点如下:

① 由于锻件在切边后可能留有毛刺,以及锻件在高度方向有欠压时,校正后其水平方向尺寸有所增大,为便于取放锻件,校正模膛水平方向与锻件侧面之间应留有一定的空隙,其值约为锻件水平方向尺寸正偏差之半。而且模膛沿分模面的边缘应做成 $R3\sim 5\text{ mm}$ 的圆角。

② 对小锻件,校正模的模膛高度,在锤或螺旋压力机上校正时,应等于锻件的高度;对大、中型锻件,因欠压量较多,校正模膛的高度可比锻件高度小一锻件高度尺寸的负偏差值。如在曲柄压力机上校正时,在上下模之间即分模面上应留有 $1\sim 2\text{ mm}$ 间隙,以免卡死。

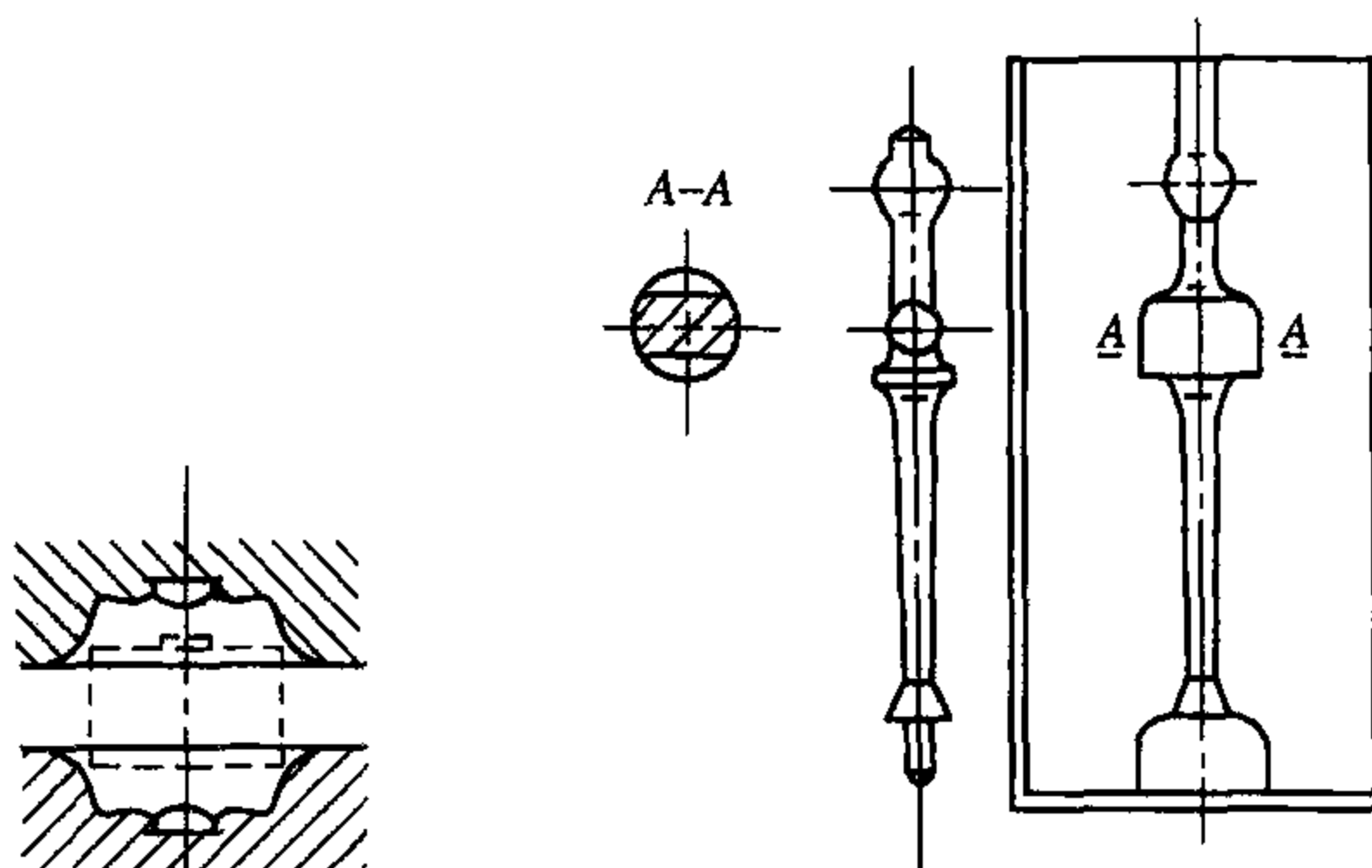
③ 校正模应有足够的承击面面积。当用螺旋压力机校正时,校正模的承击面面积为 $1\sim 1.3\text{ cm}^2/10\text{ kN}$ 。

④ 曲轴、凸轮轴之类的复杂形状锻件,往往需从两个方向(互成 90°)在两个模膛内进行校正。

二、精压

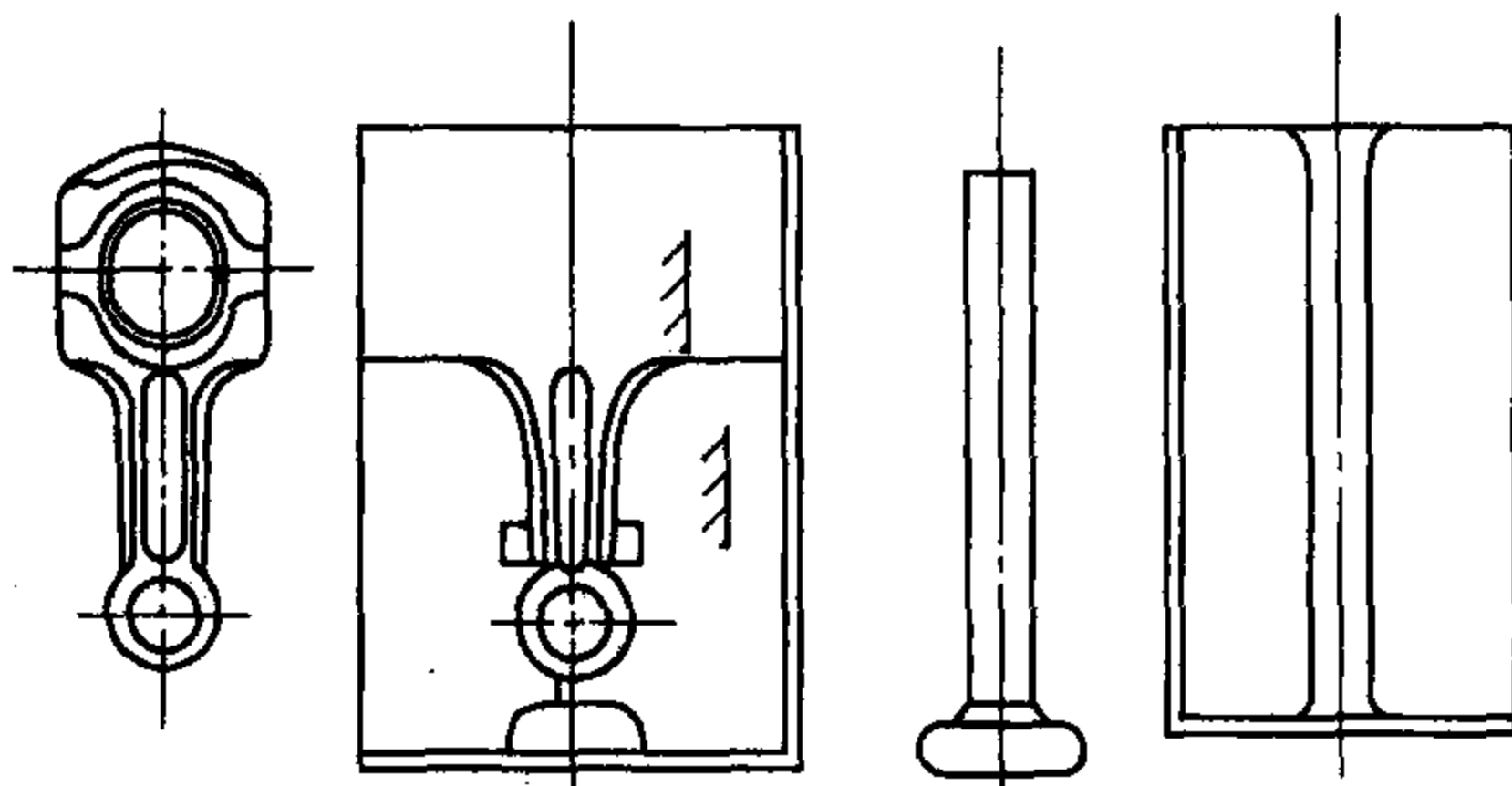
精压是对已成形的锻件或粗加工的毛坯进一步改善其局部或全部的表面粗糙度和尺寸精度的一种锻造方法,其优点如下:

① 精压可提高锻件的尺寸精度、减小表面粗糙度值。钢锻件经过精压,其尺寸精度可达 $\pm 0.2\text{ mm}$,表面粗糙度可达 $R_a 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下;有色金属锻件经过精压后,其尺寸精度可达 $\pm 0.1\text{ mm}$,表面粗糙度可达 $R_a 0.63\sim 1.25\text{ }\mu\text{m}$ 。



(a) 将不对称锻件制成对称模膛

(b) 将锻件局部复杂的形状制成较简单的形状



(c) 将形状复杂的连杆锻件大头部分制成敞开的两个平行平面

(d) 长轴类锻件只制出杆部的校正模膛

图 8.2-1 简化校正模模膛形状举例

② 精压可全部或部分代替零件的机械加工,节省机械加工工时,提高生产率,降低成本。

③ 精压可减小或免除机械加工余量,使锻件尺寸缩小,因而降低了原材料的消耗。

④ 精压使锻件产生表面变形强化,从而提高零件的耐磨性和使用寿命。

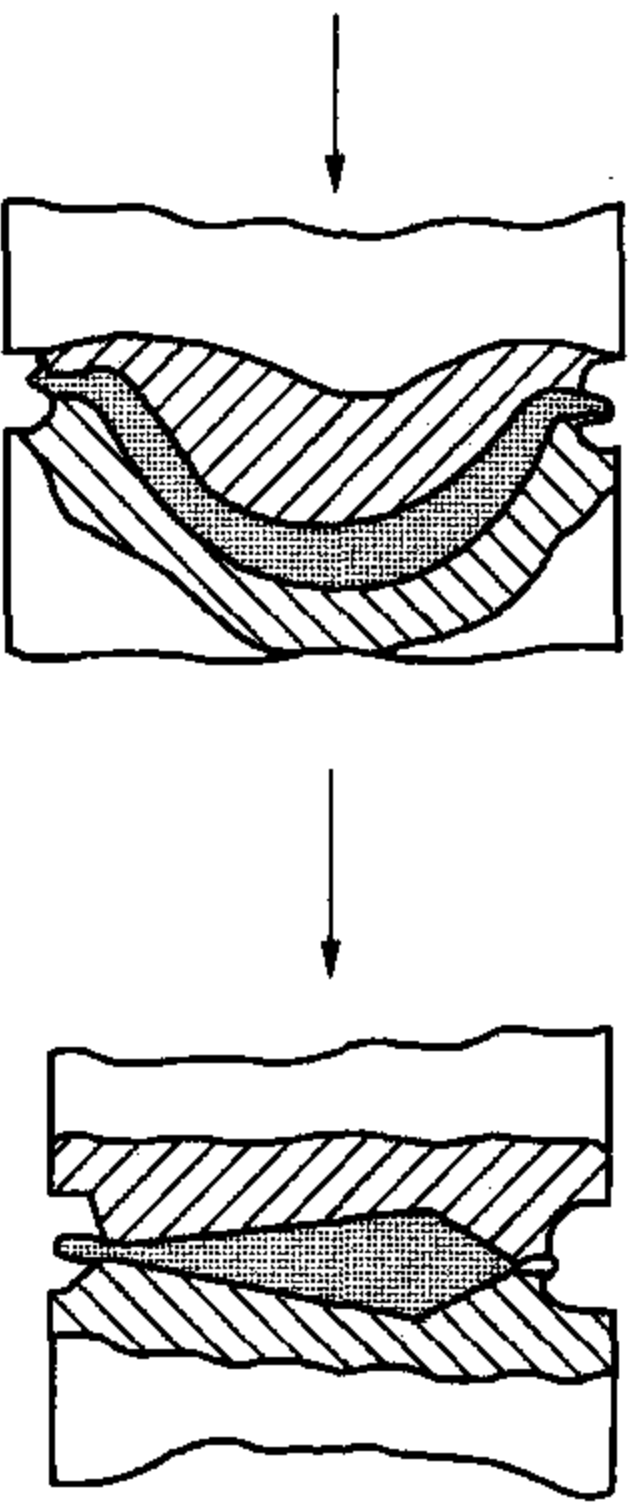
1. 精压的分类

根据金属的流动特点,可将精压分为平面精压和体积精压两类,见表 8.2-2。

表 8.2-2 精压的分类

分类	图 例	变形特点	设 备	备 注
平面精压		<p>在两精压平板之间,对锻件上的一对或数对平行平面加压,使变形部分获得较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度值。精压时金属在水平方向自由流动</p>	<p>一般在精压机上进行; 也可在曲柄压力机或油压机上进行; 如果设计一套止程模具,也可在螺旋压力机上进行</p>	<p>对于形位公差要求高的零件,不宜采用; 对于数对平面精压时易引起杆部或腹板弯曲变形的零件,在工艺和模具设计时,应采用分头精压、减小精压余量或在模具中增加防弯曲装置等措施</p>

(续表)

分类	图 例	变形特点	设 备	备 注
体 积 精 压		将模锻件放入尺寸精度和表面粗糙度要求均比普通锻模高的模膛内锻压,使其整个表面都受挤压而发生少量变形,多余金属被压挤出模膛,在分模面上形成毛刺。经体积精压后,锻件的全部尺寸精度都得到提高,但变形抗力较大	同上; 除精压机外,用其他锻压设备进行体积精压时,为克服弹性变形对高度尺寸的影响,可采用精密垫板进行微调	大多在热态或半热态下进行。但也可在冷态下进行,冷态多用于有色合金或钢精密模锻后的冷精整工序

2. 精压件平面的凸起

平面精压后,精压件平面中心有凸起现象,如图 8.2-2。单面凸起的高度 $[f=(H_{\max}-H_{\min})/2]$ 可达 0.3~0.5 mm,对精压件尺寸精度影响很大。其产生的原因,是由于精压时金属受接触摩擦的影响,引起精压面上的应力呈角锥形分布,如图 8.2-3,使精压模和锻件产生不均匀的弹性变形。

为减小平面凸起,可采取以下措施:

- ① 在冷精压前,先热精压一次,以减小冷精压余量。

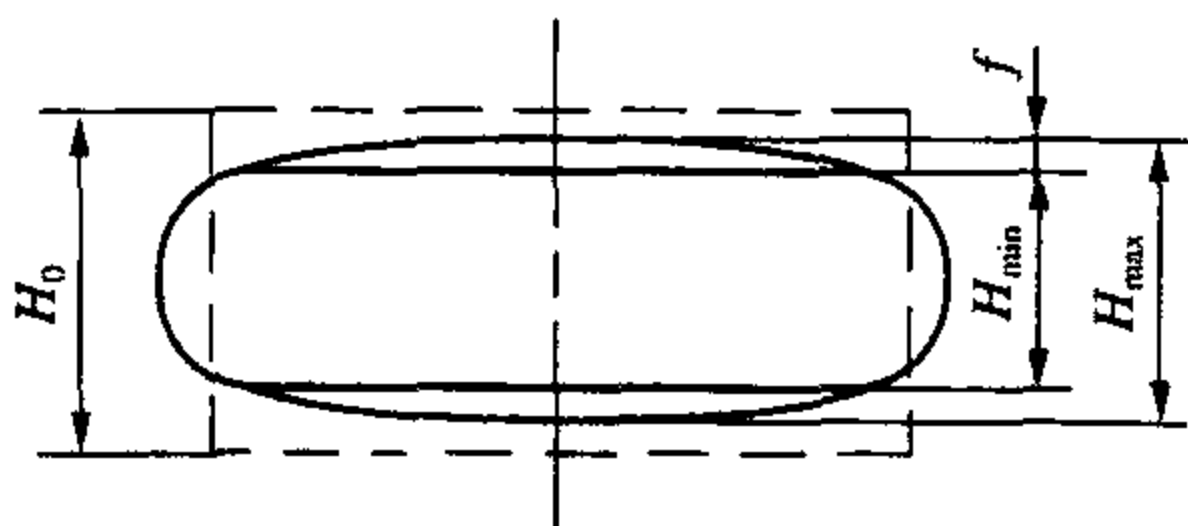


图 8.2-2 平面精压时工件的变形

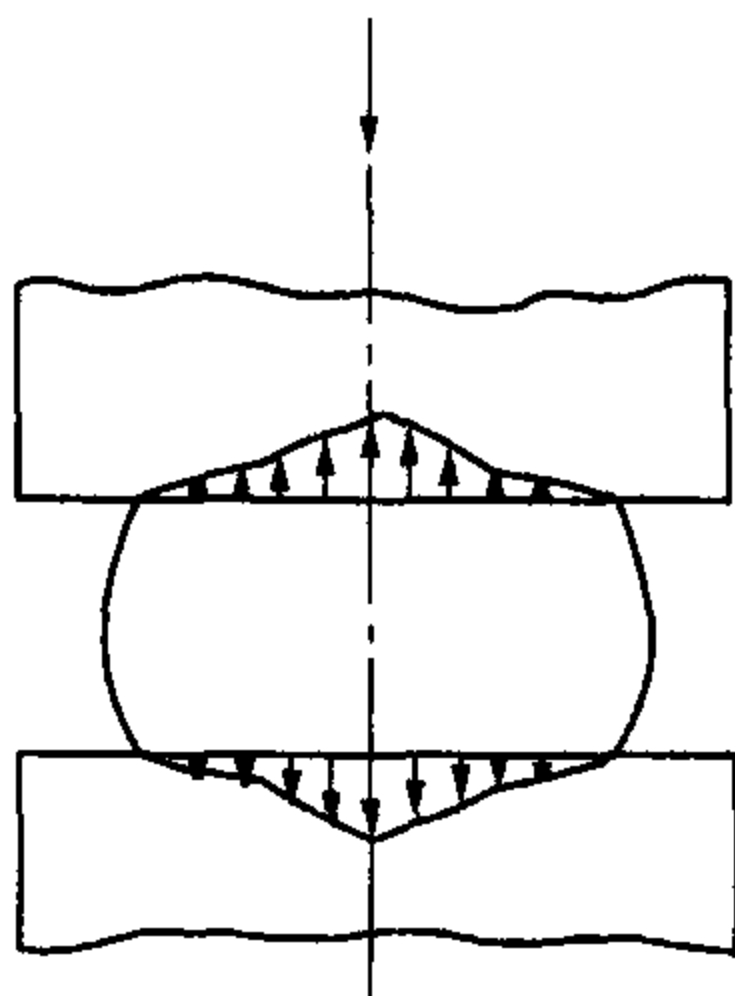


图 8.2-3 精压面上的应力分布

② 多次精压。

③ 减小精压平板的表面粗糙度值,采用良好的平板润滑措施。

④ 减小精压面的受压面积,使精压面的应力分布趋于均匀。如对中间有机械加工孔或凹槽的精压面,可在模锻时将孔或凹槽压出。

⑤ 选用淬硬性高的材料做精压平板。

3. 精压余量

(1) 平面精压余量

平面精压余量可参照表 8.2-3 选用:

表 8.2-3 平面精压的双面余量/mm

精压面积 /cm ²	d/h								
	<2			2~4			4~8		
	毛坯精度级别			毛坯精度级别			毛坯精度级别		
	高精 度	普通 精度	热精 压	高精 度	普通 精度	热精 压	高精 度	普通 精度	热精 压
<10	0.25	0.35	0.35	0.20	0.30	0.30	0.15	0.25	0.25
10~16	0.30	0.45	0.45	0.25	0.35	0.35	0.20	0.30	0.30
17~25	0.35	0.50	0.50	0.30	0.45	0.45	0.25	0.35	0.45
26~40	0.40	0.60	0.60	0.35	0.50	0.50	0.30	0.45	0.50
41~80	—	0.70	0.70	—	0.60	0.60	—	0.50	0.60
81~160	—	—	0.80	—	—	0.70	—	—	0.70
161~320	—	—	0.90	—	—	0.80	—	—	0.80

注:表中 d ——精压平面直径; h ——精压平面高度。

(2) 体积精压余量

体积精压余量原则上可参照平面精压余量确定。

在冷精压情况下,一般可在粗锻模膛的高度方向留出 0.3~0.5 mm 的余量,粗锻模膛的水平尺寸则取比体积精压模膛的稍小。

在热精压情况下,粗锻模膛高度方向留出的余量一般为 0.4~0.6 mm 或更大,而粗锻模膛的水平尺寸则可取和精压模膛的一样。有时,还可利用精锻模,使粗锻件在模锻时欠压一定的数值来作为精压余量。

为了使粗锻件的精压余量不至于太大,粗锻件的高度尺寸公

差应予以限制,通常是通过将粗锻件的精度比普通模锻件提高一级的办法来达到。

4. 精压力的计算

精压力可按下面公式计算:

$$F = pA$$

式中 F ——精压力(N);

p ——平均单位压力(N/cm²),按表 8.2-4 确定;

A ——锻件精压时的投影面积(cm²)。

表 8.2-4 不同材料精压时的平均单位压力/(kN/cm²)

材 料	单位压力	
	平面精压	体积精压
LY11、LD5 及类似铝合金	100~120	140~170
10CrA、15CrA、13Ni2A 及类似钢	130~160	180~220
25CrNi3A、12CrNi3A、12Cr2Ni4A、21Ni5A	180~220	250~300
13CrNiWA、18CrNiWA、38CrA、40CrVA	180~220	250~300
35CrMnSiA、45CrMnSiA、30CrMnSiA、20CrNi3A、37CrNi3A	250~300	300~400
38CrMoAlA、40CrNiMoA	250~300	300~400
铜、金和银		140~200

注:热精压时,可取表中数值的 50%~30%;曲面精压时,可取平面精压与体积精压的平均值。

第三节 锻件的冷却和清理

一、锻件的冷却

锻件从终锻温度冷却到室温的过程称为锻后冷却。

1. 锻件冷却引起的组织和性能变化(表 8.3-1)

表 8.3-1 锻件冷却引起的组织和性能变化

组织性能变化		解 释 · 说 明
内 应 力	温度应力	锻件冷却时内外温差引起。表面降温快,内部降温慢,表里收缩不同,从而造成温度应力
	组织应力	对有同素异构的金属,冷却时有相变发生,相变前后组织的比容发生变化,而锻件表里相变时间不同,因而引起组织应力
	残余应力	锻件在锻压成形过程中的变形不均匀和冷变形强化而引起,如不能通过再结晶软化将其消除,便成为残余应力而保留下来
锻件裂纹		上述三种应力叠加,如果超过材料的抗拉强度,便会导致锻件产生裂纹
锻件变形		锻件冷却过程中,若相对的两面冷却速度不一致,便会因温差和组织转变先后的不同而导致锻件发生翘曲变形
异常组织		① 含氢的钢材,冷却过程中在氢和组织应力的共同作用下,会使锻件内部出现许多不连续的白色点状裂纹,叫做白点 ② 奥氏体不锈钢若在 $800\sim 550^{\circ}\text{C}$ 范围内缓冷,会有大量含铬的碳化物沿晶界析出,使晶界产生贫铬现象,降低钢的抗晶间腐蚀能力

2. 常用的锻件冷却方法(表 8.3-2)

表 8.3-2 常用的冷却方法及特点

冷却方法	冷却速度	特 点
风冷	最快	锻件放在通风的地方,用风机吹风冷却
空冷	快	锻件放在车间地面上,自然冷却
坑冷	较慢	锻件放在地坑或保温箱中冷却
灰砂冷	慢	锻件放在石灰、炉渣或砂中冷却。所用的石灰、炉渣或砂必须干燥。一般钢锻件入灰的温度不低于 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$,周围盖灰的厚度不小于 80 mm ,出灰温度不高于 150°C
炉 冷	最慢	锻件装入炉温为 600°C 左右的加热炉中,按冷却规范冷却到 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 后再出炉空冷
扩氢处理		对于白点敏感的大型钢锻件,锻后进行扩氢处理。按热处理工艺升温、保温、降温,进行退火,以消除白点

3. 钢锻件的冷却规范(表 8.3-3)

表 8.3-3 各种钢质锻件的冷却规范

钢 种	钢 号 举 例	锻件截面尺寸/mm	
		<100	$100\sim 300$
碳素结构钢	Q235、Q275	空冷	空冷
优质碳素结构钢	10、25、35、45、50		
低碳低合金钢	16Mn、20Cr、20MnV、35Cr		
中碳低合金钢	45Mn、40CrSi、55Cr		

(续表)

钢 种	钢 号 举 例	锻件截面尺寸/mm	
		<100	100~300
弹簧钢	60Si2Mn、65Mn、55Si2	空冷	坑冷
轴承钢	GCr6、GCr15	坑冷	灰砂冷
特种合金结构钢	34CrNi3Mo、22CrMnMo	灰砂冷	炉冷或退火
碳素工具钢	T7、T8、T10	空冷	坑冷
低合金工具钢	CrWMn、Cr5Mo、5CrMnMo	坑冷	灰砂冷
高合金工具钢	Cr12Mo、Cr12MoV、3Cr2W8	灰砂冷	炉冷
高速工具钢	W18Cr4V、W9Cr4V	灰砂冷	炉冷
铁素体不锈钢	Cr17、Cr25	空冷	坑冷
马氏体不锈钢	2Cr13、3Cr13、4Cr13、9Cr18	灰砂冷	炉冷
奥氏体不锈钢	1Cr18Ni9Ti、2Cr18Ni9	风冷或空冷	空冷或风冷

二、锻件的清理

1. 清理的目的

清理的目的在于:

① 去除锻件生产过程中形成的氧化皮、缺陷及油污和润滑剂残留物,提高锻件表面质量,改善锻件的切削加工条件。

② 显露锻件表面缺陷,以便检查锻件表面质量。

③ 给冷精压和精密模锻提供具有良好表面质量的精压毛坯。

2. 锻件清理的基本种类(表 8.3-4)

表 8.3-4 锻件清理的种类

种 类	目 的	常 用 方 法
局部表面 清理	清除由于原材料或锻造工艺不当引起的裂纹、折纹等表面缺陷,也包括切除过大的残留毛边、毛刺和轴端料头等	风铲清理 砂轮打磨清理 火焰切割清理
锻前热毛坯 清理	清除热毛坯表面氧化皮,避免锻造时将氧化皮压入锻件,影响锻件质量,还可减小模膛的磨损,提高锻模使用寿命	用钢丝刷、刮板、 刮轮等工具手工或机 械清理 高压水清理 水中放电清理
锻后及热处 理后清理	清除锻件表面氧化皮和模锻件的微小毛刺,提高锻件的尺寸精度和减小表面粗糙度值,有时还可使锻件表面强化	滚筒清理 振动光饰 喷砂清理 抛丸清理 酸洗清理

3. 清理方法(表 8.3-5)

表 8.3-5 锻件清理方法

清理方法	原理和工艺	特点及应用
风铲清理	用风铲清理表面缺陷	主要用于结构钢 大型锻件和毛坯, 清理深度较大的裂 纹、折纹和毛刺

(续表)

清理方法	原理和工艺	特点及应用
砂轮打磨清理	<p>用砂轮机清理表面缺陷和毛刺,清理后工件表面的凹坑应圆滑,凹坑的宽高比应大于 5</p> <p>有色金属材质较软,可用风动或电动的小铣刀或砂轮打磨</p>	<p>适用于各种材料和各种类型的锻件或毛坯,尤其适用于表面缺陷埋伏较浅和面积较大的高合金钢和有色金属锻件以及清理要求较高的中、小型模锻件。清理质量较好,表面粗糙度 R_a 可达 $2 \sim 3.2 \mu\text{m}$</p>
火焰切割清理	<p>使用气割枪做工具,用氧-乙炔焰或氧-丙烷焰将钢表面层加热到 $900 \sim 1100^\circ\text{C}$,然后打开割枪的切割氧气,使钢燃烧,同时靠高压氧气流将熔渣吹掉并加热锻件的相邻表面层,周而复始使切割清理连续进行</p> <p>为防止锻件切口表面形成龟裂,切割部位要留有余量;含碳量高于 0.5% 的碳钢和含碳量高于 0.3% 的合金钢锻件,切割清理前预热到 $200 \sim 400^\circ\text{C}$</p>	<p>用于碳素钢和低合金钢的钢锭、大型钢坯及大锻件。在小批生产中,也可用于大型模锻件的切边,还可用于大型锻件和钢坯的大断面切割</p>
高压水清理	<p>加热好的坯料,以 $0.2 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 的速度迅速通过高压水喷射装置,让 $150 \sim 200$ 大气压的高压水从四周向坯料喷射,坯料表层的氧化皮遇冷急剧收缩而裂开,并很快被高压水冲走。由于坯料受高压水喷射的时间很短,坯料本身来不及冷却,温度下降很少</p>	<p>用于清理横截面尺寸为 $50 \sim 150 \text{ mm}$ 的热毛坯,效率高,效果好,但需设置高压水泵站,费用大</p>

(续表)

清理方法	原理和工艺	特点及应用
水中放电清理	<p>将热毛坯放入水箱中高压直流电极间的放电区,经过 1~2 s 的放电清理,靠水中高压放电产生的冲击波清除氧化皮</p>	<p>清理速度快,可以清除任意横截面形状和有孔的热毛坯。结构钢的氧化皮可以完全清除,高铬合金钢的清理效果稍差。目前,生产中用于横截面尺寸小于 50 mm 的毛坯</p>
滚筒清理	<p>锻件在旋转的滚筒中,靠相互碰撞或研磨以清除工件的氧化皮和毛刺</p> <p>滚筒清理分无磨料滚筒清理和有磨料滚筒清理两种:前者不加磨料,可加入直径为 $\phi 10 \sim 30$ mm 的钢球或三角铁(有的还附加一些木屑),总装载量占滚筒容积的 70%~80%,其中锻件在总装载量中的体积百分比为 80%~85%,主要靠相互碰撞清除氧化皮和毛刺;后者用鹅卵石、石英石、废砂轮碎块、工业陶瓷碎块、氧化铝磨块等磨料(选其中一种或几种)代替三角铁或钢球,并加入一些肥皂水、苏打等起清洗作用的添加剂,主要靠研磨进行清理</p>	<p>设备简单,使用方便,噪音大,适用于能承受一定冲击而不易变形的中小型锻件</p>

(续表)

清理方法	原理和工艺	特点及应用
振动光饰	<p>锻件与一定配比的磨料和添加剂混合在一起,放入振动光饰机的容器中,依靠容器的振动,使锻件与磨料相互研磨,清除锻件表面的氧化皮</p> <p>常用的磨料有鹅卵石、石英石、氧化铝成形磨块或烧结碎块、碳化硅成形磨块、废砂轮碎块、陶瓷磨块和有机磨料等,磨料与锻件的体积配比为2:1~6:1</p> <p>添加剂分防锈剂、光泽剂、清洗剂、润滑剂和浸蚀剂</p>	<p>适用于精锻件和5~6 kg 以下的模锻件,还常用于要求进一步清除氧化皮及需要进行光饰的锻件</p> <p>振动光饰清理后锻件的表面粗糙度 R_a 可达 $1.25 \sim 2.5 \mu\text{m}$,多次振动光饰后 R_a 可达 $0.05 \sim 0.16 \mu\text{m}$。低粗糙度的振动光饰抛光可以提高锻件疲劳强度和消除内应力</p>
喷砂(丸)清理	<p>以压缩空气为动力,将一定粒度的砂或铁(钢)丸通过喷枪形成高速砂流喷射到锻件上,以去除锻件表面上的氧化皮、锈蚀和污垢</p> <p>常用的喷砂材料是干燥的铝矾土(三氧化二铝)砂和石英砂,铝矾土砂清理效率高,不易破碎粉化,使用寿命长。砂粒的粒度与锻件材料和要求的表面粗糙度有关,清理氧化皮用的:30~40 目;清理粗表面用的:60~80 目;清理普通表面用的:120~220 目;清理低粗糙度表面用的:320~400 目</p>	<p>适用于任何形状和大小的锻件</p> <p>喷砂清理灰尘大,生产率低,费用高,多用于有特殊技术要求和特殊材料(如不锈钢、钛合金)的锻件,喷丸清理较干净,但生产效率也低,往往由高生产率的抛丸清理代替</p>

(续表)

清理方法	原理和工艺	特点及应用
喷砂(丸) 清理	<p>常用的喷丸材料是铁丸和钢丸。铁丸是含碳量 3.2%~4.0% 的白口铁, 淬火、低温回火后硬度 51~60HRC; 钢丸含碳量 0.5%~0.7%, 可用直径 $\phi 0.8 \sim 2$ mm 的钢丝切断制成, 淬火后硬度 60~64HRC; 此外, 还有专用于有色合金锻件的铝丸和玻璃丸。喷丸材料的粒度见表 8.3-6</p>	<p>采用大粒度丸(砂)清理后对锻件表面还有强化作用, 喷丸强化可使硬度提高 30%~40%, 表面强化层厚度可达 0.2~0.5 mm</p>
抛丸清理	<p>将锻件置于密闭的抛丸机内, 利用抛丸器高速旋转的叶轮所产生的离心力, 把一定粒度的钢丸(或铁丸)以 60 m/s 的速度抛掷到锻件表面, 通过机械碰撞去除氧化皮</p> <p>所用的丸料有冷硬铸铁(59~63HRC)、可锻铸铁(33~37HRC)、铸钢(43~46HRC)和钢丸(51~60HRC), 其中常用钢丸和铸钢丸料。丸料形状有圆球状和棱角状两种, 圆球状丸料适用于清除氧化皮和表面粗糙度要求较高的锻件, 棱角状丸料常用于涂层、镀层的准备清理</p> <p>抛丸用丸料粒度的选择, 可参照表 8.3-7</p>	<p>是生产中广泛采用的高生产率、低能耗的清理方法之一, 主要用于钢锻件, 但对叶片等易变形的锻件不宜采用</p> <p>生产效率高, 耗能低, 清理质量也较好, 表面粗糙度值较低, 与喷丸清理一样也有表面强化作用, 但噪音大</p>

(续表)

清理方法	原理和工艺	特点及应用
酸洗清理	<p>钢锻件使用的酸洗溶液通常是硫酸和盐酸</p> <p>硫酸酸洗时,基本金属铁、氧化皮内层铁粒子及氧化皮内层的氧化亚铁与硫酸发生如下反应:</p> $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$ $\text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ <p>生成的氢气和易溶的 FeSO_4 使氧化皮从基体金属表层剥落。酸洗后易使锻件表层含氢量增加(过量时可能导致氢脆)及氢从酸液逸出形成酸雾,因此,在酸洗液中应添加适量的添加剂(NaCl、KC 或酸洗抗蚀剂)</p> <p>盐酸酸洗时,主要靠盐酸使氧化皮本身溶解,酸洗后锻件表面质量也比硫酸酸洗好,一般不会产生氢害。但硫酸价格便宜、储运方便、废酸回收处理后可重新使用,因此生产中多采用硫酸进行酸洗,只有在有特殊技术要求时才采用盐酸进行酸洗</p> <p>钢及高温合金锻件的酸洗工艺见表 8.3-8</p> <p>高合金钢和有色合金需要使用多种酸混合溶液进行酸洗,有时还使用碱-酸复合酸洗</p>	<p>酸洗清理的表面质量高,清理后锻件的表面缺陷(发裂、折纹)显露清晰,便于检查,对锻件上难清理的部位(如深孔、凹槽等)比较有效,而且锻件不会产生变形。因此,酸洗广泛用于形状复杂、扁薄细长、易变形和重要的锻件。一般酸洗后锻件表面呈青灰黑色,有时为了提高锻件非切削加工表面质量,酸洗后再进行抛丸等机械方法清理和强化</p>

表 8.3-6 喷丸材料的粒度

锻件类型		喷丸材料	粒度/mm
大型钢锻件		铁丸或钢丸	1.5~3.5
中、小型钢锻件	正火或退火状态的	铁丸或钢丸	1.0~2.0
	淬火或调质状态的	铁丸或钢丸	0.3~1.2
薄壁类 锻件	壁厚>5 mm 的	铁丸	0.8
	壁厚<5 mm 的	铁丸	0.5
	壁厚<2.5 mm 的	铁丸或钢丸	0.3
有色合金锻件		铁丸	0.3~0.5
		铝丸	0.8~2.0
		玻璃丸	0.04~2.5

表 8.3-7 抛丸用丸料粒度选择表

粒度牌号	每公斤钢丸的粒数	适用范围
S—550	52 500	重型锻件
S—390	164 973	中型锻件
S—280	458 711	小型锻件
S—230	836 856	有色合金锻件
S—170	1 894 737	热处理后一般清理

表 8.3-8 钢和高温合金锻件的酸洗工艺

序号	工序名称	设备或工具	槽液成分/(g/L)	温度/℃	时间/min	备注
1	装筐	不锈钢筐				
2	化学 除油	除油槽	(两种配方任选一种) ① NaOH(密度 1.054~ 1.093g/cm ³) 50~100 Na_3PO_4 40~60 Na_2SiO_3 20~30 ② Na_3PO_4 20~40 NaOH 60~80 Na_2CO_3 20~40 Na_2SiO_3 3~10	60~90	5~15	
3	热水洗	热水槽		60~70	3~5	
4	流动清水洗	冷水槽		室温	3~5	
5	酸洗	腐蚀槽	(四种配方任选一种) ① H_2SO_4 (密度 1.126~ 1.14g/cm ³) 250~280 NaCl 20~30 若丁 0.8~1.0 或液体 KC 10~15 ② HCl(密度>1.10g/cm ³) 液体 KC 120~250 15~20	40~60	60~240 (除净为止)	
				30~50	10~30	

(续表)

序号	工序名称	设备或工具	槽液成分/(g/L)	温度/℃	时间/min	备注
5	酸洗	腐蚀槽	③ H_2SO_4 (密度 1.84g/cm^3) 16.64% (质量比) $\text{SnCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0.17% H_2O 83.19% ④ H_2SO_4 (密度 1.84g/cm^3) 12%~20% NaCl 2.5%~5% NaNO_3 1%~2%	60~70 75~80	30~40 (结构钢与 工具钢) 60~80 (不锈钢、耐 热、耐酸钢、 高温合金) 20~50 (用于高 合金钢)	
6	冷流水洗	冷水槽		室温	1~5	2次
7	除光	铬酐槽	CrO_3 180~200 H_2SO_4 1~2 H_2O 余量	室温	2~10	
8	冷流水洗	冷水槽		室温	1~2	

(续表)

序号	工序名称	设备或工具	槽液成分/(g/L)	温度/℃	时间/min	备注
9	中和	中和槽	(两种配方任选一种) ① Na_2CO_3 (密度 $1.012 \sim 1.018 \text{g/cm}^3$) 20~50 H_2O 余量 ② NaOH (或 KOH) 4.6%~6.5% H_2O 95.4%~93.5%	室温	2~3	
				室温	1~3	
10	热水洗	热水槽		60~90	1~3	
11	冷流水洗	冷水槽		室温	1~2	
12	防锈	防锈槽	NaNO_3 20%~30% H_2O 余量			
13	干燥	压缩空气	吹干			
14	检查		100%目检			

第四节 锻件热处理和余热处理

一、锻件热处理

锻件在机械加工前后一般都要进行热处理,机械加工前的热处理称为锻件热处理,机械加工中间或以后的热处理称为零件热处理。

1. 锻件热处理的目的

锻件热处理的目的:

- ① 调整锻件硬度,以利对锻件进行切削加工。
- ② 消除锻件内应力,以免在后续加工时变形。
- ③ 改善锻件内部组织,细化晶粒,为最终热处理做好组织准备。
- ④ 对于不再进行最终热处理的锻件,应保证达到所要求的组织和力学性能。

2. 锻件热处理的种类

(1) 中、小型锻件的热处理

- ① 中、小型锻件热处理的方法及用途,见表 8.4-1。

表 8.4-1 锻件热处理方法及用途

名 称	含 义	目 的	主 要 用 途
完全退火	将锻件加热到 A_c 以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$,保温一定时间后,随炉缓冷,以获得状态较平衡的组织	消除锻件的粗大晶粒及锻造应力,降低硬度,提高塑性和韧性,改善切削加工性能,并为零件热处理做好组织准备	一般适用于亚共析钢

(续表)

名 称	含 义	目 的	主 要 用 途
球化退火	将锻件加热到 A_c 以上 $10 \sim 20^\circ\text{C}$, 较长时间保温, 随炉缓冷并保温, 使钢中的渗碳体球状化, 从而获得球状珠光体组织	消除内应力, 降低硬度, 提高塑性和韧性, 改善切削加工性能, 为零件热处理做好组织准备	一般适用于共析钢和过共析钢
等温退火	将锻件加热到 A_c 以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$, 保温一定时间后急冷至 A_c 以下某一温度(即奥氏体最不稳定温度区), 再保温一定时间后空冷或随炉缓冷	与完全退火和球化退火相同, 但可缩短退火时间, 提高生产效率	适用于亚共析钢、共析钢和过共析钢
低温退火	将锻件加热到 A_c 以下再结晶温度以上, 保温一定时间后缓冷	消除锻件的残余应力及大型锻件去除氢气	一般用于大锻件除氢及冷变形件去应力
正火	将锻件加热到 A_c 或 A_{cm} 以上 $50 \sim 70^\circ\text{C}$, 保温一定时间后空冷	细化晶粒, 提高钢的强度和韧性, 减少内应力, 对共析钢可消除网状碳化物	适用于亚共析钢、共析钢和过共析钢
淬火	将锻件加热到 A_c 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ (亚共析钢) 或 A_c 和 A_{cm} 之间 (过共析钢), 保温一定时间后急冷	获得高硬度的马氏体组织, 从而提高强度和硬度, 对于奥氏体钢, 淬火即为固溶处理	适用于淬火钢, 对 10、15 钢可改善切削性能

(续表)

名 称	含 义	目 的	主 要 用 途
回火	将淬火后的锻件加热到低于 A_c 的某一温度,保温一定时间后空冷	使淬火后的组织稳定,消除淬火应力,获得较好的综合力学性能	适用于淬火钢
调质	对淬火后的锻件,再根据所要求的硬度选择加热温度,进行高温回火	获得良好的综合力学性能和指定的硬度	亚共析钢(中碳钢和合金钢)
固溶处理	将锻件加热到适当温度(对合金钢加热到奥氏体区温度),保温充分时间,使某些组成物溶解到基体中,形成均匀的固溶体,然后迅速冷却,使溶入的组成物保留在基体内,在室温下获得过饱和固溶体	改善合金的塑性和韧性,为进一步时效硬化处理准备条件;消除应力,对奥氏体型不锈钢还可消除冷变形强化	适用于锻铝、硬铝、超硬铝等铝合金,奥氏体型不锈钢,耐热钢和高温合金
时效	经固溶处理得到的过饱和固溶体或经冷加工变形的合金,在室温或高于室温的温度下存放一段时间,使溶入基体内成为过饱和固溶体的溶入物均匀而弥散的析出	提高合金的强度和硬度	适用于时效强化的高温合金,锻铝、硬铝、超硬铝等铝合金

② 常用锻件热处理工艺,见表 8.4-2。

表 8.4-2 常用锻件热处理工艺

热处理	钢号举例	加热温度/℃	冷却方法	硬度 HB
正火	10、20、30、Q235	880~920	静止空气中冷却	≤156
	35、40、Q275	850~870		≤207
	45、50、40Cr	820~860		≤207
	55、60、65、70	800~820		≤229
	40CrNi、50Cr、50CrNi	820~840		≤241
	T7、T8、T10、T12	790~820		≤269
退火	T7、T8、T10、T12	750~780	炉冷到 600~650℃,保温 1~2h,再炉冷到 600℃,出炉空冷	170~207
	9CrSi、CrWMn、CrMn、9CrWMn、CrW5、GCr9、GCr15	770~780	炉冷到 650~680℃,保温 3~5h,再炉冷到 600℃,出炉空冷	207~255
	5CrMnMo、5CrWMn、5CrNiMo	760~790	炉冷到 600℃以下空冷	197~241
	W9Cr4V2、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2	820~850	炉冷到 720~750℃,保温 4~6h,再炉冷到 600℃,出炉空冷	217~255
	Cr12、Cr12Mo	850~870		207~269
	2Cr13、3Cr13、4Cr13	860~900	保温 3~4h 后,炉冷到 600℃,出炉空冷	207~255
固溶处理	0Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、2Cr18Ni9	1 050~1 100	保温后在水中快速冷却	140~200

(2) 大型锻件的热处理

大型锻件的热处理通常是和锻件的冷却结合在一起进行。

大型锻件的断面尺寸大,生产过程复杂,容易出现组织和性能的不均匀、晶粒粗大、较大的残余应力和白点等缺陷,因此,其热处理除了消除应力、降低硬度之外,主要目的在于预防白点、提高化学成分均匀性及调整细化组织。

① 预防白点的处理。钢中的白点是由于含量偏高的氢和过大的组织应力共同作用引起的。钢中的合金元素和组织状态不同,产生白点的敏感性也不同。钢按白点敏感性高低分组见表 8.4-3。一般情况下,含有 Cr、Ni、Mo 等元素的钢对白点敏感,通常只有珠光体、贝氏体及马氏体钢会出现白点,而奥氏体、铁素体及莱氏体钢不会产生白点。

表 8.4-3 钢按白点敏感性高低分组

组别	钢的类型	钢号举例	白点敏感性
1	碳素结构钢 低碳低合金钢	15CrMo、20CrMo、20Cr 20MnMo	较低
2	中碳低合金钢	40Cr、35CrMo	中等
3	中碳合金钢	40CrNi、60CrNi、5CrNiMo、 5CrMnMo、34CrNiMo	较高
4	中合金钢	34CrNi3Mo、20Cr2Ni4	最高

预防白点产生就是要去除锻件中的氢和减小组织应力,通过合理的冷却和热处理可达此目的,通常称为扩氢处理。

大型锻件防止白点的锻后冷却与热处理结合进行的工艺有:等温冷却、分段等温冷却和分段等温退火,其热处理曲线与奥氏体等温转变曲线的关系如图 8.4-1,其中等温冷却工艺适用于碳

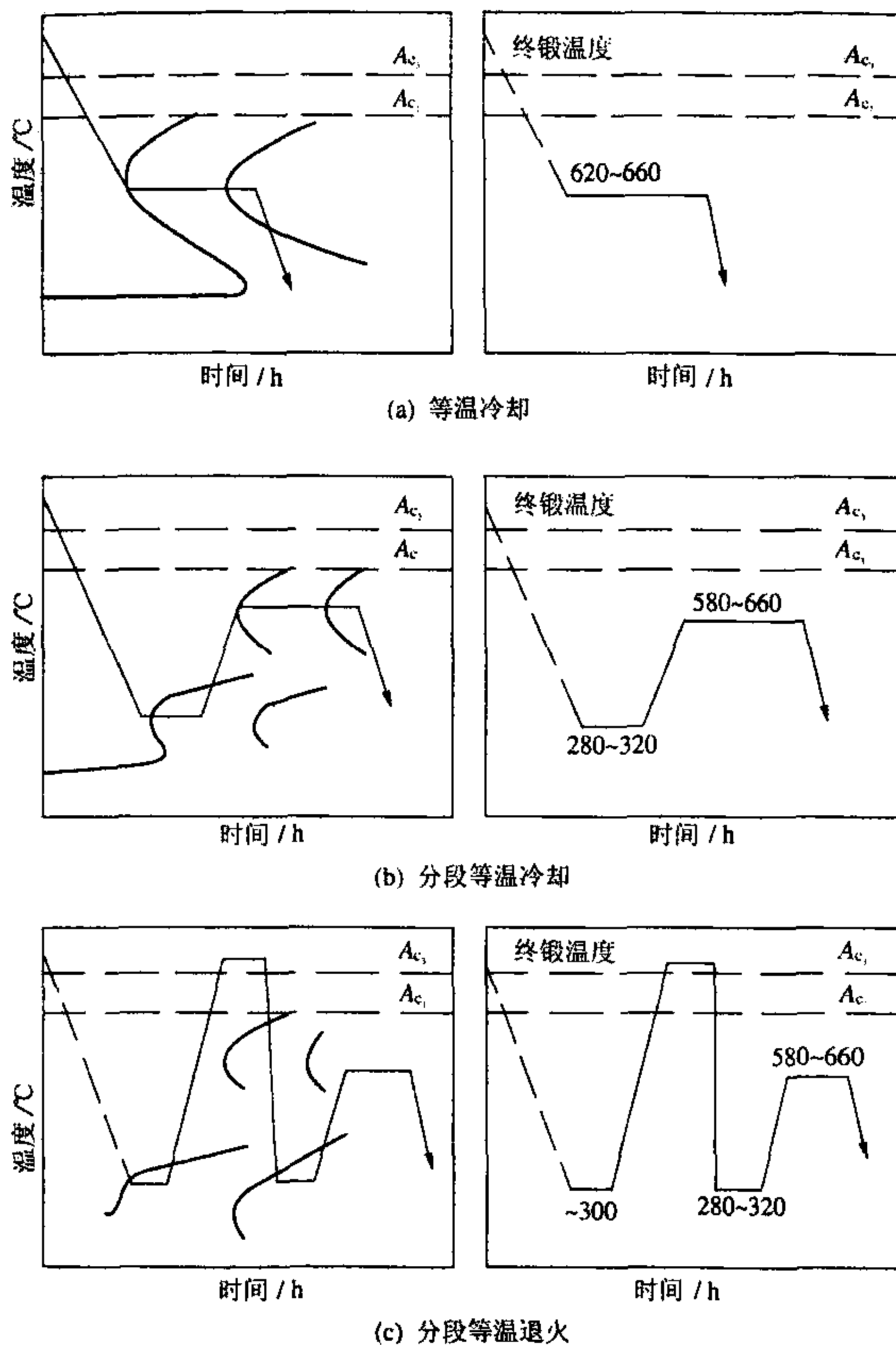


图 8.4-1 防止白点的热处理曲线与奥氏体等温转变曲线的关系

钢及低合金钢锻件;分段等温冷却工艺适用于白点敏感性较高的小截面合金钢锻件;分段等温退火工艺适用于白点敏感性高的大截面合金钢锻件。

② 大型锻件的正火回火处理。对于白点不敏感或经真空处理的钢锻件,基本上不会产生白点,锻件热处理的主要目的是细化晶粒、均匀组织,锻后一般进行正火和回火处理。

在实际生产中,多数锻件采取热装炉正火、回火处理,如图 8.4-2。锻后空冷或坑冷的锻件,则采取冷装炉正火、回火处理,如图 8.4-3。正火后进行过冷的目的,是为了降低锻件心部温度,经适当保温使温度均匀,同时也能起到去氢的作用。过冷温度因钢种的不同而不同,一般热装炉为 $350 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 或 $400 \sim 450^{\circ}\text{C}$,冷装炉为 $300 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 。

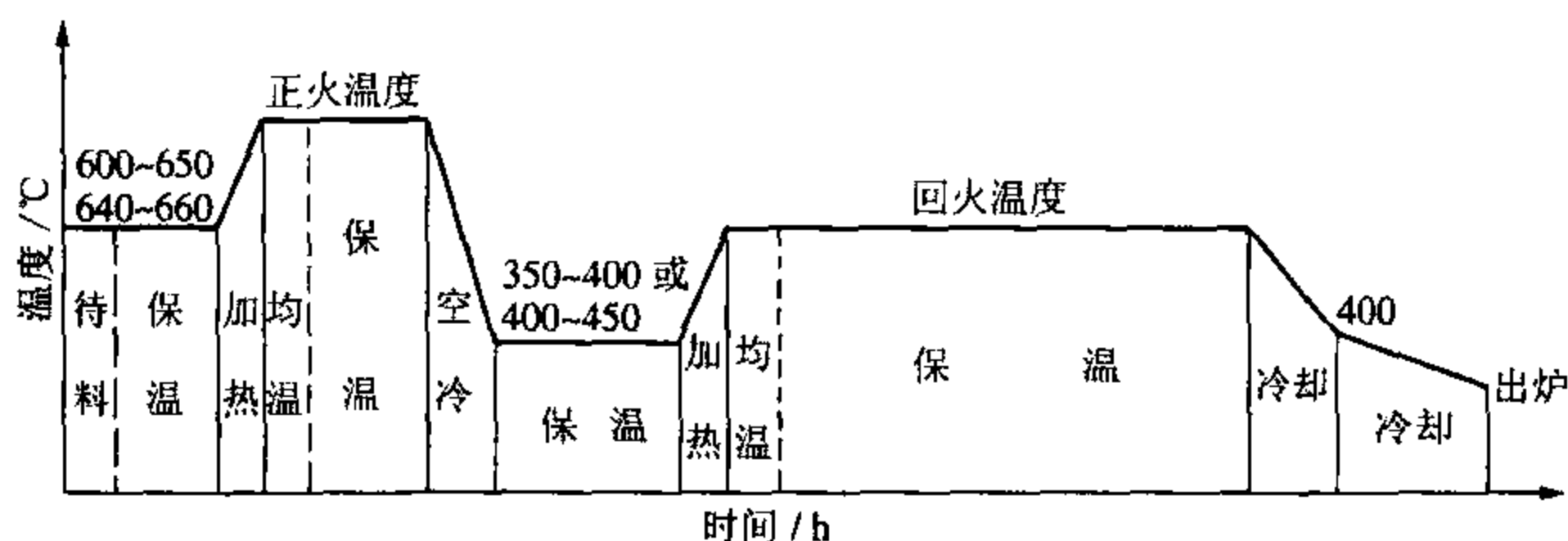


图 8.4-2 大锻件正火回火曲线(热装炉)

二、锻件余热处理

常规热处理工艺是把冷却后的锻件从室温加热到规定温度,保温后再采用不同的冷却方式进行热处理。如果锻后不使锻件冷却到室温,利用其余热直接进行热处理,就叫做余热处理。余热处理避免了重复加热,可以节省大量能源,提高生产效率。

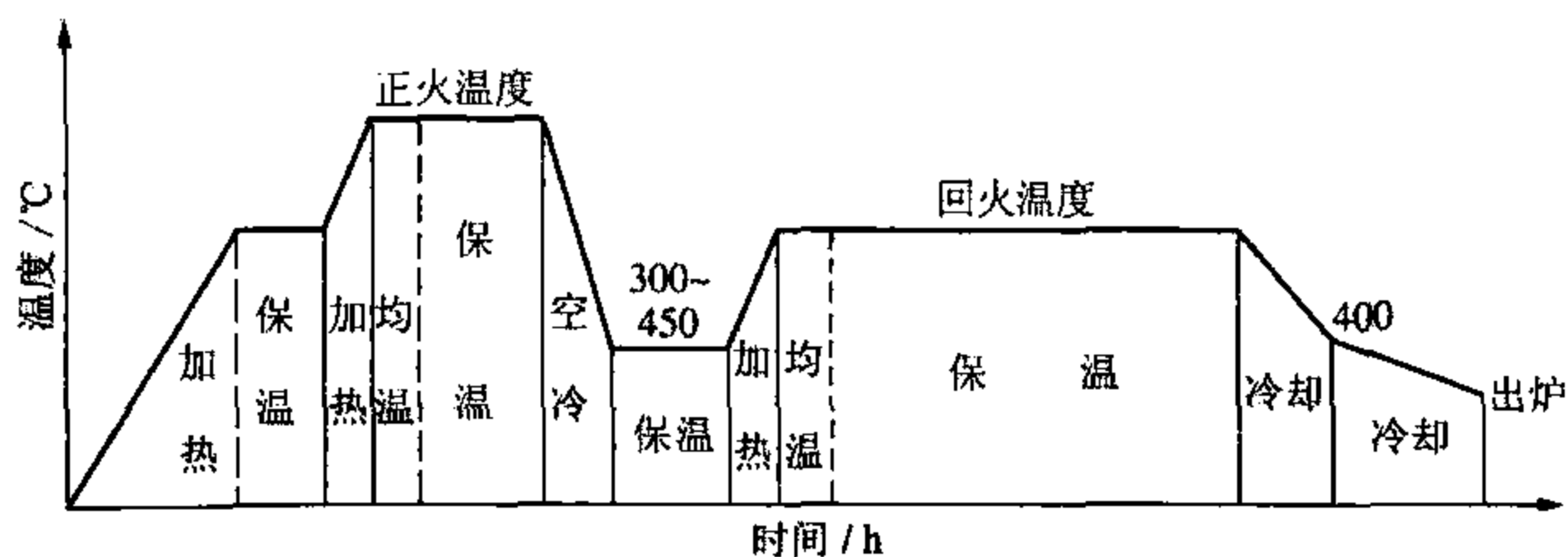


图 8.4-3 大锻件正火回火曲线(冷装炉)

锻造加热温度高于热处理加热温度,锻造过程中的降温速度也难以控制,所以利用锻件的终锻温度进行各种热处理和常规热处理的转变过程并不完全相同。

在生产中应用最多的是中碳结构钢的余热处理。

1. 正火

锻件成形后快速冷却到规定的正火温度,保温后空冷。空冷的速度要比常规正火的冷却速度快,可采用风冷或喷雾冷却。

2. 退火

终锻后先冷却到 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$,装入等温炉保温一定时间,再升温到 $600\sim 680^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后以 $40\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度冷却到 500°C ,最后空冷到室温。

3. 锻热淬火

把锻造成形后的热锻件立即投入水中或油中迅速冷却,叫做锻热淬火。

锻热淬火不仅利用了锻件的余热,而且在淬火时保留了因锻造变形而发生的强化作用,所以比常规淬火能得到更好的性能。

终锻温度即为淬火温度,应符合热处理工艺的要求,考虑操

作等原因,可以稍高一些,约为 $900\sim 1\,000^{\circ}\text{C}$ 。为此,要调整好锻压工艺过程,控制终锻温度在预定的范围内。

终锻后到淬火前的停留时间越短越好,一般不应超过 30 s ,如果停留时间过长,得不到强化效果。

锻造变形大,速度快,强化效果好。

45 钢锻热淬火调质后与普通调质的性能对照见表 8.4-4。

表 8.4-4 45 钢锻热调质后与普通调质的硬度对照

调质方法	组织	淬火后硬度 HRC	回火后硬度 HB
锻热淬火调质	索氏体	56~58	247~262
普通调质	索氏体	54~58	230~255

33CrNiSiMnMo 钢锻热淬火与普通淬火的性能对照见表 8.4-5。

表 8.4-5 33CrNiSiMnMo 钢锻热淬火与普通淬火的力学性能对照

热处理方法	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ/MPa	$\delta(\%)$
锻热淬火	1 680	1 980	10.0
普通淬火	1 450	1 700	8.5

第九章 锻件缺陷及其产生的原因

第一节 自由锻件的缺陷及其产生的原因(表 9.1-1)

表 9.1-1 自由锻件的主要缺陷及其产生原因

序号	缺陷名称	发生情况	产生原因	备注
1	横向裂纹	锻造时成两截	浇注中断	
		锻造时毛坯表面出现横向较深裂纹	① 钢锭模内壁有缺陷或新锭模使用前未很好退火 ② 钢水浇注操作不当: 高速、高温浇注, 引起外皮形成较慢及钢水膜受到摆动 ③ 产生挂锭现象, 冷却时拉裂 ④ 钢锭与锭模铸合 ⑤ 拔模后冷却不当	① 锻造时第一火即出现 ② 锻造过程中一经发现就用吹氧去除, 以免以后锻造扩大
		锻造时毛坯表面出现横向较浅裂纹	① 钢锭皮下气泡暴露于表面不能焊合而形成, 深入毛坯数毫米至 10 mm 以上 ② 对塑性较差金属, 相对送进量过大(>1)	
	内部横向裂纹		① 冷锭低温区快速加热而引起 ② 相对送进量 $l/D(l/H) < 0.5$, 且金属塑性较差(尤其是高碳钢、高合金钢)	

(续表)

序号	缺陷名称	发生情况	产生原因	备注
2	纵向裂纹	表面纵向裂纹	① 钢锭模内壁有缺陷或新锭模使用前未很好退火 ② 钢水浇注操作不当: (a) 浇注速度过大, 钢水温度过高, 引起凝固外皮破裂或在冷却时产生 (b) 浇注时浇口偏斜 ③ 钢锭拔模后冷却方式不当或脱模过早	锻造过程中一经发现就用吹氧法去除
			倒棱时压下量过大	
	内部纵向裂纹	因缩管残余或二次缩孔在锻造时引起裂纹	① 锭模设计不合理, 浇注过程控制不当, 使收缩孔不是集中在冒口部分 ② 锻造时切头不足	
		中空纵裂	在平砧下拔长圆形毛坯产生	
		裂纹出现于锻件中心区域, 且取向于纵向	① 加热未烧透, 内部温度过低 ② V形砧角度过大, 或用平砧拔长圆形工件	
		十字裂纹	拔长送进量过大或在同一部位反复拔长	多见于高合金钢中
3	炸裂	锻造前加热或锻后冷却热处理后, 表面或内部裂纹	① 错误地采用快速加热 ② 不适当的冷却 ③ 有残余应力	如 W18Cr4V

(续表)

序号	缺陷名称	发生情况	产生原因	备注
4	自行开裂	锻造或热处理后发生或经过长时间后发生	锻造过程中已形成裂纹, 热处理使之加剧, 锻件自身残余应力过大	
5	“流线”裂纹	两个相的交界面上发生撕裂	锻造变形量控制不当。锻造某些牌号的高合金钢时, 锻造时钢处在两相状态, 锻造马氏体——铁素体不锈钢和耐热钢时即是如此	如锻造 Cr17Ni2
6	表面龟裂	在锻件表面出现龟甲状较浅裂纹	① 钢中铜、锡、砷、硫含量较多 ② 始锻温度过高	缺陷清理后, 不妨碍继续锻造
7	过烧	晶粒间氧化锻造时引起裂纹。在锻裂断面上失去金属的光泽	加热温度过高或加热时间过长, 晶粒边界熔融和氧化	
8	白点	锻件内部银白色、灰白色圆形的裂纹, 含 Ni、Cr、Mo、W 等合金钢容易产生	① 钢中含氢量过高 ② 锻后冷却或退火制度不合适	用低倍、酸洗、断口和超声波探伤发现

(续表)

序号	缺陷名称	发生情况	产生原因	备注
9	疏松	沿钢锭中心疏松组织未锻合,多与非金属夹杂等并存	① 精炼不良 ② 锭型不适当 ③ 锻造比不适当,变形方案不佳 ④ 相对送进量过小(<0.5) ⑤ 工具形状不合适	主要原因尚需探讨
10	非金属夹杂物		含量与分布情况,与精炼和铸锭有关,分散的程度与锻造时变形量和变形方案有关	钢中有显微非金属夹杂物是不可避免的,可不认为是缺陷
11	折叠	锻后表面折叠	① 砧子形状不适当,圆角过小 ② 送进量小于压下量	
12	晶粒度局部粗大	锻件表面和内部局部晶粒度粗大	① 变形不均匀 ② 工具预热温度低 ③ 锻件与工具摩擦大	对奥氏体钢
			① 钢中残余铝含量不够(只对本质晶粒度有影响) ② 加热温度高,而且锻造比不足	对结构钢
13	成分不合适	化学成分不符合要求范围	炼钢控制不当	

(续表)

序号	缺陷名称	发生情况	产生原因	备注
14	力学性能达不到要求	强度不合格	与炼钢、热处理有关,与锻造无关	
		横向力学性能(塑性、韧性)不合格	① 锻粗锻比不够 ② 冶炼杂质太多	
15	偏斜 偏心	端部偏斜, 中心线偏移	① 锻造工艺或操作不适当 ② 加热不均匀	
16	弯曲、 变形	锻造、热处理后弯曲与变形	① 锻造矫直不够 ② 热处理操作不当	

第二节 模锻件的缺陷及其产生的原因(表 9.2-1)

表 9.2-1 模锻件的主要缺陷及其产生的原因

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
1	过热	奥氏体晶粒迅速长大。不稳定过热,可用正火、退火等热处理方法消除;稳定过热用一般热处理方法不易改善或消除	由于加热温度过高,或在某温度下停留时间过长 过热将使锻件的力学性能,特别是塑性和冲击韧性降低

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
2	过烧	过烧部位的晶粒特别粗大,氧化特别严重,裂口间的表面呈浅灰蓝色。严重过烧的毛坯,锻造时一击就碎,是致命的锻件缺陷,无法挽救	加热温度过高或加热时间过长,晶粒边界熔融和氧化
3	氧化	严重加热氧化的毛坯或零件,其表面形成橘皮状的细小气泡,或生成易熔的氧化铁,黏附在金属表层成了坚硬的氧化皮	毛坯在加热炉中或高温下停留时间太长,而且炉中有氧和水蒸气,当毛坯金属的铁原子与氧发生激烈氧化时,就在金属的表层生成氧化皮。这层氧化皮,若锻造前清除不净,则被压入锻件表面,但经清理酸洗,部分剥落便成了锻件表面凹陷麻点,重者影响锻件几何尺寸,甚至因加工余量不够而零件留下黑皮直至报废
4	脱碳	所谓脱碳,即毛坯或锻件表层的碳被部分或全部烧掉而造成贫碳区。因此,锻件最外层、稍向内层与其心部组织不一致	<p>脱碳层深度 0.01~0.6 mm 左右。它与钢的成分、炉气成分、炉温和在此温度下的保温时间有关。钢在 800~850℃开始脱碳,随着加热温度的升高与加热时间的延长,脱碳也更为严重。1 000℃时,炉中毛坯金属的脱碳比氧化还要厉害。</p> <p>脱碳严重的零件,其疲劳寿命显著降低,在重复应力的作用下,容易引起零件的早期破坏</p>

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
5	增碳	经油炉加热的锻件,其表面或部分表面碳含量明显提高,硬度增大。增碳层的含碳量可达1%左右,局部点甚至超过2%,出现莱氏体组织。增碳层厚度有的达到1.5~1.6 mm	坯料在油炉里加热时,两个喷嘴的喷射交叉区得不到充分燃烧,或喷嘴雾化不良喷出油滴,使锻件表面产生增碳 增碳的锻件,切削时易打刀
6	凹坑	锻件表面有局部凹坑	① 加热时间太长,或粘上炉底熔渣 ② 氧化皮未清除干净
7	局部充填不足	锻件上凸起部分的顶端或棱角充填不足的现象、主要发生在模锻件的筋条、凸肩转角等处,使锻件轮廓不清晰	① 坯料尺寸偏小 ② 加热时间太长,火耗太大 ③ 加热温度过低,金属流动性差 ④ 设备吨位不足,打击力太小 ⑤ 锤击轻重掌握不当 ⑥ 制坯模膛设计不当或飞边槽阻力小 ⑦ 终锻模膛磨损严重
8	模锻不足	锻件在与分模面垂直方向上的所有尺寸都增大,即超过了图纸上规定的尺寸。这种缺陷最容易出现在锤上模锻件上	① 坯料体积或尺寸偏大 ② 加热温度偏低 ③ 设备吨位不足 ④ 飞边桥部阻力过大

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
9	尺寸超差	锻件尺寸超过正、负公差	① 锻模设计时考虑收缩率不准确 ② 锻模制造误差 ③ 终锻模膛变形 ④ 切边模调整不当,锻件局部被切
10	错差	锻件上半部相对于下半部沿分模面产生了错位	① 锤头与导轨之间间隙过大 ② 上下模安装调整不当 ③ 锻模检验角加工有误差 ④ 锻模上没有锁扣或导柱 ⑤ 锁扣磨损或变形,或设计不佳 ⑥ 锻件有较大落差 ⑦ 燕尾或键槽、键磨损
11	压伤	锻件局部出现压痕或被压伤	① 坯料没放正或锤击中跳出模膛连击压坏 ② 设备有问题,单击时发生连击 ③ 切边凸模与锻件形状不吻合,切边时压伤 ④ 锻造、切边时因叮上模,掉下来时被砸伤,或因没轻拿轻放被砸伤

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
12	折叠	在外观上折叠与裂纹相似,在低倍试片上折叠处流线发生弯曲,如果是裂纹,则流线被切断。在高倍试片上,与裂纹底部尖细不同,折叠底端圆钝,两侧氧化较严重	① 在拔长、滚挤等制坯工步中锤击过猛,变形量太大 ② 预锻与终锻模膛设计配合不佳 ③ 模膛过渡处圆角半径过小
13	弯曲或扭曲变形	模锻件在切边时的弯曲或扭曲变形。在细长、扁薄、形状复杂的模锻件上容易发生	① 由于切边模与模锻件的接触面太小,或出现了不均匀接触而引起 ② 锻件从终锻模膛中撬起时变形
14	残留飞边	锻件分模面处残留毛刺过大	① 切边模与终锻模膛尺寸不符 ② 切边模磨损变钝或间隙过大 ③ 锻件切边时放置不正 ④ 切边模安装调试不精确
15	切边拉裂	切边时,在分模面处产生的裂纹	① 由于材料塑性低,在切边时引起开裂 ② 热切边时温度过低 ③ 冷切边时拉裂
16	原材料造成的裂纹	锻件表面沿长度方向出现的通条裂纹	由原材料表面的纵向裂纹或发纹引起

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
17	淬火裂纹	在锻件的尖角等应力集中处开裂。与锻造裂纹不同,淬火裂纹的内侧壁表面上没有氧化与脱碳现象	由于没有进行预备热处理、淬火温度太高、冷却速度过快以及锻件内部有夹杂物等缺陷所引起
18	硬度过高	锻件在热处理后检查硬度时,测得的硬度比技术条件要求的高	由于正火后冷却过快,或钢的化学成分不合格等所引起
19	硬度偏低	锻件硬度比技术条件要求的低	由于淬火温度偏低、回火温度偏高或者多次加热引起表层严重脱碳而造成
20	硬度不均(有软点)	在同一锻件上不同部位的硬度相差很大,局部地方的硬度偏低	由于一次装炉量太多,保温时间太短或局部有严重脱碳而引起
21	变形	在热处理过程、特别是在淬火中,锻件发生变形	由于热处理工艺不合理、冷却方式不当引起
22	机械损伤	锻件经过清理,因机械碰撞或操作不当,可能造成锻件变形,一般是翘曲、弯扭	喷丸时,由于选用钢球直径过大,喷丸过度而应力过大,结果零件的表面产生加工硬化层,并使零件表层容易出现局部变形

(续表)

序号	缺陷名称	主要特征	产生的原因
23	酸洗过度	酸洗过度的锻件, 其表面呈麻点状。轻者影响锻件表面质量, 重者减少了切削加工留量。严重腐蚀过度的锻件形似蜂窝状, 疏松多孔, 不能应用。严重腐蚀过度的铝合金锻件, 好像朽木一样呈粉末状掉下	酸、碱溶液浓度太大, 或酸洗工艺规范订得不合理(溶液温度太高, 锻件在酸洗槽中放置不当或停留时间太长), 均可能造成锻件的酸洗过度, 而影响锻件质量

第十章 锻模使用及防护

第一节 锻模安装、调整、试模及使用方法

一、锻模安装及调整(表 10.1-1)

表 10.1-1 锻模安装及调整方法

类别	模 具 的 安 装	调 整 方 法
锤 上 锻 模	依靠楔铁将上、下锻模的燕尾紧固在锤头和模座上,其贴合平面起传递力的作用。安装时,必须仔细调整键块,以保证锤头导向和锻模导向的一致性和协调性。在打紧楔铁的过程中,应同时用锤头带动上模轻击下模,才能使锻模易于紧固	左右错移可用楔铁和垫钢片调整。前后错移可用键块两侧的铁垫片调整。上下模中心轴线歪斜应检查设备或模具加工
锻 压 机 锻 模	锻模一般装在模座里。模座上设有导向部分,安装时应保证滑块导向和模座导向的一致性和协调性。安装模块(镶块)时,应注意合模高度与压机闭合高度,防止闷车;定位键或定位面的贴合;然后用紧固螺钉或楔铁紧固。以寸动缓慢地下降滑块,检查安装情况	左右、前后错移用垫片调整。上下由楔形工作台或滑块调节器调整
平 锻 模	预检夹持器和凹模尺寸,以及平锻机相关的安装尺寸。先装夹持器、再装固定凹模后,用寸动法驱动滑块验查运动间隙。然后再安装活动凹模,再寸动检查,防止冲头与凹模相撞。因各工步冲头长度不同,要注意各工步的间隙。检查凹模的夹紧程度,可用软铁丝夹扁情况来确定	夹持器前后由楔铁调整。凹模可用侧面垫片和底面垫片调整,但中心距很难调整

(续表)

类别	模 具 的 安 装	调 整 方 法
螺旋压力机锻模	<p>整体式和镶块式锻模分别安装在上、下底板或模座内。安装方法可参照锤锻模和锻压机锻模安装</p> <p>组合式锻模通常在地面平板上组装后,再安装到压力机上。若仅须更换部分零件,则直接在机上进行。缓慢地将滑块上、下运动,检查间隙和安装情况</p>	调整方法见锤锻模和锻压机锻模
切边模、冲孔模、复合模	<p>切边模、冲孔模安装时,应将凸、凹模四周的间隙基本一致,凸模的入模高度必须合理,并调好卸料板高度</p> <p>切边、冲孔复合模的安装调整较繁杂,一般在机外组装后上机安装。原则是切边、冲孔不同时进行,要注意凸凹模、锻件、托架、横梁、拉杆和顶杆等零件的相对位置和运动位置</p>	<p>先固定凸模,只调整凹模</p> <p>复合模应先调整凸凹模间隙和入模尺寸,再调整拉杆和顶杆的位置</p>

二、试模

在模具安装完成后,投产之前需经过试模(又称试锻)。试模要求加热、模锻、切边冲孔和热校正等工序全线联动,以发现模锻工艺设计、制坯方法、模具设计、制造、安装和调整等方面可能存在的问题,并加以改进。试模对新产品投产尤为重要。试模过程的要求和注意事项见表 10.1-2。

表 10.1-2 试模过程要求和注意事项

阶 段	要 求 和 注 意 事 项
试模前	熟悉工艺文件和模具图;检查模具安装是否牢固;检查设备状况;检查准备,压缩空气、冷却水、润滑装置;准备生产工具和钳子;以及原材料是否符合工艺要求等事项
试模中	将加热好的坯料按工步顺序锻造。注意每一工步后毛坯的变化,发现问题,及时分析研究,决定对策
试模后	① 尽快现场检查 and 目力检查锻件缺陷。如错模、欠压、充不满、凹坑、折叠、裂纹、残留毛边和毛刺、弯曲度等 ② 较重要的、复杂的锻件应进行酸洗和探伤检查表面缺陷 ③ 用划线方法检查锻件的形状和尺寸。有条件的话,可用检查样板或三坐标测量仪检测 ④ 将暴露出来的问题进行分析研究,提出解决措施,进行修整后,方可投产。对较复杂的锻件,必要时进行二次试模

三、锻模的使用方法

在锻件生产时,操作工必须按照相关的操作规程进行操作(见附录)。模锻工能否正确使用设备和模具,将对产品质量和模具寿命有直接的影响。

1. 锻模的预热(表 10.1-3)

表 10.1-3 锻模的预热方法

序号	摘 要		说 明
1	锻模预热的目的		① 经预热后的锻模,能获得较好的综合力学性能,避免使用中破裂,提高锻模使用寿命 ② 预热后的锻模可使模具表面与模体的温差降低,减少了模具表面层的热应力,提高锻模的使用寿命 ③ 预热后的锻模在使用时,可减缓锻件金属表层的冷却速度,有利于金属的流动,易于充满模膛,提高锻件质量 ④ 预热温度:约 $150\sim 350^{\circ}\text{C}$
2	预 热 方 法	炉 门 口 烘 烤	将模具放在炉门口烘烤,方法简便,但时间长,适用于小型移动式锻模
		红 热 钢 块 烘 烤	将加热到 $1\ 000\sim 1\ 100^{\circ}\text{C}$ 的钢块,放在锻模上、下模之间烘烤。方法简单,但预热时间太长,对模具表面有损害,甚至会引起回火,降低模具寿命。此法仅适用于大型及固定式锻模
		煤 气 喷 嘴 预 热	利用煤气喷嘴、油喷嘴或天然气、液化气喷嘴。适用于各种结构的锻模
		电 加 热	电热器、工频加热器、电炉等预热。适用于各种锻模
3	休停保温		模具在停工(休息)时,应用红热钢块或煤气喷嘴进行保温
4	预热温度的检测方法		① 用温度计测量 ② 根据经验测量:如在模具面放上白纸,看是否变黄;喷水或喷唾液,看是否迅速蒸发等 ③ 用合金测量:将测温合金(36%铅+64%锡,熔点 180°C ;或 99%锡,熔点 232°C)锻成 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 薄片,与模具接触,若在 $2\sim 3\text{ s}$ 内熔化,则表明锻模温度高于合金 $50\sim 100^{\circ}\text{C}$,预热合格 ④ 用快速测温笔在模具上画线,若两秒钟变成指定颜色,表明模具达到预热温度

2. 锻模的冷却和润滑

模锻过程中,高温金属不断把热量传递给模具,使模具温度逐渐升高。由于模膛温度在高于 400°C 后,会产生局部回火使模膛软化的现象,因此,通过冷却来减缓模具温度的上升,提高模具的使用寿命。冷却方法和注意事项见表 10.1-4。

表 10.1-4 常用冷却方法及注意事项

冷却方法	说 明
水 冷	① 冷水及食盐水冷却:主要用于 T7、T8、40Cr、45Mn 等材料的锻模在模锻时的冷却 ② 热水($40\sim 60^{\circ}\text{C}$)冷却:主要用于 5CrMnMo、3Cr2W8 材料的胎模及锤锻模的冷却
空 冷	用压缩空气吹冷,或用压缩空气将食盐水喷成雾状进行冷却
间歇冷却	在胎模锻时,采用多副模具或易损零件(模垫、冲头、镶块)进行间歇轮换使用,增加冷却机会
循环冷却	冷却液在模内循环流动,进行冷却
冷却注意事项	采用外冷时,冷却液在锻模外流动,易于在模膛表面产生拉应力。因此,开始时模具的降温不宜过快

模锻时,为减少高温金属流动与模膛之间的摩擦,使金属容易充满模膛和保持模膛的光洁,提高模具使用寿命,必须采用合适的润滑剂润滑模具。有些润滑剂也兼有冷却模具的作用。关于润滑剂的种类和应用见本章第四节。

3. 氧化皮的控制和清除

氧化皮对锻件质量和模具寿命都有很大的影响。氧化皮落

到模膛内,使锻件产生折叠、充不满和凹陷等缺陷形成废品;金属流动时,坚硬的氧化皮与模膛剧烈摩擦,破坏模膛表面,因此,生产时必须严格控制 and 清除氧化皮。氧化皮的控制和清除方法见表 10.1-5。

表 10.1-5 氧化皮的控制和清除方法

目 的	说 明 · 方 法 · 应 用
控制氧化皮	<p>减少氧化皮的生成,实现少、无氧化加热</p> <p>① 采用少、无氧化加热设备和加热方法</p> <p>② 提高炉温,进行快速加热方式</p> <p>③ 采用中、高频电加热,缩短加热时间,减少氧化皮生成</p> <p>④ 坯料表面喷涂各种防护润滑剂</p>
清除氧化皮	<p>氧化皮生成量的大小、厚薄、多少,取决于钢种、炉型、加热气氛和加热时间</p> <p>① 用专用工具清除,如高压水强力清除、钢丝刷和钢丝滚轮等</p> <p>② 在终锻前,采用镦粗、拔长等制坯工步和预锻模膛来打碎氧化皮</p> <p>③ 用压缩空气吹扫。对较复杂的锻件,在打击 1~2 次后,快速抬起锻件,吹扫氧化皮,同时冷却和润滑模具</p>

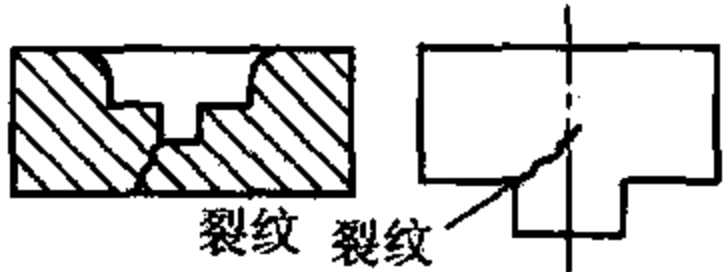
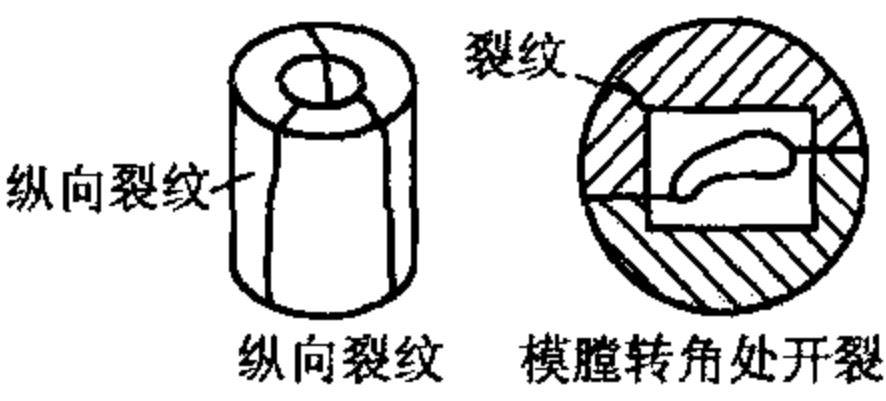
第二节 锻模的失效

一、锻模的失效形式及分析

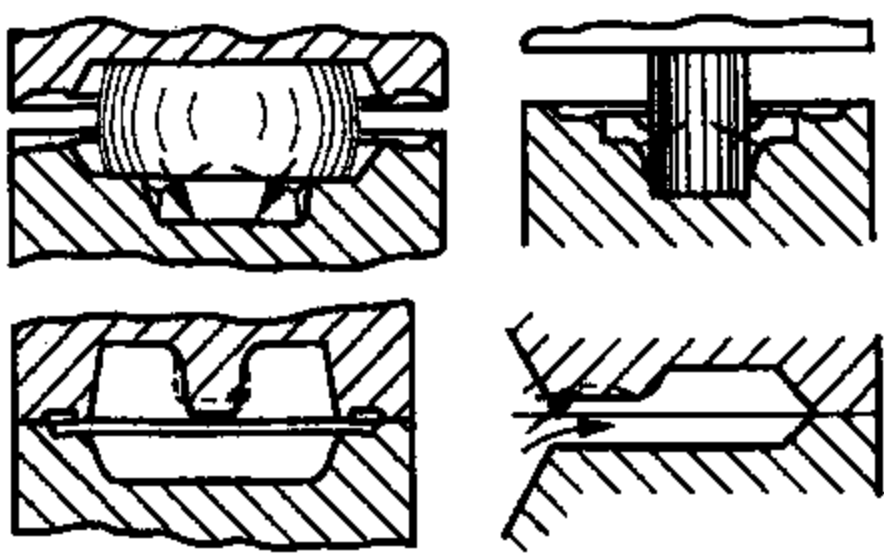
在正常工作条件下,锻模失效的主要形式有磨损、热疲劳裂纹(简称热裂)、破裂和模具发生塑性变形(压塌)等,其中磨损和热裂属正常失效,而破裂和模具塑性变形属非正常失效(表 10.2-1)。

在设计、制造锻模时,为提高使用寿命,要同时考虑这四方面的因素,尤其对非正常失效,更应予以重视。

表 10.2-1 锻模失效的主要形式及分析

失效形式	简图 · 说明 · 分析
磨损	<p>金属在模膛内流动,与模膛壁产生激烈的摩擦,造成模膛表面的磨损及尺寸的变化。如果锻件在模膛内是以挤压方式充满则比用镦粗充满磨损快,尤其是在靠近毛边槽部分,多余金属流出处磨损更快。而在坯料变形困难的部位,则磨损小</p>
热裂	<p>因锻模在反复受热和冷却的工作条件下使用,使模具表层经受复杂的交变热应力,很容易产生细小的网状裂纹,其形状又似龟背纹路,故又称龟裂</p> <p>热裂和磨损是由于模锻工艺形成的失效,是难以避免的,故属于正常失效</p>
破裂	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>裂纹 裂纹</p> <p>模膛深处开裂 燕尾转角处开裂</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>纵向裂纹 纵向裂纹</p> <p>模膛转角处开裂</p> </div> </div> <p>破裂一般有两种形式:</p> <p>① 在极高的负荷下,由于应力值超过模具材料的强度极限所致。仅几次(最少的仅1次)打击,模具便产生破裂,可称为突发性破裂</p> <p>② 在锻模受力较大的部位,尤其是在锻模的尖角、沟槽等部位更易产生裂纹,并逐渐扩展导致破裂,叫做疲劳破裂</p>

(续表)

失效形式	简图 · 说明 · 分析
变形 (压塌)	 <p style="text-align: center;">锻模的局部变形</p> <p>在模锻过程中,由于高温、高压的作用,使模具局部压塌或压堆而造成模具的塑性变形</p> <p>变形和破裂是不应产生的失效,尤其是破裂导致模具完全报废,属非正常失效</p>

二、锻模失效的防护

锻模的失效,受到很多因素的影响,其中包括:锻模的设计、模具材料、制造质量及热处理、锻件金属的组织成分、锻造温度、所用的设备状况,以及锻模使用过程中锻模的预热、冷却、润滑、清除氧化皮和操作方法等。锻模失效的原因和防护的措施见表 10.2-2。

表 10.2-2 锻模失效的原因及防护的措施

模具失效类型	原因	防护措施
锻模破裂	锻模钢组织不均匀有内部缺陷	① 使用质量好的坯料。使用前对坯料进行检查 ② 采用合适的切头率(锻钢锭时)、锻造温度和锻造比 ③ 进行正确的退火处理
	模块的冲击值低	① 选用适当的模具钢牌号 ② 热处理硬度不应过高

(续表)

模具失效类型	原因	防护措施
锻模破裂	模膛相对于模块的流线位置安排不当	① 由供应模块的厂方标明流线方向 ② 使金属的流动方向与模块的流线方向尽可能一致
	锻模预热不够	锻前预热模具, 预热应尽量均匀, 预热温度应为 $150 \sim 350^{\circ}\text{C}$
	模块高度不够, 相对于深的模膛来说强度过低	不应使用规定厚度以下的模块
	锻模的燕尾与锤头或模座的燕尾槽接触不良	① 锤头或模座的燕尾基面应定时维修, 使之与模具燕尾保持平面接触 ② 锻模燕尾部分高度应大于模座燕尾槽的高度, 以保证锻模的燕尾基面与锤或模座良好接触
	设备精度不良	按设备修理技术规定经常保持锤的精度, 如锤头与底座的平行度以及导轨的间隙
	模具燕尾根部圆角太小	注意按规定的圆角制造与维修
	模膛的内圆角过小	按设计标准取足够的圆角
	模膛具有窄而深的槽	产品设计或锻件图制订时应尽量避免这种形状
	锻模加工不良, 使模槽角部残留有刀痕, 随着打击产生裂纹, 继而损坏模具	按技术要求精制加工锻模

(续表)

模具失效类型	原因	防护措施
锻模破裂	锻造温度过低	应尽量采用高温锻造,锻件温度低于终锻温度时应停止打
	模具面互相强烈打击	注意不要空打
锻模压塌变形	锻模承载面积不足	设计锻模时应有足够的打击面积
	锻模的硬度不够或在模具使用中因锻件粘模而造成退火	使用具有足够高温强度的模具材料,按规定的热处理规范进行热处理,使用时及时冷却,以防止模具退火
	锻件变形抗力过大	控制终锻温度,选用合适的润滑剂
	分模面上有氧化皮	注意彻底清除氧化皮
锻模磨损	锻模耐磨性不好	① 在锻模不破坏的情况下提高热处理硬度 ② 小型锻模可进行氮化等表面处理 ③ 采用质量好、硬度高的模具材料
	锻模材料淬透性较差	选用适当化学成分的模具材料,进行适当的淬火使模具硬度均匀一致
	锻件形状设计的不好	① 尽可能增加拔模斜度 ② 尽可能增加圆角半径 ③ 尽可能降低筋高和增加厚度

(续表)

模具失效类型	原因	防护措施
锻模磨损	锻件毛坯变形抗力过大	① 尽可能提高加热温度材料的流动性 ② 快速操作保持较高的终锻温度 ③ 采用合理的制坯工序 ④ 选用良好的润滑剂 ⑤ 合理地选用锻锤吨位
	模膛设计公差偏高, 制造偏大	由于模膛磨损, 锻件尺寸增大, 因此在设计时, 应尽可能使模膛小一些
	毛边桥部的宽度过大, 高度过小	考虑充满情况, 毛边桥部应具有适当的高度和宽度
	氧化皮清除不完全, 热锻件表面有渣子	① 采用少氧化的加热方法 ② 及时清理加热炉炉底 ③ 有效地清除氧化皮
	模膛表面过于粗糙	提高模膛表面光洁度
	润滑和脱模不当	① 所用的润滑剂应具有耐高温性能, 应没有燃烧残渣, 并能减少模具与锻件的摩擦力 ② 设计模膛时应注意使之容易脱模
模膛热裂	模具使用温度范围不当	① 模具预热温度应接近模具的使用温度 ② 使用中适当冷却, 使模具温度不发生激烈变化, 避免模具急热和急冷
	采用润滑冷却剂不当	尽量少用油类润滑剂, 以免使裂纹扩大
	模块材料性能不佳	选用抗热裂性能强的模具材料
	模膛形状设计不佳	应避免尖角和薄的凸起部分

三、锻模的维护和修复

1. 锻模的维护

锻模在使用过程中,常会产生一些损伤或故障,如由于毛刺摩擦而使表面粗糙度上升、出现划痕、表面细小裂纹、小面积热裂、局部塑性变形而堆塌等。这时应及时进行修理,可用电动或风动砂轮机、电动刀具、銼子、扁铲、刮刀等工具消除故障。否则容易使缺陷加速恶化,而导致模具很快失效。

在一批锻件生产完后,应对模具结合尾件作出鉴定,及时排除故障,保证模具处于完好状态,并进行抛光、油封后入库。

2. 锻模的修复

修复锻模通常有翻新和焊补等两种方法。

(1) 锻模翻新

锻模翻新是指在模具高度有翻新余量时,可以从分模面刨或铣去一层,然后如制造新模具一样重新加工模膛,并进行热处理。

模具翻新有正常失效翻新和非正常失效翻新两种情况。

① 正常失效翻新:在模锻生产过程中,模膛逐渐磨损而使尺寸超差,或产生较重的热疲劳裂纹,影响锻件质量,甚至难以出模时,必须进行翻新。

在成批、大量生产时,通常采用模具寿命定额制(表 10.2-3)。它是根据模具技术要求、经济性和结合本单位实际经验等因素综合起来确定的。这样可以做到有计划定期翻新,不必等到缺陷迅速扩大,出现非正常失效才进行翻新。

表 10.2-3 锤锻模使用寿命定额

锻模类别	锻锤吨位/t	寿命定额/件	翻新次数/次	备 注
连杆盖类	1.0	20 000	4	一模多件
连杆类	1.5	5 000	3	
齿轮类	2.0	8 000	3	
长轴类	3.0	15 000	3	有的为一模二件
拖钩类	5.0	9 500	3	
曲轴类	10.0	3 000	2	

注：锤锻模材料 5CrNiMo。本表仅供工作中参考。

② 非正常失效翻新：在锻模模膛槽根部裂纹较深，或严重的塑性变形而堆塌，或出现局部破裂等致使模具失效，无法继续工作时所进行的翻新。

(2) 焊补

锻模使用过程中，会产生燕尾和模膛局部破裂、局部的热疲劳裂纹和塑性变形严重塌陷等缺陷。如及时采取补焊工艺，可起到一定的补救作用。

对确定需要补焊的部位，需用机械方法将缺陷彻底清除干净。用直流电弧焊和堆焊焊条进行堆焊。堆焊前，模具和焊条要进行预热，堆焊后须保温缓冷。焊好后进行机械加工、磨修或电加工修正，有的还要热处理。

第三节 金属锻造时的摩擦与润滑

为了提高锻件的质量，减少消耗，金属锻压时均应采用合适的防护润滑剂，才能满足金属材料在热变形时防护润滑的要求。

对于精锻、热挤压、难变形金属锻造、等温锻造等新工艺,防护润滑问题尤为重要。

一、金属热成形时的摩擦

金属热成形时的摩擦是指热态塑性变形的金属与工具、模膛表面之间的摩擦。金属在外力的作用下发生变形而引起相对运动时,由金属和工、模具之间的摩擦作用所产生的反作用力,称为摩擦力。摩擦力作用于接触面的切线方向,并和金属的流动方向相反。金属变形时摩擦力的大小与工、模具表面粗糙度及润滑条件有关,模具越光洁和润滑条件好的摩擦力小,反之摩擦力就大。

金属热成形的加热温度通常在 $400\sim 1\,300^{\circ}\text{C}$ 的范围内,金属的摩擦系数也随温度上升而变化。一般碳钢的摩擦系数在 700°C 以下,随温度上升而增大;在 700°C 达到最大值;超过 700°C 后,随温度上升而缓慢下降。

不同的金属材料加热时,表面生成的氧化层组织也各不相同,金属与工、模具之间的摩擦情况也不同。如结构钢加热到 $900\sim 1\,250^{\circ}\text{C}$ 时,表面的氧化层由外向内有: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow$ 脱碳层 \rightarrow 基体金属。高温合金经 800°C 加热到 $1\,080^{\circ}\text{C}$ 时,它的表面由氧化层(晶间氧化层)、贫化层、基体金属组成。而钛合金加热到 $800\sim 1\,000^{\circ}\text{C}$ 时,则由氧化层、渗气层(富氧层、 α 脆化层或氢脆)、基体金属组成。这些在空气中加热时所产生的氧化、脱碳、合金元素贫化和组织变化,除了会增加模具磨损、缩短模具寿命、引起锻件缺陷外,将导致钢和合金力学性能的下降。例如 TC4 钛合金表面富氧层的存在,就可使其疲劳极限由 510 MPa 降到 285 MPa 。

变形金属与工、模具表面之间的摩擦作用将导致下列的结果:

- ① 变形力增大 10%~100%。
- ② 锻件内部和表面质量下降。
- ③ 锻件的尺寸精度降低。
- ④ 模具磨损加剧,寿命缩短。

在正常生产使用中,锻模由于摩擦作用下的磨损过程可分为三个阶段,如图 10.3-1 所示。第一阶段为模膛相对较快的磨损;第二阶段模膛磨损相对稳定;第三阶段磨损进行得更快,致使锻件很快达到公差的极限而失效。为了延长模具的寿命,在第一阶段中就要保护好模具,严格按技术要求使用模具,这样第二阶段中锻打锻件的数量可提高,将占模具总寿命的 80%~90%。第三阶段模具已出现破坏现象,如出现沟痕,尺寸往往超差,较大块的金属剥落,严重的热疲劳裂纹和细小裂纹逐渐加宽等缺陷,造成模具失效而停止工作。

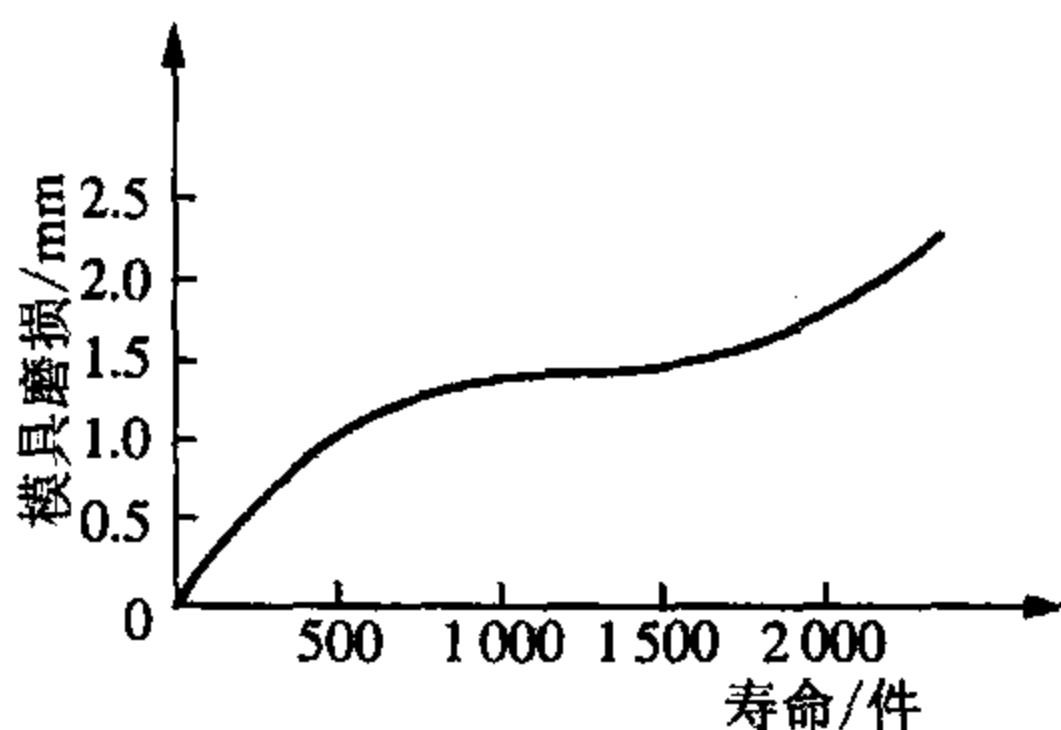


图 10.3-1 锻模磨损过程

二、防护润滑剂的分类及应用

在锻压过程中的摩擦必须严格控制,这样才能保证工艺过程的正常进行。使用防护润滑剂就是为了控制摩擦。防护润滑剂

是存在于金属与工、模具接触表面之间的一种介质,润滑剂可以是固体、黏滞性塑性物质、液体、气体或其混合物。它们在一定条件下可以部分或全部地发挥效能。防护润滑剂是润滑剂,又是冷却剂和脱模剂。

1. 锻模的润滑目的和要求(表 10.3-1)

表 10.3-1 锻模的润滑目的和要求

项 目	说 明
使用润滑剂的目的、作用	① 润滑剂:模锻时,在金属与模膛之间形成隔离层和润滑层,减少摩擦。使金属容易充满模膛,提高使用寿命 ② 脱模剂:使锻件容易从模膛中取出,不会发生粘模和卡模现象而影响生产,提高锻件质量和保护锻模 ③ 冷却剂:促使锻模散热冷却,防止锻模局部退火、软化变形
对润滑剂的要求	① 对表面要有很强的吸附力,能形成固定的足够的润滑层和隔离层,并保证在热塑形变形的高温 and 高压下,润滑剂不被挤出而失效 ② 金属和模膛之间的摩擦系数要低,导热性要小 ③ 润滑剂及其燃烧物应无烟、无毒、无害,化学性能稳定,以保证良好的工作环境,不能改变金属的性质 ④ 对金属、模具和设备无腐蚀作用,便于喷涂或涂抹,加工后又便于清除。能适应涂敷工艺机械化的要求 ⑤ 对模具有冷却作用,并使锻件易于脱模 ⑥ 供应方便,价格便宜

2. 防护润滑剂的种类及应用

为满足模锻工艺发展的要求,不断研制开发新的模具防护润滑剂。当前生产中常用的锻模润滑剂有水、盐水、机油、重油、木屑、胶体、石墨、二硫化铝混合润滑剂和玻璃粉润滑剂等。这些润滑剂各有特性,适用于不同的模锻场合:如盐水、盐和水的混合物,无毒无害成本低,在汽车、拖拉机等机械制造工业的锤模锻中广为应用,因为汽车拖拉机工业是大批量生产,生产率高,节奏快,锻模受热快,要求一种冷却快的冷却剂,盐水汽化的冷却能力比润滑油高2~3倍,而水蒸发后的盐铺盖在模膛上起润滑作用,但脱模能力很小,对模具、设备和工具的锈蚀严重,制约了应用范围。又如水基石墨是近期发展起来的一种润滑剂,是以水为基,加入石墨粉、粘结剂、脱模剂和悬浮剂配制而成,无烟尘和异味,能通过喷涂方法均匀地喷洒在模具表面,使摩擦系数减小到0.1以下,已广泛地应用于压力机模锻和有色金属模锻中,但成本较高,飞扬的石墨也有污染。

总之,目前尚无一种万能的润滑剂能满足全部的不同的模锻工艺要求。

常用润滑剂的配方及应用范围见表10.3-2。

表 10.3-2 常用润滑剂的配方及应用范围

名称	配 方	应用范围	优 缺 点
重油或废机油	全部用重油或废机油,或另外加入少量的石墨(约3%),依靠在封闭的模膛内燃烧时产生的高压气体使锻件脱模	用于形状复杂的、难以脱模的锤模锻件	① 来源方便,价格便宜 ② 会有大量烟雾,不卫生 ③ 由于高压气体的作用,会妨碍金属填充模膛

(续表)

名称	配 方	应用范围	优 缺 点
锯木屑	将干锯屑(喷少量水)抛洒到模膛内,产生的气体起脱模作用,木屑灰起隔热作用并稍具润滑作用	用于难以脱模的大型锤锻模	① 来源方便,价格便宜 ② 烟气大,劳动条件差
水	对模具或模座内通水冷却,或滴、喷水冷却模具表面	用于平锻机及需通水冷却的模具	① 来源方便,价格便宜 ② 滴、喷下来的水要另行排出
盐水	有三种配制方法: ① $\text{NaCl } 15\% + \text{H}_2\text{O } 85\%$ ② $\text{NaCl } 15\% + \text{NaNO}_3 \ 5\% + \text{H}_2\text{O } 80\%$ ③ $\text{CaCl}_2 \ 70\% + \text{NaCl } 30\% + \text{饱和盐水溶液}$	主要用于各种锤锻模、结构钢锻件	① 冷却作用好 ② 使用方便、卫生 ③ 对模具、设备有腐蚀
胶体石墨	① 水剂胶体石墨 石墨:水=1:(15~30),水分蒸发起冷却模具作用,石墨起润滑作用。另加少量粘结剂(如水玻璃等),脱模剂(如铵盐等)和悬浮剂等以改善综合性能	适用压力机模锻各种锻件和有色金属锻件	① 润滑性能良好 ② 易于机械喷涂和自动化 ③ 成本略高,并有少量随水蒸发带起的石墨气尘
	② 油剂胶体石墨 2%~3%石墨+机油 机油的闪点低、易燃烧,但加入石墨粉后,可大幅提高中温(350~540℃)的润滑性能	有色金属锻件和不允许用水冷却的高合金钢模具(如3Cr2W8等)	① 中温润滑性能好 ② 易于机械喷涂 ③ 成本略高,烟气大,劳动条件差

(续表)

名称	配 方	应用范围	优 缺 点
二硫化钼	<p>二硫化钼油料混合润滑剂:</p> <p>① MoS_2 (25%粉剂) + 气缸油 (75%)</p> <p>② MoS_2 (10%) + 石墨 (20%) + 机油 (70%)</p> <p>MoS_2 的抗压能力强, 模锻时不易被挤掉。润滑膜的抗压能力达 3 200 MPa, 此压强已超过高温变形时金属的强度</p>	适用有色金属锻件和模锻压强较大的锻件	<p>① 提高模具寿命及锻件表面质量</p> <p>② 成本较高, 有烟气, 并伴随少量 MoS_2 气尘</p> <p>③ 使用前, 要用手工或机械搅拌均匀</p>
玻璃粉	<p>低熔点玻璃粉 30% + 硅脂 70%</p> <p>使用时将低熔点玻璃润滑剂涂在锻模上, 在高温金属与模具接触表面呈现液态摩擦状态</p>	各种锻模	<p>① 润滑效果好</p> <p>② 成本较高</p> <p>③ 玻璃层去除比较困难</p>

3. FR 系列防护润滑剂

针对钛合金、高温合金及不锈钢热变形用的 FR 系列玻璃防护润滑剂, 是我国自行开发研制的防护润滑剂 (见表 10.3-3)。它是以硼(或铝)硅酸盐玻璃料为主体, 加改性有机硅丙烯酸树脂 (FRSI) 做粘结剂, 以水做溶剂配制而成的一种悬浮液。

FR 系列防护润滑剂无毒、不燃不爆、无腐蚀性, 操作、贮存和运输时, 不需要采取特殊措施。为了防粉尘和喷雾的污染, 涂敷工艺 (特别是喷涂工艺) 应在通风条件下进行。

表 10.3-3 FR 系列防护润滑剂

牌 号	适用 范围	主要化学组成	粘结剂	使用温度 范围/℃	涂敷 方法
FR2	钛合金	硼硅酸盐	硅溶胶	800~1 000	喷涂 或 浸涂
FR5		硼硅酸 盐玻璃料	FRSI 树脂		
FR6					
FR21	高温 合金	高钡硅酸盐	聚乙烯醇	1 050~1 200	
FR22		硼硅酸盐 (非熔制性玻璃料)	钾水玻璃	1 000~1 160	
FR34		铝硅酸盐	FRSI 树脂或甲 基纤维素 M460	1 000~1 200	
FR35					
FR41	不锈钢	高钡硅酸盐	聚乙烯醇	950~1 120	
FR42		硅酸盐复合料	硅溶胶	950~1 160	

FR 系列防护润滑剂是涂敷于毛坯金属上的一种润滑剂,其使用方法有一定的规范(表 10.3-4)。

FR 系列防护润滑剂不但能对模具润滑,而且保护毛坯金属不受高温加热的氧化、脱碳、合金贫化和渗气等缺陷。

表 10.3-4 FR 系列防护润滑剂的使用方法

使用工步	说 明	注 意 事 项
1. 表面清理	用滚筒或喷砂去除氧化皮 用汽油或碱洗清除油污	
2. 预热	涂敷前将毛坯金属置于烘箱内预热,温度为 80~120℃,时间 20~40 min,时间由毛坯尺寸大小而定	预热也可用其他加热装置,但要保持干净和温度范围

(续表)

使用工步	说 明	注 意 事 项
3. 涂敷	可用喷涂或浸涂方法涂敷。喷涂时喷束方向应尽量与被喷涂表面垂直。浸涂要把毛坯金属完全浸入,停留 1 s 左右取出毛坯	① 毛坯自烘箱取出后应趁热涂敷 ② 可用刷涂修补局部涂层缺陷
4. 干燥	可用自然干燥或烘干。烘干温度为 $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$, 时间 $20 \text{ min} \sim 2 \text{ h}$ 。干燥后到热加工前的存放时间不限,干燥后的涂层厚度为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$	① 涂层后应保持涂层的清洁、完整和干燥 ② 有缺陷应进行修补
5. 加热	应将涂有防护润滑剂的毛坯置于耐热钢的料盘内,放入炉中加热	不允许有玻璃涂层的毛坯与加热炉底直接接触
6. 清除	锻压工序完成后,可用喷砂或碱洗方法清除防护润滑剂涂层	碱洗时可加热到 450°C 左右