

6 锻压成形与模具

6.1 概 述

6.1.1 铸造工艺的分类

锻压：自由锻，模锻

自由锻：简朴成形（改形）

改性

制坯

模锻：开式模锻

闭式模锻（精密铸造）

6 锻压成形与模具

6.1.2 自由锻工艺

在压力机、锻锤上进行变形，主要由锻工的操作来控制变形量和金属流动方向，能够取得各种不同的简朴外形的零件、毛坯以及对金属进行改性。

自由锻工艺不需要或只要简易的模具

自由锻工艺所研究的主要内容涉及锻件的成形规律和提升锻件质量两个方面。

6 锻压成形与模具

6.1.2 自由锻工艺

1、自由锻成形

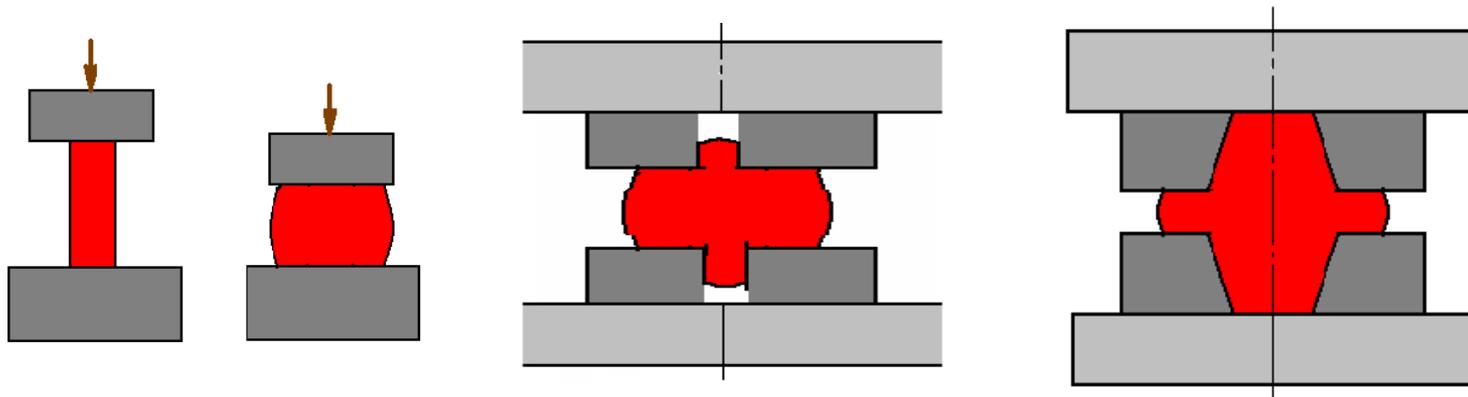
自由锻成形工艺主要有：镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转等。

镦粗： 在平砧上利用锻压设备提供的打击力使金属在横向尺寸上变粗的工艺过程。主要用于变化毛坯构造和尺寸，能够取得高（长）径比很小的饼状类零件，为后续加工提供合适的毛坯。

6 锻压成形与模具

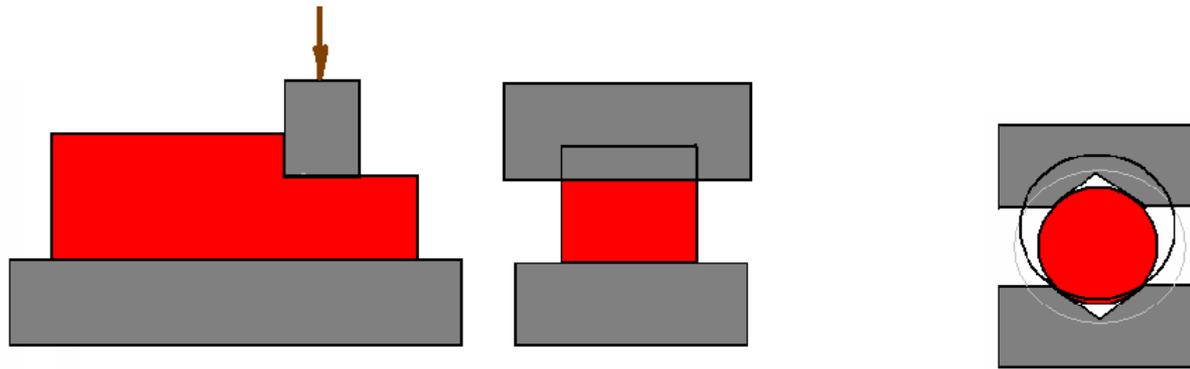
镦粗：

有平砧镦粗、垫环镦粗和局部镦粗。



6 锻压成形与模具

拔长： 在平砧上利用锻压设备提供的打击力使金属在纵向尺寸上变长的工艺过程。主要用于变化毛坯构造和尺寸，能够取得长径比很大的细长类零件，为后续加工提供合适的毛坯。



6 锻压成形与模具

主要工艺参数： 镦粗比和拔长比。

镦粗比：
$$K_D = \frac{H_0}{H}$$

拔长比：
$$K_B = \frac{A_0}{A}$$

为了取得高质量的锻件，要合理控制这两个工艺参数。

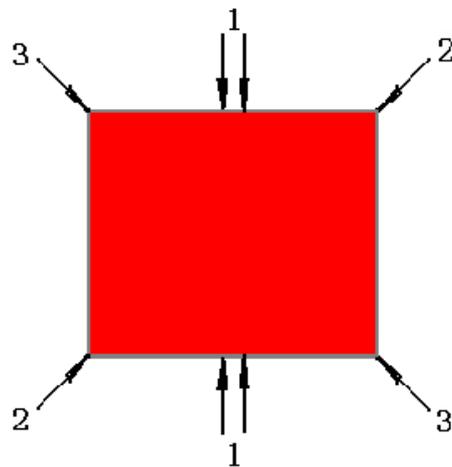
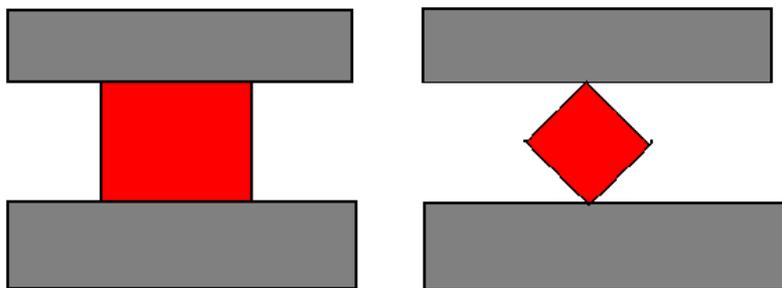
6 锻压成形与模具

2、自由锻改性

对于像高速钢、Cr12系列等高合金钢，具有大量的高熔点（难熔化合物）碳化物。而碳化物的形态和分布又对钢的性能有决定性的影响。对这一类钢或合金，只有经过锻打的措施来改善钢中碳化物的形态和分布。这一工艺能够称为**改锻**，也称为“十字铸造”。

为了取得高质量的锻件，一定要轻打快打。

6 锻压成形与模具



为了取得高质量的锻件，一定要轻打快打。

6 锻压成形与模具

3、铸造加热温度及其加热措施

铸造时为了确保金属有足够的塑性流动性，必须加热到钢的奥氏体区，单相区加热，锻打。

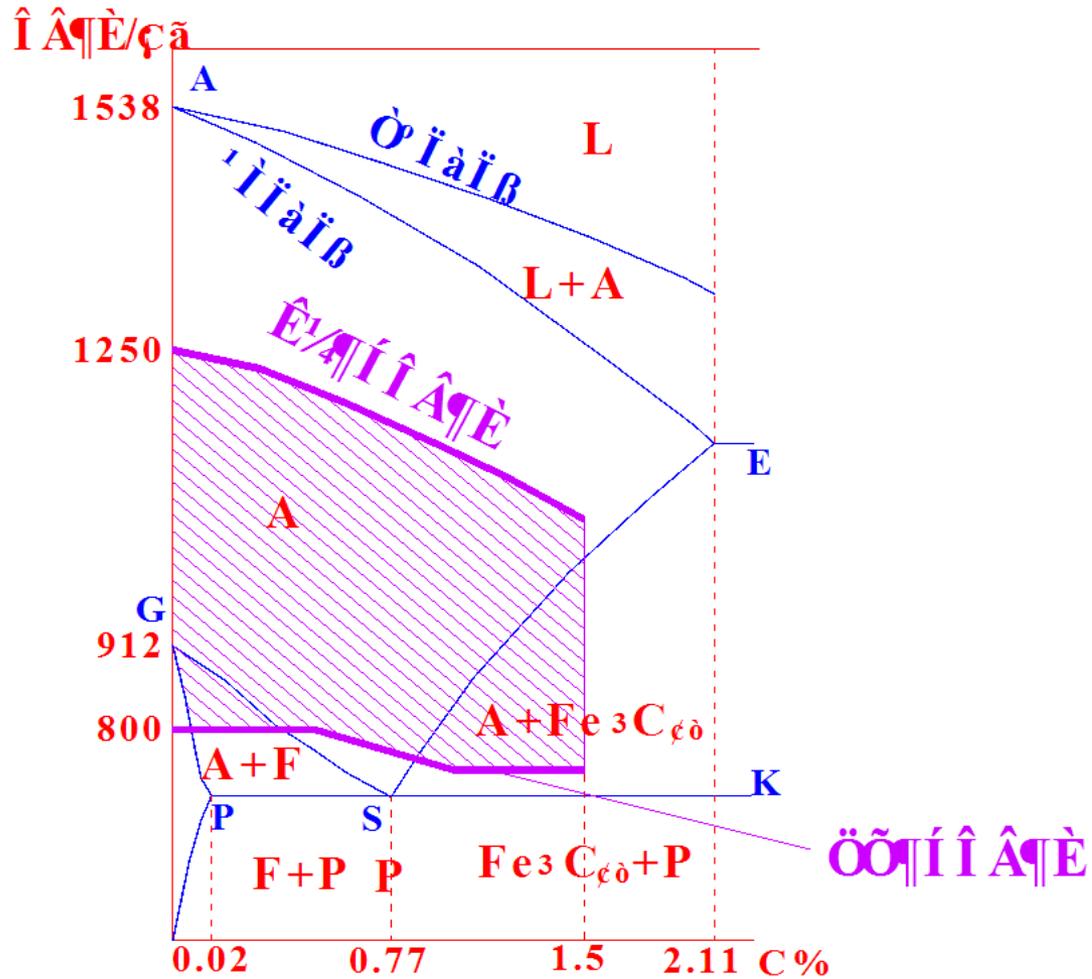
加热的最高温度称为上限温度，锻打时允许的最低温度称为下限温度。

加热措施：火焰加热，电加热，感应加热。

加热时的缺陷：氧化、脱碳；

过热、过烧。

Q1：为何要在单相区加热，双相区加热会有什么问题？

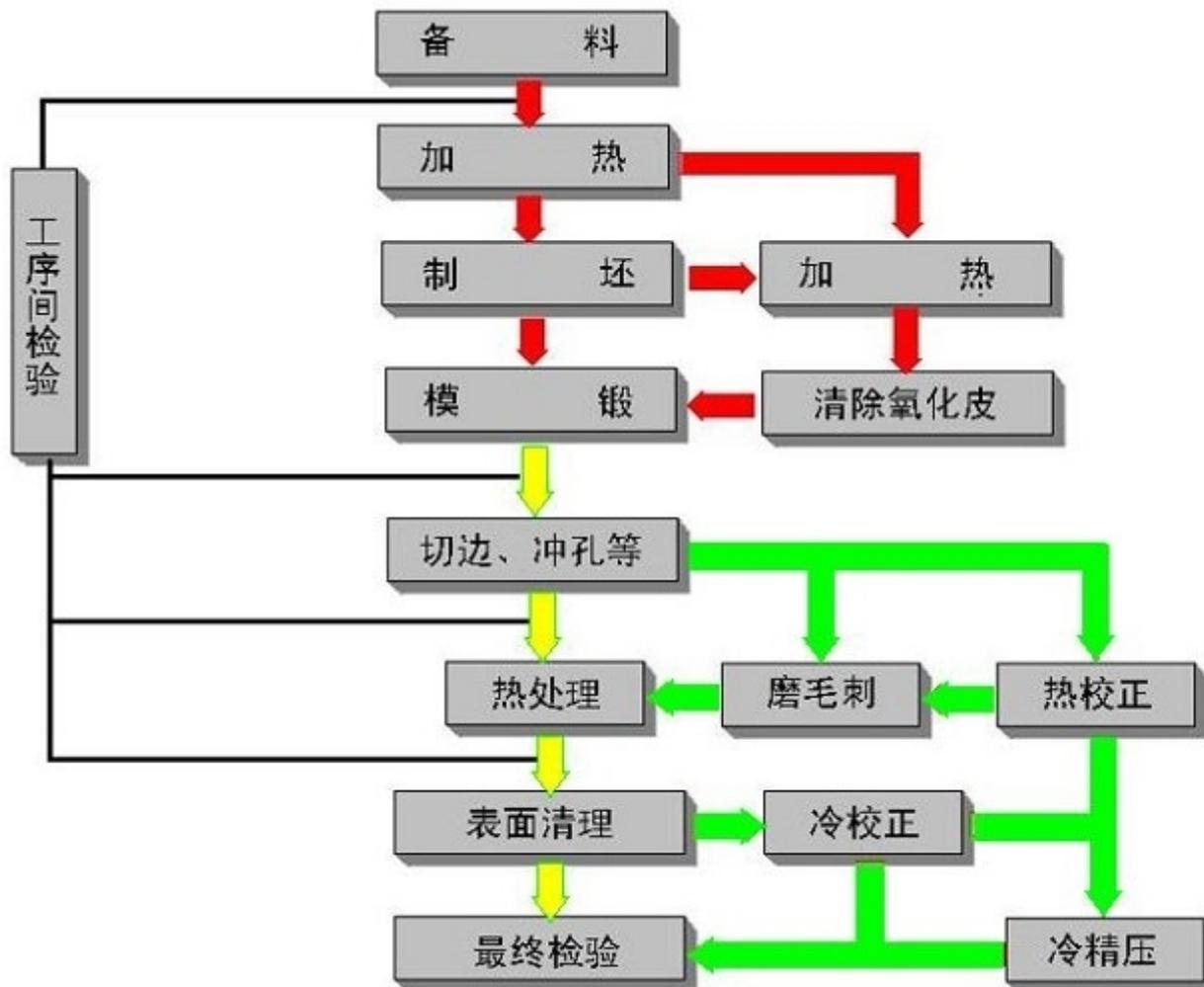


碳钢的铸造温度范围

6 锻压成形与模具

6.1.3 模锻工艺过程

模锻工序流程：



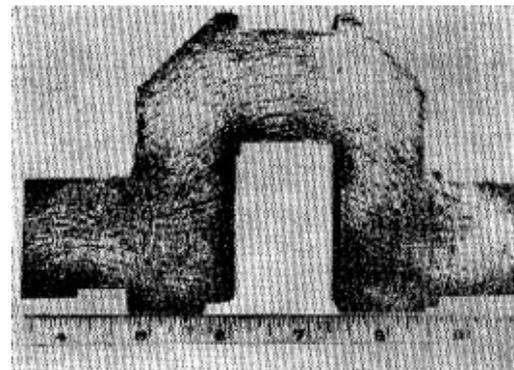
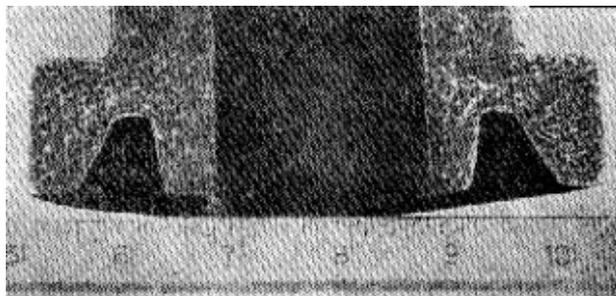
6 锻压成形与模具

6.1.4 模锻件的金属组织特点

(1) 模锻件金属组织的特点

a 改善流线分布

模锻不能消除流线，只能变化流线的分布。



6 锻压成形与模具

6.1.4 模锻件的金属组织特点

(1) 模锻件金属组织的特点

b 消除或改善带状显微组织

模锻后再进行热处理（如正火+回火），带状组织能够得到较大程度的改善，甚至能够消除。

c 模锻件的晶粒度

对于一般模锻件，因为模锻的实际终锻温度较高（可达 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 或更高些），而且因为模锻的不均匀变形的影响，晶粒度一般是较粗大且不均匀的。

6 锻压成形与模具

6.1.4 模锻件的金属组织特点

(2) 液态模锻件金属组织的特点

液态模锻件的金属组织没有铸造组织的特征（如疏松、树枝状结晶等），但也不象一般模锻件那样有明显的流线。其强度与一般模锻件相同，塑性低于一般模锻件，但高于铸件。



6 锻压成形与模具

6.1.4 模锻件的金属组织特点

(3) 形变热处理

形变热处理工艺过程将加工再结晶与相变重结晶有机地结合在一种过程中。特点是在奥氏体开始转变之前完毕塑性变形加工。

a 等温温锻 只合用于奥氏体中温转变孕育期较长的合金钢，钢中Cr、W、Ni、Mo、V等元素的总含量约在3~5%左右。

等温温锻的工艺过程：将坯料加热到奥氏体温度以上，使坯料组织完全奥氏体化，空冷到温锻温度（500~550°C左右），然后在此温度下进行变形加工（铸造、模锻或挤压），加工后立即淬火，最终回火。

6 锻压成形与模具

6.1.4 模锻件的金属组织特点

b 等温热锻 等温热锻是在模锻后直接进行淬火和回火，所以不但合用于合金钢，也可用于奥氏体孕育期短的碳钢。铸造后直接淬火的应用，有时目的是利用余热简化工序，也称为余热淬火。

影响等温热锻后材料机械性能的主要工艺原因是铸造温度、铸造变形程度和锻后淬火前的间隔时间。

等温铸造的锻件与一般调质处理的模锻件机械性能的差别，是两种锻件金属组织差别的反应。等温铸造锻件的金属组织特点，主要体现在超显微组织（放大1000倍以上）上晶粒内嵌镶块的细化和增多，另外还有形成锯齿状奥氏体晶界及马氏体的细化。

6 锻压成形与模具

6.1.5 模锻件的工艺性分类

I、短轴线类

II、长轴线类

I、短轴线类——锻件的主轴线尺寸不大于或略等于其他两个方向的尺寸，变形工序的锻击方向一般也是与主轴线方向相一致的。因为锻件的几何形状一般都是对称于主轴线，在变形工序中，也应保持对称于主轴线的变形，所以又可称为轴对称类锻件

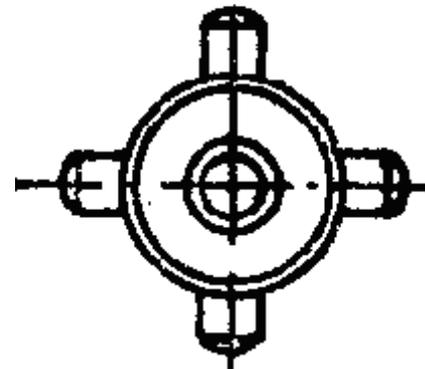
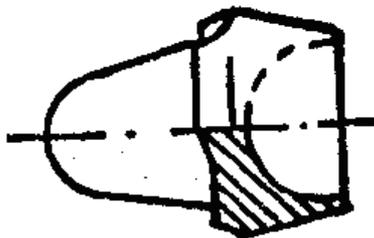
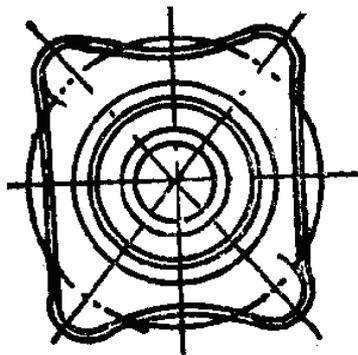
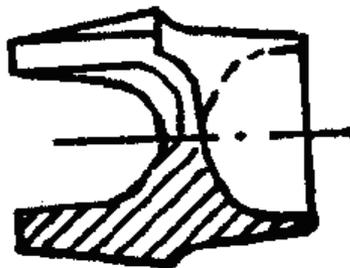
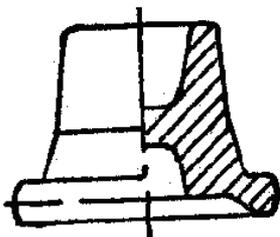
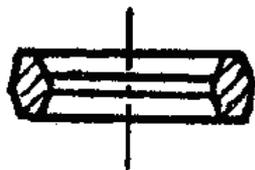
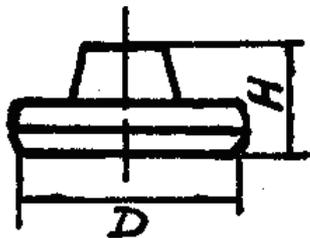
按其断面几何形状的复杂程度，可分为三组：

一组（简朴形状）：如法兰、筒、环、无薄幅板齿轮等。

二组（较复杂形状）：如十字轴，有薄幅板齿轮等。

三组（复杂形状）：如万向节叉、有深孔的突缘等。

6 锻压成形与模具



6 锻压成形与模具

6.1.5 模锻件的工艺性分类

I、短轴线类

II、长轴线类

II、长轴线类——锻件的主轴线尺寸不小于其他两个方向的尺寸，变形工序的锻击方向一般垂直于主轴线。因为在模锻工步时，金属沿主轴线基本上没有流动，所以又可称为平面变形类。

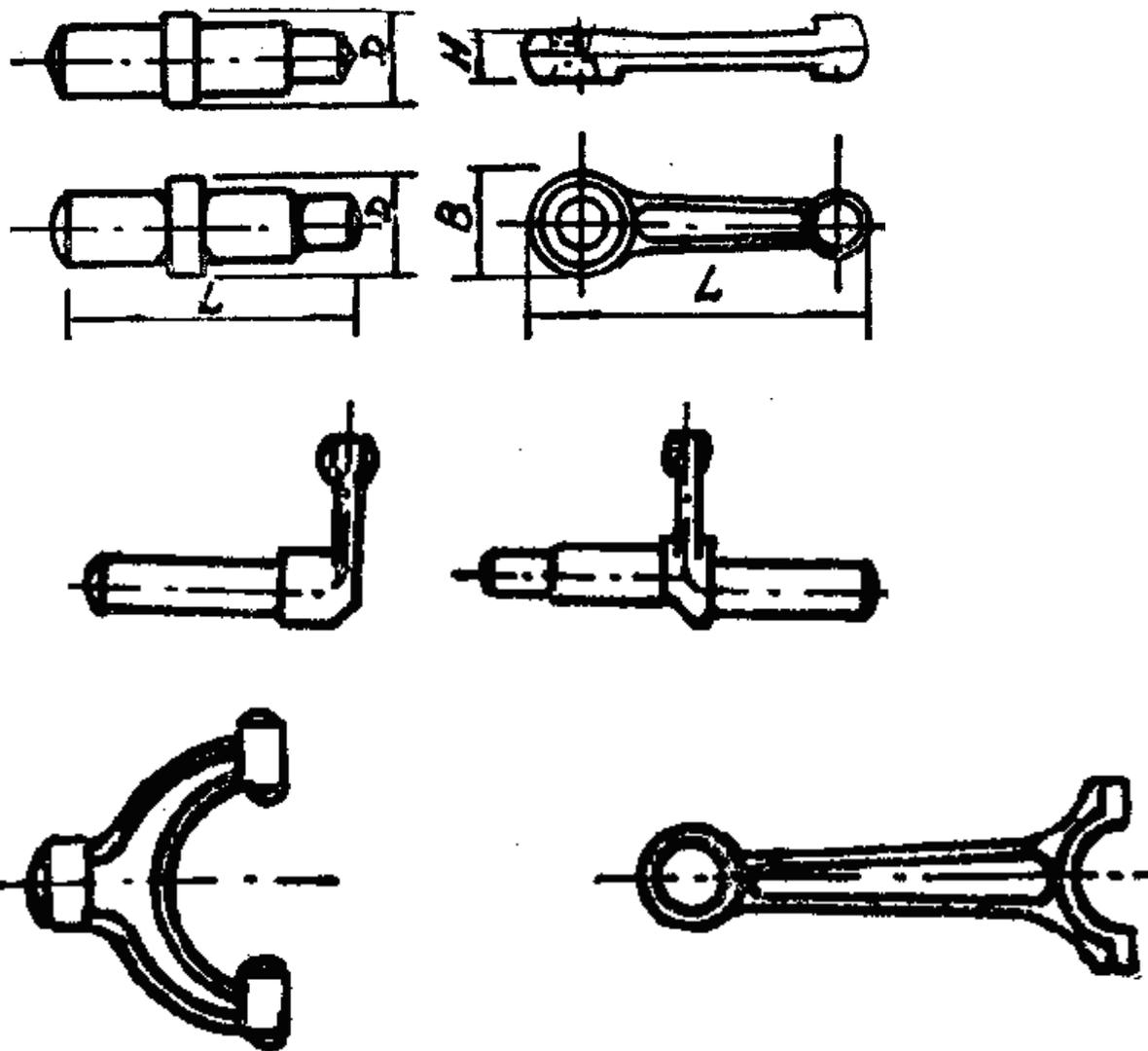
按锻件平面图的几何形状特征，也可分为三组：

一组（长直轴线）：如轴、连杆等。

二组（弯曲轴线或带枝芽的）：如曲轴、离合杆等。

三组（带叉的）：如变速叉、万向节轴、连杆等。

6 锻压成形与模具

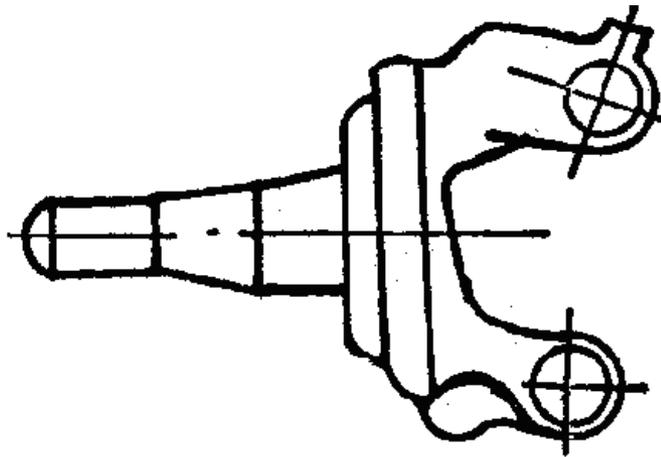


6 锻压成形与模具

III、复合类型的锻件——兼有上述两类锻件的特征。

一种、具有粗大头部的长轴线类锻件：

此类锻件一般是采用复合模锻工艺，即先按长轴线类锻件进行模锻，然后再局部模锻头部。此类锻件的杆部一般都是变断面的或非圆断面的。



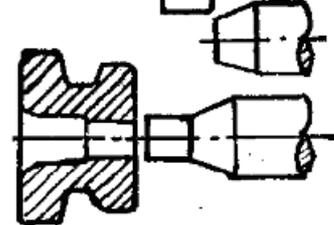
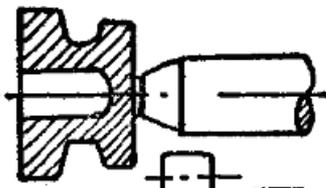
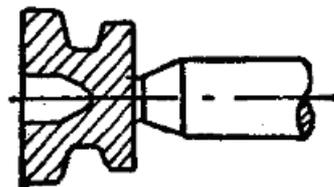
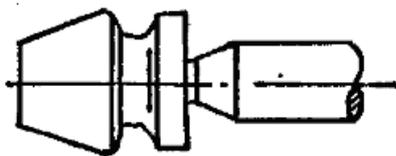
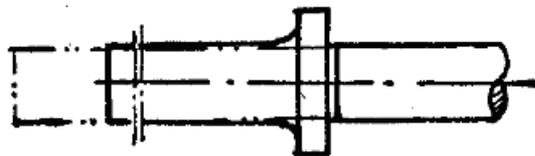
6 锻压成形与模具

III、复合类型的锻件——兼有上述两类锻件的特征。

二种、具有等圆断面细长杆部的短轴线类锻件：此类锻件具有一段可不变形的等圆断面的杆部，仅从头部的几何形状来看，具有短轴线类的特征。



6 锻压成形与模具

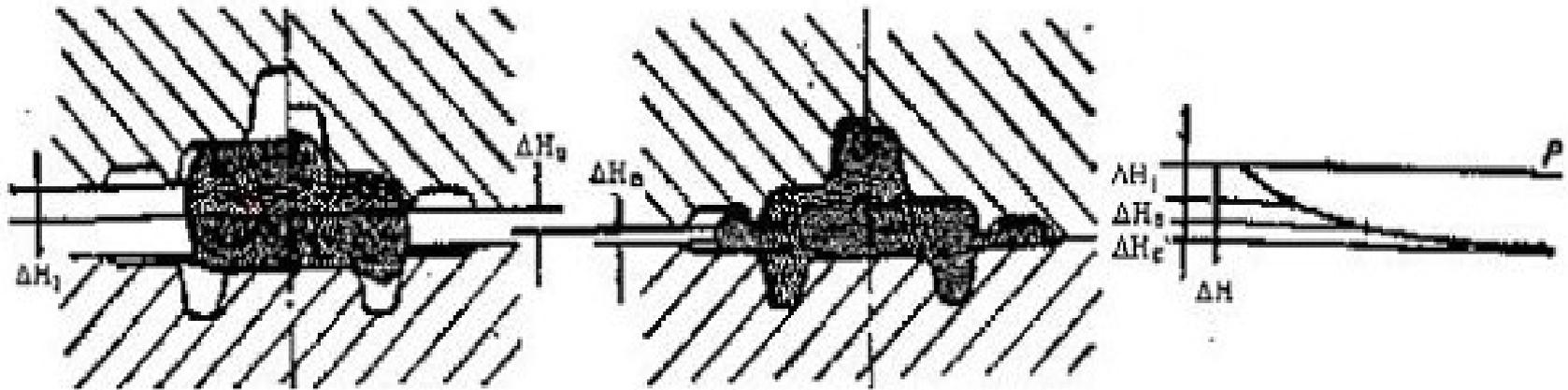


6 锻压成形与模具

6.2 开式模锻工序分析

6.2.1 开式模锻过程金属流动特征

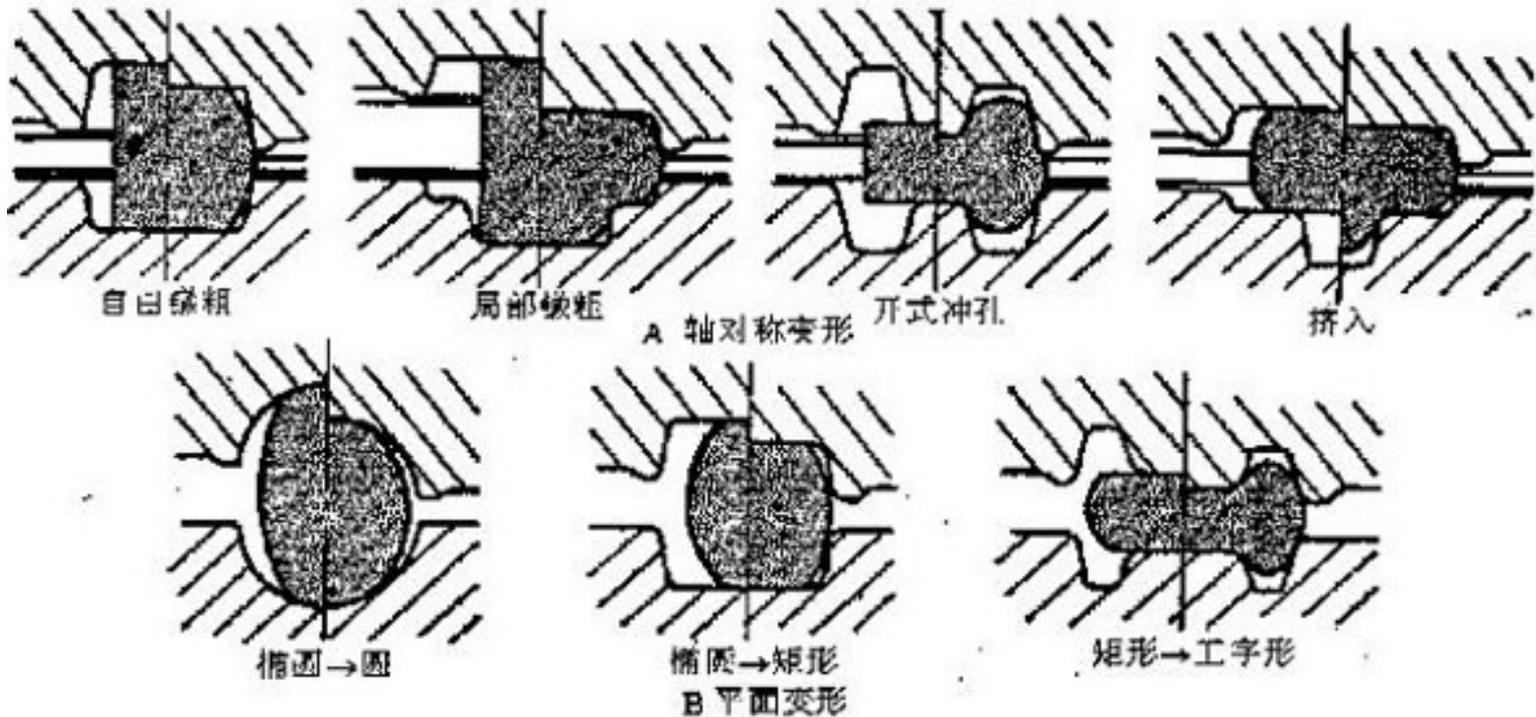
金属流动（变形）过程—自由变形阶段 ΔH_I ；形成飞边和充斥型槽阶段 ΔH_{II} ；锻足阶段 ΔH_{III} 。



6 锻压成形与模具

改善开式模锻变形过程的基本原则：

扩大 ΔH_I ，缩短 ΔH_{II} ，确保必须的小的 ΔH_{III} 。



6 锻压成形与模具

6.2.2 设备工作特征对变形过程的影响

开式模锻制定工艺时必须结合所用的模锻设备特征

各类模锻设备充斥形槽能力比较

• 设备类型或模锻措施	模锻锤	螺旋压机	胎膜锻	锻压机	液压机
工作速度 (m/s)	<6~8	<1~3	<6~8	0.5(0.25)~0	0.01~0.1
锤击次数	多击 (3~5击)	可多击 (2~3击)	多击	单击	低速持压
• 充斥形槽	好	• 很好	尚好	差	很差

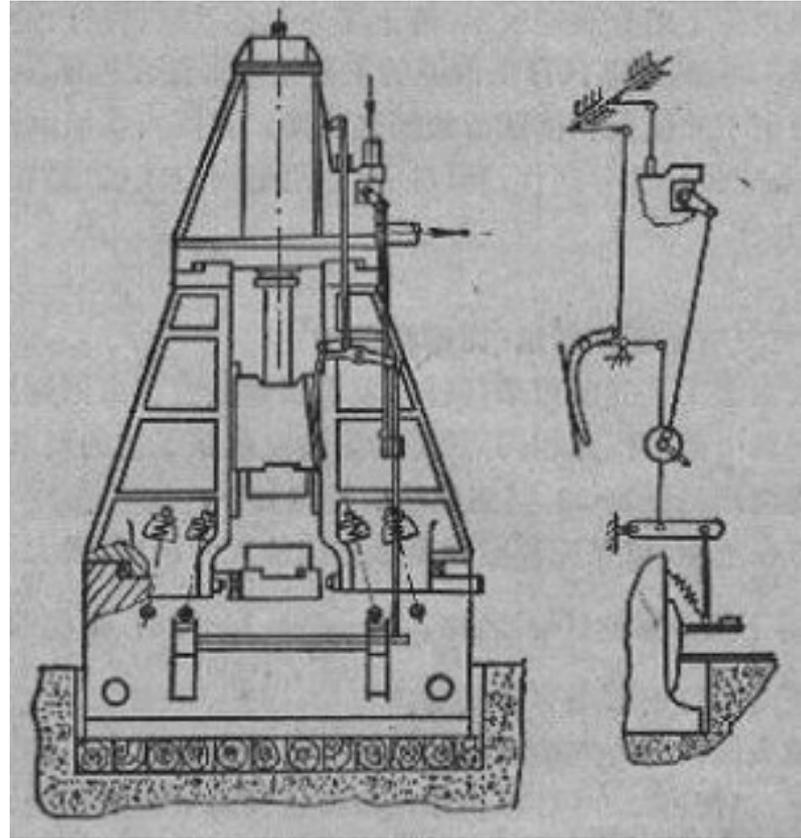
6 锻压成形与模具

锤模锻：

良好的充填能力。

上模形槽较下模形槽更轻易充填。

先轻击后重击。



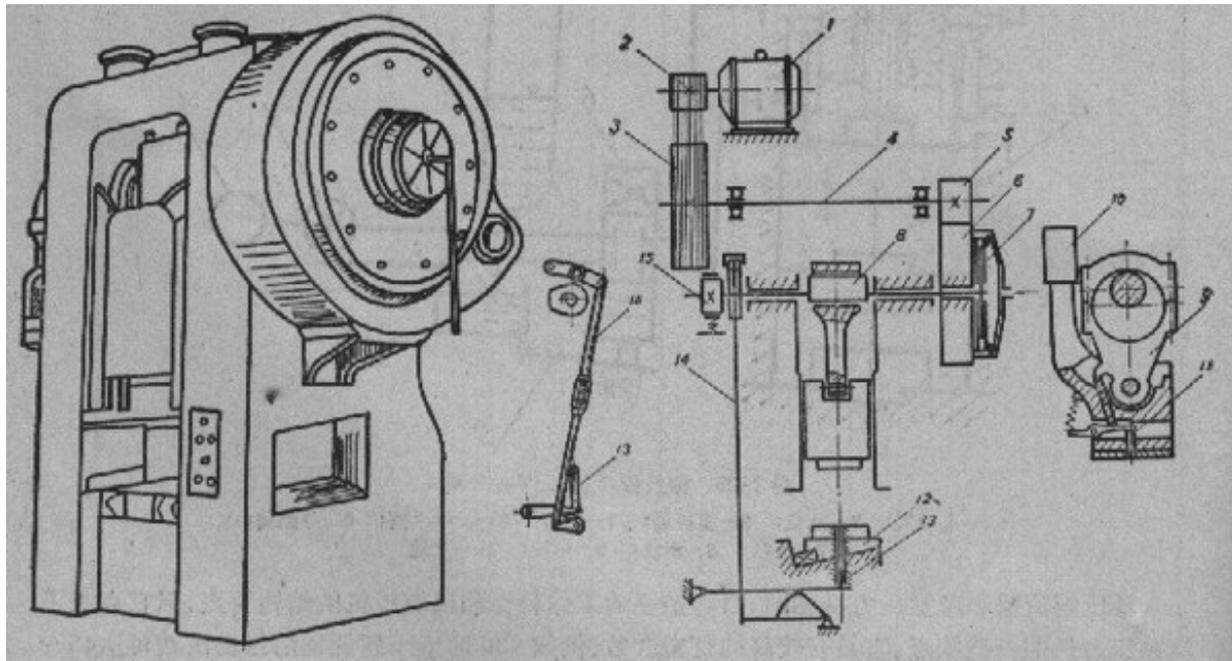
6 锻压成形与模具

锻压机模锻：

横向挤出飞边倾向大，充斥形槽能力较差。

上下模充填能力基本相同。

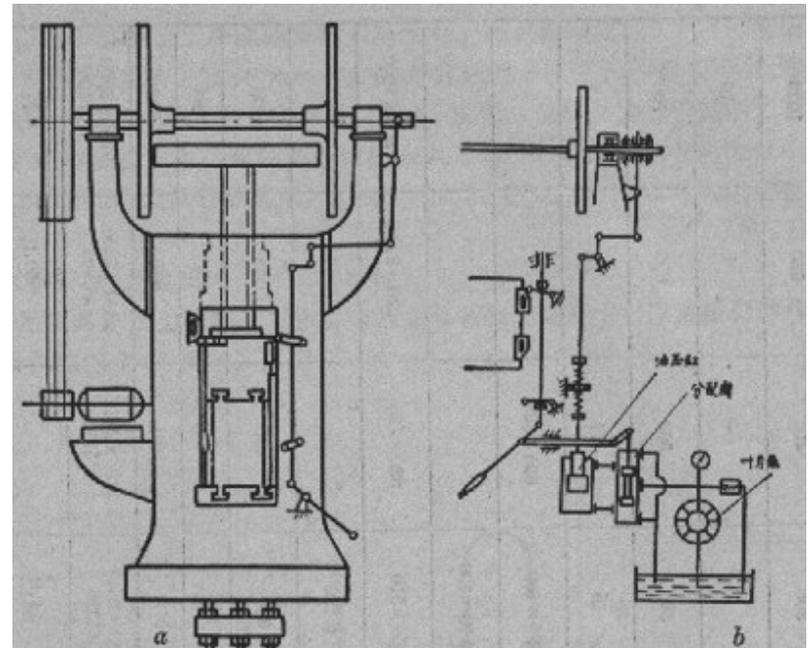
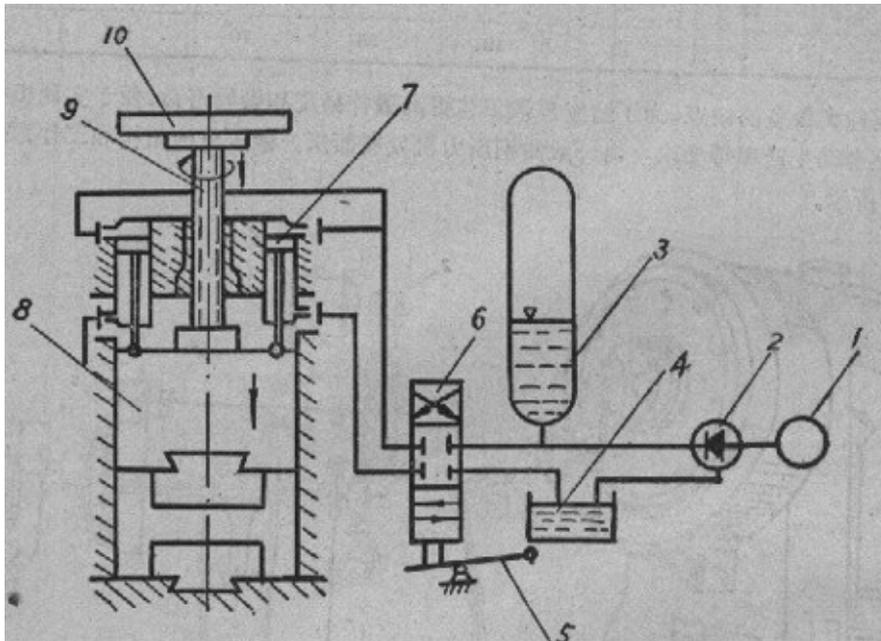
单次打击，必须到位。



6 锻压成形与模具

螺旋压力机模锻：

充填能力接近锻锤。机械可控，噪音小，污染少。



6 锻压成形与模具

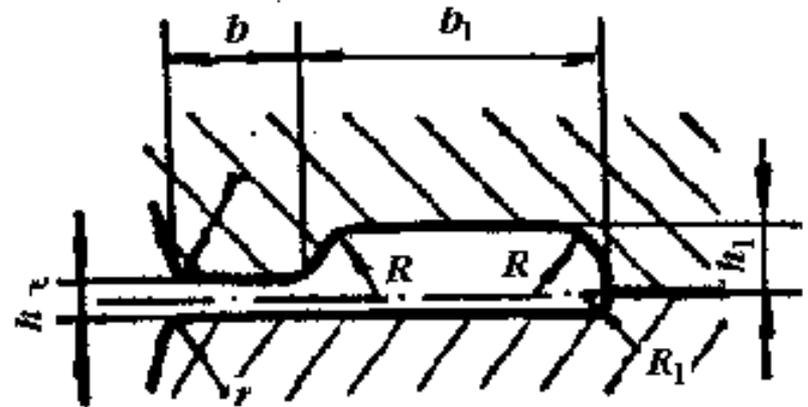
6.2.3 飞边槽的作用及构造设计

飞边与飞边槽——容纳部分金属并具有足够的阻流作用的锻件以外的形槽，形成的这一部分金属即为飞边

飞边槽的构造

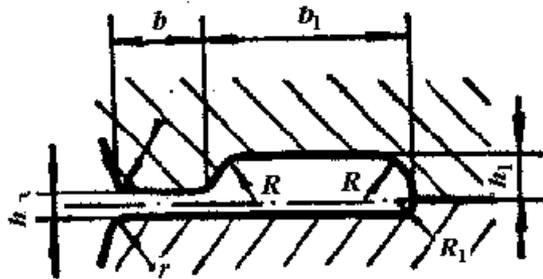
——桥部：阻流作用

仓部：容纳金属

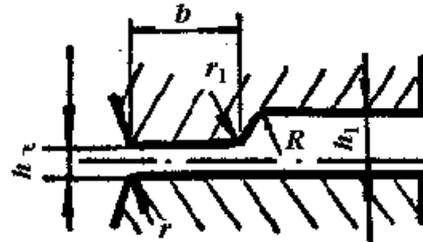


6 锻压成形与模具

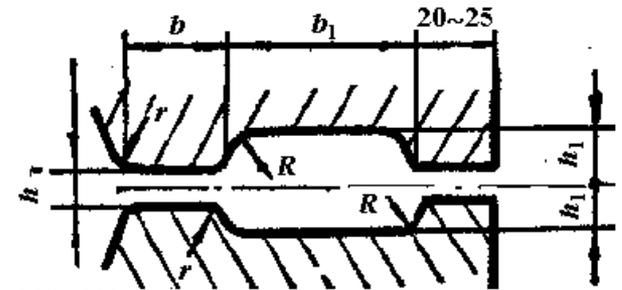
基本构造:



a 用于锤类



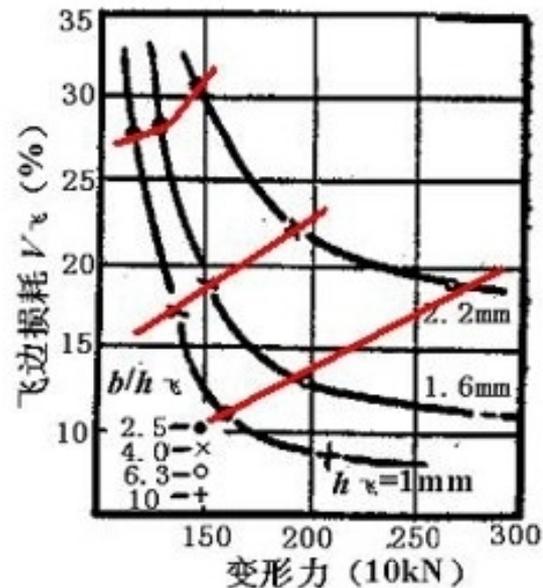
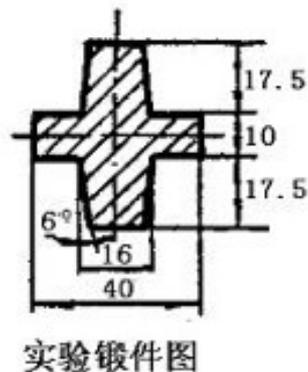
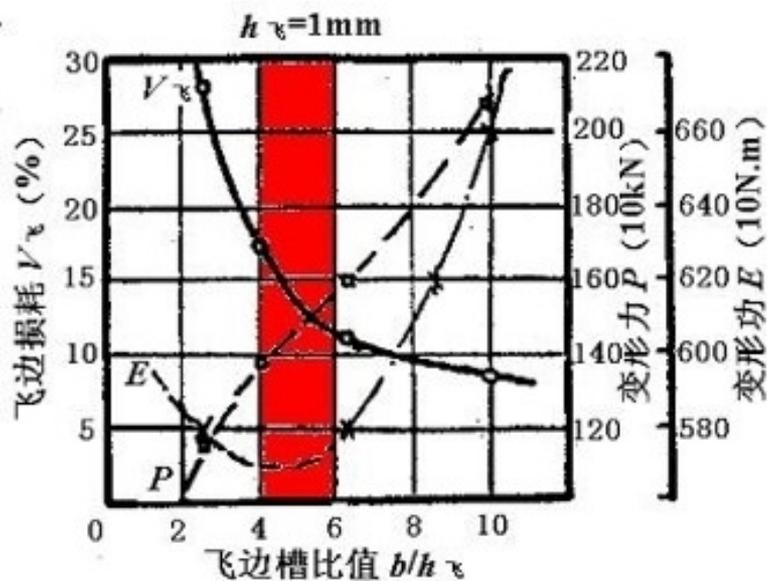
b 用于锻压机



飞边槽参数设计: $b/h_{\text{飞}}$, $h_{\text{飞}}$ 。

6 锻压成形与模具

飞边槽参数: $b/h_{\text{飞}}$, $h_{\text{飞}}$ 。



6 锻压成形与模具

飞边槽基本形式构造参数设计计算：

$$h_{\text{飞}} = \beta \sqrt{F_{\text{锻}}} \quad (\text{mm})$$

式中 $F_{\text{锻}}$ ——锻件平面图的投影面积，（ mm^2 ）

β ——考虑设备类型的系数：对于锤和锻压机 $\beta = 0.015$

对于摩擦压力机 $\beta = 0.02$ 。

$$V_{\text{飞}} = F_{\text{飞}} \cdot S$$

$$F_{\text{飞}} = \xi \cdot F_{\text{飞槽}}$$

6 锻压成形与模具

表选

模 锻 锤 吨 位 (吨)	$h_{\text{飞}}^{\text{①}}$ (毫米)	$b^{\text{②}}$ (毫米)			h_1 (毫米)	b_1 (毫米)	r (毫米)
		锻粗成型	冲孔或劈开	挤入成型			
1	1~1.6	6	8	8	4	22~25	1.5
2	1.8~2.2	8	10	12	5~6	25~30	2.5
3	2.5~3.0	10	12~14	14~16	6~8	30~40	3
5	3~4	12~14	14~16	16~22	8~10	40~50	3
10	4~6	14~16	16~22	22~30	10~12	50~60	4
16	6~8	16~18	18~26	28~32	10~12	60~80	4

注① 设备吨位偏大时, $h_{\text{飞}}$ 适当减小;吨位偏小时, $h_{\text{飞}}$ 适当增大。

6 锻压成形与模具

6.3 闭式模锻工序的分析

节省原材料，省功节能。零件形状限制—短轴类，轴对称（十字节）

管接头、十字轴、圆锥齿轮、直齿圆柱齿轮、电机极爪、联轴节、万向节叉、链轮等，精密连杆

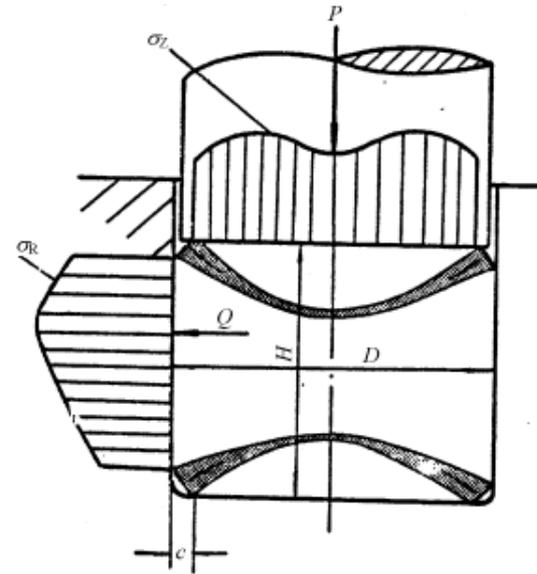
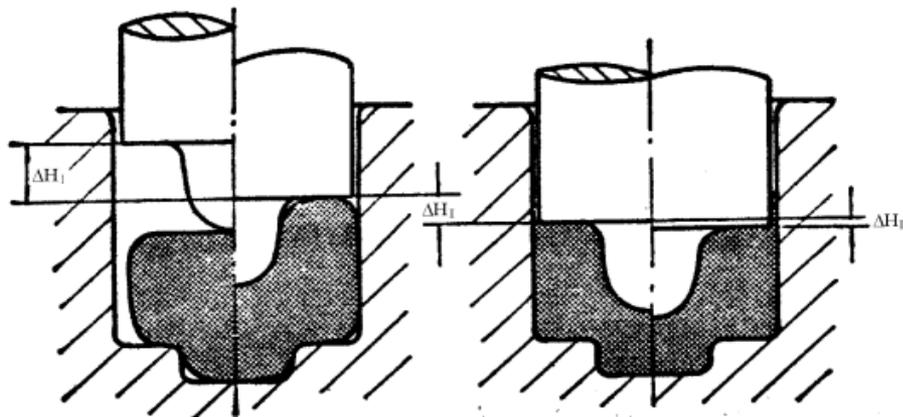
成型过程的分析

毛坯形状和尺寸，收缩系数不同于一般的热胀冷缩

成型过程的模拟（CAD/CAM一体化技术）

6 锻压成形与模具

闭式模锻变形过程：
基本成形阶段 ΔH_I ，充斥阶段 ΔH_{II} ，形成纵向飞刺阶段 ΔH_{III} 。



6 锻压成形与模具

a 闭式模锻变形过程宜在形成纵向飞刺之前结束，应该允许在分模处有少许的充不满，若形成纵向飞刺也只能允许很小的高度。

b 型槽的受力情况与锻件的 H/D 有关， H/D 越小，型槽受力情况越好，所以， H/D 越小的锻件，更合适采用闭式模锻。

6 锻压成形与模具

c 金属分布的均匀性决定于基本成形阶段。为了预防一边已形成飞刺，另一边还未完毕基本成形，要求坯料金属分布均匀，在型槽中稳妥定位，而且要防止在变形时偏心流动。对于局部镦锻成形的锻件，为了预防纵弯引起偏心流动，要求坯料变形部分的高径比 H_0/D_0 ，在单纯局部镦粗成形时 $H_0/D_0 \leq 1.4$ ；冲孔成形时 $H_0/D_0 \leq 0.9 \sim 1.1$ 。

d 镦锻成形的闭式模锻宜在一次工作行程中连续完毕，这有利于型槽充斥和改善锻模的受力情况，尤其是工作速度较高的设备。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/298010136041006132>