

《锻压技术手册》编委会 编

锻压技术手册

下 册

国防工业出版社

锻压技术手册

《锻压技术手册》编委会 编

国防工业出版社出版 发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

北京卫顺排版厂排版 北京平谷大华山印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张132¼ 插页16 3105千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷 印数: 0,001—3,000册

ISBN 7-118-00452-9/TG42 定价: 78.00元 上、下册

第八篇 特种锻压工艺和新技术

编者：刘建宇 张志文 陈桂梅 张珩联
邹仲元 项忠祥 罗子键 李训悌
郝树本 尹维成 古 奇 任鸿斌
裴兴华 林法禹 陈巨昌

第一章 辊 锻

第一节 辊锻工艺分类及其基本原理

一、辊锻工艺分类

辊锻是使毛坯在装有扇形模块的一对旋转的轧辊中通过，借助模槽产生塑性变形，从而获得所需要的锻件或锻坯，如图 8-1-1 所示。

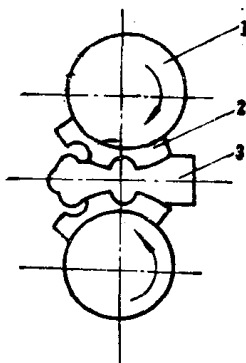


图8-1-1 辊锻示意图

1—轧辊；2—扇形模块；3—锻件。

1. 辊锻工艺按其用途分为制坯辊锻和成形辊锻两类：

(1) 制坯辊锻为模锻工序辊锻毛坯。其主要特点是使毛坯产生较大的塑性变形，满足锻件形状需要。制坯辊锻又分为单模槽辊锻和多模槽辊锻。

(2) 成形辊锻是将毛坯直接辊锻成形（包括热态和冷态），如叶片、连杆之类的锻件。成形辊锻又分为完全成形辊锻、预成形辊锻和部分成形辊锻三种。

制坯辊锻和成形辊锻的变形特点及其应用范围列于表 8-1-1 中。

表8-1-1 辊锻工艺分类及其应用范围

分 类	变形过程特点	应 用
制坯辊锻	单型槽辊锻 在开式型槽内一次或多次辊锻，或用闭式型槽一次辊锻	用于毛坯端部拔长或用于模锻前的制坯工序，例如扳手的杆部延伸
	多型槽辊锻 在几个开式型槽中连续辊锻，或在闭式与开式的组合型槽中辊锻	主要用于模锻前的制坯工序，例如汽车连杆的制坯辊锻
成形辊锻	完全成形辊锻 在辊锻机上完成锻件的全部成形过程。可在开式型槽、闭式型槽或开式闭式组合型槽中辊锻	适用于小型锻件及叶片类锻件的直接辊锻成形，例如各类叶片的冷、热精密辊锻和医疗器械的冷辊锻
	预成形辊锻 锻件在辊锻机上基本成形，即完成相当于模锻工艺的预锻或超过预锻的成形程度。在辊锻后需用其他设备进行最终整形	适用于辊制截面差较大，形状较为复杂的锻件，例如内燃机连杆、拖拉机履带节的预成形
	部分成形辊锻 锻件的一部分形状在辊锻机上成形，而另外部分采用模锻或其他工艺成形	适用于辊制具有长杆类或板片类锻件，例如箭头、犁刀、汽车变速器操纵杆、剪刀股等

2. 辊锻工艺按其送料方式又可分为逆向送料和顺向送料两类:

(1) 逆向送料 毛坯的送进方向与锻件的出口方向相反, 而且是在毛坯的中间实现咬入, 如图 8-1-2。

(2) 顺向送料 毛坯的送进方向与锻件的出口方向相同, 而且是在毛坯的前端实现咬入, 如图 8-1-3。

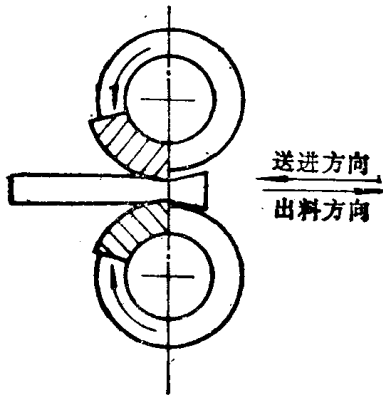


图8-1-2 逆向送料, 中间咬入

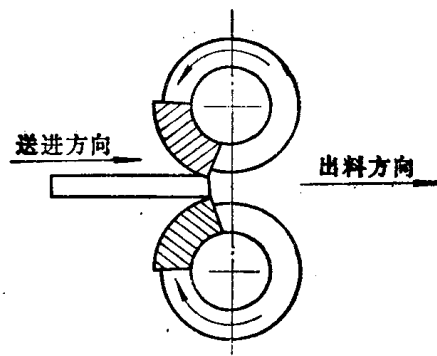


图8-1-3 顺向送料、前端咬入

3. 辊锻工艺是轧制、模锻两种工艺的结合, 它集中了这两种工艺的优点, 所以辊锻工艺与其他锻造工艺相比具有如下的特点:

(1) 产品精度高, 表面粗糙度小。辊锻叶片的叶型精度一般要比普通模锻的精度提高一个等级。特别是采用冷辊锻时, 厚度尺寸精度可达 0.05mm , 表面粗糙度可达 $Ra > 0.8 \sim 0.4\mu\text{m}$ 。

(2) 锻件质量高, 具有良好的金属流线。叶片、连杆一类锻件, 经辊锻成形后, 其内部组织的金属流线与锻件工作时的主应力方向一致。另外, 由于精密成形辊锻可以实现无余量生产而省掉切削加工, 避免金属流线被切断所造成的流线末端外露。这些都为发挥材料强度潜力提供了条件。

(3) 辊锻过程中, 锻辊是连续转动的, 间隙时间短, 生产效率高。

(4) 模具寿命长。辊锻变形是连续静压过程, 金属与模具表面之间的相对滑动较少, 因而模具磨损小。辊锻模使用寿命比普通模锻模具寿命高, 例如叶片冷辊锻模具寿命是精锻模的五倍。

(5) 所需设备吨位小。辊锻时, 金属是逐渐连续变形, 变形区小, 因此所需设备吨位也小。例如生产叶身长 100mm 的不锈钢叶片, 采用模锻工艺需 $15000 \sim 20000\text{kN}$ 曲柄压力机, 而辊锻工艺只需 1000kN 辊锻机。

(6) 工艺过程简单, 易于实现机械化自动化, 而且辊锻过程中冲击、振动、噪音公害小, 劳动条件好。

辊锻工艺虽然具有上述技术、经济特点, 但与其他工艺一样, 具有局限性。这种工艺适用于长轴类、板片等类锻件, 而对于复杂形状的锻件, 例如带阻尼凸台的叶片, 辊锻成形就难以实现。

二、辊锻变形区及基本参数

辊锻变形区是指毛坯在辊锻过程中，直接承受辊锻模的压缩作用而产生塑性变形的这一小部分金属所占据的空间。辊锻变形区如图 8-1-4 所示。

- 1-4 所示。

在变形过程中，毛坯高度方向受压缩，长度方向产生较大的延伸，宽度也有所增加。若以 h_0 、 b_0 、 L_0 分别表示变形前毛坯的厚度、宽度、长度，以 h_1 、 b_1 、 L_1 分别表示变形后锻件的厚度、宽度、长度，则辊锻变形大小如下列关系式表示：

$$\text{绝对压下量 } \Delta h = h_0 - h_1$$

$$\text{相对压下量 } \varepsilon = (\Delta h / h_0) \times 100\%$$

$$\text{绝对宽展量 } \Delta b = b_1 - b_0$$

$$\text{绝对延伸量 } \Delta L = L_1 - L_0$$

$$\text{延伸系数值 } \lambda = L_1 / L_0$$

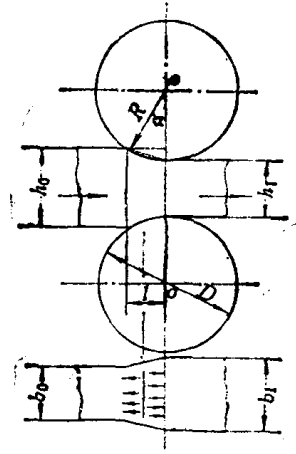


图8-1-4 辊锻变形区示意图

辊锻变形区的基本参数为：变形区入口高度 h_0 ，出口高度 h_1 ，变形区长度 l ，变形区接触弧长度 t ，咬入角 α 。这些基本参数及其相互关系是研究辊锻变形过程的基础。从图 8-1-4 中可以得到如下关系式：

$$\text{咬入角} \quad \cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D} \quad (8-1-1)$$

$$\sin \alpha / 2 = \sqrt{\frac{\Delta h}{2D}} \quad (8-1-2)$$

$$\text{变形区长度} \quad l = R \sin \alpha \quad (8-1-3)$$

$$l = \sqrt{R \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} \quad (8-1-4)$$

当 $\alpha < 20^\circ$ 时， $-\frac{\Delta h^2}{4}$ 值可以忽略不计，则

$$l = \sqrt{R \Delta h} \quad (8-1-5)$$

三、咬入条件

辊锻和轧制一样，实现变形过程的首要条件是能否把毛坯曳入两个旋转的锻辊中间去，毛坯曳入锻辊的过程称为咬入。能够实现毛坯曳入的条件叫做咬入条件。咬入之初期，锻辊对金属的作用力如图 8-1-5 所示。

图中 P 与 T 分别为上锻辊作用在锻件上的总压力和摩擦力（另一锻辊上的作用力情况与之相同）。将 P 、 T 分别分解为垂直分力 P_v 、 T_v 和水平分力 P_h 、 T_h ，其中 P_v 、 T_v 对毛坯起压缩作用，使之产生塑性变形，而 P_h 阻止毛坯进入锻辊， T_h 则力图将毛坯曳入辊中。由此可见， T_h 与 P_h 之间有三种可能情况，即

$T_h < P_h$ ，毛坯不能咬入；

$T_s = P_s$, 处于平衡状态;
 $T_s > P_s$, 毛坯能自然咬入。

由图8-1-5得

$$P_s = P \sin \alpha$$

$$T_s = T \cos \alpha$$

则自然咬入条件为

$$T \cos \alpha \geq P \sin \alpha$$

$$\frac{T}{P} \geq \tan \alpha$$

$$\therefore \frac{T}{P} = \frac{fP}{P} = \tan \beta$$

式中 f ——摩擦系数;

β ——摩擦角。

则咬入条件可以写成

$$\tan \beta \geq \tan \alpha \quad (8-1-6)$$

或

$$\beta \geq \alpha \quad (8-1-7)$$

由式(8-1-7)可知, 轧件的咬入条件为咬入角 α 小于或等于摩擦角, 满足此条件, 毛坯才能自然咬入。可见, 接触摩擦是实现辊锻过程的基本条件, 摩擦系数愈大, 愈有利于实现咬入。

以上讨论是平辊轧制时的端部自然咬入的条件。而辊锻时的咬入条件要比平辊轧制时更为有利, 因为辊锻是在型槽中进行, 比平辊轧制多了一个型槽侧壁的作用。另外, 辊锻工艺多采用中间咬入的形式, 中间咬入是模具前端突出部位直接压入毛坯的中间, 而实现强制咬入。因此辊锻时咬入条件大为改善, 但其咬入角不能无限的增大, 也受到摩擦条件的限制, 咬入角过大, 就要产生打滑现象。中间咬入角与端部自然咬入角二者存在如下关系:

$$\alpha_s = (1.3 \sim 1.5) \alpha_e$$

式中 α_s ——中间咬入时的咬入角;

α_e ——端部自然咬入时的咬入角。

通常情况下, 端部自然咬入时, 最大咬入角不超过 25° , 而中间咬入时, 最大咬入角可以增大到 $32^\circ \sim 37^\circ$ 。由于中间咬入时, 允许咬入角增大, 道次压下量就增大, 可减少辊锻道次, 有利于提高生产率。

四、辊锻时金属的延伸

辊锻变形的实质是使毛坯延伸变形, 达到横截面积减小和长度增加的目的。其延伸变形的程度通常以延伸系数 λ 表示, 即

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1} \quad (8-1-8)$$

式中 L_0 、 L_1 ——变形前后毛坯的长度;

F_0 、 F_1 ——变形前后毛坯横截面积。

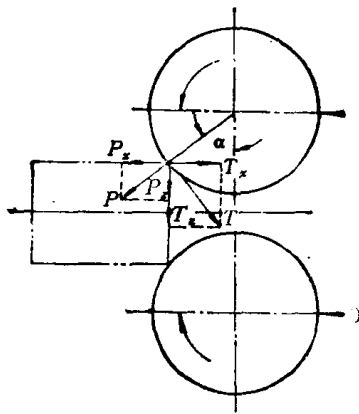


图8-1-5 锻辊对毛坯的作用力
图解

辊锻件如需进行多次辊锻时, 其逐次变形后的横截面积与相应的延伸系数之间存在着如下关系:

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= F_1 \lambda_1 \\ F_1 &= F_2 \lambda_2 \\ F_2 &= F_3 \lambda_3 \\ &\dots\dots\dots \\ F_{n-1} &= F_n \lambda_n \end{aligned} \right\} \quad (8-1-9)$$

式中 F_0 ——原始毛坯横截面积;
 F_1 ——经第一道辊锻后的毛坯横截面积;
 F_2 ——经第二道辊锻后的毛坯横截面积;
 F_n ——经第 n 道辊锻后的毛坯横截面积;
 λ_1 ——第一道辊锻时的延伸系数;
 λ_2 ——第二道辊锻时的延伸系数;
 λ_n ——第 n 道辊锻时的延伸系数。

总延伸系数 λ_n 等于各道次延伸系数之积

$$\lambda_n = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1} \lambda_n = \frac{F_0}{F_n} \quad (8-1-10)$$

各道次的平均延伸系数 λ_p 为

$$\lambda_p = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_n}} = \sqrt[n]{\lambda_n} \quad (8-1-11)$$

对上式取对数, 可以求出所需的变形道次 n ,

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \lambda_p} = \frac{\lg \lambda_n}{\lg \lambda_p} \quad (8-1-12)$$

五、辊锻变形时金属的纵向流动

在辊锻变形区中, 金属质点相对于锻辊分别向出口端和入口端滑动, 二者之间存在一个分界面, 称为中性面, 该中性面将变形区分成两部分——前滑区、后滑区, 如图8-1-6。

在前滑区内模具的切线速度小于毛坯的速度, 金属向前滑移, 称为前滑。在后滑区中模具的切线速度大于锻件的速度, 金属向后滑动, 称为后滑。中性面处模具的切线速度等于锻件的速度。

由于变形区中金属的前滑现象, 使得辊锻后的锻件长度大于模具上相应的长度值(弧长)。为了获得尺寸精确的锻件, 在辊锻模具设计时一定要考虑合适的前滑量, 一般用 S 表示, 可按下式计算:

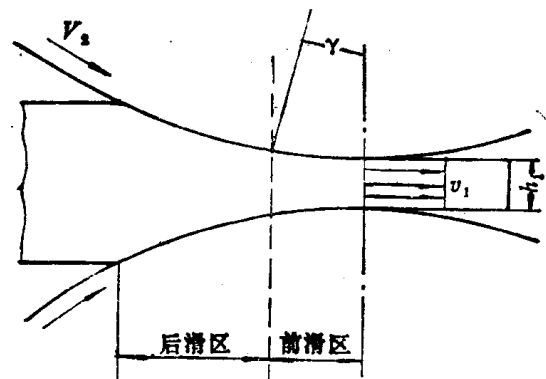


图8-1-6 辊锻变形区金属流动速度分布图

$$S = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \quad (8-1-13)$$

式中 V_1 ——辊锻件出口速度；

V_2 ——模具的圆周速度。

若按式 (8-1-13) 确定前滑量, 测量辊锻件的出口速度很困难, 故在实践中不便于采用。为了计算前滑量, 前人提出不少理论公式和经验公式。由于金属的前滑量与辊锻直径、变形速度、温度、摩擦系数、变形程度及张力等多种因素有关, 企图在一个公式中全面考虑这些因素的综合影响也很困难, 所以至今没有一个充分反映上述诸因素对前滑量影响的计算公式。下面就前滑量介绍几个计算公式和经验数据:

(1) 芬克前滑公式

$$S = \frac{(1 - \cos \gamma)(D \cos \gamma - h_2)}{h_2} \quad (8-1-14)$$

式中 γ ——中性角；

D ——模具公称直径(mm)；

h_2 ——锻件出口高度 (mm)。

当 γ 很小时, 得到芬克公式的简化形式:

$$S = \frac{\gamma^2}{2} \left(\frac{D}{h_2} - 1 \right) \quad (8-1-15)$$

当 $\frac{D}{h_2} \gg 1$ 时, 得到芬克公式进一步简化形式:

$$S = \frac{\gamma^2}{h_2} R \quad (8-1-16)$$

中性角 γ 可按下式计算:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\beta} \right) \quad (8-1-17)$$

式中 α ——咬入角；

β ——摩擦角。

当考虑不均匀变形时, 应在 γ 计算公式中乘以系数 Q , 即:

$$\gamma = Q \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\beta} \right) \quad (8-1-18)$$

式中 Q ——考虑不均匀变形的影响系数 (图8-1-7)。

(2) 在平辊模槽中辊锻时, 前滑量可按式计算:

$$S = 24 \left(\frac{h_0 - h_1}{h_0} \right)^3 \quad (8-1-19)$$

式中 h_0 ——毛坯原始高度；

h_1 ——辊锻后锻件高度。

(3) 在菱形型槽中辊锻时, 前滑量可按式计算:

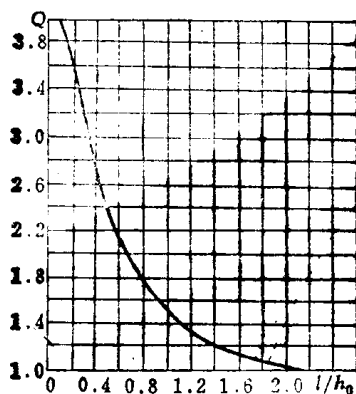


图8-1-7 不均匀变形系数

$$S = 24 \left(\frac{h_0 - \frac{h_1}{2}}{h_0} \right)^3 \quad (8-1-20)$$

式中 h_1 ——菱形型槽高度。

(4) 经验数据

制坯辊锻 $S = 4 \sim 6\%$ 。

叶片成形辊锻 预成形道次 $S = 2 \sim 3\%$ ，终成形道次 $S = 3 \sim 5\%$ 。

六、辊锻变形时力能参数的确定

辊锻变形力及辊锻力矩可用理论公式或经验公式算出，也可用实验测定方法求得，在此仅介绍理论计算方法。

1. 平均单位压力计算

接触弧上金属对模具的单位压力分布是不均匀的，为了工程计算的方便，往往只计算接触面的平均单位压力。许多学者提出了不少的理论公式和经验公式，每个公式都是根据一定的条件提出来的，因此只能适用于该条件，而在其他条件下则误差较大，所以在选择计算公式时一定要注意到这一点。下面推荐两个单位压力计算公式供选用。

(1) 热辊锻时采用埃克隆德 (S. Ekelund) 公式

$$p_{\text{平均}} = (1+m)(K - \eta u) \quad (\text{MPa}) \quad (8-1-21)$$

式中 m ——表示外摩擦对单位压力的影响系数；

K ——在静压缩时单位变形抗力 (MPa)；

η ——粘性系数；

u ——变形速度 (s^{-1})。

式 (8-1-21) 中的各参数计算如下：

系数 m

$$m = \frac{1.6f\sqrt{R(h_1 - h_2)} - 1.2(h_1 - h_2)}{h_1 + h_2} \quad (8-1-22)$$

式中 R ——锻辊半径 (mm)；

h_1 、 h_2 ——辊锻前、后毛坯的高度 (mm)；

t ——辊锻毛坯的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

f ——摩擦系数;

钢辊: $f=1.05\sim 0.0005t$ (适用于 $t>700^{\circ}\text{C}$)

铸铁辊: $f=(1.05\sim 0.0005t)\times 0.8$

静变形抗力 K

$$K=(14-0.01t)(1.4+C+\text{Mn}+0.3\text{Cr})(\text{MPa}) \quad (8-1-23)$$

式中 C 、 Mn 、 Cr ——分别表示金属中碳、锰、铬含量的百分数, 当 $t>800^{\circ}\text{C}$, C 、 $\text{Mn}\leq 1\%$ 以及 $\text{Cr}<2\sim 3\%$ 时该式正确。

粘性系数 η

$$\eta=0.01(14-0.01t)C \quad (8-1-24)$$

式中 C ——决定于辊锻速度的系数, 见表8-1-2。

表8-1-2 辊锻速度与系数 C 的关系

辊锻速度 (m/s)	系 数 C
6	1
6~10	0.8
10~15	0.65
13~20	0.60

变形速度 u

$$u=\frac{2v\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}}{h_1+h_2} \quad (8-1-25)$$

式中 v ——锻辊速度 (m/s);

R ——锻辊半径 (mm);

h_1 、 h_2 ——辊锻前、后锻件厚度 (mm);

Δh ——压下量 (mm)。

(2) 冷辊锻时计算平均单位压力公式

$$p_{\text{平均}}=(K_0-\sigma) e^{\frac{fL}{h_A}-1} \quad (8-1-26)$$

式中 $K_0=1.155\sigma_0$ (MPa);

$\sigma=\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}$ ——平均应力 (MPa);

L ——考虑弹性压扁情况下的接触弧长度 (mm);

$h_A=\frac{h_1+h_2}{2}$ ——辊锻前、后毛坯的平均厚度 (mm);

f ——摩擦系数。

为了应用方便, 给出计算曲线 (图8-1-8)。首先计算出 $\frac{fL_0}{h_A}$ 及 $2a\frac{f}{h_A}(K_0-\sigma)$ 值, 此两值的连线与曲线的交点便是 $\frac{fL}{h_A}$ 值, 将此值代入式 (8-1-26), 即可求得平均单位压力 $p_{\text{平均}}$ 。参数中 $L_0 = \sqrt{R(h_1 - h_2)}$, 这是没有考虑弹性压扁情况下的接触弧长度; $a = \frac{R}{9500}$ 。

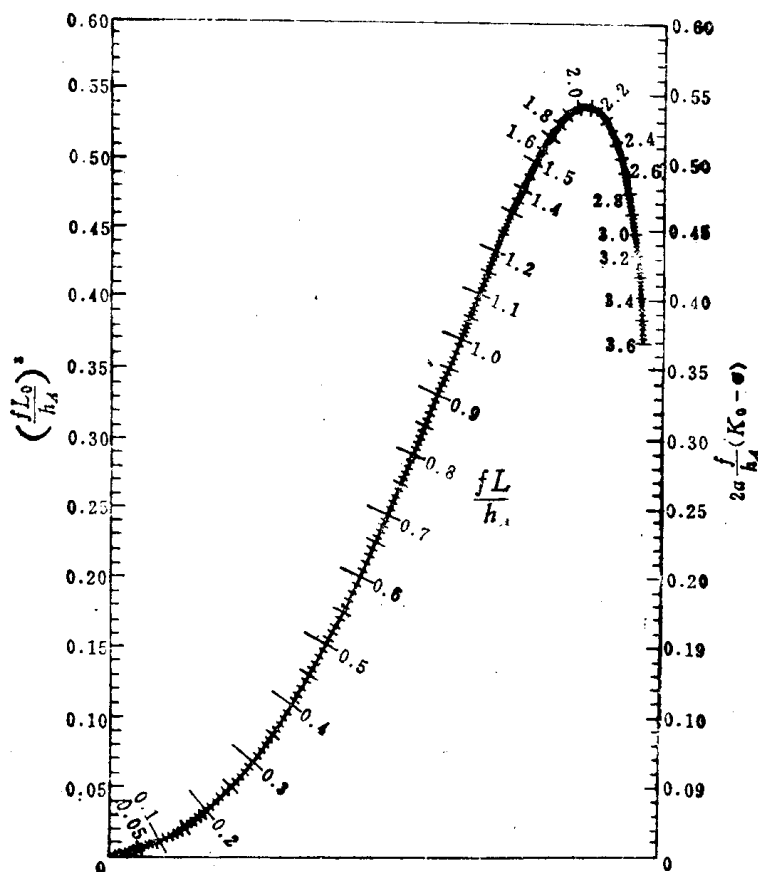


图 8-1-8 确定 $\frac{fL}{h_A}$ 值的曲线图

2. 总压力计算

辊锻时金属作用在模具上的总压力按下式计算:

$$P = BLp_{\text{平均}} \quad (8-1-27)$$

式中 $p_{\text{平均}}$ ——平均单位压力 (Mpa);

$$B = \frac{B_1 + B_2}{2} \text{——辊锻前、后毛坯的平均宽度 (mm);}$$

L ——变形区中接触弧长度 (mm)。

由于在冷辊锻时, 模具产生弹性压扁, 而热辊锻时, 弹性压扁可忽略不计, 所以这

两种情况下计算变形区中接触弧长度的方法不同 (图8-1-9)。

(1) 热辊锻时变形区中接触弧长度为

$$L = \sqrt{R\Delta h} \quad (8-1-28)$$

(2) 冷辊锻时变形区中接触弧长度为

$$L = \sqrt{R\Delta h + x_0^2} + x_0 \quad (8-1-29)$$

$$x_0 = \frac{8(1-\mu^2)}{\pi E} R p_{\text{平均}} \quad (8-1-30)$$

式中 μ ——模具材料的波松比;

E ——模具材料的弹性模数 (MPa);

R ——锻辊半径 (mm);

$p_{\text{平均}}$ ——平均单位压力 (MPa)。

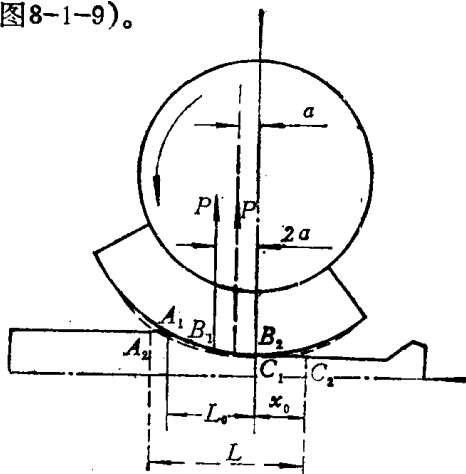


图 8-1-9 总压力作用点位置图

关于总压力计算，有两点说明：一是对于多道次辊锻的情况下，要分别计算每一道次的总压力，以其中最大者作为选择设备的依据；二是对于复杂型槽辊锻，变形区中接触面积采用计算方法求解很复杂，一般多用作图法确定接触面积。

3. 辊锻力矩的计算

辊锻力矩等于总压力与辊锻力臂之乘积。但由于热辊锻和冷辊锻时总压力作用点的位置不同，力臂的大小也就不同。在冷辊锻时，由于模具的弹性压扁，总压力作用点移动，力臂大小就要发生变化。图8-1-9中虚线表示有弹性压扁时总压力作用位置，实线表示刚性模上总压力作用位置。

辊锻力矩按下式计算：

$$M = 2Pa \quad (8-1-31)$$

式中 P ——毛坯作用在模具上的总压力 (kN);

a ——力臂 (m)。

对于热辊锻，

$$a = C\sqrt{R\Delta h}$$

式中 C ——总压力作用系数，取 $C=0.45\sim0.57$ 。

对于冷辊锻，

$$a = C \left[\sqrt{R\Delta h + x_0^2} - \left(\frac{1}{C} - 1 \right) x_0 \right] \quad (8-1-32)$$

式中 x_0 ——按公式 (8-1-30) 计算;

C ——总压力作用系数，取 $C=0.35\sim0.45$ 。

第二节 辊锻工艺与模具设计

一、模具设计中的几个基本概念

(一) 型槽分类

在上、下模具上刻制的模槽组合在一起构成辊锻型槽，辊锻型槽一般可分为两类：

开式型槽 上、下模之分模线位于辊锻型槽中间(图8-1-10)。开式型槽中,毛坯的宽展比较自由,同时由于模槽分摊在两块模具上,刻槽较浅,有利于锻辊。但在开式型槽中辊锻时,不易获得几何形状较精确的锻件。

闭式型槽 模槽刻制在一个模具上,上、下模之分模线位于型槽端部(图8-1-11)。闭式型槽中宽展受到限制,但可增大延伸量而强化辊锻过程,并且可以获得几何形状精确的锻件。

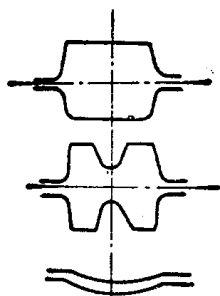


图 8-1-10 开式型槽

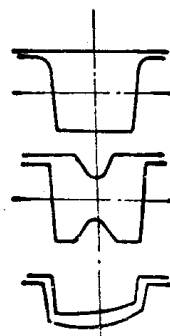


图 8-1-11 闭式型槽

(二) 上压力与下压力

轧辊辊径之差的毫米数称为“轧制压差”。由于上、下辊径不同而造成圆周速度不同,使得锻件出口时产生上弯或下弯。当下辊直径大于上辊直径时,锻件向上弯(图8-1-12a),称为“下压力轧制”;反之,上辊直径大于下辊直径时,锻件向下弯(图8-1-12b),称为“上压力轧制”。两辊直径之差的毫米数愈大,表示压差愈大。

下压力 $m_s = D_s - D_d$

上压力 $m_s = D_s - D_d$

式中 D_s ——上辊直径 (mm);

D_d ——下辊直径 (mm)。

在辊锻工艺中一般避免这个“压差”,以便保证辊锻件平直。

(三) 型槽中性线

通过型槽截面面积重心之水平线称为型槽中性线(图8-1-13)。型槽中性线常用以

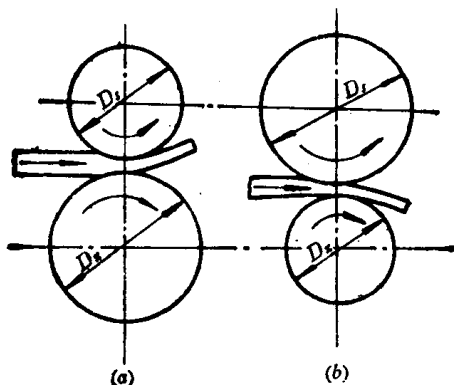


图8-1-12 上、下辊径不同轧制

(a) 下压力轧制; (b) 上压力轧制。

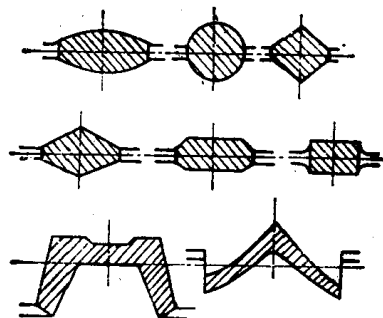


图8-1-13 型槽中性线

下两种方法确定：(1) 求重心法；(2) 等面积法。

(四) 辊锻中心线

两个锻辊轴线间距离的平分线称为辊锻中心线(图8-1-14)。为了获得平直的锻件，设计型槽时，应尽量减少上、下模腔表面线速度的差异，也就是尽量减少辊锻过程中产生上压力或下压力，必须使得辊锻中心线与型槽中性线相重合，这是配置型槽的基本原则。

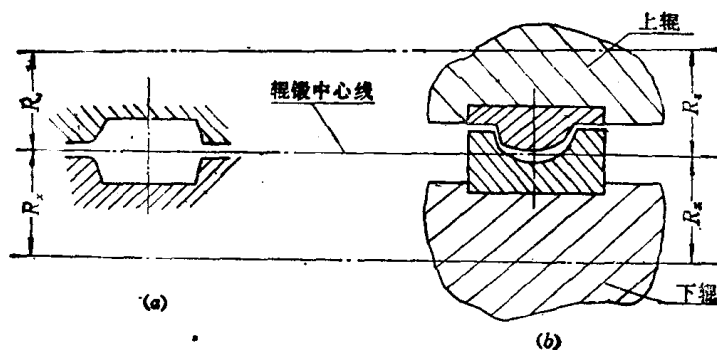


图 8-1-14 辊锻中心线
(a) 对称截面；(b) 非对称截面。

二、制坯辊锻

制坯辊锻的工艺设计和型槽设计是比较复杂的，在此仅将其中几个主要问题加以阐述。

(一) 辊锻件图和原始毛坯图的设计

辊锻件图和原始毛坯图的设计方法与普通模锻大体一致，基本步骤如下：

1. 根据锻件图，采用“截面图”法，得到计算毛坯图。计算毛坯的截面积按下式计算：

$$F'_0 = F_n + 2KF_n \quad (8-1-33)$$

式中 F'_0 ——计算毛坯的截面积；

F_n ——终锻件的截面积；

F_n ——毛边横截面积；

K ——毛边槽充满系数，一道次辊锻毛边取 $K=0.5\sim0.7$ ，多道次辊锻毛边取 $K=0.2\sim0.35$ (每次)。

2. 绘制锻件截面积图和计算毛坯图的方法与普通模锻方法相同。绘出锻件的截面图后，便在此基础上设计锻件毛坯图 (即辊锻件图)。在设计时要注意下列几个问题 (图 8-1-15)。

(1) 正确划分形状特征区，如杆部区段、头部区段。

(2) 各特征区段之间应以大圆弧过渡，此过渡区段一般划入截面较大的特征区段内。过渡区段的斜度一般不小于 45° ，其长度为

$$L_0 = (0.5\sim0.86)(\sqrt{F_0} - \sqrt{F'}) \quad (8-1-34)$$

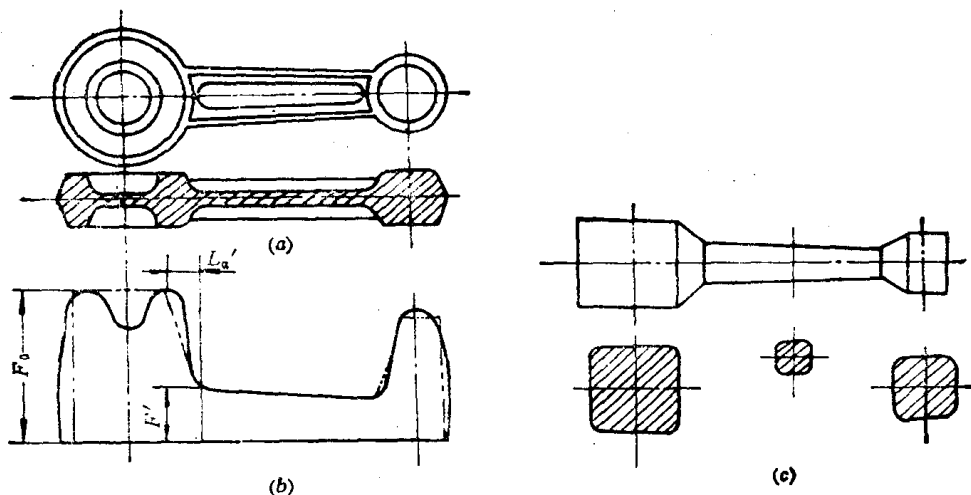


图 8-1-15 计算毛坯图与截面图

式中 F_0 、 F' ——分别为过渡区段的特征截面积；

L_a' ——过渡区段的长度。

(3) 辊锻毛坯的端部区段长度，在一般情况下应比锻件相应区段的稍短一些，以免在成形时压伤毛坯、出现折叠等现象。

3. 确定辊锻前原始毛坯的尺寸

原始毛坯的截面尺寸（直径或边长）应按锻件的最大截面选取。当最大截面区段在毛坯辊锻不变形时，可直接以此数值查找材料规格标准选定原始毛坯的截面尺寸；当最大截面区段同样受到辊锻变形时，则应考虑辊锻过程中因延伸而造成截面积减小这一因素。在此情况下，原始毛坯的截面积应按下式计算：

$$F_r = K F_{max} \quad (8-1-35)$$

式中 F_r ——辊锻前原始毛坯的断面积；

F_{max} ——锻件的最大截面积；

K ——截面增大系数。

原始毛坯长度尺寸应按体积不变原则计算：

$$l_r = \frac{u_r}{F_r}$$

式中 l_r ——原始毛坯的长度；

u_r ——原始毛坯的体积。

原始毛坯的体积 u_r 按下式计算：

$$u_r = u'_r (1 + \delta)$$

$$u'_r = F''_{\text{平均}} L_r$$

式中 u'_r ——计算毛坯体积；

$F''_{\text{平均}}$ ——计算毛坯平均截面积；

L_r ——锻件长度；

δ ——金属加热时的烧损率与辊锻道次、加热方法以及防护效果有关，一般取 $\delta = 1 \sim 5\%$ 。

(二) 制坯型槽系的选择

1. 制坯型槽系的种类及其特点