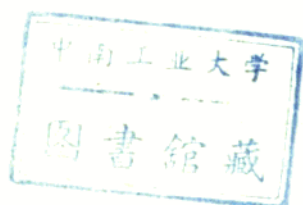


高等专科学校教学用书

GAODENG
ZHUANKE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

轧制原理



冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

轧制原理

上海冶金高等专科学校 陆济民 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等专科学校教学用书

轧 制 原 理

上海冶金高等专科学校 陆济民 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北京市朝阳区大屯地质学院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 10 字数 236 千字

1993年 10 月第一版 1993年 10 月第一次印刷

印数1~3600册

ISBN 7-5024-1217-4

TG·162(课)定价4.85元

前 言

《轧制原理》一书是根据冶金工业部1990~1995年专科教材规划编写的。全书共分九章。按教学大纲的要求及针对高等专科学校的教育特点,本书力求做到突出重点,精选内容,在系统阐明本门学科基本理论和基本知识的同时,特别注意理论与实践的结合。本书除作为高等专科学校金属压力加工专业教学用书之外,也可供生产和设计部门的工程技术人员参考。

本书由上海冶金高等专科学校陆济民任主编。参加编写的有重庆钢铁高等专科学校苏玉芹(第一、二、四章),上海冶金联合职工大学童治强(第三、八、九章),上海冶金高等专科学校陆济民(绪论、第五、六、七章)。

初稿完成后,曾请有关学校的任课教师对书稿进行审议,对本书提出了许多宝贵意见,作者在此深表谢意。但由于编者业务水平有限及时间仓促,书中一定还会有不少缺点错误,敬请读者给予批评指正。

目 录

结论.....	1
1 轧制过程的基本概念	3
1.1 变形区及其主要参数.....	3
1.2 实现轧制过程的条件.....	9
1.3 最大压下量的计算及改善咬入的措施.....	13
1.4 孔型对咬入的影响.....	18
1.5 轧制时的不均匀变形.....	19
1.6 轧制过程的运动学与力学条件.....	22
2 轧制过程中的宽展	27
2.1 宽展的种类和组成.....	27
2.2 影响宽展的因素.....	31
2.3 孔型中轧制时的变形特点.....	39
2.4 计算宽展的公式.....	41
3 轧制过程中的纵变形——前滑与后滑	51
3.1 轧制时的前滑与后滑.....	51
3.2 前滑的计算公式.....	52
3.3 中性角的确定.....	54
3.4 影响前滑的因素.....	56
4 影响轧制过程力学参数的因素	59
4.1 影响金属本身性质的因素.....	60
4.2 应力状态的影响.....	74
4.3 三种典型轧制情况.....	79
5 轧制单位压力	87
5.1 轧制压力的概念.....	87
5.2 T.卡尔曼(Karman)单位压力微分方程及A.И.采利柯夫解和M.D.斯通(Stone)解	88
5.3 E.奥洛万(Orowan)单位压力微分方程及B.西姆斯(Sims)和D.R.勃兰特(Bland)公式.....	94
6 轧制压力的计算	100
6.1 接触面水平投影面积的计算.....	100
6.2 计算平均单位压力的A.И.采利柯夫公式	103
6.3 M.D.斯通公式	107
6.4 B.西姆斯公式	110
6.5 D.R.勃兰特公式	113

6.6 S.爱克伦德 (Ekelund) 公式	121
7 传动轧辊所需力矩及功率	123
7.1 辊系受力分析	123
7.2 轧制力矩的确定	126
7.3 电机传动轧辊所需力矩	130
7.4 主电机负荷图	132
7.5 主电机的功率计算	136
8 轧制时的弹塑性曲线	138
8.1 弹性曲线和弹跳方程	138
8.2 轧件的塑性曲线	140
8.3 轧制时的弹塑性曲线	141
8.4 轧制弹塑性曲线的实际意义	144
9 连轧的基本理论	146
9.1 连轧的特殊规律	146
9.2 连轧张力	147
9.3 前滑系数, 堆拉系数和堆拉率	152
参考文献	154

绪 论

金属压力加工过程就是金属塑性变形的过程,所以金属压力加工亦称金属塑性加工,其作用不仅是通过塑性变形改变金属的形状和尺寸,而且也能改善其组织和性能。塑性加工的方法主要有锻造、冲压、拉拔、挤压和轧制等,其中轧制在冶金工业,尤其在钢铁工业中是最主要的加工方法。在钢铁生产总量中,除少部分采用铸造和锻造等方法直接制成成品以外,其余90%以上的钢都须经过轧制成材。许多有色金属与合金材料也是靠轧制方法进行生产的。由此可见,金属材料的轧制生产在国民经济中占有极其重要的地位。

轧制原理是研究轧制过程的基本理论,它是建立在工程塑性加工力学和金属塑性加工物理学基础之上的,而且它又是轧制工艺学、轧制设备、轧制过程数学模型等课程的基础,是与生产实践紧密结合,适用性很强的学科分支。轧制原理无论对于轧制理论的深入研究,还是对于生产的发展都关系非常密切。因此,在学习过程中要求掌握轧制过程的规律及实质,并能应用所学规律去分析、解决生产实践和科学研究中的问题。此外还要掌握一些工程近似计算方法,这是由于影响轧制过程的因素很复杂,往往要进行一些假设和简化,但只要正确使用近似计算方法,用于轧制过程的工程计算精度还是足够。

本课程的内容大致分为:基础理论部分、力能参数部分、弹塑性曲线与连轧理论的基本方程。分析方法主要是从变形区的微观分析到宏观的计算。

由于这门课的发展较晚,因此其系统性、理论性不象其它学科那样严密和精确。所谓发展较晚,是由于从T.卡尔曼(Karman)发表轧制压力微分方程至今也不过五十年左右;从轧钢机的发明到现在为止也只有几百年历史,因此其发展远远赶不上化学、物理等基础学科。

轧制理论的发展大致经历了这样几个时期:

(1) 轧制理论不能实际应用的时期(1940~1950)

T.卡尔曼的轧制压力微分方程发表后,为轧制理论奠定了理论计算基础,但是要用人工来计算,由于计算复杂,花费时间长,实际上未得到推广应用。另外由于两方面的原因造成理论计算值与实测值不一致,即理论公式即使是正确的,但由于变形抗力的值不正确,结果也不准;另一方面当时的现场测定值受仪表精度的限制不太准确,致使理论计算在现场不能使用。

(2) 轧制理论发展阶段(1950~1960)

进入50年代后,轧制理论的研究蓬勃发展起来。许多国家开展了热轧和冷轧时的变形抗力研究,摩擦机理研究,对轧制压力及扭矩的测量方法、测量装置的研究等。在变形区轧制压力分布、摩擦力分布等的研究领域得到许多精确结果,为轧制理论的发展,提供了实测依据,提出了一大批轧制压力公式,以及轧制压力分布的理论分析。

(3) 轧制理论的应用阶段(1960年以后)

随着电子计算机的发展和普及,应用计算机控制轧制过程得到推广,计算机应用后,复杂的公式很容易得到数值解,使轧制理论及其有关数学模型实际用处显著增大,并且还

研究出与理论公式同样精度的回归模型，使之更便于控制使用。

(4) 现代轧制理论的发展

近年来，面对着新技术浪潮的冲击，轧制技术的面貌可以说是日新月异，瞬息万变。在这种情景下，作为支撑轧制技术发展的轧制理论，也在传统轧制理论的基础上，大大地拓宽了它的研究领域，大大地加深了研究深度，成为推动轧制技术发展，服务于国民经济各部门的系统理论。

在新技术浪潮中发展起来的现代轧制理论，带有鲜明的时代烙印。传统的轧制理论以宽展、前滑等变量参数和轧制力、轧制力矩等力能参数为主要研究对象。近年来，轧制理论向应用理论的方向发展，向为工业生产服务的方向发展，将板带轧制中的板形理论，冷热轧润滑理论，各类轧机的振动、刚性、轧制过程控制等一系列内容包容进来，构成了系统的应用理论。从学科角度来看，它除了以塑性加工力学、塑性加工物理学为主要理论支柱之外，还从机械、液压、自控、计算机等学科那里吸取许多营养，充实了轧制理论的内容，丰富了轧制理论的宝库。

作为现代轧制理论的特征，可以归纳为以下几点：1) 以国民经济为自身发展的原动力，推动轧制理论不断开拓、前进；2) 以实现高技术轧制为主要目标，提高轧制产品的技术含量和附加值；3) 以学科交叉点作为新学术思想的生长点，促进新技术、新工艺的开发；4) 以实验装备和计算机为两翼，开展物理模拟和数学模拟，推动轧制理论向高水平发展。

从轧制理论发展的历史看，生产实践促进了轧制理论的发展，特别是现代轧制理论向更深、更广的方向发展。

本课程涉及的范围仅是轧制理论的基础部分，它是一个轧钢工程技术人员应当基本掌握的内容，并应用这些基本理论与计算方法解决生产实际问题。而轧制理论本身还要通过不断地生产实践与科学研究来充实它、完善它、发展它。

1 轧制过程的基本概念

轧制又称压延，是压力加工中应用极为广泛的一种生产形式。所谓轧制就是指金属在两个旋转的轧辊之间受压缩而进行塑性变形的过程。金属可通过轧制获得一定的尺寸、形状和性能。

研究轧制过程中各种现象（咬入、宽展及前滑等）的规律性，以解决轧制时力能等参数的计算，则必须首先建立起轧制过程的基本概念。

1.1 变形区及其主要参数

1.1.1 简单轧制与非简单轧制

所谓简单轧制过程是指比较理想的轧制过程。通常把具有下列条件的轧制过程称为简单轧制过程。

- (1) 两个轧辊都被电动机带动，且两轧辊直径相同，转速相等，轧辊为刚性；
- (2) 被轧制的金属上只有轧辊所加的压力，即不存在前后拉力或推力，且被轧制的金属作等速运动；

(3) 被轧制的金属性质均匀一致，即变形温度一致，变形抗力一致，变形一致。

显然，凡不具备以上三个条件的轧制过程均为非简单轧制过程。如：

(1) 由于加热条件的限制所引起的轧件各处温度分布不均匀，或受孔型形状的影响，变形沿轧件断面高度和宽度上不均匀等；

(2) 由于轧辊各处磨损程度的不同，上下轧辊直径不完全相等，使金属质点沿断面高度和宽度运动速度不等；

(3) 轧制压力和摩擦力沿接触弧长度上分布不均。

因此，简单轧制过程是一个理想化的轧制过程模型。为了简化轧制理论的研究，有必要从简单轧制过程出发，并在此基础上再对非简单轧制过程的问题进行探讨。

实际生产中，还有各种非简单轧制情况：

- (1) 单辊传动的轧机，如周期式叠轧薄板轧机；
- (2) 附有外力（张力或推力）的连续式轧机；
- (3) 轧制速度在一个道次中发生变化的轧机，如初轧机及带直流电动机传动的轨梁

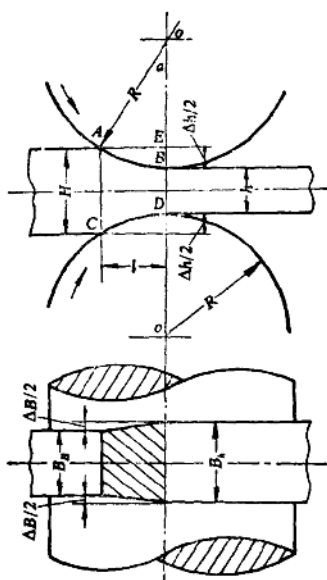


图 1-1 简单理想轧制过程图示

轧机;

(4) 上下轧辊直径不相等的轧机, 如劳特式三辊轧机;

(5) 在非矩形断面的孔型中的轧制, 如在异型孔型及椭、菱、立方孔型中的轧制。

1.1.2 变形区的主要参数

图1-1为简单轧制过程变形图示。轧制过程中, 轧件和轧辊相接触, 并在一定条件下受轧辊压力作用, 轧件连续不断地产生变形的那个区域, 称为轧制时的变形区。图1-1所示 $ABCD$ 所构成的区域, 在俯视图中国画有剖面线的梯形区域即变形区。近来轧制理论的发展, 除了研究变形区的几何尺寸外($ABCD$ 又称为几何变形区), 又对几何变形区之外的区域(通常称为物理变形区)进行了研究。因为轧件实际上不仅在 $ABCD$ 范围内变形, 其以外的地区也发生变形。故一般泛指变形区均系专指几何变形区而言。

在简单轧制时, 变形区的纵横断面可以看作梯形, 变形区可以用轧件进出口断面的高度 H 、 h (或平均高度 $\bar{h}_e$)和宽度 B_H 、 B_h (或平均宽度 $\bar{B}_e$)及变形区长度 l , 接触弧所对应的圆心角即咬入角 α 来表示。以上各量称为变形区基本参数。对它们之间的关系及其表示方法的研究是弄清变形过程的重要手段。

变形区的平均高度及平均宽度为:

$$\bar{h}_e = \frac{H+h}{2} \quad (1-1)$$

$$\bar{B}_e = \frac{B_H + B_h}{2} \quad (1-2)$$

式中 H 、 h ——轧件轧前、轧后的高度;

B_H 、 B_h ——轧件轧前、轧后的宽度。

当变形区形状不是梯形时, 其平均宽度可按下式计算:

$$\bar{B}_e = \frac{B_H + 2B_h}{3} \quad (1-3)$$

变形区长度 l 可以用 AB 弦的水平投影长度表示, 由图可知

$$l = AE = \sqrt{R^2 - OE^2}$$

式中 $OE = R - \Delta h/2$

R ——轧辊工作半径;

Δh ——该道次的压下量, $\Delta h = H - h$ 。

当 Δh 不大时, 代入上式并略去 Δh 的平方项, 整理后得

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

关于咬入角 α 的表示法, 由图示的几何关系可知:

$$\sin \alpha \approx l/R = \sqrt{\Delta h/R}$$

当 α 很小时, 近似地取 $\sin \alpha \approx \alpha$, 则得

$$\alpha = \sqrt{\Delta h/R} \quad \text{rad} \quad (1-5)$$

则得

$$\Delta h = R\alpha^2$$

咬入角、压下量和轧辊工作直径之间的关系, 由图1-1可知:

$$R \cos \alpha = R - \Delta h / 2$$

整理后得:

$$\Delta h = D(1 - \cos \alpha) \quad (1-6)$$

式中 D ——轧辊工作直径。

为了简化计算,又可将 Δh 、 D 和 α 三者之间的关系用算图来显示。如图1-2,只要知道 Δh 、 D 和 α 三个参数中的任意两个,便可应用算图很快地求出第三个参数。

1.1.3 轧制变形的表示方法

轧制变形的结果,沿轧件的三个方向上其尺寸要发生变化。为了简化工程计算,通常假定这三个主要变形方向和主轴方向一致,即三个主轴方向发生的变形为主变形。

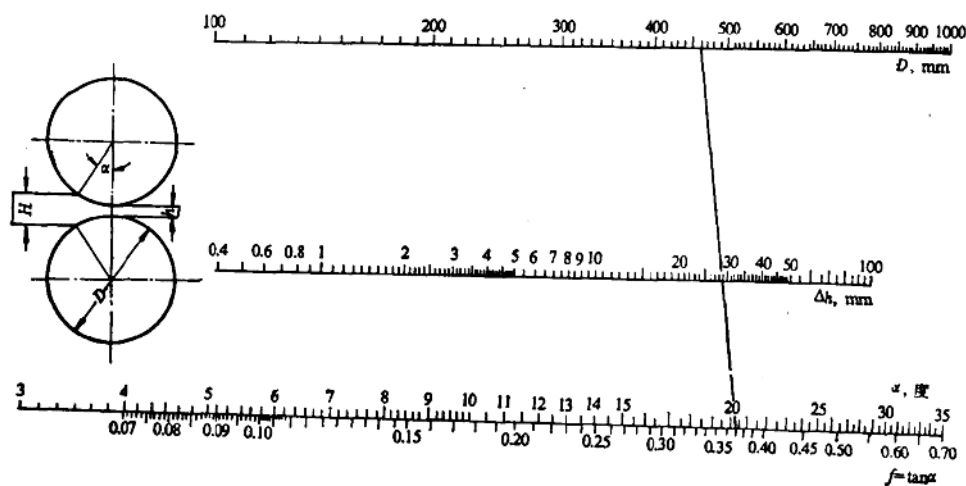


图 1-2 Δh - α - D 图表

变形的表示方法有三种:

(1) 绝对变形量表示方法

表示轧件高向变形的量称为压下量。即

$$\Delta h = H - h \quad (1-7)$$

表示轧件宽向变形的量称为宽展量。即

$$\Delta b = B_h - B_H \quad (1-8)$$

表示轧件纵向变形的量称为延伸量。即

$$\Delta l = L_h - L_H \quad (1-9)$$

式中 H 、 B_H 和 L_H , h 、 B_h 和 L_h ——分别表示轧件轧前与轧后的高、宽和长度。

绝对变形量表示变形的办法,在大、中型及开坯生产,板带钢生产中应用较多,尤以前二者应用更为广泛。绝对变形量不能确切地表示变形程度的大小,只能表示轧件外形尺寸的变化。

(2) 相对变形量表示方法

一般相对变形量是用绝对变形量与轧件原始尺寸(或轧后尺寸)的比值表示的。即

$$\epsilon_1 = \frac{H-h}{H} = 1 - \frac{h}{H} \quad (1-10)$$

或

$$\varepsilon_1 = \frac{H-h}{h} = \frac{H}{h} - 1$$

同理

$$\varepsilon_2 = \frac{B_s - B_H}{B_H} \quad \text{或} \quad \varepsilon_2 = \frac{B_s}{B_H} - 1 \quad (1-11)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{L_s - L_H}{L_H} \quad \text{或} \quad \varepsilon_3 = \frac{L_s}{L_H} - 1 \quad (1-12)$$

为了确切地表示轧件某一瞬间的真实变形程度,又可用对数方法表示轧件的变形程度。即

$$e_1 = \int_H^h \frac{dh_x}{h_x} = \ln \frac{h}{H} \quad (1-13)$$

$$e_2 = \int_{B_H}^{B_s} \frac{db_x}{b_x} = \ln \frac{B_h}{B_H} \quad (1-14)$$

$$e_3 = \int_{L_H}^{L_s} \frac{dl_x}{l_x} = \ln \frac{L_h}{L_H} \quad (1-15)$$

用对数表示的变形,反映了轧件的真实变形程度,所以又称真变形。根据体积不变定律,三个互相垂直方向的真变形的代数和应等于零,所以已知其中任意两个,便可求出另外一个真变形。一般在要求精度较高的计算时,才使用真变形。在简单轧制条件下,为了计算方便,经常采用的是相对变形量。相对变形量能够表示出轧件变形的大小。例如同是 $\Delta h = 1\text{mm}$ 变形量的两个轧件,对于原高为 100mm 的轧件,变形量只有 1% ,而对于原高为 2mm 的轧件,其变形量确已达到 50% 。所以相对变形量表示方法多用于薄板或箔材的轧制。

(3) 变形系数表示方法

表示高向变形的系数称为压下系数。即

$$\eta = \frac{H}{h} \quad (1-16)$$

表示宽向变形的系数称为宽展系数。即

$$\beta = \frac{B_s}{B_H} \quad (1-17)$$

表示长度方向变形的系数称为延伸系数。即

$$\mu = \frac{L_h}{L_H} \quad (1-18)$$

根据塑性变形遵守的体积不变定律,则对于任意横断面面积,可有以下关系:

$$F_0 L_0 = F L$$

得

$$F_0 / F = L / L_0 = \mu \quad (1-19)$$

式中 F_0 、 L_0 ——轧件轧前横断面面积、长度;

F 、 L ——轧制某道次后轧件的横断面面积、长度。

可见延伸系数 μ 又可等于轧制前与轧制后轧件横断面面积之比,而且延伸系数之值总大于1。

轧制时,由坯料到成品要经过若干道次,其中每一道次断面的变形称为道次延伸系数;由坯料原始横断面至成品横断面的变形,称为总延伸系数。

如轧制 n 道次,各道次轧前轧件横断面面积为: $F_0 = \mu_1 F_1$; $F_1 = \mu_2 F_2$; $F_2 = \mu_3 F_3$; $F_{n-1} = \mu_n F_n$ 。故 $F_0 = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdots \mu_n F_n$ 。

得 $F_0 / F_n = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdots \mu_n = \mu_z$ (1-20)

式中 μ_z ——轧件轧制 n 道次后的总延伸系数,它等于各道次延伸系数的乘积;

F_0 、 F_n ——轧件轧前、轧后的横断面面积;

$F_1 \sim F_{n-1}$ ——1~($n-1$)道次轧件轧后的横断面面积;

$\mu_1 \sim \mu_n$ ——1~ n 道次的延伸系数。

假如各道次的延伸系数都相等,均等于平均延伸系数 $\bar{\mu}$,则

$$\mu_z = \frac{F_0}{F_n} = (\bar{\mu})^n$$

故 $\bar{\mu} = \sqrt[n]{\mu_z} = \sqrt[n]{F_0 / F_n}$ (1-21)

同理,也可以很容易地导出轧制道次同轧件原始断面面积、成品断面面积及平均延伸系数的关系。即

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_n}{\lg \bar{\mu}} \quad (1-22)$$

在忽略宽展,如轧制板材时,可以认为 $B = B_n$,则该延伸系数

$$\mu = F_0 / F = B_0 H / B_n h = H / h = \eta \quad (1-23)$$

即轧制板材时,延伸系数可以用压下系数表示。

同理,也可以得到总压下系数与部分压下系数间的关系:

$$\eta_z = \frac{H}{h_n} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \eta_n \quad (1-24)$$

由式1-10可知,在不计宽展时,相对压下量和延伸系数间存在如下关系

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{1}{\mu} \quad (1-25)$$

或 $\mu = \frac{1}{1 - \varepsilon_1} \quad (1-26)$

1.1.4 平均工作辊径与平均压下量

前述式1-6中所用辊径直径为辊径工作直径。所谓工作直径是指轧辊与轧件相接触处的直径。若取其一半,则为工作半径。

在平辊或矩形断面孔型中轧制时,其工作辊径(图1-3)为

$$D_K = D - h \quad (1-27)$$

或 $D_K = D' - (h - S) \quad (1-28)$

式中 D_K ——轧辊工作直径;

D ——轧辊原始直径;

D' ——轧辊辊环直径;

h ——轧辊孔型高度;

S ——轧辊辊缝值。

与轧辊工作直径相对应的轧辊圆周速度，称为轧制速度。即

$$v = \frac{\pi D_K n}{60} \quad (1-29)$$

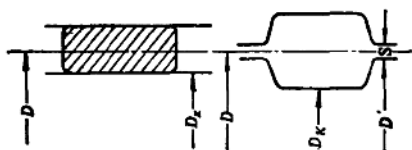


图 1-3 在平辊或矩形断面孔型中轧制

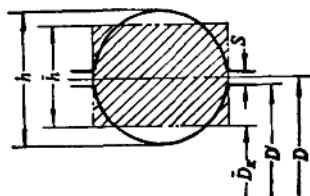


图 1-4 在非矩形断面孔型中轧制

若实际轧制时，不是平辊或矩形断面孔型，应以平均辊径计算式 (1-6) 中的工作直径。与平均工作辊径相对应的轧制速度，即为轧件离辊的平均速度。平均工作辊径的计算方法用求孔型平均高度法进行。图1-4。

$$\bar{D}_K = D - \bar{h} \quad (1-30)$$

$$\bar{D}_K = D - F/B_k \quad (1-31)$$

式中 $\bar{D}_K$ ——轧辊平均工作直径；

$\bar{h}$ ——非矩形断面孔型的平均高度；

F ——非矩形断面孔型的断面面积；

B_k ——非矩形断面孔型的宽度。

或
$$\bar{D}_K = D' - (F/B_k - S) \quad (1-32)$$

若上下两辊直径相差悬殊时，则用下式计算其轧辊平均工作半径

$$\bar{R} = \frac{2R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

或
$$\bar{R} = \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2} \quad (1-33)$$

式中 $\bar{R}$ ——上下轧辊直径不等时的轧辊平均工作半径；

R_1 、 R_2 ——上、下轧辊的工作半径；

D_1 、 D_2 ——上、下轧辊的工作直径。

适应于轧辊平均直径的计算，也可以很容易地求出非矩形断面孔型的平均压下量（图1-5为均匀压缩实例）。

$$\Delta h = H - h \quad (1-34)$$

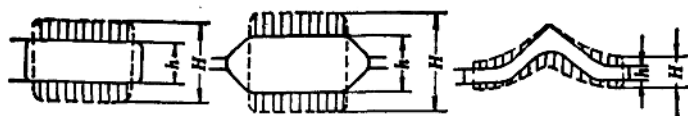


图 1-5 均匀压缩实例

式中 H ——轧件轧前高度;

h ——轧件轧后高度。

类似图1-6所示的条件, 可视为不均匀压缩的例子。不均匀压缩时, 可将非矩形断面的孔型(或轧件)视为矩形, 其宽与原非矩形断面孔型的宽度相等, 用求平均高度的方法即可决定平均压下量。

不均匀压缩时, 图1-6a的情况比较简单, 其平均压下量为

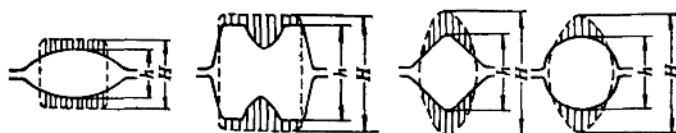


图 1-6 不均匀压缩实例

$$\overline{\Delta h} = H - \frac{F}{B_h} \quad (1-35)$$

式中 F ——非矩形断面孔型的面积;

B_h ——非矩形断面孔型的宽度。

图1-6中, c 和 d 的情况, 对送入轧件亦需要按假定矩形断面计算其平均高度, 则平均压下量为

$$\overline{\Delta h} = \overline{H} - \overline{h} \quad (1-36)$$

即

$$\overline{\Delta h} = \frac{F_0}{B_0} - \frac{F}{B_h} \quad (1-37)$$

式中 F_0 ——非矩形断面原料的断面面积;

B_0 ——非矩形断面原料入孔型的宽度。

1.2 实现轧制过程的条件

实现轧制过程的必要条件是轧辊能把轧件拉入辊隙中去, 从而实现轧件的变形, 并能继续不断地进行轧制。实现轧制咬入过程的实质是当轧件和轧辊接触时, 轧辊对轧件有作用力, 力的作用方向和大小反映出实现咬入的条件。

1.2.1 轧制过程开始阶段的咬入条件

(1) 轧件与轧辊接触时, 轧辊对轧件的作用力如图1-7所示。当轧件接触到旋转的轧辊时, 在接触点上(实际上是一条沿辊身长度的线)轧件以力 P 压向轧辊, 因此, 旋转的轧辊即以与作用力 P 大小相同、方向相反的力作用于轧件上。同时在旋转的轧辊与轧件间产生一摩擦力 T 。 P 力是径向方向的正压力; T 力的方向是沿轧辊切线方向, 与 P 力垂直, 且与轧辊转动方向一致的。根据库仑摩擦定律, 有如下关系。

$$T = fP$$

式中 f ——轧辊与轧件间的摩擦系数。

(2) 轧件被轧辊咬入的条件

由轧件受力图1-8可以看出, 力 P 是外推力, 而 T 是拉入力, 企图把轧件拉入轧辊辊隙。进一步分析还可以把 P 和 T 进行分解, 即分解 P 为 P_x 和 P_y , 分解 T 为 T_x 和 T_y 。垂直

分力 P_x 和 T_x 。压缩轧件，使轧件高度减小产生塑性变形。水平力 P_x 和 T_x 是影响轧件可否被咬入的力。 P_x 方向与轧件运动方向相反，阻碍轧件进入轧辊间，称为推出力； T_x 与轧件运动方向一致，力图将轧件拉入辊隙，称为咬入力。显然，当 P_x 大于 T_x 时，咬不进；当 P_x 小于 T_x 时，能够咬入；当 P_x 等于 T_x 时，是轧辊咬入轧件的临界条件。

由图1-8可知： $P_x = P \sin \alpha$ ， $T_x = T \cos \alpha$ 。

当 $P_x = T_x$ 时，则 $P \sin \alpha = T \cos \alpha$ 。

得

$$\frac{T}{P} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \quad (1-38)$$

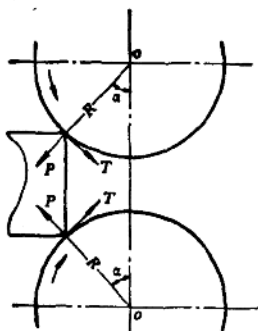


图 1-7 咬入时轧件受力分析

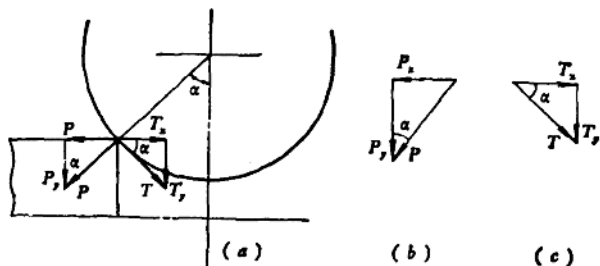


图 1-8 P和T的分解

已知 $\frac{T}{P} = f$ ，所以

$$f = \tan \alpha \quad (1-39)$$

式1-39表明，咬入角 α 的正切等于轧件与轧辊间摩擦系数 f 时是咬入的临界条件。改变式1-39，可写成如下形式

$$\tan \alpha = \tan \beta \quad (1-40)$$

或

$$\alpha = \beta$$

上式即轧辊咬入轧件的临界条件，故轧制过程的咬入条件为摩擦角大于或等于咬入角。

即

$$\alpha \leq \beta \quad (1-41)$$

在一定条件下， f 为一定值，即 β 已知，则咬入角的最大值

$$\alpha_{\max} = \beta \quad (1-42)$$

显然，由图1-9、图1-10和图1-11也可以将 P 与 T 合力 R 的指向表示轧件能否被咬入的条件。

当 $\alpha > \beta$ ， $P_x > T_x$ 时，合力 R 向外，不能咬入；

当 $\alpha < \beta$ ， $P_x < T_x$ 时，合力 R 指向轧制方向，可以咬入；

当 $\alpha = \beta$ ， $P_x = T_x$ 时，合力 R 垂直于轧制线，为咬入临界条件。

1.2.2 建成稳定轧制过程的条件

在咬入过程中，金属和轧辊的接触表面，一直是连续增加的。随金属逐渐进入辊隙，

轧件与轧辊接触的正压力 P 和摩擦力 T 的作用点也在不断地变化,向着变形区出口方向移动。

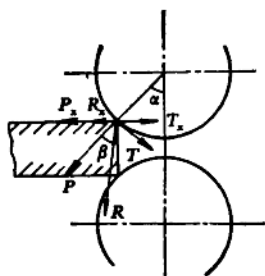


图 1-9 当 $\alpha > \beta$ 时,轧辊对轧件作用力合力的方向

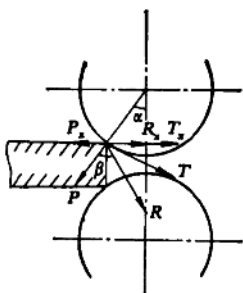


图 1-10 当 $\alpha < \beta$ 时轧辊对轧件作用力合力的方向

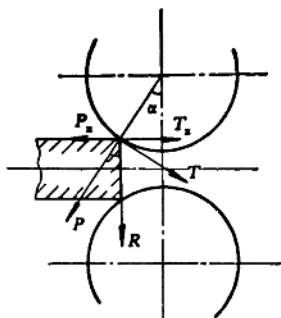


图 1-11 当 $\alpha = \beta$ 时轧辊对轧件作用力合力的方向

若用 δ 表示轧件被咬入后其前端与两辊心连线所成的角度(如图1-12a)。按轧件进入变形区的程度,开始咬入时 $\delta = \alpha$;随着轧件的逐渐进入, δ 逐渐减小;金属完全充满辊隙时, $\delta = 0$,开始稳定轧制阶段。

图1-12b表示了合力作用点与两辊心连线的夹角 φ ,在轧件不断地充填辊隙过程中,也在不断地变化。随着轧件不断地充填辊隙,合力作用点内移, φ 角自 $\varphi = \alpha$ 开始逐渐减少,相应地,轧辊对轧件作用力的合力逐渐向轧制方向倾斜,向着有利于咬入的方向发展。当轧件充填辊隙过程过渡到稳定轧制阶段,合力作用点位置就固定下来,而所对应的

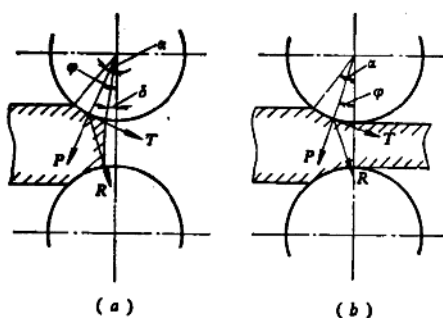


图 1-12 轧件充填辊隙过程中作用力条件的变化图解
(a)充填辊隙过程;(b)稳定轧制阶段

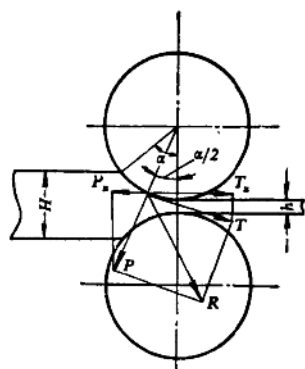


图 1-13 建成过程咬入条件

φ 角不再发生变化,并为最小值。若

$$\text{令} \quad \varphi = \frac{\alpha_v}{K_r} \quad (1-43)$$

式中 α_v ——建成稳定轧制阶段的咬入角;

K_r ——合力作用点系数。

金属充满变形区后,继续轧制的条件,仍应是咬入力 T_r 大于推出力 P_r 即 $T_r \geq P_r$,如图