

孔型设计

下 册

上海市冶金工业局 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书以反映上海轧钢生产的孔型设计经验为主,在讲述有关基本理论的基础上,总结和介绍了上海各中小型轧钢厂(车间)所使用的一些孔型设计方法。书中对一些计算公式作了鉴定和修正,编制了计算表,还介绍了新近研制的“型钢孔型设计计算尺”这种简捷的计算工具。

全书分上、下两册。上册包括:第一篇,轧制理论基础;第二篇,简单断面型钢孔型设计;第三篇,连续轧制孔型设计。下册包括:第四篇,异型断面型钢孔型设计;第五篇,周期断面与复合断面型钢孔型设计;附录,收入多种孔型参考图和孔型设计计算图、计算表等。

孔 型 设 计

下 册

上海市冶金工业局 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 17.5 插页 4 字数 467,000

1979年5月第1版 1979年5月第1次印刷

印数 1—11,000 本

书号: 15119·1982 定价: 2.20 元

目 录

第四篇 异型断面型钢孔型设计

第一章 异型断面孔型设计一般理论	1
第一节 异型断面的主要特征	1
第二节 金属在异型孔型中的流动	3
第三节 在不均匀变形条件下孔型各部分之间的金属转移	6
第四节 异型断面的划分	9
第五节 轧制复杂断面时的平均延伸系数	13
第六节 开口腿和闭口腿的变形特征	14
第七节 异型孔内轧件与孔型表面的速度差	16
第八节 异型孔型中断面各部分变形的导前与滞后现象	17
第九节 面积分布对轧件变形过程的影响	19
第十节 不对称断面轧件的稳定问题	20
第十一节 轧件在异型孔内的宽展	22
第十二节 异型孔延伸分配的一般原则	24
第十三节 轧制异型断面的孔型系统	25
第十四节 万能轧机	32
第二章 角钢孔型设计	42
第一节 概述	42
第二节 等边角钢孔型设计	46
第三节 不等边角钢孔型设计	71
第三章 槽钢孔型设计	86
第一节 概述	86
第二节 孔型系统	87
第三节 孔型设计方法	88
第四节 设计实例	95
第四章 轻轨孔型设计	103
第一节 孔型系统的选择	103
第二节 轨形孔设计	104

第三节 设计实例·····	113
第五章 球扁钢孔型设计 ·····	121
第一节 孔型系统·····	121
第二节 球扁钢斜配直腰系统的孔型设计·····	123
第三节 其他系统孔型设计中的几个问题·····	129
第四节 球扁钢校直孔型的概念·····	130
第五节 12号球扁钢的孔型设计实例 ·····	130
第六章 窗钢孔型设计 ·····	136
第一节 概述·····	136
第二节 窗钢孔型系统·····	140
第三节 简易万能轧机的结构及应用简介·····	148
第四节 窗钢的孔型设计·····	153
第五节 窗钢导卫结构中的几个问题·····	162
第六节 设计实例·····	166
第七章 汽车轮辂钢的孔型设计 ·····	177
第一节 汽车轮辂钢的规格和孔型系统·····	177
第二节 孔型设计·····	180
第三节 设计实例·····	187
第八章 汽车挡圈型钢孔型设计 ·····	196
第一节 挡圈的规格、品种及断面特点 ·····	196
第二节 挡圈孔型系统·····	198
第三节 挡圈变形特点及设计参数·····	202
第四节 挡圈孔型设计方法·····	208
第五节 500S挡圈设计实例 ·····	213
第九章 锁圈的孔型设计 ·····	215
第一节 锁圈的种类和用途·····	215
第二节 锁圈孔型系统·····	216
第三节 锁圈孔型设计简介·····	224
第四节 设计实例·····	224
第十章 T字钢孔型设计 ·····	225
第一节 T字钢的种类及孔型系统·····	225
第二节 设计原则·····	228
第三节 设计实例·····	233

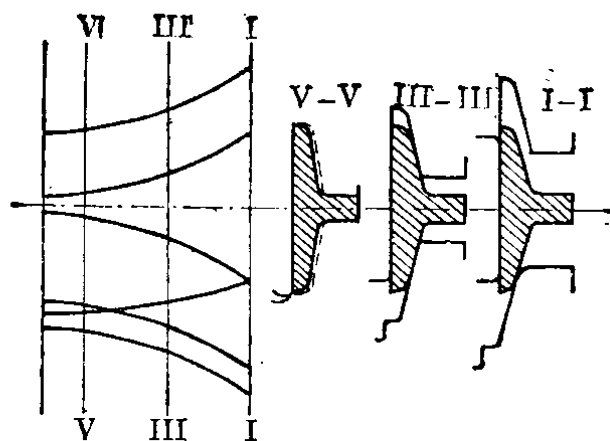
第十一章 Z 字钢的孔型设计	240
第一节 Z 字钢的用途和品种	240
第二节 Z 字钢的孔型系统	241
第三节 设计方法	242
第四节 设计实例	248
第十二章 磁极钢孔型设计	249
第一节 磁极钢的孔型系统	249
第二节 断面划分和变形特点	251
第三节 设计方法	256
第四节 设计实例	261
第十三章 线轨	266
第一节 线轨的用途	266
第二节 线轨孔型系统及其分析	266
第三节 孔型设计中应注意的几个问题	267
第四节 1 号线轨孔型设计	271
第十四章 羊头钢孔型设计	275
第一节 产品的特征	275
第二节 孔型系统的确定及变形过程的分析	276
第三节 孔型设计中的一些特点	280
第四节 设计实例	286
第十五章 汽轮机静叶片孔型设计的一般原则	287
第一节 静叶片的一般特征	287
第二节 关于孔型系统问题	288
第三节 孔型设计中的几个问题	291
第四节 设计实例	301

第五篇 周期断面与复合断面型钢孔型设计

第一章 纵轧周期断面钢材孔型设计基本原理	303
第一节 前言	303
第二节 轧辊理论直径的确定	304
第三节 轧制周期断面时的前滑	306
第四节 轧制周期断面时的刮切和回填现象	310
第五节 周期对准装置	312

第二章 犁刀钢孔型设计	315
第一节 犁刀钢的轧制	315
第二节 精轧孔型的变形特点	317
第三节 犁刀钢精轧孔型的设计	322
第四节 周期轧辊的结构与加工	326
第三章 纹杆钢孔型设计	329
第一节 孔型设计中应该注意的两个问题	329
第二节 纹杆钢的孔型设计	331
第三节 轧制工艺及其改进	334
第四节 轧辊的加工及导卫装置	336
第四章 犁铧钢孔型设计	339
第一节 孔型设计	339
第二节 设计实例	342
第五章 锄头坯的孔型设计	348
第一节 概述	348
第二节 锄头坯孔型设计	349
第三节 成品轧辊孔型的配置与制造	358
第四节 H305 锄头坯孔型设计实例	361
第六章 π 形钢孔型设计	365
第一节 概述	365
第二节 π 形钢的孔型系统及轧制方法	367
第三节 π 形钢的孔型设计	369
第四节 带周期孔轧辊的制造与周期对正机构	378
第七章 农用复合钢生产	380
第一节 概述	380
第二节 复合锭(坯)	381
第三节 复合钢的轧制	387
附录	399
附录 I 孔型参考图及部分实测资料	399
附录 II 计算图	485
附录 III 计算表	496
编后记	552

第 四 篇



异型断面型钢孔型设计

第一章 异型断面孔型设计一般理论

第一节 异型断面的主要特征

异型断面钢材的断面形状复杂,品种规格繁多,随着国民经济和科学技术的发展,异型断面钢材的品种还在不断扩大。由于它的品种太多,一般很难按照它们的断面特征或变形特征确切地说出什么叫做异型断面。实际上把简单断面和周期断面以外的所有异型钢材都叫做异型断面钢材。

异型断面钢材大部分属于折缘型钢(或称翼缘型钢)。折缘型钢的特点是它们的断面可以划分为若干矩形(或近似于矩形的梯形),而这些矩形的中心线相互垂直或成一定的角度,如工字钢、槽钢、钢轨、T字钢和窗钢等(图 4-1-1)。在轧制过程中,它们的变形也和简单断面不同,如存在较大的不均匀变形,在变形过程中断面各部分相互牵制,断面温度分布不均匀,断面各部分间存在金属的相互转移,必须采用侧压来获得宽而薄的腿部等等。角钢和 Z 字钢断面虽然也属于折缘型钢,但它们的变形比较简单,基本上和扁钢相似,有时也把它们划为简单断面。

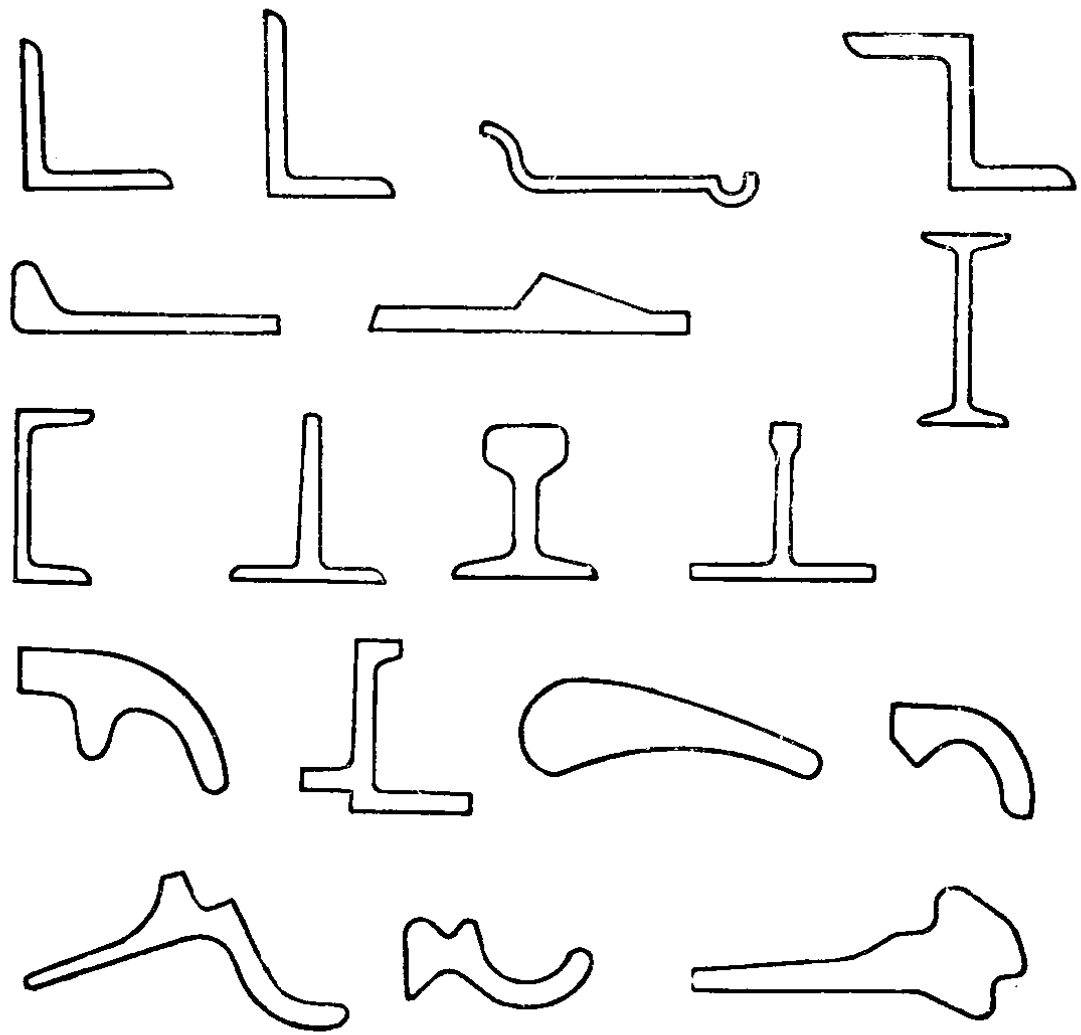


图 4-1-1 异型断面的特征

折缘型钢的对称性是孔型设计必须考虑的重要因素之一，它对轧件在孔型内的稳定性有很大的影响。工字钢具有一对相互垂直的对称轴，等边角钢、T 字钢、钢轨及槽钢等只有一根对称轴，不等边角钢、Z 字钢及大多数窗钢则没有对称轴。一般情况下，对称轴两侧的变形和压力分布是比较均匀的。在轧制过程中，如果断面对称轴垂直于轧辊轴线，则在断面的宽度方向上的变形和压力分布是对称的，一般情况下不会引起轧件的侧弯和扭转。如果断面对称轴平行于轧辊轴线，则沿高度方向上变形是对称的，轧件与上、下轧辊接触面积接近相等，形状基本相同，一般不会对纵向垂直面上产生弯曲。

轧件断面按照适当的方法划分后，断面各组成部分断面积的比值是异型断面孔型设计应该考虑的另一个重要因素，如工字钢

面积比 $\frac{F_A}{F_B}=0.46\sim1.46$ ，普通槽钢 $\frac{F_A}{F_B}=0.485\sim1.75$ (F_A 为腰部面积， F_B 为腿部面积)，当这个比值太大时，腿部的成型就变得十分困难，在轧制过程中，由于腰部的强烈牵制，腿的长度容易波动或产生波浪形，腰部越宽、占的面积越大，则对腿部尺寸的影响也越大。

不属于折缘断面的另一类异型断面的特征是断面没有对称轴或沿宽度方向厚度极不均匀，如汽轮机叶片、球扁钢、犁铧钢等。这一类断面在孔型设计时，必须注意轧件在孔型中的稳定性和合理地分配不均匀变形。

第二节 金属在异型孔型中的流动

由于大多数异型断面由方坯或矩形坯轧成，以及由于异型孔

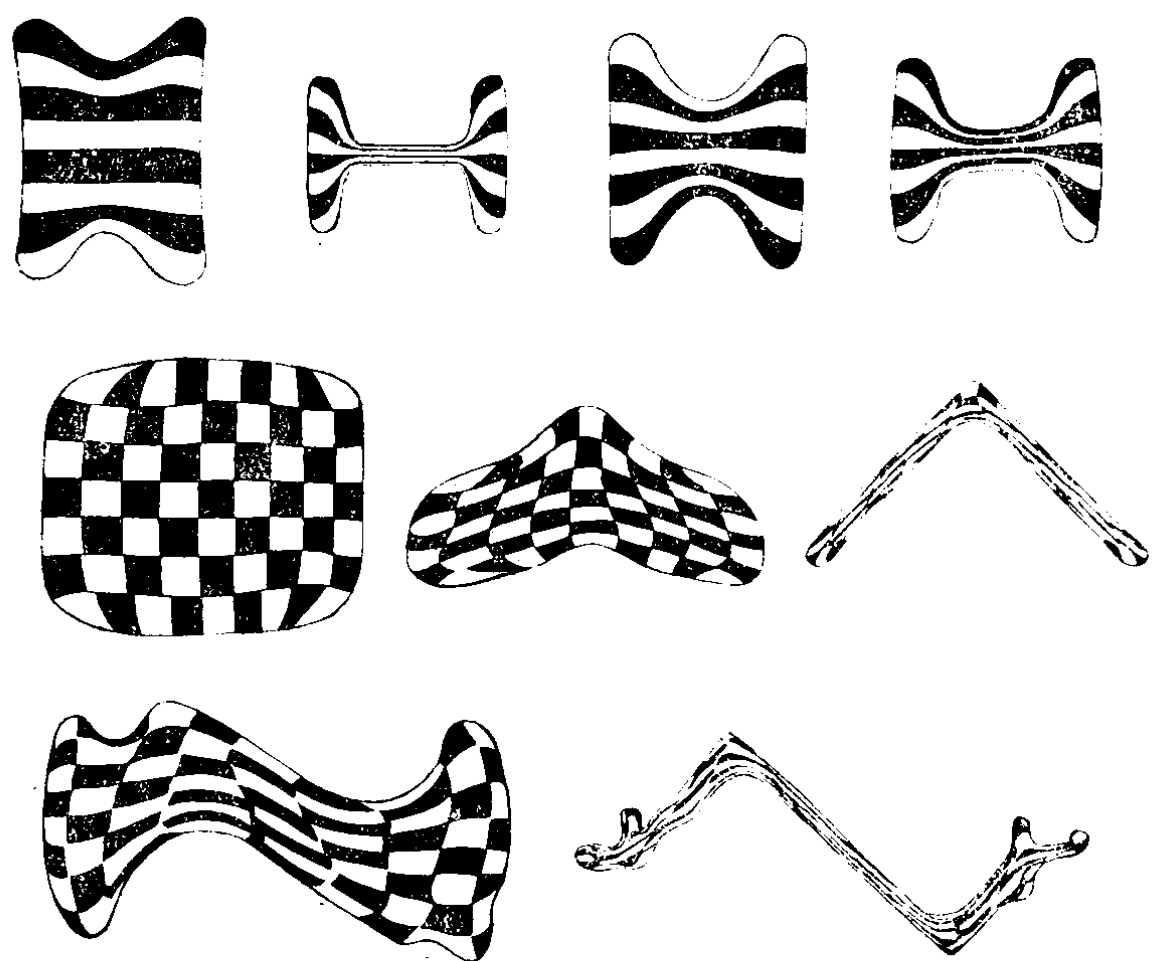


图 4-1-2 金属在孔型中的流动

型的结构特点，所以在异型孔型中几乎不可避免地存在不均匀变形，金属在孔型中的流动情况十分复杂。不均匀变形在变形理论和实践中具有十分重大的意义。图 4-1-2 是工字钢、角钢和桩钢孔型中金属流动的情况，在这种孔型中断面各部分具有不同的变形系数。图 4-1-3 及表 4-1-1 是用坐标网格的方法测得的方坯在切入孔中断面各点的变形情况及变形系数的分布。

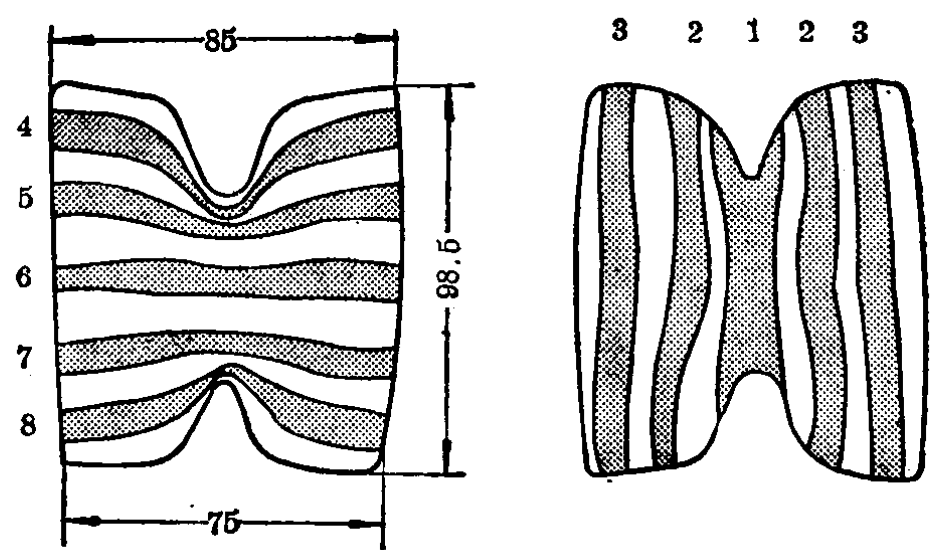


图 4-1-3 切入孔中金属的变形

切入孔中的变形系数							表 4-1-1		
	1			2			3		
	λ	β	μ	λ	β	μ	λ	β	μ
4	0.952	0.88	1.19	0.855	0.99	1.18	—	—	—
5	0.97	0.87	1.19	0.834	1.02	1.18	0.416	2.06	1.15
6	0.91	0.94	1.18	0.77	1.14	1.18	0.665	1.28	1.17
7	0.952	0.90	1.17	0.814	1.03	1.19	0.556	1.53	1.18
8	0.952	0.90	1.17	0.91	0.95	1.17	—	—	—

不均匀变形引起断面各部分间的金属的相互转移，使轧辊磨损及能量消耗增大，在轧件内部产生残余应力，影响钢材质量。

但是，不均匀变形也有可供利用的一面，在实际生产中就常常从以下几个方面利用不均匀变形来帮助异型断面的形成：

(1) 利用不均匀变形产生强迫宽展把较小的钢坯轧成较大的产品，例如采用波浪形轧制法把小坯料轧成大型工字钢，最后借助

于特殊的导卫把腰部辗平(图 4-1-4)。这种方法不仅可以利用小坯轧大材,而且可以提高轧辊的利用率,在一定的辊身长度上,多

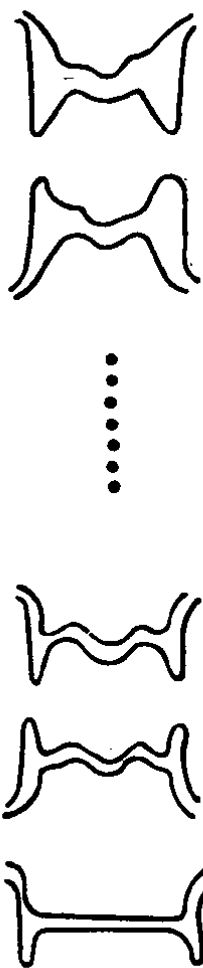


图 4-1-4 波浪形轧制法

配置孔型数目,减少换辊次数,提高作业率。

(2) 利用不均匀变形来改善孔型的充满程度。如用加假帽的方法来加大角钢或槽钢角部的压下系数(图 4-1-5),使角部有充裕的金属和提高角部的温度,以获得具有清晰尖角的成品。

(3) 加大断面某部分的变形系数,使产生强迫宽展而得到宽的翼缘。例如对于某些只具有一根对称轴的折缘断面,如钢轨、T 字钢及磁极钢等(图 4-1-6),可用加大腿部或头部的压下系数的方法来得到较宽的腿部。

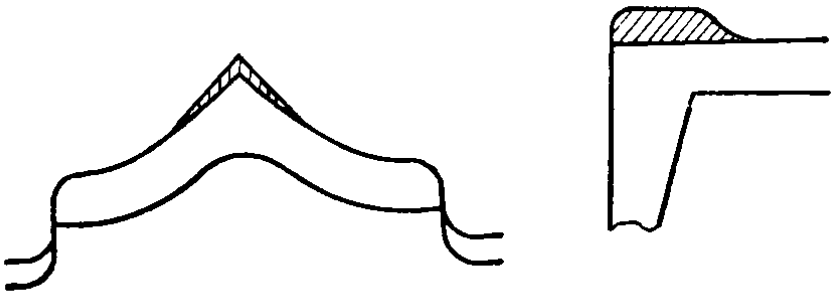


图 4-1-5 用不均匀变形使角部充满

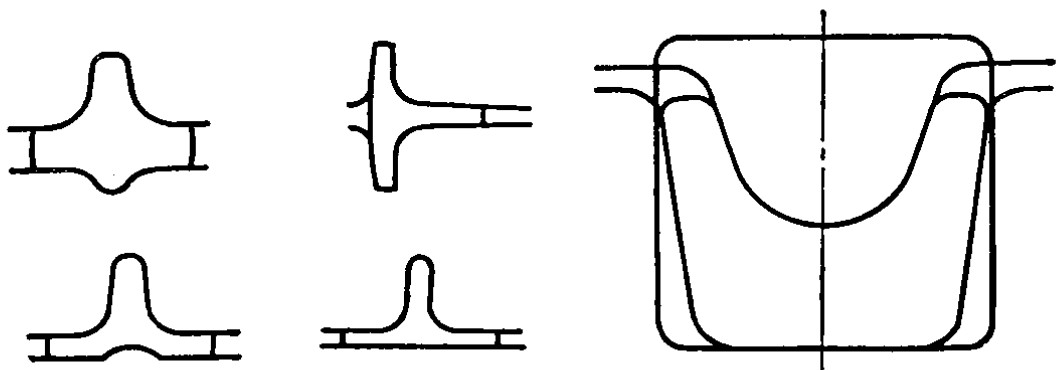


图 4-1-6 强展折缘法

(4) 利用不均匀变形来加强轧件某部分的压缩比以改善该部分金属的质量。例如采用钢锭轧制重轨时,选用凸底帽形孔来加大钢轨底部的压下系数,以破坏轨底的柱状粗晶或改变柱状晶的方向,焊合皮下气泡,提高轨底的强度(图 4-1-7)。

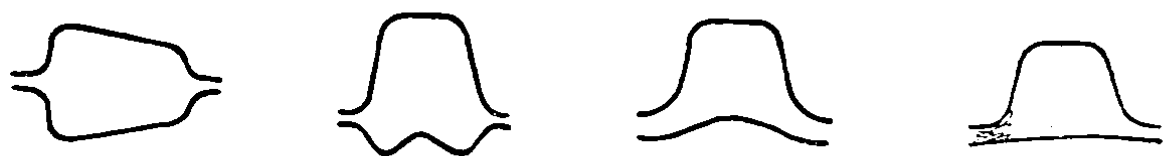


图 4-1-7 利用不均变形改善钢轨底部的机械性能

但是, 应该指出, 不均匀变形的危害是不可忽视的, 接近成品孔的道次, 应尽量避免采用不均匀变形。

第三节 在不均匀变形条件下
孔型各部分之间的金属转移

在异型孔中轧制时, 由于不均匀变形, 引起金属从孔型的一部分流动到另一部分的现象称为金属转移。假定轧件断面由 A 、 B 两部分组成(图 4-1-8), 设 A 部分的压下系数大于 B 部分的压下系数, 即

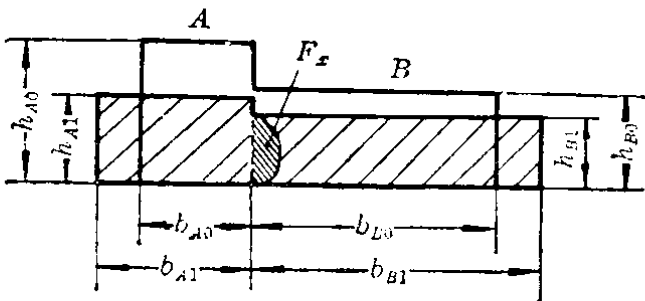


图 4-1-8 金属的转移

$$\frac{h_{A0}}{h_{A1}} > \frac{h_{B0}}{h_{B1}} \quad (4-1-1)$$

在这种情况下, 如果 A 、 B 两部分是分开的, 则

$$\mu_A > \mu_B \quad (4-1-2)$$

但是, 由于金属是一个整体, A 、 B 两部分具有相同的延伸, 并在 B 部分产生附加张应力, 而在 A 部分则产生附加压应力和强迫宽展。设金属的总体积为 V_0 , 则

$$V_0 = V_{A0} + V_{B0} \quad (4-1-3)$$

轧制前:

$$\left. \begin{aligned} V_{A0} &= F_{A0} L \\ V_{B0} &= F_{B0} L \end{aligned} \right\} \quad (4-1-4)$$

式中: F_{A0} 、 F_{B0} —— A 、 B 两部分轧前的断面积;
 L ——轧件轧前的长度。

轧制后:

$$V_1 = V_{A1} + V_{B1} = V_0 \quad (4-1-5)$$

并且

$$\left. \begin{aligned} V_{A1} &= F_{A1}l \\ V_{B1} &= F_{B1}l \end{aligned} \right\} \quad (4-1-6)$$

式中: F_{A1} 、 F_{B1} —— A 、 B 两部分轧后的断面积;
 l ——轧件轧后的长度。

而

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_{A0}}{V_{A1}} &= \frac{F_{A0}L}{F_{A1}l} \\ \frac{V_{B0}}{V_{B1}} &= \frac{F_{B0}L}{F_{B1}l} \end{aligned} \right\} \quad (4-1-7)$$

令

$$\frac{l}{L} = \mu_0; \quad \frac{F_{A0}}{F_{A1}} = \mu_A; \quad \frac{F_{B0}}{F_{B1}} = \mu_B$$

则

$$\left. \begin{aligned} V_{A1} &= V_{A0} \frac{\mu_0}{\mu_A} \\ V_{B1} &= V_{B0} \frac{\mu_0}{\mu_B} \end{aligned} \right\} \quad (4-1-8)$$

当压下均匀时,

$$\mu_A = \mu_B = \mu_0$$

则

$$V_{A0} = V_{A1}; \quad V_{B0} = V_{B1} \quad (4-1-9)$$

即 A 、 B 之间不存在金属转移。

当 $\mu_A > \mu_0 > \mu_B$ 时,

$$\left. \begin{aligned} V_{A0} &> V_{A1} \\ V_{B0} &< V_{B1} \end{aligned} \right\} \quad (4-1-10)$$

把轧制前后的体积差即金属的转移体积以 V_x 表示:

$$V_x = V_{A0} - V_{A1} = V_{B1} - V_{B0} \quad (4-1-11)$$

按照体积不变定律, A 部分失去的体积即 B 部分增长的体积, 因此,

$$V_x = F_x l = V_{A0} - V_{A1} = V_{A1} \left(\frac{V_{A0}}{V_{A1}} - 1 \right) = F_{A1} l \left(\frac{\mu_A}{\mu_0} - 1 \right)$$

即

$$F_x = F_{A1} \left(\frac{\mu_A}{\mu_0} - 1 \right) \quad (4-1-12)$$

或

$$F_x = F_{B1} \left(1 - \frac{\mu_B}{\mu_0} \right) \quad (4-1-13)$$

【例】 设: $h_{A0}=20$ 毫米; $h_{A1}=17$ 毫米; $h_{B0}=10$ 毫米;
 $h_{B1}=7$ 毫米; $b_{A0}=15$ 毫米; $b_{A1}=16$ 毫米;
 $b_{B0}=60$ 毫米; $b_{B1}=62$ 毫米。求 $F_x=?$

计算:

$$\mu_A = \frac{F_{A0}}{F_{A1}} = \frac{20 \times 15}{17 \times 16} = 1.102$$

$$\mu_B = \frac{F_{B0}}{F_{B1}} = \frac{60 \times 10}{62 \times 7} = 1.381$$

$$\mu_0 = \frac{20 \times 5 + 60 \times 10}{17 \times 16 + 62 \times 7} = 1.274$$

由于

$$\mu_B > \mu_0 > \mu_A$$

所以

$$F_x = F_{A1} \left(1 - \frac{\mu_A}{\mu_0} \right) = 17 \times 16 \left(1 - \frac{1.102}{1.274} \right) = 36.4 \text{ 毫米}^2$$

或

$$F_x = F_{B1} \left(\frac{\mu_B}{\mu_0} - 1 \right) = 62 \times 7 \left(\frac{1.381}{1.274} - 1 \right) = 36.4 \text{ 毫米}^2$$

金属转移的根本原因是不均匀变形。延伸大的部分受到延伸小的部分的牵制产生强迫宽展,而延伸小的部分,在张应力的作用下,金属断面有拉缩的趋势,因此延伸大的部分横向流动的金属便乘虚而入,形成了金属的转移,即金属总是由变形系数大的部分向变形系数小的部分转移,各部分之间延伸系数之差越大,金属的转移量也就越大。

令 $k = \frac{\mu_A}{\mu_0}$, 当 $k > 1$ 时, 金属由 A 转移到 B , 当 $k < 1$ 时则相

反; 令 $k' = \frac{\mu_B}{\mu_0}$, 当 $k' > 1$ 时, 金属由 B 转移到 A , 当 $k' < 1$ 时则相

反。这里 k 称为不均匀系数。

金属转移量与不均匀系数成正比, k 大 F_x 也大。当压下系数一定时, 金属的横向流动服从最小阻力定律。当限制宽展增大时, 金属的转移量将增大; 反之则减小。

金属转移加速了工具的磨损,增加了能量消耗,并在轧件内部形成残余应力。

第四节 异型断面的划分

在孔型设计时,为了合理地分配各部分的延伸系数,保证孔型充满,减少金属转移,必须正确地划分断面。在轧制工字钢时,常见的划分方法有四种(图 4-1-9)。

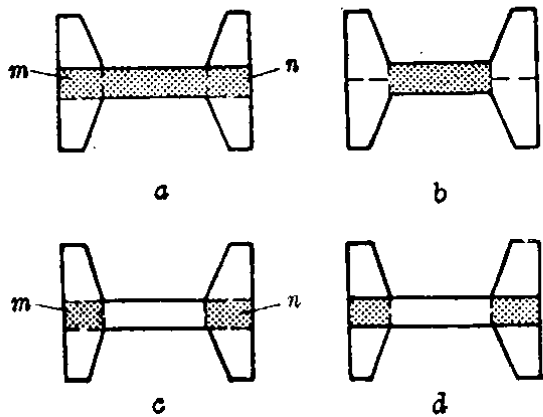


图 4-1-9 工字钢断面划分方法

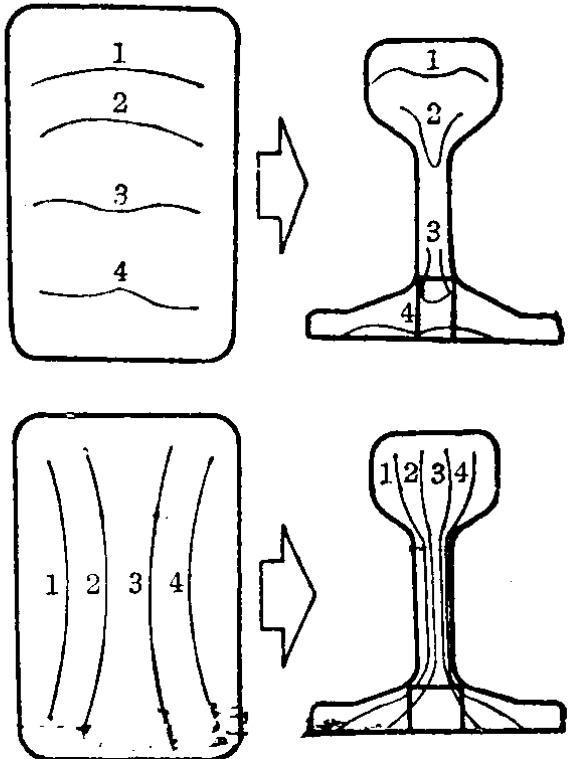


图 4-1-10 金属在轨形孔中的流动

方法 *a* 的特点是腰部贯穿整个断面。然而,从金属流动的情况来看,例如钢轨在孔型中的流动(图 4-1-10),位于腰和腿交叉的部分 *m* 及 *n* 的金属流动与腿部的金属流动情况相似,因此,把 *m* 及 *n* 划为腰部是不适当的。其次,按照方法 *a*,当腿部的压下为零时(图 4-1-11),即 *h* 及 *b* 在轧制前后保持不变,而腰部的压下量为 Δd ,则在轧制后,腿部的面积增大了 ΔF ,这就降低了腿部的变形系数。在图 4-1-11 所示的情况下,虽然腿部没有变形,而按照这种划分法来计算,腿部的延伸系数小于 1,这是难以想象的。

方法 *b* 把 *m* 和 *n* 平均地划分到开口腿和闭口腿去。但是用这种方法计算得到的腿部延伸系数是偏大的。图 4-1-12 是轧制前后轧件断面积变化的情况。轧制前腰部的面积为 *ABCD*,轧制后

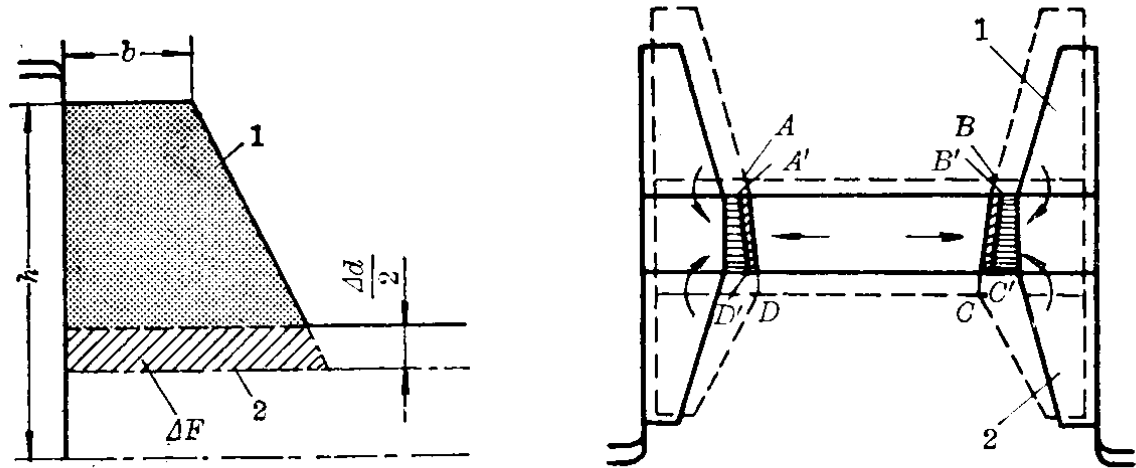


图 4-1-11 按方法 *a* 划分时腿部的变形
1—轧前；2—轧后

图 4-1-12 按方法 *b* 划分时的金属转移
1—闭口腿；2—开口腿

腰部的面积包括 $A'B'C'D'$ (包括腰部宽展所形成的面积斜阴影线部分) 以及腿部受侧压后由腿部转入腰部的面积 (平阴影线部分), 这就增大了轧后腰部的面积, 增大了腿部的延伸系数, 减小了腰部的延伸系数。

方法 *c* 是在计算延伸系数时, 把 m 、 n 两部分面积既当成腰部的面积又当作腿部的面积, 即计算腰部延伸系数时按方法 *a* 计算, 计算腿部延伸系数时按照方法 *b* 计算, 由于 m 及 n 计算两次, 因此计算结果与实际不符合。

方法 *d* 是把断面划分为腰、开口腿、闭口腿和 m (或 n) 四部分, 分别计算各部分的延伸系数。然而, 按照这种方法, 过渡部分 m 或 n 的压下系数, 当腰部无压下或腿部无压下时都和腰部的压下系数相同, 这是与金属的实际流动情况不一致的。

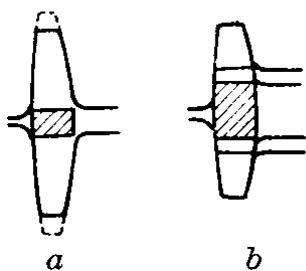


图 4-1-13 按方法 *d* 计算延伸系数

a—腰部无压下；
b—腿部无压下

采用不同的面积划分方法, 变形系数的计算结果也不相同。图 4-1-14 所示是按照方法 *a*、方法 *b* 及方法 *c* 计算的某种工字钢各道延伸系数的情况, 图中 μ_0 为整个断面的总延伸系数, 各道开口腿的延伸系数 μ_A 大于闭口腿的延伸系数。方法 *b* 腰部延伸系数 μ_B 过小。图 4-1-15 是按照四种划分方法计算的金属在各部分

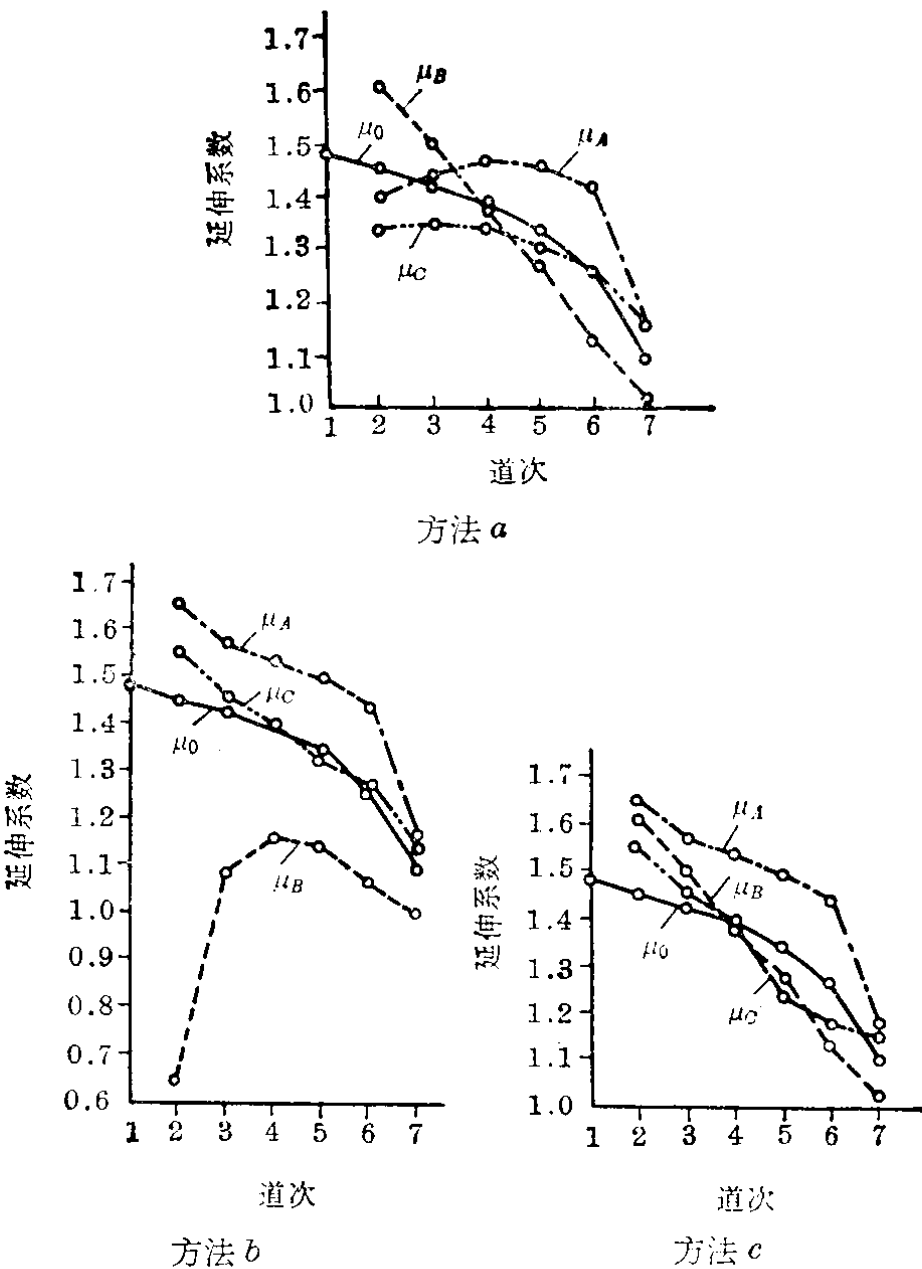


图 4-1-14 轧制某种工字钢时的延伸系数

之间的转移情况。

综上所述可知，断面划分比较复杂，它对分析金属流动、合理分配断面延伸系数和正确地进行孔型设计有十分重要的意义。断面划分的原则是把具有相同的压下系数或延伸系数的部分划分为孔型的一个组成部分。同一种孔型，采用不同的划分方法具有不同的变形系数分配。变形系数的分配是对应于一定的孔型划分方法而言的。孔型设计的第一步是选择合理的断面划分。目前还没有一个最合理的划分方法，但方法 *a* 是实际上经常采用的划分方法。