

縮孔的形成，这对提高产品成品率有很大的作用，尤其对挤压一些稀有金属制品（如铀棒等）有着特别重要的意义；（2）掌握和改进各种变断面型材的生产技术；（3）掌握和改进各种整体结构材料的生产技术，以上两点对减轻飞机、火箭等结构的自重有很大作用，并且为改进其技术特性创造一定的条件；（4）大型挤压机的建造及其机械化、自动化的实施，这为掌握前两种技术创造物质条件，目前许多主要国家都在大力建造一批大型水力挤压机来满足这方面的要求；（5）掌握新兴金属和合金制品的挤压工艺；等等。

B.B.若洛包夫写的“金属挤压”（冶金工业出版社1959年出版）一书，是目前有关挤压生产方面较完整的参考书，对挤压的理论作了较系统的叙述，对挤压设备和工艺也有较全面的介绍。

在拉伸生产方面，目前正在积极向“多线、连续、快速”方向发展，它对线材拉伸很有现实的意义，这方面的技术问题的解决，就能大大提高拉伸机的生产率；掌握壁厚极薄的管材生产技术和用游动芯头拉伸管材的生产技术，也是当前的重要研究课题。И.Л.彼尔林写的“拉伸理论”（冶金工业出版社1957年出版）是一本较完善而全面的理论参考书。

在轧制生产方面，线材轧制目前在向“高速、多条、大压下量”方向发展，为此要设计新的孔型形状和系统，改进轧机结构，提高机械化和自动化的程度。在这方面有两种方案——连轧生产和圆盘生产。详细比较、分析各方案的优缺点和适用的条件，对新建或扩建这类企业有很大的意义。在管坯冷轧中，目前对生产大直径的薄壁管和异型管，受到了很大的重视，因为用冷轧法生产，能够保证高的表面质量和机械性能，为此对冷轧管孔型设计的研究，是一项很迫切的工作。

随着加工技术的发展，最近也出现了一些新的加工方法，例如无模拉线、滚锻、半液体轧制等等，它们大多是将压力加工与熔铸过程结合起来，使生产过程大大简化。所有这些大多与设备的机械化和自动化分不开，因为它们的工艺条件是很严格的，温度、速度、变形程度等工艺因素只允许在很窄的范围内变化，这些对于手动操作说来，一般是难办到的。目前这些方法还限于生产一些较小的制品。对于大型制品采用这类半液体压力加工方法生产，将是有色管棒线材生产中重要发展方向之一。

在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，在一整套两条腿走路的方针指导下，我国有色金属管棒线材的生产和技术进步，已经取得了重大的成果，今后定将取得更大的成就。

目 录

第一篇 型材轧制

第一章 概 論	3
§1-1 型材轧制的特点	3
§1-2 型材轧制的制品	4
§1-3 孔型的基本概念	4
§1-4 孔型的分类和孔型系	6
第二章 孔型設計基本理論	8
§2-1 孔型中变形的不均匀性	8
§2-2 型軋制中压下量的計算	10
§2-3 型軋制中的寬展	15
§2-4 型軋制中的咬入条件	20
第三章 軋軋孔型設計	22
§3-1 軋軋孔型設計的基本概念	22
§3-2 常用孔型系及其孔型	23
§3-3 成品孔型和成品前孔型的設計	38
§3-4 孔型系中各道延伸系数的确定	39
§3-5 孔型在軋軋上的配置	42
§3-6 活套长度的計算	45
§3-7 軋制图表的繪制	47
第四章 型材軋制車間的主要設備 及輔助机械	49
§4-1 对型材軋制設備的要求	49
§4-2 型材軋机的分类	49
§4-3 型材軋机的輔助設備	55

第二篇 管材軋制

第一章 热轧管材	65
§1-1 管材軋制的一般概念	65
§1-2 热轧管的生产方法	65
§1-3 管坯的穿孔	67
§1-4 毛管的軋制	73
第二章 冷轧管材	80
§2-1 冷轧管材的一般概念	80
§2-2 冷轧管过程中金属变形的特点	81
§2-3 冷轧管机的工作原理及其构造	83
§2-4 冷轧管机的工具設計	86

§2-5 新型冷轧管机	92
§2-6 冷轧管材工艺过程及其废品	94

第三篇 金属挤压

第一章 总 論	97
§1-1 挤压过程的一般概念	97
§1-2 挤压与其他压力加工方法的 比較	97
§1-3 挤压技术的发展	99
第二章 金属挤压方法	100
§2-1 正向挤压	100
§2-2 反向挤压	106
§2-3 横向挤压	107
§2-4 其他挤压方法	108
第三章 挤压原理	110
§3-1 挤压时金属流动的一般概念	110
§3-2 各种因素对挤压时金属流动特性 的影响	113
§3-3 用单孔模正向挤压非圆形实心型 材时金属的流动特点	119
§3-4 用多孔模正向挤压实心断面型材 时金属的流动特点	120
§3-5 正向挤压管材和空心型材时金属 的流动特点	122
§3-6 反向挤压时金属的流动特点	125
§3-7 挤压缩孔的形成及其防止法	126
§3-8 挤压管、棒和型材时金属流动的 基本結論	129
§3-9 挤压时温度-速度規程的 确定	131
§3-10 挤压制品的組織与性质	134
§3-11 挤压力的确定	139
第四章 挤压設備	143
§4-1 挤压机的分类	143
§4-2 臥式水力挤压机的結構与 操作	147
§4-3 立式水力挤压机的結構与 操作	158
§4-4 防止与克服挤压机失調的	

措施.....	164	§4-3 拉伸模制造与修理的新方法.....	279
§4-5 近代水力挤压机的结构特点.....	166	第五章 线材拉伸设备.....	231
§4-6 挤压机的附属装置及机构.....	169	§5-1 拉线机概述.....	281
§4-7 挤压机主要部件计算.....	172	§5-2 一次拉线机.....	282
第五章 挤压工具.....	174	§5-3 多次拉线机.....	285
§5-1 挤压工具的工作条件及分类.....	174	§5-4 典型拉线机的结构分析.....	294
§5-2 挤压工具的结构.....	175	第六章 棒材和管材拉伸设备.....	302
§5-3 挤压工具的设计与计算.....	179	§6-1 链式拉伸机.....	302
§5-4 挤压工具的制造与提高寿命		§6-2 齿条拉伸机.....	310
的途径.....	184	§6-3 两侧带有窄链条的拉伸机.....	311
第六章 挤压设备的水力传动		§6-4 带可动模子的拉伸机.....	312
与控制.....	186	§6-5 联合拉伸机.....	312
§6-1 一般情况.....	186	第五篇 热处理和精整	
§6-2 蓄力器及水泵-蓄力装置的控制.....	190	第一章 热处理.....	315
§6-3 高压水泵-蓄力站生产率的计算.....	194	§1-1 一般概况.....	315
第四篇 拉 伸		§1-2 加热和退火设备.....	315
第一章 概 论.....	201	§1-3 淬火与人工时效设备.....	318
§1-1 拉伸的一般概念.....	201	第二章 精整.....	319
§1-2 拉伸方法及其特点.....	201	§2-1 一般概况.....	319
第二章 拉伸理论基础.....	202	§2-2 修理.....	320
§2-1 实现拉伸过程的条件.....	202	§2-3 锯切.....	320
§2-2 实心圆断面拉伸.....	205	§2-4 矫直与矫形.....	321
§2-3 管材拉伸.....	209	第六篇 生产工艺	
§2-4 拉伸力和拉伸应力.....	219	第一章 概 论.....	324
第三章 拉伸配模.....	244	§1-1 产品品种、技术条件和用途.....	324
§3-1 拉伸配模的一般概念.....	244	§1-2 加工工艺的特点.....	324
§3-2 实心圆断面一次拉伸配模		§1-3 工艺规程的制订.....	334
设计.....	245	第二章 棒材和型材生产工艺.....	335
§3-3 非圆形实心断面拉伸配		§2-1 概述.....	335
模设计.....	246	§2-2 铜及铜合金棒材和型材生产.....	336
§3-4 实心非圆形断面一次拉伸配		§2-3 镍及镍合金棒材生产.....	341
模举例.....	250	§2-4 铝及铝合金棒材和型材生产.....	342
§3-5 圆断面管材拉伸配模设计.....	251	§2-5 其他金属及合金棒材和型材	
§3-6 非圆断面型管拉伸配模.....	254	生产.....	352
§3-7 多次拉伸过程的原理.....	254	第三章 管材生产工艺.....	353
§3-8 多次拉伸机配模设计.....	264	§3-1 概述.....	353
第四章 拉伸工具.....	266	§3-2 铜及铜合金管材生产.....	355
§4-1 拉伸工具及其分类.....	266	§3-3 镍及镍合金管材生产.....	365
§4-2 拉伸工具的合理形状.....	276	§3-4 铝及铝合金管材生产.....	366
		第四章 线材生产工艺.....	369

§4-1	概述.....	369
§4-2	銅綫生产.....	373
§4-3	黃銅綫材生产.....	381
§4-4	青銅綫材生产.....	384
§4-5	鋁綫材生产.....	388
§4-6	鋁合金綫材生产.....	392
§4-7	銅鎳合金綫材生产.....	394
§4-8	鎳合金綫材生产.....	395
§4-9	鎳鉻合金綫材生产.....	396
§4-10	鈦綫材生产.....	397
§4-11	錫絲、鉬絲生产.....	397
§4-12	双金屬綫材生产.....	399

第五章	車間設計	399
§5-1	車間設計的主要內容.....	399
§5-2	計算产品的确定及其选择的 依据.....	399
§5-3	技术条件分析和生产工艺方案 的选择.....	400
§5-4	工艺計算和金属平衡表的 編制.....	401
§5-5	設備和定員的計算.....	402
§5-6	工艺設備平面配置.....	406
§5-7	技术經濟指标.....	407
参考文献		410

緒 論

“**有色金属及合金管棒綫型材生产**”是专门研究以有色金属及其合金为原料，通过型輓和斜輓軋制、挤压和拉伸等压力加工方法，制造管材、棒材、綫材及型材等产品的生产技术理論和实践的一門学科。它是有色金属及合金压力加工专业的主要专业课程之一。

本門学科在我国的发展，是在全国解放以后才开始的。虽然我国很早就有了这方面的产品，例如古代用于裝飾品的金綫和銀綫等，但是对这方面的生产經驗缺少系統的总结 and 科学理論上的分析。

建国以来，随着国民經济的发展，有色金属管棒綫型材产品日益为各个部門广泛地应用，例如为实现电气化需用大量的各种規格的導綫，为发展建筑、航空等工业需用大量的管棒綫型材；而在发展机械制造和化学工业中又特別需要大量的各种棒材和管材。因此有力地推动了有色金属管棒綫型材生产的发展，这主要表现在产品数量的不断增加、产品品种的不断增添以及产品质量的不断提高等方面。例如超細綫的生产，是为了滿足电子技术等的需要；大型鋁合金型材的生产，是为了滿足航空等技术的需要；而特长的異型銅管的生产，則是为了滿足制造大功率电机的需要，等等。

由于国民經济各个部門的推动，有色金属管棒綫型材在生产中提出了高产、优质、多品种、低成本、安全生产的方針。为此，必須在过去的基础上，系統地总结这方面的生产經驗，尤其是大跃进中的經驗，在理論上加以闡述与分析，为本学科进一步的发展打下良好的基础。

有色金属及合金的管材、棒材、綫材和型材，是有色金属压力加工十大产品中的四种，产品本身的特点是細而长，而生产上的特点則是产量較少而品种和規格較多。适合这两个特点的最好的加工方法就是挤压和拉伸，因为这两种方法在生产中有很大的灵活性，在同一个設備上，只要更換相应的工具，就可以生产不同品种和規格的产品。因此，这两种加工方法及其相应的設備，为現代化有色金属管棒綫型材生产車間所广泛采用。

但由于挤压与拉伸也有它的缺点，例如挤压工具的价值很高，成品率由于需要留下挤压残料（压余）而显得不高；变形程度由于拉伸中受夹头强度的限制而显得不大，这就增加了加工道次和中間退火的次数，影响了劳动生产率的提高。因此，对于某些产品，就采用軋制方法与挤压、拉伸相結合的方法进行生产。例如一般的綫坯多采用热軋法生产，这是因为綫坯的規格一般只需要2~3种就够了，这样同一規格的綫坯产量就相对地大了，这为采用軋制法生产創造了有利条件；又如对一些强度大、冷作硬化快的有色金属和合金管材，目前有采用冷軋的趋势，这种方法大大地減少了制品的中間退火次数，显著地提高了劳动生产率，并且在管材的内表面质量方面还有显著的提高。当然，对于不同的金属和产品品种及規格，采用軋制、挤压和拉伸三种方法互相配合生产，还有許多优点，这将在以后各篇中分別叙述。

在挤压生产方面，目前研究的技术問題，大致有以下一些：（1）減少或防止挤压

縮孔的形成，这对提高产品成品率有很大的作用，尤其对挤压一些稀有金属制品（如铀棒等）有着特别重要的意义；（2）掌握和改进各种变断面型材的生产技术；（3）掌握和改进各种整体结构材料的生产技术，以上两点对减轻飞机、火箭等结构的自重有很大作用，并且为改进其技术特性创造一定的条件；（4）大型挤压机的建造及其机械化、自动化的实施，这为掌握前两种技术创造物质条件，目前许多主要国家都在大力建造一批大型水力挤压机来满足这方面的要求；（5）掌握新兴金属和合金制品的挤压工艺；等等。

B.B.若洛包夫写的“金属挤压”（冶金工业出版社1959年出版）一书，是目前有关挤压生产方面较完整的参考书，对挤压的理论作了较系统的叙述，对挤压设备和工艺也有较全面的介绍。

在拉伸生产方面，目前正在积极向“多线、连续、快速”方向发展，它对线材拉伸很有现实的意义，这方面的技术问题的解决，就能大大提高拉伸机的生产率；掌握壁厚极薄的管材生产技术和用游动芯头拉伸管材的生产技术，也是当前的重要研究课题。И.Л.彼尔林写的“拉伸理论”（冶金工业出版社1957年出版）是一本较完善而全面的理论参考书。

在轧制生产方面，线材轧制目前在向“高速、多条、大压下量”方向发展，为此要设计新的孔型形状和系统，改进轧机结构，提高机械化和自动化的程度。在这方面有两种方案——连轧生产和圆盘生产。详细比较、分析各方案的优缺点和适用的条件，对新建或扩建这类企业有很大的意义。在管坯冷轧中，目前对生产大直径的薄壁管和异型管，受到了很大的重视，因为用冷轧法生产，能够保证高的表面质量和机械性能，为此对冷轧管孔型设计的研究，是一项很迫切的工作。

随着加工技术的发展，最近也出现了一些新的加工方法，例如无模拉线、滚锻、半液体轧制等等，它们大多是将压力加工与熔铸过程结合起来，使生产过程大大简化。所有这些大多与设备的机械化和自动化分不开，因为它们的工艺条件是很严格的，温度、速度、变形程度等工艺因素只允许在很窄的范围内变化，这些对于手动操作说来，一般是难办到的。目前这些方法还限于生产一些较小的制品。对于大型制品采用这类半液体压力加工方法生产，将是有色管棒线材生产中重要发展方向之一。

在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，在一整套两条腿走路的方针指导下，我国有色金属管棒线材的生产和技术进步，已经取得了重大的成果，今后定将取得更大的成就。

第一篇 型 材 軋 制

第一章 概

論

§ 1—1 型材軋制的特点

在有孔型的軋軋中軋制叫做**型材軋制**。它是纵向軋制形式之一。在孔型中軋制时，軋件沿宽度的压缩量是不同的（箱形或矩形孔型除外），横向变形也是复杂的。与用平軋軋制矩形軋件相比，不均匀变形是型材軋制的最大特点。

在平軋軋制过程（图 1—1 a）中，在軋件宽度上的延伸系数 μ 、軋径 D 、軋件軋前与軋后的高度 H 和 h ，以及 $D + h$ 和咬入角 α ，这样一些基本参数值是固定不变的，因之沿軋件宽度上的变形均匀。

在平軋軋制中具有可变高度 H ，且在高度和宽度上对称的軋件（图 1—1 b），则沿軋件宽度上的不均变形就有所增加。

图 1—1 b 是在对称（沿宽和高度方向）的孔型中軋制固定高度 H 的軋件。在这种情况下 D 、 H 和 α 沿軋件的宽度上是可变的，軋軋工作直径 D 的变值是图 1—1 b 与图 1—1 c 显著不同的地方，它引起沿孔型宽度上軋軋圆周速度的变化，同时也大大地增加了不均匀变形。

图 1—1 c 是图 1—1 b 和图 1—1 d 的结合，包括在孔型中軋制可变高度的軋件的情况，这里有 H 、 D 、 h 和 α 四个值都成为可变的，由于这样，不均匀变形程度就更加复杂和更加显著了。

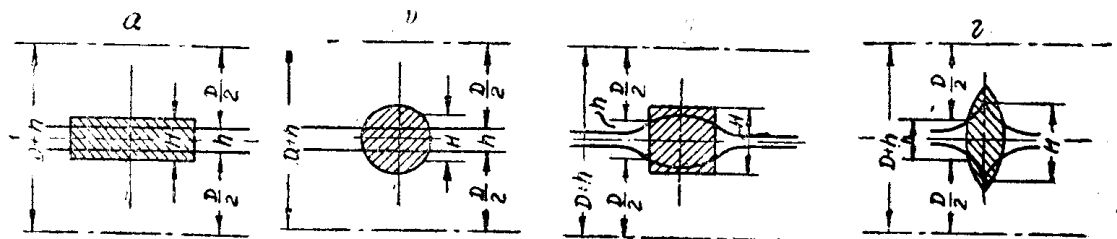


图 1—1 平軋軋制与型軋軋制的比較

由图 1—1 所示各种軋制过程可以看出，它們的共同特点是軋軋孔型与軋件形状均对称于垂直軸和水平軸。但在型材軋制中还有不对称的情况，那时軋制条件就更加复杂化了。

型材軋制与平軋軋制相比，可以看出，型材軋制在工艺方面的特点是：

1) 由于型材的断面小，相对表面积增大，因而散热快、温降快，引起軋件前后端温差大，这就造成调整上的困难。

2) 由于軋件温降快，为使終軋温度不低于所允許的热加工温度范围，故与其它軋制法相比，要求較高的軋制速度（主要指綫材生产）。

表 1—1 各种轧制方式基本参数变化比较

图 号	不 变 数 值						可 变 数 值					
1—1a	μ	D	h	D+h	H	α	—	—	—	—	—	—
1—1b	μ	D	h	D+h	—	—	H	α	—	—	—	—
1—1B	μ	D+h	H	—	—	—	D	h	α	—	—	—
1—1r	μ	D+h	—	—	—	—	H	D	h	α	—	—

3) 在型材轧制生产中的机械化、自动化的程度要求较高。

此外, 为了获得正确的断面几何形状, 对设备和工具等要求较严格。

§ 1—2 型材轧制的制品

在有色金属及合金的型材轧制中基本上是生产为拉伸用的坯料(表 1—2), 只有在个别情况下, 轧制少量的圆棒材直接供给用户, 以备加工成各种零件。型材轧制除了轧制圆盘条外, 还可制造电动机、发电机和电动机整流子的矩形型材的拉伸料坯(表 1—2)。

表 1—2 用轧制方法制得的半成品和成品

制 品	金 属 及 合 金	直 径 或 断 面, 毫 米	用 途
I 半 成 品			
圆盘条	铜	7.2~1.90	拉伸成线材和棒材
矩形坯料	铜	从5×9.5至12×16	拉伸成矩形扁条
圆盘条	锌	7.2	拉伸成线材
同 上	铝	7.2~9	同 上
圆形断面轧件	所有牌号的黄铜	7.2~19	拉伸成线材和棒材
同 上	镍和铜镍合金	7.2~19	拉伸成线材
圆棒材	孟奈合金	32和60	—
同 上	锌白铜及镍	32	—
矩形坯料	铜	从4×13至16×19.5	拉伸成整流片和母线
圆形断面轧件	БрОЦ4—3, БрВ2	7.2~19	拉伸成线材
同 上	电话用青铜	7.2和9	—
圆棒材	БрОЦ 4—3	32	—
II 成 品			
圆棒材	镍	32~50	—
同上	孟奈合金	70~35	—

§ 1—3 孔型的基本概念

轧辊上用车床车削出的各种形状的回槽叫做轧槽。上下两个轧辊上的轧槽所构成的空间叫做孔型。孔型由下列要素构成。

1) 间隙。用来把轧槽和轧槽分开的部分叫做辊环。上下两辊环间的缝隙叫做轧辊间的间隙。

在轧制过程中有间隙是不可避免的。如众所周知, 轧辊、轴瓦、牌坊等零件皆非绝对刚体, 轧制时在极大的压力作用下, 发生弹性变形——弹跳。由于弹跳的出现, 必然会产生间隙。

另外，在孔型設計中兩輥間留有間隙，對生產也是有利的。假若沒有間隙存在，兩輥緊密接觸，這樣輥輥易于磨損。從輥孔型圖上可以看到，孔型的高度等于切入兩輥的輥槽深度與間隙之和，所以間隙的存在可以減少輥槽的深度，由此可使輥輥強度、剛度增加、延長輥輥的壽命。在軋制過程中由於孔型的逐漸磨損，以及其它因素的影響而使軋件出現過充滿或欠充滿的現象。所有這些均使得軋件失去正常的斷面幾何形狀，因而要求調整兩輥間的距離即調整間隙。而間隙的存在造成兩輥有相對運動的空間，這就便于調整。

在這裡還必須指出，由於間隙的存在有時會影響軋件幾何斷面精確度，這是人們所不希望的。特別是對於成品孔型要求間隙尽可能小些。因此在輥孔型設計時精軋孔型間隙較小，而中軋孔型間隙大些，粗軋則更大。

孔型圖應該表示出軋件正通過輥輥時的斷面形狀與尺寸，因此在圖紙上的間隙應最小，等于軋制時輥輥的彈跳加上孔型兩次重車之間的允許磨損量。表 1—3 中的間隙值可供設計時參考。

表 1—3 各種軋機上所採用的孔型間隙

孔 型 類 型	輥 輥 直 徑, 毫 米	間 隙 量, 毫 米	間隙與輥徑比, %
粗軋孔型	400~450	4.0~6.0	1~2
中軋孔型	300~350	2.0~4.0	0.5~1
精軋孔型	240~310	1.0~2.0	0.5~1

2) 斜度。無論開口孔型或閉口孔型，其側壁通常與孔型底部有一定傾斜，該傾斜角 ψ 的正切值 $\tan\psi$ 叫做孔型斜度（如图 1—2）。

由图 1—2 知：

$$\tan\psi = \frac{B_k - b_k}{2h_p} \quad (1-1)$$

式中 B_k ——孔槽最大寬度；

b_k ——孔槽最小寬度；

h_p ——輥槽深度。

生產實踐證明，帶斜度的孔型具有下列優點：

① 使軋件順利而正確地送入孔型。當有斜度時，孔型的側壁能扶正軋件而不致造成傾倒。

② 帶斜度的孔型在軋制時易使軋件拋出。避免軋件被輥輥側壁（特別是被磨損的毛糙的側壁）夾得很緊而發生纏輥的現象。

③ 孔型重車時可保持其寬度不變，這樣就可避免由重車輥輥而破壞孔型的原有尺寸，其原因由图 1—3 可說明之。

④ 隨着斜度的增加，可減少孔型重車時輥輥的車削量。這樣就延長了輥輥的壽

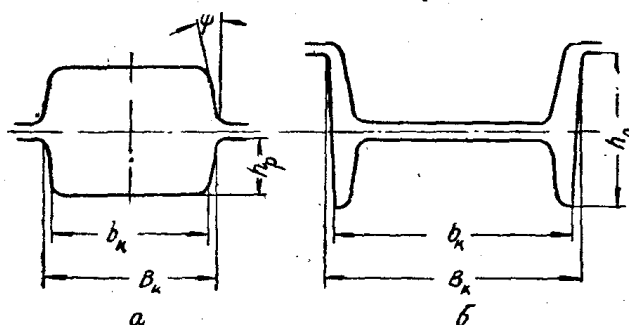


图 1—2 帶斜度的孔型圖

a—箱形孔型；b—軋工字型材的毛軋孔型

命。車削量与斜度間的关系由图 1—4 可以看出, 当側壁車削量 a 相同时, 帶斜度孔型的軋輥直径車削量 $D-D'$ 比不带斜度孔型的軋輥要小, 其量可由公式 (1—2) 决定。

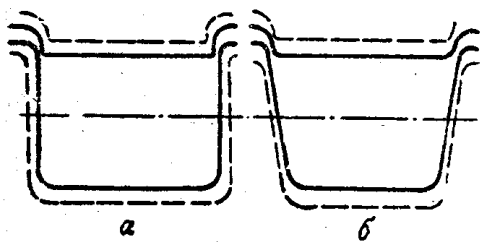


图 1—3 側壁斜度不同的孔型重車前后情况
a—側壁无斜度; b—側壁帶斜度

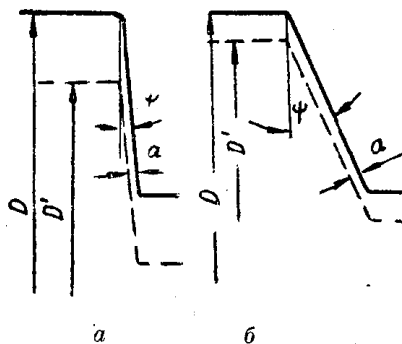


图 1—4 側壁斜度不同的孔型重車量比較图
a—重車量大; b—重車量小

$$D-D' = \frac{2a}{\operatorname{tg}\psi} \quad (1-2)$$

式中 D, D' ——重車前后軋輥直径;

$\operatorname{tg}\psi$ ——側壁斜度;

a ——孔型側壁重車深度 (即磨損深度)。

⑤ 由于斜度的存在, 可用它来調整軋件在孔型中充滿的程度。在生产中可防止軋件出耳子等缺陷。

3) 圓角。在孔型設計时, 在孔型輪廓綫交接处常用圓弧綫連接, 正确地选用圓角, 对提高产品质量和增加軋輥强度具有很大意义。

① 由于孔型輪廓綫平滑地連接, 当軋件在該孔型內出現不大的耳子时, 翻料后一道次軋制时易被压平; 否則易形成折迭, 如图 1—5 所示。

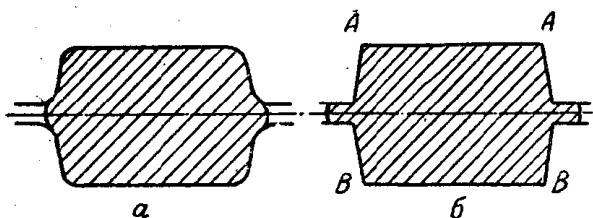


图 1—5 在帶圓角(a)和不帶圓角(b)
孔型中耳子的形状

② 可減輕軋輥出現应力集中的現象, 增加軋輥强度。

③ 可防止軋件夹角处急遽过冷。

④ 給寬展留有余地, 免于造成过充滿的現象。

⑤ 防止側壁“切割”軋件而造成废品。

§ 1—4 孔型的分类和孔型系

按孔型断面复杂程度可分为:

① 简单断面孔型, 如图 1—6 所示。

② 复杂断面孔型, 如图 1—7 所示。

③ 周期断面孔型, 即沿着軋件纵向 (原軋制方向) 周期式地出現某一断面, 其产品如图 1—8 所示。

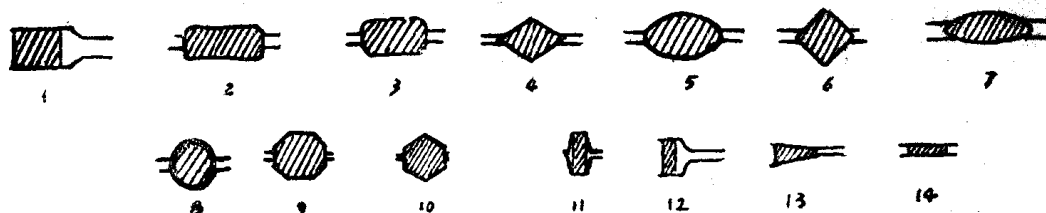


图 1—6 孔型和軋件断面图

1—矩形孔型；2—箱形孔型；3—近似方形孔型；4—菱形孔型；5—弧菱形孔型；6—方形孔型；7—椭圆孔型；8—圆形孔型；9—六边形预軋孔型；10—六边形精軋孔型；11—立式孔型；12—精整孔型；13—梯形孔型；14—平整孔型

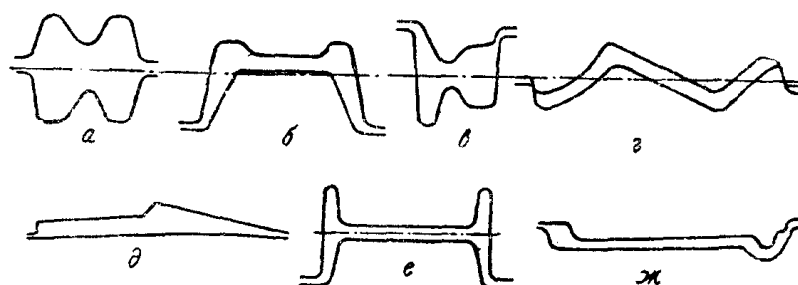


图 1—7 复杂断面孔型

a—工字鋼切入孔型；b、c、d、e为槽鋼、工字鋼、竿鋼的毛軋孔型；
e、f—工字鋼、輪軋的光軋孔型

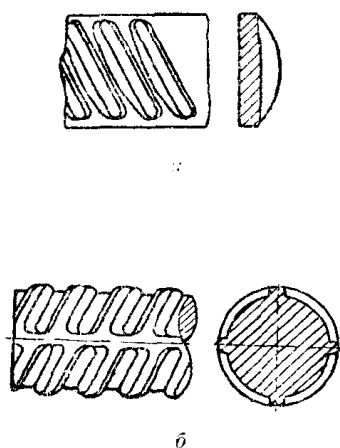


图 1—8 周期断面的軋制品

a—牙条鋼；b—螺紋鋼筋

按孔型在軋制过程中的作用，可分为：

① 粗軋孔型（或延伸孔型）：其作用在于减少軋件的断面积。在这些孔型中金属变形程度较大，用于开坯机、大型軋机上作为开坯之用，图 1—6 中前三种孔型均属此类。

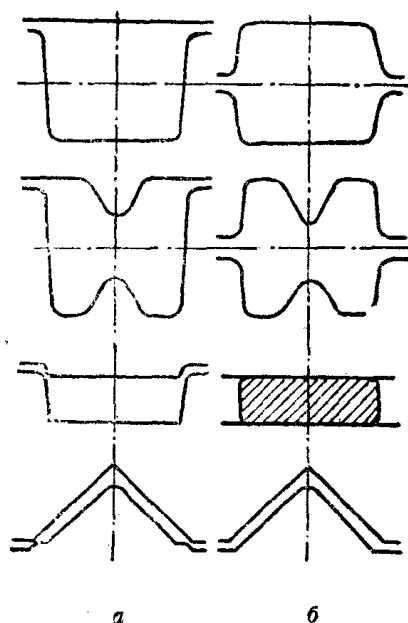


图 1—9 开式及闭式孔型图

a—闭式孔型；b—开式孔型

② 預軋孔型（或中間孔型）：在這類孔型中除繼續壓縮軋件的斷面外，並且對軋件進行粗加工，即使它逐漸接近成品的形狀和尺寸。圖1—6中第4、5、6、7、9個孔型均屬此類。

③ 預精軋孔型（精軋前孔型）：這種孔型是設在成品孔型的前一道上，它使軋件的形狀及尺寸十分接近成品，並能使軋件表面做到適當的光潔。

④ 精軋孔型（成品孔型）：這種孔型是放在軋制最後一道上，軋件經過該孔型軋制之後，即成為軋制車間的成品，一般來說，這種孔型的形狀和尺寸幾乎與成品斷面形狀和尺寸完全一樣。

按孔型在軋輥上的車削方法分為：

① 閉式孔型。一個軋輥的輥體進入另一個軋輥的輥體中，如圖1—9 a所示。

② 開式孔型。兩軋輥輥體互不進入者，如圖1—9 b所示。

除上述孔型外，尚有一些其它孔型。如切割孔型，擴展孔型等，分別見圖1—9，圖1—10，圖1—11。

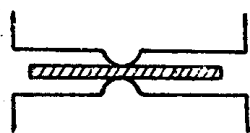


圖 1—10 切割孔型

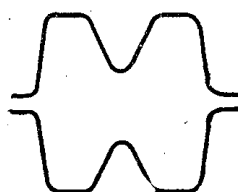


圖 1—11 擴展孔型

大家知道，為了得到一定形狀和尺寸的制品，必須使坯料通過一系列形狀尺寸各不相同的孔型，這一系列孔型就構成了不同的孔型系。

在有色金屬型材軋制中常見的有下列一些孔型系：

① 箱形孔型系：由一系列形狀相同而斷面尺寸不同的箱形孔型構成（見圖1—35）。其優缺點及用途詳見第三章。

② 方-橢圓孔型系：由橢圓孔型及方孔型構成（見圖1—36，詳見第三章）。

③ 橢圓-圓孔型系：由橢圓及圓孔型構成（見圖1—49，詳見第三章）。

此外尚有菱-方孔型系，菱-菱孔型系，等等。

由兩個或兩個以上孔型系所組成的孔型系叫做複合孔型系。這種孔型系是在生產中常用的，如軋制有色金屬銅鋁盤條時就常採用：箱-方-橢-圓孔型系統。因為這樣能更好地發揮各種孔型系的優點，所以複合孔型系在生產中得到了廣泛的應用。

第二章 孔型設計基本理論

§ 2—1 孔型中變形的不均勻性

觀察平軋軋制和型軋軋制，可以發現除加工工具（軋輥）的差異之外，尚有加工對象——軋件本身的不同，前者幾何斷面簡單，而後者卻複雜，因此在型材軋制中有其特殊性，不能簡單地將平軋軋制時咬入、寬展和延伸等等的規律性用在型軋軋制過程中。

型軋軋制對其它方面的影響，在板帶材生產課程：〔8〕中已有敘述，這裡專門討論在孔型中軋件變形不均勻的問題。由於對不均勻變形尚缺乏完整的理論分析和研究，只

討論沿孔型寬度方向不均勻變形產生的原因。

首先，軋件在沿孔型寬度上受到不同的壓下，這種不同的壓下量是由於送入孔型的軋件與孔型形狀不同所造成的，如圖 1—12 及圖 1—13 所示：

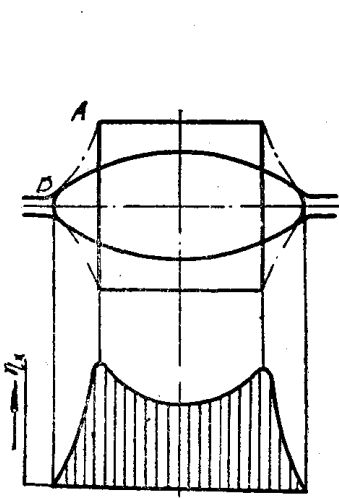


圖 1—12 方形軋件在橢圓孔型中變形時延伸係數分布的情況

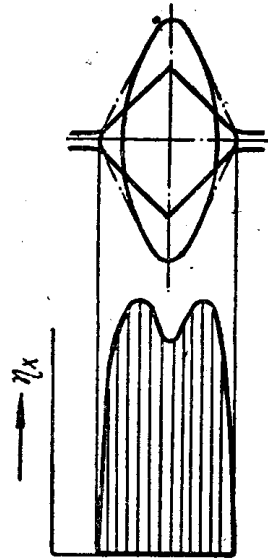


圖 1—13 橢圓軋件在方孔型中變形時，沿孔型寬度延伸係數分布的情況

假設在圖 1—12 中，把送入橢圓孔型的方形軋件分成很多小片，並且假定相鄰金屬片之間變形能單獨進行而且互不影響，那麼，在忽略寬展之下，便很容易定出各片的延伸長度。如果把方形軋件斷面上高度與橢圓孔型上相應的高度之比值叫做“自然延伸”時，則由圖 1—12 可知最大的“自然延伸”發生在方形軋件的邊緣上，而最小的則發生在中心，依據同樣的判斷，可知在圖 1—13 中最大與最小的“自然延伸”發生在什麼地方。

但是由於實際上金屬軋件是一個整體，各片之間彼此牽連着，且在變形之後延伸大小相差不大，由此可知它們在變形過程中，彼此間是互相制約的，延伸大的部份受到壓縮應力，而延伸小的部份則受到拉應力，也就是說軋件在孔型中變形後，由於變形不均勻的結果導致殘余應力的存在。

上述的觀點為麥茨實驗所証實。

麥茨實驗所用試料是方形黃銅坯料，在沿料長度上鑽四個小孔，在孔中嵌入鋼棒，鋼棒排列如圖 1—14 a 所示。

使坯料通過橢圓孔型後，發現位於軋件兩旁的鋼棒與其孔之間壓得很緊密，沒有任何間隙，而軋件斷面的中心部份之鋼棒與孔之間有很大的間隙（圖 1—14 b 所示），這個現象說明，軋件中心部份的金屬由於所受的壓下量較兩邊小，因而其延伸亦小，但是由於軋件整體性之故，延伸小的中部受到兩邊的金屬對它的拉伸作用，由於拉應力存在的結果形成了棒與孔之間的間隙，相反，軋件兩邊之金屬受到壓縮應力作用而使棒與孔之間壓得很緊密。殘余應力之分布見圖 1—15。

上述實驗說明，由於送入孔型的軋件與孔型的形狀不同，沿寬度方向上受到不同的壓下量，使得軋件出現不均勻變形及殘余應力，除此之外，由於孔型內各點的綫速度不同，以及外摩擦不同，溫度分布不均勻等等，都會造成不均勻變形和殘余應力。

在孔型中轧制时，都存在着不均匀变形，而不均匀变形对制品的质量有不良的影响，因此，研究如何减少不均匀变形在生产实际和理論上都有很大的意义。

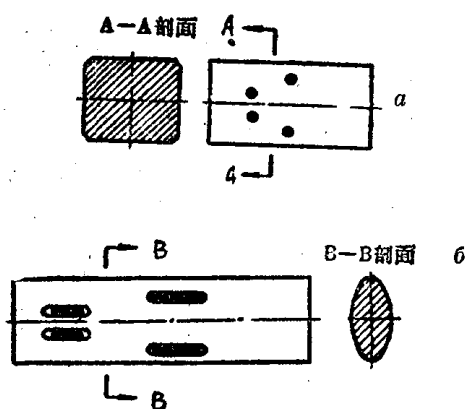


图 1-14 麦茨实验示意图
a—轧制前的坯料；b—轧制后的轧件

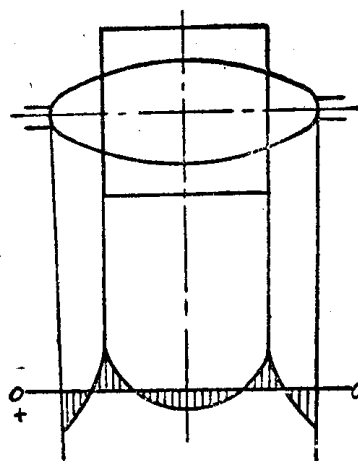


图 1-15 方轧件在椭圆孔型中变形后的应力图

研究不均匀变形，并作数量上的比较，这已在压力加工原理课程中提出了许多种方法。在工厂实验室中研究孔型轧制时的不均匀变形，采用坐标网格法和微硬度法是比较简单易进行的，但是前者对观察小断面轧件上的情况比较困难，而后者不但可以了解不均匀变形的分布，并能作数量上的比较，但是用于热轧制品时，效果就不显著，因为此时“反硬化”起着明显的作用。

§ 2-2 型辊轧制中压下量的计算

平辊轧制时压下量的计算已为我们所熟知的了。

$$\Delta h = H - h$$

(1-3)

式中 H ——轧件在轧前的高度；

h ——轧件在轧后的高度；

上式对于型材轧制过程中均匀压下的情况仍然能够适用（如图 1-16 所示）。

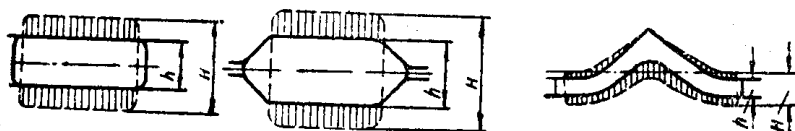


图 1-16 均匀压下的情况

对于不均匀压下（见图 1-17）时其压下量的计算方法有如下几种：

1) 轧件宽度法。用相同面积与宽度的矩形代替原来形状的孔型（或轧件），而计算出其平均高度，如图 1-18 所示。

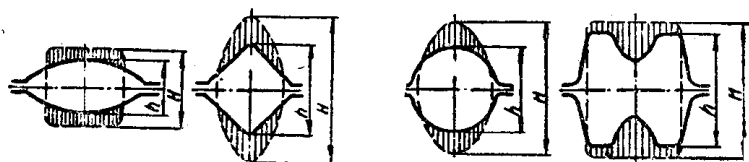


图 1-17 不均匀压下的情况

孔型或軋件平均高度:

$$h_c = \frac{F}{b} \quad (1-4)$$

式中 h_c ——孔型或軋件的平均高度, 亦即代入矩形的高度;

F ——孔型或軋件的面积;

b ——孔型或軋件的宽度。

送入孔型的軋件平均高度与孔型平均高度之差, 即为軋制的平均压下量, 如图 1-18 中椭圆形軋件进入方形孔型时, 軋制的平均压下量:

$$\Delta h_c = H_c - h_c \quad (1-5)$$

式中 H_c ——椭圆軋件之平均高度;

h_c ——方孔型之平均高度。

2) 相应軋件法。以一种矩形来代替原来的孔型 (或軋件), 这种矩形的宽与高之比等于孔型 (或軋件) 对应边长之比, 该矩形的面积等于孔型 (或軋件断面) 面积, 从而进行压下量的计算。

如图 1-19 所示椭圆孔型, 用此法则得下述联立方程:

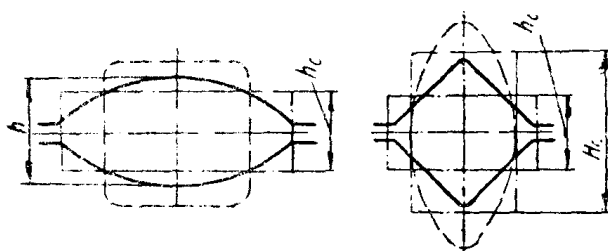


图 1-18 用軋件宽度法求压下量

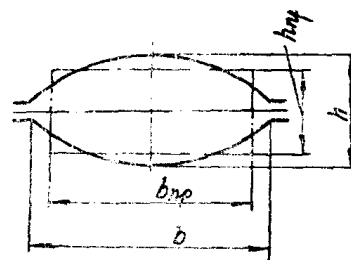


图 1-19 按哥洛文法以相应的軋件来代替复杂断面的軋件图

$$h_{np} \cdot b_{np} = F \quad (1-6)$$

$$\frac{h_{np}}{b_{np}} = \frac{h}{b} \quad (1-7)$$

式中 h_{np} ——相应矩形的高度;

b_{np} ——相应矩形宽度;

b ——原孔型的宽度;

h ——原孔型的高度;

F ——原孔型的面积。

由方程组中可解出 $h_{np} \cdot b_{np}$, 从而可进行压下量的计算。

3) 经验公式法 (沙林法)。常用孔型的平均压下量, 沙林推荐用如下的经验公式。

① 方形軋件进菱孔型:

$$\Delta h_c = 0.55 \sim 0.6 (H - h) \quad (1-8)$$

② 方形軋件进椭圆孔型:

$$\Delta h_c = H - 0.7h \quad (\text{用于扁椭圆}) \quad (1-9)$$

$$\Delta h_c = H - 0.85h \quad (\text{用于近于圆形之椭圆}) \quad (1-10)$$

③椭圆轧件进方形孔型:

$$\Delta h_c = (0.65 \sim 0.7)H - (0.55 \sim 0.6)h \quad (1-11)$$

④椭圆轧件进入圆孔型:

$$\Delta h_c = 0.85H - 0.79h \quad (1-12)$$

式中 H ——轧件高度;

h ——孔型高度。

4) 移动体积法。广泛地用于确定金属制品在塑性变形前后的尺寸, 其实质在于: 利用塑性变形过程体积不变的规律, 从而求出整个变形体各部尺寸变形前后的关系, 或者求出变形过程各阶段的尺寸变化与整个过程终了的变化之联系, 变形区各部分的尺寸变化与整个尺寸变化之间的联系。

现将用移动体积法确定轧件在各种孔型中确定相对压下量的公式介绍如下 (详见[5]):

①在椭圆孔型中轧制方轧件 (如图 1-20) 时, 则

$$\frac{1}{\eta} = f\left(\frac{h_0}{h} \cdot \frac{b}{h} \cdot \delta\right) \quad (1-13)$$

$\frac{1}{\eta}$ 值由表 1-4 即可查得。

②在方孔型中轧制椭圆轧件时 (如图 1-21) 则

$$\frac{1}{\eta} = f\left(\frac{h_0}{h} \cdot \frac{b_0}{b} \cdot \delta\right) \quad (1-14)$$

查表 1-5 即得。

③在六角孔型轧制方轧件时 (如图 1-22) 则

$$\frac{1}{\eta} = f\left(\frac{h_0}{h} \cdot \frac{b}{h} \cdot \delta\right) \quad (1-15)$$

查表 1-6 即得。

④在菱形孔型中轧制菱形轧件时 (如图 1-23)。则

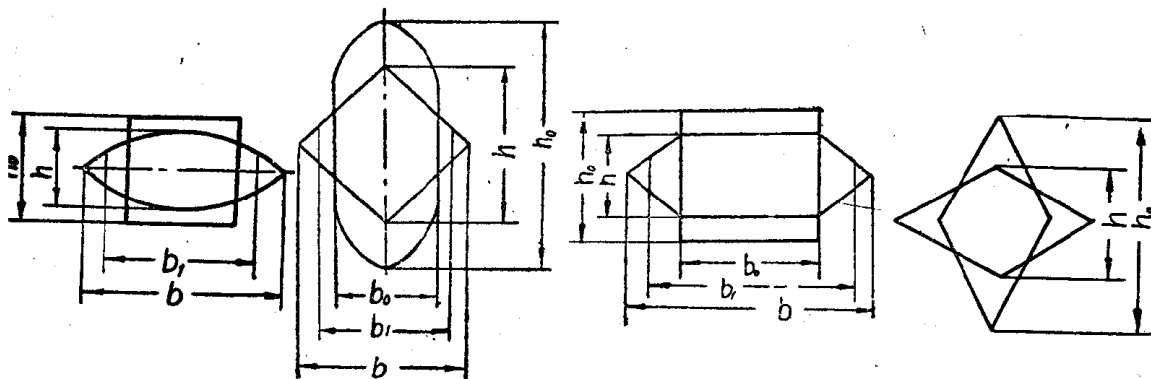


图 1-20 在椭圆孔型中轧制方轧件

图 1-21 在方形孔型中轧制椭圆轧件

图 1-22 在六角孔型中轧制方轧件

图 1-23 在菱形孔型中轧制菱形轧件

$$\frac{1}{\eta} = f\left(\frac{b_0}{h} \cdot \delta\right) \quad (1-16)$$

查表 1-7 即得。

表 1-4 在椭圆孔型中轧制方轧件的 $\frac{1}{\eta}$ 值

$\frac{b}{h}$	$\frac{b_0}{h}$	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600	1.700	1.800	1.900	2.000	2.200	2.400	2.600
$\delta = 1.00$															
1.50	1.128	1.293	1.451	1.642	1.855	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.75	—	—	1.402	1.572	1.745	1.932	2.136	2.354	—	—	—	—	—	—	—
2.00	—	—	1.370	1.525	1.683	1.855	2.038	2.226	2.415	2.635	—	—	—	—	—
2.50	—	—	—	—	1.610	1.762	1.923	2.090	2.260	2.430	2.604	3.005	3.445	—	—
3.0	—	—	—	—	—	1.714	1.857	2.000	2.160	2.320	2.475	2.816	3.180	3.566	—
4.0	—	—	—	—	—	—	—	1.934	2.075	2.210	2.352	2.635	2.940	3.255	—
$\delta = 0.90$															
1.50	1.128	1.280	1.444	1.623	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.75	—	—	1.390	1.555	1.720	1.900	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.00	—	—	1.358	1.508	1.660	1.825	2.005	2.175	—	—	—	—	—	—	—
2.50	—	—	—	1.450	1.592	1.737	1.892	2.050	2.215	2.375	2.545	2.926	—	—	—
3.00	—	—	—	—	—	1.688	1.826	1.965	2.120	2.266	2.425	2.740	3.092	3.468	—
4.00	—	—	—	—	—	—	—	1.900	2.034	2.166	2.295	2.575	2.872	3.180	—
$\delta = 0.80$															
1.50	1.128	1.277	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.75	1.100	1.236	1.382	1.543	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.00	—	—	1.350	1.494	1.642	1.800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.50	—	—	—	1.438	1.575	1.713	1.864	2.015	2.175	2.330	—	—	—	—	—
3.00	—	—	—	—	1.534	1.667	1.800	1.940	2.078	2.230	2.374	2.690	—	—	—
4.00	—	—	—	—	—	—	1.743	1.873	2.004	2.122	2.260	2.528	2.806	3.100	—
$\delta = 0.70$															
1.75	1.100	1.234	1.376	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.00	1.076	1.210	1.344	1.485	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.50	—	—	—	1.428	1.562	1.698	1.842	1.992	—	—	—	—	—	—	—
3.00	—	—	—	—	1.520	1.652	1.778	1.913	2.054	2.195	2.340	—	—	—	—
4.00	—	—	—	—	—	—	1.725	1.848	1.973	2.096	2.225	2.450	2.765	3.048	—

⑤在平辊轧制时则

$$\frac{\Delta h''}{\Delta h} = f\left(\frac{\Delta h}{D} \cdot \mu\right) \quad (1-17)$$

查表 1—8 即得。

式中 $\Delta h''$ ——轧制时变形区中临界面高度； $\eta = \frac{h}{h_0}$ 为轧件高度相对变形， h_0 为轧件轧前高度， h 为轧后高度； $\delta = \frac{b_1}{b}$ 为孔型充满度， b_1 是轧件轧后的宽度，而 b 是孔型宽度。