

昆虫学入门

张庆生 编著

前 言

作为特种轧制之一的螺旋孔型斜轧工艺，近十多年来在国内外得到了飞快的发展。

机器制造业、轻工业、农机具等行业中，凡是具有一定尺寸的实心 and 空心回转体零件，大部分都可以用螺旋孔型斜轧工艺生产。

因为螺旋孔型斜轧工艺具有生产效率高、材料利用率高、锻件质量好、设备较简单、容易实现锻压生产的机械化和自动化及生产时无振动、无噪声等优点，所以，螺旋孔型斜轧工艺，近些年来在我国机械制造等行业中被广泛采用，取得了很大的经济技术效果，而且愈来愈显示出该工艺独特的优越性，成为改变锻压生产落后面貌的锻压少无切削的先进工艺之一。

为总结这些年来我国这方面的研究成果和生产上所取得的经验及介绍有关这项工艺的基础知识，以利于更广泛地推广这项先进工艺，结合本人多年从事螺旋孔型斜轧工艺研究的经验，从现场得到的生产实用数据以及参考有关厂家的经验，加以总结，编写了这本书。

本书主要是概括地叙述了有关回转体零件毛坯和螺旋面零件的螺旋孔型斜轧的基本理论，螺旋孔型斜轧工艺的设备要求、分类及设计，而更主要的是介绍了螺旋孔型斜轧工具设计和设备调整及工艺参数确定的原则，介绍了有关设计计算公式和生产上的经验数据以及一些典型零件的实际生产工艺，并对比了经济技术效果和质量改善情况等。

在编写过程中得到了潘宝昌、顾伦、张景茂、栾德源、俞志昭和王凤梅等同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

全书最终由王仲仁副教授审阅，并提出了许多宝贵意见，特此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有缺点和错误之处，希读者批评指正。

作者

目 次

第一章 螺旋孔型斜轧工艺的一般问题	1
一、螺旋孔型斜轧工艺的适应产品及轧件的性能和精度	2
二、螺旋孔型斜轧时金属的成形过程	6
三、坯料的咬入条件	8
四、螺旋孔型斜轧时轧件的运动	12
五、毛坯和轧辊间的滑动	14
六、凸棱轧辊轧制时金属的流动	17
七、轧制时轧件的椭圆化变化	21
第二章 螺旋孔型斜轧机和机组的组成及主要类别	23
一、螺旋孔型斜轧机的主要类别	23
二、二辊穿孔、三辊成形机组的组成、工作程序及主要性能	24
三、ZH100 型专用轧环机组（二辊穿孔、二辊成形）的主要性能、工作程序及操作保养	24
四、螺旋孔型斜轧工艺对轧机的要求	39
五、主轧机设计时几个主要参数的确定	44
六、螺旋凸棱轧辊斜轧时主要力能参数的计算	45
七、螺旋孔型轧辊定点咬入坯料的光电控制装置	63
八、螺旋孔型轧辊变螺距的差动补偿加工装置	65
九、螺旋孔型斜轧机组的自动化电气设计	71
十、轧制钢球、圆柱滚子等实心回转体零件的轧机	89
十一、轧制实心螺旋面零件的轧机	93
十二、轧制翅棱管的轧机	98
第三章 穿管工具的设计和工艺参数的确定	104
一、穿管过程的理论基础	104
二、轧辊和顶头形状对穿管基本工艺参数的影响	112
三、穿管工具的设计	124
四、穿管轧机调整	130
五、影响穿管过程的主要因素	132
六、穿管的废品及缺陷	135
七、穿制GCr15 钢厚壁无缝钢管的几何尺寸变化情况	137
第四章 螺旋孔型斜轧成形工具设计和工艺参数的确定	144
一、轧辊设计	144
二、断面孔型设计	150
三、轧辊孔型的修磨	164
四、导板设计	168
五、芯棒设计	170
六、坯料尺寸的确定	171
七、轧辊倾角 β 的确定	174

八、入口辊距和导板距的确定	182
九、出口辊距和导板出口距的确定	187
第五章 螺旋孔型斜轧中常见的轧件缺陷及轧制故障	191
一、轧件的内孔扩径	191
二、轧件的表面折叠	194
三、轧件端面凹陷、轴向充不满及端切	198
四、轧件在轧辊间不旋转、不能实现咬入	198
五、轧件在辊间不旋转、被轧扁拉过	199
六、轧制时的轧卡、打滑、“乱扣”及后卡	200
七、实心体零件轧制时的内部孔隙和疏松	207
第六章 轧件的切断及切断轧制	210
一、成串轧件的机械切断	210
二、螺旋孔型斜轧的切断轧制	212
三、切断轧制在生产上的应用	233
第七章 实心回转体和螺旋面零件的螺旋孔型斜轧	247
一、实心回转体零件轧制孔型设计的一般原则	248
二、球磨钢球轧制时轧辊的孔型设计	254
三、柱状、锥状和桶形件轧制时轧辊孔型的设计	263
四、弧形实心锥体零件轧制时的孔型设计	265
五、制坯螺旋孔型斜轧的孔型计算	275
六、齿轮滚刀毛坯的螺旋孔型斜轧	277
七、圆锥螺纹的螺旋孔型轧制	286
八、螺旋面零件的螺旋孔型斜轧	290
九、翅接管零件的轧制	308
十、麻花钻头的孔型螺旋轧制	322
十一、车床卡盘伞齿轮坯的轧制	329
十二、尾杆毛坯的轧制	334
十三、球头挂环的轧制	338
第八章 空心回转体螺旋孔型斜轧工艺及轧件质量与经济效益分析	341
一、圆锥轴承内环的螺旋孔型斜轧	341
二、圆锥轴承内环螺旋孔型斜轧工艺设计标准	356
三、自行车脚闸身毛坯的螺旋孔型斜轧	362
四、轴瓦钢壳的轧制	370
五、空心双联齿轮坯的螺旋孔型斜轧	372
六、冷拔芯头和大车轴档的螺旋孔型斜轧	376
七、经纬仪主轴套的斜轧	378
参考文献	380

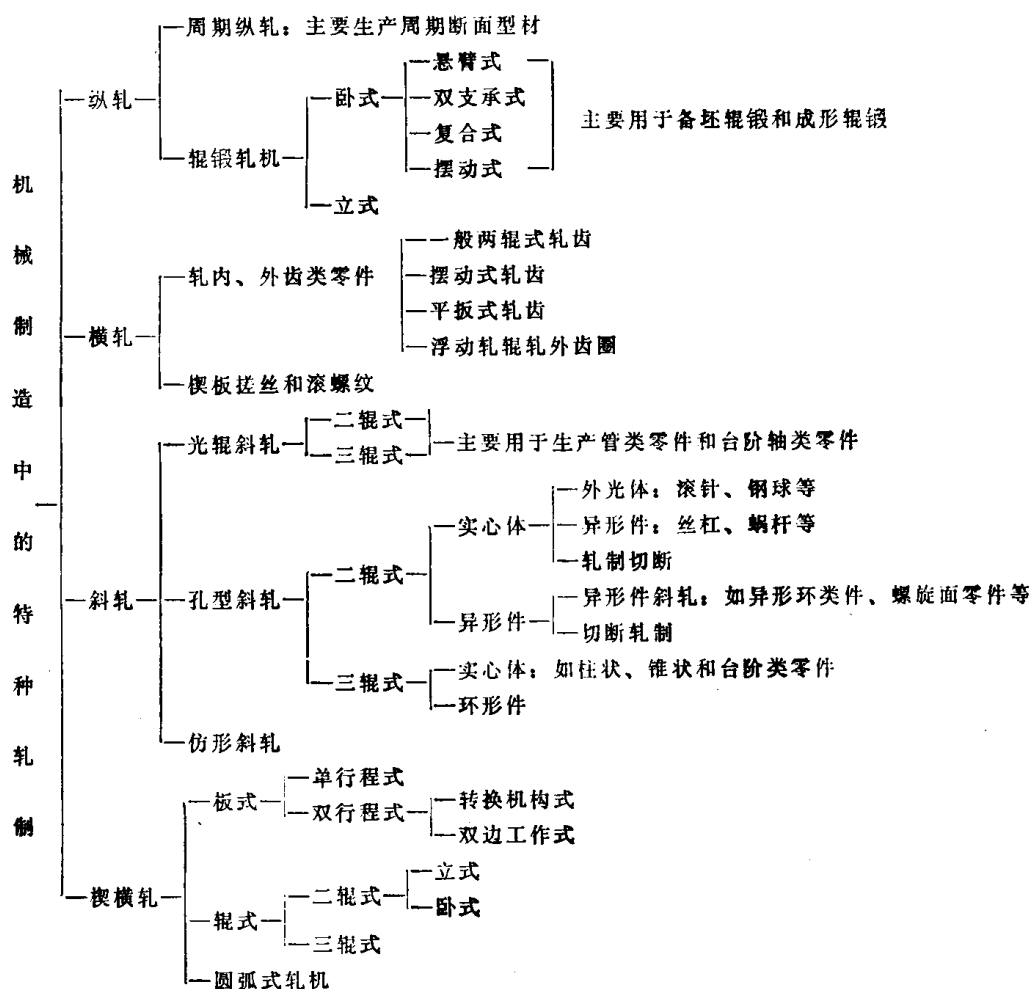
第一章 螺旋孔型斜轧工艺的一般问题

随着工农业生产的发展，各种类别的机械需要量日益增多，制造这些机器零部件的工艺方法和技术水平也日渐增多和提高。作为制造这些零部件毛坯的古老的锻压工艺也逐渐发展，有些已从根本上改变了传统的锻压方式，而有些工艺特别突出的特点是适应于高速、节能、省料和自动化的发展方向，其中典型的是近几十年来机器制造中出现的特种轧制工艺。

机器制造中采用特种轧制工艺，具有符合作为锻压发展方向的几乎所有的特征，如生产率和材料利用率都有很大的提高；零部件性能较好，延长了零部件的使用寿命；更重要的是可实现机械化、自动化生产；无振动和噪声等公害。

在机械制造中出现生产零部件毛坯的特种轧制工艺，虽然不过二、三十年的历史，但发展却是迅速的。

所谓特种轧制，包括几个方面，就目前情况看，其分类大致如下：



其中，螺旋孔型斜轧近十几年来国内外得到了突飞猛进的发展。

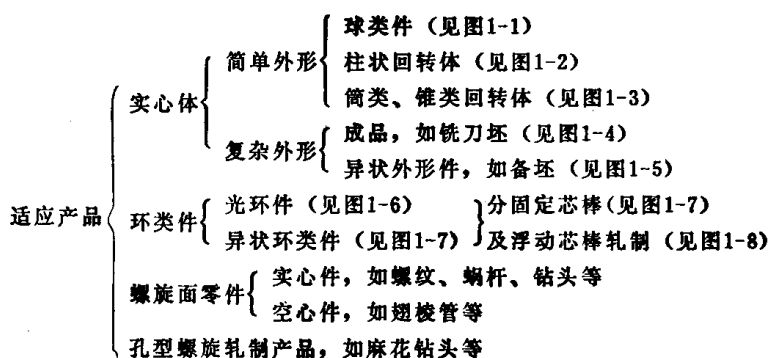
一、螺旋孔型斜轧工艺的适应产品及轧件的性能和精度

1. 螺旋孔型斜轧工艺的适应产品

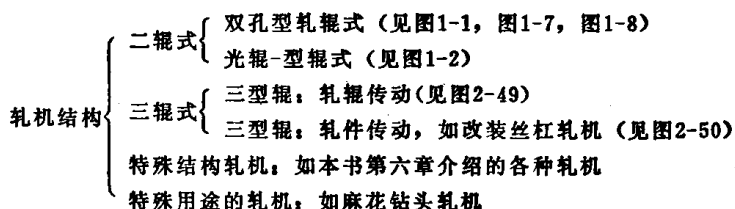
机械制造中有许多量大面广的零件，如回转体零件，其中实心的如球类、柱状类、锥状类；环形件如一般环状件、异形环类件等。这些回转体类零件大部分可以用螺旋孔型斜轧工艺生产。

所谓螺旋孔型斜轧工艺是将和零件外形及尺寸相应的孔型呈螺旋状刻在一个、二个或三个轧辊上，轧辊轴线互相形成一定夹角。将棒料（轧制实心件时）或管料（轧制环类件时）送入轧机，在轧辊的作用下，毛坯螺旋前进，连续的轧制成所要求的外形和尺寸的零件的方法。

螺旋孔型斜轧工艺的适应产品，从产品形式上看，大致如下：



从轧机结构上看，大致可分类如下：



轧机可以实现单机自动化生产，也可以几台轧机组成生产线进行自动生产。

轴承钢球的螺旋孔型斜轧已能轧制生产1"到2"的钢球和相应直径的其他类外光面回转体零件。所用轧辊直径范围为 $\phi 180 \sim 300$ 毫米，轧辊转数范围为107~180转/分。

球磨钢球和柱状、筒状类回转体零件的螺旋孔型斜轧，已能生产直径 $\phi 25 \sim 125$ 毫米的零件，所用轧辊直径范围为 $\phi 155 \sim 690$ 毫米，轧辊的转数范围为55~155转/分。

这类零件在单头孔型中轧制时，每分钟轧机的产量是轧辊的转数，但现在已发展到最多为四头孔型的轧制，则轧机每分钟的产量就是轧辊转数的四倍。

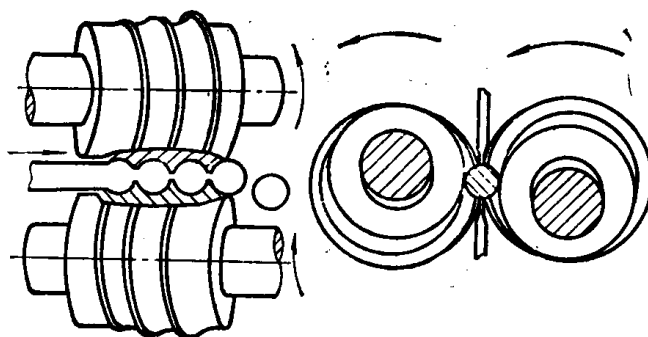


图1-1 斜轧钢球

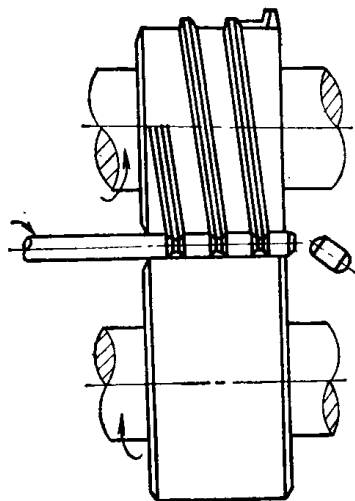


图1-2 柱状类零件轧制

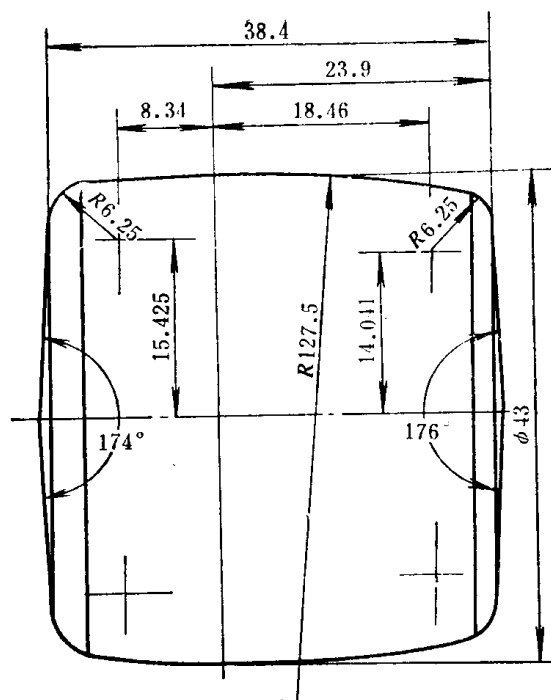


图1-3 轧制的圆锥滚子

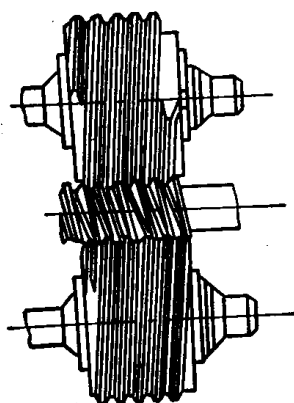


图1-4 复杂外形实心件轧制

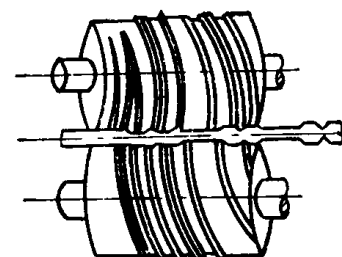
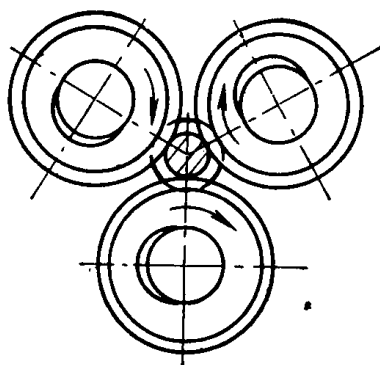


图1-5 复杂外形制坯类轧制

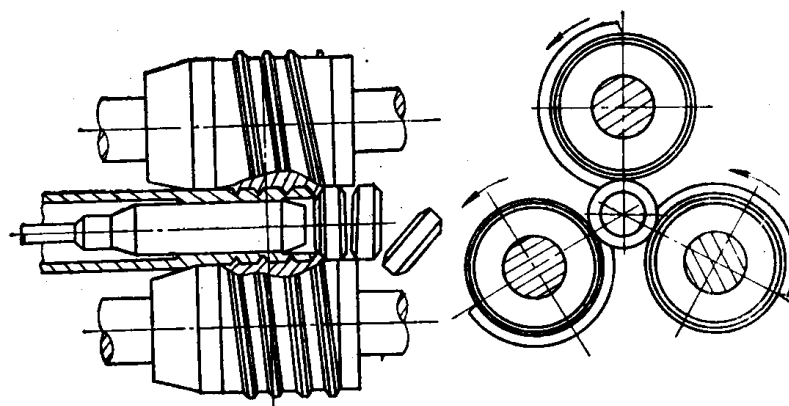


图1-6 光环件的轧制

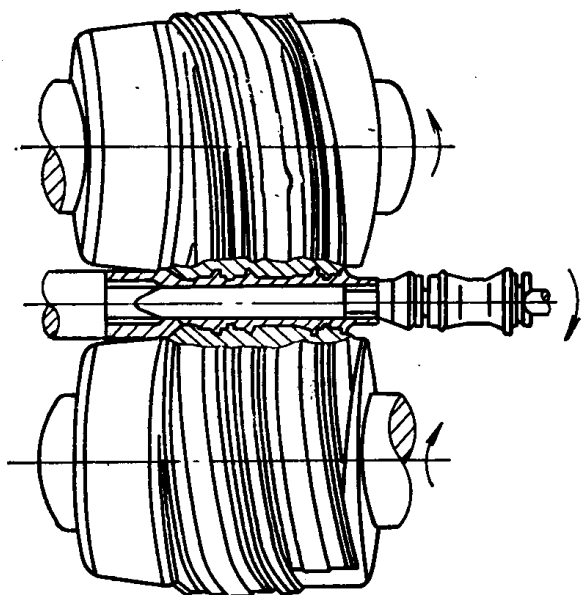


图1-7 异形环类件的轧制（固定芯棒）

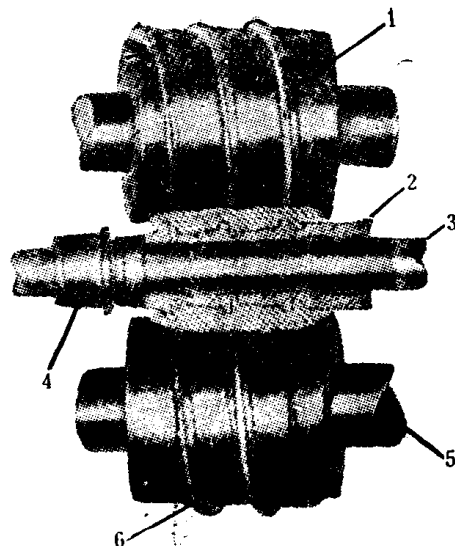


图1-8 异形环类件的轧制（浮动芯棒）

1—轧辊 2—管坯 3—浮动芯棒 4—成形的轧件
5—轧辊轴 6—孔型凸棱

环类零件的螺旋孔型斜轧已能生产直径 $\phi 40 \sim 110$ 毫米的零件，所用轧辊直径为 $\phi 200 \sim 1300$ 毫米，轧辊转数为 $70 \sim 345$ 转/分。

图1-5为复杂外形制坯轧件。因为它生产的轧件是以后进一步压力加工的粗坯，所以称之为制坯轧制。

螺旋孔型斜轧热轧时，尽管用的加热方式不同，若不采取防氧化措施，总会产生一定厚度的氧化皮和 $0.1 \sim 0.2$ 毫米的脱碳屑，这将使轧制零件性能降低和尺寸精度降低，表面质量也不好。故这些年来开展了冷轧的研究，有的并已投入了生产。

如可以用能承受轧制力15吨力、轧制扭矩375公斤力·米、轧辊倾角 $0^\circ \sim 7^\circ$ 、轧辊轴向调节量为 ± 7 毫米的轧机冷轧直径为 $\phi 6 \sim 10$ 毫米的柱状类零件。还有专门供冷轧用的斜轧设备。轧件直径为 $\phi 1.5 \sim 4$ 毫米的滚子，设备的主电机2.8千瓦，有三个轧辊转速：150、175、195转/分。

在轧制异形环类件时，送入成形轧机的坯料为管料。这类管料可以直接从冶金厂订购，也可以自己穿制。但都必须先后使用两台主轧机——穿管机和成形轧机。现在国外已开始研究一步成形法，即在一副轧辊上同时完成穿管和成形轧制，如图1-9所示。

这种轧制方法，虽然有其特点，但轧辊是由穿孔和成形两种轧辊复合而成。成形轧制要求有一定的轧辊倾角，轧辊每转一转要轧出一个轧件，这就要求在穿管的前半个轧辊中，每转一转管料向前运动一个螺距的金属体积应等于一个轧件的体积。少了，轧件成形不良；多了，孔型内容纳不了，使轧制不能正常进行。

调整穿管管料前进螺距最活跃的因素是轧辊倾角，但这一倾角又恰是成形轧辊的倾角，所以，要想使穿管和成形两者在金属流出秒体积方面相协调，就应仔细设计轧辊，使穿管和

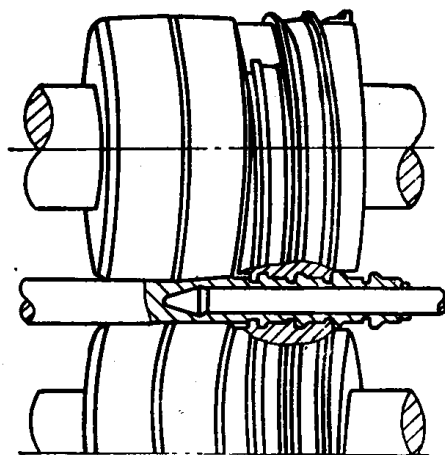


图1-9 异形环类件一步成形轧制

成形两部分能很好的协调平衡。

现在还有三辊式斜轧机用以斜轧异形回转体实心件和空心件的工艺。因为利用三个轧辊,即可减小轧件轧制中的切向变形,毛坯中心的应力状态有所改变,再配合以合理的工艺参数,坯料内部的脆性破坏趋势将减小。

2. 轧制零件的机械性能

螺旋孔型斜轧时,一般变形速度较高、变形比较大,故容易改变轧制零件的机械性能,如金属塑性的提高,晶粒度减小,其他机械性能也相应有所提高,如疲劳极限,螺旋孔型斜轧制件比锻造制件提高5~6%以上,冲击韧性比原始材料提高15~20%以上。

轧制件和棒料切削件的机械性能的比较见表1-1。

表1-1 轧制件和切削件机械性能

试样制造方法	机 械 性 能				
	σ_T (公斤力/毫米 ²)	σ_b (公斤力/毫米 ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	HB
轧 制	40.6/42.3	73.7/72.8	21.0/21.6	44.0/45.5	196
轧制后机械加工	43.4/40.3	74.0/71.7	13.0/17.6	47.0/47.7	181
切 削	37.0/38.0	72.8/73.2	17.0/20.0	37.1/31.3	190

注:分子为试样的厚壁部分,分母为试样的薄壁部分。

疲劳弯曲时的疲劳极限值如下:

轧 件

$$\sigma_{-1} = 3600 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

轧制后机械加工

$$\sigma_{-1} = 3750 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

切 削

$$\sigma_{-1} = 3300 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

图1-10为试样的疲劳极限曲线。

3. 轧件精度

螺旋孔型斜轧的轧件具有较高的尺寸精度和较小的加工余量。

螺旋孔型斜轧工艺生产的球类零件,直径精度极限为0.2~0.3毫米;轧件椭圆度相当小,几乎测量不出来;加工余量单边为0.5~0.8毫米左右,比锻造制件加工余量小约15~20%左右。

实际生产中,螺旋孔型斜轧生产的钢球的尺寸精度统计见表1-2。

对于直径 $1\frac{1}{16} \sim 1\frac{3}{8}$ 英寸的轴承钢球用螺旋孔型斜轧方法制造,金属消耗量可降低10~15%左右,对于 $1\frac{1}{16} \sim 2$ 英寸的大钢球,用螺旋孔型斜轧方法制造,可节约金属消耗约20~25%左右。

(1) 一般环形件的尺寸精度

对于环类轧制件,一般端面斜锥角小于 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。批量生产中重量超差不超过8~10%。大部分毛坯的重量是在5~6%的波动范围内。一般的壁厚差不大于10%,其椭圆度不大于1~1.5%,径向单边加工余量0.7毫米左右。这样,单在切口上就可节约金属10~12%左右。

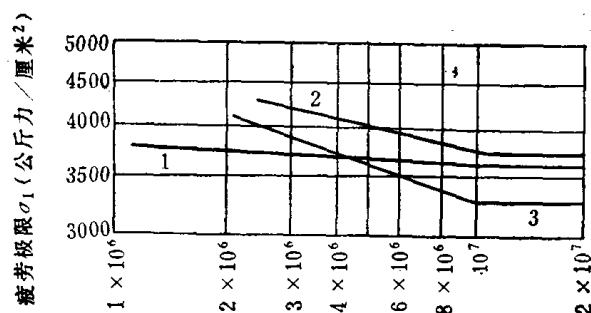


图1-10 疲劳极限试验曲线

1—轧件未进行机械加工 2—轧制后进行机械加工
3—切削件

表1-2 实际生产中轧制钢球已达到的精度

钢球公称尺寸 (英寸)	毛坯的公称尺寸 (毫米)		公 差 (毫米)				单边加工留量 (毫米)	棒料直径 (毫米)	成品直径 (毫米)	磨 削 余 量	
			直 径		椭 圆 度					模 锻	轧 制
	模 锻	轧 制	模 锻	轧 制	模 锻	轧 制					
1	—	26.35	—	+ 0.2	—	—	0.48	25.5	—	—	—
1 ¹ / ₁₆	28.19	28.00	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.51	27.50	26.988	0.601	0.506
1 ³ / ₃₂	28.98	28.88	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.51	28.20	27.781	0.599	0.548
1 ¹ / ₈	29.88	29.70	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.57	29.00	28.575	0.702	0.612
1 ³ / ₁₆	—	31.36	—	+ 0.2	—	—	0.60	30.60	—	—	—
1 ¹ / ₄	33.15	32.90	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.60	32.20	31.750	0.700	0.675
1 ⁵ / ₁₆	34.74	34.40	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.60	33.50	33.338	0.701	0.581
1 ⁵ / ₈	36.33	36.00	+ 0.4	+ 0.2	0.16	0.16	0.60	35.20	34.925	0.702	0.532
1 ¹³ / ₃₂	—	37.00	—	+ 0.2	—	—	0.61	36.20	—	—	—
1 ⁷ / ₁₆	40.00	37.80	+ 1.0	+ 0.2	1.0	0.16	0.63	37.00	36.513	1.743	0.743
1 ¹ / ₂	41.50	39.30	+ 1.0	+ 0.2	1.0	0.16	0.63	38.30	38.100	1.700	0.600
1 ⁵ / ₈	44.50	42.70	+ 1.0	+ 0.2	1.0	0.20	0.72	41.60	41.275	1.612	0.862
1 ¹¹ / ₁₆	46.50	44.40	+ 1.0	0.3	1.0	0.20	—	—	42.862	1.816	0.789
1 ⁶ / ₁₁	—	44.40	—	0.2	—	—	0.77	43.50	—	—	—
1 ³ / ₄	—	46.10	—	0.2	—	—	0.83	45.20	—	—	—

(2) 异形环状件的尺寸精度

一般的螺旋孔型斜轧生产的异形环状件，其外径公差0.6毫米左右；椭圆度0.2毫米左右；长度方向的公差不大于0.9毫米。加工余量，内表面较大，单边为1.5毫米。这样高的尺寸精度，可使其加工余量比锻造减小1.5倍。

因外表面结疤而致伤的产品不超过0.3%，内径上因结疤而致伤的产品不超过0.9%。

通过以上生产中统计的数字分析可知，螺旋孔型斜轧件机械性能较高，尺寸精度也较高。

螺旋孔型斜轧很容易实现机械化、自动化生产，生产率极高，而且无振动、无噪声等公害，改善了劳动条件，减轻了劳动强度。因而可以说，螺旋孔型斜轧是一项符合锻压工艺发展方向的少无切削的先进工艺。

二、螺旋孔型斜轧时金属的成形过程

螺旋孔型斜轧时金属的成形过程是将加热的坯料沿轧辊轴向送入螺旋辊间，坯料被咬入到一对（或三个）同向旋转的轧辊内，用导板使坯料限制在轧制位置上，由于轧辊螺旋孔型与芯棒（轧制环状件时）间的压缩作用，坯料沿固定芯棒呈螺旋式前进，同时被压缩成所要求的形状和尺寸的轧件，轧件由连皮连成一串或呈单个形式。其轧制变形过程见图1-11。

金属在螺旋孔型中逐步被压缩的过程见图1-12。

图1-12中的1、2、3、……9是轧件每转一转轧辊螺旋凸棱的压下顺序。

从金属塑性变形的角度看，螺旋孔型斜轧空心的回转体类零件时，其金属的变形可分为三个阶段：

1. 用螺旋孔型轧辊的咬入锥部咬入坯料；

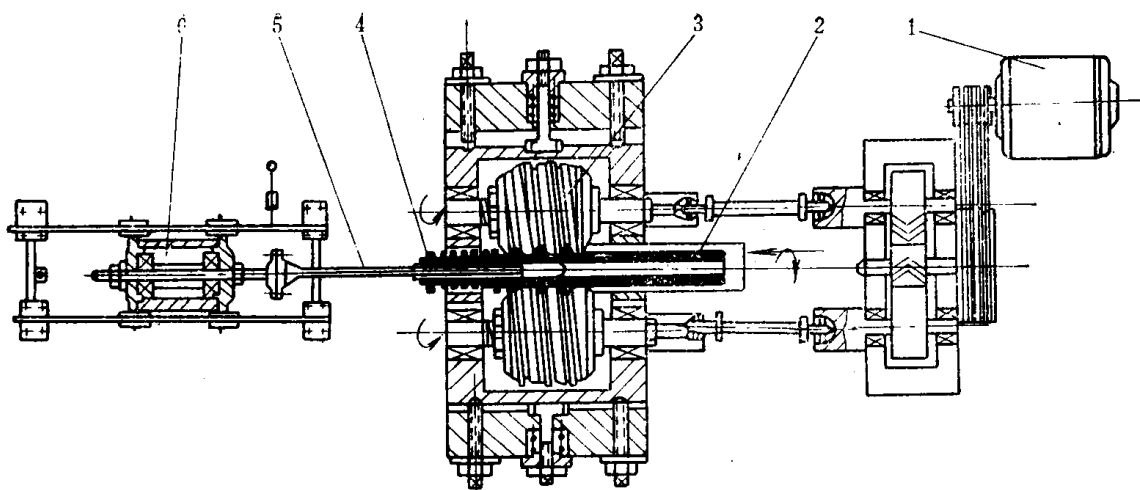


图1-11 圆锥轴承内环轧制变形过程示意图

1—电动机 2—管坯 3—轧辊 4—轧件 5—顶杆 6—小车

2. 在成形段孔型内，在轧辊、芯棒和导板的作用下，使坯料成形；

3. 在孔型精整段，精整、轧准轧件的形状和尺寸，并消除轧件在成形段孔型内形成的椭圆度以及压缩两零件之间的连皮，使之达到设计要求的厚度。如为切断轧制，此段孔型还有进一步切离轧件和精整轧件端面的作用。

轧件在轧辊咬入锥部被咬入时，只是其径向受到压缩，使其沿轴向延伸和因切向变形而引起的椭圆。坯料被轧辊的成形孔型段咬入之后，金属在轧辊孔型凸棱的复杂作用下，使坯料金属处在很复杂的应力应变状态下，金属产生剧烈而复杂的变形过程。金属除因孔型凸棱径向压缩使金属沿轴向剧烈的流动外，还在孔型壁的作用下，沿径向和切向剧烈流动。由于轧辊凸棱径向压缩金属，

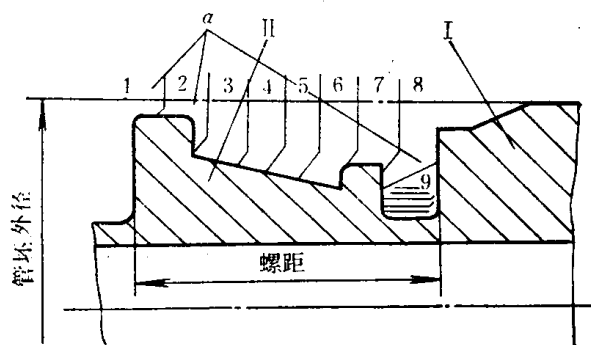


图1-12 轧件成形过程示意图

I—管坯 II—轧件 α —轧辊成形角

但孔型壁限制金属轴向的自由流动，很大的切向变形使轧件变成椭圆。随着轧辊的旋转，压下量逐步减小，轧件又呈整圆形，到精整段孔型内，压下量已经很小，孔型只对轧件起到精整的作用。所以，经精整段孔型后，轧件终于变成圆形而轧出，也就是说，坯料在整个螺旋孔型斜轧的过程中，金属有径向、轴向和切向的流动，反映到轧件外形上，除将坯料轧制成所要求的形状和尺寸的轧件外，在轧制过程中轧件还将因两辊的压下作用而变椭圆，而且椭圆的长短轴在轧件的旋转过程中交替反复多次变化，最后轧制成形，此时已消除或大大减轻了椭圆度。

从以上的分析可以看出：螺旋孔型斜轧过程中，轧件一边旋转、一边成形、前进，即轧件一边成形、一边呈螺旋式前进。

坯料往轧辊内的进给速度，等于轧辊出口金属速度除以轧制时的坯料轴向延伸系数和轴向滑动系数。

三、坯料的咬入条件

螺旋孔型斜轧时坯料被旋转着的轧辊咬入，接着进入到刻有与产品形状和尺寸相适应的螺旋孔型中，坯料一边被径向和轴向压缩，一边呈螺旋式前进，直到轧出合格的产品。

为了保证得到要求的形状和尺寸、良好的表面质量、没有内部破坏的零件，就要保证在轧制过程中，变形的金属连续的咬入到孔型中去。当金属滞后于轧辊凸棱，则零件充填不满或有表面缺陷，如压印等。保证轧制正常进行的第二个重要条件是在孔型中的金属量不变，如果在孔型开始段咬入金属量大于零件体积，那么过剩的金属量将导致金属内部的破坏、表面折迭和内部孔隙等。

从以上叙述可以看出：螺旋孔型斜轧时，坯料的咬入可分为两个咬入过程：

1. 坯料在轧辊的咬入锥形段被咬入，使坯料径向受到压缩，由此所产生的轴向分力使坯料向轧辊的孔型段内运动；

2. 坯料被孔型部分轧辊咬入。

金属咬入必须满足以上两个条件才能得到合格的零件。

现在分别讨论坯料在各咬入段的咬入情况和导出咬入条件。

要实现轧制过程和得到合格的零件，必须在轧辊的锥形咬入段顺利的咬入坯料，使坯料以相应的速度（即每单位时间进到孔型中所要求数量的金属体积）进到孔型中去，因而在轧辊锥形段必须有使轧件向轧辊内运动的足够的力才可以实现。现在从作用力的观点进行讨论。

设初始作用在坯料上的推力为 Q （图 1-13），当坯料和轧辊接触时，产生了垂直轧辊表面的压力 N 及摩擦力 T ，根据力平衡条件，全部力在穿管轴方向上的投影之和等于 0，即

$$\frac{1}{2} Q - N_x + T_x = 0 \quad (1-1)$$

式中 Q ——外推力(公斤力)；

N_x ——一个轧辊正压力在穿孔轴上的投影(公斤力)；

T_x ——一个轧辊摩擦力在穿孔轴上的投影(公斤力)。

作用在轧辊切点上的正压力 N 垂直于轧辊进口锥母线并位于通过切点和轧辊轴之平面中。

正压力在轧辊轴上的投影

$$N_1 = N \sin \alpha_1$$

该力在穿孔轴方向上的投影

$$N'_1 = N \sin \alpha_1 \cos \beta$$

正压力在垂直于轧辊轴线之分力

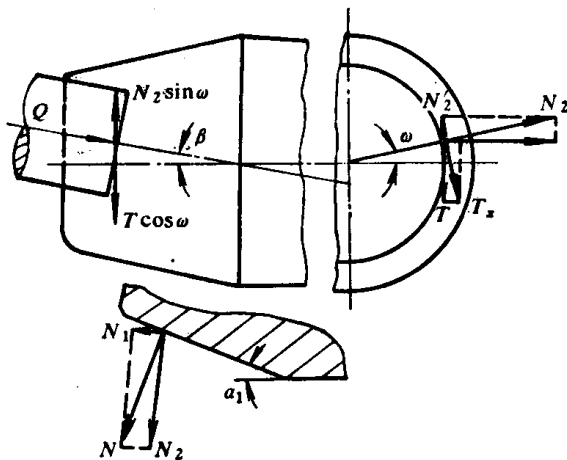


图 1-13 轧辊锥部作用于金属上的力示意图

$$N_2 = N \cos \alpha_1$$

它在穿孔轴方向上之投影

$$N'_2 = N \cos \alpha_1 \sin \beta \sin \omega$$

作用在一个轧辊上之正压力在穿孔轴线上的投影决定于 $N'_1 + N'_2$ 之总和。

$$N_x = N (\sin \alpha_1 \cos \beta + \cos \alpha_1 \sin \beta \sin \omega)$$

式中 α_1 —— 轧辊锥形部分母线锥角；

β —— 轧辊轴与轧件轴之间夹角；

ω —— 正压力垂直于轧辊轴之分力方向与轧辊之间的夹角。

切于轧辊与金属接触点处圆周上作用的摩擦力

$$T = \mu N$$

式中 μ —— 摩擦系数。

摩擦力在穿孔轴上之投影；

$$T_x = T \cos \omega \sin \beta = \mu N \cos \omega \sin \beta$$

将 N_x 、 T_x 代入式 (1-1) 中，得

$$Q = 2N (\sin \alpha_1 \cos \beta + \cos \alpha_1 \sin \omega \sin \beta - \mu \sin \beta \cos \omega)$$

若不加外推力就能顺利咬入时，必须

$$\sin \alpha_1 \cos \beta + \cos \alpha_1 \sin \omega \sin \beta - \mu \sin \beta \cos \omega \leq 0$$

实际上，角度 α_1 和 β 很小，所以

$$\cos \alpha_1, \cos \beta \approx 1$$

角度 ω 亦很小，经数学变换后可得

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta} + \sin \omega \leq \mu \quad (1-2)$$

就是说，能充分满足公式 (1-2) 方能在无外推力的情况下，顺利咬入毛坯。

从公式 (1-2) 可以看出：凡是能增大公式 (1-2) 中 μ 值的因素均有利于咬入，同样，凡是减小公式 (1-2) 左边部分的因素也有利于坯料的咬入。

但是，一般热轧时

$$\mu = 0.2 \sim 0.4$$

当不加外推力时，角度 α_1 减小，有利于满足公式 (1-2)，就有利于坯料的咬入。当增大角度 β 值，从公式 (1-2) 看出可以增大坯料的咬入能力，但 β 值增大时，轧件前进速度增大，从而又降低了外摩擦系数 μ ，这又不利于坯料的咬入，所以，借增大角度 β 值改善坯料的咬入条件是有一定限度的。

故从变形作用力的观点看，实现坯料的顺利咬入，最有效的方法是减小角度 α_1 值和增大外摩擦系数 μ 值，或加以外推力 Q 。使用外

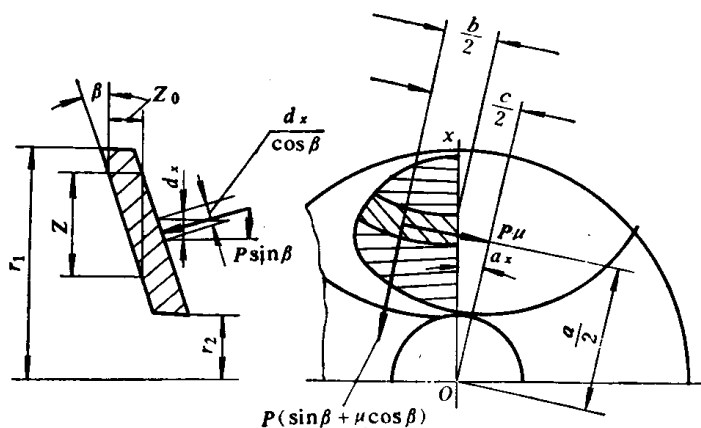


图1-14 凸棱咬入毛坯的条件

推力时,坯料在接触轧辊时有冲击作用,使在高温下具有良好塑性的坯料金属被“碰扁”(使坯料直径减小),从而使角度 ω 减小,从公式(1-2)可以看出,亦有利于坯料金属的咬入。由此可以得出:当增大轧辊直径和坯料直径之间的比例时(即增大轧辊直径,减小坯料直径),亦有利于坯料的咬入。

从以上的叙述可以看出:当只有一定的压下量,从而产生一定的轧辊对金属的压力时,坯料的咬入才成为可能。

下面讨论坯料金属在螺旋孔型中的咬入情况。

因等高或渐高凸棱的螺旋孔型轧辊把毛坯金属咬入到螺旋孔型之内。在有螺旋孔型咬入并轧制坯料金属时,坯料金属有轴向压下量。这种轴向压缩是由轧辊上等高或渐高的螺旋凸棱造成的(图1-12)。

在作径向极限压缩量的结论时,根据坯料所受扭矩平衡条件,可以写出下面的关系(见图1-14)。

$$\int_{r_2}^{r_1} p \mu b_x a_x \frac{dx}{\cos \beta} \geq \int_{r_2}^{r_1} p (\sin \beta + \mu \cos \beta) b_x c_x \frac{dx}{\cos \beta} \quad (1-3)$$

式中 p ——金属作用于轧辊的单位压力(公斤力/毫米²);

b_x ——金属和轧辊单元接触面的宽度(毫米);

β ——轧辊工作表面上母线斜角(度);

μ ——金属和轧辊间的摩擦系数;

r_1 、 r_2 ——被压缩部分毛坯的最大和最小半径(毫米);

x ——单元面积离开毛坯轴线的距离(毫米);

$$a_x \approx 2x \cos \alpha_x, \quad \cos \alpha_x \approx \sqrt{1 - \frac{b_x^2}{(A - 2x)^2}},$$

$$c_x = b_x + 2x \sin \alpha_x, \quad \sin \alpha_x \approx \frac{b_x}{(A - 2x)},$$

A ——两轧辊之间的距离(毫米)。

光辊斜轧时,金属和轧辊接触面的宽度

$$b = \sqrt{\frac{D(Zd + 2Z^2)}{\psi(D + d + 2Z)}}$$

再考虑到上述关系,则接触面宽度可用下式表示:

$$b_x = \sqrt{\frac{(A - 2x)(Zx + Z^2) \cdot 2}{\psi(A + 2Z)}}$$

式中 Z ——毛坯每半转的压缩量(毫米)。

将全部数值代入式(1-3),则可得决定轴向极限压下量的展开方程。积分此式将得到非常复杂的、而且是不能解的方程式。

为了简化问题,考虑到 Z 比 A 和 x 之值小得多,可以不计 Z^2 ,并认为 $A + 2Z \approx A$ 。

此时,式(1-3)便成为

$$\mu \sqrt{2Z\psi A} \int_{r_2}^{r_1} x \sqrt{(A - 2x)x} dx \approx (\sin \beta + \mu \cos \beta) AZ \int_{r_2}^{r_1} x dx$$

因而

$$Z = \frac{\mu^2 \psi}{(\sin\beta + \mu\cos\beta)^2} \cdot \frac{2}{A} \left[\frac{\int_{r_2}^{r_1} x \sqrt{(A-2x)x} dx}{\int_{r_2}^{r_1} x dx} \right]^2$$

积分分子得复杂的公式，不能供实际计算之用。

考虑到 $(A-2x) = D$ (轧辊直径) 常比 x 大得多，则 $(A-2x)$ 可写成

$$A-2x \approx A-2x_{\text{平}} = A-(r_1+r_2) = \text{常数}$$

积分后可得

$$Z = \frac{\mu^2 \psi}{(\sin\beta + \mu\cos\beta)^2} \cdot \frac{2[A-(r_1+r_2)]}{A} \left[\frac{4(r_1^2\sqrt{r_1}-r_2^2\sqrt{r_2})}{5(r_1^2-r_2^2)} \right]$$

令 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{d_1}{d_2} = \lambda$ ，并考虑到 $Z_0 = Z \tan\beta$ ，则得

$$\frac{Z_0}{d_2} = \frac{\mu^2 \psi \tan\beta}{(\sin\beta + \mu\cos\beta)^2} \left(1 - \frac{d_1+d_2}{A} \right) \left[\frac{4\lambda^2\sqrt{\lambda}-1}{5(\lambda^2-1)} \right]$$

采用下列符号：

$$K_1 = \left(1 - \frac{d_1+d_2}{A} \right) \left[\frac{4\lambda^2\sqrt{\lambda}-1}{5(\lambda^2-1)} \right] \quad (1-4)$$

$$K_2 = \frac{\mu^2}{(\sin\beta + \mu\cos\beta)^2} \quad (1-5)$$

此时在毛坯每半转之内轴向极限压缩量可按式确定：

$$\frac{Z_0}{d_2} = \psi \tan\beta K_1 K_2 \quad (1-6)$$

为了计算方便，根据式 (1-4) 和 (1-5) 在图1-15上作出计算图表。

可以看出： $\frac{Z_0}{d_2}$ 值也是不大的。必须满足式 (1-6) 才能咬入。

理论上讲，轧制时调整辊距（其本质是控制咬入压下量）就是为了要满足以上方程式。

从上述可知，为了实现顺利的咬入，轧辊锥形部分必须具有较小的母线锥角 α_1 ；有较大的外摩擦系数 μ ；有适当的轧辊倾角 β ；控制咬入压下量，既不能过小，又不能过大而超过极限值。为了实现顺利咬入，必要时应加以外推力 Q 。

如钢球轧制，在坯料刚接触到孔型的凸棱时，坯料仅在径向受到压缩，此时接近坯料端部的外侧面出现金属的堆集，随着凸棱压缩金属使其直径减小并沿轴向流动。这时凸棱宽度的变化应该与连接颈的延伸相适应，否则，连接颈将受到压缩或者拉伸。

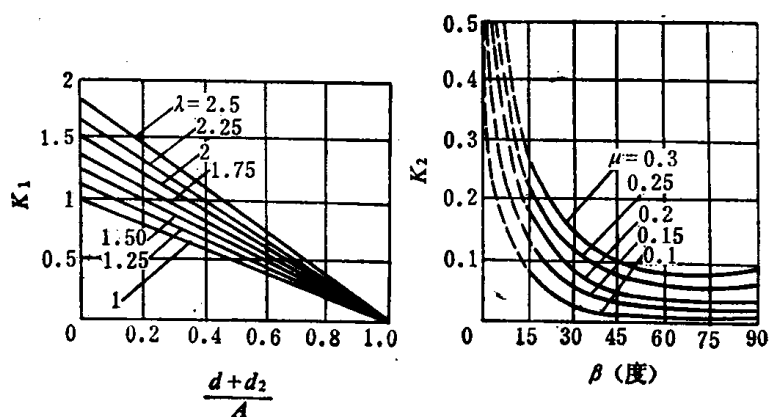


图1-15 确定系数 K_1 、 K_2 的图表

我们已经明白，在螺旋孔型中零件的成形主要靠轧辊凸棱对旋转着的坯料逐渐地给以压下量来保证。坯料每半转内允许的最大压下量主要取决于坯料的咬入条件。所以，坯料的旋转应该是使作用于坯料上的扭矩平衡。

坯料上作用有如下的力矩（参见图1-14）：

$M_1 = P\mu a$ ——使坯料旋转的摩擦力矩；

$M_2 = PC$ ——作用于坯料上的正压力引起的力矩；

$M_{\text{导}}$ ——坯料与导管或导槽之间摩擦力所产生的力矩；

$M_{\text{惯}}$ ——坯料的惯性力矩。

为保证坯料的咬入和旋转，应该满足以下条件：

$$M_1 \geq M_2 + M_{\text{导}} + M_{\text{惯}}$$

M_1 与 M_2 之间的比值取决于坯料每半转内的压下量值（ z ），这样，为了保证坯料的咬入，压下量不应超过允许值。

在稳定轧制过程中， $M_{\text{导}} = 0$ ，如果忽略 $M_{\text{惯}}$ ，那么，允许的压下量值也可由下式确定：

$$\frac{z}{d} = \frac{\mu^2}{\xi^2 \left(1 + \frac{d}{D} \right)}$$

式中 d ——轧制坯料直径（毫米）；

μ ——金属与轧辊间的摩擦系数；

ξ ——考虑坯料椭圆度的系数；

D ——轧辊直径（毫米）。

可以看出：随着摩擦系数和轧辊直径的减小及随着椭圆度的增大，坯料的极限压下量减小。在螺旋孔型中斜轧形状复杂的零件时，问题的解决就比较复杂。

在设计螺旋孔型斜轧工艺过程时，实际上就是要制定出合理的轧辊直径和坯料直径之间的比值，和孔型凸棱升高的激烈程度，后者保证正常的咬入条件和坯料在变形过程中的旋转。实验指出：在螺旋孔型中斜轧时，窄凸棱轧制相对地讲不容易使坯料产生内部破坏，不产生坯料内部破坏的临界压下量随着凸棱宽度的增加而减小。

试验证明，当 $\frac{a}{d_{\text{颈}}} \leq 1$ 时，坯料允许有很大的压下量和顺利的咬入。 a 为凸棱宽度， $d_{\text{颈}}$ 为连接颈直径。

螺旋孔型斜轧时，影响金属内部破坏的主要因素如下：

- （1）坯料每半转内的压下量；
- （2）孔型凸棱的宽度；
- （3）在坯料压缩部分的应力；
- （4）轧制温度；
- （5）轧辊旋转速度；
- （6）金属轴向流动的困难程度和孔型中是否具有过剩金属。

四、螺旋孔型斜轧时轧件的运动

螺旋孔型斜轧在轧制过程中，轧件呈螺旋式前进，即一边旋转，一边向前运动。

轧制时, 毛坯接触到轧辊的锥形段之后, 轧辊与坯料之间产生摩擦力, 在该摩擦力矩的作用下, 轧件获得旋转运动。同时由于轧辊对坯料轴线有倾角, 因而轧辊对坯料作用有轴向分力, 使坯料获得轴向运动。

在轧辊咬入锥部任一点上速度情况, 如图 1-16 所示。

假如轧辊与轧件的任意接触点为 B , 轧辊这一截面的圆周速度为 W_B , 该速度可分解出两个分量 V_B 和 u_B , 则

$$V_B = W_B \cos \beta = \frac{\pi D_B n_B}{60} \cos \beta \quad (1-7)$$

$$u_B = W_B \sin \beta = \frac{\pi D_B n_B}{60} \sin \beta \quad (1-8)$$

式中 V_B ——切于坯料旋转方向之分量 (毫米/秒);

u_B ——沿坯料轴向之分量 (毫米/秒);

D_B ——所讨论的金属与轧辊接触点处轧辊之直径 (毫米);

n_B ——轧辊每分钟转数 (转/分);

β ——轧辊轴与轧件轴之间的夹角 (度)。

在未接触到孔型壁之前, 如果不考虑轧辊与轧件之间的滑动, 则 u_B 即是轧件向前直线运动的速度; V_B 即为坯料旋转的切线速度。轧件因有 u_B 、 V_B 而呈螺旋式前进。

坯料被咬入到孔型中之后, 由于孔型壁的作用, 坯料金属有径向和轴向压缩, 高低不等的孔型壁对轧件的螺旋运动 (尤其是旋转速度) 的速度值虽有所影响, 但轧件螺旋运动的形式仍然不变。

坯料的实际进给速度等于轧辊出口金属的速度除以轧制时的轴向滑动系数和坯料的延伸系数。

当坯料被咬入到孔型中之后, 金属与孔型壁任一点相接触的部分, 一方面有旋转运动, 一方面有跟随由于相对于孔型壁这一点的空间位置向前运动而运动。也就是说, 坯料咬入初始阶段被“卡截”在孔型中的那部分金属, 由于轧辊的旋转作用而呈旋转运动; 同时, 由于孔型是呈螺旋式的刻在轧辊上, 这样, 被“卡截”在孔型中的那部分金属便“跟随”孔型沿轴向运动。当轧辊旋转完一圈之后, 被“卡截”在孔型中的那部分金属也“跟随”孔型经过了成形段孔型和精整段孔型, 这样, 螺旋式孔型即能轧出单个的回转体零件。

轧辊的孔型部分咬入坯料之后, 轧辊继续旋转, 孔型壁上的任一点向前运动的距离为螺旋孔型的一个螺距, 但这并非是轧辊孔型上的这一点实际向前运动, 而是指相对于孔型壁的

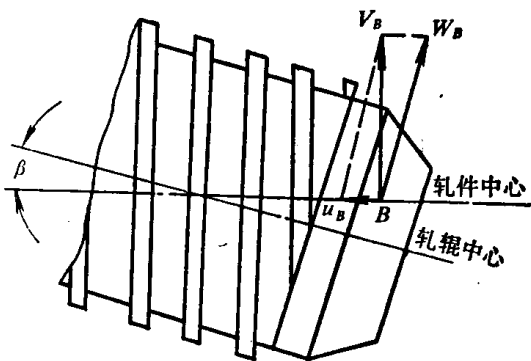


图1-16 轧辊咬入锥部任一点的速度图

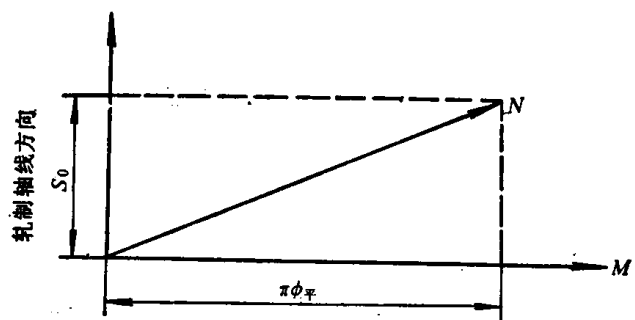


图1-17 孔型壁上任一点在轧辊旋转一圈中的运动轨迹展开图