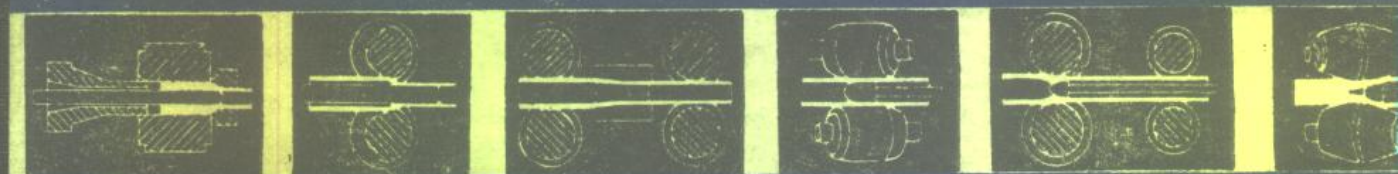
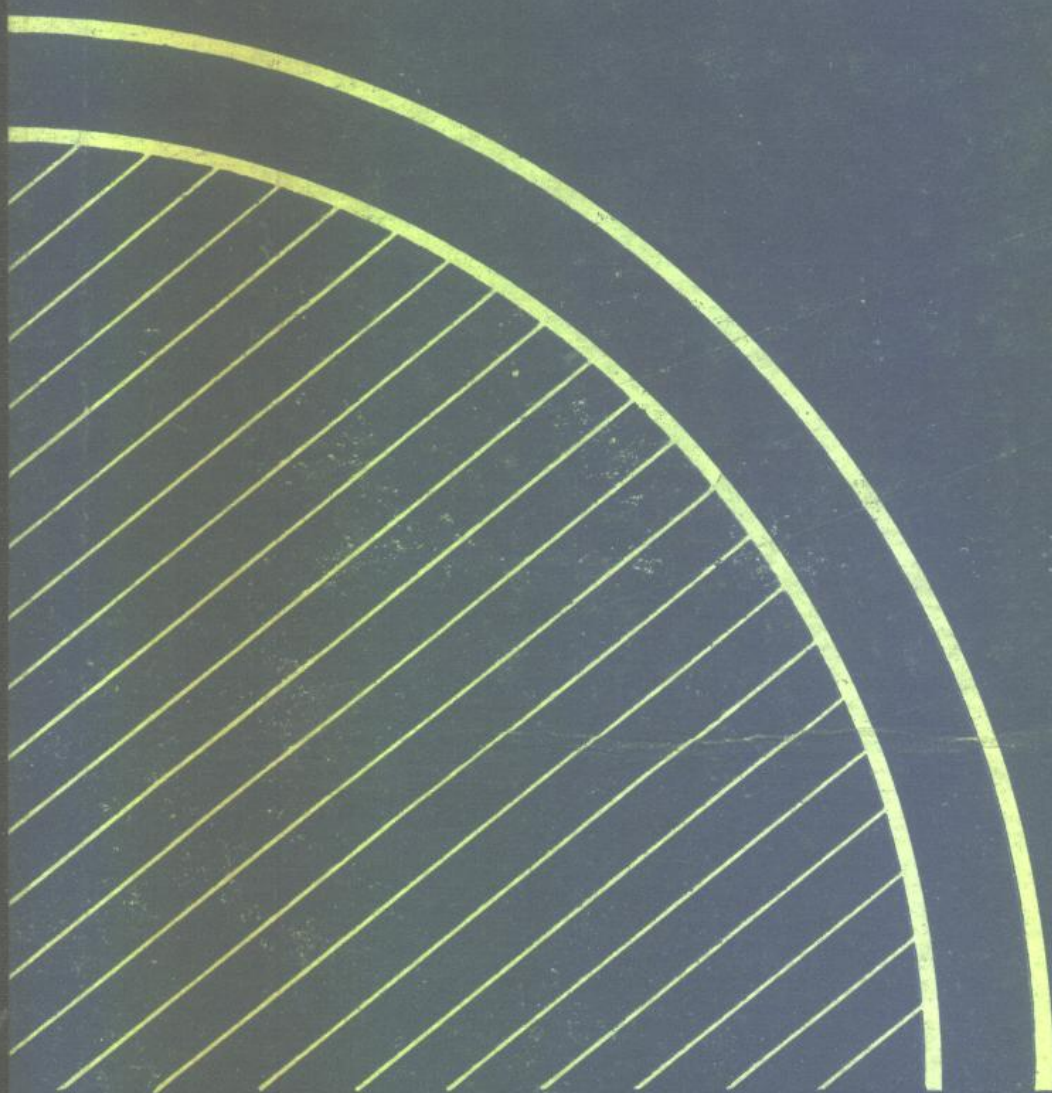


钢管塑性变形原理

下册



冶金工业出版社

钢管塑性变形原理

下 册

李连诗 韩观昌 邢维基 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

《钢管塑性变形原理》是在总结国内外有关技术资料的基础上编成的。书中较系统地介绍无缝钢管的塑性变形原理,并结合我国生产实际重点阐明生产发展和技术改造所应遵循的科学规律,力求理论为生产实践服务。

本书分上下两册出版。上册(已于1988年5月出版)内容为无缝钢管生产的一般工艺部分和热轧钢管的塑性变形理论。下册内容为钢管挤压、冷拔、冷轧以及旋轧的塑性变形理论。

本书供从事无缝钢管生产的工程技术人员学习和参考之用,也可做为大学金属压力加工专业研究生和高年级大学生的参考书。

钢 管 塑 性 变 形 原 理 下 册

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街尚硅谷30号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 31 1/2 字数 750千字

1989年4月第一版 1989年4月第一次印刷

印数00,001~2,100册

ISBN 7-5024-0349-3

TF·91 定价 18.35元

目 录

第七章 挤压钢管变形理论	1
第一节 在压力机上冲孔(穿孔)	1
第二节 压力机上冲孔时冲孔力的确定	4
第三节 压力机上冲孔时金属的流动	7
第四节 压力机上冲孔的毛管尺寸精度	10
第五节 钢管挤压方法的分类	11
第六节 挤压速度和热效应	13
一、挤压速度	13
二、挤压时的热效应	14
第七节 挤压钢管时的热过程	15
第八节 钢管正挤压时的金属流动	18
一、基本挤压阶段的应力和变形状态	18
二、基本挤压阶段的金属流动规律	20
三、各种因素对金属流动的影响	21
第九节 挤压钢管时力能参数的确定	24
一、确定挤压力的解析法	24
二、挤压力公式中一些参数的确定	30
三、其他计算挤压力的公式	32
四、作用在冲针和心棒上的应力计算	34
五、挤压钢管的能量消耗及挤压功率	34
第十节 挤压钢管的尺寸精度	35
第十一节 挤压钢管的润滑剂	36
一、润滑剂及使用效果	36
二、影响润滑效果的因素	39
第十二节 挤压工具及孔模受热	44
一、挤压工具	44
二、孔模受热及磨损	48
第十三节 挤压表的拟定及原料准备	50
一、挤压表的拟定	50
二、原料准备	52
第十四节 冷挤压和温挤压	53
一、冷挤压	53
二、温挤压	53
第十五节 液态挤压	54
一、液态挤压的特点	54
二、液态挤压的应力-变形状态	57
三、液态挤压的液体介质	57
四、液态挤压的应用范围及优缺点	57

第八章 冷拔钢管变形理论	59
第一节 拔管时的外力及应力状态	59
第二节 无心棒拔管过程的分析	61
一、变形过程和变形区	61
二、无心棒拔制后钢管直径的确定	63
三、无心棒拔制时的壁厚变化及均壁作用	66
四、无心棒拔制时的不均匀变形和管内的切向残余应力	73
五、无心棒拔制时钢管的稳定性	79
第三节 带心棒的拔管过程分析	79
一、短心棒拔制	80
二、长心棒拔制	89
三、游动心棒拔制	91
第四节 拉拔力及拔制应力的确定	97
一、影响拉拔力及拔制应力的主要因素	97
二、计算拔制应力的解析方法及公式	101
三、计算拉拔力的简化公式及经验公式	105
第五节 在流体动力润滑状态下拔管	107
一、流体动力润滑拔管过程的建立	108
二、润滑剂在压力管中的流动及润滑膜压力的计算	110
三、使用粒状肥皂时压力管尺寸的确定	115
第六节 带反拉力拔管原理	116
一、带反拉力拔管时的壁厚减薄	117
二、带反拉力拔管时不均匀变形的减小	117
三、单双模拔管的力能参数	119
四、带反拉力时固定拔模和可动拔模的拔管比较	120
第七节 冷拔异形钢管的变形及冷弯曲成型	121
一、等壁厚异形管的冷拔变形	122
二、异壁厚异形管的冷拔变形	130
三、螺纹管的冷拔变形	133
四、变断面管的冷拔变形	138
五、冷弯曲成型	139
第八节 超声波振动拔管原理	160
一、超声波振动的基础知识	160
二、磁致伸缩换能器的原理	169
三、在拔管中应用超声波振动的实际效果	184
四、超声波振动拔管的机理	185
五、超声波振动方式、方向及作用于变形区中位置的确定	190
六、拟定拔管超声振动的新结构	195
七、工业应用的超声波振动拔管的有关参数	198
八、声波反射机构的设计	200
九、超声振动对拔后管内残余应力的影响	200
十、带超声振动拔管机的动力学	202
第九节 卷筒拔管	203
一、卷筒拔管的特点	203
二、卷筒拔管时的管子压扁问题	205

三、卷筒拔管时弯曲力矩的计算	211
第十节 其他冷加工管的新工艺	211
一、带电冷拔钢管工艺	211
二、钢管的冷减径变形	213
三、滚模拔管	214
第九章 冷轧钢管变形理论	234
第一节 冷轧钢管时工作机架和轧辊的运动	234
一、工作机架的运动方程、速度和加速度	235
二、工作机架的空载行程和孔型空转部分的长度	238
三、轧槽和工作锥背部轮廓的对应关系	241
四、轧槽上孔型各点的速度	242
第二节 变形过程、变形量及变形次数	243
一、变形过程	243
二、变形量	245
三、变形次数	255
第三节 瞬时变形区的几何参数	256
一、瞬时变形区的变形量	256
二、瞬时变形区的边界线	259
三、接触面积	262
第四节 瞬时变形区中金属的轴向流动和滑移	264
一、确定金属轴向流动速度的一般方法	264
二、中性角和前后滑区	267
第五节 冷轧管过程的受力条件	275
一、金属作用在轧辊上的单位压力和总压力	275
二、轴向力	281
三、轧制力矩	290
第六节 金属的应力状态; 变形制度对钢管质量的影响	291
一、金属的应力状态	291
二、减径和减壁变形对钢管力学性能和表面质量的影响	293
第七节 二辊式冷轧管机工具的孔型设计	297
一、工具孔型的基本分析	297
二、压下部分孔型背部形状的确定	311
三、孔型设计举例	332
第八节 在多辊式冷轧管机上轧管	338
一、轧管过程及其特点	338
二、轧管过程的运动学	340
三、轧制压力	344
四、轴向力	345
五、轧辊沿支承板滚动的条件	350
六、工具孔型设计	353
七、杠杆系统的调整	355
第九节 钢管的温轧	357
一、不锈钢管温轧的加工温度	358
二、温轧时心棒和轧槽尺寸的变化	360
第十节 游动心棒轧制	362

第十一节 周期式冷轧管机的发展和轧制过程的强化	364
一、轧机的高速化	364
二、增大轧制周期中金属的前移量	367
三、发展多线冷轧管机	369
四、研制新结构的冷轧管机	370
第十二节 冷轧变截面钢管	371
一、锥形钢管的轧制	371
二、具有锥形过渡的钢管轧制	380
三、变壁厚钢管的轧制	381
第十章 旋转辗轧钢管变形理论	383
第一节 旋转辗轧钢管简介	383
一、发展简介	383
二、旋转辗轧钢管的基本过程	384
三、旋转辗轧钢管的特点	386
四、旋转辗轧工艺的发展近况	387
第二节 旋转辗轧过程中金属的变形特点	388
一、旋轧的送轧量和心棒运动方式对金属流动的影响	388
二、旋轧时管壁变形的不均匀性和残余应力的分析	391
第三节 旋转辗轧过程的受力分析	395
一、横断面压下量的分析和计算	395
二、接触表面积的计算	397
三、旋轧力的计算	399
四、工艺参数对旋轧力的影响	407
第四节 旋转辗轧过程的稳定性问题	409
一、旋轧过程中形成隆起的分析	409
二、旋轧过程中形成直径胀大的分析	415
第五节 旋转辗轧工艺参数对钢管精度的影响和工具设计原则	421
一、旋轧工艺参数对钢管精度的影响	421
二、旋轧工具的设计原则	429
第六节 滚珠旋转辗轧钢管的过程	432
一、变形工艺参数的选择	432
二、滚珠旋轧的产品精度及影响因素的分析	439
三、滚珠旋轧的受力分析	448
四、滚柱旋轧法	453
第七节 错距旋转辗轧时金属流动的特点	457
一、金属的径向和切向变形	457
二、金属的轴向流动	458
三、延伸条件	459
四、表面不平度的分析	461
五、金属的内部变形	463
第八节 旋转辗轧扩管	466
一、旋轧扩管时金属与轧辊接触表面积的确 定	466
二、旋轧扩管时金属的变形和应力状态	469
三、旋轧扩管的轴向力计算	473
四、工艺参数对轴向力的影响	479
五、旋轧扩管的工具设计	481

附录 法定计量单位及其换算表	489
参考文献	490

第七章 挤压钢管变形理论

第一节 在压力机上冲孔(穿孔)

为了获得空心毛管除了采用斜轧机和推轧机穿孔外,也可采用在压力机上冲孔。在压力机上冲孔的毛管有带杯底的和穿透的两种。挤压钢管车间使用穿透的毛管,其冲孔的操作程序如图7-1所示。加热到一定温度的实心坯料,出炉后先送到除鳞机上经高压水除鳞,然后送到压力机上冲孔,冲孔前要塗好润滑剂。

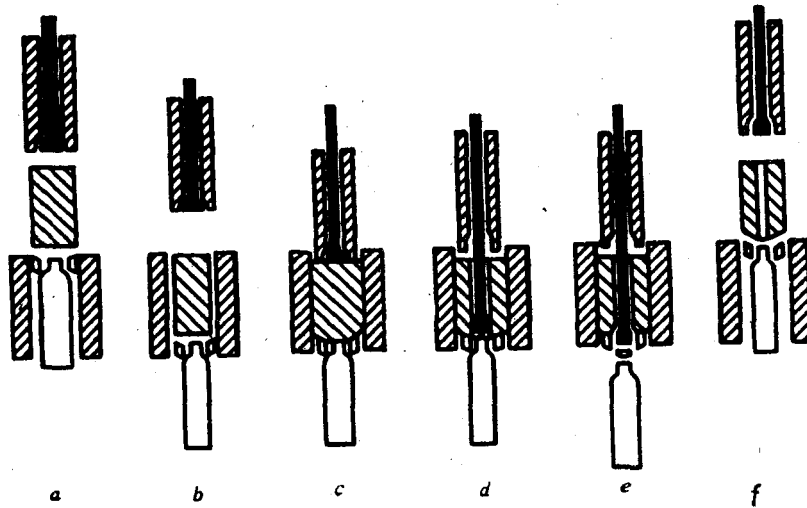


图7-1 在压力机上冲孔的操作程序

a—将坯料对准压力机轴线; b—送入冲孔筒中; c—加压力; d—冲孔; e—冲掉冲余; f—取出毛管

用冲杆(头)冲孔属于挤压变形过程。冲孔变形过程可分为开式和闭式两种。在开式挤压变形中金属流动方向不受限制,而在闭式挤压变形中金属流动方向仅限于轴向,因为其他方向受筒壁的限制。开式和闭式冲孔图示见图7-2。

开式冲孔多用于顶管机组和周期式轧管机组,使用的原料为方坯(连铸坯)或多边形钢锭。闭式穿透冲孔用于挤压机组。

方坯冲孔时挤出的金属刚好充满筒壁与坯料之间的自由空间。如果被冲杆挤出的金属少于自由空间体积则产生未充满;如果被挤出的金属体积大于自由空间则为过充满,这时将由开式穿孔过渡到闭式穿孔。

多边形钢锭冲孔时,一般开始阶段为开式冲孔,后期为闭式冲孔(增长冲孔)。

如果是开式冲孔(图7-2, a),则冲杆的横截面积刚好等于自由空间横截面积,所以金属流动仅发生在径向,坯料的高度不发生变化。对于不带圆角的方坯冲孔,关系式如下:

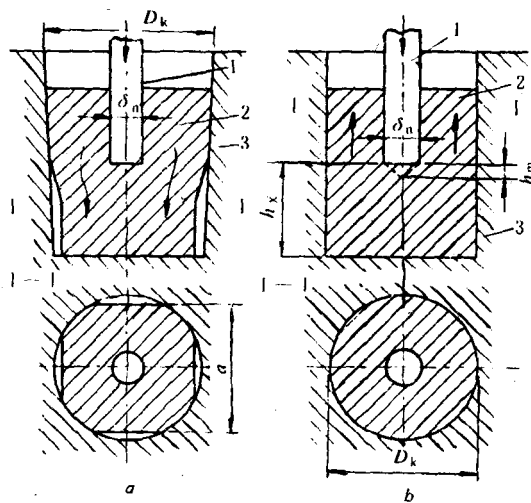


图7-2 压力机上冲孔图示

a—开式(充满)冲孔, b—闭式(增长)冲孔

1—冲杆; 2—坯料; 3—冲孔筒

$$\frac{\pi D_k^2}{4} = a^2 + \frac{\pi \delta_n^2}{4}$$

$$D_k = a\sqrt{2}$$

对于带圆角的(半径为 ρ)的方坯冲孔, 则关系式为

$$\frac{\pi}{4}(1.414a - 0.828\rho)^2 = a^2 - 0.86\rho^2 + \frac{\pi}{4}\delta_n^2$$

使用方坯冲孔时对准中心比较困难, 所以容易造成毛管有较大的壁厚不均。为了减小毛管壁厚不均, 方坯冲孔前首先要在定型机上定型, 压去四个尖角, 并沿坯料高度压出一定的锥度, 使之和穿孔筒壁紧密配合。

热挤压钢管的冲孔过程可分为三个主要阶段(见图7-3):

1) 金属反向流动(图7-3, a), 它发生在冲孔开始阶段;

2) 随着冲孔深度增加, 金属反向流动就困难了, 这是由于发生在坯料和筒壁以及冲杆之间接触摩擦力增加了。到一定时期, 最小变形阻力相当于金属流过底模孔或者同时在冲孔筒中反向流动;

3) 再以后, 由于来自冲孔筒壁的变形阻力足够大, 与此相关在筒中各角部都成为死区, 所以金属剪切代替了金属流动, 坯料不穿透部分被切掉(冲余)。

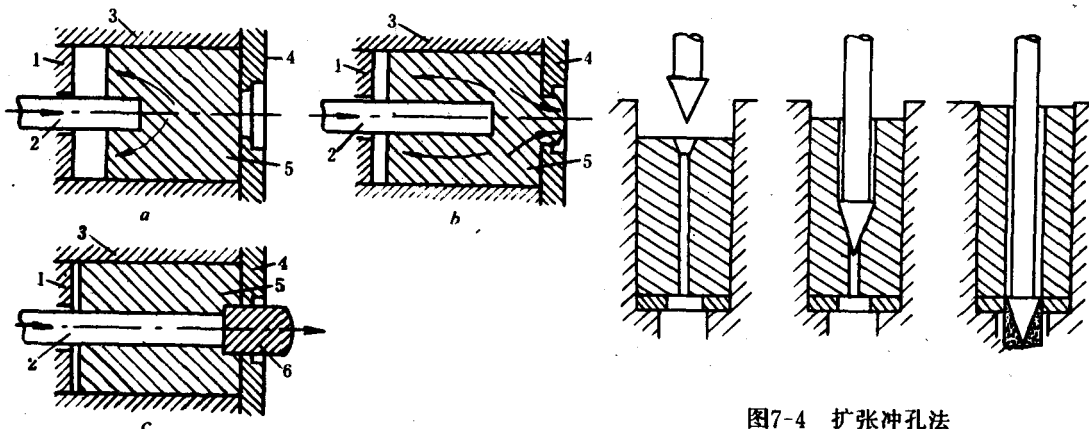


图7-3 穿透冲孔图示

a—金属反向流动；b—金属在冲孔底模中流动（和反向流动）；c—切掉坯料不穿透部分（冲余）
1—压模；2—冲杆（针）；3—冲孔筒；4—冲孔底模；5—坯料；6—冲余

图7-4 扩张冲孔法

挤压钢管车间广泛采用扩张冲孔法，如图7-4所示。此种方法是在坯料中心钻一个 $\phi 20 \sim 40$ 毫米导向孔（机加工），然后推压冲杆从导向孔中压过，将导向孔扩大并延伸毛管。此种方法因产量高、冲孔力低、成本低以及毛管壁厚精度高而得到了广泛使用。这种方法可以冲出较

长的毛管， $\frac{L_0}{D_0} = 12 \sim 13$ （ L_0 —毛管长度， D_0 —毛管外径），而采用穿透冲孔法 $\frac{L_0}{D_0}$ 一般在5左右。

当毛管内径大于150毫米时，采用这种方法不尽合理，因为导向孔直径增大而导致金属消耗增加。扩张冲孔法一般径孔的扩大一道次不超过5倍，延伸系数一般不大于1.45。实心坯冲孔时，延伸系数一般不超过1.6。

除了上述两种冲孔外，当毛管内径小于50毫米时，可采取直接钻孔，不再进行冲孔。

在冲孔中合理选择坯料与挤压筒内衬间的间隙值很重要，因为它影响着冲孔对中。冲孔时为了充满间隙首先产生微粗变形，这种变形无好作用应尽量减少。依坯料直径大小，间隙值对一般碳钢和合金钢波动在6~15毫米；而对不锈钢推荐取2~3毫米，同时还应考虑润滑层厚度，一般在1毫米左右。

对于扩张冲孔法，此间隙值的选择更应当小心，尽量取小值，因为它直接影响着导向孔对中。

为了毛管易从冲孔筒中取出和对中，冲孔筒应做成1:500的锥度。

冲孔时的延伸系数等于：

$$\mu = \mu_1 \mu_2$$

式中 μ_1 ——微粗（充满间隙时）的延伸系数， $\mu_1 = \frac{D_2^2}{D_{kc}^2}$ ；

$$\mu_2 \text{——冲孔的延伸系数, } \mu_2 = \frac{D_{\text{kc}}^2}{D_{\text{kc}}^2 - \delta_n^2};$$

D_{kc}, D_z, δ_n ——分别为挤压筒平均直径、坯料和冲杆的直径。

由式中可看出, $\mu_1 < 1$, 而 $\mu_2 > 1$ 。扩张冲孔的延伸系数按下式计算:

$$\mu = \frac{D_z^2 - d_z^2}{D_{kc}^2 - d_z^2}, \quad (d_z \text{——导向孔直径})$$

第二节 压力机上冲孔时冲孔力的确定

在充满冲孔中在冲杆前端下形成一个金属死锥, 冲孔力主要是消耗在克服死锥区和其他金属之间的滑移阻力, 单位滑移阻抗值为:

$$\tau = 0.58\sigma_n$$

式中 σ_n ——考虑变形速度和变形温度下金属拉伸时的屈服极限,兆帕。

对于碳钢

$$\sigma_n = 0.015(1400 - t)$$

对于含铬和锰的钢

$$\sigma_n = \frac{1.4 + C + Mn + 0.3Cr}{100} (1400 - t)$$

式中 t ——冲孔温度, $^{\circ}\text{C}$;

C、Mn、Cr——各元素含量的百分数。

充满冲孔作用力可按A.盖莱依公式计算。

坯料无圆角时在冲杆下死锥上的作用力分析如图7-5、7-6所示。在死锥上作用有单位压力 P_n 和单位摩擦力 S , $S = P_n f_b$ (f_b ——金属内摩擦系数)。

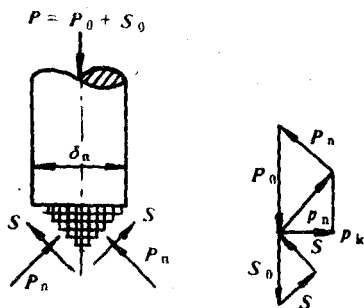


图7-5 死锥上的作用力

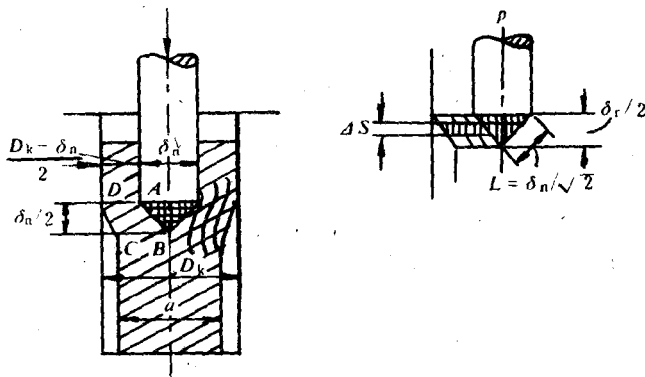


图7-6 冲孔作用力分析

在图7-6中死锥上取出厚度为 ΔS 一层, 在其上作用有 p_k 力, 当 P_k 力大于厚度为 ΔS 圆环断面上的内力($\Delta t \sigma_n$)时才能产生塑性变形(Δt —圆环截面积)。而 $ABCD$ 整个圆环断面变形所需的力为:

$$\sigma_n t = \left(\frac{\delta_n}{2} p_k \right) \frac{\delta_n}{2} = \frac{\delta_n^2}{4} p_k$$

变形所需的平均单位压力为:

$$p_k = \frac{4 \sigma_n t}{\delta_n^2}$$

$ABCD$ 的断面积(t)等于

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{D_k - \delta_n}{2} + \frac{a}{2} \right) \frac{\delta_n}{2} = \frac{1}{8} (D_k - \delta_n + a) \delta_n$$

对于充满冲孔, 由于

$$\frac{a}{\delta_n} = 1.18 \text{ 和 } \frac{D_k}{a} = 1.66$$

所以 $t = 0.26 \delta_n^2$

将 t 值代入上式, 则得:

$$p_k = \frac{4 \sigma_n \times 0.26 \delta_n^2}{\delta_n^2} = 1.04 \sigma_n$$

作用在死锥表面上的力

$$P_n = p_n \frac{\pi \delta_n}{2} \times \frac{\delta_n}{\sqrt{2}} = p_n \frac{\pi \delta_n^2}{2\sqrt{2}} = \frac{p_k}{0.7} \times \frac{\pi \delta_n^2}{2\sqrt{2}} \approx p_k \frac{\pi \delta_n^2}{2}$$

变形所需的外力

$$P_0 = \frac{P_n}{0.7} \approx 0.74 \pi \delta_n^2 \sigma_n$$

克服内摩擦力所需的外力

$$S_0 = P_n f_0 = 1.04 \sigma_n \frac{\pi \delta_n^2}{2} f_0$$

总的外力(即冲孔力)

$$P = P_0 + S_0 = 0.74 \pi \delta_n^2 \sigma_n + 1.04 \sigma_n \frac{\pi \delta_n^2}{2} f_0$$

取 $f_0=0.6$, 所以

$$P=4.2\sigma_n \frac{\pi \delta_n^2}{4}$$

坯料带圆角时, 根据几何关系可得:

$$P=12.7\sigma_n F_k$$

式中 δ_n ——冲杆(头)直径;

F_k ——冲孔的截面积,

$$F_k = \frac{1}{8}(D_{kc} - \delta_n + a)\delta_n$$

式中 a ——方坯边长;

D_{kc} ——冲孔筒平均直径,

$$D_{kc} = 0.87a + \sqrt{0.021a^2 + 0.4\delta_n^2}$$

分析A. 盖莱依公式得出, 穿孔无圆角坯料时的平均单位压力要比带圆角坯料时小得多^[1], 所以为了减小冲孔力应该使用带小圆角的方坯。冲孔时平均单位压力为195 ~ 245兆帕, 个别情况下可达295~345兆帕。方坯充满冲孔的冲孔力最小。

在闭式冲孔中冲孔力不仅要克服死锥和其他金属之间的滑移阻抗, 而且还要克服金属和冲杆、筒壁之间的摩擦阻力。为了减小摩擦力, 筒腔沿高度做成一定的锥度, 并且把冲头直径做成稍大于冲杆直径, 使得冲杆不和金属接触。

闭式冲孔中的冲孔力由冲孔过程两个阶段分别确定:

当坯料未冲孔部分的高度 h_k 大于死区高度 h_m 时(见图7-2b), 冲孔力实际上是不变化的, 单位压力用下式计算:

$$\frac{p}{\sigma_n} = 3 + 2 \left[\frac{1 - 0.85 \frac{\delta_n}{D_{kc}}}{1 - \left(\frac{\delta_n}{D_{kc}} \right)^2} \right]$$

当未冲孔部分已小于死区高度时, 冲孔力急剧增加, 这是由于变形性质改变了, 冲孔单位压力可用下面公式计算:

$$\frac{p}{\sigma_n} = 3 + 0.22 \frac{D_{kc}}{h_c}$$

式中 h_c ——冲孔毛管(杯形)底部厚度($h_c \leq h_m$)。

上面两个公式是И. Я. 特拉诺夫斯基用变分法导出的并经过了简化^[2]。

实际计算时死区高度 h_m 可取等于 $(0.3 \sim 0.4)\delta_n$, 已知单位压力 p , 则可按下式确定不同阶段的冲孔力:

$$P = 0.785\delta_n^2 p$$

p 和 δ_n/D_{kc} 比值的的关系由实验得出, 当 $\delta_n/D_{kc}=0.6 \sim 0.7$ 时单位压力 p 为最小。

文献(3)提出冲孔圆坯或方坯时的冲孔力按下式计算:

$$P = 0.26\sigma_n D_k \left(\ln \frac{D_k + \delta_n}{D_k - \delta_n} + 4.85 \ln \mu_0 \right)$$

式中 μ_0 ——冲孔时的延伸系数。

穿透冲孔的作用力由下式确定：

$$P = 0.785 \sigma_{ng} \delta_n^2$$

式中 σ_{ng} ——冲针上最大应力。

冲孔钢坯料时 σ_{ng} 按下式确定^[4]：

$$\sigma_{ng} = \frac{4\sigma_r}{\delta_n} \left[0.5 \frac{D}{\delta_n} (L_0 - a') + f_a \right]$$

式中 D ——底模孔直径；

L_0 ——穿孔后毛管长度，

$$L_0 = L_z \frac{D_z^2}{D_k^2}$$

D_z 和 L_z ——坯料原始直径和长度；

D_k ——冲孔筒直径；

f_a ——金属对冲针的摩擦系数；

a' ——坯料冲孔部分长度（相当于冲针上产生最大应力的时候），按图7-7确定。

扩张冲孔法的穿孔力可由下式确定：

$$P = \frac{\pi}{4} (\delta_n^2 - d_z^2) K_t \left(\frac{1}{\gamma} \ln \rho - \frac{\rho}{2} \ln \gamma \right)$$

式中 d_z ——钻孔（导向孔）直径；

K_t ——冲孔温度下金属的变形抗力；

$$\gamma = \left(\frac{\delta_n}{D_{kc}} \right)^2 ;$$

$$\rho = \frac{D_{kc}^2}{D_{kc}^2 - \delta_n^2} .$$

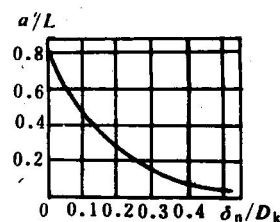


图7-7 确定 a' 值的图

第三节 压力机上冲孔时金属的流动

常用坐标网法和金相法来研究冲孔时的金属流动。图7-8为冲孔坯时金属纵剖面目视

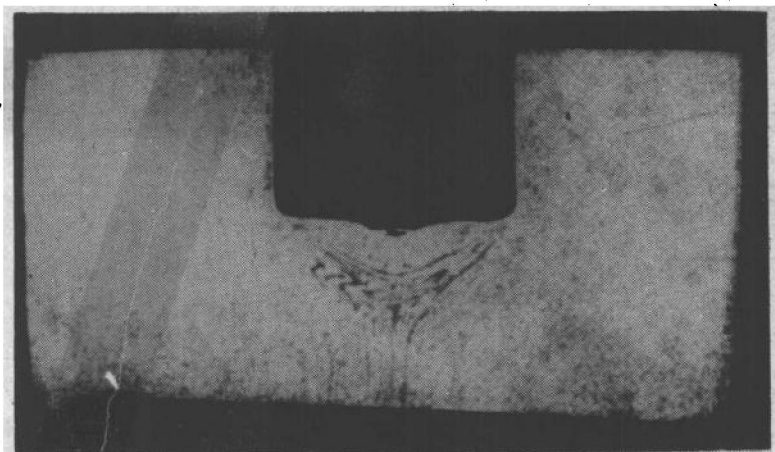


图7-8 冲孔坯纵剖面目视组织(10号钢)

组织(10号钢)。由图可看出, 在冲头下存在着一个“困难变形区”, 其形状为一个小的球面体或锥体。困难变形区大小由冲头形状和工艺润滑条件决定。

闭式冲孔作用力分析如图7-9所示。如同其他压力加工方法一样, 作用力有单元正应力 dN 和单元摩擦力 dT , dN 和 dT 分布情况见图7-9。

不同阶段的金属流动情况可由坐标网的变化来观察。在冲针开始压入金属的阶段, 在靠近冲头端面处金属产生剧烈的塑性变形(图中阴影部分), 其余部分金属几乎不参与变形。当穿孔达到一定深度后(用 h_{nz} 高度表示), 这个区(剧烈变形区)的形状和尺寸几乎不变化, 而且它和冲针一起做轴向移动, 冲孔力保持不变。这相当于过程的第一阶段, 这时 $h_x > h_m$ 。困难变形区的高度 h_m 由冲针端面上摩擦力值决定, 摩擦力愈大, 则 h_m 愈高, 不均匀变形程度也就愈大。因此, 润滑剂质量和冲针表面状态对变形状态有重要影响。与冲孔筒壁相接触的金属变形很小(见图7-10), 由图中坐标网的变化很小可以看出。比较大的变形发生在内表面与杯底相接的地方(图7-10③), 最大变形发生在冲针下剧烈变形区中。

由图7-10还可看出, 形成内表面的金属是连续的, 未产生破裂。就是在最剧烈变形的地方也未破裂, 这是因为闭式冲孔具有有利的应力状态。塑性变形区的高度(厚度) h_{nz} 由冲孔坯外径与内径之比和工具与金属间的摩擦条件所决定。在摩擦力不大的条件下, И. Л. 佩尔林推荐用下式近似计算:

$$h_{nz} = \frac{D_0 + \delta_n}{2\sqrt{\mu}} = \frac{(D_0 + \delta_n)\sqrt{D_0^2 - \delta_n^2}}{2D_0}$$

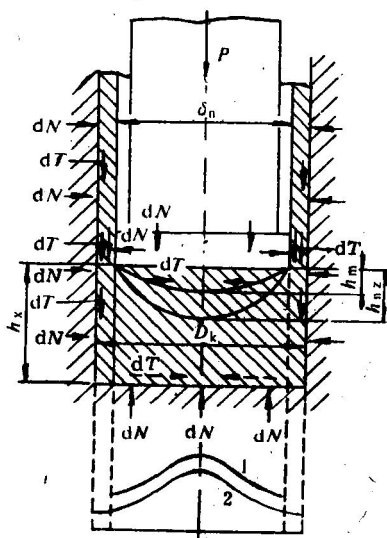


图7-9 在增长冲孔中作用在变形金属上的力

1—冲针上的正应力 σ_n 图; 2—作用在冲孔筒底部的正应力 σ_k 图; h_m —困难变形区高度

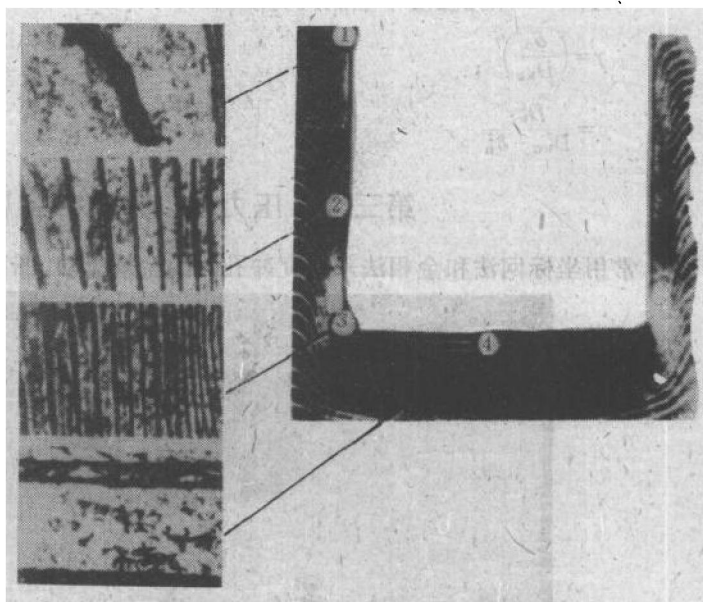


图7-10 闭式冲孔毛管的纵剖面目视组织

①~④——不同部位金属变形情况

当冲针深入到 $h_k < h_m$ ，即进入变形的第二阶段，这时在冲孔筒底部将产生剧烈的金属滑移，相应产生较大的摩擦力，冲孔力急剧增加。

闭式冲孔为三向不均匀压缩应力状态，由于不均匀变形，各层之间有可能产生不大的附加拉伸应力。

作用在冲针(头)上的轴向应力(正应力) σ_n 和冲孔筒底的正应力 σ_k 的大小及其分布是计算冲孔力的基本数据(见图7-9)。一般 σ_n 稍大于 σ_k ，这是因为冲头端面积较小和筒壁存在着摩擦力。

充满冲孔时的金属流动如图7-11所示。图中坐标网的变化可以证明。在开始阶段(图中a)，金属流动首先是充满冲杆和冲孔筒形成的圆环空间，这时不会产生剪断金属现象，当继续增加冲孔深度时(图中b、c)则会出现切断金属现象。这部分毛管内表面很粗糙，甚至内表面上产生宏观或微观的破裂。用这种毛管生产薄壁钢管时很容易产生折叠、针孔等缺陷。因此，生产薄壁管和高合金钢管时一般不采用这种冲孔方法，而多采用预先钻孔或镗孔的扩张冲孔法。

扩张冲孔法与闭式冲孔法的金属变形和流动有所不同。扩张冲孔时金属塑性流动是在特殊形状的冲头下进行的。开始阶段中金属流动是充满间隙，如图7-12所示。当冲孔快结束时，由于扩孔力大于剪断力，下部的金属堵头(冲余，形状见图c)。被切掉。

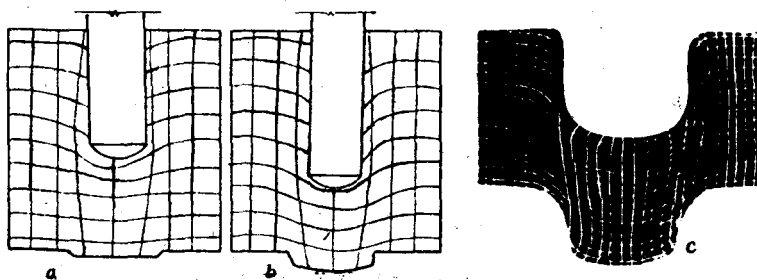


图7-11 充满冲孔时坐标网的变化

a—开始阶段；b—增加冲孔程度；c—切掉冲余

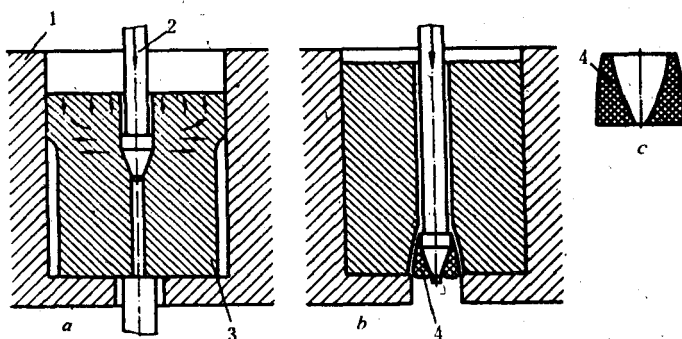


图7-12 扩张冲孔时的金属流动图示

a—稳定过程阶段；b—切堵头；c—冲余形状

1—冲孔筒；2—冲头和冲杆；3—坯料；4—冲余