

冷拔钢管质量

张才安 樊 韬 著

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是作者近 30 年来教学实践的总结和科研成果的汇总,并有针对性地收集了国内外钢管界同行及专家的有关研究成果。全书共 11 章,系统研究了管坯质量、穿孔顶头使用寿命、毛管内外折、拔管纵横裂、管料润滑质量、钢管壁厚不均、同管壁厚差和空拔管壁厚变化规律。内容丰富、新颖,许多新工艺、新技术都能直接应用或稍作加工后应用,在生产实际中能取得很好的经济效益。应用书中的新概念、新理论,可以解释许多冷拔钢管生产中长期以来难以解释的现象。

本书适合从事冷拔冷轧钢管生产、设计、研究、教学和设备制造等部门的工程技术人员和教师使用,也可供高等院校压力加工专业的本科生和相关课题的博士、硕士生学习、参考。

冷拔钢管质量

张才安 樊 韬 著

责任编辑 何光杰

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆后勤工程学院印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:412 千

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-5624-0939-0/TF·8 定价:11.50 元

(川)新登字 020 号

前 言

本书是一本冷拔(轧)钢管生产中实用性很强的科技书。全书是根据著者近 30 年的科学研究和教学成果而写成的,同时收集参考了近 10 年来国内外钢管界同行和专家的有关研究成果。书中许多新理论、新工艺、新技术,读者都可以实地应用或稍作加工后应用,均会获得很好的经济效益。书中有著者独到之处,对各学派的观点和见解也作了客观反映。

全书共 11 章,其中,第 1~5 章系统地研究了冷拔、冷轧钢管几何尺寸的精度;第 6~8 章着重分析了钢管内外折及其拔裂;第 9~11 章对影响钢管内外表面质量的穿孔顶头使用寿命、冷拔管料润滑质量和连铸管坯质量进行了阐述。

在编写过程中,著者注重从工厂生产实际出发,首先提出问题,经分析研究后,上升到工艺理论、指出解决问题的方法和应采取的措施。全书内容力求简明扼要,条理分明,除理论分析外,还叙述了大量实验规律和数据。既考虑了适用性、普及性,又注意了全书的系统性和理论的深度,重在理论联系实际,以达到理论指导实践之目的。

本书在撰写过程中,为了全书的系统性和完整性,对各学派的观点和见解也作了客观反映。因此,对书中所引文献资料的作者深表谢意。

由于实验方法、现场条件的不同,可能书中许多观点、方法与同行、专家不同,加之著者水平有限,书中缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

本书由重庆大学轧钢教研室汪凌云教授主审。

著者

1994 年 10 月

目 录

第 1 章 穿孔毛管的壁厚不均	(1)
§ 1.1 穿孔毛管壁厚不均的分布特征	(1)
§ 1.2 工具设计对钢管壁厚不均的影响	(5)
§ 1.3 穿孔机调整对毛管壁厚不均的影响	(7)
§ 1.4 从穿孔轧卡试样看毛管壁厚不均	(14)
第 2 章 轧管后荒管的壁厚不均	(18)
§ 2.1 自动轧管后荒管壁厚不均的特征	(18)
§ 2.2 轧管机顶杆弯曲对荒管壁厚不均的影响	(21)
§ 2.3 轧管工艺对荒管壁厚不均的影响	(25)
§ 2.4 二次穿孔后荒管壁厚不均的特征	(29)
§ 2.5 热轧工艺对冷拔管壁厚不均的影响	(31)
§ 2.6 用以穿代轧工艺改造小型无缝机组	(35)
§ 2.7 自动轧管时的壁厚控制	(38)
§ 2.8 无缝钢管在线壁厚检测	(41)
第 3 章 冷拔(轧)钢管的壁厚不均	(46)
§ 3.1 带芯棒拔制对钢管壁厚不均的影响	(46)
§ 3.2 带芯棒拔制的均壁作用	(50)
§ 3.3 模具类型对钢管壁厚不均的影响	(52)
§ 3.4 空拔工艺对钢管壁厚不均的影响	(55)
§ 3.5 模角对空拔管几何尺寸的影响	(58)
§ 3.6 空拔均壁作用的条件性	(62)
§ 3.7 冷轧对钢管壁厚不均度的影响	(66)
§ 3.8 大口径薄壁管产生壁厚不均的原因	(70)
第 4 章 空拔管壁厚的变化	(72)
§ 4.1 空拔管壁厚变化的原因	(72)
§ 4.2 空拔管壁厚变化的上限解分析	(73)
§ 4.3 由应力-应变关系导出壁厚变化式	(77)
§ 4.4 空拔管壁厚变化的吴峰判据及算式	(81)
§ 4.5 空拔管壁厚变化的周宜森算式及算图	(84)
§ 4.6 空拔管壁厚变化的二元回归方程	(87)
§ 4.7 空拔管增壁量数学模型的建立	(90)
§ 4.8 几个空拔管增减壁量算式精度的比较	(94)

§ 4.9	空拔管减径量和拔前尺寸对增减壁的影响	(98)
§ 4.10	空拔管增减壁算式精度差的原因	(99)
第5章	钢管同管壁厚差和外径精度	(102)
§ 5.1	钢管的同管壁厚差	(102)
§ 5.2	同管壁厚差引起拔制力波动	(104)
§ 5.3	冷拔管料同管壁厚差之危害	(108)
§ 5.4	带芯棒拔制的管壁上浮	(112)
§ 5.5	外径扩大量和内径缩小量的研究	(116)
§ 5.6	空拔管的直径缩小量	(117)
§ 5.7	钢管生产线上的激光测径	(122)
第6章	钢管内折和分层	(124)
§ 6.1	直道内折的产生及消除	(124)
§ 6.2	高温合金的穿孔性能	(126)
§ 6.3	高温合金毛管分层缺陷形成的过程	(129)
§ 6.4	高温合金热穿孔实例	(132)
§ 6.5	GH30 合金管内壁裂纹	(140)
§ 6.6	1Cr18Ni9Ti 钢毛管的内表面质量	(145)
§ 6.7	1Cr18Ni9Ti 钢管的内折与 α -相的关系	(148)
§ 6.8	穿孔毛管环状层裂	(150)
第7章	钢管外折迭	(152)
§ 7.1	从生产统计资料看毛管外折迭	(153)
§ 7.2	钢管外折与管坯纵裂	(158)
§ 7.3	连铸管坯微裂纹对钢管质量的影响	(159)
§ 7.4	不锈钢管坯发纹对钢管外折的影响	(163)
§ 7.5	1Cr18Ni9Ti 无缝钢管的外折迭	(165)
第8章	冷拔管开裂	(168)
§ 8.1	空拔变形的不均匀性与空拔管裂纹	(168)
§ 8.2	冷拔异型钢管的裂纹	(171)
§ 8.3	冷轧 1Cr18Ni9Ti 钢管的斜向裂纹	(173)
§ 8.4	冷拔圆管的周向不均匀变形	(175)
§ 8.5	空拔管的纵裂与残余应力	(178)
§ 8.6	冷轧管质量	(182)
第9章	穿孔顶头使用寿命	(184)
§ 9.1	穿孔调整参数对顶头寿命的影响	(184)
§ 9.2	顶头冷却效果对顶头寿命的影响	(187)
§ 9.3	材质和热处理对顶头寿命的影响	(189)
§ 9.4	顶头表面氧化膜对顶头寿命的影响	(194)
§ 9.5	穿孔顶头鼻部戴帽和熔化	(196)
§ 9.6	穿孔顶头工作锥磨损及粘钢	(199)

§ 9.7	穿孔顶头工作锥纵裂	(202)
§ 9.8	穿孔顶头工作锥起皱	(205)
§ 9.9	镶嵌式钼合金穿孔顶头	(210)
§ 9.10	复合穿孔顶头	(212)
第 10 章	冷拔钢管润滑质量	(214)
§ 10.1	冷拔钢管润滑工艺的完善	(214)
§ 10.2	磷化工艺	(217)
§ 10.3	冷拔钢管磷化结晶体形成机理的乔善义理论	(219)
§ 10.4	冷拔钢管的第三代磷化剂	(224)
§ 10.5	钢管酸洗缓蚀剂使用性能比较	(225)
第 11 章	连铸管坯	(227)
§ 11.1	由连铸坯开坯成圆管坯制管	(227)
§ 11.2	连铸坯裂纹	(230)
§ 11.3	用水平连铸管坯制管	(233)
§ 11.4	水平连铸 20 钢管坯表面折皱	(236)
§ 11.5	连铸管坯二冷区电磁搅拌	(239)
§ 11.6	日本钢管公司京浜厂水平连铸机的改造	(243)
附表		(247)
参考文献		(256)

第1章 穿孔毛管的壁厚不均

钢管沿纵横向各点的壁厚是不一样的,导致了纵、横向的壁厚不均,加工方法不同,钢管壁厚不均的主要形式不同。例如,张力减径的钢管纵向壁厚不均严重,自动轧管的钢管横向壁厚不均严重……。不同加工方法获得的钢管纵横向壁厚不均的分布特征和大小有差异。通常说的钢管壁厚,指的是钢管的名义壁厚,它含有平均值的意思。通常说的壁厚不均,一般指的是横向壁厚不均,也带有平均值的意思。为了比较不同加工方法和不同规格钢管壁厚不均的大小,常用横向相对壁厚不均度表示,即

$$Z = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{\bar{S}} \times 100\%$$

式中 Z ——壁厚不均度,%;

$S_{\max}$ 、 $S_{\min}$ ——横截面上的最大壁厚和最小壁厚,mm;

$\bar{S}$ ——横截面上的平均壁厚,mm。

§ 1.1 穿孔毛管壁厚不均的分布特征

在 L 钢管分厂 $\phi 100\text{mm}$ 二辊斜轧穿孔机上,在正常生产条件下,任取一支毛管,用坐标网格法进行破坏性实测。即在被测试样的外表面上先画一条纵向直线,并作特殊标志,作为测量的起始线,沿长度方向按规定长度切成小节,从起始线起在距前端端面 15mm 的横截面上,用壁厚千分尺定人定表等距离地测量 24 点的壁厚值,测量截面和测量点位置如图 1-1 所示。

实验结果表明:

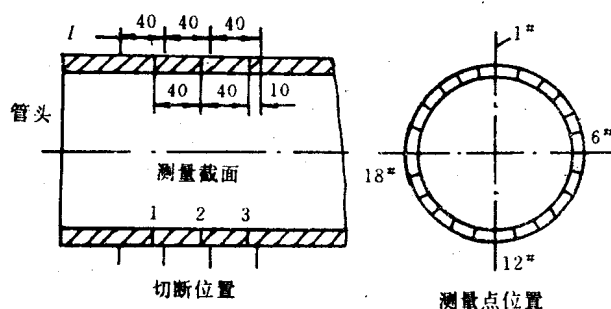


图 1-1 测量截面和测量点位置

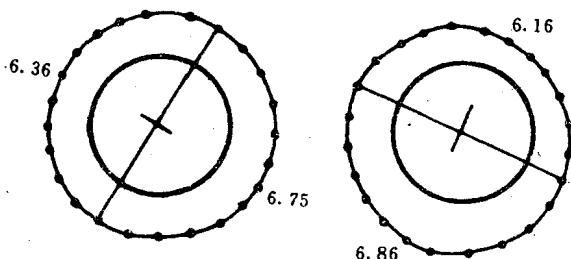


图 1-2 毛管壁厚不均的横向分布特征

1. 横向对称性壁厚不均

任取二测量截面,将各截面上的平均内径作为基圆,在基圆基础上逐点画出所测壁厚值,可观察到各截面壁厚的横向分布特征,如图 1-2 所示。从图 1-2 可看出,穿孔毛管的横向壁厚构成厚边和薄边,并且为逐渐过渡的对称性分布,壁厚的最大值和最小

值几乎成 180° 对称分布。如果将横截面上的壁厚值沿周向展开,即可看出最大壁厚与最小壁厚之间是逐渐过渡的,如图 1-3。

二辊斜轧穿孔过程中,凡是能引起穿孔偏心的因素都将导致穿孔毛管的横向壁厚不均。如果按照穿孔中心线与机器中心线完全一致来调整轧机,在理想的情况下,横向壁厚不均的厚边与薄边应各占一半边,壁厚的最大值与最小值应成 180° 对称。可是在实际生产中,欲使穿孔过程稳定和换导板方便,节省工时,往往把穿孔中心线下移 $3\sim 5\text{mm}$,常称下轧制,这就导致穿孔中心线到上、下导板的距离不等,上下导板限制横变形的程度不一样,由于螺旋轧制的特点,致使毛管转圆后,横截面上壁厚的最大值和最小值不成 180° 对称,在同一穿孔条件下,毛管各横截面上最大壁厚和最小壁厚不完全成 180° 对称的差值不同,但相差不大。

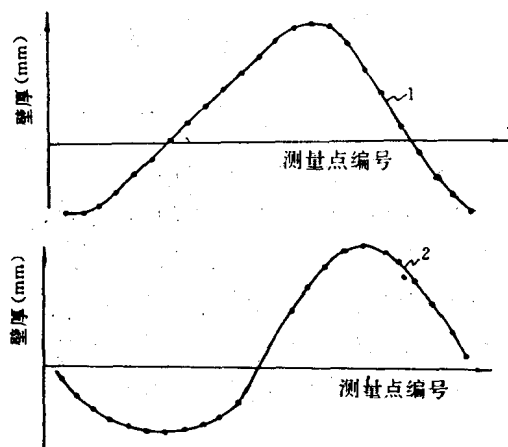


图 1-3 横截面上壁厚沿周向展开
1—第 1 截面; 2—第 18 截面

2. 纵向螺旋形壁厚不均

穿孔毛管壁厚的纵向分布如图 1-4 所示。从图 1-4 可看出,毛管壁厚的纵向分布既成大螺旋又成小螺旋。管坯横向加热不均或在受料槽中停留时间过长而穿偏,加之穿孔时毛管或大或小地产生扭转变形而导致大螺旋。穿孔中心线与顶头-顶杆的中心线不重合或顶尖严重磨斜而穿偏,以及二辊斜轧穿孔时管坯作螺旋运动而导致小螺旋。

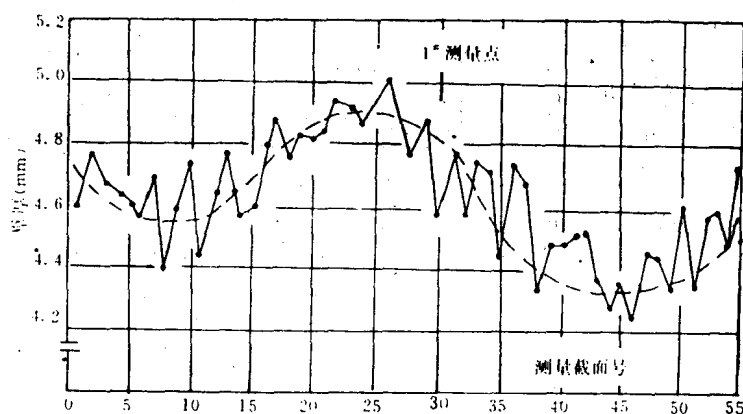


图 1-4 穿孔毛管壁厚的纵向分布

在同一条纵向线上,大螺旋上分布有几个小螺旋。当大小螺旋的最大壁峰叠加时,将得到这条纵向线的壁厚极大值,当大小螺旋的最大壁谷叠加时,将得到壁厚的极小值。一条纵向线上的壁厚极大极小值,并不一定是整支钢管上的最大和最小壁厚。

3. 穿孔毛管的壁厚不均

图 1-5 示出了 L 钢管分厂用 $\varnothing 110\text{mm}$ 管坯穿孔 $114\times 6\text{mm}$ 毛管的壁厚和壁厚不均度的

实测值。从图 1-5 看出,毛管各横截面的壁厚和壁厚不均度的纵向分布都是波动的,其中管头、管尾的平均壁厚和壁厚不均度较大。

由于管头、管尾是在不稳定过程中穿孔的,力参数波动很大,顶杆振动,顶头鼻部偏离穿孔中心线的距离较大,所以毛管头尾壁厚不均较管中严重。若管坯的切斜度过大,管坯端部加热温度偏低或阴阳面严重,以及穿孔机调整不当等,管头管尾的壁厚不均程度就更大。但是,小型无缝机组热轧只是为冷拔(轧)提供管料,在拔(轧)之前需先锤头或需切齐管头管尾,以便冷拔或冷轧;在冷拔(轧)过程中,一般还有减小钢管壁厚不均的作用,因此,从这点看,如果管头、管尾壁厚不均严重的管段长度较短,一般说来对冷拔(轧)管金属消耗的影响不大。

基于各横截面上壁厚和壁厚不均度的纵向分布是波动的,其值相差很大,因此就不能只用某一截面的平均壁厚或壁厚不均度代表整支或整架毛管的平均壁厚和壁厚不均度。一般说来,测量截面数越多,其值越接近实际值。就毛管壁厚不均而言,除考虑整支毛管的平均壁厚不均度之外,还应考虑毛管壁厚不均的结构,即从管头,经管中,到管尾各截面壁厚不均的分布规律和各管段不同壁厚不均度出现的频度。显而易见,穿孔毛管只是头尾管段壁厚不均度大,但长度短,中间管段壁厚不均度小,其值波动不大,这样的结构就好。若是毛管的头、中、尾壁厚不均度都大,或中间管段壁厚不均度波动值大,壁厚不均度大者出现的频度就越多,这样的结构也就越不好。

从图 1-5 看出,穿孔毛管管头平均壁厚很厚,随着穿孔过程的进行逐渐减薄,到管尾又出现增厚和减薄的现象。这是由于在第一个不稳定穿孔过程中,管坯曳入摩擦力 T_r 与穿孔轴向阻力 P'' 之差较小,以及无外端的作用,使得轴向延伸趋势较小,横向展宽壁增厚趋势较大所致。随着穿孔过程的进行,曳入力逐渐增大, $(T_r - P'')$ 之差值逐渐增大,管壁逐渐减薄,直到稳定穿孔时才达到一个较为稳定的数值。由于力参数的稳定是相对的,不稳定是绝对的,以及穿孔变形区几何尺寸和螺旋轧制的特点,所以在稳定穿孔过程中,各截面的平均壁厚也有差异。在第二个不稳定穿孔过程中,由于管坯尾端逐渐离开变形区及管坯尾端穿孔温度较低,曳入力又重新减小,穿孔阻力稍有增大,致使 $(T_r - P'')$ 的差值减小,管壁又逐渐增厚,到顶头鼻部穿透管坯尾端时,由于轴向阻力急剧下降,致使 $(T_r - P'')$ 之差增大,毛管轴向延伸趋势急剧增大,壁厚再次出现减薄现象。

实际生产中,某些厂冷拔管料的锤头端在毛管的头部,而拔机上测量管料原始壁厚值通常是测尾部。由于热轧毛管管头壁厚,管尾壁较薄,头尾实际壁厚之差值高达 0.2~0.4mm,这就

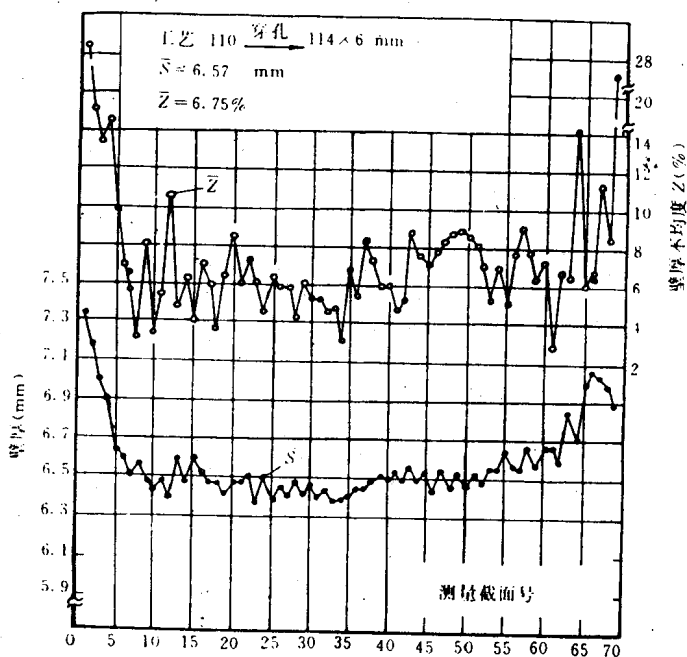


图 1-5 毛管壁厚和壁厚不均度的纵向分布

Z —壁厚不均度, %; $\bar{Z}$ —平均壁厚不均度, %; $\bar{S}$ —平均壁厚, mm

可能导致拔制时的实际变形量,特别是减壁量远大于给定变形量。如果酸洗润滑质量差,冷拔工艺给定变形量较大时,带芯棒拔制就容易出现抖纹,甚至断管头或断拉杆的现象。

广义地讲,钢管的壁厚精度应包括壁厚偏差,壁厚不均度和同管壁厚差。著者曾经在西南某些小型无缝机组上用破坏性实测法实测了毛管和荒管的壁厚精度,测量结果分别列于表 1-1 和表 2-1 中。

表 1-1 西南某些厂家毛管的壁厚精度

项 目 机 组	穿孔工艺 (mm)	延伸 系数	截面 数(个)	平均 壁厚 (mm)	偏壁 度(%)	同管 差(mm)
L厂 $\varnothing 100\text{mm}$ 机组	$\varnothing 110$ 坯 $\rightarrow 114 \times 6$	4.29	69	6.57	7.71	0.51
L厂 $\varnothing 100\text{mm}$ 机组	$\varnothing 110$ 坯 $\rightarrow 102 \times 7$	4.55	85	7.18	9.79	0.31
A厂新 $\varnothing 76\text{mm}$ 机组	$\varnothing 75$ 坯 $\rightarrow 79 \times 7.5$	2.51	84	7.90	9.10	0.34
L厂 $\varnothing 100\text{mm}$ 机组	$\varnothing 110$ 坯 $\rightarrow 100 \times 4.6$	6.89	57	4.62	9.77	0.53
A厂新 $\varnothing 76\text{mm}$ 机组	$\varnothing 75$ 坯 $\rightarrow 77 \times 6.5$	2.92	137	6.88	6.90	0.31
A厂旧 $\varnothing 76\text{mm}$ 机组	$\varnothing 75$ 坯 $\rightarrow 80 \times 6.5$	2.84	79	6.75	6.00	0.36
B厂 $\varnothing 76\text{mm}$ 机组	$\varnothing 75$ 坯 $\rightarrow 80 \times 6$	2.90	114	6.57	5.73	0.33
C厂 $\varnothing 60\text{mm}$ 机组	$\varnothing 60$ 坯 $\rightarrow 63 \times 4.5$	3.40	47	4.52	4.36	0.30
D厂 $\varnothing 60\text{mm}$ 机组	$\varnothing 50$ 坯 $\rightarrow 50 \times 3.5$	3.68	54	3.73	6.30	0.31
D厂 $\varnothing 60\text{mm}$ 机组	$\varnothing 50$ 坯 $\rightarrow 50 \times 3.0$	4.25	40	3.30	7.92	0.39
D厂 $\varnothing 60\text{mm}$ 机组	$\varnothing 50$ 坯 $\rightarrow 50 \times 2.5$	5.04	58	2.57	16.6	0.30
某钢研所 $\varnothing 30\text{mm}$ 三 辊机组	$\varnothing 30$ 坯 $\rightarrow 34 \times 3$	2.35	84	3.10	5.56	0.44

4. 最大最小壁厚的纵向分布呈葫芦状

各横截面上最大和最小壁厚沿纵向的分布如图 1-6 所示。由图中可看出,同一横截面上,

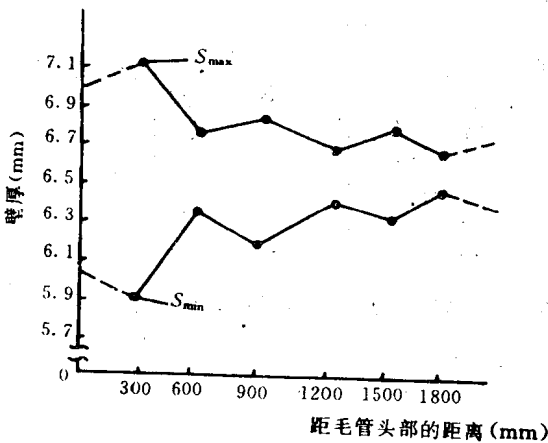


图 1-6 穿孔毛管最大最小壁厚的纵向分布

当最大壁厚增大时,最小壁厚减小,壁厚不均程度增大。当壁厚的最大值减小时,最小壁厚值却又增大,壁厚不均度减小。这种增大或减小的趋势交替进行,使壁厚的最大值和最小值沿纵向的分布呈多个葫芦相连接的葫芦状分布。在穿孔过程中,顶头有自动找正和对中的作用,因此可减小壁厚不均的程度,但在穿孔过程中由于穿孔阻力和曳入摩擦力的不稳定性,导致了顶杆震动而引起偏心,偏心 and 找正又是同时存在并且互相影响和制约的。所以,减小管坯加热时的纵向温度不均,采用可靠的定心辊结构,保证顶杆的直度和刚度,可减轻穿孔

时顶杆的抖动,从而减小壁厚不均程度。

§ 1.2 工具设计对钢管壁厚不均的影响

过去顶头设计是将顶头辗轧锥角 γ 等于轧辊出口锥角 β_2 进行设计的,这种设计方法与实际情况出入很大。这是因为只有在送进角 $\alpha=0$ 即轧制线与轧辊轴线平行时,顶头辗轧锥角才等于轧辊出口锥角 β_2 。穿孔过程是斜轧而不是横轧,送进角 α 一般在 $6\sim 12^\circ$ 变化。

由于轧辊轴线倾斜,轧制线处轧辊出口锥母线发生了变化,该母线已不是 $\alpha=0$ 时辊型设计的轧辊出口母线,而偏离了一定的距离。在实际穿孔过程中,轧制线处轧辊出口锥角必然大于原设计的轧辊出口锥角。由于顶头辗轧锥与轧辊出口锥工作母线不平行,不能充分地均整毛管管壁,所以导致毛管螺旋状壁厚不均和内螺旋严重。

当 $\alpha=6\sim 7^\circ$ 且调整恰当时,螺旋形壁厚不均并不严重;当 $\alpha=8\sim 12^\circ$,特别是大倾角穿孔时,无论如何调整穿孔机都难以减轻螺旋形壁厚不均。所以,穿孔工具的合理设计,应预先考虑到 γ 与 β_2 的差值,即考虑补偿角 β'_2 。

1. 穿孔顶头辗轧锥补偿角的确定

所谓补偿角就是轧辊倾斜后理论轧辊出口锥角与实际出口锥角的差值。在设计时应预先给予补偿,其方法有两种:一是补偿角放在轧辊出口锥上,即将轧辊出口锥设计成双出口锥(见图 1-7)或曲线型,在原理论出口锥角上减去补偿角加以设计。但是,轧辊孔型复杂,加工麻烦。第二种方法是补偿角放在顶头辗轧锥上,即在顶头辗轧锥角上加上补偿角进行设计。

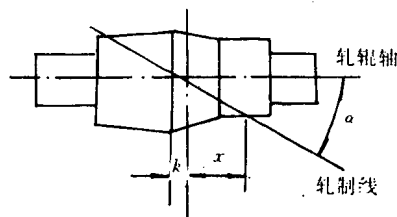


图 1-7 穿孔机双出口锥辊型

根据阿·采利柯夫公式进行验证

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{x \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}{\sqrt{(x^2 - K^2) \operatorname{tg}^2 \alpha + (R_B + \gamma_z)^2}} + \operatorname{tg} \beta_2 \quad (1)$$

式中 γ ——管坯和轧辊表面接触的实际角度;

β_2 ——轧辊出口锥角;

R_B ——轧辊压轧带处的轧辊半径,mm;

γ_z ——压轧带处的管坯半径,mm;

α ——轧辊送进角;

x ——轧辊旋转中心轴沿送进角方向到研究截面的距离;

K ——压轧带距中心轴线之距离。

令

$$\operatorname{tg} \beta'_2 = \frac{x \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}{\sqrt{(x^2 - K^2) \operatorname{tg}^2 \alpha + (R_B + \gamma_z)^2}} \quad (2)$$

式中 β'_2 ——轧辊补偿角。

所以

$$\gamma_s = \beta'_2 + \beta_2$$

2. 顶头辗轧锥角的计算式

为了设计顶头计算方便和不影响其使用效果,顶头辗轧锥角可以直接计算,顶头辗轧锥角导出的前提条件是:

- 1) 当送进角为 α 时,轧辊出口锥端面垂直投影仍为正圆。
- 2) 轧辊倾斜后,轧制线处轧辊母线水平投影仍为一直线。
- 3) 轧辊 o 点为倾斜转动中心。

顶头辗轧锥角公式的推导:

从图 1-8 可知,当送进角为 α 时, A 点旋转到 B 点,变化高度为 h_x 。在三角形 oAB 中: $AB = oA \cdot \sin\alpha, oB = oA \cdot \cos\alpha$,

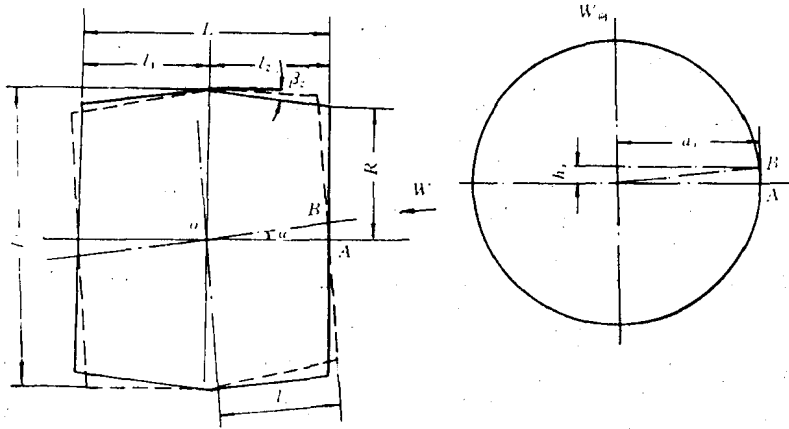


图 1-8 穿孔机轧辊倾斜图示

即

$$h_x = l_2 \cdot \sin\alpha$$

$$l_x = l_2 \cdot \cos\alpha$$

$$a_x = \sqrt{R^2 - h_x^2}$$

$$\tan\beta_{2x} = \frac{0.5D_B - \sqrt{(0.5D_B - l_2 \cdot \tan\beta_2)^2 - l_2^2 \cdot \sin\alpha}}{l_2 \cdot \cos\alpha} \quad (3)$$

$$\beta_{2x} = \arctg \frac{0.5D_B - \sqrt{(0.5D_B - l_2 \cdot \tan\beta_2)^2 - l_2^2 \cdot \sin\alpha}}{l_2 \cdot \cos\alpha} \quad (4)$$

这时取顶头辗轧锥角 γ 等于轧辊出口锥角 β_{2x} 。

式中 l_2 ——轧辊出口锥长度,mm;

D_B ——轧辊压轧带直径,mm;

R ——轧辊出口端面半径,mm;

α_x ——轧制线处轧辊出口端面半径,mm;

β_{2x} ——轧制线处轧辊出口锥角;

l_x ——送进角为 α 时,轧辊出口锥长度,mm。

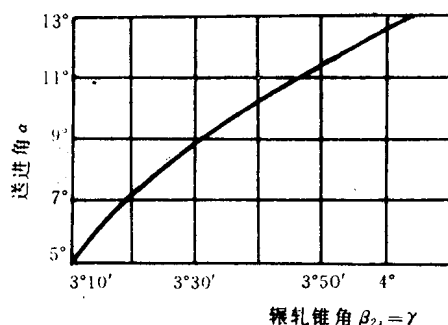
在 $\varnothing 100\text{mm}$ 自动轧管机组的穿孔机上,当 $D_B = 600\text{mm}, L_2 = 200\text{mm}, \beta_2 = 3^\circ$ 时,由公式 (4) 求出 β_{2x} 的对应值列于表 1-2 中:

表 1-2 送进角与辗轧角的对应值

送进角 α	0°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
辗轧锥角 $\beta_{2\gamma}$	3°	3°8'	3°14'	3°18'	3°24'	3°30'	3°38'	3°46'	3°56'	4°6'

送进角与辗轧锥角的关系曲线见图 1-9。

某钢厂的试验研究表明,按公式(4)设计的新顶头与原设计顶头相比较,新顶头与毛管内表面接触长度增加约 1%,穿孔过程更加稳定,钢管螺旋状壁厚不均明显减轻,平均壁厚不均度降低 2.77%,其中,液压支柱管内控合格率和钢管综合合格率分别提高了 3.15% 和 0.02%。

图 1-9 送进角 α 与辗轧锥角关系曲线

3. 合理的工具设计

穿孔机有两种类型的轧辊,第一种类型的轧辊是穿孔锥和辗轧锥长度相等;第二种类型的轧辊是入口锥长度比出口锥长度短 20~75mm。长的出口锥与正确的顶头设计相配合,可使穿孔毛管获得光滑的内外表面,较小的壁厚偏差和较小壁厚不均的毛管。因此,近年来广泛采用第二种类型的轧辊。在确保可靠咬入和穿孔过程顺利进行的条件下,应尽可能将穿孔锥长度减小,从而加长出口锥长度,以改善毛管表面质量,减小穿孔毛管的壁厚不均度。

这里所指正确的顶头设计,是在缩短轧辊入口锥长度、增长出口锥长度的条件下,适当加长穿孔顶头的长度,以便增长顶头工作锥长度和辗轧锥长度。因为顶头工作锥完成主要变形,进行壁部压缩。生产实践表明,采用较长工作锥的顶头可得到良好的生产指标。这种顶头寿命长,而且可得到优质毛管。因为,当顶头的工作部分足够长时,减小了每半转的压下量,使变形均匀缓和,穿孔阻力减小,能耗降低,毛管表面质量提高。当顶头工作部分很短时,偏高的压下量使得很大的变形量集中在顶头不长的部分上,导致顶头迅速磨损。但是,过长的工作锥在穿孔壁厚毛管时,容易在穿孔结束时造成轧卡。

顶头辗轧锥的作用在于辗平毛管管壁,轧平表面,考虑到在穿孔过程中毛管作螺旋运动的运动学特征,因此,适当加长辗轧锥长度对提高毛管表面质量,降低壁厚不均程度有良好作用。

§ 1.3 穿孔机调整对毛管壁厚不均的影响

二辊斜轧穿孔由轧辊、导板及顶头三者构成一变形区,在生产过程中,因工具偏差及调整不当而使得三者之间的位置发生变化,从而导致毛管出现壁厚严重不均现象。我国设计制造的 $\varnothing 76\text{mm}$ 机组的这一现象尤为突出。这些小型无缝机组,结构设计简单,机械化程度和设备刚性差。工作时部件间的相对位置会发生较大的变化,给轧机调整带来困难,生产时会因设备安装或操作调整不当而造成毛管壁厚不均。一般说来,凡是引起穿孔中心线不正,穿孔变形区形状失真的因素都将引起或加剧壁厚不均。若轧辊安装不正,顶杆弯曲,轧机两口差大,以及轧制线位置不当等,都将导致壁厚不均。

1. 穿孔中心线低于轧机中心线过多

在现场生产过程中,一般采用轧制线低于轧机中心线的操作方法,这种轧机调整方法称下轧制法,其目的是提高轧件的稳定性,但轧制线下移后,变形区内工具之间的相对关系发生了非对称变化。

(1) 轧辊倾斜 α 角前的相对关系 从轧辊出口锥距压轧带中点为 M 处截取一垂直剖面,如图 1-10 所示。可以看出,此时轧制中心线与轧机中心吻合, A_1 、 B_1 点至轧制中心的距离相等。

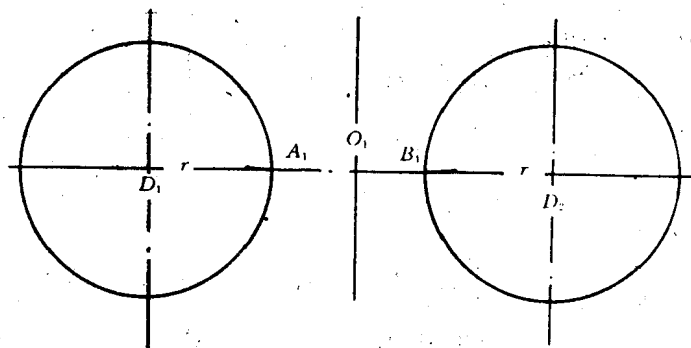


图 1-10 轧辊倾斜前的相对关系

(2) 轧辊倾斜 α 角后的相对位置 如图 1-11、1-12 所示,倾斜 α 角后, M 处垂直剖面对两辊应为两椭圆,但由于 α 数值较小,因此椭圆度较小,为简化运算,仍按圆形计算。

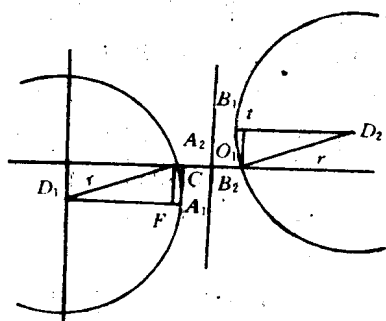


图 1-11 轧辊倾斜 α 后相对位置

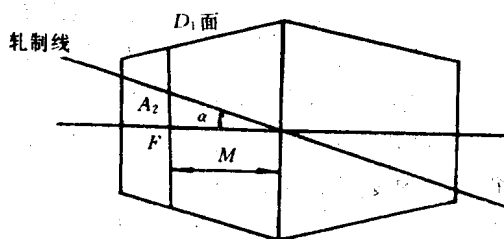


图 1-12 轧辊倾斜 α 后侧面示意图

此时轧制中心线与轧机中心线仍然吻合。两轧辊上与轧制中线相对称点的距离仍然是对称相等的。但原轧制线所在水平面上的对称点 D_1 辊上的 A_1 移至 A_2 , D_2 辊上的 B_1 移至 B_2 , 并且:

$$A_2O_1 = B_2O_1, \quad A_2F = B_2t = M \cdot \tan \alpha$$

(3) 采用下轧制工艺时的相对位置 如图 1-13 所示,轧制中线下移至 O_2 时,下移值为 $H = O_1O_2$, 在 M 处,原轧制线所在水平面上原对称点 D_1 辊上的 A_2 移至 A_3 , D_2 辊上的 B_2 移至 B_3 。轧制中线与 D_1 、 D_2

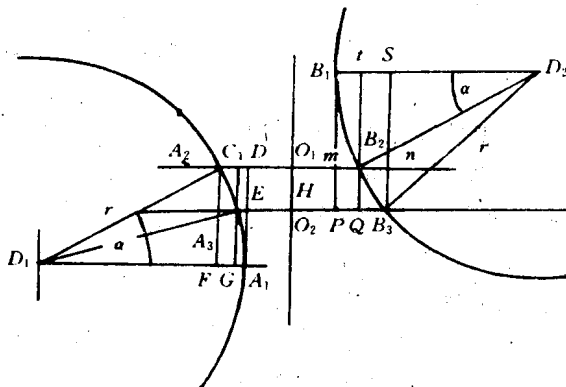


图 1-13 采用下轧制工艺时的相对位置

的水平距离分别为 O_2A_3 、 O_2B_3 。

由图 1-13 看出,在新轧制中线水平面上, D_1 辊剖面与轧制中线的距离比下轧前距离缩短了 A_2C_1 。

D_2 辊剖面与轧制中线距离 O_2B_3 比下轧前的距离增加了 QB_3 。

由几何关系可以得出:

对 D_1 辊 $A_2C_1 = FG = D_1G - D_1F$

$$= \sqrt{(D_1A_3)^2 - (A_3G)^2} - \sqrt{(D_1A_2)^2 - (A_2F)^2}$$

$$= \sqrt{r^2 - (A_2F - C_1A_3)^2} - \sqrt{r^2 - (A_2F)^2}$$

因

$$A_2F = C_1G = M \cdot \tan \alpha, C_1A_3 = H$$

则

$$A_2C_1 = \sqrt{r^2 - (M \cdot \tan \alpha - H)^2} - \sqrt{r^2 - (M \cdot \tan \alpha)^2}$$

式中 α ——轧辊倾角;

M ——压轧带中点至剖面距离;

H ——轧制线下移值;

r —— M 剖面处 D_1 、 D_2 的半径。

对 D_2 辊 $QB_3 = tS = D_2t - D_2S$

$$= \sqrt{(D_2B_2)^2 - (tB_2)^2} - \sqrt{(D_2B_3)^2 - (SB_3)^2}$$

$$= \sqrt{r^2 - (\tan \alpha \cdot M)^2} - \sqrt{r^2 - (\tan \alpha \cdot M + H)^2}$$

设

$$\alpha = 8^\circ, M = 120\text{mm}, H = 5\text{mm} \quad r = 250\text{mm}$$

则

$$D_1 \text{ 辊上 } A_2C_1 = 0.288\text{mm} \quad D_2 \text{ 辊上 } QB_3 = 0.338\text{mm}$$

从以上结果看出,当采用下轧制达到 5mm 时, D_1 与 D_2 轧辊剖面与轧制中线之间的距离产生了非对称变化。轧制中线至 D_1 辊的距离缩短了 0.288mm,至 D_2 辊的距离反而增加了 0.338mm。

轧制中线位置正确与否,对生产作用甚大。因此,检修后一般要进行轧机中线的找正工作。

有人将采用下轧制工艺 $H=2\text{mm}$ 和 $H=6\text{mm}$ 时现场记录的毛管壁厚数值(毛管尺寸 $79 \times 5\text{mm}$)分别列于表 1-3、1-4。

表 1-3 $H=2$ 时毛管壁厚

序 号	A	B	C	D	平均值	绝对差值
1	5.29	5.35	4.88	4.84	5.09	0.49
2	5.36	5.29	4.82	4.88	5.08	0.54
3	4.85	4.82	5.17	5.31	5.04	0.49
4	4.89	4.79	5.16	5.30	5.03	0.51
5	5.27	5.14	4.93	4.79	5.02	0.48

表 1-4 $H=6$ 时毛管壁厚

序 号	A	B	C	D	平均值	绝对差值
1	4.68	4.84	5.25	5.39	5.04	0.71
2	5.41	5.24	4.81	4.74	5.05	0.67
3	5.38	5.26	4.83	4.69	5.04	0.69
4	4.85	5.14	5.39	4.64	5.00	0.75
5	5.24	5.38	4.72	4.59	4.98	0.67

显然,随着 H 值增加,毛管壁厚不均加剧。

2. 轧机两口差大

通常在卧式布置的二辊斜轧穿孔机上,轧辊位置的调整是两轧辊轴线和穿孔中心线在水平面的投影彼此平行。然而,在某些穿孔机上,两轧辊轴线或其中一只轧辊的轴线在水平面的投影与轧制线并不平行。调整轧机时,往往把进口端轧辊距靠拢一些,形成进口小,出口大的外八字形。轧辊进出口差值的大小,可用“两口差”即两轧辊出口端面的辊距与两轧辊进口端面辊距之差表示。

(1)两口差对壁厚不均的影响 如此调整穿孔机,破坏了穿孔变形区的正确形状,改变了穿孔变形过程,对毛管产量、质量和消耗都有影响。现就穿孔机两口差对毛管壁厚不均的影响讨论如下:

为了讨论问题方便起见,作如下假设:

1)轧辊压轧带长度为零,进出口锥长相等。

2)在靠拢轧辊入口端辊距时,出口端面的辊距不变化,并以出口端面轧辊圆心 M 点为转动中心。

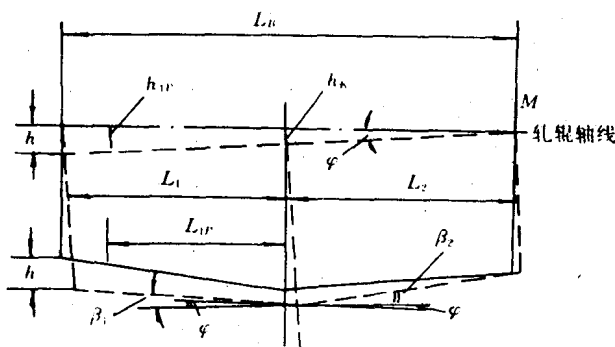


图 1-14 轧辊轴线偏斜示意图

当两轧辊入口端面与穿孔中心线的距离都同样减小 h mm 时,这时轧机的两口差为 $m=2h$ mm,二轧辊轴线在水平面上的投影不再平行于穿孔中心线,而是相交一个角度 2φ ,其 φ 值为:

$$\varphi = \arctg \frac{h}{L_B} = \arctg \frac{m}{2L_B}$$

如图 1-14 所示,轧辊入口锥和出口锥的工作表面与穿孔中心线的夹角也不再是 β_1 和 β_2 ,而是

$$\beta'_1 = \beta_1 - \varphi \quad (5)$$

$$\beta'_2 = \beta_2 + \varphi \quad (6)$$

进行顶头结构尺寸设计时,通常是按顶头辗轧锥角等于轧辊出口锥角设计的。从 $\beta'_2 = \beta_2 + \varphi$ 可知,在调整穿孔机时,若减小二轧辊入口端的距离,增大轧机两口差值,则顶头辗轧锥和轧辊出口锥的工作母线不再平行,穿孔毛管在辗轧锥均整管壁、提高毛管壁厚精度和内外表面

质量,减小壁厚不均的作用显著减小。

如果穿孔机调整工只减小一个轧辊入口端面到穿孔中心线之间的距离,这时轧机的两口差值设为 m' (mm),该只轧辊轴线与另一只轧辊轴线在水平面的投影相交成

$$\phi = \arctg \frac{m'}{L_B} \quad (7)$$

$$\beta'_2 = \beta_2 + \arctg \frac{m'}{L_B} \quad (8)$$

在这种情况下,由于只是一只轧辊的轴线在水平面上的投影发生了倾斜,使得轧件在轧辊出、入口锥中任一横截面上所受径向压力和摩擦力不相等,二轧辊压轧带位置相对偏移,不仅穿孔过程的稳定性降低,顶杆振动增大,毛管的壁厚不均也将比上面所述的第一种情况更严重,而且毛管内外表面螺旋道加重。

此外,由于只减小了一个轧辊入口端面到原穿孔中心线的距离,使得在穿孔时的实际穿孔中心线发生偏斜(图 1-14),其偏斜角为 $\frac{\phi}{2} = \arctg \frac{m'}{2L_B}$,在穿孔过程中,因穿孔中心线不正和顶杆震动加剧,又从另一方面增大了毛管的壁厚不均程度。

在实际生产中,操作工经常是改变其中一支轧辊的进出口辊距来实现两口差的调整,为了证明这种调整方法的危害性,在 A 厂 $\varnothing 90\text{mm}$ 穿孔机上,改变一支轧辊出口端面到轧机中心线之间的距离,使该支轧辊轴线与穿孔中心线在水平面上的投影倾斜。研究结果表明,随着轧辊轴线倾角增大,整支毛管的平均壁厚不均度显著增大。

(2) 两口差对产量、质量和顶头寿命的影响 由于轧辊进口距较正常进口距为小,使得

1) 管坯的顶头前压下量增大,其值为 $2h_{1p}$

$$2h_{1p} = 2 \frac{h}{L_B} \times (L_3 + L_{1p}) \quad (9)$$

2) 轧辊入口锥工作表面与穿孔中心线的夹角减小,其值为

$$\beta'_1 = \beta_1 - \phi \quad (10)$$

3) 管坯总直径压下量增大,其值为 $2h_K$

$$2h_K = \frac{2h}{L_B} \times L_2 \quad (11)$$

其中 L_B ——轧辊长度,mm;

L_2, L_1 ——出、入口锥长度,mm;

L_{1p} ——入口锥工作长度,mm;

β_2, β_1 ——出、入口锥角;

ϕ ——轧辊轴线偏斜角;

m ——轧机两口差值,mm;

h ——一只轧辊的轴线到穿孔中心线距离的减小量,mm。

顶头前压下量的增大,以及轧辊入口锥角的相对减小,加长了穿孔准备区的长度,改善了二次咬入条件,改善了顶头鼻部受力条件,致使作用在鼻部前端的单位压力 P_H 显著减小,穿孔轴向阻力减小,顶头鼻部烧热、软化作用减小,不易压堆戴帽、熔粘、熔化,延长了顶头鼻部的工作寿命。但是,顶头前压下量增大,管坯中心金属的横向拉应力增大;轧辊入口锥角的相对减小,管坯承受交变应力的次数增多,这两者都增大了管坯中心金属产生中裂,形成孔腔的作用。