

# 自动轧管机顶头工艺润滑的试验研究

张维静

(冶金部钢铁研究总院)

## 1. 前言

自动轧管机组(顶头式轧管机)是钢管生产中广泛应用的一种机组。除了研究提高轧管机生产能力生产更多的产品和提高经济效益外,提高顶头寿命、改善钢管内表面质量、降低消耗等问题业已引起生产厂家和科研工作者的极大重视,并进行了大量的试验研究工作。但是,迄今为止,对顶头与毛管之间的受力分析、摩擦条件、磨损机制、润滑机理等理论问题研究的还远远不够,尚需继续努力,进一步深入研究。

## 2. 顶头工作状态的理论分析

顶头在变形区的受力分析如图1所示。

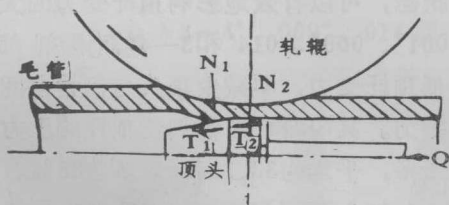


图1 顶头变形区内的受力分析

图中 $N_1$ 、 $N_2$ 为减径区和减壁区毛管对顶头的作用力。在这个压力的作用下,顶头与毛管内表面紧密压合,产生极大的吸附力,甚至压焊。而在加工过程中毛管在轧辊和顶头的作用下进行塑性变形的同

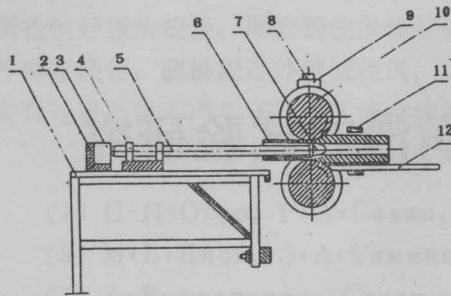
时,全长都沿顶头的接触表面上滑过,产生强烈的摩擦。由摩擦产生的热量被高温毛管包围着不易散发出去,仅有一小部份传向顶头内部,大部份积聚在顶头的接触面上,使顶头接触面上的温度很快升高。当摩擦力引起的切应力超过高温下顶头材质的屈服极限时,顶头即产生掉肉,造成表面凹凸不平,从而使顶头报废,并导致钢管内表面划伤。

以上的分析表明,顶头报废的原因是由于接触面上剧烈摩擦引起的。摩擦力 $T = N \cdot f$ 。要使 $T$ 减小,只能用减小 $N$ 值和 $f$ 值的方法达到。减小 $N$ 值的方法有减小压下量或提高毛管温度,但都会给生产带来不利的影响,在生产中不宜采用。所以,为了减小摩擦力,只能减少接触表面上的摩擦系数,而降低摩擦系数最有效的方法就是加入润滑剂。

由润滑剂形成的润滑膜在高温高压下稳定连续地存在于变形区中,可减少界面之间的摩擦系数,且能传递压力及保护顶头表面。为了在轧管变形区中建成理想的边界润滑条件,我们在实验室和工厂中进行了反复的试验研究。

## 3. 试验条件及方法

润滑试验是在实验室模拟自动轧管机上进行的。试验装置见图2,各种参数见表1、2、3。



- 1—轧管机后台架      2—压头后座  
3—顶杆压力传感器    4—顶杆固定架  
5—顶杆                6—管料  
7—顶头                8—轧机压力传感器  
9—轧辊轴承座        10—轧辊  
11—上导板            12—下导板

图2 轧管机前后台配置示意图

润滑剂选用油脂类(3—4°油、聚合植物油),石墨类(石墨粉、石墨粉加3—4°油),玻璃粉和多种无机盐类。用一次加入和连续喷射两种方法(见图3、4)把润滑剂送入变形区内。

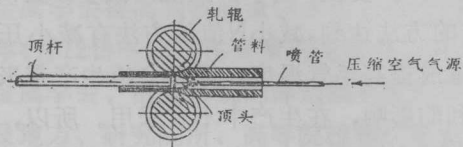


图3 在前台喷入润滑剂的装置

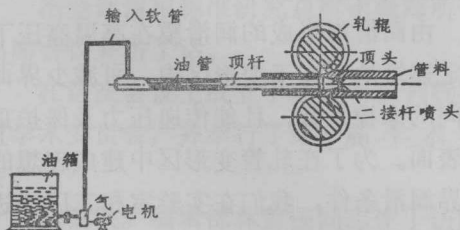


图4 在后台喷入润滑剂的装置

在轧制过程中用Y6D—2动态电阻应变仪测定轧制力P和顶杆压力Q,用SC—10示波器记录轧制过程中的压力值,并用

肉眼和工具显微镜检查钢管内表面质量。用肉眼检查顶头磨损情况。

轧机参数 表1

轧 辊			电机功率
直径	转速	材质	
200mm	60rpm	锻钢	50HP

坯料参数 表2

材质	含碳量	外径	壁厚	长度	径壁比
A3	0.11	48.5mm	3.5mm	350mm	4:1

轧制工艺参数 表3

轧制温度	顶 头		延伸系数
	材 质	尺 寸	
1050°C	14Cr	39.5	1.11~1.29
	3Cr2W8	39.5	

#### 4. 试验结果

4.1 加入润滑剂后顶杆压力的变化如表4所示。

从表4看出,改善钢管与顶头之间的摩擦状态,可以有效地影响顶杆受力的大小。001°、009°、014°和3—4°润滑剂都能降低顶杆受力,即减少顶头与钢管之间的摩擦力。其中014°润滑剂使顶杆的压力降的最多,平均为33.1%,最长达35%。

4.2 加入不同润滑剂的钢管内表面状况如照片1。

从照片1可以看出:加入014°润滑剂后,钢管内表面最光滑。加入3—4°、009°润滑剂后,钢管内表面比较光滑。以上三种润滑剂都能提高钢管内表面质量,这说明钢管内表面质量的改善与顶杆力的下降是一致的。

使用润滑剂状态下顶杆力下降率 表4

润 滑 剂	001	003	009	014			玻 璃 粉	3—4*
				A	B	C		
$\frac{Q_{干} - Q_{油}}{Q_{干}}, \%$	18.9	13.0	25.3	38.0	35.0	33.5	11.9	14.6

本表数据为实验数据的算术平均值，润滑剂一次投入



照片1 用一次投入法加入014B、3—4\*、009\*润滑剂与不加润滑剂的钢管内表面状况（放大3倍）

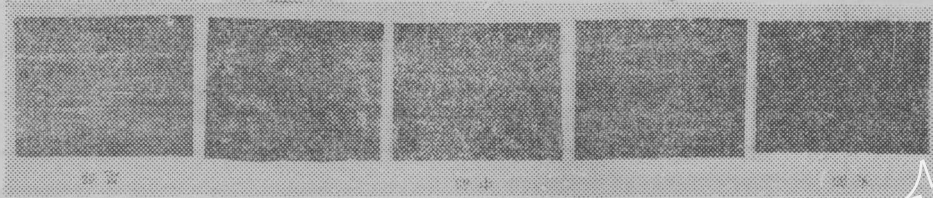
4.3 加入3—4\*、009\*、014 润滑剂后，顶头磨损减轻（见照片2）。



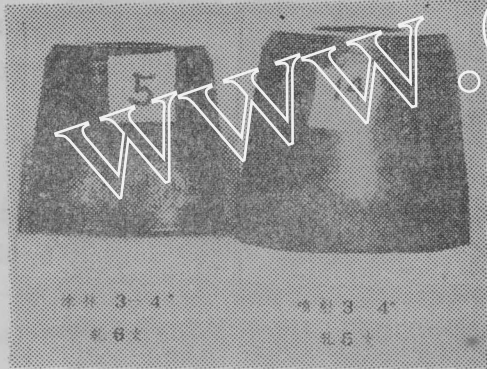
照片2 用一次投入法加入3—4\*、014B润滑剂后顶头磨损状况

4.4 润滑剂用一次投入法, 轧出的钢管头部一段内表面光滑, 向尾部则逐渐粗糙 (见照片3)。而沿毛管全长连续喷射

润滑剂, 顶头的磨损比一次投入润滑剂显著减少 (见照片4)。



照片3 涂抹3—4°钢管内表面状况 (放大3倍)



照片4 沿毛管全长连续喷射润滑剂的顶头磨损情况

5. 结果分析

轧管润滑试验结果表明, 加入润滑剂后改变了变形区内顶头与钢管内壁的接触摩擦条件。

5.1 加入润滑剂在顶头与毛管内壁接触界面上形成润滑膜, 可以降低接触面上的摩擦系数, 从而使接触面的摩擦力下降。由测得的顶杆压力值反推出轧制过程中的平均摩擦系数。顶头与钢管之间摩擦系数计算公式:

$$f_0 = \frac{\theta}{P_c 2\pi(\delta_o - L_k + \text{tg}\varphi) L_k} - \text{tg}\varphi$$

式中:  $P_c 2 = K(1 + m)$ , 其中:  $K = 1.15K_1$

$$K_1 \begin{cases} 45^\circ \text{钢}, 4.5 \text{kg/cm}^2 \\ 3^\circ \text{钢}, 4.5 \text{kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$m = \frac{2fL_k}{\delta_o + S_k}, f \text{选} 0.35,$$

$$L_k \approx L_d + \frac{\Delta S}{\text{tg}\psi}$$

加入不同润滑剂的摩擦系数均比无润滑轧制时小 (见表5)。

使用不同润滑剂的摩擦系数

表5

润滑剂	001	003	009	014			玻璃粉	3~4°
				A	B	C		
公式计算出的摩擦系数	0.3310	0.3612	0.3551	—	0.204	0.234	0.3703	0.2947

润滑剂加入方法: 一次投入法

5.2 加入润滑剂,在整个轧制过程中不仅降低了顶杆压力,而且改变了顶杆压力的示波图形(见图5)。无润滑轧制咬入时顶杆承受很大的冲击力,瞬时冲击系数达 $S=1.5$  ( $S=Q_{\text{最大}}/Q_{\text{稳定}}$ ),延续时间约为0.14秒。加入润滑剂后冲击值减小。使用014型润滑剂时的冲击值为1.3,延续时间也减少了 $\frac{1}{2}$ 。在稳态轧制过程中顶杆受力也比较平稳,这表明毛管与顶头之间良好润滑降低了摩擦系数,导致顶头冲击力减小。

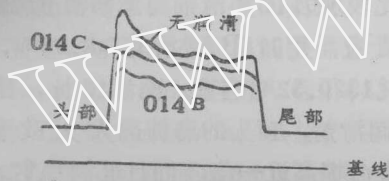


图5 顶杆压力示波图

5.3 试验结果表明,润滑剂的加入方法影响着润滑膜的稳定性。在加入3—4\*润滑剂时计算出:用连续喷射法 $\bar{f}_0=0.2040$ ,而用一次投入法则 $\bar{f}_0=0.2947$ 。这说明两种情况下界面间的润滑膜不同。从照片<sup>3</sup>可以看出,在轧制过程中用一次投入法加入润滑剂,润滑膜不完整,前端有润滑,后端无润滑,是一个不完全润滑过程,所以顶头磨损大,钢管尾端内表面粗糙。如照片4所示,连续喷射法在钢管全长上布满润滑剂,形成了全润滑过程,因此顶头的磨损大大减小。

5.4 顶头与钢管内表面之间的润滑膜使摩擦系数下降,也导致摩擦功下降,从而减少了摩擦功转换成的摩擦热,顶头接触表面的温升减少,使顶头寿命提高。

根据J·Halling和K·A·Nuvi推荐的公式计算,本试验的无润滑轧制和加入

014B润滑剂轧制,摩擦功转换成的热量及引起的顶头表面温升如下。

摩擦功转换成热量的公式为:

$$Q = \frac{fPV}{J}$$

式中: f—摩擦系数,

P—正压力(计算中示为轧制力),

V—滑移速度(0.628米/秒),

J—热功当量。

无润滑轧制,当轧制力 $P=3700\text{kg}$ 时, $J=426.93\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{kcal}$ ,则 $Q=2.3773\text{kcal}/\text{s}=2377.3\text{卡}/\text{秒}$ 。

轧制过程发热量 $Q_{\text{轧}}=Q\cdot t$

式中: t—轧制时间,  $t=0.62\text{秒}$ (轧出管长390mm),

则 $Q_{\text{轧}}=150.03\text{卡}$ 。

设钢的比热为0.107卡/克·度,则顶头温升为 $1404.97^\circ\text{C}$ 。

加014润滑剂轧制,  $P=2300\text{kg}$ ,  $f=0.2040$ ,  $V=0.629$ ,  $Q=0.69018\text{kcal}/\text{s}=690.18\text{卡}/\text{秒}$ 。

轧制过程发热量 $Q_{\text{轧}}=43.46\text{卡}$ 。

顶头表面温升为 $407.87^\circ\text{C}$ 。

计算表明,无润滑时摩擦生成大量热,使顶头表面过热,顶头材质的抗力下降,容易产生磨损。加入润滑剂后,其发热量还不足无润滑时发热量的 $\frac{1}{3}$ ,温升小,顶头温度低,变形抗力大,不易磨损。

5.5 润滑膜的强度取决于润滑剂的性质。加入014B润滑剂的效果最好,因为014B中添加了含有氯、磷等化合物的极压剂,氯、磷等化合物与金属表面起化学反应形成一层表面膜,使两表面不能直接接触。另外;这层表面膜抗剪强度低,所以,这种膜不仅能保护金属表面,而且还能降低摩擦系数。

014 润 滑 剂 性 质

表6

序号	润滑剂	外观	比 重	软化点	动 力 粘 度	酸 值	水 溶、酸 洗 性 能
1	014 A	”	0.60g/cm <sup>3</sup>	—	—	PH9.5	易溶于水, 可酸洗净
2	014B	”	0.71g/cm <sup>3</sup>	733°C	1.62泊 (1000°C)	PH8~9	”
3	014C	”	0.81g/cm <sup>3</sup>	723°C	1.21泊 (1000°C)	PH8~9	”
4	014D	”	0.95g/cm <sup>3</sup>	—	—	—	”

### 6. 现场试验

为了探索014B润滑剂应用于生产的可能性, 在76小型机组和400大型自动轧管机组上进行了生产性试验。

6.1 在76机组上采用喷射法加入润滑剂, 加入量为100克/道、50克/道。使用顶头为球形顶头, 三个顶头为一组循环使用。经过与现在生产中使用的食盐—锯末润滑剂对比, 用食盐—锯末的一组顶头可轧38支, 而用014B的一组顶头轧了154支。比较证明, 应用014B润滑剂比用食盐—锯末润滑剂的顶头寿命提高3倍, 而且咬入正常、轧制过程稳定、钢管内表面良好, 可用于生产。

6.2 在400机组上用一次投入法进行的润滑试验(用Cr14锥形顶头, 轧制 $\phi 219 \times 8\text{mm}$ 的20\*钢管)中, 首先在无润滑、加食盐润滑剂三种润滑条件下, 分别用三组顶头进行小批量试验, 观察、对比顶头表面磨损状况。当无润滑和加食盐润滑的两组顶头出现勒沟的时候, 而用014B润滑的顶头几乎没有磨损。轧制出的钢管

内表面光滑无划伤。

继之, 在400机组上进行了大批量试验, 比较加014B润滑剂与无润滑的顶头磨损情况。用014B润滑轧142.96吨, 无润滑轧1320.32吨钢管。两者相比, 使用014B润滑剂, 顶头的磨情况大大改善, 顶头寿命提高近一倍, 而且轧制稳定。特别是在轧制再热钢管时, 防止了轧卡现象。试验证明, 014B润滑剂是用于大生产很有前途的润滑剂。

### 7. 结论

7.1 连续喷射润滑剂能在整个变形区内形成润滑膜, 从而降低摩擦系数, 使钢管内表面光滑, 提高顶头寿命。

7.2 通过大量的试验室和现场试验证明, 014润滑剂性能良好, 使轧制过程稳定, 是适用于自动轧管机组的良好润滑剂。

7.3 润滑剂的最佳用量约为50克/米<sup>2</sup>, 进一步完善加入机构, 用量尚可减少。

半浮动顶头拔制厚壁管的试验研究

钢管技术  
1986年第2期

P 1~6

作者: 解春蓉 周世昌

为了克服在链式冷拔机上采用浮动顶头拔制中小直径厚壁管这一工艺的一些缺陷, 作者提出了用半浮动顶头拔制中小直径厚壁管的理论。文章分析半浮动顶头拔管过程受力条件, 分析了半浮动顶头拔制厚壁管道次减径量, 并通过浮动顶头和半浮动顶头拔制厚壁管的比较, 论证了后者克服了前者所产生的缺陷。

自动轧管机顶头工艺润滑的试验研究

钢管技术  
1986年第2期

P 7~12

作者: 张维静

在轧管过程中向变形区投入润滑剂, 在顶头与毛管内壁接触面上形成一层润滑膜, 改变了变形区内顶头与毛管内壁的接触摩擦条件, 从而使接触面的摩擦系数下降, 使钢管内表面光滑, 提高顶头的使用寿命。通过大量实验证明, 014润滑剂性能最好, 轧制过程稳定, 是适用于自动轧管机组的良好润滑剂。

提高无缝钢管扩径率的研究

钢管技术  
1986年第2期

P 13~18

作者: 曹树荣 洪连山等

本文通过提高热扩径率的实验研究和计算, 将原来意大利设计规定的 $\phi 351\text{mm}$ 坯料扩到 $\phi 500$ 以上的成品外径由两次加热改为一次加热和 $\phi 335\text{mm}$ 坯料扩到 $450\text{mm}$ 以上外径由两次加热改为一次加热的工艺是可行的。一次加热扩制成成品, 对产品表面质量没有影响, 产品的力学性能达到YB231—70的标准值。由于减少了燃气消耗, 降低了切头损失和金属烧损, 这项工艺的经济效益比较显著, 单位产品成本可降低87元/t以上。

对我国第一台狄舍尔轧管机组现状的剖析与计算

钢管技术  
1986年第2期

P 19~27

作者: 孙士秀 孔之达

鞍钢无缝钢管厂1970年设计和制造的我国第一台狄舍尔轧管机组, 经生产实践检验, 该机组轧制的产品质量差、产量低。本文针对存在的这些问题进行了剖析, 提出了变形量 $\mu$ 应从4.5降至3.0左右,  $\mu$ 盘从1.1提高到1.8左右, 圆盘位置应在轧辊轴线出口30侧mm左右,  $\frac{U_{\text{盘}}}{U_{\text{导}}} = 1.5 \sim 3.0$ , 导盘采用卧式, 轧辊上下配置, 增加穿孔机、圆盘架电机能力的改进措施。上述措施实现后, 产品规格增加, 质量提高, 产量也有较大的增加。