

# 直缝焊管成型过程张力分析

**摘要** 本文研究将直缝焊管成型过程视为一个整体的连轧连弯过程,考虑机架间的张力联系,给出全面焊管成型过程的张力分析,提出了焊管成型过程张力分析方法。

**关键词** 直缝焊管 成型过程 张力分析

## 1 前言

焊管是管坯依次经过一系列的成型辊逐渐弯曲成圆筒后经高频焊接而成。整个成型过程实际上是一个连轧过程,这样机架间必须建立适当的张力,否则,就会引起堆钢或管坯边缘起皱。因此,张力分析是焊管生产中一个最基本且十分重要的课题。

焊管成型张力分析值得一提的是,国内外在这方面作了一些研究工作,提出了“滚动直径”的概念及其计算方法<sup>[1]</sup>。但焊管张力分析与设计仍是尚在研究的课题,本文给出张力分析的计算机辅助设计(CAD),为焊管成型的机组张力分析提供了一条途径。

## 2 成型过程张力分析基本原则

焊管机组稳定轧制时,管坯经过所有机架被弯曲成型为管子。这些机架包括粗成型(也称为开口孔型机架)平、立辊机架、精成型机架(也称为闭口孔型机架)、挤压辊和定径平、立辊机架。这些机

架中,水平机架是主动的,立辊机架是被动的。被动机架无疑对管坯施加阻力;主动机架中,有一部分机架对管坯施加驱动力,另一些机架也可能对管坯施加阻力。所以这些驱动力和阻力都作用于同一根连续的管坯上。稳定成型时,管坯的运动状态恒定,加速度为零。由牛顿力学知,全部驱动力、阻力的合力应当为零。这就是焊管成型过程张力分析基本原则。

这个原则体现了系统的观点。全部机架,不管是主动的还是被动的,都通过管坯这个媒介联成一体。通过这个媒介,它们相互联系,相互影响,共同规定了管坯的运动行为。

## 3 焊管成型过程张力分析<sup>[2]</sup>

### 3.1 管坯合力

焊管成型机组一般由粗成型平、立辊串、立辊串、精成型机架、挤压辊和定径机架。粗成型、精成型和定径区一般由平、立辊交替布置构成。图1所示为锦西钢管厂焊管成型机组。



图1 焊管成型机组的组成

作用于管坯的合力可表示为:

$$F_H = \sum_i^{N_K} (F_i^u + F_i^l - f_i) + \sum_i^{N_L} f_i + \sum_i^{N_B} (F_i^u + F_i^l - f_i) - f_s + \sum_i^{N_D} (F_i^u + F_i^l - f_i) \quad (1)$$

式中  $F_H$ —作用于管坯上的合力, N;

$F_i^u$ —第  $i$  架上辊对管坯牵引力, 以向前(即

管坯前进方向) 为正, N;

$F_i^t$ —第  $i$  架下辊对管坯牵引力, 以向前为正, N;

$f_i$ —第  $i$  架立辊成型阻力, N;

$f_s$ —挤压辊成型阻力, N;

$N_B$ —精成型水平机架或立辊机架架数;

$N_K$ —粗成型水平机架或立辊机架架数;

$N_L$ —立辊串机架数;

$N_D$ —定径区水平机架或立辊机架架数。

### 3.2 管坯合力作为管坯入口速度的函数

焊管成型轧辊的基本特点是每个轧辊都带有孔型, 因而每个轧辊表面的不同点处都具有不同的线速度, 而在某一机架处, 可以认为管坯横断面上各点速度都相同, 这样不失一般性。每个轧辊孔型面可分为两个区: 前滑区和后滑区。在前滑区, 轧辊表面线速度大于管坯速度, 轧辊相对于管坯前滑, 提供给管坯向前的摩擦力; 在后滑区, 轧辊表面线速度低于管坯速度, 轧辊相对于管坯后滑, 给管坯施加向后的摩擦阻力。轧辊作用于管坯上的牵引力( $F_i^a + F_i^t$ ) 是前、后滑区摩擦力的合力。

管坯速度  $v$  的变化无疑会改变轧辊表面前、后滑区的划分, 因而就会影响到轧辊作用于管坯上的牵引力( $F_i^a$  或  $F_i^t$ ), 由(1)式知, 最终影响到作用于管坯上的合力  $F_H$  的值。所以, 对于某一确定的管坯速度  $v$ , 就会有一个确定的管坯合力  $F_H$  与之相对应, 所以  $F_H$  是  $v$  的函数, 即:

$$F_H = F_H(v)$$

### 3.3 管坯速度 $v$ 的确定

设管坯在机组入口处的速度为  $v_0$ 。在粗成型区, 轧辊对管坯的轧压是弹性的或小弹性的, 可以认为管坯速度不变。在立辊串区, 仍可以认为管坯速度不变。在精成型区, 管坯依工艺不同有两种可能: 一是管坯不发生周向塑性压缩, 因而无纵向延伸, 管坯速度仍为  $v_0$ ; 二是管坯在周向发生塑性压缩, 因而纵向延伸, 管坯速度大于  $v_0$ , 确切的速度值可按不可压缩性确定。在挤压辊区, 管坯不发生纵向延伸。在定径区, 管坯直径有所减少, 管坯速度略有递增, 各架后的速度可按不可压缩性条件计算。总之, 在工艺制度给定后, 可以计算出管坯的速度分布, 而带钢入口速度是一个基本变量。因而, 管坯的合力  $F_H$  准确的讲, 应是带钢入口速度  $v_0$  的函数, 即:

$$F_H = F_H(v_0)$$

按焊管成型张力分析基本原则, 焊管稳定成型时, 管坯合力为零, 即:

$$F_H(v_0) = 0$$

这是一个极为复杂的非线性方程, 可以用数值方法求解。求得  $v_0$  后, 可以进一步求出管坯速度分布, 管坯速度也就确定了。管坯速度及张力分析求解过程见图 2 所示<sup>[3]</sup>。

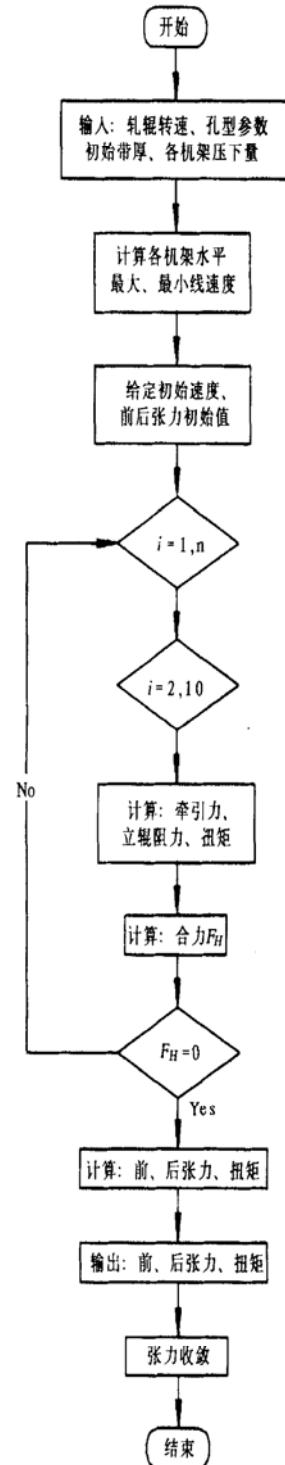


图 2 张力分析框图

### 4 焊管成型张力分析结果

上述张力分析就具体的机组进行分析计算,以揭示焊管成型的一些规律。

#### 4.1 计算条件

焊管规格为 $\varnothing 140 \times 4.5\text{mm}$ , 材质为 $B_3F$ ,

$\sigma_s = 240\text{MPa}$ ,  $E = 2.1 \times 10^5\text{MPa}$ , 强化系数 $\eta = E'/E = 0.015$

机组如图 1 所示, 由 6 个粗成型机架、3 个精成型机架、挤压辊和 3 个定径机架组成, 全部是平、立辊交替布置, 参数如表 1 所示。

表 1  $\varnothing 140 \times 4.5\text{mm}$  孔型参数表<sup>[4]</sup>

架次	开口孔						闭口孔			定径辊		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3
立辊 $\rho$	$\infty$	495	270.3	192.5	148.5	120	99.5	84.5	76	70.4	70.05	69.08
水平辊 $\rho$	660	320	220.3	165	132	109.7	79	79	72	70.1	70.0	69.9
上平辊底径(mm)	496.8	499.5	502.2	504.9	576.2	579.5	585.3	585.3	588.4	271	292.5	294
下平辊底径(mm)	276	277.5	279	280.5	282	283.5	286.5	286.5	288	220	220	220
立辊底径(mm)	150	150	150	150	180	180	180	180	180	220	220	220
齿轮比	1.6	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	1.95	1.95	1.95	1.323	1.323	1.323

注: 成型段下辊转速 14.5r/min, 定径机下辊转速 19.5r/min。

#### 4.2 张力及其分布

如图 3 所示。在不考虑开卷机、活套阻力及其

头、尾飞锯阻力时, 成型机组头、尾处管坯中的张力为零。

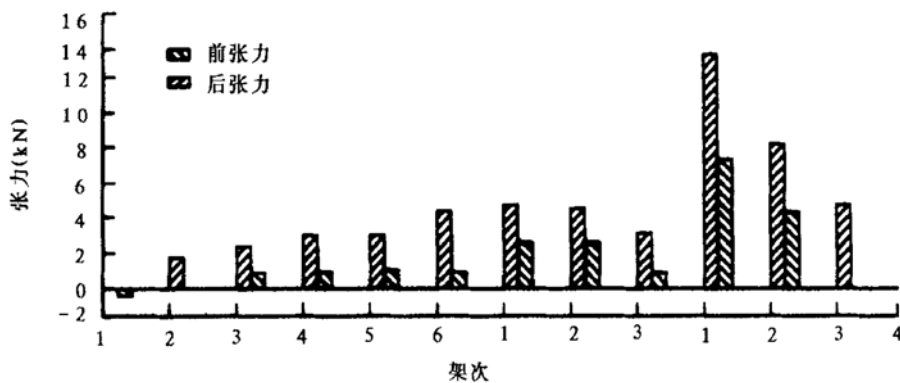


图 3 张力分布示意图

在头两个粗成型机架处, 管坯中的张力很小甚至出现了负张力, 这对管坯的稳定成型是不利的。解决的办法是适当减小这两个机架的轧辊底径。在轧辊已定的情况下, 可以适当提高精成型(封闭孔)机架(如单独传动)、定径机架轧辊速度。

在后几个粗成型机架及精成型机架, 管坯中的张力是比较适中的。但在最后一个定径机架之后、挤压辊之前, 管坯中的张力很小, 调整不当会出现负张力, 即管坯是被推入挤压辊的。当成型的管坯相对较薄时, 对挤压焊接不利。

管坯中的张力在挤压辊之后、第一定径机架之前具有较大值, 在整个定径区也具有较高水平。

这实际上意味着定径机架拉着管坯向前运动, 定径机架所提供的牵引力应足以克服挤压辊的纵向阻力。否则在挤压辊之前就会出现负张力。上述的张力分析结果与实际生产中的情况比较吻合, 具有一定的参考价值。

### 5 结 论

利用上述张力分析方法, 确定各机架轧制负荷。可以计算出其它的力学数据。可以准确对轧辊强度进行校验以及计算轧辊扭矩等。

(下转第 26 页)

表2 管径与管坯的理论重量比率

序号	钢管外径 (mm)	管子理论重量 (kg)	管坯理论重量 (kg)	比率 (%)
1	10.0	0.39	0.45	86.67
2	13.5	0.62	0.68	91.18
3	17.0	0.82	0.88	93.18
4	21.3	1.26	1.33	94.74
5	26.8	1.63	1.71	95.88
6	33.5	2.42	2.51	96.41
7	42.3	3.13	3.22	97.20
8	48.0	3.84	3.93	97.71
9	60.6	4.88	4.97	98.19
10	75.5	6.64	6.75	98.37
11	88.5	8.34	8.47	98.47
12	114.0	10.85	10.99	98.73
13	140.0	13.42	13.52	99.26
14	165.0	17.81	17.99	99.00

组数据相差较大的占 78.57%，式(1)有接近于式(2)的，也有接近式(3)的，小于或等于两式的占 71.42%。既满足了生产需要，又减少了成材率的损失。同时式(1)在计算薄壁管用料宽度，比起专用于薄壁管管坯宽度计算公式  $B = \pi(D_T - t) \times (1.04 \sim 1.05)$  的准确性更为明显。

#### 4 结 语

尽管管坯的厚度不同，根据式(1)的计算结

果，其焊接挤压量基本是按同一值给定的。所以，可以利用同一规格的管子与管坯的理论重量比值关系，来校验计算管坯宽度的效果。这个比值关系是随管径的大小而变化的，也说明了管径越小成材率损耗越大，管径越大成材率损耗越小的道理。表2为管径与管坯的理论重量比率值，说明在焊管生产时选用公式(1)来计算所用管坯的宽度，是比较切合实际的一种计算方法。

(收稿日期: 2001-09-28)

(上接第20页)

#### 参 考 文 献

- 1 赖明道. 直缝焊管成型机组滚动直径计算. 重型机械, 1983(3)
- 2 于凤琴. 直缝焊管成型机的张力分析. 硕士学位论文, 燕山大学, 1998, 6
- 3 李云江等. 焊管成型过程张力分析与 CAD. 河北省自然科学基金项目. 1997, 12
- 4 赖明道. 直缝焊管机力能参数实验研究. 东北重型机械学院(现燕山大学前身)学报, 1982(2)

**作者** 于凤琴, 1965年3月出生, 硕士. 现任燕山大学机械工程学院机械设计及自动化系轧钢研究所讲师. 联系地址: 河北秦皇岛燕山大学轧机系. 邮编: 066004

(收稿日期: 2001-12-12)

# ABSTRACTS

## WELDED PIPE AND TUBE

### Vol. 25 No. 3 May 2002

#### Development Direction of China Pipe Anti - Corrosion Status

*Che Qingbing (1)*

**Abstract:** Abstract: The development direction and status of pipe anti - corrosion home and broad, and China pipeline anti - corrosion coating type , advantage and shortcoming as well as the application scope are introduced. The P. E. coating process is emphatic described to be China's pipeline coating development direction.

**Subject Terms:** steel pipe pipeline coating pipe anti - corrosion polyethylene status development

#### Technology and Market Basis of $\Phi$ 610 mm ERW Pipe Construction

*Sun Yongxi(4)*

**Abstract:** For the China's second oil and gas transmitting pipeline construction climax, compared with the development status of ERW pipe technology and quality both home and broad, the development prospect of  $\Phi$ 406 - 610 mm ERW pipe is pointed out, and the construction of one or two  $\Phi$ 610 mm ERW pipe production line to fulfill the domestic blank.

**Subject Terms:** pipeline transmitting oil and gas pipeline development status quality development plan feasibility

#### Variation And Control of Weld Fusion in Stainless Steel GTAW Welded Pipe Production

*He Defu, Cao Zhiliang, Cai Xinqiang, Zhou Zhijiang (9)*

**Abstract:** During the stainless steel auto GTAW/TIG welding production, the same stainless steel weld fusion or penetration will differ because of the different manufacturer and heat no. , this has puzzled the researcher for 30 years. Based on research of melting pool of dynamics, the article discussed the reason of melting variation, and pointed out the countermeasure for effective control the variation in production.

**Subject Terms:** stainless steel welded pipe GTAW/TIG variable weld penetration convection in weld pool surface activity control strategy

#### Strain Analysis on Longitudinal Welded Pipe

*Yu Fengqin(18)*

**Abstract:** the welded pipe forming process is considered as a integrated continuous rolling and bending process, combined with the strain between the racks, the stain of whole welded pipe forming process is analyzed, and the forming process strain analysis method is proposed.

**Subject Terms:** welded pipe forming process strain analysis

#### Research on Low Carbon Steel "TIG - LD" Argon Arc

#### Welding Wire

*Ding Qingru, Liu Liangyu (21)*

**Abstract:** The researched TIG - LD argon arc welding wire is applicable for 40kg grade low carbon steel pipeline welding. The welding process properties of the welding wire are excellent, and the chemical composition design is reasonable, the fusion metal mechanical roperties and anti - corrosion properties meet the same kind of product both home and abroad.

**Subject Terms:** low carbon steel anti - corrosion argon arc welding wire research welding material welding wire

#### Quick and Accurate Calculation Method of Welded Pipe Blank Width

*Zahng Jiping(24)*

**Abstract:** Through pipe blank width effect analysis on welded pipe production, the quick and accurate calculation method is introduced, and the comparison with welded pipe blank width calculation formula in common use is conducted.

**Subject Terms:** longitudinal welded pipe pipe blankwidth pipe diameter calculation

#### Roller Computer Aided Design Based on Geometrical Character and Binding

*Li Hui (27)*

**Abstract:** the advanced roller CAD system is introduced. Based on Auto - CAD system, the parameter drawing method according to roller shape character and geometrical binding technology are adopted to realize the systematic of roller pass design and roller accessory parameter drawing. This system can easily and quickly conduct the seven kind roller design drawing of round pipe, square pipe, rectangle pipe, elliptic pipe, plane elliptic pipe, drum shape pipe, double drum shape pipe etc.

**Subject Terms:** roller pass design method rameter computer aided design

#### Development on Plate Feeding Speed and Plate Length Measuring Equipment of Spiral Welded Pipe Mill

*Liu Tao, Liu Lixin, Yang Dong, Li Yanfeng (30)*

**Abstract:** A kind of online measuring equipment on plate feeding speed and plate accumulative length of the spiral welded pipe mill are introduced. The measuring principle , software and hardware design scheme as well as he anti - site interference action are described also.

**Subject Terms:** spiral welded pipe mill feeding speed singlechip photoelectric encoder data storage micro - printer

#### Research on Large Section Rectangle Longitudinal Seam Welded Pipe

*Zhao Ruicheng, Tang Zhiyi, Xu Jiansheng, Zhou Jianxin(33)*

**Abstract:** The plate forming process to produce rectangle