

中小直径直缝焊管成型技术概说*

杨 仙¹, 王俊伟¹, 赵振学¹, 刘 才²

(1. 河北工业职业技术学院, 石家庄 050091; 2. 燕山大学, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要: 介绍了中小直径直缝焊管成型工艺技术的发展以及辊式成型法、直缘成型法、FF (Flexible Forming) 成型法、CTA (Central Toll Adjustment) 成型法、CBR 成型法等成型技术。分析了直缘成型、FF 成型等当今焊管行业几种常用的成型方法的特点。

关键词: 辊式成型; 柔性; 直缘成型; FF 成型; CTA 成型; CBR 成型; 成型辊; 预成型

中图分类号: TG333.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3938(2006)04-0055-05

0 前 言

由于世界经济的迅猛发展,人们对焊管产品在品种、规格、质量和数量诸方面要求不断提高,促进了焊管成型工艺技术的发展。焊管在继续占据着水、煤气输送、电线套管、建筑结构等低强度的钢管市场外,在石油管、机械用管、锅炉管、汽车传动轴管、高压流体输送等高精度、高强度管领域,与无缝钢管展开了激烈的市场竞争。焊管行业同样面临着经济全球化和社会信息化的挑战,为了提高竞争力和满足产品多样化要求,我们必须研究新的焊管成型技术,以适应品种、变批量、多品种、少批量的生产需求。因此,提高生产效率和降低成本成为当今研究的重要课题之一。

1 中小直径直缝焊管(以下统称“焊管”)成型技术的发展

1.1 辊式成型法

辊式成型法,如图1所示。

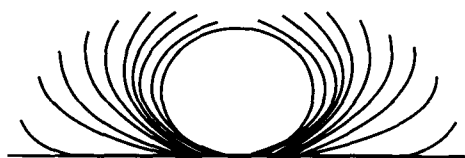


图1 辊式成型法

1.1.1 单半径辊式成型法

单半径辊式成型法有圆周弯曲成型法和边缘弯曲成型法两种。

20世纪40~50年代,焊管的成型工艺主要采用单半径辊式成型方法。即成型机水平辊、立辊交替布置,带钢从水平辊、立辊中间经过,逐渐由平板弯曲成圆管。圆周弯曲成型法是在带钢整个宽度方向上同时弯曲变形,其弯曲半径是逐渐减小,如图2所示。而边缘弯曲成型法是从带钢的边部开始弯曲,逐步增加变形角,同时减小带钢中间部分的宽度,直到钢带成圆封闭,如图3所示。单半径辊式成型法的钢带边缘被拉伸,为了保证钢带边缘拉伸量小于1%,防止产生波浪和鼓包,通常采用加长变形区长度的方法,使总的变形区长度等于50~60倍焊管最大直径,变形量由各水平机架间平均分配。圆周或边缘弯曲成型的方式消耗功率大,成型辊数量多,成型变形区长度大,生产成本低。

1.1.2 双半径辊式成型法(综合弯曲成型法)

如图4所示,在单半径辊式成型法之后,发展了管坯边缘与圆周综合弯曲变形的双半径成型法,它以挤压辊孔型半径或成品管半径为边缘弯曲半径,将带钢边缘弯曲到某一变形角,并在以后各成型架次基本保持不变,而带钢中间部分的弯曲成型则按圆周弯曲成型法进行变形分配。虽然这种成型方法融合了边缘和圆周弯曲成型法的

* 国家自然科学基金项目(50375135); 河北省攻关课题资助项目(03213541D、05212106D)

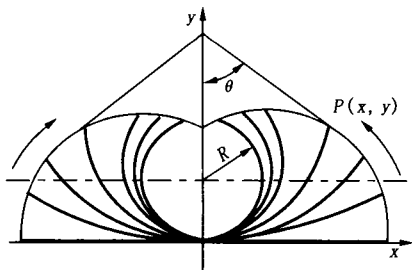


图 2 圆周弯曲法辊花图

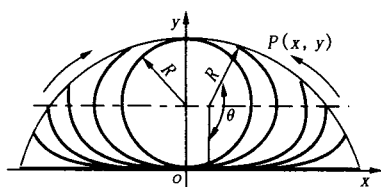


图 3 边缘弯曲法辊花图

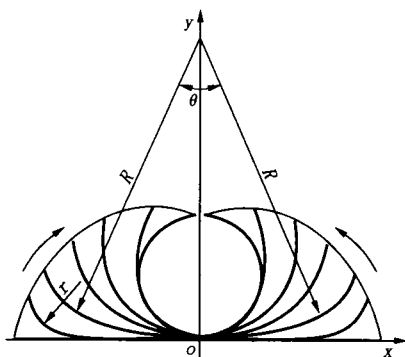


图 4 双半径成型法辊花图

优点,成型过程较稳定,变形均匀,边缘相对伸长小,成型质量较好,但仍未避免单半径辊式成型的主要缺点。

1.2 直缘成型法(排辊成型)

直缘成型法(排辊成型),如图 5 所示。

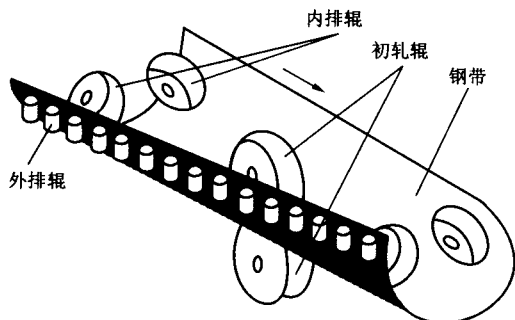


图 5 排辊成型法示意图

排辊成型起源于美国。20 世纪 60 年代,在生产实践中,人们发现有两种途径可以减少边缘拉伸:一种为下山法成型;另一种为取消立辊,在焊接的笼形框架上安装一些小辊子以代替水平机架间的立辊,防止弹性变形,减少带钢边缘延伸量,从而减少了管坯的边缘折皱,这种方法称为半排辊式成型机结构。此法虽可生产壁厚与管径比 $t/D > 1.5\%$ 的薄壁管,但由于水平机架数量仍很多,笼式排辊数量也很多,为克服这些缺点,人们又发展了直缘成型法(亦称全排辊式成型法),大大缩短了变形区长度,让带钢自然成型,管坯边缘拉伸大大减少,同时减少了功率消耗和冷弯成型辊的磨损,可生产 $t/D \leq 1\%$ 的薄壁管。

1.3 带立辊群的辊式成型法

从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代初,直缝焊管向生产 $t/D > 5\%$ 的厚壁管的方向发展。为了提高焊管成型机的刚度,以便生产厚壁管,采用了先弯边的方法,前面设置连续 4 架水平机架,中间设置被动 2~4 架立辊(称为被动立辊群)以强力使钢带变形,后面是 3~4 架精轧水平机架,这种机组可生产 $t/D = 7\%$ 的焊管,如图 6 所示。

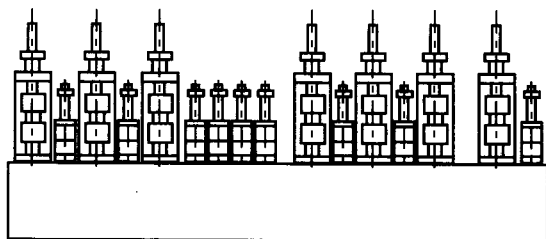


图 6 带立辊群的辊式成型机

1.4 “W”双半径孔型系统

“W”双半径孔型系统,如图 7 所示。

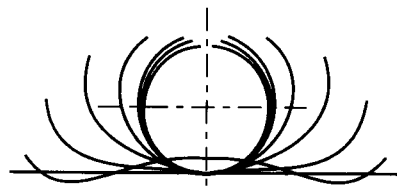


图 7 “W”双半径孔型变形花

“W”双半径孔型系统也称为 W 反弯弯曲成型法。粗成型段第 1 架或前几架采用“W”反弯

弯曲成型,带钢边缘部分正向弯曲,中间部分反向弯曲,增加了边缘部分弯曲弧长,使边缘变形充分,由此改善了边缘状态,而且管坯在成型过程中高度差较小,使边缘相对延伸大为减小,避免了边缘纵向伸长引起的鼓包,同时缩小了圆周速度差。

1.5 FF 成型法 (Flexible Forming)

20 世纪 80 年代中期,日本中田机械制造所研制出高效能的 FF 成型机,粗成型段用一套公用冷弯成型辊即可完成本机所生产的各种规格。其规格范围为:

$$D_{max}/D_{min} = 3:1; t/D = 1\% \sim 10\%$$

精成型段与传统精成型机架相同。粗成型纵向变形采用下山法,水平机架第一架为 W 孔型,以后各架为双半径孔型。边缘及其附近的弯曲采用具有渐开线曲率的成型辊来实现,即不同外径的钢管用同一套冷弯成型辊的不同曲率半径的部位进行轧制,如图 8 所示。水平机架由辊式成型法的只有 1 个自由度(水平辊的上下调整)增加到 3 个自由度,即增加了水平辊在管坯横向截面的横向调整和旋转调整。立辊机架也由辊式成型法的只有 1 个自由度(立辊的对中调整)增加到 3 个自由度,即增加了立辊的上下调整和管坯横向截面的旋转调整,如图 9 所示。这样就能使管坯

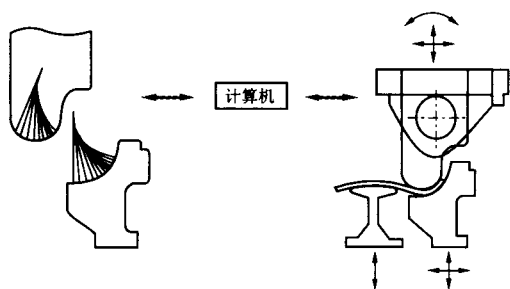


图 8 FF 成型法示意图

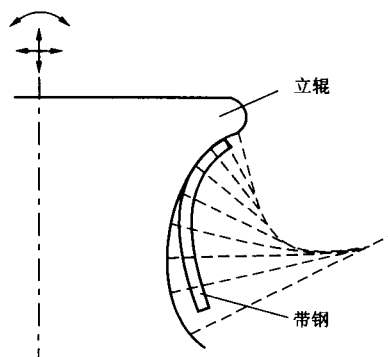


图 9 立辊 FF 成型法示意图

在成型过程中始终保持边缘弯曲良好,管中部弯曲借助边缘弯曲力和中间助力辊来实现。该成型机使管坯在成型过程中无论是纵向变形还是横向变形所受压力最小,焊缝平直,不易歪扭,精成型后管坯边缘变形极小,高频焊接后焊缝质量优良。

1.6 CTA 成型法 (Central Toll Adjustment)

1987 年,奥地利钢铁联合公司研制出第一套采用 CTA 成型法的焊管机组,CTA 直译为冷弯成型辊集中调整。

CTA 成型机(如图 10 所示)由四部分组成:两个通用的预弯机架和一个弯边机架,一个专门的 CTA 装置取代 4~5 架传统的二辊平辊机架及其立辊装置。CTA 装置以生产圆管为主,改变规格尺寸时,只需调整辊片的位置即可实现改变,冷弯成型辊调整时,其移动呈直线性。在粗轧台架上执行第一道粗轧工序,平直钢带坯料进入两架装有上凸下凹成型辊的预弯机架,被冷弯成型辊轧制成圆弧形,即圆周弯曲的成型工艺(见图 10(a))。然后,弧形钢带进入弯边机架,在左右各一组凸凹耦合辊的作用下,钢带两边缘部分产生更大的圆弧形变形,即边缘弯曲的成型工艺(见图 10(b))。而钢带中间部分基本保持前道工序形成的形状,并继续进料,进入 CTA 装置。在 CTA 装置中,由于许多排辊的连续作用,钢带穿过成型机后就被连续、光滑地轧制成开口约为 32° 的开缝管,即排辊成型工艺(见图 10(c))。最后,开缝管进入精轧机架,在上辊带有导向环的精轧孔型中完成精成型(见图 10(d))。完成精成型的开缝管进入挤压辊,经过焊接、压光、冷却后

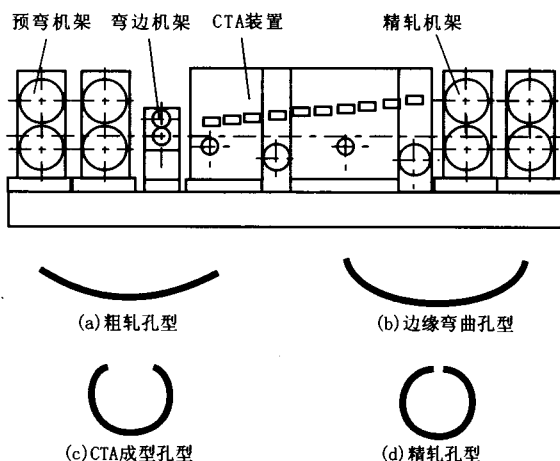


图 10 CTA 成型机和各部分带钢横截面图

进入定径机架。

当该机组生产方矩形管时,整型机架是万能式辊组,改变产品规格时,只需调整 4 个交错布置的平、立辊位置,即可实现生产方矩形管的要求。

由此可见,CTA 成型法实际上是在排辊成型技术的基础上,增加了弯边机架和高度自动化的可编程系统,全部调整都能在输入简单的产品数据后自动进行,从数字显示器上可以识别成型辊的位置,并且在全部产品范围内不必换辊(CTA 装置的排辊孔型是渐开线),因此,CTA 成型技术是更高层次上的直缘成型技术。

1.7 CBR 成型法

日本川崎钢铁公司通过对笼式成型技术特性的研究,开发出一种新颖的焊管成型工艺——无鼓肚变形辊成型法(亦称 CBR 成型法)。适用于生产高质量、多品种、小批量的不锈钢焊管。CBR 成型法的变形有 5 个设计半径,在封闭孔前使钢带边部和中部弯曲成一个椭圆形管坯(见图 11(a)),再经闭口孔辊架使两侧腰部鼓弯变形,而管坯圆周方向的变形是在每一个闭口孔中间同时进行的(见图 11(b))。采用该法研制的 CBR 成型机已应用于日本川崎钢铁公司爱知厂不锈钢焊管生产线上。管坯的缩径量比传统成型法减少 1/2 以上,因而增加了屈服强度,防止冷作硬化。同时由于公用辊的使用,使机架数量减少,辊耗也大为减少,焊接性能大大改善,因此,不锈钢焊管的成型和焊接质量显著提高。



图 11 CBR 成型区带钢横截面图

2 几种常用的成型方法及其特点

2.1 辊式成型法

辊式成型法是最早采用的焊管成型方法。由于它的成型工艺简单,至今仍被许多焊管厂家所采用。其主要特点如下:

(1)带钢在成型过程中比较稳定,变形比较均匀。

(2)冷弯成型辊加工方便,制造容易。

(3)成型机结构简单,易于手工调整,设备投资少,对操作工人的要求低。

(4)轧辊孔型没有共用性,使冷弯成型辊加工、储备、管理的工作量都相应的增加。

(5)消耗功率大,成型变形区长度大,生产成本低。

2.2 FF 成型法

FF 成型法(也称变通成型法)是适应性较强的一种成型方法。FF 成型系统由成型机粗成型的 4 架组合平辊和 6 架立辊组成。每架轧辊孔型均采用一组连续变化曲率的渐开线,这段曲线上含有所有能生产的焊管孔型,如图 8、图 9 所示。

FF 成型法具有以下特点:

(1)成型工艺先进,花形设计自然、合理,带钢变形均匀,带钢的纵向变形采用下山式,横向变形采用 W 组合孔型,最大限度地减小了带钢在变形过程中的接触面积,带钢边缘的强制变形与中部的自由变形配合进行,可减少加工硬化、残余内应力及表面划伤。

(2)FF 成型法对不同规格品种的直缝焊管适应性强,使用范围广。改变焊管规格时,不需换辊,而是对 4 架组合平辊和 6 架立辊的设定数据进行简单的调整,即可以满足生产的需要。

(3)调整数据由计算机辅助计算,因而数据准确可靠,而且数据的设定采用电液控制、机械传动,数据由数字显示盘显示,所以调整量精确,调整工艺规范化,冷弯成型辊位置的重复定位精度高,调整位置稳定可靠。

(4)可以根据不同管径、壁厚及材料特性的变化,选择具有适当曲率半径的冷弯成型辊部位来轧制带钢边缘部分。因此带钢边缘的拉力有效减小,带钢与冷弯成型辊的摩擦相应减小,并且使焊管表面粗糙度得到改善,焊缝平直,焊管的质量大大提高。

(5)由于各种规格只用 1 组冷弯成型辊,可节约备辊数量 30% ~ 60%。因此减少了冷弯成型辊的占用资金。并且冷弯成型辊磨损小,轧机能耗低,使用寿命长,减少了换辊次数。

2.3 直缘成型法

直缘成型法也称为排辊成型(Cage Roll Forming Process)或自然柔性成型。

直缘成型法具有以下特点:

(1)直缘成型法属于自然柔性成型法,管坯边缘成直线状态,管坯按自然成型曲线逐渐连续成型,在成型过程中,一方面进行弯曲,一方面压缩和吸收带钢的边缘延伸,这样便有效地防止了由于边缘延伸带来的波浪和鼓包,最大边缘拉应变仅是传统成型的 1/5 左右。而且带钢在焊接过程中边部对中整齐,很少产生偏差和错位现象。大大提高了成型和焊接质量。

(2)成型区架次少。直缘成型的变型区比传统辊式的变形区缩短了 60%。减少了轧机机架数,冷弯成型辊储备少,备辊数约减少 60%,节省了投资。

(3)冷弯成型辊与管坯成点状接触,滑动摩擦小,不仅解决了管坯的划伤问题,而且减少了功率消耗及轧辊磨损。

(4)成型排辊共用性好。通过排辊空间位置的调整,1 套冷弯成型辊可适应所有生产规格的系统孔型。这样不仅节约了冷弯成型辊的储备和投资,同时节省了更换规格的时间。而且排辊采用圆柱辊易于加工,使焊管的消耗大大减少,成本大幅度降低。

(5)有较大的调整余地。成型机架装有刻度标尺,可确保重新调整时的准确度。所生产的钢管壁厚与管径比的范围为 1:10~1:80,所以该成型法既能制造大口径薄壁管,也能制造小口径厚壁管。

(上接第 54 页)

量原理误差,可实现钢管截面周长、直径、圆度、错边量等成型参数的在线测量,构建了基于该原理的螺旋焊管成型几何质量在线测量系统,采用该系统进行了实际生产条件下钢管成型的在线测量,单个截面测量时间小于 3.5 s,周长测量误差小于 0.50 mm,直径、圆度、错边量的测量误差小于 0.15 mm,可满足实际生产中钢管在线测量的要求。

参考文献:

- [1]黄志潜. 国外油气输送管道用螺旋缝埋弧焊管制造技

3 结 语

纵观现代成型方法的发展动向与国内现状,焊管成型技术正在向高效、多功能、自动化以及成型辊共用性强的方向发展。不论是焊管企业还是焊管设备制造企业都在为推动焊管行业技术进步、调整产品结构、增强综合经济效益而不懈努力。有鉴于此,我们要抓住这个机遇,不断开拓新产品市场,加强自身技术改造和技术协作攻关,消化吸收国外先进的工艺技术和装备,使我国焊管成型技术获得较快地发展。我们相信,随着焊管产品新的要求和焊管变形理论的深入研究,我国将会设计出更好的焊管成型机组。

参考文献:

- [1]杨仙,苏雪芳. $\phi 114$ 直缘成型机组简介[J]. 焊管, 2002(1):36-39.
 [2]官方立. FF 轧制技术的开发和进展[J]. 焊管,1996(4):49-60.
 [3]曲贵良. CTA 焊管技术[J]. 焊管,1997(1):52-55.
 [4]胡松林,编译. 电焊管无鼓肚变形辊成型法[M]. 钢管,1994(1):53-56.

作者简介:杨仙(1956-),女,教授级高级工程师,1982 年毕业于河北工学院机械制造工艺及设备专业,长期从事钢管成型机组及冷弯成型辊的研究,现任河北工业职业技术学院机电系教授。

收稿日期:2005-09-28

编辑:罗 刚

术的发展[C]//石油管工程应用基础研究论文集. 北京:石油工业出版社,2001,20-27.

- [2]API SPEC 5L, Specification for Line Pipe (43rd Edition) [S].
 [3]GB/T 9711.1—1997,石油天然气工业输送钢管交货技术条件 第 1 部分:A 级钢管[S].
 [4]Q/SY XQ14—2002,西气东输工程用螺旋缝埋弧焊管技术条件[S].
 [5]刘洪飞. 螺旋焊管在线自动测径装置[J]. 焊管,2002, 25(6):24-27.
 [6]李云龙,袁鹏斌,李京川,等. 大口径油气输送钢管管径测试技术的探讨[J]. 焊管,2004,27(4):19-22.

作者简介:张勇(1976-),男,清华大学机械工程系博士研究生,主要研究方向是几何测量和机电一体化。

收稿日期:2006-03-20

编辑:罗 刚