

浮动·限动——连轧管机类型解读

李群 (天津钢管三圆管材有限公司, 天津 300301)

【摘要】介绍了连轧管机工作时金属的变形规律和应力状态,详细分析了不同类型连轧管机芯棒运行的方式和特点,列举了各种连轧管机的典型机组,论述了脱管机与脱棒机的作用与区别,提出了连轧管机的分类方法。

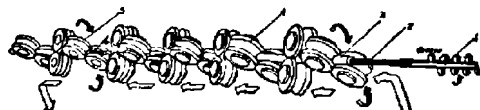
关键词 钢管 连轧管机 芯棒 浮动 限动 类型

1 前言

现代连轧管机由于其生产效率高、产品质量好、品种范围大、金属消耗低、机械化和自动化程度高、操作人员少等特点在近 30 年得到了越来越广泛地应用,目前已成为热轧无缝钢管生产领域占统治地位的机型。因连轧管机芯棒运行方式的多样性使得机组的称谓较多,命名也不统一,如:浮动芯棒、半浮动芯棒、半限动芯棒、限动芯棒等。为便于区分,在此尝试界定连轧管机的分类方法。

2 连轧管机简介

连轧管机是在毛管内穿入长芯棒后,经过多机架顺序布置且相邻机架轧缝互错(二辊式轧缝互错 90°,三辊式轧缝互错 60°)的连轧机轧成钢管,它是当今被最广泛应用的纵轧钢管方法,如图 1 所示。连轧管机轧制过程中,轧件变形实际上是受多组(4~8 组)轧辊与芯棒的反复作用从圆到椭圆…椭圆再到圆的过程^[1]。



1—芯棒限动装置 2—芯棒 3—毛管 4—连轧管机 5—脱管机
图 1 MPM 轧管工艺过程图示

连轧管机在 PQF 出现以前,不论是浮动、半浮动还是限动形式,都是两辊式的,即由两个轧辊为一组组成孔型;PQF 为三辊式的,即由三个轧辊为一组组成孔型;MPM 与 PQF 孔型构成见图 2。连轧管时,孔型顶部的金属由于受到轧辊外压力和芯棒内压力作用而产生轴向延伸,并向圆周横向宽展,而孔型侧壁部分的金属与芯棒不接触,但它被顶部轴向延伸的金属对它附加的拉应力作用而产生轴向延伸,并同时产生轴向拉缩。不论两辊式的还是三辊式的连轧管机,按芯棒的运行方式可分为浮动芯棒、半浮动芯棒和限动芯棒三种形式。

3 按芯棒运行方式连轧管机的类型

3.1 浮动芯棒连轧管机(或全浮动芯棒连轧管机)

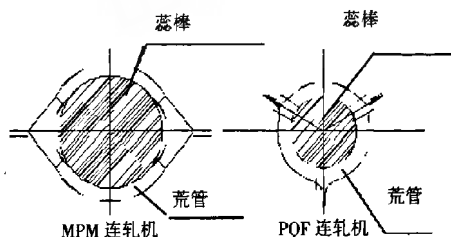


图 2 连轧管孔型构成

简称 MM(Mandrel Mill),现代浮动芯棒连轧管机组是由德国的米尔(MEER)公司研制的。轧制过程中对芯棒速度不加以控制,芯棒由被辗轧金属的摩擦力带动自由跟随管子通过轧机,芯棒的运行速度是不受控的。轧制过程中芯棒的运行速度随着各机架的咬入、抛钢有波动,从而引起钢管壁厚的波动。轧制结束后,芯棒随荒管轧出至连轧机后的输出辊道,在轧制薄壁管时芯棒的几乎全长都在荒管内,见图 3。带有芯棒的荒管横移至脱棒线,由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。其特点是轧制节奏快,每分钟可轧 4 支甚至更多的钢管;但荒管的壁厚精度稍低、设有脱棒机使其工艺流程较长、芯棒的长度接近于管子的长度;由于芯棒较长、重量较大,限制了荒管的外径尺寸,浮动芯棒连轧管机只适合生产较小规格(外径小于 $\phi 219$ mm)的无缝钢管。比较有代表性的浮动芯棒连轧管机有德国米尔海姆厂的 RK2 机组和我国宝钢的 $\phi 140$ mm 机组。

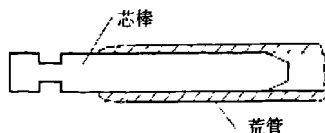


图 3 浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图

3.2 半浮动(或半限动)芯棒连轧管机

德国人称 MRK-S (Mannesmann bohr-Kontimill Stripper);法国人称 Neuval。

德国米尔公司设计的工艺为:在轧制过程中,前半程,芯棒不是自由地随轧件前进,而是受限动机构的控

制,以一恒定速度前进,芯棒与轧件的速度差分布是不一致的,第1架的轧件出口速度小于芯棒速度;自第2架开始,轧件的速度快于芯棒的速度,形成稳定的差速轧制状态;当完成主要变形、管子脱离倒数第3架时,限动机构加速释放芯棒,象浮动芯棒一样由钢管将芯棒带出轧机^[2]。Neuval 工艺是法国瓦卢雷克(VAL-LOUREC)公司在上世纪70年代初提出并实施的连轧管方法,轧管时它在本质上与MPM方法没有什么区别,也是采用限动芯棒工艺,只是它没有脱管机,当轧制终了时芯棒随荒管一起前行,而后用脱棒机将芯棒/荒管分离,脱棒长度一般小于8m。Neuval 工艺的另一个特点是为了节省穿孔、轧管之间的辅助时间,设计时将顶杆与芯棒合二为一,即穿孔后毛管和顶杆(芯棒)一起被送到连轧管机上,事实上,穿孔时支撑顶头的顶杆被用作连轧管机的芯棒,以减少从毛管中先脱顶杆再穿芯棒的时间,Neuval 工艺已于1972年申请了专利,并于1978年在瓦卢雷克公司的圣索夫厂建成投产了一套 $\phi 127\text{mm}$ 机组(至今也仅有这一套),轧制节奏最快可达20s/支。

法国瓦卢雷克公司研制的工艺特点是:在钢管由最后一个机架轧出时才松开芯棒,即在轧制过程中具有限动芯棒轧机的工艺特点,而在终轧后松开芯棒,芯棒随荒管至连轧机后的输出辊道。

不论德国工艺还是法国工艺,半浮动芯棒轧管机轧制结束后,约有1/3长的荒管(尾部)包住芯棒前端,带有芯棒的荒管横移至脱棒线,由脱棒机将芯棒从荒管中抽出以便冷却、润滑后循环使用。见图4。

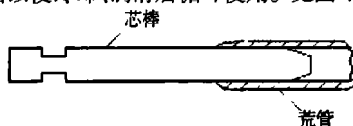


图4 半浮动芯棒轧制后芯棒/荒管示意图

其特点是荒管壁厚的精度较高、节奏较快,每分钟可轧3支甚至更多的钢管,设有脱棒机使其工艺流程较长;芯棒长度虽然比浮动式的短得多,但比限动芯棒还是略长一些,荒管外径也受到限制,适合生产较小规格(外径小于 $\phi 219\text{mm}$)的无缝钢管。德国模式的代表机组有日本的八幡厂的 $\phi 194\text{mm}$ 机组和我国衡阳的 $\phi 89\text{mm}$ 机组;法国模式的机组至今仅有一套,就是法国V&M公司圣索夫厂的 $\phi 127\text{mm}$ 机组。

3.3 限动(或可控)芯棒连轧管机

3.3.1 MPM

限动芯棒连轧管机,简称MPM(Multi-Stand Pipe Mill),限动芯棒连轧管机组是由意大利的因西(INNSE)公司开发的,一般设有7~8个机架。轧管时芯棒是限动的、速度是可控的,芯棒的速度应高于第一架的咬入速度而低于第一架的轧出速度。轧制的整个

过程中芯棒速度是恒定不变的,从而确保管子壁厚的精度,轧制不同的管子时芯棒的速度可在一定范围内调节。轧制结束后,芯棒停止,由脱管机将荒管从芯棒中脱出,而后芯棒回送离开轧机,拔出轧线冷却、润滑后循环使用。限动芯棒轧制促进了金属的纵向流动,限制了横向宽展。由于采用在线布置的脱管机将荒管与芯棒分离,孔型设计时可适当减小侧壁角及脱棒间隙,允许采用封闭式圆孔型,并可提高前面几架的单机架延伸率,这就为改善钢管质量(主要是提高壁厚精度)提供了可能^[3]。轧制特点是荒管的壁厚的精度高,用脱管机取代了脱棒机,缩短了工艺流程,芯棒较短^[4];但轧制节奏慢,每分钟可轧2支或稍多一点的钢管。由于芯棒的工作长度约为浮动式的1/3,减轻了芯棒的重量,方便了芯棒的循环,扩大了轧制荒管的外径范围。适合生产中等规格(外径小于460mm)的无缝钢管。代表性机组有意大利达尔明的 $\phi 356\text{mm}$ 机组和我国天津钢管公司的 $\phi 250\text{mm}$ 机组。

3.3.2 MIN-MPM

MIN-MPM为少机架连轧机的意思,原是意大利的因西公司上世纪90年代中期为完成对南非托萨(tosa)厂的cps(两步生产无缝钢管法,即只有斜轧锥形辊穿孔和张力减轻两个变形工序,而没有轧管工序的生产方法)的改造,在锥形辊穿孔机与张减机之间安装的限动芯棒连轧管机而推出的机型。由于锥形辊穿孔机的变形能力较大,可将原由MPM承担的部分变形前移至穿孔机,连轧工序的延伸可适当减小,轧管机没必要选用过多架数了,轧机的机架数由原来的7~8架减少至4~5架。与MPM相比它的最大特点是实现了用更短的芯棒轧制长钢管,芯棒的工作段长度比MPM少2m~3m;芯棒总长度可缩短5m左右。后来随着锥形辊穿孔机的广泛应用,连轧管机的架数大多为5架;或5+1架,所加的“1”为在连轧管机前增设一架空减机。当时,因西公司为尽快推广MIN-MPM轧机,罗列了MIN-MPM一些与MPM区别和特点,现转述如下:占地面积减小,厂房、设备投资减少;轧辊、更换机架等轧制工具的数量减少;芯棒长度变短,芯棒制造难度和费用降低;在同孔型尺寸的情况下,轧机前段孔型直径变小,减小了辊速差;轧出荒管的鱼翅尾不规则部分减短,切头尾减短,提高了成材率。由于减少了机架数量及轧机出口速度,机组产量相应有所降低^[5]。

代表性机组除南非托萨(tosa)厂的 $\phi 168\text{mm}$ 机组为4个机架外,其余如日本住友和歌山 $\phi 426\text{mm}$ 机组、我国包钢的 $\phi 180\text{mm}$ 机组(不带空减机)与我国鞍钢的 $\phi 159\text{mm}$ 机组以及衡阳 $\phi 273\text{mm}$ 机组和攀成钢的 $\phi 340\text{mm}$ 机组(都有一架空减机)等均为5个机架。

3.3.3 PQF

三辊连轧管机,简称 PQF (Premium Quality Finishing),也是由意大利的因西公司开发推出的。轧管时芯棒是限动的、速度是可控的;芯棒的速度应高于第一架的咬入速度,也是限动芯棒连轧管机,只不过每个机架由三个轧辊组成孔型^⑨;采用三辊设计的孔型比传统的两辊设计的孔型圆度好,且孔型的半径差小,有利于轧件的均匀变形和轧辊的均匀磨损。轧槽底部和轧槽顶部之间的圆周速度差较小,从而能在稳定的条件下使轧制时的金属变形更加均匀,使所轧制的荒管径壁比可达 45 以上。凸缘面积(不与轧辊或芯棒接触的管子面积。也就是辊缝处壁厚/外径的凸起面积)有所减小,即流向凸缘的金属量减少了。这一优点在轧制不受外端及其它机架约束的钢管尾端时尤为重要。事实上钢管尾端在三辊式轧管机上轧制时受控是由于凸缘面积较小(比二辊式的小 30%左右)以及轧槽底部与轧槽顶部间的圆周速度差较小的缘故。因此,能避免或大大减少管端折叠和飞翅的形成。因圆周压应力较高,从而能在轧制时使辊缝处产生的纵向拉应力的危险性大大降低。孔型中芯棒的稳定性较高。PQF 机组可以生产高强度(P110 以上)特殊钢级油井用管、高压锅炉管及 13Cr、304L 等不锈钢管。PQF 最大的优势是:由于三辊孔型的半径差小于两辊,轧件变形更加均匀、平稳,使产品的壁厚精度和表面质量高于 MPM,轧制的荒管直径越大,优势越明显。 $\phi 168\text{mm}$ PQF 机组由于采用了独特的芯棒运行方式,使其轧制节奏达到 24 s/支。代表性机组为我国天津钢管公司的 $\phi 168\text{ mm}$ 机组。

3.4 Neuval R 法

法国瓦卢雷克公司在上世纪 80 年代初提出但至今尚未实施的 Neuval R 方法是在 Neuval 得到实践后提出的新方法,工艺方面与 Neuval 相似,只是其脱棒方法设想的比较独特,既不用脱管机,也不用脱棒机,而是设想为当轧件离开轧管机最后一架时,芯棒由限动装置向后(与轧制方向相反)移动从钢管中抽出。在抽芯棒时有一个安装在轧管机出口侧的卡钳,连轧管机最后一架抛钢后,芯棒/荒管继续向前运行一段距离,当荒管尾部让开卡钳位置后再停止,使卡钳合拢时套在芯棒(而不能卡在荒管)上,在往回抽芯棒时,卡钳将钢管尾部挡住,轴向限制荒管移动,防止荒管随芯棒一起后退,从而实现在线脱棒。由于需要脱管/脱棒的长度较短(脱棒长度取决于荒管长度和芯棒限动速度的快慢,荒管长、限动速度快则脱棒的行程长,荒管短、限动速度慢则脱棒的行程短),同时钢管壁厚较厚,钢管温度也较高,所以芯棒很容易抽出^⑩。

4 限动芯棒的运行方式及脱棒机、脱管机

4.1 限动芯棒的运行方式

4.1.1 轧制结束时,芯棒停止运动,待荒管从芯棒中脱

出后,芯棒快速返回,拨出轧制线,冷却、润滑后循环使用,传统的 MPM 均采用此中运行方式。

4.1.2 轧制结束时,芯棒停止运动,待荒管由脱管机从芯棒中脱出后,芯棒不是回送,而是向前快速运行跟随荒管之后依次通过脱管机。此脱管机要具备辊缝快开快合功能,芯棒穿过前,脱管机辊缝打开;芯棒穿过脱管机后,脱管机辊缝回到轧钢位置。芯棒移动到脱管机出口侧后被拨出轧线,再回送、冷却、润滑循环使用。该方法减少了芯棒的在线待轧(非轧钢)时间,有效地缩短了轧制周期,加快了轧制节奏。天津钢管公司 168PQF 机组采用此种运行方式。

两种运行方式的主要区别是脱管完成后,芯棒是与荒管反向运行回退离开轧机后拨出轧制线冷却、润滑、循环使用;还是同向运行芯棒前行离开轧机后、穿过脱管机再拨出轧制线冷却、润滑、循环使用。第二种方法因芯棒要通过脱管机,在轧制薄壁管(脱管机的减径量大于等于 2 倍的荒管壁厚)时要求脱管机轧辊必须具备快开快合功能,以免芯棒撞损脱管机轧辊。

4.2 脱棒机和脱管机

为了完成将连轧管机轧出的荒管与芯棒脱开分离的工艺目的,便于荒管在后道工序进一步加工成成品钢管,一般采用两种方法来将荒管与芯棒中脱开。

4.2.1 轧制结束后荒管/芯棒被一起移出轧制线,荒管受轴向约束不动,用装置将芯棒从荒管中抽出。我们将这种荒管不动,芯棒动的设备称为脱棒机。当带芯棒的荒管进入脱棒位置后,脱棒链上的脱棒卡紧装置就勾住芯棒的尾柄,而液压开闭的卡钳挡住荒管尾端,脱棒链从荒管中抽出芯棒。脱棒链转过半圈完成一次脱棒动作,链所走过的距离约为芯棒长度的 1.1 倍,脱棒机的最大速度大于 4.5 m/s。脱出的芯棒经输送辊道送到芯棒定位升降挡板前,然后由芯棒移送装置把芯棒送入芯棒冷却槽,循环使用。脱棒机安装位置与连轧管机平行。脱棒机有两列脱棒链。这两列脱棒链用横梁连接起来。两列脱棒链间共有两个脱棒横梁及多个承载横梁。脱棒横梁用来从荒管中抽出芯棒,而承载横梁用来在脱棒过程中支承芯棒。在脱棒横梁上用螺栓紧固与轧件尺寸相关的脱棒卡紧装置。当更换轧制芯棒时,需要同时更换脱棒卡紧装置。

4.2.2 轧制结束后芯棒停止运动,荒管在线被装置将其从芯棒中脱出。我们将这种芯棒不动,荒管动的设备称为脱管机。脱管机一般 3~5 个机架,既有两辊式的,也有三辊式的。脱管机的设置有两个重要的工艺目的:一是将荒管从芯棒上抽出,完成脱管目的。在轧制线上脱管,省去了脱棒机,提高了荒管温度,部分规格的荒管不用再加热可直接进入定减径机,从而缩短了工艺流程;二是起校正(定径)作用,也就是说在一支钢管生产中,该机也有延伸和定径作用;有的 MPM 机组

的连轧管机后没有单独的脱管机,(如日本 NKK 京滨厂的 $\phi 250$ mm 机组和俄罗斯伏尔加钢管厂的 $\phi 426$ mm 机组),从 MPM 轧出的荒管直接进入紧随其后的 10 机架二辊式脱管/定径机组定径;1997 年日本住友和歌山 $\phi 426$ mm MPM 机组脱管/定径为 12 架三辊式^[9]。荒管在连轧管机轧制的同时,从芯棒脱出并在定径机组中定径,实现 MPM 与定径机组之间的连轧^[9]。在生产薄壁管时,脱管机的减径量要相应加大,否则薄壁管不易被脱出。每架脱管机上都装有安全白,以防止芯棒进入脱管机时损伤轧辊及相关的机械部分。在事故情况下,假如当带芯棒的荒管进入脱管机孔型时,若脱管机轧辊承受的径向载荷大于预设值,则轧辊孔型会相应张开,防止芯棒顶坏轧辊及设备。

5 结论

5.1 连轧管机限动芯棒与半浮动芯棒工艺主要区别在于以下两点:一是轧制过程中芯棒速度是否恒定不变;二是使用脱管机还是脱棒机。限动芯棒工艺应该同时满足轧制过程中芯棒速度恒定不变和使用脱管机这两个条件。因此,将天津钢管公司建成投产的这套 168PQF 机组称为三辊限动芯棒连轧管机较为恰当,而称之为半浮动芯棒显然是欠准确的。

5.2 采用脱出荒管之后,芯棒向前行进通过脱管机、绕轧机出口侧进行循环这一独特的运行方式,与传统的限动芯棒机组相比明显地减少了轧制间隔时间,加快了限动芯棒连轧管机组的轧制节奏、提高生产效率,实现了人们对限动芯棒连轧管机既要钢管壁厚精度高、又要轧制节奏快这一愿望,但对脱管机的要求较高,需具备轧缝快开快合功能;这并不能说明为提高轧制节奏,在其它中、大型限动芯棒连轧管机组也适用这种芯棒运行方式,因为随着芯棒规格、重量的增加,芯棒在向前输送通过脱管机的过程中可能要遇到一些困难。

5.3 从近几年已投产的几套 MIN-MPM 机组运行效果来看,MIN-MPM 与 MPM 相比,不论是变形原理、变形规律、轧制速度制度、限动速度大小还是产品质量等诸方面都没有什么本质上的区别,仅是少了 2~3

个机架而已;由于绝大多数 MIN-MPM 机组都增设了一架空减机,与 7 机架 MPM 相比,实际只减少了 1 个机架;因此,现在已经很少有人再用 MIN-MPM 这一名称了,对两辊的限动芯棒连轧管机不论几个机架均称为 MPM。

5.4 曾有学者提出用半限动替代半浮动这一名称,意在强调限动的功能,但从已发表的许多文章来看,绝大多数都使用半浮动这一名称。还有人认为法国公司圣索夫厂的 $\phi 127$ mm 机组因其轧制过程中芯棒速度是受控的,应该属于限动芯棒类型。但 Neuval 工艺因采用脱棒机将荒管与芯棒分离,不能像 MPM 那样使用圆孔型轧制,其孔型设计时要充分考虑脱棒间隙问题,孔型的侧壁角较大,使荒管的壁厚精度受到影响,所以将这连轧管机组归为半浮动类型。

(收稿 2008-8-2 责编 赵实鸣)

参考文献

- [1] 王廷溥.轧钢工艺学[M].北京:冶金工业出版社,1981.431.
- [2] 邓丕安.半浮动芯棒连轧管机工艺及变形特点[J].钢管,2004,(4):32~35.
- [3] 王先进,徐树成.钢管连轧理论[M].北京:冶金工业出版社,2005.95.
- [4] 严圣祥,钟倩霞.世界上限动芯棒连轧管机的应用和发展[J].钢管,1991,(3):1~6.
- [5] 翁宇庆等.轧钢新技术 3000 问(下).北京:中国科学技术出版社,2005.55.
- [6] 宋本仁.正确使用钢管术语[J].钢管,1996,(5):53~59.
- [7] 【法】F.Grandemange,Vallouree 公司发展的连轧管方法-NEU-VAL 钢管,1984,(3-4):11~22.
- [8] 杜厚益.限动芯棒连轧管技术的发展及大直径机组的建设(下)[J].钢管,2003,(4):1~5.
- [9] 邓伯阳.限动芯棒连轧管机近年来的发展概况[J].钢管,1985,(1):55~65.

作者简介

李群,男,1982年毕业于东北工学院压力加工专业,正高级工程师,现在从事无缝钢管生产技术管理工作。

新品开发

大口径薄壁气瓶管在天津钢管公司冷轧不锈钢管厂诞生

8月29日,天津钢管公司冷轧不锈钢管厂完成了建厂以来首笔大口径薄壁气瓶管合同,实现了大口径薄壁气瓶管生产零的突破,日前110吨产品已发往国外用户。

大口径薄壁气瓶管外径大,壁厚小,径壁比大,加工难度很大,特别是本次合同要求的 $\Phi 406.00\text{mm} \times 8.40$ mm 规格气瓶管,其径壁比高达 48.3,一般加工工艺很难实现。在接到生产合同之后,厂领导非常重视,组织技术人员认真总结前期产品开发经验,仔细分析技术文件,确定采用扩径推制工艺一次加工的方案。经检验,产品外径、壁厚、椭圆度、直度等主要参数均满足合同要求。

(供稿 英翔)

