

弧形半径不同的连铸机结晶器铜管统一互换的研究

钟祖祥

(610069 成都无缝钢管厂)

对弧形连铸机结晶器铜管圆弧半径的公差进行了探讨和计算,得出了弧形半径差异不大的连铸机在生产相同规格铸坯时,结晶器铜管可实现统一互换的结论。经生产实践验证,效果良好。

关键词 弧形连铸机 结晶器铜管 互换

INTERCHANGE OF MOULD COPPER TUBES BETWEEN BOWED CCMS WITH DIFFERENT CURVE RADII

Zhong Zuxiang

(Chengdu Seamless Steel Tube Plant)

Based on an investigation on and calculation of the arc radius tolerances of the bowed CCM mould copper tubes it is concluded that in case of casting billets with a same size, interchange of mould tubes is possible between bowed CCMS with slightly different curve radii, which has been also proven effective via operation.

Key words CCM Mould copper tube Interchange

1 前言

我厂从美国SMS CONCAST公司引进技术及部分关键件、关键设备的两台弧形圆坯连铸机于1992年先后在平炉分厂投产。同年,在电站用钢项目中,我厂又从英国购买了1台二手弧形圆坯连铸机,并于1994年5月在第三炼钢分厂投产(配套100t电弧炉)。这3台弧形圆坯连铸机的主要参数见表1。

我厂从美、英两国引进的两种弧形连铸机是由两个公司设计的,其设备结构、制造和冷却制度等均有较大差异,这给连铸机生产备件的准备带来了困难。如何统一协调解决好这3台连铸机的生产备件是维持其正常生产的一个关键问题。本文就可否统一解决连铸机结晶器铜管的问题进行了分析和研究。

2 结晶器铜管的使用要求

在连铸过程中,钢水在结晶器内的凝固过程是:高温钢水不断注入结晶器铜管内,在不断的强制冷却下逐渐形成初生坯壳。经继续冷却,坯壳逐渐增厚,当坯壳本身的强度和刚度完全能承受其内部钢水的静压力时,坯壳才能脱离结晶器铜管。在此过程中,结晶器铜管必须能及时导出过热的热量。因此,要求结晶器铜管具有良好的导热性,耐磨性和抗热应力性;结构简单,易于制造、调整及维修方便;重量轻,以便减小振动时的惯性力,使运动平稳可靠。

为满足以上要求,结晶器铜管设计时必须考虑诸多因素,如铜管内腔尺寸(直径及圆弧半径等)、管厚、长度、倒锥度、尺寸公差、铜

表1 弧形圆坯连铸机主要参数比较

名称	单位	平炉1"机	平炉2"机	100t电炉配套机
铸机设计公司		美国SMS CONCAST	美国SMS CONCAST	英国DISTINGTON
铸机流数	流	4	2	3
铸机机型		弧形两点矫直	弧形两点矫直	弧形连续矫直
弧形半径	/m	$R_1=12.5$ $R_2=2$	$R_1=12.5$ $R_2=25$	$R=12$
铸坯直径	/mm	140,200 250,280, 310(预留350)	280,310, 350,390, 450(预留500)	310,388, 430
结晶器型式		弧形管式	弧形管式	弧形管式
二冷方式		水喷雾	水喷雾	汽水喷雾
拉速范围	m/min	0.7~2.9	0.35~1.2	0.3~1.5
切割长度	/m	4.0~12.0	3.2~8.0	3.0~6.5
投产时间		1992.6	1992.11	1994.5
铸机简称		四流机	二流机	三流机

管的材质、规格、镀层、硬度、制造方法、使用寿命等。

3 对连铸机结晶器铜管的分析

我厂3台弧形圆坯连铸机的结晶器在结构、冷却强度、制造方式、安装形式等方面都有较大差异,现将其异同作如下比较。

3.1 相同点

3.1.1 结晶器的结构形式均为弧形管式结晶器。

3.1.2 结晶器铜管的长度均为700mm。

3.2 不同点

3.2.1 结晶器铜管的外弧半径不同,四流机和二流机为12.5m,三流机为12m。

3.2.2 结晶器的水缝形式不同,四流机和二流机为一字形水缝,三流机为沟槽式水缝。

3.2.3 结晶器铜管壁厚差异较大,因三流机的结晶器铜管外壁上开有深12mm的若干沟槽,故所需的管坯壁厚大得多,国内购坯有困难。

3.2.4 结晶器的倒锥度,三流机较小。因此,三流机的一次冷却水量较小。

3.2.5 结晶器铜管的制造方式有差异,四流

机和二流机可以用机械加工方式,也可用爆炸成型方式,返修用爆炸成型方式更为适宜。三流机只能用机械加工方式制造和返修。

3.2.6 结晶器铜管的内孔镀层差异较大。四流机和二流机要求镀铬0.07~0.12mm,三流机则要求镀镍1mm后再镀铬0.06mm。

3.2.7 结晶器铜管的使用寿命,三流机高,但其制造成本也高得多。

3.3 统一结晶器铜管的问题分析

3.3.1 制造方式

我厂在引进四流机和二流机的同时,就开始进行弧形圆坯连铸机结晶器铜管的制造研究工作。经过对多种制造和返修方案的筛选,我们选定了爆炸成型方案。在三流机投产前,我们已用此法制造和返修了四流机的结晶器铜管。引进三流机后,我们对其结晶器铜管作了认真的分析和讨论,由于坯料难购、制造困难、成本高、不能用已建好的爆炸成型设施来加工和返修等原因,所以首先考虑将三流机结晶器铜管形式统一到四流机的形式上来。如不这样,我们又得花巨资搞成套的机加工设备,或长期花高价外购,这将增加连铸坯的生产成本。

3.3.2 由于三流机选择了四流机结晶器铜管的形式,因此有必要将铜管的材质、坯料、内径、壁厚、倒锥度、镀层等也统一起来,以便减少铜管备件的储量,同时也减少爆炸成型时所需模具和种类。

3.3.3 冷却制度

三流机结晶器铜管作了上述改变之后,结晶器的水缝须改为一字形水缝,因而涉及到冷却制度的改变,因为结晶器铜管的倒锥度增大后,一冷水量要增加,二冷要重新分配。通过计算,我们对冷却制度作了相应调整。

3.3.4 结晶器的设计

两种结晶器的结构形式、安装方式、尺寸大小、进出水通路等大不相同。要统一铜管,还需对三流机的结晶器形式,甚至结晶器振动装置的框架、进出水管道等作大改造,这是值得深思的问题。通过仔细研究,我们巧妙地解决了这一难题。

3.3.5 弧形半径问题

众所周知,弧形半径不同的连铸机,其结晶器铜管的圆弧半径也就不同。三流机与四流机的圆弧半径不同,因而统一铜管,减少制造模具的方案究竟行否是值得进一步探讨的问题。

4 结晶器铜管圆弧半径的公差研究

在研究我厂3台弧形圆坯连铸机的结晶器铜管是否可以统一的问题时,我们研究了铜管圆弧半径的公差问题。

4.1 按《公差与配合》规则计算公差值

结晶器铜管属机加工产品,内孔要求光洁,表面粗糙度要求Ra不大于 $1.6\mu\text{m}$,主要尺寸精度要求为IT8,而铜管的圆弧半径一般均未标注公差要求。按照重型机械、冶金设备行业规定,“未标注公差尺寸”均按IT14制造。R12500mm和R12000mm的IT14在《公差与配合》(GB1800-79)上查不到(该标准

上的尺寸范围只到1350mm)。但是,根据GB1800-79《公差与配合》标准的制订规则,可将基本尺寸的分段按R10系列延伸六段即为 $>10000\sim 12500\text{mm}$ 的一段。按照国际公差制, $>500\text{mm}$ 的大尺寸段的公差单位I为:

$$I = 0.004D + 2.1\mu\text{m}$$

D为该尺寸段的代表尺寸,单位为mm。

由此式可算出尺寸段 $>10000\sim 12500\text{mm}$ 的公差单位 $I=47.1\mu\text{m}$

按GB1800-79《公差与配合》标准的编制规定,IT14的标准公差值为 $400I$ 。由此可算出尺寸段 $>10000\sim 12500\text{mm}$ 的IT14的标准公差值为 $18840\mu\text{m}$,化为mm并圆整,可取 $IT14=18.8\text{mm}$ 。两种结晶器圆弧半径均在此尺寸段内,因此其标准公差相等。结晶器铜管的圆弧半径可以是正偏差也可以是负偏差,因此圆弧半径的极限偏差可定为:

$$R12500 \pm 9.4\text{mm}(\text{四流机、二流机})$$

$$R12000 \pm 9.4\text{mm}(\text{三流机})$$

如果按此来衡量这两种圆弧半径的结晶器铜管可否统一,很显然是不行的,这仅是从《公差与配合》的观点所作的探讨。

4.2 按实际使用经验计算公差值

根据实际使用经验,结晶器铜管设计时允许制造的内表面(弧形圆锥面)与理论弧形圆锥面(标准样规)之间不贴合的最大误差可以控制在0.6mm以内。

经分析造成铜管内弧形圆锥面与理论弧形圆锥面“不贴合”的主要原因如下:

- (1)横断面的尺寸误差和椭圆度误差;
- (2)长度方向的圆锥度误差;
- (3)铜管的圆弧半径误差等。

因铜管的圆弧半径一般均很大,制造时难于达到《公差与配合》计算出的公差要求,该制造误差是引起“不贴合”的主要因素。而前两项及其他误差,因设计要求较高,制造时也更容易达到要求,由此引起“不贴合”的误差在0.1mm以内。

若将允许“不贴合”误差的0.5mm 分配在允许铜管圆弧半径的制造误差上,当结晶器高度700mm 固定时,此误差主要体现在铜管内孔各圆弧线段的变化上。对连铸最重要、最具代表性的是结晶器铜管内孔的外弧,可以此弧线段与理论弧线之最大允许误差为0.5mm 来计算弧形半径的公差。图1中,半径为 R 的弧线段为结晶器铜管内孔的理论外弧线,两条虚线段为允许的极限。现将圆弧半径为12.5m 和12m 者分别加脚码1和2,并作如下计算。

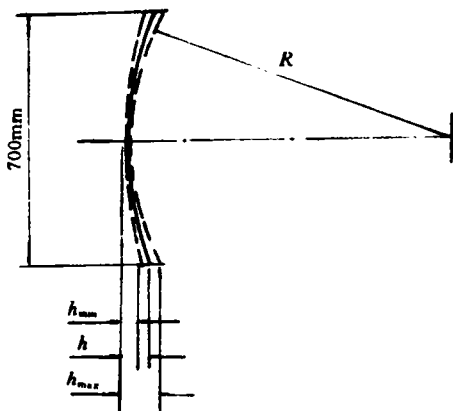


图1 结晶器铜管外弧公差计算图

当 $R_1=12500\text{mm}$ 时,理论弓形高 h_1 为:

$$h_1 = 12500 - \sqrt{12500^2 - 350^2} = 4.9\text{mm}$$

同样,当 $R_2=12000\text{mm}$ 时,可得相应的理论弓形高 $h_2=5.1\text{mm}$

以理论弓形高为基准,代入允许的最大误差,可得到允许的最大、最小弓形高,分别为:

$$h_{1\max} = 5.4\text{mm}$$

$$h_{1\min} = 4.4\text{mm}$$

$$h_{2\max} = 5.6\text{mm}$$

$$h_{2\min} = 4.6\text{mm}$$

根据已知的弓形高和弦长(700mm),可列出一元二次方程,求解后即可得到允许的

最大、最小圆弧半径(计算从略):

$$R_{1\max} = 13920.5\text{mm}$$

$$R_{1\min} = 11342.6\text{mm}$$

$$R_{2\max} = 13315.2\text{mm}$$

$$R_{2\min} = 10937.5\text{mm}$$

5 可否统一结晶器铜管的结论

由以上计算,可得到如下结论:只要制造出的结晶器铜管的圆弧半径能满足 $11342.6\text{mm} < R < 13315.2\text{mm}$ 的条件,则这样的结晶器铜管可同时适用于圆弧半径 $R_1=12500\text{mm}$ 和 $R_2=12000\text{mm}$ 的两种圆坯连铸机,即三流机和四流机的结晶器铜管可以统一互换。

由此,可进一步得出:在连铸机弧形半径差异不大,又生产相同规格的铸坯时,结晶器铜管可实现统一互换的结论。

6 结晶器铜管圆弧半径公差的确定

根据4.2的计算,可对我厂3台弧形圆坯连铸机的结晶器铜管的圆弧半径给出以下公差值(按四舍五入圆整):

$$R_{12500} \begin{matrix} +820 \\ -1160 \end{matrix} \text{mm (四流机、二流机)}$$

$$R_{12000} \begin{matrix} +1320 \\ -660 \end{matrix} \text{mm (三流机)}$$

上述两组尺寸,保留各铸机自身的弧形半径为基本尺寸(这样出现在各自铸机的图纸上是必要的),上下偏差值不一样,但是两组尺寸的最大、最小极限尺寸是完全相同的。按此做出的铜管是可以互换的。

制造结晶器铜管时,则可以将上述两组尺寸转化为统一的一组尺寸,即 $R_{12330} \pm 990\text{mm}$ 。作此转化之后的好处是:制造时的基本尺寸统一了,新做爆炸成型模具时可以此尺寸为准。

7 实践与效果

我厂在筹建第三炼钢分厂时,即考虑到

要与已建的轧管五分厂相连,形成电炉炼钢→钢包精炼→圆坯连铸→热送辊道→Accu Roll 轧管机组的短流程钢管生产线。因此,三流机建设期间就考虑到了按原规格试投产后,即要根据轧管五分厂的实际需要来扩大规格范围。在作扩大规格范围设计时,结晶器即根据前述分析和计算作了设计。具体实施时,则是直接用四流机的工模具来制造了三流机的结晶器铜管。结晶器的铜管和大部分零件均可与四流机统一互换。

三流机按扩大规格范围设计所作的改造,经安装调试后,于1994年7月一次热试成功。生产的首炉 $\Phi 220\text{mm}$ 圆坯即热送到轧管五分厂环形加热炉旁,此时坯温高达 700°C 以上。此后,三流机生产的 $\Phi 220\text{mm}$ 圆管坯大多直接热送至轧管五分厂轧管。采用热送圆坯轧管不仅质量好,而且节约了加热炉燃料,受到好评。

为了更好地检查三流机生产 $\Phi 220\text{mm}$ 圆坯的质量,掌握铸坯的缺陷规律,以便修订工艺参数和改进操作,1994年专门将41炉铸

坯通过冷床后逐支进行了冷态检验。累计检验结果,铸坯合格率为94.1%。在5.9%的废品中,属操作调整因素引起的缺陷(如椭圆超差、压痕等)是主要的,约占废品总数的60%。因此,可以通过改进操作,精心调整减少废品率。与结晶器及铜管的结构和冷却直接有关的铸坯缺陷为铸坯裂纹。经检验,由于铸坯产生裂纹而报废的,仅占废坯总量的2.19%,占铸坯总量的0.13%。造成铸坯裂纹的原因除了结晶器及其铜管的因素外,还有结晶器保护渣润滑不良,对中浇注不良,出结晶器后铸坯冷却不均等因素。由此可见,因结晶器及其铜管引起的铸坯裂纹量就更少了。

综上所述,我厂三流弧形圆坯连铸机与四流弧形圆坯连铸机的结晶器铜管按统一互换设计和使用是正确的、成功的,实用效果好,可以推广。最近我厂已按此方法设计制作了三流机 $\Phi 250\text{mm}$ 规格结晶器铜管,所涉及的设备正在安装调试,即将投入使用。

(收稿日期:1995-01-26)

● 信 息

日本新建中直径无缝钢管厂

A NEW MEDIUM-SIZED SEAMLESS STEEL TUBE PLANT SET UP IN JAPAN

日本住友金属工业株式会社正在和歌山建设一座中直径无缝钢管厂。该厂占地面积 9万m^2 ,建筑面积 5.8万m^2 ,预计1997年2月建成投产。

新建无缝钢管厂的设计能力为 50万t/a ,钢管外径 $140\sim 426\text{mm}$,工艺流程为圆坯加热(连铸坯比率90%以上)→穿孔→连轧→张力减径→在线热处理,主要设备包括步进梁式加热炉、大交叉角穿孔机(交叉角 20°)。以1983年在海南建成的小直径无缝钢管厂引进的穿孔机为设计基础)、5机架限动芯棒连轧管机组(MPM)、在线热处理设备、六流弧型圆坯连铸机(能力 96万t/a)等。

(鞍钢第二无缝钢管厂 姜长华供稿)