

## 水平连铸分离环碎裂的分析和改进措施

田汉蒲 徐景峰 崔泽南 李卫平  
(湖南衡阳钢管(集团)有限公司, 衡阳 421001)

**摘要** 通过对  $\Phi 130$  mm 管坯水平连铸用分离环拉坯过程碎裂的分析以及进行了分离环成分对性能影响的试验, 改进了分离环的成分和连铸工艺。结果表明, 当使用  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4 + 30\%$  BN 分离环, 分离环尺寸精度达到 0.1 mm, 控制钢中 N 含量  $\leq 60 \times 10^{-6}$ , O 含量  $\leq 30 \times 10^{-6}$ , 反推量 3 ~ 5 mm 时, 分离环碎裂得到有效控制, 月平均碎裂率由改进前的 8.3% 降至改进后 0.3% 以下。

**关键词** 水平连铸 分离环 碎裂 改进措施

## An Analysis on Break of Separating Ring for Horizontal Concasting and Improved Measures

Tian Hanpu, Xu Jingfeng, Cui Zenan and Li Weiping  
(Hunan Hualing Hengyang Steel Tube Co Ltd, Hengyang 421001)

**Abstract** The chemical composition of separating ring and concasting process have been improved by analysis on break of separating ring for horizontal concasting  $\Phi 130$  mm billet for tube and test of effect of separating ring composition on properties. The results showed that with using  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4 + 30\%$  BN separating ring, manufactured size precision of separating ring up to 0.1 mm, controlling [N] no more than  $60 \times 10^{-6}$ , [O] no more than  $30 \times 10^{-6}$  and reverse bush between 3 mm and 5 mm, the break of separating ring was controlled effectively, the average break ratio of separating ring per month decreased to less than 0.3% from original 8.3%.

**Material Index** Horizontal Concasting, Separating Ring, Break, Improved Measure

分离环是位于水平连铸(以下简称 HCC)中间包和结晶器浇口之间连接处的重要部件, 其质量的好坏直接决定着 HCC 的性能、铸坯质量、生产效率等<sup>[1]</sup>。

湖南华菱衡阳钢管有限公司(以下简称衡钢)炼钢分厂采用电弧炉 + 水平连铸短流程工艺生产  $\Phi 130$  mm 圆管坯供轧管分厂直接穿管。2002 年衡钢自建了分离环生产线, 于 2003 年初使用时, 出现了分离环在线使用时碎裂频繁的现象, 严重影响了生产的正常进行。故对此进行了分析和提出改进措施, 取得了较好的效果。

### 1 分离环的生产工艺、工作环境与碎裂状况

为促进 HCC 技术的发展, 美国、英国、德国、日本、俄罗斯等国家及我国先后从 20 世纪 70 年代开始对分离环材料进行了大量的研究工作, 取得了一定的效果。衡钢在充分吸收了国内外分离环生产成熟技术的基础上, 结合本公司水平连铸工艺, 采用了以 BN 材料为基质适当掺以添加剂

热压(压力大于 24.5 MPa, 最高温度 1 800  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>)成型的工艺生产分离环, 其成分为主料 BN 和辅料 ( $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$  等) 及少量的添加剂(稀土、赛隆等)。

工艺流程为: 原材料处理 → 配料 → 湿磨 → 烘干 → 过筛 → 造粒 → 称量 → 干燥 → 装模 → 热压 → 冷却 → 出模 → 机加工 → 烘干 → 真空封装 → 出厂<sup>[2]</sup>。

为便于生产和使用, 衡钢将分离环毛坯设计成留有一定加工余量的圆环状, 然后用车床将成品分离环加工出来。分离环的规格为  $\Phi 110 \sim 150$  mm, 主要用于生产高压锅炉管坯、油管坯、流体管坯。

分离环是水平连铸坯壳凝固的起点——相当于一个“人工液面”, 钢水从中间包水口通道流经分离环到结晶器。

一般情况下分离环碎裂都会引起三重点温度的突然下降, 停铸后可以恢复拉坯, 三重点温度上升, 但稳定的时间很短, 三重点温度马上又下降, 这说明分离环已碎裂, 钢水进入结晶器铜套处不

能形成完整的坯壳,钢液快速传热途径被切断。反复停铸再恢复拉坯几次,轻则水口冻结,严重时造成中间包与结晶器滑板间漏钢,拉坯被迫中止。对此时的铸坯进行观察,可看到铸坯表面很不光滑,类似于结疤缺陷,分离环的碎片呈螺旋状镶嵌在铸坯表面。

## 2 原因分析

对2003年1~7月分离环碎裂时的连续使用炉数情况进行统计,可看出分离环碎裂事故中发生在拉坯1~3炉(连铸30~150 min)时间段内的比例达到80.3%,通过分析认为造成分离环在线使用较短时间内碎裂的原因主要有以下几点。

### (1) 分离环本身存在缺陷

在成品分离环加工过程中,发现分离环上存在掉块、分层、裂纹、夹杂、气孔等缺陷,掉块、分层破坏了分离环基体的连续性,大大降低了分离环本体的高温强度,上线使用5~10 min就会碎裂,据统计有5次为启铸碎裂,就是因为分离环强度太低,在中间包与结晶器对接时分离环发生碎裂,一方面会导致启铸失败,另一方面可能引起水口通道跑气或滴漏钢水,进而造成漏钢烧坏设备的严重事故。

制造分离环的主要原材料氮化硼、氧化锆、氮化硅等都是粉末状,在整个生产过程中,控制的环节较多,一旦某个工序出了问题,就会使分离环产生缺陷:如压力或温度控制不当,会导致分离环掉块、分层;热压模开裂会造成分离环出现裂纹;原材料质量差引起分离环有夹杂;混料后烘干达不到要求会给分离环产生气孔创造条件。这些缺陷对整个分离环的高温强度、抗蚀性能、加工精度等都会带来不同程度的影响。上线后在使用过程中经高温钢液的反复冲刷,有分层的分离环会很快碎裂,而裂纹、夹杂、气孔等缺陷会在钢液的浸润下慢慢扩展,经过一定时间拉坯后引起分离环碎裂。

### (2) 反推量

水平连铸拉坯过程中要控制的参数有:拉程(mm)、反推(mm)、拉坯频率(次/min)、拉坯速度(m/min)等,其中反推对分离环的使用寿命有较大影响。在一个拉→停→推的拉坯周期内铸坯上形成了冷隔和热点,而热点处坯壳最薄,为防止紧跟着下一次拉坯周期内热点处拉断或产生裂纹,先

采取短暂停铸给热点一个愈合的时间,再接着加进去一个反推动作,获得类似于弧形连铸“负滑脱”一样的相对运动,以补偿凝固坯壳的收缩使坯壳增厚。

适当的反推有使热点附近尚处于固液状态的钢迅速固化的作用,使热点明显加厚冷隔减少,对两相区宽的钢种其作用会更明显。但反推量过大时,热点处的坯壳会发生弯曲产生折皱,更甚者发生断裂产生结疤,若坯壳的强度足够则可能将分离环压碎,拉坯被迫终止。

### (3) 钢水温度

水平连铸机受设备布置空间的限制,铸机流数一般为1~3流。因铸坯要在水平方向作周期的拉→停→推动作,这要求铸坯自身重量较轻以保证动作的精确和较小的拉坯阻力。因此,生产的铸坯规格相对较小,而要形成一定的产量规模,过高的拉坯速度又对铸坯的内部质量有影响,可行的措施是延长拉坯时间,那么钢水的过热度就要控制得较高(一般为60~100℃),这是对分离环高温强度的直接考验。另一方面为稳定铸坯质量和降低生产成本,水平连铸必须组织多炉连浇,随着拉坯时间的延长,一直“浸泡”在高温钢液中的分离环逐渐被浸蚀,当浸蚀量超过一极限值时,分离环就会碎裂。

### (4) 钢种

水平连铸工艺特别适合生产含多合金元素的裂纹敏感性强的钢种,如高压锅炉管用钢12Cr2MoWVTiB(102钢)、油管用钢26CrMoNbTiB等。钢中添加B元素,既可以大幅度提高钢的淬透性,又可以强化晶界。但B同时也是一种强氮化物形成元素,由于钢水都是经过电弧炉冶炼出来的,其[N]、[O]含量为 $(50 \sim 100) \times 10^{-6}$ 的较高水平,硼钢研究认为:即使在高温下,钢液中的B与N仍存在下列反应: $[B]_L + [N] = [BN]_S$ ,新生的高熔点(2600℃以上)的、细小的BN质点在与钢水直接接触的BN基分离环上形核、长大,从而增加了钢液与分离环的浸润性(减小了湿润角),加快了对分离环的浸蚀。

## 3 改进措施

### 3.1 改进分离环配方

为提高分离环坯材的质量,对其主要成分BN的加入量分几个等级做对比试验,结果见表1。

表 1 各配方分离环性能对比

Table 1 Comparison of properties of separating rings with different composition

项目	配方		
	1	2	3
主要原料	$\beta\text{-Si}_3\text{N}_4 + 10\%\text{BN}$	$\beta\text{-Si}_3\text{N}_4 + 20\%\text{BN}$	$\beta\text{-Si}_3\text{N}_4 + 30\%\text{BN}$
制作方法	热压	热压	热压
密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.75	1.95	2.35
破裂模数/ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	70 ~ 115	108 ~ 118	105 ~ 136
热膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C} \times 10^{-6}$ )	3.3	3.1	3.3
导热系数 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	20.8	29.6	31.5
抗热冲击性/ $^\circ\text{C}$	660	750	800

选择配方 3 制造分离环,因其破裂模数、热冲击值大,能充分承受铸造初期剧烈的温度变化,这是因为增加 BN,细化了材料组织,从而提高了其韧性之故<sup>[3]</sup>。

### 3.2 提高分离环的生产、加工及安装水平

实践表明,要使分离环使用较长时间不因浸蚀严重而碎裂,还必须采取以下有效措施:

(1) 采用定点厂家供应的优质原材料,严格按工艺要求操作。

(2) 在加工分离环时,保证成品分离环的加工精度达到 0.1 mm。

(3) 对接后及时减小压力,防止压碎分离环。

### 3.3 改善分离环使用条件

要发挥水平连铸的优点,就必须克服其生产成本较高的缺点,其中分离环的使用寿命就是重要的一个环节。因此,要进一步优化水平连铸的工艺,反推量控制在 3 ~ 5 mm、精确到 0.1 mm;钢水过热度控制在  $60^\circ\text{C}$  以下;生产含 B、Cr、Mo 等合金元素较高的钢种时,钢水必须进 VD 抽真空,以控制较低的[N]含量( $60 \times 10^{-6}$ 以下)、[O]含量( $30 \times 10^{-6}$ 以下)。

## 4 效果

采取了以上措施后,分离环碎裂的事故得到了有效控制,碎裂次数由 2003 年 1 月份的 32 次迅速下降为 5 月份的 2 次,2003 年各月分离环的碎裂趋势见图 1,下半年月平均碎裂率控制在 1% 以下,有力地促进了多炉连浇的实现,月平均连浇炉数达到了 4.3 炉,并创造了连浇 18 炉(连续拉坯 22 h)的最高纪录,证明了衡钢自产的分离环可

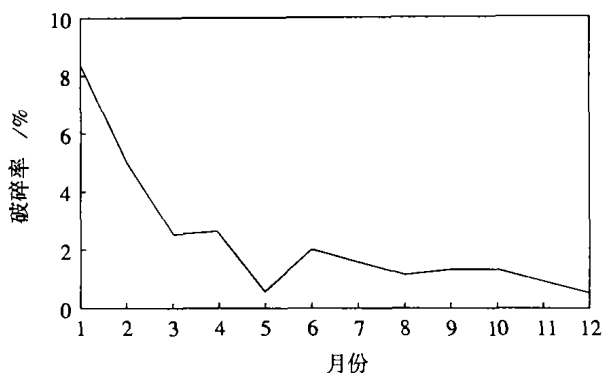


图 1 2003 年分离环月碎裂率的变化

Fig. 1 Change of break ratio of separating ring per month in 2003

连铸时间能达到 20 h 以上。

2004 年分离环的质量进一步提高,虽然分离环的使用数量在增加,但每月分离环碎裂率已稳定在 0.3% 以下。

## 5 结论

(1) 水平连铸工艺决定了分离环恶劣的工作环境,衡钢分离环碎裂的主要原因是:原材料配方和生产加工过程控制不当导致分离环材质不稳定;钢水过热度高;钢中气体含量较高;拉坯的反推量过大。

(2) 通过改进配方和提高生产及加工水平,保证了分离环的坯材质量;同时优化了连铸生产工艺,减轻了对分离环的浸蚀,使分离环碎裂的事故得到了迅速有效的控制,月均碎裂率稳定在 0.3% 以下。生产实践证明,衡钢分离环平均连铸时间可达到 5 h 以上,最高可达 22 h,完全能满足现阶段水平连铸工业化规模生产的要求。

### 参考文献

- 张肇富. 水平连铸用的陶瓷分离环. 南方钢铁, 1995(6): 19
- 廖金带, 邓宇, 陈建文. 钢水水平连铸陶瓷分离环的研制. 中国陶瓷, 1995(3): 8
- 肖英龙, 张家宏. 水平连铸无缝管坯的设备与工艺. 炼钢, 1993, 9(2): 62

田汉蒲(1969-), 男, 工程师。1991年毕业于株洲冶金工业学校。从事水平连铸技术研究及新产品开发工作。

收稿日期: 2004-12-26