

# 氧气转炉锻压组合式氧枪喷头的研制与应用

李承祚<sup>①</sup> 张飞虎 孙达庚 孟永社

(首钢集团 100041)

**摘要** 锻压组合式氧枪喷头是转炉炼钢用氧的先进装备,首钢自行研制的该型喷头在首钢第二炼钢厂 210t 转炉上应用,在溅渣护炉工艺条件下,取得了化渣好、喷溅小、使用寿命长的良好效果。

**关键词** 转炉 氧枪 喷头 锻压 组合

**中图分类号** TF341.1

**文献标识码** A

## Study and Application of BOF Assembled Forged Lance Tips

Li Chengzuo Zhang Feihu Sun Dageng Meng Yongshe

(Shougang Group)

**ABSTRACT** The assembled forged lance tip is one of advanced techniques for BOF steelmaking. This type of lance head was independently developed by Shougang Corp. and achieved the same effects as the tips from abroad at 210 t converters of No. 2 Steel Plant, Shougang Corp.. Applications showed that this tip can improve slagging, reduce splashing, and raise tip service life under the slag splashing process.

**KEY WORDS** BOF converter Oxygen lance Lance tips Forging Assembling

### 1 前言

锻压组合式氧枪喷头是世界上转炉炼钢用氧的先进技术装备。首钢转炉炼钢吹氧所用氧枪喷头的发展经历了三个阶段:最初采用锻造铜件机加工喷头,结构简单,无中心水冷,冷却效果和使用性能差;第二阶段为铸造喷头,采用铸造工艺制造,具有结构合理、喷头生产效率高、水冷效果较前者好等优点,得到广泛应用;第三阶段为锻压组合式氧枪喷头,其特点是结构合理、冷却效果好、使用寿命长、性能尚佳。根据氧枪喷头产品的发展方向,1995 年开始由首钢集团技术中心、岷山机械厂和第二炼钢厂合作研制开发锻压组合式氧枪喷头。1996 年 8 月上炉试验并不断改进,在溅渣护炉工艺条件下,平均寿命为 531.6 炉,与同期进口德国喷头寿命 538.7 炉相当。1999 年开始在 3 座 210t 转炉上替代进口喷头正常使用。

### 2 锻压组合式喷头的研制

#### 2.1 喷头结构

研制的组合式喷头结构见图 1。喷头中管与

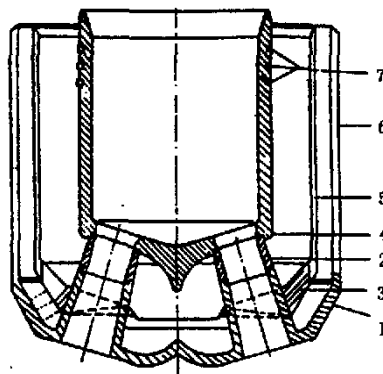


图 1 组合式喷头结构

1—喷头端部及喷孔扩张段;2—喷孔喉口段;3—导水板;  
4—进氧接管;5—中管;6—外管;7—“O”形密封圈

<sup>①</sup> 作者简介:李承祚,1940 年出生,1963 年毕业于贵州工学院,长期在首钢第二炼钢从事炼钢专业技术工作,教授级高工。

导水板采用螺纹连接,进氧接管与喉管、喉管与喷孔扩张段,以及喷孔扩张段与导水板的连接为钎焊连接,喷头底部与外管的连接为氩弧焊连接。

## 2.2 研制内容与制作流程

在锻压组合式喷头研制中,先后对喷头机械加工工艺、喷头底部锻压工艺、喷头内部结构钎焊工艺和喷头与外管管节焊接工艺进行了研究。

选用无氧铜作为喷头材料,化学成分见表1。

表1 喷头底部材质化学成分

成分	Cu	Zn	Fe	Pb	P	S
含量/%	99.98	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

对喷头锻压工艺进行系列改进,设计专用锻模,选用合理的锻压温度和锻压压缩比,提高材料的致密度,细化晶粒度;同时,提高材料的利用率,降低机械加工费用。锻压后的金相组织见图2。锻压后组织为孪晶 $\alpha$ 相,其平均晶粒度尺寸为0.12~0.15 mm。



图2 无氧铜坯料锻压后金相组织( $\times 100$ )

由中科院沈阳金属研究所测量结果得知,研制喷头和铸造喷头在室温导热系数分别为404 W/m $\cdot$ K和232 W/m $\cdot$ K。采用高纯度无氧铜经锻压工艺的材料,其导热性能比铸造材料提高74%。设计专用的夹具、量具和刀具,选择合理的切削工艺参数,完善了加工工艺,提高了加工精度,使喷头的工艺参数保证精确。

选用合理的钎焊材料,确定合理的结构接头形式,研制出专用加热工具和保温设施,采用合理的钎焊工艺,解决了喷头内部结构钎焊难题。

探索了一系列铜钢焊接工艺,先后采用电子束焊接工艺、钎极氩弧焊接工艺、熔化极氩弧焊接工艺,选用了多种填充材料,最后确定出成本

低、焊接质量优的熔化极氩弧焊接工艺。设计了专用的焊接夹具、加热装置和保温设备,确保铜钢焊接质量和生产效率的提高。

其制作工艺流程为:来料取样分析→下料→锻压→检验→单件加工→检验→组合钎焊→水压检验→喷头外管焊接→机械加工→水压检验→射线探伤→成品检验→成品包装

## 3 喷头气体力学参数及供氧分析

### 3.1 喷头气体力学参数

喷头气体力学参数:外径 $\Phi 355.6$  mm;5孔周边均布;喉口直径 $\Phi 43.0$  mm;出口直径 $\Phi 55.6$  mm;喉口段长40.0 mm;扩张段长80.0 mm;喷孔扩张角 $9^\circ$ ;喷孔与氧枪中心线夹角 $16^\circ$ ;出口断面积 $A$ /喉口断面积 $A^*=1.672$ ;出口马赫数 $M=1.99$ ;出口速度 $V=491$  m/s;出口气体压力 $P_e$ /入口气体压力 $P_0=0.1298$ ;出口气体密度 $\rho_e$ /入口气体密度 $\rho_0=0.2326$ ;出口气体温度 $T_e$ /入口气体温度 $T_0=0.3580$ ;出口理论压力 $P_e=0.1014$  MPa(绝);入口理论设计压力 $P=0.781$  MPa。

### 3.2 操作氧压

转炉装入量215 t,出钢量200 t,开新炉前5炉氧流量37000 m $^3$ /h,工作氧压0.90 MPa,其后供氧流量为40000~45000 m $^3$ /h,工作氧压0.98~1.12 MPa,供氧强度3.33~3.75 m $^3$ /(t $\cdot$ min),供氧15~16 min,过程枪位2.5~1.9 m,终点前降枪1.7 m。操作氧压,即喷孔入口氧气压力 $P_0$ ,在生产中可能有三种工况,即操作氧压大于、等于、小于设计压力。喷孔入口氧气压力 $P_0$ ,可通过计算得到。氧气流量、喷孔入口压力、喉口断面积、氧气温度的关系见(1)式:

$$P_0 = \frac{W \sqrt{T_0}}{178.2 C_W A^*} \quad (1)$$

式中  $P_0$  ——喷孔入口压力(绝),MPa;

$W$  ——氧气流量,m $^3$ /min;

$C_W$  ——喷出系数,0.96~1,取0.99;

$A^*$  ——喷头喉口总断面积,cm $^2$ ;喷头为72.61 cm $^2$ ;

$T_0$  ——氧气温度的K,取273+25=298K。

通过(1)式可计算出不同供氧流量情况下喷

孔入口的氧气压力,见表 2。

表 2 操作氧压工况

氧流量 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	工作 压力(表) /MPa	入口 压力(绝) /MPa	压力损 失/MPa	设计 压力(绝) /MPa	超设计 压力/%
37000	0.90	0.83	0.17	0.781	6.27
40 000	0.98	0.90	0.18	0.781	15.24
42 000	1.03	0.94	0.19	0.781	20.36
45 000	1.12	1.01	0.21	0.781	29.32

从表 2 看出,本厂供氧操作压力在超过理论设计压力 6.27%~29.32% 的工况下使用。当操作压力高于设计压力时,气流到达喷孔出口尚未完全膨胀,仍具有一定的压力能,出口压力大于环境压力,即  $P_e > P_a$ ,待气流离开出口后,继续膨胀,产生激波,射流有一定的能量损失,但由于操作压力提高,流股动压增大,超过产生激波造成的射流能量损失,故可保证熔池的搅拌。实践表明,操作压力在高于理论设计压力一定范围内,操作稳定,喷头寿命高,喷孔出口不易磨损。

当操作压力等于设计压力时,喷孔出口压力等于环境压力,即  $P_e = P_a$ ,可获得稳定的射流,没有激波产生。在操作压力低于设计压力时,气流在喷孔内部提前终止膨胀,并在喷孔内离开喷孔管壁,这时出口压力小于环境压力,即  $P_e < P_a$ ,由于产生激波多,则射流能量损失大,加上操作压力低,流股动压降低,熔池搅拌力不够,同时喷头易粘钢及喷孔出口周围蚀损严重,使喷头寿命大大降低。

以上所述的理论设计压力是在喷孔出口环境压力  $P_a$  为 0.1014MPa 的条件下计算的,而转炉内的真实压力略高于这个值,但又受到转炉排烟系统负压的影响,情况较复杂。如果按喷孔出口压力为 0.1014MPa 计算的理论设计压力统一作为一个比较标准的话,那么实际操作压力一定要在等于或者高于理论设计压力一定范围内操作,才能保证喷头处于良好的使用工况。

### 3.3 喷孔与氧枪中心线夹角

既要提高供氧流量,又要尽可能减少喷溅,就必须适当增加喷孔数量,并要解决射流重叠现象。研究表明,流股重叠大大增加喷溅量,重叠情况下下降,喷溅显著减少。选择一定的喷孔与氧枪

中心线夹角范围可避免各喷孔氧气流股发生重叠。本厂由铸造喷头改用组合式锻压喷头后,喷孔数量由四孔改为五孔,喷孔与氧枪中心线夹角由 12°增加到 16°,各股射流在到达熔池液面前不会相交,在改善化渣和减少喷溅方面取得了明显的效果。

### 3.4 最低枪位限制

为避免过低的氧枪高度吹炼对喷头造成的非正常损坏,有必要实现最低枪位限制。然而,由于炉底高度随造渣及溅渣情况变化,金属液面随之变动,动态做好控制炉底适当厚度及氧枪最低枪位限制的工作,对稳定喷头寿命十分重要。炉底厚度和液面高度是通过炉底激光测厚的数值来确定的。

## 4 氧气射流对熔池的作用与冶金效果

### 4.1 氧气射流对熔池的作用

为了获得良好的冶金反应,各股射流在熔池面上应互不掺混,同时保证氧气对熔池具有一定的冲击深度和冲击面积。在 210t 转炉生产化炉底过程中,新喷头及使用 447 炉的旧喷头,以氧流量 45000m<sup>3</sup>/h,喷头距液面 1.7m,或距炉底 3.2m,通过激光测厚获得了氧气射流作用到炉底的清晰迹象,每个流股中心位置在炉底形成 5 个直径约 500 mm、深 100~250 mm 的冲击坑。图象表明,5 股射流没有发生重叠现象,流股间互不掺混,冶炼时可使熔池得到平稳均匀而强烈的良好搅拌条件。从图象分析,氧气射流作用的最大直径为 3100mm,5 个流股中心作用直径为 2200mm,210t 转炉新炉熔池直径为 5600mm,炉底上第一层砖直径为 4700mm。

### 4.2 渣中全铁及有关操作指标

对 1998~1999 年使用首钢自产锻压组合喷头和进口锻压组合喷头交替期间的终渣样及有关操作指标统计结果表明,两者渣中全铁及各项操作指标均属正常(表 3)。

### 4.3 喷头使用寿命

氧枪喷头在使用过程中应保证射流特征正常,冶炼效果良好。过去使用普通铸造 4 孔喷头平均枪龄只有 177 炉,且枪龄不稳定;使用锻压组合式 5 孔氧枪喷头后喷头耐用性大大提高,化渣良好,吹炼稳定,统计 1995~1997 年上半年,平

均枪龄 830 炉,1997 年下半年后开始溅渣护炉,由于渣系变化,易出现炉底上涨,且冶炼和溅渣

表 3 主要操作指标

使用 喷头	平均吹氧终点 C<0.10% 时间/min	炉渣 比例/%	TFE/% R	钢铁料消耗 钢水/kg/t
自产	15.88	31.24	12.13 3.31	1074.45
进口	15.86	27.39	11.44 3.17	1075.80

采用同一支氧枪,喷头粘钢和粘渣的几率增大,因此尽管有刮渣器,但进口喷头使用寿命仍下降到 530 炉。首钢产锻压组合式氧枪喷头在溅渣护炉工艺条件下,平均寿命 531.6 炉,与 1998 年使用进口德国喷头平均 538.7 炉的使用寿命相当,扣除因工艺操作异常引起的损坏,即正常使用条件下喷头平均寿命达 692 炉。与铸造喷头相比,锻压组合喷头的变形损坏特点是:

1)基本消除了喷头端部中心“吃进”现象,即使中心粘钢也不会“吃进”,而铸造喷头常见中心粘钢“吃进”现象;

2)正常使用 500 炉,喷孔出口基本没有明显变形和损坏,铸造喷头一般使用 200 炉后便出现喷孔磨损倒角,而锻压组合喷头喷孔出口磨损倒角较轻,且出现的时间晚;

3)使用 500~1000 炉喉口尺寸没有变化,而铸造喷头一般正常寿命只在 250 炉以下。本厂目前使用锻压组合喷头平均寿命 531 炉,而过去使用铸造喷头平均寿命为 177 炉;

4)喷头铜钢焊缝质量稳定,1998~2001 年使用首钢产锻压组合喷头在使用寿命高达 500~1000 炉条件下没有出现铜钢焊缝漏水现象。今后,在工艺上要进一步优化炼钢和溅渣护炉操作,注意控制好炉底高度,减少喷头的非正常损坏,以获得更好的冶金效果。

## 5 结论

1)锻压组合式氧枪喷头是国际上转炉炼钢用氧的先进技术,其具有结构设计合理、水冷效果好、使用寿命长、冶金效果好等优点,是铸造喷头更新换代产品。

2)研制的转炉氧枪喷头外径为  $\Phi 355.6$  mm,5 孔周边布置,喉口直径  $\Phi 43$  mm,出口直径  $\Phi 55.6$  mm,喉口段长 40 mm,扩张段长 80 mm,喷孔扩张角  $9^\circ$ ,喷孔与氧枪中心线夹角  $16^\circ$ 。

3)采用锻压工艺制造的氧气转炉锻压组合式氧枪喷头,其使用性能与进口德国同类喷头相当,冶金效果好,抗变形能力强,在首钢第二炼钢厂 210t 转炉上使用,在溅渣护炉工艺条件下,平均使用寿命在 500 炉以上,与同期德国喷头相比使用效果相当,现已开始在 3 座 210t 转炉上正常使用,大型转炉锻压组合式喷头的制造技术取得重大进步。

4)采用研制的钎焊工艺,钎接接头具有较高的结合强度,抗高温性能和防渗漏性能良好。采用研制的熔化极氩弧焊工艺,选择合适的填充材料焊接喷头底部与外管管节,铜钢焊接接头强度高、抗热疲劳性能好,能满足氧枪喷头高寿命使用要求。

5)采用无氧铜坯料,设计专用的锻模,选用合理的锻压工艺,可改善喷头体材质的晶粒度和导热系数,提高喷头的水冷效果。设计专用的夹具、刀具和量具,采用合理的机加工工艺,使喷头工艺参数得到精确的保证。

### 参考文献

- [1]首钢炼钢厂等.顶吹转炉三孔喷枪.北京:冶金工业出版社,1973
- [2]A. Sakai 等(住友金属鹿岛第二炼钢厂).低喷溅氧枪的开发. I&S, 1994. 12

(收稿日期:2001-11-10)

(接 66 页)

内就达到班产 7 炉的水平,当月达到最高日产 23 炉的记录。到目前为止改造项目已正常工作 20 个月,实际生产显示了改造带来的经济效益;设备的故障率降低,其可靠性及安全性提高,工人的劳动强度显著降低,为同类型铸机高效化改造探索了一条途径。

### 参考文献

- [1]徐灏主编.机械设计手册.北京:机械工业出版社,1991
- [2]"连续铸钢手册"编辑委员会.连续铸钢手册.北京:冶金工业出版社,1991
- [3]潘毓淳主编.炼钢设备.北京:冶金工业出版社,1991

(收稿日期:2001-11-20)