

## 气体旋流喂丝枪喂椭圆包芯线实现钢液内部喂丝钙处理

严清华 熊烈强

(武汉工业学院机械工程学院, 武汉 430023)

**摘要** 介绍了钢包中钢液钙处理的起源及钙的加入方法和研制的气体旋流喂丝枪和高致密椭圆截面包芯线。建议包芯线成形机和喂丝机生产企业借鉴焊管成形机进行技术改造, 生产椭圆截面包芯线成形机; 将圆柱面齿形喂丝轮改造成圆弧槽喂丝轮; 钢铁企业喂丝处理时增加活动导丝管升程, 以实现钢液内部喂丝钙处理。

**关键词** 钙处理 喂丝机 喂丝枪 包芯线 椭圆截面

## Achieving Calcium Treatment in Molten Steel by Feeding Elliptic High-Density Cored-Wire with Gas Rotary Lance

Yan Qinghua and Xiong Lieqiang

(School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023)

**Abstract** The origin of calcium treatment of molten steel in ladle and adding calcium method as well as developed gas rotary feeding wire lance and high-density cored-wire with elliptic section are presented in this article. It is suggested that using the experience of welded pipe forming machine the technical revamp of cored-wire machine shall be carried out at cored-wire forming enterprises and machine manufacture enterprises to produce elliptic cored-wire forming machine and change the cylinder face gear for feeding wire to the arc tough gear for feeding wire; and at steel works the stroke of mobile guide tube in feeding process should be increased to achieve the feeding wire calcium treatment in molten steel.

**Material Index** Calcium Treatment, Wire Feeder, Wire-Feeding Lance, Cored-Wire, Elliptic Section

### 1 钙处理起源和钙加入方法

最早钙处理有:

(1) 硅钙线。1906 年瓦茨 (Watts) 把 CaSi 加入到钢液中, 发现能改善钢的纯净度。1908 年戈尔德史密斯 (Goldschmidt) 指出 CaSi 是钢液的有效脱氧剂, 此观点在 1920 年代被大量的试验证实<sup>[1]</sup>。

1908 年盖伦基尔兴 (Geilenkirchen) 使用 Al 和 Ca 的混合物也得到了脱氧效果。由此, 人们认识到含有 Ca 的合金是钢液的有效脱氧剂, 因为脱氧产物比较轻, 容易上浮到钢液表面。

(2) 纯钙线。1921 年安德生 (Anderson) 证实了纯钙金属的脱氧效果。

(3) 铁钙线。1932 年曼特尔 (Mantei) 和哈迪 (Hardy) 提出了加钙的方法: 把钙混入海绵铁或钢屑中压成小球或方块, 用气枪射入钢液中。

钢中钙的加入方法有:

(1) 原始法<sup>[1]</sup>。在 1950 年前后, CaSi 作为添加剂广泛用于炼钢中, 常用的方法是把钙合金投入到炉内、出钢钢流、钢包或中间包, 或在出钢前把钙合金放入钢包或中间包的底部, 但出现 CaSi 处理效果不稳定, 重现性差, 钙收得率低。

1961 年德昂 (Dunn) 提出把钙合金放入插在铁

棒端部的钢制篮子中或把钙合金填入钢管内, 再插入钢液深部的方法。

1970 年列宾斯基等研究发现, 为抑制 Ca 产生的高蒸汽压, 需将钙合金加入到钢液表面以下的深度 (内部喂丝)。

(2) 喷射法 (TN 法)<sup>[1]</sup>。1974 年 TN 公司开发了用氩气喷吹含钙粉的技术, 陶瓷喷管插入钢液表面以下 2 m 处, 钙粉 (CaSi 或 CaC<sub>2</sub>) 混入氩气流经喷管进入熔池底部。喷射法的缺点: 金属与空气接触, 氮含量会增加, 吸收氢气, 粉末有爆炸的危险。

(3) 弹丸投射法 (SCAT 法)<sup>[1]</sup>。1975 年日本住友公司把 CaSi 粉装入铝壳制成弹丸射入钢液中。

(4) 表面喂丝法 (WF 法)。1968 年卡特尔 (Carter) 发明了带 V 形槽喂丝轮的丝焊机<sup>[2]</sup>。1970 年这种丝焊机被移植到向钢液中喂铝线 (喂丝机)<sup>[1]</sup>。

1971 年喂丝机用于喂钙线<sup>[1]</sup>。由于受丝焊机的影响, 包芯线只有  $\Phi 4.8$  mm 和  $\Phi 7$  mm 两种规格, 钢壳厚度为 0.2 mm。芯材为纯 Ca 或 Ca + Al 或 Ca-Si 粉剂 (小直径包芯线)。

1979 年菲泽尔 (Pfizer) 公司发明了带错开齿 V 形槽喂丝轮的喂丝装置, 可喂  $\Phi 2 \sim 15$  mm 的线, 优

选  $\Phi 3 \sim 8 \text{ mm}$ <sup>[3]</sup>。

1987年阿菲瓦尔(Affival)公司研制了咬口式双核包芯线<sup>[4]</sup>,喂该线的喂丝轮为带纹理或非金属覆层的圆弧槽。圆弧槽主要是尽量保持包芯线的圆截面、减小内应力,以消除受热后内应力引起的包芯线在钢液表面的卷曲,保持包芯线刚度。该公司还有矩形截面包芯线(矩形截面包芯线的起源)。

1987年中国引进了喂丝技术。仿制了带圆柱面齿形喂丝轮的喂丝机,咬口式包芯线主要是  $\Phi 13 \text{ mm}$ ,也生产了矩形截面包芯线。 $\Phi 13 \text{ mm}$ 包芯线碾压后成  $11.5 \text{ mm} \times 16.5 \text{ mm}$ 的扁平形,压痕深。

2005年印度塔塔(Tata)公司试验了咬口式  $\Phi 13$ 、 $\Phi 16$ 、 $\Phi 18 \text{ mm}$ 包芯线,发现直径越大,线的穿透距离越大,收得率越高。推荐使用大直径包芯线<sup>[5-6]</sup>。

2005年注射合金(Injection Alloy)公司发明了焊接式高致密包芯线成形工艺<sup>[7]</sup>,芯材外壳质量比  $15/85$ ( $\approx 1/5.7$ ),钙的收得率  $15.43\% \sim 26.47\%$ ,平均  $19.63\%$ <sup>[8]</sup>。

2010年中国生产了  $\Phi 9 \text{ mm}$ 咬口式实心钙包芯线<sup>[9]</sup>,芯材外壳质量比为  $1/4$ ,收得率为  $19.73\%$ <sup>[10]</sup>。

2011年中国生产了  $\Phi 9 \text{ mm}$ 焊接式实心钙包芯线,芯材外壳质量比为  $1/5.7$ ,钢壳厚  $1.4 \text{ mm}$ ,收得率为  $21.61\%$ <sup>[11]</sup>。

(5)内部喂丝法(WL法)。1983年菲泽尔(Pfizer)公司发明了带活塞气缸密封装置的喂丝机,配星形喷嘴喂丝枪,可实现临界深度以下的内部喂丝<sup>[12]</sup>。密封装置和星形喷嘴需要圆截面包芯线,但大直径包芯线会增加密封件与包芯线之间的阻力和氩气流量。珉泰克(minteq)公司沿袭了菲泽尔的内部喂丝技术<sup>[13]</sup>,采用的包芯线规格为  $\Phi 8 \text{ mm}$ <sup>[14]</sup>。

内部喂丝不仅收得率高,吨钢费用低,更重要的是稳定性高,能够可靠地得到预期的脱氧、脱硫和合金化效果。

2011年作者针对国内的炼钢设备现状研制了枪头能够进入钢液内部的气体旋流喂丝枪<sup>[15]</sup>,其特性曲线如图1<sup>[16]</sup>。

## 2 高致密椭圆截面包芯线

综合表面喂丝、内部喂丝、各种包芯线的特点以及知识产权的持有现状,作者研制了高致密椭圆截面包芯线<sup>[17]</sup>,焊接封口,芯材外壳质量比为  $1.19$ 。在生产椭圆截面包芯线时,应考虑以下因素:

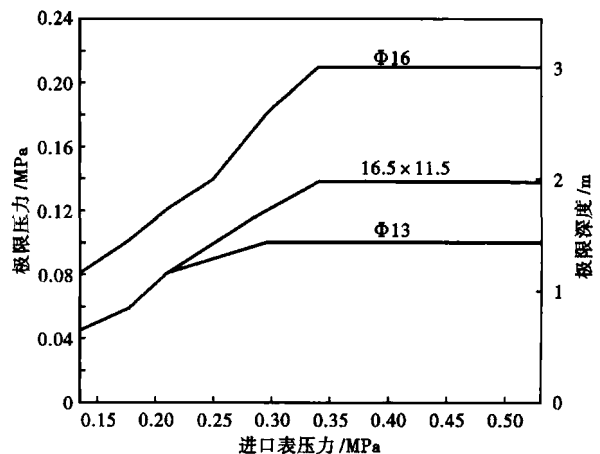


图1 喂丝枪特性曲线

Fig. 1 Characteristic curves of wire-feeding lance

(1)包芯线芯材。合金钙包芯线,如  $\text{CaSi}$  线,在工业化生产中能够低成本获得,并且发现  $\text{Si}$  的存在能够提高钙收得率;复合钙包芯线,如  $\text{CaFe}$  线,其中加入  $\text{Fe}$  是为了增加包芯线的密度,在相同条件下,使所喂入的钙更接近钢包底部;真正起脱氧作用的是钙金属元素。在检验合金/复合钙包芯线芯材中钙含量时,分辨  $\text{CaO}$  中的  $\text{Ca}$  有困难。还原钙和电解钙在钙处理中差别并不大。为保护钢铁企业的利益,维护包芯线行业的信誉,推荐生产、使用高致密还原钙芯材包芯线。

(2)包芯线封口方式。在表面喂丝中,咬口式和焊接式都可以使用。但咬口式在咬口处存在类三角空隙,会将空气带入钢液。虽然可以加顶沟消除空隙,但在包芯线中存在预应力,受热后容易卷曲。在内部喂丝中,焊接式效果更好。推荐生产、使用焊接式包芯线。

(3)包芯线截面形状。在表面喂丝中,对包芯线截面形状没有限制,圆、矩形甚至多边形均可。在内部喂丝中,由于密封和喷嘴需要圆截面形状包芯线,但之前可以是椭圆。推荐生产、使用椭圆截面包芯线。

(4)包芯线芯材外壳质量比。钙处理起脱氧作用的是芯材钙,外壳只是其包装物。外壳太薄,包芯线刚度不够,表面喂丝易发生液面盘旋不能进入钢水;外壳太厚,其融化需要更多的热量,钢包温降大。根据实验,并考虑表面喂丝和内部喂丝,推荐生产、使用外壳厚度为  $0.6 \sim 0.7 \text{ mm}$  的包芯线。芯材外壳质量比越高,企业钙处理的成本越低,考虑到钙密度 ( $1.55 \text{ g/cm}^3$ ) 和钢外壳密度 ( $7.8 \text{ g/cm}^3$ ) 以及外壳的必要厚度,推荐生产、使用芯材外壳质量比大

于 1 的包芯线。

(5) 吨钢包芯线费用。吨钢钙处理所需包芯线费用<sup>[18]</sup>。

$$C_{w/T} = \left( 1 + \frac{m_s}{m_c} \right) \frac{w_s}{w_c R} P \quad (\text{万元/吨钢}) \quad (1)$$

式中:  $m_s$ - 钢壳质量(对双核包芯线, 可将两层钢壳及之间的耐火材料计算在内);  $m_c$ - 芯材质量;  $w_s$ - 钢中需要达到的钙质量分数;  $w_c$ - 芯材中钙的质量分数;  $R$ - 钙收得率;  $P$ - 包芯线价格。

在相同条件下( $w_s$ 、 $w_c$ 、 $R$ 、 $P$ ), 使用芯材外壳质量比( $m_c/m_s$ )为 1.19 的椭圆包芯线的吨钢费用是芯材外壳质量比  $m_c/m_s = 1/5.7$  的 27.5%。

### 3 包芯线成形机、喂丝机和钢铁企业的技术改造

包芯线成形机应借鉴焊管成形机<sup>[19]</sup>进行技术改造, 以能生产芯材外壳质量比为 1.0~1.8 的椭圆截面包芯线。

通常所指的普通喂丝机没有活塞气缸密封装置, 有活塞气缸密封装置的喂丝机专利从 1983 年开始生效, 20 年保护期已过。气体旋流喂丝枪是专为普通喂丝机研制的, 没必要再效仿活塞气缸密封装置的喂丝机。国内应综合阿菲瓦尔(Affival)公司的喂丝轮<sup>[20]</sup>, 建议将圆柱面齿形喂丝轮改造成圆弧槽喂丝轮。这样, 一方面可以将高致密包芯线的椭圆形截面挤压成圆形截面, 挤压后变形均匀, 无集中压痕和集中应力, 焊缝不开裂; 另一方面可以利用包芯

线从椭圆形截面变为圆形截面的塑性变形来增加喂丝轮的摩擦驱动力。包芯线在进入喂丝机前如果发生了扭转, 可以在对称的两喂丝轮形成的圆形通道中自动得到校正。

钢铁厂喂丝处理时, 应当适当改造活动导丝管升降台, 以适应内部喂丝所需的升程(如图 2)。

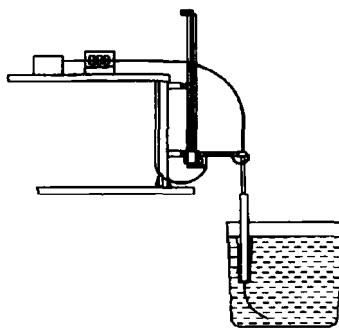


图 2 气体旋流喂丝枪喂丝系统

Fig. 2 Wire feeding system with gas rotary lance

### 4 结论

喂丝技术是炼钢、铸造以及有色金属冶炼中的共性技术, 喂钙丝只是其中的一种应用。研究、生产、使用者应了解其前因后果, 合理把握其发展趋势, 协同创新。根据珉泰克和塔塔公司的经验, 合理选择喂丝工艺参数, 预计使用气体旋流喂丝枪喂椭圆包芯线的钙收得率会超过 30%。

### 参考文献

- [1] 音谷登平, 形浦安治. 钙洁净钢[M]. 刘新华, 韩郁文译. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- [2] Carter, Kenneth G. Wire Feeder[P]. United States Patent, 3672655. 1970-3-12. // patft. uspto. gov/
- [3] Hubenko, Nicholas. Wire-feeding Apparatus[P]. United States Patent, 4235362. 1979-3-21. // patft. uspto. gov/
- [4] 米歇尔 杜奇. 适于进行熔融金属浴处理的管壳状混合材料[P]. 中国专利, ZL88100499A. 1988-2-3. // www. sipo. gov. cn/
- [5] Basak S, Kumar Dhal R, Roy G G. Efficacy and Recovery of Calcium during CaSi Cored Wire Injection in Steel Melts[J]. Ironmaking and Steelmaking, 2010, 37(3): 161-168.
- [6] Sarbendu, Sanyal, Sanjay, et al. Cored Wire Injection Process in Steel Melts[P]. United States Patent, 7682418. 2010-3-23. // patft. uspto. gov/
- [7] 注射合金公司. 用于精炼熔融金属的线以及相关的制造方法[P]. 中国专利, ZL200680003432. 1. 2006-1-30. // www. sipo. gov. cn/
- [8] 韩春鹏, 刘平, 董珍. 高钙包芯线在低碳低硅钢中的应用[J]. 包钢科技, 2011, 37(6): 14-16.
- [9] 周海涛, 周啸. 一种用于炼钢脱氧的实心金属钙包芯线[P]. 中国专利, CN201010292333. 8. 2010-9-27. // www. sipo. gov. cn/
- [10] 张宝, 施月明, 项利, 等. 实芯纯钙线在 LF 精炼过程中的应用[J]. 特殊钢, 2011, 32(5): 44-46.
- [11] 张明乾, 李显业, 郝保升. 无缝钙线及其制备方法[P]. 中国专利, CN201110383893. 9. 2011-11-28. // www. sipo. gov. cn/
- [12] Kaiser, Joseph G. Process for Adding Calcium to a Bath of Molten Ferrous Material[P]. United States, 4481032. 1984-11-6. // patft. uspto. gov/
- [13] Baum Richard, Yanker James. 改进的薄板坯钙处理工艺[M]. 南京: 2009 年薄板坯连铸连轧国际研讨会论文集, 2009: 137-142.
- [14] Minteq. 钙冶金线材[EB/OL]. http://www. minteq. com
- [15] 严清华, 熊烈强. 气体旋流喂丝枪喂钙丝的水模拟试验[J]. 特殊钢, 2012, 33(2): 6-9.
- [16] 严清华, 熊烈强. 气体旋流喂丝枪的实验研究[J]. 河北科技大学学报, 2012, 33(3): 231-236, 282.
- [17] 熊烈强. 高致密包芯线[P]. 中国专利, ZL201220194207. 3. 2012-5-3. // www. sipo. gov. cn/
- [18] 严清华, 熊烈强. 钙系包芯线的综合效益分析[J]. 河北工业科技, 2012, 29(1): 9-12.
- [19] 吴凤梧. 国外高频直缝焊管生产[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
- [20] A. 普拉利翁. 将芯线引入熔融金属浴的方法和设备[P]. 中国专利, ZL200780042433. 1. 2007-10-3. // www. sipo. gov. cn/

严清华(1978-), 女, 硕士, 讲师, 2004 年大连理工大学毕业, 钢包喂丝流体力学研究。

收稿日期: 2012-09-17