

气体旋流喂丝枪喂钙丝的水模拟试验

严清华 熊烈强

(武汉工业学院机械工程学院, 武汉 430023)

摘要 钙珠在钢液中极易上浮, 当钢包中钢水温度一定时, 将钙送入钢水的深度大于临界深度时, 钢液的静压力将抑制钙的汽化, 使钙的收得率显著提高。利用流体力学原理, 研制了将气道与丝道分开, 利用气体旋流使钢液旋转的气体旋流喂丝枪, 并进行喂丝水模拟试验。试验结果表明, 气体旋流喂丝枪可在钢液内部产生经纬两向环流, 延长钙在钢液中的驻留时间, 促进混合, 可进一步提高钙的收得率。

关键词 钙处理 喂丝机 喂丝枪

Water Simulation Test for Feeding Calcium Wire by Gas Rotary Feeding Lance

Yan Qinghua and Xiong Lieqiang

(School of Mechanical Engineering, Wuhan Industry Institute, Wuhan 430023)

Abstract Calcium granules in liquid steel easy float up. With definite temperature of liquid in ladle, as depth of feeding calcium in liquid is larger than a critical depth, the static pressure of liquid shall inhibit calcium vapourizing, so the yield of calcium shall increase obviously. Based on the fluid dynamics principle, the gas rotary feeding wire lance with gas orifice separating from wire orifice and using gas rotary to revolve liquid steel has been designed and the feeding wire water simulation test is carried out. Test Results show that the circuiting flow at longitudinal and lateral direction is produced in liquid steel by using gas rotary feeding lance to prolong the residual time of calcium in liquid that promote calcium mixing with liquid, it is available to increase the yield of calcium.

Material Index Calcium Treatment, Wire Feeding Unit, Wire Feeding Lance

钙与钢中铝氧化物形成 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 系化合物, 从而达到对 Al_2O_3 夹杂物的改性; 与钢中硫化物生成球形或团状 CaS 或 $(\text{Ca}, \text{Mn})\text{S}$, 避免了枝晶状 MnS 的形成。钙的熔点为 $843\text{ }^\circ\text{C}$ 。在液态下, 钙的密度为 1.55 g/mm^3 , 钢液的密度为 7 g/mm^3 。因此, 钙珠在钢液中极易上浮; 在汽态下, 钙则以更快的速度上升。图 1 为钙蒸汽的饱和压力和饱和温度之间

的对应关系, 其中临界深度指与饱和压力对应的钢液深度^[1-3]。当钢包温度一定时, 将钙送入钢包中钢水的深度大于临界深度时, 钢液静压力将抑制钙的汽化, 使钙收得率显著提高。国内外的研究主要集中在如何将钙送入临界深度以下, 如采用的方法有喷吹法、喂丝法及 SCAT 法, 其中喂丝法作为一种经济有效方法, 已经得到了广泛认可。

本文研制了将气道与丝道分开、利用气体旋流使钢液旋转的气体旋流喂丝枪。

1 国内外钢液钙处理喂丝技术现状

自 1975 年, 美国 Pfizer 公司通过采用包芯线在北美首创了钢液钙处理喂丝技术以来, 钢液钙处理喂丝技术在世界钢铁行业得到了广泛应用。国外钙处理喂丝经历了钢液表面喂丝和钢液内部喂丝两个阶段, 其中内部喂丝出现了第 1 代喂丝枪和第 2 代喂丝枪^[1]。各阶段钙收得率如图 2, 而目前国外的钙收得率都在 30% 以上^[1,4-6]。

以美国 Pfizer 公司密封技术为基础的第 2 代喂丝技术基本成熟。但钙丝对喷嘴的磨损会改变通道的截面形状, 影响枪的特性, 目前的研究主要集中在

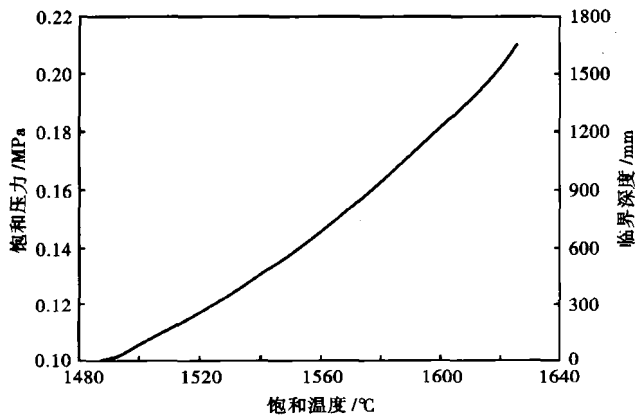


图 1 钙蒸汽的饱和压力和饱和温度之间的关系

Fig. 1 Relation between calcium vapour saturation pressure and saturation temperature

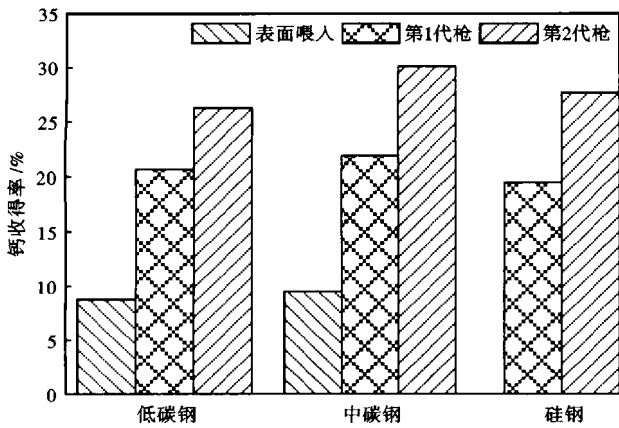


图 2 不同喂丝技术发展阶段的钙收得率

Fig. 2 Calcium yield at different wire feeding technical stage

提高枪头喷嘴材料的耐磨性^[7]。法国 Affival 公司的双核包芯线技术中的包芯线硬度较高,目前的研究主要集中在枪头材料^[8]。

国内钢液钙处理喂丝大致可以分为 4 类:无冷导丝管、气冷导丝管、水冷导丝管和防粘渣改进型水冷导丝管。但对于这 4 类喂丝方法而言,均还停留在表面喂入阶段^[9-14],钙收得率一般为 12%^[15]。与国外的钙收得率产生差别的原因在于:在国外的喂丝系统中,喂丝机和导丝管(喂丝枪)之间有压缩空气驱动的活塞气缸密封装置^[16],氩气和钙丝从喂丝枪中的同一通道进入钢液内部;国内在喂丝机和导丝管之间没有密封装置。

美国的第 2 代喂丝枪也有其不足,如压缩空气驱动的活塞气缸装置结构复杂、限制了喂丝速度、增加了喂丝阻力、喷嘴磨损后的枪特性变化以及氩气直喷造成的液面波动等都有待改进。法国的双核包芯线技术需对制线厂进行改造。而国内近来提出采

用纯钙包芯线替代钙合金包芯线,以期进一步提高钙收得率。

2 气体旋流喂丝枪介绍

本文研制的气体旋流喂丝枪,是利用流体力学原理,着眼于将气道与丝道分开、合理组织气体流动使钢液旋流、直接套装在固定导丝管外使用的新型喂丝枪。

2.1 气体旋流喂丝枪的结构

气体旋流喂丝枪由气流稳压箱、进气管、内管、外管、中空结构的旋流喷气头以及耐火材料层组成(图 3a),将外管浇注耐火材料的部分加工成螺纹管。

枪可相对于导丝管整体上下移动。内管和外管依次套装在喂丝机的固定导丝管外周。气流稳压箱设置在内管与外管形成的环形通道顶部入口处,并通过密封焊接的方式与内管和外管固定连接,在气流稳压箱的一侧安装有进气管接头。旋流喷气头设置在内管与外管形成的环形通道底部出口处,它由呈旋转陀螺体形的喷头内芯和与其形状相匹配的喷头外套组合而成(图 3b)。喷头内芯焊接固定在内管的底部,喷头外套焊接固定在外管的底部。在喷头内芯与喷头外套的配合面之间开设有沿周向均匀分布的螺旋喷气通道(图 3c)。螺旋喷气通道开设在喷头内芯的旋转曲面上,喷头内芯下端与螺旋喷气通道出口相交的外圆被切除的弧长占其圆周长的 30% ~ 100%。

2.2 气体旋流喂丝枪的工作原理

气体旋流喂丝枪工作时,整个枪体可以沿固定的导丝管作上下移动,以便插入到钢液的下面或离

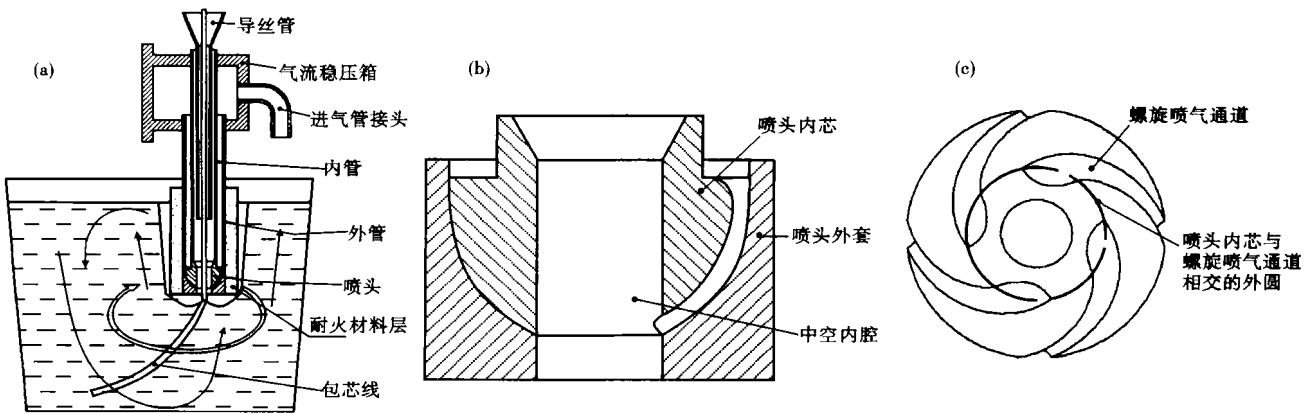


图 3 (a) 气体旋流喂丝枪结构; (b) 旋流喷气头; (c) 螺旋喷气通道

Fig. 3 (a) Structure of gas rotary wire feeding lance; (b) rotary gas jet head; (c) rotary gas orifice

开液面。来自喂丝机的包芯线在导丝管的引导下沿内管、喷头内芯的中空内腔和喷头外套的下端内孔穿出。同时,具有一定压力的氩气从进气管接头进入气流稳压箱,穿过内管与外管之间的环形通道,经螺旋喷气通道加速后喷出,形成气体旋流。当枪头在液面上方时,气体旋流的下方形成低温区;当枪头接近液面时,气体旋流推动保护渣旋转形成漩涡;当枪头进一步下降时,上层钢液向枪体汇合,枪头附近的钢液仍然在气体旋流推动下旋转,形成气囊。

由于流动,气囊中的气体仍然温度较低。气囊外层气体切向发散沿耐火材料层向上溢出。气囊内层气体则通过喷头内芯的中空内腔进入内管和导丝管中,并环绕包芯线的外壁向上溢出,隔离空气和钢液。包芯线从气囊中穿过,进入钢液中熔化。

沿耐火材料层向上溢出的气流带动钢液环流,如图 3(a) 中的单线箭头;旋转的气囊带动钢液旋流,如图 3(a) 中的双线箭头。环流和旋流使液态钙在钢液中均匀混合。

3 气体旋流喂丝枪的水模拟试验步骤和结果

水模拟观察试验台(图 4)由空压机(图 4 中未表示,额定压力 0.8 MPa、排量 0.43 m³/min)、储气罐(最高工作压力 0.8 MPa、容积 2 m³,自带压力表和安全阀)、减压阀(最高工作压力 0.8 MPa、出口压力 0~0.8 MPa,自带压力表)、球阀(1")、喂丝枪(自制)、升降台(最大升程 1.6 m,最大载重 2 000 kg,配自制喂丝枪安装支架)、摄像头(用 AB 胶封装于方形玻璃瓶中,玻璃瓶盖钻孔装镀锌管,数据线从管中引出)、笔记本电脑(无自带摄像头)、金属软管(1",长 3.5 m)和水箱(直径 1.5 m,高 1.2 m)等组成。

试验步骤为:(1)关闭储气罐排污阀和球阀,打

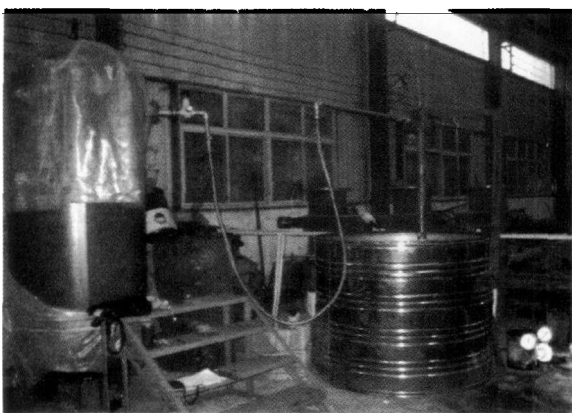


图 4 水模拟试验台

Fig. 4 Water simulation test unit

开储气罐气进气阀,启动空压机至储气罐压力 0.75 MPa。(2)提升喂丝枪使枪头高出水箱上沿;插入钙丝,使钙丝下端伸出枪头 0.1 m 左右;上端钻孔插销,使钙丝在枪内能自由转动而不致下落。(3)关闭水箱底阀,往水箱灌水至水位 1.1 m 左右。(4)移动升降台使枪头处于水箱中心位置。(5)全开球阀,旋转减压阀手轮至试验压力。(6)下降升降台使枪头处于水箱的试验位置。(7)将摄像头置于枪头附近摄像或拍照。

本次试验在水箱外测量了减压阀出口压力、喷气头前压力,两者之差即为其间的压力损失,如表 1 所示。由于储气罐容积有限,更高的压力维持时间短,读数困难。依据表 1,在减压阀出口压力 ≥ 0.5 MPa 时,压力损失不变。

表 1 减压阀出口和喷气头前的压力 /MPa

Table 1 Pressure at outlet of reduce pressure valve and front of gas jet /MPa

减压阀出口压力	喷气头前压力
0.15	0.14
0.20	0.18
0.25	0.21
0.30	0.25
0.35	0.30
0.40	0.34
0.45	0.39
0.50	0.43
0.55	0.48
0.60	0.53
0.65	0.58

分别将未碾压的 $\Phi 13$ mm 钙丝和被碾压后的 $\Phi 13$ mm 钙丝(尺寸 11.5 mm \times 16.5 mm)插入枪内进行了试验,减压阀出口压力按表 1 选取,试验温度 30 $^{\circ}\text{C}$ 。喷头气体出口速度为:

$$c_{f,cr} = [2kRgT_0 / (k+1)]^{1/2} = [2 \times 1.4 \times 287 \times (273 + 30) / (1.4 + 1)]^{1/2} = 318.5 \text{ m/s}$$

式中: k - 气体绝热指数; Rg - 气体常数/[J \cdot (kg \cdot K)⁻¹]; T_0 - 环境温度/K。

以下是在减压阀出口压力等于 0.45 MPa 时的照片。枪头接近水面 100 mm 左右时,气体旋流推动水旋转形成的漩涡如图 5(a) 所示,圆丝和扁丝没有差别。枪头进入水中后,气体旋流推动水旋转形成气囊。圆丝周围的气囊成轴对称的 ω 型,如图 5(b);扁丝周围的气囊是不对称的 ω 型,如图 5(c)。这种现象说明钙丝的圆度会影响喂丝枪对钢液的扰动。

将一根白色棉纱线放入水中,湿润后沉入水底。

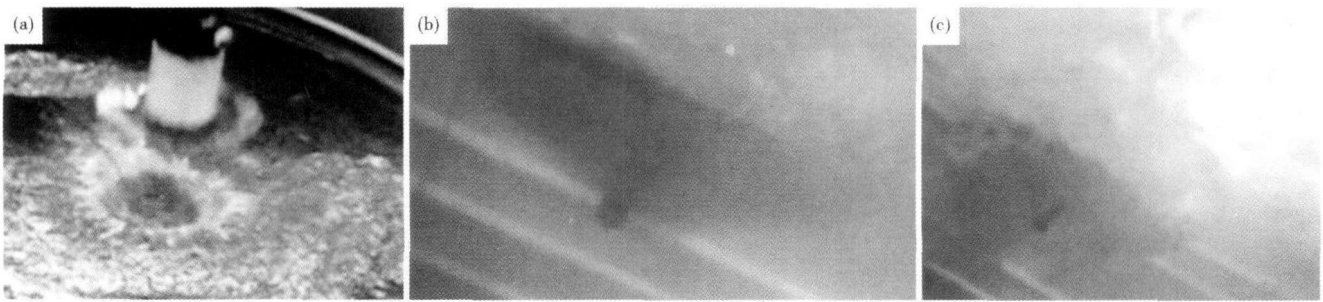


图5 (a)液面漩涡;(b)液体中的气囊(圆丝);(c)液体中的气囊(扁丝)
Fig.5 (a) Eddy at liquid surface; (b) gasbag (round wire) and (c) gasbag (flat wire) in liquid

实验进行到2 min左右,白色棉纱线漂浮到摄像头视野,漂浮过程中形状改变,如图6(a,b)。图6(b)在图6(a)后1 s左右截屏。纱线的运动和形状改变证实了喂丝枪能够在液体中产生环流和旋流。

4 结论

(1) 气体旋流喂丝枪可以在钢液内部产生经纬两向环流。纬向环流可以促进钙在钢液平面的均匀混合作用;经向环流可以阻止钙熔化后迅速向钢液面积聚和挥发。这些效果,延长钙在钢液中的驻留时间、促进混合均匀,有利于钙反应,可以进一步提高钙收得率。

(2) 气体旋流喂丝枪利用流体力学原理,着眼于研究将气道与丝道分离、合理组织气体流动,避免了国外喂丝枪因气道和喂丝道合一,高速钙线对喂

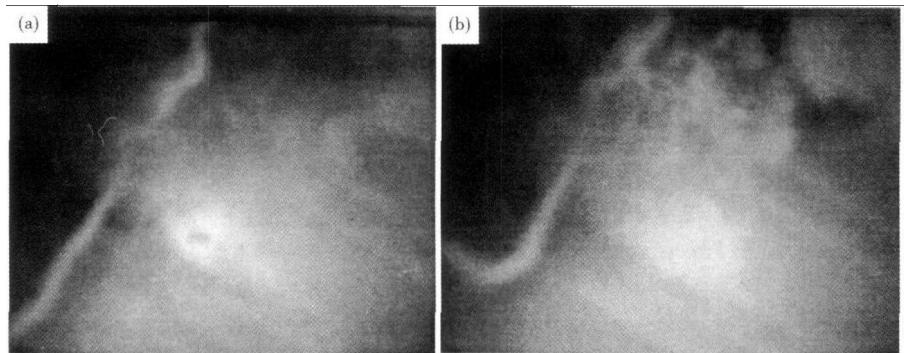


图6 纱线的位置和形状1(a)以及2(b)
Fig.6 Position and shape of No1 (a) and No2 (b) white yarn putting in water

丝口的磨损,改变枪口的气动特性。

气体旋流喂丝枪具有独特的优点,预计能够达到甚至超过国外的第2代喂丝效果,在国内具有现实意义,更适合中国钢铁企业的设备现状。通过工业试验,优化枪的结构参数和喂丝工艺参数将是今后的研究方向。

参考文献

- 1 Mark J Engel. 采用先进的深枪喂钙线钢包处理法的改进工艺控制及提高钢质量. 张开坚译. 钢铁钒钛, 1993, 14(1): 63
- 2 Kaiser, Joseph G. Process for Adding Calcium to a Bath of Molten Ferrous Material; United States, 4481032 [P]. 1984-11-6. // patft. uspto. gov/
- 3 Colavito, Dominick M, Damiano, John, Vermeulen, Yves. Rotary Lance; United States, 7736415 [P]. 2010-6-15. // patft. uspto. gov/
- 4 Basak S, Kumar Dhal R, Roy G G. Efficacy and Recovery of Calcium during Cast Cored Wire Injection in Steel Melts. Ironmaking and Steelmaking, 2010, 37(3): 161
- 5 Wirth Jr, Emil J. Wire Injection Nozzle [P]. United States Patent, 4705261. 1987-11-10. // patft. uspto. gov/
- 6 埃米尔·约瑟夫·沃思. 丝状料喷管 [P]. 中国专利, CN87108060A. 1988-6-8. // www. sipo. gov. cn/
- 7 科拉维托 D M, 达米安诺 J, 弗穆伦 Y C. 喂丝喷枪喷嘴衬套 [P]. 中国专利, CN101675173A. 2010-3-17. // www. sipo. gov. cn/
- 8 Schwadron, James Timothy, Niemi, Leslie Wade, Marzec; Gregory P. Guide Tube end-piece, Assembly and Method [P]. United States Patent, 7 829 010. 2011-11-9. // patft. uspto. gov/
- 9 祁 渊, 黄红林. 喂线装置 [P]. 中国专利, CN201144253Y. 2008-11-5. // www. sipo. gov. cn/
- 10 王明春, 关春立, 李 林. 钢包喂线 [P]. 中国专利, CN201288206Y. 2009-8-12. // www. sipo. gov. cn/
- 11 苗 钊, 周兰聚. 钢液喂合金线的气体保护工艺及装置 [P]. 中国专利, CN1394966A. 2003-2-5. // www. sipo. gov. cn/
- 12 阮德有. 新颖钢包炉喂丝导管 [P]. 中国专利, CN2707767Y. 2005-7-6. // www. sipo. gov. cn/
- 13 陈 峰, 熊志钢, 吴健鹏, 等. 新型炼钢喂丝机水冷导丝装置 [P]. 中国专利, CN201501903U. 2010-6-9. // www. sipo. gov. cn/
- 14 陆长胜, 胡 诚, 熊志钢, 等. 喂丝机的合金丝导管 [P]. 中国专利, CN201762371U. 2011-3-16. // www. sipo. gov. cn/
- 15 徐 磊. 关于规范和优化钙处理技术的探讨. 天津冶金, 2010(6): 4
- 16 Wirth Jr, Emil J. Wire Injection Apparatus [P]. United States Patent, 4 512 800. 1985-4-23. // patft. uspto. gov/

严清华(1978-), 女, 硕士, 讲师, 流体力学, 钢包喂丝研究。

收稿日期: 2011-09-25