

# 120 t BOF-LF-180 mm × 180 mm 坯连铸-连轧流程生产 易切削钢 1215 工艺实践

徐雷 李海 茆淑娟 左小坦 王吾磊  
(芜湖新兴铸管有限责任公司炼钢部, 芜湖 241000)

**摘要** 成功开发了1215易切削钢120 t转炉-120 t LF-180 mm × 180 mm连铸-高线轧制生产工艺。关键控制点为:转炉出钢C < 0.05%、转炉终点温度1 630 ~ 1 660 °C、精炼自由氧控制目标  $50 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6}$ 、炉渣二元碱度2.5 ~ 3.0。设计成分(/%)为:0.05 ~ 0.07C, 1.20 ~ 1.35Mn, 0.340 ~ 0.360S, 该工艺条件下钢中硫化物形貌和含量控制合理, Mn/S有利于易切削钢的轧制和改善切削性能。钢水的过热度按25 ~ 40 °C控制, 拉速1.2 m/min。实践表明, 准确预判终点氧含量以确定脱氧剂加入量, 合理控制不同工序的氧含量是达到线材产品质量稳定的关键。

**关键词** 易切削钢 自由氧控制 成分设计 稳定质量

## Process Practice of 1215 Free Cutting Steel Produced by 120 t BOF-LF-180 mm × 180 mm Billet Casting-Continuous Rolling Flowsheet

Xu Lei, Li Hai, Mao Shujuan, Zuo Xiaotan and Wang Wulei  
(Steel Making Department, Wuhu Xinxing Casting Pipe Co Ltd, Wuhu 241000)

**Abstract** The 1215 free cutting steel is successfully developed by 120 t converter-120 t LF-180 mm × 180 mm billet casting high-speed wire rolling flowsheet. The key control point is converter tapping steel C < 0.05%, converter end temperature 1 630 ~ 1 660 °C, refining free oxygen control target  $50 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6}$ , and binary slag basicity 2.5 ~ 3.0. The composition design is 0.05% ~ 0.07% C, 1.20% ~ 1.35% Mn, and 0.340% ~ 0.360% S. On this process conditions, the morphology and content of sulfide in steel are controlled reasonably. The Mn/S is beneficial to the rolling and improving cutting performance of free cutting steel. The superheat of molten steel is controlled within 25 ~ 40 °C and the casting speed is 1.2 m/min. It shows that accurately predicting the end-point oxygen content to determine the amount of deoxidizer added, and reasonable control of the oxygen content of different processes are the key to achieve stable quality control of wire products.

**Material Index** Free Cutting Steel, Free Oxygen Control, Composition Design, Stable Quality

易切削钢是机械制造行业中应用日趋广泛的节能材料<sup>[1]</sup>。主要应用于切削加工量大、自动化程度高的办公设备、家电、仪器、汽车等行业,其特点是切削速度快、刀具损耗小、加工成本低以及成品表面光洁度高<sup>[2]</sup>。我国易切削钢的种类及工艺开发近年得到较好的发展,国内特殊钢企业逐步开发高级别无铅硫系易切削钢以取代进口<sup>[3-5]</sup>。

1215钢属低碳高硫易切削钢,由于其高氧、高硫、高磷的成分特性,钢水表面张力低、钢渣较难分离,铸坯易产生皮下气泡、夹渣、深振痕等缺陷,铸坯修磨量大,盘条表面质量差,影响了产品质量,造成了成本的增加<sup>[6-7]</sup>。

本文对钢厂开发的1215低碳高硫易切削钢的冶炼过程氧含量控制及钢中夹杂物的转变特点进行了总结,指出合理的控制不同工位氧含量是达到线材产品质量控制的关键。

### 1 工艺路线及主要设备

钢厂开发的1215低碳高硫易切削钢盘条,生产工艺如下:LD转炉冶炼→LF精炼→方坯连铸机连铸→高线控轧控冷。

钢厂2#连铸机(见表1)生产1215低碳高硫易切削钢盘条,其工艺流程为:120 t LD转炉→120 t LF→CC(180 mm × 180 mm)→CR。主要参数为:120 t氧气顶底复吹转炉,120 t LF钢包精炼炉和10

表1 连铸主要工艺技术参数  
Table 1 Main process technical parameters of casting

项目	技术参数
机型	链式引锭杆全弧连铸机
弧度半径/m	11
铸机冶金长度/m	~30
铸坯断面/mm	180 × 180
结晶器铜管长度/mm	900
拉速范围	1.1 ~ 1.6
电磁搅拌	结晶器电磁搅拌/末端电磁搅拌

表2 1215 钢成分设计 / %  
Table 2 1215 steel composition design / %

C	Si	Mn	P	S	[O]
0.05 ~ 0.07	0.01 ~ 0.03	1.25 ~ 1.55	0.046 ~ 0.055	0.320 ~ 0.380	0.005 ~ 0.006

机 10 流直弧形连铸机,连铸坯断面尺寸为 180 mm × 180 mm,结晶器液面自动控制和电磁搅拌。采用全程保护浇铸、结晶器和凝固末端电磁搅拌。

120 t 转炉、LF 精炼与连铸机生产周期相匹配,在 40 ~ 50 min,连浇炉数为 5 ~ 9 炉。

## 2 熔炼成分控制

钢厂开发的 1215 低碳高硫易切削钢具体成分设计如表 2。其中硫以硫化锰 (MnS) 的形式分布在钢中,由于 MnS 夹杂物割断了基体的连续性而使车削易断,又由于 MnS 的润滑作用而降低了刀具磨损,从而改善了钢材的切削加工性能。但是如果有多余的 S 存在于钢中,则容易与钢中的 O、Mn、Fe 生成过多的 Fe-FeS (熔点为 988 °C) 共晶化合物、FeS-MnS (熔点为 1 164 °C) 共晶化合物及 Fe-FeS-FeO (熔点为 940 °C) 三相共晶化合物。在钢液凝固过程中由于 S 的严重偏析使这些共晶化合物在钢液凝固后呈薄膜状残留在晶界上,在轧制时由于钢中产生的共晶化合物熔化温度很低而处于熔融状态,从而导致轧制开裂,因此要控制合适的硫含量才能既保证钢材的切削加工性能又不使轧制时开裂<sup>[8]</sup>。经生产实践,S 控制在 0.320% ~ 0.350% 可以满足该要求。

合适的锰硫比,可以获得好的夹杂物形态,并在连铸浇铸过程中避免漏钢、铸坯表面裂纹等事故,因此 Mn 成分为 1.25% ~ 1.55%。Mn/S 控制最佳范围在 3.0 ~ 5.0。

## 3 1215 钢过程工艺控制

1215 低碳高硫易切削钢出钢 C 控制在 < 0.05%;转炉终点温度:1 630 ~ 1 660 °C;转炉渣洗石灰加入量 400 kg,硫铁在转炉加入,加入量为 1 t;增加铝铁加入量,铝铁 (39% ~ 40%) 加入 300 kg/炉 (2.5 kg/t),硅锰加入 300 kg/炉,余下补加低锰。转炉严格挡渣,防止下渣。吹氩 3 min 后取第一个样,氩站氧含量控制在  $70 \times 10^{-6}$  ~  $80 \times 10^{-6}$ 。

精炼自由氧控制目标为  $50 \times 10^{-6}$  ~  $55 \times 10^{-6}$ ,炉渣二元碱度控制在 2.5 ~ 3.0,精炼化渣后加入电石 0.50 kg/t,渣中 TFe 不做硬性要求,根据氩站样补加部分硫铁和锰铁。因硫铁含 FeO,容易造成钢

水溶解氧波动,应尽量在精炼前期加入,吹氩站取样要相对准确。

LF 到站后定氧,氧偏高,加锰铁时往下线控制,有可能适当的回锰。补加硫铁、磷铁等合金后,渣面加入电石脱氧;精炼到站以后(氩站样)加合金的顺序:先加硫铁,磷铁等合金(含有氧化铁的先加),再加合金渣料(石灰),最后加高铝渣。取样 1 温度控制在 1 580 °C,氧含量按  $40 \times 10^{-6}$  控制,氧高时,加入铝铁脱氧,过程氧低时,加入干燥连铸氧化铁皮增氧加入时开大氩气搅拌。当样 1 硅含量低 (< 0.01%),按目标硅含量 0.02% 配加硅铁;样 1 到出站大概需要 40 min,氩站吊包 1 600 °C。根据样 1 氧高配 0.03% Si,氧低配 0.02% Si。另外,氧在  $55 \times 10^{-6}$  ~  $65 \times 10^{-6}$  时喂硅钡线,氧超过  $65 \times 10^{-6}$  加铝铁,软吹前保持 3 min 后定氧。铝铁的加入对钢水可浇性影响不大;样 2 取出定氧,氧高  $60 \times 10^{-6}$ ,按  $40 \times 10^{-6}$  氧去控制,加铝铁;碱度过低,包壁翻腾,适当补点石灰 (50 kg),氧高时高铝渣适当补一点 (20 ~ 30 kg),为了渣中的氧平衡。通电时,钢水易吸氧,过程氧合格后,尽量将温度同时升到位。定氧时关闭氩气,精炼出站加入少量酸性覆盖剂后再加入碳化稻壳,软吹氩气不宜过大,液面有波动即可。

采用整体式水口浇铸,断面 180 mm × 180 mm (10 流,双中间包)过热度按 25 ~ 40 °C 控制(开浇第 1 包 35 ~ 45 °C),拉速 1.2 m/min。结晶器电搅参数为 300 A,4 Hz,末端电搅参数为 200 A,10 Hz。

## 4 1215 钢表面质量及裂纹缺陷攻关

1215 低碳高硫易切削钢铸坯常见质量缺陷为皮下气泡(如图 1),易造成轧材产生深口、裂痕。皮下气泡形态:以针状细孔形态大面积分布于铸坯皮下。主要原因为钢液脱氧不足,含气量过高,或者是

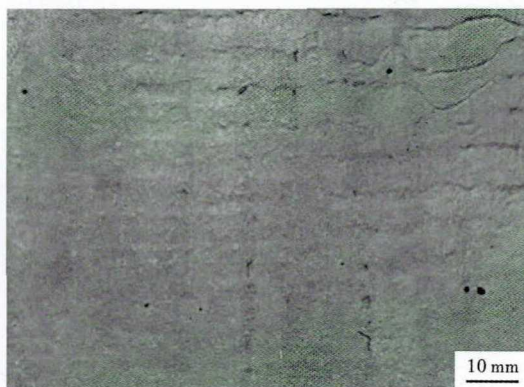


图1 1215 钢铸坯皮下气泡  
Fig. 1 Subskin blowhole in cast slab of 1215 steel

浇铸系统潮湿或保护渣潮湿,浇注时气体析集于皮下或钢水凝固时析出的氧与碳反应生成 CO 气泡溢出时所致。主要靠强化脱氧,加强原材料烘烤,降低钢水含气量,保持浇注系统和保护渣干燥来防止。

另外,由于 1215 低碳高硫易切削钢 Mn、S 含量较高,铸坯低倍产生疏松、缩孔缺陷(如图 2)。在铸坯的凝固过程中,由于铸坯的传热和冷却的不稳定性,导致柱状晶生长的不稳定,生长较快的柱状晶在铸坯中心相遇形成“搭桥”,并且在铸坯中心呈断续分布,液相穴内的钢液就被断断续续分布的“搭桥”分割开,当晶桥下面的钢液凝固收缩时得不到上部钢液的补充时,就形成疏松或缩孔,并伴有中心偏析<sup>[9]</sup>。

1215 低碳高硫易切削钢常见轧材出现裂纹。对轧材裂纹处试样进行高倍分析发现 A 类夹杂物,观察 SEM 如图 3 所示,夹杂物形态呈链状分布。做能谱进行半定量分析,Mn 含量为 45.36%、S 含量为 28.15%、Fe 含量为 26.49%,夹杂物为 MnS。此类夹杂物主要是钢中硫化物夹杂的分布不均匀,长短及粗细不一致、个别区域夹杂物较长且粗大。通过



图 2 1215 钢铸坯低倍中心疏松

Fig. 2 Center loose in cast slab of 1215 steel macrostructure

#### 参考文献

- [1] 刘毅辉、董建清. 国产易切钢与进口易切钢的对比分析和开发[J]. 汽车工艺与材料, 2009, 12(4): 6-8.
- [2] 袁武华, 王峰. 国内外易切削钢的研究现状和前景[J]. 钢铁研究, 2008, 36(5): 56-62.
- [3] 王小红, 谢兵, 冯仲渝. 国内外易切削钢的现状和研究进展[J]. 特殊钢, 2005, 26(4): 26-28.
- [4] 蒋光辉, 古隆建, 施哲, 等. 易切削钢现状与发展趋势[J]. 四川冶金, 2006, 28(5): 10-14.
- [5] 毛志强. 国内外易切钢发展概况[J]. 汽车工艺与材料, 2000, 15(2): 1-6.
- [6] 林腾昌, 朱荣, 王成杰, 等. 国内 1215 系低碳高硫易切削钢的工艺流程和内部质量控制[J]. 特殊钢, 2013, 34(4): 29-32.
- [7] 陈波涛, 杨俊. XY1215 生产工艺技术难点攻关[J]. 中国冶



图 3 1215 钢轧材 MnS 夹杂物

Fig. 3 MnS inclusions in rolled product of 1215 steel

合理控制钢中自由氧试验,以及连铸二冷配水调整、低拉速、低过热度试验,改善 1215 易切削钢夹杂物硫化物较均匀分布。

取另一种轧材裂纹试样观察夹杂物呈块状,尺寸 30 ~ 40  $\mu\text{m}$ ,产生原因主要是因为含硫易切削钢因钢中氧含量高,钢水的表面张力小,钢渣分离比较困难,容易造成钢渣混卷产生夹杂物<sup>[10]</sup>。能谱分析含 K、Na 成分,推测为卷入结晶器保护渣。

#### 5 结论

(1) 1215 低碳含硫易切削钢转炉出钢 C < 0.05%、终点温度 1 630 ~ 1 660  $^{\circ}\text{C}$ 、精炼自由氧控制  $50 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6}$ ,炉渣二元碱度 2.5 ~ 3.0。

(2) 成分设计 1.20% ~ 1.35% Mn、0.340% ~ 0.360% S, Mn/S 控制最佳范围在 3.0 ~ 5.0,可以获得好的夹杂物形态。

(3) 1215 低碳高硫易切削钢生产控制好各工序钢水过程自由氧含量,精炼自由氧控制目标为  $50 \times 10^{-6} \sim 55 \times 10^{-6}$ 。

(4) 1215 钢常见铸坯缺陷有皮下气泡和中心疏松,裂纹主要为 MnS 夹杂物和保护渣卷渣引起。

金, 2015, 25(10): 53-55.

[8] 李兵役. 易切钢 Y12 生产工艺[J]. 特殊钢, 2002, 23(2): 21-23.

[9] 田振, 张庆雷, 许继勇, 等. 控制高碳钢中心碳偏析的工艺实践[J]. 山东冶金, 2014, 36(1): 12-14.

[10] 林腾昌, 朱荣, 王成杰, 等. 国内 1215 系低碳高硫易切削钢的工艺流程和内部质量控制[J]. 特殊钢, 2013, 34(4): 29-34.

徐雷(1986-),男,工程师,安徽工业大学(本科)毕业,钢水精炼研究。E-mail: 175768004@qq.com

收稿日期: 2019-07-12