

## 低碳高硫易切削钢冷拔纵裂纹分析和改进工艺措施

万长杰 白瑞娟 申丽娟 赵新伟

(河南济源钢铁集团有限公司科技质量处, 济源 459000)

**摘要** 对100 t BOF-LF-165 mm × 165 mm 方坯连铸-热轧至Φ14 mm-冷拔至Φ12 mm的低碳高硫易切削钢( /% : 0.07C, 1.24Mn, 0.06P, 0.39S)冷拔材开裂现象进行系统分析, 得出该钢在冶炼连铸过程中由于卷渣、氧化等原因造成钢坯内部缺陷是材料冷拔纵裂纹形成的主要原因。通过控制连铸过程结晶器冷却水量, 二冷区采用弱冷工艺, 比水量0.83 L/kg, 拉速1.5 m/min, 无氧化保护浇铸及采用1300℃粘度为0.6 Pa·s专用保护渣等工艺措施, 有效避免冷拔纵裂纹的发生。

**关键词** 低碳高硫易切削钢 冷拔材 纵裂纹

### Analysis on Formation Cause of Cold-Drawn Rod longitudinal Crack of Low-Carbon High-Sulphur Free-Cutting Steel and Process Improved Measures

Wan Changjie, Bai Ruijuan, Shen Lijuan and Zhao Xinwei

(Technology and Quality Department, Henan Jiyuan Iron and Steel Group Co Ltd, Jiyuan 459000)

**Abstract** The crack phenomenon of cold-drawn Φ12 mm bar of low-carbon high-sulphur free cutting steel ( /% : 0.07C, 1.24Mn, 0.06P, 0.39S) produced by 100 t BOF-LF-165 mm × 165 mm casting billet-Φ14 mm hot-rolled bar-cold drawn to Φ12 mm rod process has been systematically analyzed to get the main cause of cold-drawn rod longitudinal crack is the billet inner defect formed in steelmaking and casting process by slag enclosure and oxidation etc factors. With the process measures including controlling mold cooling water rate in casting process, using weak secondary water cooling process with ratio water amount 0.83 L/kg, casting speed 1.5 m/min, non-oxidizing shielding casting and using viscosity 0.6 Pa·s at 1300℃ specialty mold powder, the occurrence of cold-drawn rod longitudinal crack is effectively avoided.

**Material Index** Low-Carbon High-Sulphur Free Cutting Steel, Cold-Drawn Rod, Longitudinal Crack

由于铅元素严重污染环境, 危害工人身体健康<sup>[1-2]</sup>, 为了替代含铅易切削钢, 研究者在钢中加入0.3%以上的硫, 并通过控制钢中硫化物的尺寸、形态和分布来改善材料的切削性能。

#### 1 生产工艺流程和技术参数

100 t 转炉-100 t LF-165 mm × 165 mm 方坯连铸机(全保护浇注、液面自动控制、M-EMS、F-EMS 电磁搅拌)-缓冷-轧制成材-检验入库。

#### 2 冷拔纵裂纹分析

冷拔料为Φ14 mm 热轧盘卷, 经抛丸后直接冷拔至Φ12 mm 的成品材。冷拉材试样加工工艺为: 热轧盘卷 Φ14 mm → 抛丸 → 拉拔 Φ12 mm → 截断。

冷拔用易切削钢化学成分为( /% ): 0.07C, 1.24Mn, 0.06P, 0.39S。冷拔材的纵裂纹宏观形貌见图1。

MnS 夹杂在钢中以3种形式<sup>[3-4]</sup>存在, 实践表明, 只有当钢中[O] > 0.012%<sup>[5]</sup>时形成的硫化锰夹杂才能显著改善钢材的切削性能。

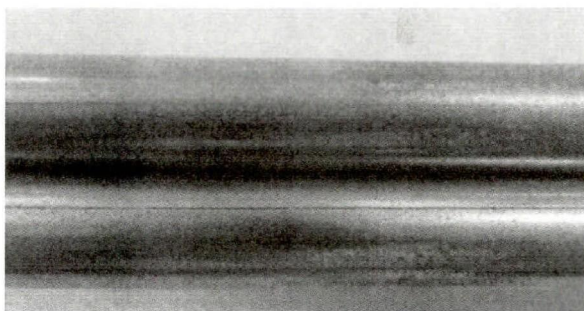


图1 低碳高硫易切削钢Φ12 mm冷拔材裂纹形貌

Fig. 1 Morphology of crack of low-carbon high-sulphur free cutting steel Φ12 mm cold-drawn bar

由于钢中氧含量硫含量较高, 一方面降低钢水的表面张力, 使得钢渣难以分离, 另一方面合金元素容易烧损或形成夹杂物被炉渣吸收, 再加之易切削钢对裂纹敏感性较高, 这些相互矛盾的条件必然要求炼钢和连铸过程中要面临极大的挑战。

裂纹旁无氧化脱碳现象, 如图2(a, b)所示。通过能谱图进行成分分析, 发现除了保护渣成分外, 还有一定量的Mn元素, 这是由于卷入的保护渣与钢

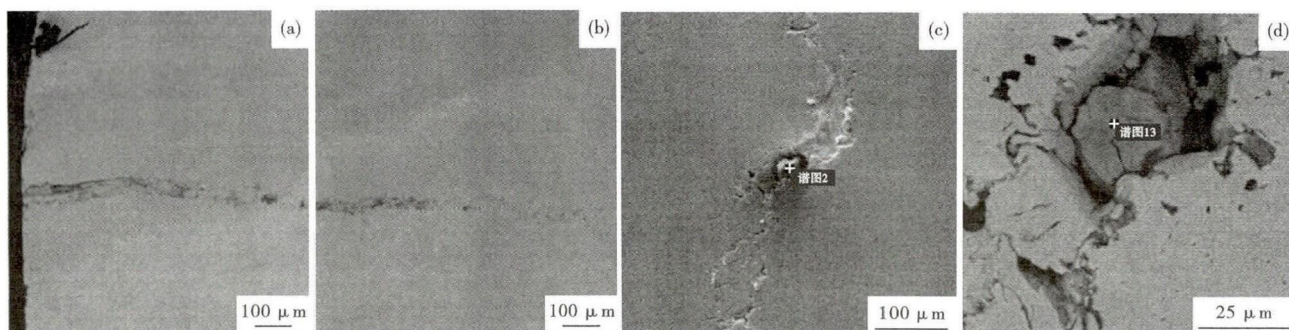


图 2 低碳高硫易切削钢冷拔材裂纹头部(a)和尾部(b)形貌;能谱分析/%:(c)39.48O,0.53Mg,1.50Al,8.30Si,0.42S,0.43Cl,1.01K,1.11Ca,2.73Mn,44.49Fe;(d)50.19O,1.52Na,6.00Al,34.35Si,4.54K,0.45Ca,2.96Fe

Fig. 2 Morphology of crack head (a) and tail (b) of low-carbon high-sulphur free cutting steel cold-drawn bar; energy spectrum analysis/%: (c) 38.48O, 0.53Mg, 1.50Al, 8.30Si, 0.42S, 0.43Cl, 1.01K, 1.11Ca, 2.73Mn, 44.49Fe; (d) 50.19O, 1.52Na, 6.00Al, 34.35Si, 4.54K, 0.45Ca, 2.96Fe

表 1 专用和传统保护渣成分和性能

Table 1 Ingredient and performance of specialty and conventional mold powder

保护渣	CaO/ SiO <sub>2</sub>	保护渣成分 /%			粘度(1300℃)/ (Pa·s)
		Li <sub>2</sub> O	F	T. C	
专用	0.84	1.2	5.4	2.4	0.60
传统	0.96	-	7.4	3.2	0.15

中此类元素的氧化产物结合在一起所致,能谱分析结果如图 2(c)所示。

继续对裂纹内部进行高倍观察,发现裂纹内部有颗粒状异物,在对颗粒状异物进行能谱分析,其所含主要元素为 O、Na、Al、Si、K、Ca、Fe。此类夹渣多直接与铸坯表面连接,主要为 CaO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O 等,能谱分析结果见图 2(d)。

可见该易切削钢冷拔纵裂纹的形成原因有:

(1)低碳高硫易切削钢在连铸过程中,由于卷渣氧化等原因使钢坯内部产生缺陷;

(2)轧制过程中,由于卷渣氧化带入到钢坯内部的夹杂缺陷未能焊合,导致材料表面产生裂纹;

(3)在拉拔过程中,由于颗粒状异物的存在使钢材在拉拔过程中引起不均匀变形<sup>[6]</sup>,裂纹进一步扩展形成表面纵裂纹。

### 3 工艺改进措施及效果

#### 3.1 工艺改进措施

(1)选取低碳高硫易切削专用保护渣(表 1),改善弯月面钢液表面物理特性,增大液面张力,使得钢渣容易分离,有效避免铸坯表面夹渣、皮下裂纹、气孔、横裂纹等缺陷。

(2)二冷区采用弱冷工艺,实际比水量为 0.83 L/kg,拉速控制为 1.5 m/min,拉速均匀,浇铸速度

平稳,防止铸坯产生裂纹及卷渣、漏钢事故发生。

#### 3.2 工艺改进效果

(1)工艺改进前钢中氧含量波动较大,工艺改进后,氧含量稳定控制在  $110 \times 10^{-6} \sim 130 \times 10^{-6}$ 。

(2)工艺改进前拉拔纵裂纹比例约占 20%,通过工艺改进和严格控制,避免了拉拔成品材纵裂纹的产生,满足了用户的使用需求。

### 4 结论

低碳高硫易切削钢在冶炼连铸过程中由于卷渣、氧化等原因造成钢坯内部缺陷无法在后期轧制过程中完全焊合是材料冷拔纵裂纹形成的主要原因。实施合理的冶炼和连铸工艺能有效改善钢坯内部质量,防止冷拔材纵裂纹的产生。

#### 参考文献

- [1] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
- [2] 朱 荣. 低碳高硫含锡锡复合易切削钢[J]. 北京科技大学学报,2009,31(12):15-16.
- [3] 赤泽正文. 硫磺易切削钢的制造与产品特性[J]. 南钢科技,2002,4(3):75-76.
- [4] 张海霞,梁 娜,梁建国,等. 易切削钢中硫化物形态的研究[J]. 莱钢科技,2011,5(12):50-51.
- [5] 项程云. 合金结构钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2002:436.
- [6] 徐步明. 低碳高硫易切削钢带状组织对冷拔材裂纹形成的影响[J]. 特殊钢,2007,28(4):54-55.

万长杰(1964-),男,高级工程师,1987年北京科技大学(本科)毕业,特殊钢品种开发与工艺技术研究。

申丽娟(1986-),女,工程师,2012年内蒙古科技大学硕士毕业,特殊钢品种开发与工艺技术研究。

收稿日期:2015-11-03