

Y15 高硫易切削钢氧含量与硫化物形态控制工艺

陈 列^{1,2} 陈伟庆¹ 肖飞虎²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2 西宁特殊钢股份有限公司,西宁 810005)

摘 要 西宁特钢 Y15 易切削钢(% :0.10~0.15C,1.00~1.20Mn,0.30S)由 25 t EAF-LF-657 kg 铸锭流程生产。试验结果表明,通过控制电弧炉氧化终点[C] 0.06%~0.10%和脱氧工艺将[O]控制在 $(150\sim 250)\times 10^{-6}$,控制钢中Mn/S=2.77、O/S=0.059时,钢中夹杂物大多数为(Mn,Fe)S和硫化物包裹氧化物,少数为MnS,使钢具有良好的切削性能。

关键词 高硫易切削钢 氧含量 硫化物形态

Technology of Control of Oxygen Content and Sulfide Morphology in High Sulfur Free Cutting Steel Y15

Chen Lie^{1,2}, Chen Weiqing¹ and Xiao Feihu²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Xining Special Steel Co Ltd, Xining 810005)

Abstract Free cutting steel Y15 (0.10~0.15C, 1.00~1.20Mn, 0.30S) is produced by 25 t EAF-LF-657 kg ingot flow sheet at Xining Special Steel. Test results indicated that with controlling arc furnace oxidizing end [C] 0.06%~0.10% and in deoxidation process to control [O] $(150\sim 250)\times 10^{-6}$, Mn/S=2.77 and O/S=0.059 in steel, most inclusions in steel were (Mn, Fe)S and sulfide wrapped up oxide, and a small number of inclusion was MnS to enable the steel having excellent cutting property.

Material Index High-sulfur Free Cutting Steel, Oxygen Content, Sulphide Morphology

MnS 在钢锭中有 3 种形态^[1]:(1)在氧含量 > 0.012% 的硅脱氧沸腾钢或半镇静钢水中, MnS 为单相、球形及尺寸多数在 10~30 μm 的 I 型 MnS;(2)氧含量在 0.012%~0.008% 时, MnS 是呈扇形或链状分布于晶界的 II 型 MnS;(3)氧含量 < 0.008% 时, MnS 呈角状或块状的 III 型 MnS。

I 型 MnS 由于尺寸小且是单相,它在高温热轧时延伸较差,并在高温再加热时对延伸的硫化物有球化效果^[2],因而能获得良好切削效果。II 型 MnS 是晶界硫化物,它会和 FeS 一起沿晶界析出,形成连续的或不完全连续的网状组织,它们不仅对硫化物的均匀性有影响,而且在轧制加工时可能产生表面网状裂纹,造成废品,同时钢的切削性能也会受到影响。III 型 MnS 比 I 型 MnS 易变形,生产实践证明其对切削性能不利。

我国在氧气转炉上已成功研制出高硫低碳半镇静易切削钢^[3]。

1 生产工艺

试验钢的化学成分见表 1。采用 25 t 电弧炉 + 25 t LF 冶炼,铸成 657 kg 钢锭,开成 95 mm × 95 mm 初轧坯,再轧制成 S24 mm、S26 mm 六角钢。

1.1 冶炼和轧制

采用氧化法冶炼,脱碳量 ≥ 0.30%,氧化末期使 Mn 含量 ≥ 0.20% 做 Mn 沸腾;当 [C] = 0.06%~0.10%、[Si] ≤ 0.05%、钢中氧含量为 $(250\sim 400)\times 10^{-6}$ 、温度 $T\geq 1620\text{ }^\circ\text{C}$ 时进行彻底除渣。除渣后,插 0.5 kg/t 铝预脱氧。然后加石灰和萤石造还原渣,薄渣形成后加入锰铁合金,使 Mn 含量达到规格中上限。并分批加入电石块 1~2 kg/t 及 0.5~0.6

表 1 Y15 试验钢的化学成分控制范围和成品分析

Table 1 Control range of chemical composition and finished analysis of test steel Y15

项目	化学成分/%													
	C	Si	Mn	P	S	T[O]	Ca	Al	Cr	Mo	Cu	N	Mn/S	O/S
控制范围	0.10~0.15	≤0.10	1.00~1.20	0.05~0.08	0.25~0.30	0.015~0.025	0.002~0.005	≤0.01	≤0.15	≤0.05	≤0.15			
成品	0.12	0.09	0.83	0.066	0.30	0.0178	0.0014	0.001	0.09	0.02		0.0067	2.77	0.059

kg/t 的 C 粉。大功率送电并封闭炉门 10 ~ 15 min 后搅拌取全分析试样。

薄渣形成、成分合适、温度 $T \geq 1620$ °C 时,扒除 90% 以上的还原渣;除渣后加入 20 kg/t 的模铸流钢砖块造酸性渣,酸性渣形成后立即出钢。出钢至 1/4 时,随钢流加入用纸包好的硫磺粉, [S] 回收率按 80% 计算控制在中限。随后在出钢槽内随钢流加入硅钙合金块(按 0.02% Ca 的计算量加入)。

电弧炉出钢后入 LF 工位,10 min 吹氩 1540 ~ 1550 °C 时即吊包浇铸, ≥ 1 h 后脱模,缓冷。

Y15 钢的轧制工艺参数为 1120 ~ 1170 °C 3.0 ~ 3.5 h 加热,开轧温度 ≥ 1120 °C,开坯终轧温度 ≥ 900 °C,成品材温度 ≥ 850 °C。

1.2 试验钢的力学性能

试验钢的成品化学成分如表 1 所示,轧材的纵向力学性能检验结果见表 2。

表 2 Y15 钢 S26 mm 六角钢纵向力学性能

Table 2 Longitudinal mechanical properties of S26 mm hexagonal steel Y15

项目	R_m /MPa	R_{el} /MPa	A/%	Z/%	硬度值(HB)
GB/T8731	390 ~ 540	-	≥ 22	≥ 36	≤ 170
实际检测值	502,505	446,449	32,34	51,55	152,156

氧含量相当高的半镇静高硫易切削钢浇铸后的钢锭表面不好,且表皮下有气泡;开坯轧制时,发现多数钢锭都出现表面横裂和表面三角口;初轧 95 mm 方坯经酸洗后,对钢坯上存在三角口及裂纹缺陷进行修磨清理,少部分有较浅表面缺陷的坯也直接投入成品材轧制。S24 mm、S26 mm 六角材轧制后,经酸洗后发现材的表面质量较好,即使当时坯表面不好的,成材后表面缺陷基本消除了。从钢锭(大头 316 mm 方,小头 248 mm 方)到 S24 mm、S26 mm 材的平均轧制压缩比分别为 159.4 和 135.8。

轧后检验,钢材的金相组织为:铁素体 + 珠光体,轧态铁素体带状组织检验为 3 级,930 °C 正火后的铁素体带状组织为 2.5 级。

2 钢材的夹杂物与切削性能检验

(1)取 S26 mm 钢材样,按钢材的边缘、半径 1/2 处、中心处进行钢中非金属夹杂物的检验,结果表明:三处的硫化物夹杂基本上都是条状,钢材表面附近的硫化物夹杂较细小、长度较短,分布比较均匀;在半径 1/2 处有很长的条状硫化物,最长硫化物的长度是表皮处的近 10 倍、中心处 4 倍,而且分布呈明显不均;中心处的夹杂物分布较均匀,硫化物夹杂的

长度介于其它两处之间。通过扫描电镜观察,大多数小颗粒的夹杂物呈纺锤形,硫化物存在于钢的晶内或晶界上,甚至有穿晶的现象。

能谱分析可知:硫化物夹杂的化学成分中以 Mn、Fe 和 S 为主,Mn 元素在夹杂物中的含量为 31% ~ 58%、S 元素在夹杂物中含量为 17% ~ 37%、Fe 元素在夹杂物中的含量为 18% ~ 31%。能谱分析时发现,单纯的 MnS 夹杂物较少,硫化物包裹氧化物的情况较多,硫化物是以少量(MnS)和大多数的 (Mn、Fe)(S)以及硫化物包裹氧化物的形式存在。

(2)取 S24 mm 轧材进行切削性能试验,结果见表 3。由表 3 可见,试验钢材的切削性能较好。

表 3 Y15 试验钢的切削性能

Table 3 Cutting property of test steel Y15

主轴转速/ (r · min ⁻¹)	进刀量/ (mm · r ⁻¹)	表面光洁度	断屑形态
600	0.027	较好	崩碎屑,无积瘤
705	0.085	好	崩碎屑,无积瘤

3 试验结果分析

根据夹杂物的能谱分析可知:钢中氧含量在 178×10^{-6} 时,硫化物夹杂是以少量 MnS、大多数 (Mn、Fe)(S)和硫化物包裹氧化物的形式存在。这与文献[4]报道的“在较高氧含量($>0.012\%$)的硅脱氧沸腾钢或半镇静钢中,MnS 在钢锭中的形态是单相、球形及尺寸多数在 10 ~ 30 μm 范围的 I 型 MnS”有所不同。为获得理想类型、尺寸和均匀分布的硫化物夹杂,只有采用小断面连铸工艺和比较小的轧制比才能实现。

4 结论

(1)采用 EAF + LF + 模铸的工艺生产高硫易切削钢 Y15,通过 EAF 氧化终点碳控制和钢的脱氧控制,钢中的氧含量为 178×10^{-6} ,达到了控制目标。

(2)采用小断面连铸生产,能进一步改善易切削钢的硫化物夹杂形态。

参考文献

- 1 项程云.合金结构钢.北京:冶金工业出版社,1999
- 2 赤泽正文.硫磺易切削钢的制造与产品特性.南钢科技,2002(3):75
- 3 封顺怀,李景堂,孙爱梅.半镇静易切削钢中氧活度的测定与控制.钢铁,1996,31(2):17
- 4 Roland Kiessling.钢中非金属夹杂物.鞍山情报所,1980

陈 列(1968-),男,博士生,高级工程师,1990 年北京科技大学毕业,特殊钢的工艺、质量管理和产品研发等。