

含锡易切削钢 SY12SnS 的工业试生产

张灏平¹ 林腾昌² 刘雅政³

(1 苏钢集团有限公司, 苏州 215151; 北京科技大学 2 冶金与生态工程学院; 3 材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要 工业试生产的含锡易切削钢 SY12SnS (C: 0.08 ~ 0.16, Si ≤ 0.15, Mn: 1.00 ~ 1.30, P: 0.03 ~ 0.07, S: 0.15 ~ 0.25, Sn: 0.12 ~ 0.18) 的工艺流程为 100 t 直流电弧炉-LF-195 mm × 195 mm 连铸-连轧 (成品 Φ8 mm)。结果表明, 含锡易切削钢 SY12SnS 铸坯中大型夹杂物总量为 4.72 mg/10 kg, 轧材 HB 硬度值 134 ~ 141, 抗拉强度 490 ~ 503 MPa, 伸长率 21.8% ~ 25.0%, 断面收缩率 55.4% ~ 56.1%, 具有良好的切削性能。

关键词 易切削钢 SY12SnS 100 t DC EAF-LF-CC-连轧工艺 夹杂物 切削性能

Pilot Commercial Production of Free Cutting Steel SY12SnS Bearing Tin

Zhang Haoping¹, Lin Tengchang² and Liu Yazheng³

(1 Suzhou Iron and Steel Group Ltd Co, Suzhou 215151; 2 School of Metallurgical and Ecological Engineering, 3 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The process flow sheet for pilot commercial production of free cutting steel SY12SnS (C: 0.08 ~ 0.16, Si ≤ 0.15, Mn: 1.00 ~ 1.30, P: 0.03 ~ 0.07, S: 0.15 ~ 0.25, Sn: 0.12 ~ 0.18) is 100 t DC EAF-LF-195 mm × 195 mm CC-CR (finished product- Φ8 mm). Results show that total amount of large scale inclusions in casting billet of free cutting steel SY12SnS is 4.72 mg/10 kg, HB hardness value of rolled products is 134 ~ 141, and the tensile strength, elongation and reduction of area of steel are respectively 490 ~ 503 MPa, 21.8% ~ 25.0% and 55.4% ~ 56.1%, and the steel has nice turning performance.

Material Index Free Cutting Steel SY12SnS, 100 t DC EAF-LF-CC-CR Process, Inclusions, Turning Performance

目前最常用的易切削钢主要有两类: 硫系和铅系^[1]。我国易切削钢标准中主要以铅、硫、钙易切削钢为主, 但国内对新型复合易切削钢也有了较多研究^[2-5], 并对各类易切削钢中夹杂物的控制及产品质量控制有了较为丰富的研究^[6-11]。

1 工业试验

苏钢与北京科技大学合作并应用北京科技大学专利技术联合开发试制含锡易切削钢 SY12SnS^[12] (C: 0.08 ~ 0.16, Si ≤ 0.15, Mn: 1.00 ~ 1.30, P: 0.03 ~ 0.07, S: 0.15 ~ 0.25, Sn: 0.12 ~ 0.18)。生产工艺为: 熔炼-精炼-连铸-冷却-检验-切割-加热-轧制-冷却-检验-包装入库。

工艺装备为: 100 t 直流电弧炉、100 t LF 精炼、5 机 5 流弧形连铸机 (R10 m), 铸坯尺寸 (mm) 为 195 × 195 × 6 000; 连续式推钢加热炉、650 (三辊) / 23 架高线轧机、穿水冷却线、散卷冷却线。

2 易切削钢的质量控制与分析

2.1 连铸坯质量控制

2.1.1 控制要点

电弧炉出钢温度 1 640 ~ 1 650 °C; LF 精炼期可控制好钢中 P、S 含量, 精炼末期进行锡合金化, 出钢温度 ≥ 1 600 °C; 连铸时拉速适当放慢, 控制在约 1.0 m/min; 液相线温度为 1 513 °C; 控制中间包温度, 中间包烘烤须到 1 000 °C; 中间包采用碱性无碳覆盖剂, 选择低碱度 ($R \leq 1$) 保护渣; 过热度 30 ~ 40 °C; 二冷采用弱冷, 比水量 (L/kg) 为 0.7 或 0.8; 全保护浇铸。

2.1.2 铸坯检验

取样示意图 1, 试样 2[#]、3[#]、4[#] 夹杂物的电镜照片如图 2 所示。从图 2 夹杂物实物照片上看, 连铸坯的夹杂物形态基本上为球形或近似球形, 夹杂物粒度较小。从能谱结果上看, 夹杂物中 Al、Si、Ca 含量较高, 这些元素在钢中与氧形成氧化物, 同时, 夹杂物中还含有 S 和 Mn, 它们形成硫化物。由于氧化物的熔点较高, 因此熔点稍低的硫化物优先以氧化物为核心, 形核长大, 最终形成氧化物和硫化物共存的复合夹杂物 (图 2 中夹杂物中心的黑色圆球为氧化物)。

从 5[#] 试样电解结果上看, 夹杂物颗粒较为细小, 总量不大, 电解夹杂物分析结果见表 1。

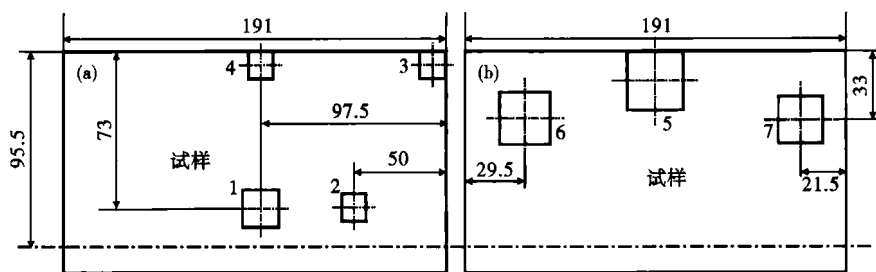


图 1 连铸坯取样示意图:横断面(a)和(b)

Fig. 1 Schematics for sampling in casting billet: cross section (a) and (b)

夹杂物形貌如图 4 所示。产品的力学性能及对比结果见表 2, SY12SnS 钢的 HB 硬度值为 134 ~ 141。

纵横剖面中,夹杂物呈弥散状分布,较为均匀。在轧制后的 MnS 夹杂中,夹杂物的形状基本为条形体(长宽比较大),有一部分是纺锤形或椭圆形(长宽比较小)(图 4)。

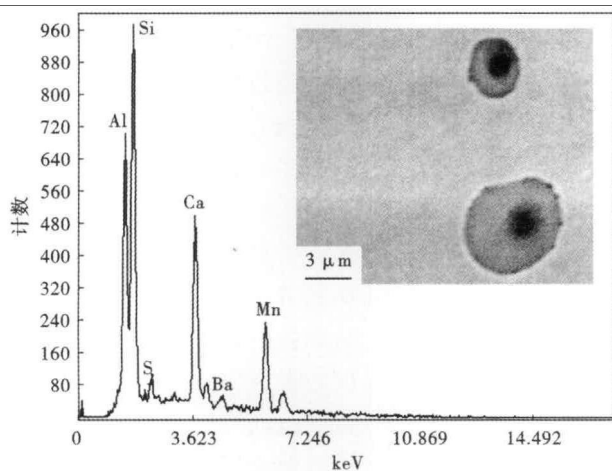


图 2 SY12SnS 钢连铸坯夹杂物形貌和能谱分析

Fig. 2 Morphology and energy spectrum analysis of inclusions in casting billet of steel SY12SnS

表 1 SY12SnS 钢铸坯中大型夹杂物含量/(mg · 10kg⁻¹)
Table 1 Large scale inclusion content in casting billet of steel SY12SnS/(mg · 10kg⁻¹)

夹杂物总量	夹杂物粒径分级/μm		
	< 80	80 ~ 140	140 ~ 300
4.72	0.94	1.89	1.89

2.3 产品的切削性能

取经 Φ650 三辊开坯轧机后的 110 mm² 方坯,加工成 Φ110 mm 的圆坯,共取样 4 支在无级调速 C6140 车床上进行不同车速下的切削实验。对比试样为同尺寸 45 钢(正火状态)棒料。切削刀具为合金机夹式可转位外圆车刀,具体参数为:后角 α_o-6°、前角 γ_o-10°、刃倾角 λ_s- -3°;主偏角 κ_r-75°;副偏角 κ'_r-15°。

对 1#、6# 和 7# 试样运用电镜所观察到的连铸坯裂纹形貌见图 3, B 为正常部位, A 为裂纹源处。从能谱检测的结果看,裂纹处的元素偏析较为严重,特别是 Cu 和 S 元素,它们在钢中易形成低熔点的夹杂物,增加了钢的脆性。连铸坯在冷却过程中内外存在温差而产生热应力,由于元素偏析造成钢的脆性增加,因此在热应力作用下产生了裂纹。同时合金元素锡也可增加钢材的热脆性导致产生裂纹。

2.2 轧材的质量控制

轧制铸坯的加热温度为 1 120 ~ 1 150 °C;由 650 三辊 + 23 架高线轧机将铸坯一次轧成 Φ8 mm 盘条;采用穿水冷却,试轧的 4 支坯料风机全部关闭,其余两支坯料只开第 1 台风机,散卷冷却辊道速度控制在 0.25 m/s,不盖保温罩。

在 Φ8 mm 成品线材上切取试样,对钢材力学性能、夹杂物进行了检测,钢中

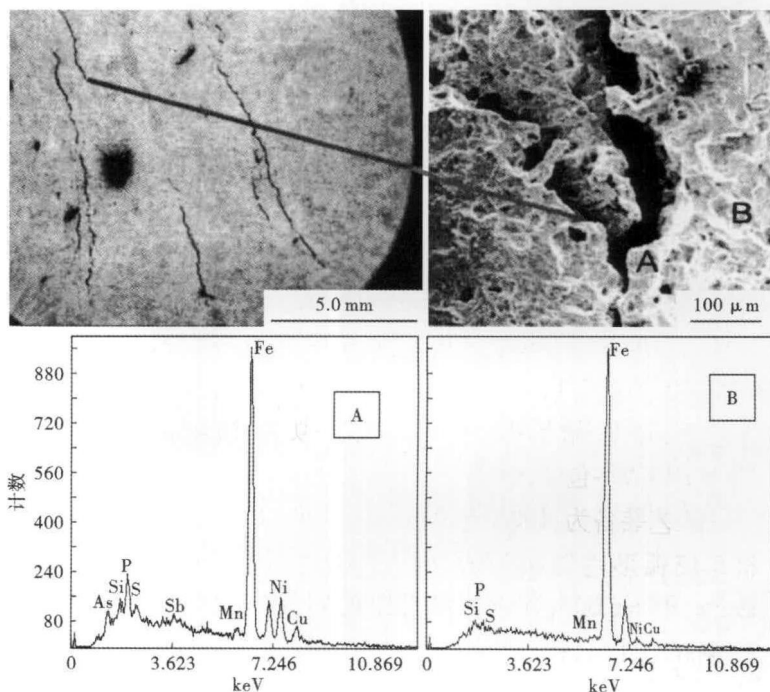


图 3 SY12SnS 钢连铸坯裂纹形貌和能谱分析

Fig. 3 Morphology and energy spectrum analysis of crack of steel SY12SnS casting billet

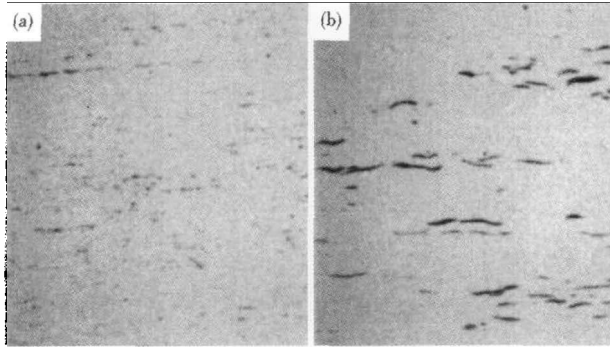


图 4 SY12SnS 钢 $\Phi 8$ mm 轧材中夹杂物形貌和分布: (a) 横向; (b) 纵向, $\times 200$

Fig. 4 Morphology and distribution of inclusions in $\Phi 8$ mm rolled products of steel SY12SnS: (a) cross; (b) longitudinal, $\times 200$

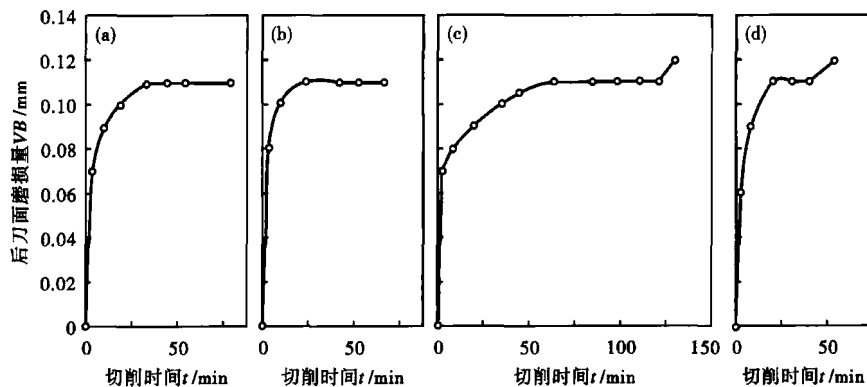


图 5 刀具 YT14 的磨损曲线 (SY12SnS 钢), 切削速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$: (a) 200; (b) 230; (c) 245; (d) 260

Fig. 5 Wear curve of tool YT14 (steel SY12SnS), turning speed, $/(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$: (a) 200; (b) 230; (c) 245; (d) 260

切削条件:在不使用切削液条件下,进给量 $f = 0.195 \text{ mm/r}$; 切削深度 $a_p = 1 \text{ mm}$; 切削速度 $\nu = 200, 230, 245, 260 \text{ m/min}$, 对于 45 钢: $\nu = 120, 135, 150, 170 \text{ m/min}$ 。

由图 5 可以看出,切削 SY12SnS 易切钢时的刀具磨损曲线形态比较规则,正常磨损阶段十分明显,

参考文献

- [1] 闰梦洁. 中国易切削钢生产及 2005 年进出口情况分析与发展 [J]. 江苏冶金, 2007, 35(2): 9-12.
- [2] 李联生, 朱荣, 殷浩, 等. CaSRE 系超易切削钢的研究开发 [J]. 稀土, 2005, 26(5): 48-51.
- [3] 陈列, 涂生, 陈伟庆. 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): 1560-1563.
- [4] 周平, 董杰, 朱荣, 等. Y20CaRE 易切削钢的研究 [J]. 中国冶金, 2005, 15(6): 23-26.
- [5] 周平, 董杰, 朱荣, 等. 用钙和稀土联合处理研制低碳易切削钢 [J]. 冶金研究中心 2005 年“冶金工程科学论坛”论文集: 362-366.
- [6] 肖金福, 刘雅政, 李联生, 等. 低碳易切削钢连铸坯硫化物形态与组成 [J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(SL1): 37-39.
- [7] 王金龙, 王福明, 李长荣. 基于 CAFE 法优化易切削钢 9SMn28 锰硫比 [J]. 金属铸锻焊技术, 2009, 38(5): 10-13.
- [8] 姜德春, 崔良, 吴晓春, 等. 硫复合系易切钢中夹杂物与易切削机理的研究 [J]. 机械工程材料, 1996, 20(58): 27-30.
- [9] Li Guo-zhong, Wang Fu-ming, Hui Rong. Effects of Sulfur Addition Methods and Ca-Si Treatment on the Microstructure and Properties of 30MnVS [J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2009, 16(6): 650-653.
- [10] 王宏斌, 林腾昌, 朱荣, 等. X1215 易切削钢连铸坯成分偏析的研究 [J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(SL): 161-164.
- [11] 王宏斌, 林腾昌, 段飞虎, 等. 低碳高硫易切削钢的切削性能研究 [J]. 钢铁, 2011, 46(11): 82-85.
- [12] 朱荣, 刘雅政, 李联生. 一种含锡易切削钢的轧制工艺 [P]. 北京: 北京科技大学, 2005, 200510011552.3.

表 2 SY12SnS 与 Q235 和 Y15Pb 钢的机械性能对比
Table 2 Comparison between mechanical properties of steel SY12SnS, Q235 and Y15Pb

钢种	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	断面收缩率/%	备注
SY12SnS	490 ~ 503	343 ~ 350	21.8 ~ 25.0	55.4 ~ 56.1	3 支试样分布区间
Q235	375 ~ 460	185 ~ 235	21 ~ 26	-	GB700-1988 (热轧、正火)
Y15Pb	390 ~ 450	-	22.0	36	GB/T78731-1988

属于标准型磨损曲线, 刀具磨损比较均匀, 在后刀面磨损达到 0.11 mm 后, 在 4 个切削速度下均出现了长时间的后刀面磨损量不变的情况, 在 ν_b 达到 0.12

mm, $\nu = 260 \text{ m/min}$ 时, 用了 52 min; 在 $\nu_b = 245 \text{ m/min}$ 时达到了 130 min, 切屑主要呈 C 形, 伴有少量螺旋屑, 排除顺畅, 切屑呈黄白色, 试样加工表面粗糙度较低。切削 45 钢时, 刀具后刀面磨损量达到 0.12 mm 时所用的时间不超过 15 min; 可以得出 SY12SnS 易切削钢的被切削性能远远超过 45 钢。

3 结论

含锡易切削钢中大型夹杂物总量控制在 4.72 mg/10 kg 左右是可行的。该钢的硬度波动在 134 ~ 141 HB, 抗拉强度达到 490 ~ 503 MPa, 伸长率达到 21.8% ~ 25.0%, 断面收缩率为 55.4% ~ 56.1%。切削实验表明, 在后刀面磨损达到 0.11 mm 后, 出现了长时间的后刀面磨损量不变的情况, 在 ν_b 达到 0.12 mm, $\nu = 260 \text{ m/min}$ 时, 为 52 min。

张灏平 (1957-), 男, 高级工程师, 1982 年北京钢铁学院毕业, 新产品开发与钢材产品质量控制与改进。
E-mail: zhanghp@sugang.com.cn

收稿日期: 2012-10-13