

低碳硫铋易切削钢的生产工艺实践

刘春堂^{1,2}, 唐道文¹, 周英豪²

(1. 贵州大学 材料与冶金学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 首钢贵阳特殊钢有限责任公司, 贵州 贵阳 550005)

摘要: 总结了低碳硫铋易切削钢 1214Bi 生产过程中为保证轧材质量在冶炼、连铸及轧制工艺上采用的关键措施。生产实践表明, 1214Bi 易切削钢轧材夹杂物分布均匀, 钢中铋颗粒细小均匀, 产品切削性能良好。

关键词: 易切削钢; 低碳硫铋; 铋

中图分类号: TF762 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-1043(2012)06-0022-03

Process practice of low-carbon sulfur bismuth free-cutting steel

LIU Chun-tang^{1,2}, TANG Dao-wen¹, ZHOU Ying-hao²

(1. School of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Shougang Guiyang Special Steel Co., Ltd., Guiyang 550005, China)

Abstract: The present paper sums up key factors in technology processes such as the metallurgical process, continuous casting process and rolling process to ensure the quality of the hot-rolled bar in production of low-carbon sulfur bismuth free-cutting steel 1214Bi. Test results show that distribution of inclusions in hot-rolled bar of free-cutting steel 1214Bi is homogeneous and granule of Bi in the steel is exiguous and homogeneous and the cutting performance of free-cutting steel 1214Bi is excellent.

Key words: free-cutting steel; low-carbon sulfur bismuth; bismuth

易切削钢是向钢中添加易切削元素,包括:硫、钙、铅、铋、锡、硒、碲、钽、镁等元素中的一种或几种,以获得良好的切削性能(良好切削性能的获得可不降低或少降低钢的力学性能)。目前国内生产的易切削钢,以硫系为主,钢的牌号少、能生产的品种也不多。硫铅易切削钢被公认为是易切削钢中切削性能最优秀的一种,但由于该类钢含有对环境造成污染的铅,欧美地区已有部分下游产业禁止或限制使用含铅易切削钢。因此,世界各大钢厂都在积极开发替代铅易切削钢的无铅环保型易切削钢^[1]。

铋比铅轻,与铅的物理化学属性相近,不固溶于钢中,宏观偏析的可能性较含铅钢明显减轻,能有效提高钢的切削性能。低碳硫铋易切削钢的生产难点在于:铋的熔点、沸点均较低,在冶炼、浇铸过程中极易氧化、气化,成分难以控制且回收率难以提高;高氧含量、高硫含量大大降低了钢水的表

面张力,使钢渣分离困难,从而造成钢渣混卷,形成大量表面及皮下缺陷,甚至造成漏钢,使连铸生产难以进行^[2];高硫含量下,铋的添加进一步恶化钢的热加工性,轧制过程中轧材易开裂,严重时导致缠辊,造成生产中断。

首钢贵阳特钢有限责任公司(以下简称“贵钢”)于2009年6月开始试制低碳硫铋易切削钢,通过几轮次的开发和工艺优化,成功实现了该钢种的批量生产。所生产的低碳硫铋易切削钢性能稳定、优良,质量已达到国外同类产品的水平。

1 工艺路线和主要装备特点

1.1 生产工艺流程

低碳硫铋易切削钢 1214Bi 生产在贵钢第二炼钢厂进行,根据该钢种工艺特点,所采用的工艺流程为:60 t consteel EAF→出钢脱氧合金化及加渣料→60 t LF→方坯连铸机→Φ500 mm/Φ650

作者简介:刘春堂(1976-)男,首钢贵阳特殊钢有限责任公司,工程师,从事特殊钢工艺技术和产品开发工作。

mm 轧机→半连轧机组→轧制棒材。

1.2 主要装备特点

贵钢第二炼钢厂主要装备有:从意大利 Tchint 公司引进的 60 t consteel 超高功率电弧炉 1 座,60 t LF 1 座,60 t 真空处理装置 1 台,3 机 3 流小方坯连铸机 1 台(铸坯断面 150 mm × 150 mm、200 mm × 200 mm) 整个车间以三位一体,紧凑式短流程布置。电弧炉带废钢预热,钢铁料入炉预

热温度可达 400 ~ 500 °C,合金、辅料自动加料系统,连铸全程保护浇铸。

2 低碳硫铋易切削钢技术要求

低碳硫铋易切削钢 1214Bi 技术标准要求的化学成分和力学性能见表 1,对钢中非金属夹杂物的要求是 B、C、D 类夹杂物级别均不大于 3 级。

表 1 低碳硫铋易切削钢 1214Bi 化学成分和力学性能

$w_B / \%$						R_m / MPa	$R_{p0.2} / \text{MPa}$	$A / \%$	HB
C	Si	Mn	P	S	Bi				
0.06 ~ 0.09	≤0.05	0.95 ~ 1.30	0.04 ~ 0.09	0.26 ~ 0.35	0.05 ~ 0.20	≥379	≥220	≥15	≤170

3 生产实践

3.1 consteel 电弧炉冶炼

选用质量优良的废钢,生铁配比大于 30%,全程高碱度泡沫渣埋弧操作,过程温度控制在 1 550 ~ 1 590 °C。电炉出钢终点 $w(\text{C})$ 控制在 0.03% ~ 0.05%,出钢前喷吹碳粉进行渣面脱氧,钢包烘烤温度大于 1 000 °C,出钢温度 1 620 ~ 1 640 °C,偏心炉底出钢,挡渣出钢,严禁下氧化渣,炉内留钢量 25 ~ 30 t。出钢过程加入经过烘烤的合金、硫磺、脱氧剂及渣料。

3.2 LF 精炼

钢包额定处理量为 60 t,自由空间 870 mm,变压器容量 12 MVA,升温速度 3 ~ 5 °C/min。采用精炼渣 ($w(\text{CaO}) = 25\% \sim 40\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 25\% \sim 35\%$, $w(\text{SiO}_2) < 12\%$,发泡元素质量分数为 5% ~ 12%) 及 Fe-Si 粉进行渣面脱氧还原,实现埋弧精炼,全程采用底吹氩气搅拌工艺,冶炼时间为 55 min。快速定氧探头适时测定钢中氧活度,参阅大量资料并结合本厂积累经验数据,钢中氧活度控制在 $(40 \sim 70) \times 10^{-6}$,这样既能保证得到有利于切削的纺锤型硫化物,又避免了铸坯皮下气泡的产生。采用接近于中性渣的碱度 (1.5 ~ 2.5) 操作,控制钢渣不吸收硫或少吸收硫。精炼后期,向钢水中喂入铋的复合包芯线,喂线温度为 1 560 ~ 1 580 °C,喂线速度 120 ~ 140 m/min,铋的回收率为 70% ~ 80%。钢水成分和温度达到要求后,喂 Fe-Ca 线 60 m 进行钙处理,软吹氩弱搅拌大于 10 min,促进钢中夹杂物上浮,并避免钢水的二次氧化。开发前期,由于对铋的性质认识不足和加入方式不当,铋含量控制不稳定且回

收率较低,回收率仅有 30% ~ 50%。

3.3 连铸

由于该钢种锰、氧含量高,高温下会与耐火材料中的某些成分发生理化反应,从而侵蚀耐火材料。中间包工作层采用使用镁质干式料,选用镁质塞棒头,铝碳质浸入式水口(内壁镶嵌氧化锆质)提高中间包的耐侵蚀能力。中间包冲击区内增设吹氩装置,以达到钢液中的铋更加细化、均匀的目的。中间包过热度控制在 30 ~ 40 °C,150 mm × 150 mm 方坯拉速为 1.75 ~ 1.95 m/min,二冷比水量为 0.5 ~ 0.6 L/kg,实现较高过热度下的弱冷慢速浇铸。结晶器电磁搅拌参数 320 A/4.5 Hz,末端电磁搅拌参数 160 A/17 Hz,减少了铸坯的中心偏析。全程保护浇铸,中间包钢水采用双层覆盖渣,大包长水口和中间包水口结点处使用氩气密封。选用低碳易切削钢专用保护渣,铸坯下线后,避开风口堆垛,缓冷 36 h。连铸坯低倍检验结果见表 2。可以看出,贵钢 1214Bi 钢连铸坯质量得到了较好的控制。

表 2 1214Bi 钢连铸坯低倍检验结果 级

中心疏松	缩孔	角部裂纹	中心裂纹	中间裂纹	皮下气泡	铸坯级别
0 ~ 2.0	0 ~ 2.5	0	0	0	0 ~ 0.5	I ~ II

3.4 轧制

由于磷、硫含量高,该钢种具有较大的冷脆、热脆敏感性,在冷、热加工时易开裂。铋的添加,进一步恶化了其热加工性能。根据研究结果^[3]在高于 1 200 °C 轧制, MnS 的相对塑性较小,随基体变形不易被拉伸,有利于切削性能的提高。钢坯加热时采取缓慢升温,在加热炉高温段加热均匀烧透,使钢

坯内、外部温度相同。钢坯加热工艺见表 3。该钢种对表面缺陷很敏感,Φ500 mm 轧机 1、2 机架冷却水量比正常情况减少 20%~30%,以避免钢坯角部过冷而恶化其热加工性能,还应注意控制轧制速度及节奏。轧制前,磨光孔型、导卫、辊道等轧辊、导卫安装正确并保证其安装精度,防止产品产生划痕、折叠等缺陷和轧件冲跑事故。

表 3 1214Bi 钢铸坯加热工艺参数

加热温度/℃	均热温度/℃	出炉温度/℃	终轧温度/℃	加热时间/min
1 200~1 250	1 130~1 180	1 160~1 190	910~930	≥150

开发此钢种前期由于钢坯加热制度和轧制温度控制不当,导致部分钢坯在轧制过程中出现头

部开花、劈裂,成品轧材部分出现裂纹、裂口现象。后期进行了加热制度、轧制温度和速度的有效控制,热轧棒材成材率稳步提高,达到 93.2%。

4 轧材检验结果及分析

4.1 轧材化学成分分析

2011 年 11 月—2012 年 2 月,共组织生产了 21 炉钢,铸坯 1262.48 t,轧制成 Φ20~48 mm 的热轧棒材。随机在棒材上取样,进行化学成分分析,并与美国进口材料进行对比,分析结果如表 4。可以看出,C、Si、S、Bi 等元素得到很好的控制,与美国进口材料相比,钢中残余元素 Cu 和 As 含量偏高。

表 4 1214Bi 钢轧材化学成分分析结果

项目	$w_B/\%$								
	C	Mn	Si	P	S	Bi	As	Al	Cu
美国实际	0.08	1.03	0.01	0.073	0.32	0.07	0.003	0.005	0.04
贵钢实际	0.07	1.08	0.02	0.056	0.30	0.10	0.020	0.002	0.15
贵钢内控	0.06~0.08	1.05~1.15	≤0.03	0.045~0.06	0.27~0.30	0.08~0.12	≤0.03		≤0.15
贵钢标准	0.06~0.09	0.95~1.30	≤0.05	0.04~0.09	0.26~0.35	0.05~0.20			

4.2 力学性能和非金属夹杂检验

轧材低倍组织、非金属夹杂见表 5。可以看出,本工艺生产的低碳硫铋钢易切削钢纯净度较高,B、C、D 类夹杂物得到较好控制。

表 5 1214Bi 钢非金属夹杂物及低倍组织检验结果级

一般疏松	中心疏松	偏析	氧化物夹杂	球状夹杂	硅酸盐夹杂
≤1.0	≤1.0	0	≤2.0	0	0

热轧棒材与美国进口料(规格为 Φ24 mm、Φ32 mm、Φ55 mm)力学性能测试结果见表 6。可以看出,贵钢棒材力学性能全部合格,强度和塑性指标均有富余, R_m 平均富余 18.1%; $R_{p0.2}$ 平均富余 46.6%;硬度控制较好。与美国进口材料相比,强度和塑性指标仍有富余, R_m 均值高 5.3%; $R_{p0.2}$ 均值高 13.2%;硬度低于进口材料,有利于切削加工。

4.3 钢中夹杂物的分布及形态

通过光学显微镜和能谱分析,钢中硫化物分布均匀,呈纺锤形点状分布(见图 1);图中白色亮点为铋,分布均匀且颗粒细小(约 1~3 μm),以金属小颗粒分布于钢中或以附着于硫化物周围,钢中铋的微粒在切削过程中起着润滑和降低加工

硬化的作用,显著降低刀具与切屑、加工件间的摩擦阻力和切削温度,从而提高加工效率,延长刀具使用寿命;硫化物夹杂、Bi 存在于钢的晶界内或晶界上。

表 6 贵钢 1214Bi 钢轧材力学性能

项目	R_m/MPa	$R_{p0.2}/MPa$	$A/\%$	HB
美国实物	405~445	270~300	34.5~38.0	151~162
贵钢实物	420~475	290~355	24.0~38.0	121~140
标准	≥379	≥220	≥15	≤170

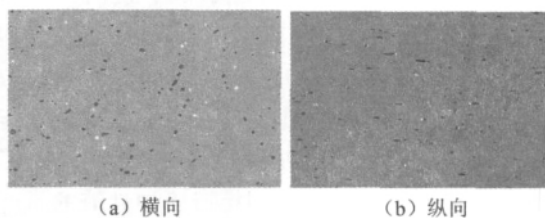


图 1 1214Bi 钢轧材夹杂物的分布及形态

4.4 切削性能对比试验

为了检验所生产的低碳硫铋易切削钢的切削性能,进行了以 1215、12L14、1214Bi 钢 3 种材料切削性能的对比试验,试验结果见表 7。试验结果表明,在相同的机加工条件下,1214Bi、12L14 (下转第 32 页)

不同断面,可减少中包用量、减少开机次数、减少坯头坯尾等都可降低成本;为保证质量采取措施需要增加成本。降成本分析见表 5。

表 5 新工艺生产 GCr15 圆坯降成本分析 元/t

不经轧制	减少中包	减少开机次数	保证质量措施	合计
降成本	降成本	降成本	增加成本	降本
285	7.14	0.86	38	255

从表 5 可以看出,首次应用短流程新工艺开发生产 GCr15 圆坯,合格连铸坯产量 1 689 t,当期可降低成本 255 元/t。

3.5 使用情况跟踪

经缓冷后连铸坯发到终端客户,安排专业人员对其热锻轴承套圈进行跟踪,对下料长度及热锻工艺、热处理工艺共同进行研究制定具体方案,合格率达 99% 以上,只有个别出现热锻裂纹及热处理裂纹,用户很满意。反馈回的意见及建议,对以后完善短流程新工艺开发生产轴承钢很有意义。

4 结 论

1) 成功开发了“同一中包同一浇次同时生产不同断面连铸圆坯、不经轧制直接供热锻轴承套

圈”的电炉短流程新工艺,低成本生产直接用于热锻轴承套圈用 GCr15 轴承钢连铸圆坯,圆坯碳偏析指数 1.10,无裂纹缺陷,一般偏析 0 级,中心偏析 2.0 级,缩孔不大于 2.0 级; $w(T.O) = (10.9 \sim 12.0) \times 10^{-6}$; $w(N) = (28.9 \sim 36.3) \times 10^{-6}$; $w(H) = 2.1 \times 10^{-6}$,缓冷后为 1.3×10^{-6} ,实现了批量生产,满足客户需求。

2) 短流程新工艺生产热锻轴承套圈用 GCr15 轴承钢圆坯,可降本 255 元/t,提升了市场竞争力,是经济炼钢理念的有效实践。

[参 考 文 献]

- [1] 卢盛意. 连铸坯质量研究 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 46.
- [2] 卢盛意. 连铸坯质量 [M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2005: 15.
- [3] 田燕翔. 现代连铸新工艺新技术与铸坯质量控制 [M]. 北京: 当代中国音像出版社 2006: 95.
- [4] 马光宏. 钢材在线热处理技术 [J]. 特钢技术, 2007, 13 (50): 1.
- [5] 刘玉斌. 轴承钢液析缺陷产生原因及预防措施 [J]. 黑龙江冶金, 2005 (3): 5.
- [6] 朱立光. GCr15 轴承钢高温力学性能的研究 [J]. 特殊钢, 2007, 28 (4): 9.

(收稿日期: 2012-05-14)

(上接第 24 页)

钢表面粗糙度优于 1215 钢, 1215 钢加工件表面有明显车痕; 1214Bi 钢加工件表面粗糙度与

12L14 钢基本相当, 断屑情况较 12L14 钢略差。1214Bi 钢的切削性能接近于 12L14 钢。

表 7 1214Bi 与 1215、12L14 钢切削性能对比试验结果

牌号	主轴转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	切削速度/ ($m \cdot \min^{-1}$)	切削深度/ mm	进给量/ ($mm \cdot r^{-1}$)	表面粗糙 度 $Ra/\mu m$	断屑情况
1215	3 184	250	1.0	0.15	3.20	有长的紧卷屑, 断屑较差
12L14	3 184	250	1.0	0.15	0.80	细小的螺卷屑, 断屑稳定良好
1214Bi	3 184	250	1.0	0.15	0.80	有少量较长的螺卷屑, 断屑稳定

5 结 论

1) 建立了由“consteel 电炉→LF→方坯连铸机→ $\Phi 500$ mm/ $\Phi 650$ mm 轧机→半连轧机组”批量、稳定生产低碳硫铋易切削钢的生产工艺流程。

2) 采用向钢包中喂入铋复合包芯线、钢包底吹氩搅拌工艺,通过合理控制喂线温度、喂线速度,可将铋的回收率稳定控制在 70% ~ 80%。

3) 严格控制浇铸温度、浇铸速度,并采用弱二冷制度,实现较高过热度下的弱冷慢速浇铸,采用复合电磁搅拌、全程保护浇铸等技术,可获得质

量优良低碳硫铋连铸坯。

4) 制定合理的钢坯加热制度,控制好轧制速度和节奏,减少开坯轧机机架冷却水量 20% ~ 30%,以保证轧材具有良好的表面质量。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 李代钟. 钢中硫化物的控制 [C]//金属情报网会议文集. 北京: 1986.

(收稿日期: 2012-03-15)