

优化保护渣改善冷锻钢铸坯表面质量

杨 浩¹, 唐 萍¹, 孙 维², 汪开忠², 吴 坚², 许 建², 张杰新³

(1. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044; 2. 马鞍山钢铁股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000; 3. 重庆钢铁股份有限公司炼钢厂, 重庆 400084)

摘 要: 钩型振痕是某厂生产 35K 冷锻钢铸坯表面的主要问题, 其产生的原因是由于保护渣的润滑性能不良造成。钩型振痕一方面会使铸坯表面产生夹渣、裂纹和皮下气孔等缺陷; 另一方面, 由于该处传热不好会使局部奥氏体晶粒粗大和微观组织发展而产生组织不均匀的现象, 引起轧材冷锻开裂。因此, 通过优化结晶器保护渣理化性能, 改善保护渣的润滑性能, 铸坯钩型振痕得以消除, 振痕处组织的不均匀性得到控制, 为后续的轧钢过程提供了合格的铸坯。

关键词: 35K 冷锻钢; 钩型振痕; 保护渣; 微观组织

中图分类号: TF777. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004- 7638(2010) 02- 0088- 05

Optimizing Capability of Mould Flux to Improve the Surface Quality of Billet for Cold Forging Steel

Yang Hao¹, Tang Ping¹, Sun Wei², Wang Kaizhong², Wu Jian², Xu Jian², Zhang Jiexin³

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Ma'anshan Iron and Steel Co., Ltd., Ma'anshan 243000, Anhui, China; 3. Steelmaking Plant of Chongqing Iron & Steel Co., Ltd., Chongqing 400084, China)

Abstract Hook type of oscillation mark was the primary problem about surface quality of strand which was used to product 35K cold forging steel. The reason that induced hook type of oscillation mark was the poor lubrication of mould flux. On one hand, hook type of oscillation mark would make surface defects on strand, such as inclusion, crack and hypodermal pore. On the other hand, it would produce the phenomenon of nonuniform microstructure because of the poor heat transfer which induced huge austenite grain and developmental microstructure on the surface of strand. It finally caused crack of cold forging steel. Therefore, through optimizing capability about physical property and chemical composition of mould flux and improving the lubrication capability of flux, the hook type of oscillation mark had been removed and the nonuniform microstructure phenomenon on oscillation mark had been controlled. In the end, it provided eligible strand for subsequent rolling process.

Key words 35K cold forging steel; hook type of oscillation mark; mould flux; microstructure

0 引言

冷锻钢常用于生产螺栓、螺钉等紧固件和制造

冷挤压零部件及冷锻成形的零配件。我国自 20 世纪 80 年代开始冷锻钢生产和技术开发以来, 生产能力和技术水平都取得了较大的进步。但随着对外出

收稿日期: 2010- 03- 03

基金项目: 国家支撑计划 (2007BAE30B00)。

作者简介: 杨 浩 (1984-), 男, 四川泸州人, 硕士研究生, 主要从事炼钢、连铸及钢材质量研究。

口的日益增多,汽车、石油、机械各行业的技术进步,对配套紧固件的性能与可靠性上提出了新的要求^[1]。对用于制造紧固件材料的冷镢钢生产也提出了更高的要求。某厂用于生产 35K 冷镢钢的铸坯为 140 mm × 140 mm 断面的小方坯,由于小断面方坯结晶器散热速度快、液面温度低^[2],因此控制润滑、传热和绝热保温的结晶器保护渣配碳量常控制较高,同时为防止铸坯组织不均匀而引起的冷镢开裂,须采用高黏度保护渣控制振痕深度,以获得浅的振痕。但过高的配碳和黏度会导致结晶器保护渣供渣不足,引起润滑不良,产生钩型振痕^[3],这同样导致铸坯组织不均匀,引起冷镢开裂。因此,针对小方坯表面钩型振痕的形成特点进行研究,通过优化保护渣理化参数以改善铸坯表面质量,为轧制过程提供了合格的铸坯。

1 铸坯表面质量现状及原因分析

某厂生产的 35K 冷镢钢 140 mm × 140 mm 小方坯由于保护渣润滑不良造成了铸坯振痕弯曲、外凸,严重时出现钩形振痕。图 1 为铸坯产生的钩型振痕,其振痕深度为 0.64 mm,而一般要求小于 0.4 mm^[4]。钩型振痕一方面会诱导铸坯表面产生裂纹等缺陷,该缺陷存在于铸坯表面以下的位置较深,且已被氧化,这将在轧制过程中难以焊合而使轧材产生表面裂纹(图 2);另一方面,钩型振痕使振钩下气隙热阻增大、传热不良,使局部奥氏体晶粒粗大及微观组织异常发展,从而产生微区组织和成分不均匀现象。图 3 为铸坯钩型振痕和非振痕处微观组织的金相图片,其钩型振痕处奥氏体晶粒尺寸的最大直径约为 8 mm,非振痕处的为 1 mm 左右,而一般要求小于 1 mm^[5]。因此,钩型振痕产生

的上述两种缺陷将在轧制过程中难以消除并遗传^[6]到轧材中,导致轧材表面组织不均产生冷镢裂纹。

产生钩型振痕的原因主要是由于铸坯凝固过程中,结晶器内保护渣润滑性能不好,使坯壳与结晶器壁之间的摩擦力 F_f 过大所致^[3]。 F_f 的计算公式^[7] 见式(1)、(2)。

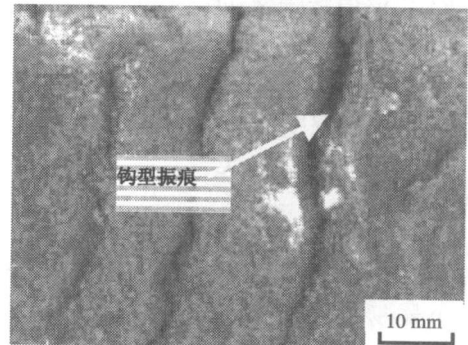


图 1 铸坯钩型振痕

Fig 1 The hook type of oscillation mark on strand

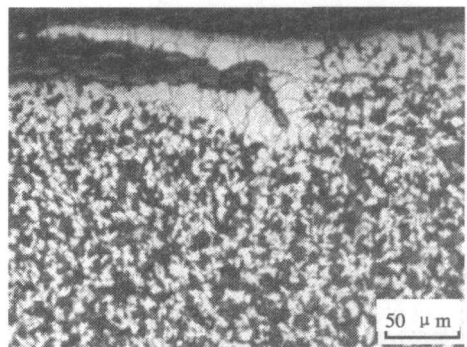
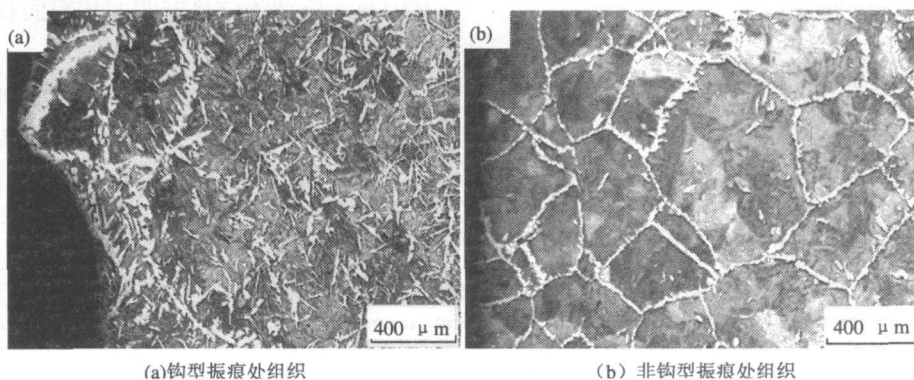


图 2 轧材缺陷处微观组织

Fig 2 The microstructure of steel defect (100 ×)



(a) 钩型振痕处组织
(a) The microstructure on hook type of oscillation mark

(b) 非钩型振痕处组织
(b) The microstructure on hook type of nonoscillation mark

图 3 铸坯钩型振痕和非振痕处微观组织 (25 ×)

Fig 3 The microstructures of billet with and without hook type of oscillation mark (25 ×)

$$F_r = \eta(V_m - V_c) D_1 \quad (1)$$

其中:

$$D_1 = (T_1 - T_s) \cdot D_T / (T_1 - T_2) \quad (2)$$

式中 V_m —结晶器振动速度, m/s

V_c —拉坯速度, m/s

η —保护渣的黏度, Pa·s

D_1 —液渣膜厚度, m;

D_T —渣膜总厚度, m;

T_1 —凝固坯壳温度, °C;

T_2 —渣膜温度, °C;

T_s —保护渣熔点, °C。

由式(1)、式(2)可知,为改善保护渣的润滑性能,主要应从两个方面考虑:①改进结晶器振动参数来改善其润滑作用,避免粘结、提高传热以保证拉速;②优化保护渣的理化性能以提高其润滑能力,即优化保护渣的黏度、液渣膜厚度和熔点。

从改进结晶器振动参数方面考虑,它主要是通过控制振动的速度差,即控制结晶器导前来实现。结晶器导前太小不能阻止坯壳粘结;太大又会使结晶器与铸坯间的机械作用力大,振痕深度不均匀并且出现弯曲振痕^[4],严重时出现钩型振痕。表1为该厂生产35K冷镢钢的小方坯连铸结晶器振动参数。

表 1 方坯连铸结晶器振动参数

Table 1 The oscillation parameters of mould about billet caster

拉速 $V_c / (m \cdot \text{min}^{-1})$	振动方式	振幅 /mm	负滑脱率 /%	负滑脱时间 /s	振动频率 / ($\text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
2.30	非正弦	8.80	31	0.10	188.00

在正弦振动条件下,振动参数间的数学关系^[4]见公式(3)、(4)。式中:结晶器导前指下行程时结晶器导前于铸坯的距离; S —振幅, m; f —振频, $1/\text{min}$; V_c —拉速, m/min ; t_n —负滑动时间, s

$$\text{结晶器导前} = S \sin(f\pi t_n) - V_c t_n \quad (3)$$

$$\text{振痕间距} = V_c / f \quad (4)$$

经近似计算,连铸结晶器的负滑脱时间为 0.1 s,导前为 3.5 mm,振痕间距为 12.2 mm。

文献[8-9]认为,连铸小方坯结晶器最佳负滑脱时间为 0.10~0.25 s(而非正弦振动 t_n 比正弦振动小),结晶器导前 3~4 mm,振痕间距小于 15 mm。数据对比表明,目前采用的振动参数合理。因此,为防止铸坯出现的钩型振痕,须从提高保护渣润滑能力考虑。

2 保护渣润滑性能研究

2.1 优化保护渣理化性能

如前所述,目前结晶器振动参数合理,因此提高保护渣的润滑性能需通过优化保护渣的理化性能来

实现。由此可采取降低保护渣的黏度、熔点等措施,来加快液渣的形成、提高液渣膜厚度以增加结晶器弯月面处的液渣流入量,从而改善铸坯坯壳与结晶器铜板之间的润滑,这也就提高了保护渣的消耗量。因此,保护渣润滑性能的好坏可由保护渣消耗量表征。

表2为生产35K冷镢钢的小方坯结晶器保护渣优化前后的理化参数。参考资料[10],断面为 $140 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 的小方坯单位面积消耗量(Q_s)理论值为 $0.13 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。生产现场的保护渣消耗量通常用单位铸坯质量的消耗 Q_t (kg/t)来计算,因此需要将 Q_s 换算为 Q_t ,其换算公式如式(5)所示^[11]。 R 表示结晶器表面积与体积之比, $R = 2(w + t) / hwt$,其中 w, t 分别为结晶器宽面和窄面长度(m)。

$$Q_t = RQ_s / 7.6 \quad (5)$$

经计算,断面为 $140 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ 的小方坯保护渣理论消耗量为 $0.49 \text{ kg}/\text{t}$ 而目前的保护渣实际消耗为 $0.18 \text{ kg}/\text{t}$ 因此导致润滑不良而使铸坯表面出现上述钩型振痕。

表 2 优化前后保护渣理化参数

Table 2 The parameters of physical property and chemical composition of mould flux before and after optimized

保护渣状况	液渣层厚度 /mm	碱度	熔点 /°C	1300 °C时黏度 /($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	Al_2O_3 /%	CaO /%	SiO_2 /%	F ⁻ /%	C /%	渣耗量 / ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)
优化前	3	0.84~0.9	1140~1180	0.80~1.0	8~12	21~25	25~29	4~6	20~24	0.18
优化后	9	0.84~0.9	1060~1100	0.50~0.70	8~12	28~30	30~34	6~9	8~12	0.27

以上分析表明: 目前铸坯出现的钩型振痕主要是由于保护渣的润滑不良引起。由前述公式 (1)、(2) 反映, 须降低保护渣熔点、黏度以提高润滑性能^[11]; 降低保护渣配碳量^[12], 提高熔化速率和保护渣液渣层厚度, 获得稳定的液渣膜厚度, 保证润滑。由表 2 可知, 优化前液渣层厚度仅为 3 mm, 一般要求大于 6 mm, 控制在 8~10 mm 为宜。

2.2 试验结果分析

由公式 (5) 计算得到的保护渣理论消耗量为 0.49 kg/t。经现场验证, 保护渣理化参数优化后的保护渣消耗量提高到 0.27 kg/t 与优化前相比提高

了 50%。表明试验达到了通过优化保护渣理化参数提高保护渣耗量, 改善润滑性能的目的。但保护渣的实际消耗量与理论计算耗量相比, 还存在差距。这主要是由于在保证润滑的前提下, 希望得到浅的振痕深度, 防止深振痕带来的振痕下组织异常而产生裂纹的问题, 因此控制了保护渣的消耗量。

图 4 为保护渣理化参数优化后 35K 冷镢钢的铸坯表面振痕和振痕处微观组织。由图 4 可知: 铸坯的润滑和传热性能改善后铸坯表面的钩型振痕消除; 振痕处奥氏体晶粒细小, 微观组织的不均匀性明显减轻, 冷镢裂纹得到有效控制。

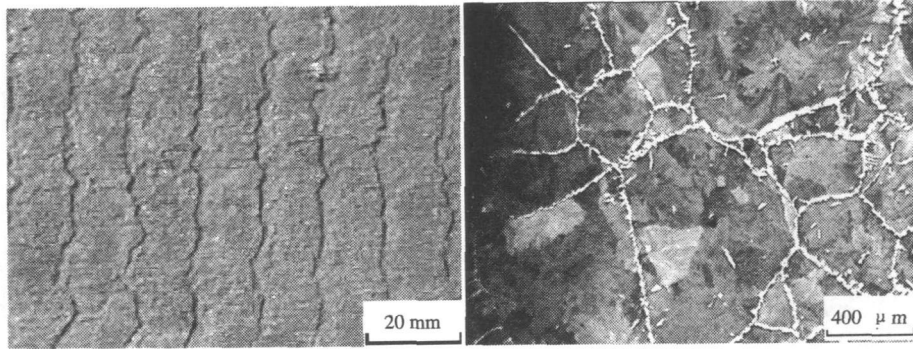


图 4 优化后铸坯振痕和振痕处微观组织

Fig 4 The oscillation mark and the microstructure on oscillation mark of strand after optimized

3 结论

1) 钩型振痕是目前生产 35K 冷镢钢铸坯表面的主要问题, 其原因是由于结晶器保护渣的润滑性能不良所致。

2) 通过优化保护渣的理化参数, 改善了结晶器保护渣的润滑和传热性能, 钩型振痕得到有效控制, 铸坯的表面质量良好, 铸坯的微观组织的不均匀性明显减轻, 冷镢裂纹得到有效控制。

参考文献

- [1] Xian Yuecong. A review on production and development of cold heading steel[J]. Special Steel, 2005, 26(3): 31-34. (先越蓉. 冷镢钢的生产和发展[J]. 特殊钢, 2005, (3): 31.)
- [2] Chi Jinghao, Gan Yongnian. Mould flux of continuous cast[M]. Shenyang: Northeast University Publishing Press, 1993: 115, 54-55, 93. (迟景灏, 甘永年. 连铸保护渣[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1993: 115, 54-55, 93.)
- [3] Lin Guoqiang. Study on optimizing parameters of mold oscillation of billet caster at Nanjing steel[J]. Iron and Steel, 2005, 40(6): 27-30. (林国强. 南钢方坯连铸结晶器振动参数优化的研究[J]. 钢铁, 2005, 40(6): 27-30.)
- [4] Lu Shengyi. Quality of continuous casting billet[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000: 158, 160, 168, 198-199. (卢盛意. 连铸坯质量[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 158, 160, 168, 198-199.)
- [5] Dippenaar Rian, Moon Suk-Chun, Szekeres Edward S. Strand surface cracks—the role of abnormally large prior-austenite grains[J]. Iron & steel Technology, 2007, 4(7): 105-115.
- [6] Li Zhichao. Research on hereditary phenomena of worm patterns in hypoeutectoid steels[J]. Ordnance Material Science

and Engineering 2004, 7(2): 12- 14

(李智超. 亚共析钢魏氏组织的组织遗传现象研究 [J]. 兵器材料科学与工程, 2004, 7(2): 12- 14)

[7] H Billany T J, Nomanton A S, Mills K C, Grievson P. Surface crack ing in continuously cast products[J]. Ironmaking and Steelmaking 1991, 18(6): 403- 410

[8] Samarasekera IV, Brinacombe JK, WilderK. The prosuit of steelbillet quality[J]. Iron and SteelMaker, 1994(3): 53

[9] Edward S Szekeres Overview of mold oscillation in continuous casting[J]. Iron and SteelEngineer 1996(7): 29

[10] LiD iam ing Shao Mingtian. Application technique of mould flux in continuous cast[M]. Beijing Metallurgical Industry Press 2008 7, 131.

(李殿明, 邵明天. 连铸结晶器保护渣应用技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008 7, 131.)

[11] Mills K C, A listair B Fox The role of mould fluxes in continuous casting-so simple yet so complex[J]. ISIJ International 2003 (43): 1479- 1486

[12] Du Hengke Development of XCN-Z mold powder for wide slab continuous casting[J]. Iron SteelVanadium Titanium, 2006, 27(3): 10- 14

(杜恒科. 宽板坯结晶器保护渣的开发 [J]. 钢铁钒钛, 2006, 27(3): 10- 14)

编辑 余文华

2010年《钢铁》《中国冶金》《钢铁研究学报》 《物理测试》《连铸》自办发行联合征订启事

订阅方式: 从 www. chinamet. cn网站“期刊征订”中下载“2010年期刊信息及联合征订单”, 逐项填写完成后, 发送至邮箱 chinamet faxing@ yahoo. com. cn, 或者将其传真(电话/传真 010- 62182270)、邮寄给发行部。

发行部通讯地址: 中国钢研科技集团有限公司科技信息室, 李树祺; 北京海淀区学院南路 76号, 邮编 100081

2010年期刊信息及联合征订单

期 刊	刊 号	刊 期	页 码	价 格	订 阅 数 量 / 套	金 额 / 元	
《中国冶金》	CN11- 3729 /TF	月刊	48页	120元 /年			
《钢铁研究学报》中文版	CN11- 2133 /TF	月刊	64页	240元 /年			
《钢铁研究学报》英文版	CN11- 3678 /TF	双月刊	96页	180元 /年			
《物理测试》	CN11- 2119/O4	双月刊	64页	90元 /年			
《钢铁》	CN11- 2118 /TF	月刊	88页	240元 /年			
《连铸》	CN11- 3385/TG	双月刊	48页	36元 /年			
收信人姓名	电话: /E- mail				合计金额: 元		
期刊订阅单位	您需要开具的发票抬头						
期刊(发票)邮寄地址					邮编		
您采用的汇款方式	邮局	银行	是否接受本杂志社免费赠阅的刊物或电子文档信息?			是	否
银行 汇款	开户行: 工商银行北京新街市支行 户名: 中国钢研科技集团有限公司 账号: 0200002909003200456- 28		邮局 汇款	收款人姓名: 《钢铁》杂志编辑部(征订单中 6本刊物的统一收款人) 收款人地址: 北京海淀区学院南路 76号, 邮编: 100081			
银行汇款说明: 如果在银行汇款时您无法输入账号尾号(- 28), 请务必在汇款留言中注意“信息室订刊”							