

## 120 t BOF-LF-RH-Φ300 mm CC-CR 流程 42CrMoA 钢轧材带状组织形成分析及改善措施

介瑞华

(芜湖新兴铸管有限责任公司, 芜湖 241000)

**摘要** 通过扫描电镜(SEM)和能谱(EDS)对42CrMoA热轧态钢中的带状组织进行观察和分析,结果表明:42CrMoA钢热轧态组织中存在着严重的带状组织,并且有铁素体以外的贝氏体等第二类带状组织存在,评定其带状组织为3级。通过EDS线扫描发现C、Cr元素在枝晶间偏析严重,是导致带状组织形成的主要原因。采取控制连铸中间包钢水过热度20~30℃、拉速0.75 m/min、电磁搅拌参数400 A 8 Hz、二冷比水量由0.30 L/kg降至0.25 L/kg和终轧温度由950℃降至910℃等措施,使该钢带状组织由3级降至≤2级。

**关键词** 42CrMoA钢 带状组织 枝晶偏析 改善措施

## Analysis and Improvement Measures on Band Structure Formation of 42CrMoA Rolled Steel with 120 t BOF-LF-RH-Φ300 mm CC-CR Flowsheet

Jie Ruihua

(Wuhu Xinxing Ductile Pipes Co Ltd, Wuhu 241000)

**Abstract** The band structure in 42CrMoA hot rolled steel is observed and analyzed by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectrum (EDS). The results show that there is a serious band structure in the hot rolled structure of 42CrMoA steel and a second type of band structure such as bainite except ferrite, and the band structure is 3 rating. EDS line scan shows that segregated C and Cr elements seriously among dendrites, which is the main reason for the formation of banded structure. By controlling measure of the superheat of the molten steel in the continuous casting tundish 20~30℃, the casting speed of 0.75 m/min, the electromagnetic stirring parameter 400 A 8 Hz, and the specific water volume of the secondary cooling decreasing from 0.30 L/kg to 0.25 L/kg and end rolling temperature decreasing from 950℃ to 910℃, the steel banded structure decreases from 3 rating to ≤2 rating.

**Material Index** 42CrMoA Steel, Band Structure, Dendrite Segregation, Improvement Measures

在实际生产过程中,亚共析钢经过轧制会形成珠光体和铁素体相间分布的带状组织,带状组织会一定程度上降低钢的强度和塑性,但是很难完全消除带状组织。因此,在生产时多要求带状组织不大于2.0级。但是由于成分偏析或控轧控冷原因,造成其显微组织中生成贝氏体和马氏体,给带状组织级别的评定带来一定困难。本文以42CrMoA钢为例,研究了带状组织的形貌,分析原因并采取措施控制元素偏析、轧制工艺,有效改善了42CrMoA钢轧材带状组织。

### 1 试样来源及制备

42CrMoA钢的工艺流程为:120 t BOF顶底复吹转炉→LF钢包精炼→RH真空脱气→CC(Φ300 mm)→CR。在试样上沿着轧制方向穿过试样轴心连续取4个试样,编号1#~4#,分析其化学成分,结果如表1所示。

表1 试验42CrMoA钢化学成分/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.42	0.25	0.61	0.015	0.005	0.96	0.18

取样:对Φ60 mm规格的轧材取样进行金相检验,对钢中带状组织进行评级。

检验方法:在OLYMPUS-BX51M电子显微镜下观察,放大100倍按GB/T34474.1-2017标准评定带状组织级别,并对典型的带状组织在EVOMA10/LS10扫描电镜和能谱分析仪上进行电镜扫描成像及能谱分析。

### 2 检验结果及分析

#### 2.1 42CrMoA钢的带状组织形貌观察

试样经磨抛,4%硝酸酒精溶液浸蚀,在金相显微镜下观察,其带状组织如图1(a)所示。试样纵截面组织为珠光体+贝氏体+铁素体,有贝氏体存在,

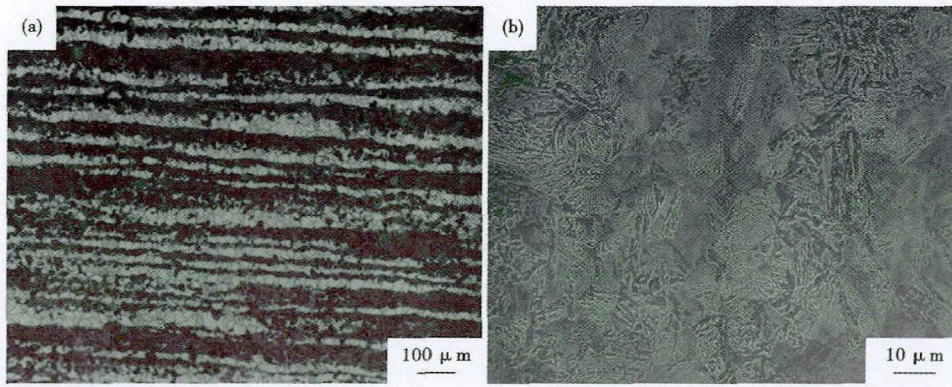


图 1 42CrMoA 钢 Φ60 mm 轧材 3 级带状组织形貌:(a)光学;(b)扫描电镜  
Fig. 1 Morphology of 3 rating banded structure of 42CrMoA steel Φ60 mm rolled bar:(a) optical;(b) SEM

结合扫描电镜线测量结果,42CrMoA 钢的带状组织上其 C、Cr、Mn 元素的偏析也证实了这一结论。钢水在凝固时,由于选择性结晶,在枝干上的成分较为纯净,而在枝晶间富集了较多的 C、合金元素和 S、P 等杂质。经轧制后枝干和枝晶被压延而伸长为 C 和合金元素的贫化带与富集带交替堆叠的带状组织<sup>[2]</sup>。

含有贝氏体的带状组织

且分布不均匀。根据国标 GB/T34474.1-2017,带状组织评定相为铁素体和第二类组织带,带状组织级别特征为贯穿视场的,连续的铁素体带和第二类组织带,不均匀交替,可达到 3 级,不符合 ≤2.0 级的产品标准要求。

通过光学和扫描电镜 (SEM) 观察和分析 42CrMoA 钢中的带状组织,结果如图 1(b),扫描电镜照片中,白色区域为珠光体带,黑色区域为铁素体带,其显示的颜色与光学显微组织照片正好相反。在珠光体带中片状珠光体的分布并不是均匀的。有些晶粒中的珠光体团较多,有些晶粒中珠光体团非常少,甚至没有,取而代之的是不同形状和尺寸的碳化物分布在基体上。并且在靠近珠光体带的部分铁素体晶粒的晶界处有网状碳化物析出。图 2 扫描电镜图片说明,试样 42CrMoA 钢热轧态组织中存在着严重的带状组织,带状组织由珠光体 + 铁素体 + 贝氏体组成。从扫描电镜结果看,得出的带状组织结论与显微组织结果一致。

### 2.2 42CrMoA 钢带状组织 EDS 分析

图 2 为试样的 EDS 线扫描图,从图 2 发现 C、Cr 元素在枝晶间偏析严重,从图 2 可以看出:C 元素在铁素体和珠光体带之间的变化比较明显,其次是 Cr、Mn 元素,表现在珠光体带中 C、Cr、Mn 的含量高于铁素体带的含量;此外,C、Mn、Cr、Si 合金元素在铁素体带某些个别位置含量有时会突然有所升高,该位置可能对应合金碳化物析出;Si 为非碳化物形成元素,在扫描线上的变化不明显。EDS 线扫描结果表明:在一次带状组织中 C 和 Cr 为主要偏析元素;其次是 Mn,而 Si 基本上没有偏析。

### 3 42CrMoA 钢的带状组织产生原因分析

钢的带状组织形成与枝晶偏析有一定关系<sup>[1]</sup>,

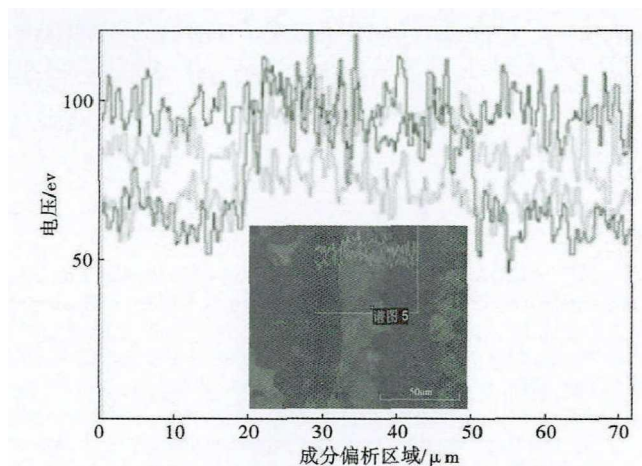


图 2 42CrMoA 钢中带状组织能谱分析扫描线  
Fig. 2 EDS line scan of banded structure in 42CrMoA steel

是由于在终轧冷却降温过程中,由于合金元素的加入,过冷奥氏体的稳定性加大,各个区域元素偏析不同  $A_{r3}$  温度也不同,在降低到  $A_{r3}$  点温度以下先开始析出铁素体,当冷却到  $A_{r1}$  时过冷奥氏体才开始形成珠光体,由于过冷奥氏体稳定性较大,延长了珠光体的转变时间,C 曲线右移的时候形状也发生了变化,在这个过程中冷却速度降低才形成了贝氏体。当锻轧后冷却速度较快时,可能不出现带状组织或减轻带状组织<sup>[3-4]</sup>。在溶质浓度存在带状分布的情况下,提高奥氏体的冷速使铁素体在富溶质区与贫溶质区的形核率之差足够小,可防止生成带状组织<sup>[5]</sup>。

### 4 消除 42CrMoA 钢轧材带状组织的工艺措施

控制偏析将从根本上减轻轧材带状组织。炼钢工序影响偏析的因素有:钢水成分均匀性、浇铸温度、二冷工艺、电磁搅拌等。浇铸温度越低,铸坯中

表2 工艺改进前后参数对比

Table 2 Parameter comparison before and after process improvement

工艺	过热度/℃	拉速/ ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	电缆参数/ A, Hz	比水量/ ( $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	轧钢加热 温度/℃	加热时 间/h	终轧温 度/℃
改进前	20~45	0.80	350, 8	0.30	1125	3.0	950
改进后	20~30	0.75	400, 8	0.25	1150	3.5	910

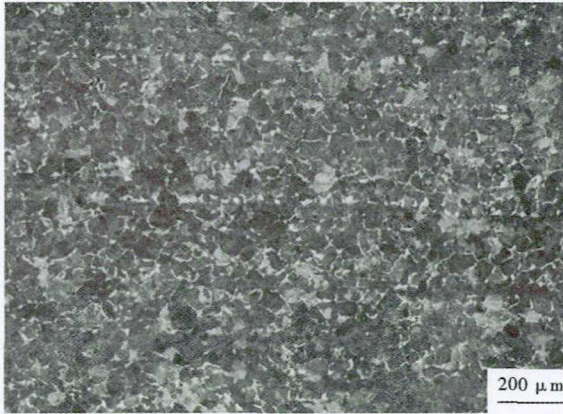


图3 工艺改进后 42CrMoA 钢 Φ60 mm 轧材的带状组织

Fig. 3 Banding structure of 42CrMoA steel Φ60 mm rolled bar after process improvement

心部位等轴晶比例增加,中心偏析降低。考虑到生产要求和现场实际过热度控制水平,将过热度控制在 20~30℃ 内铸坯碳偏析指数能够满足正常生产要求。

在相同的浇铸过热度 and 电磁搅拌条件下,提高拉速也会使凝固散热量增大、坯壳减薄,导致碳偏析程度加大。通过试验并且结合末端电缆位置,认为将拉速控制在 0.75 m/min 时较为合理。

应用凝固末端电磁搅拌(F-EMS)的目的是改善铸坯的中心偏析。F-EMS 搅拌固液两相区,通过电磁力打碎的树枝晶碎片可作为等轴晶的核心,增加两相区局部传热,消除搭桥,减轻树枝晶间富集溶质液体的流动,使心部偏析金属趋于均匀,同时产生较多的结晶核。试验结果表明,采用末端电磁搅拌(F-EMS)可使碳偏析由平均 1.08 降到 1.05 以下,且最佳末端电磁搅拌参数为 400 A, 8 Hz。

适宜的二次冷却强度对钢的内部质量非常有利。二次冷却强度太弱,凝固壳坯太薄,坯壳受到钢水的静压力易形成鼓肚甚至漏钢,造成严重的中心碳偏析;二次冷却强度过大,铸坯坯壳快速冷却,坯壳内部液态区域向外传热效率有限,导致断面温度梯度增大,铸坯柱状晶区域扩大。二冷采用弱冷,比水量由 0.30 L/kg 降至 0.25 L/kg 后,铸坯中心碳偏析降低至 1.04 以下。

此外,合理调整加热制度及轧制节奏。适当提高加热温度并延长加热时间,使形成枝晶偏析的元素(如 Mn 等),残余碳化物充分扩散均匀,达到理想的奥氏体均匀化,同时使

奥氏体的晶粒长大,其尺寸超过原始带状的条带宽度,也可减轻原始带状组织<sup>[6]</sup>。终轧温度过高或过低都会得到带状组织,冷速越慢带状组织越严重。适当降低其终轧温度,在细化奥氏体晶粒同时,铁素体晶粒得到细化,防止合金元素在冷却过程中再次发生偏聚和偏析,从而减轻带状组织<sup>[7]</sup>。加大终轧后冷却速度,可以有效抑止 C 在原始带状基础上的长距离扩散,消除或减轻铁素体珠光体带状。

通过改进工艺后(表 2),随机取样观察 42CrMoA 钢轧材带状组织均 ≤2 级,如图 3 所示。

## 5 结论

(1) 42CrMoA 钢热轧态组织中存在着严重的带状组织,其组织为 F + P + B,评定其带状组织级别高达 5 级;

(2) 通过 EDS 线扫描发现 C、Cr 元素在枝晶间偏析严重,是导致带状组织形成的主要原因;

(3) 将连铸钢水过热度控制在 20~30℃、拉速 0.75 m/min、电磁搅拌参数 400 A 8 Hz、二冷比水量由 0.30 L/kg 降至 0.25 L/kg 后,铸坯中心碳偏析显著降低,同时采用合理的轧制工艺可有效改善钢的带状组织。

## 参考文献

- [1] 蒋凌枫,李为龙. XML40ACr 线材控轧控冷工艺优化[J]. 金属材料与冶金工程,2017,11(4):44-47.
- [2] 梁三清,刘琼. SWRCH35K 盘条带状组织的分析研究[J]. 山西冶金,2012,19(1):64-65.
- [3] 刘宗昌,王玉峰,杨慧,等. 42CrMo 钢锻轧材的带状组织[J]. 包头钢铁学院学报,2003,3(4):323-326.
- [4] 刘宗昌. 珠光体转变与退火[M]. 北京:化学工业出版社,2007:183-188.
- [5] 翁宇庆,孔令航,王国栋,等. 超细晶钢-钢的组织细化理论与控制技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2003:312-315.
- [6] 朱龙贵,何杰. 低碳合金类齿轮钢带状组织的控制[J]. 安徽科技,2015,21(3):47-48.
- [7] 陈涛,时彦林. 20CrMo 棒材带状组织的控制研究[J]. 热加工工艺 2007,36(2):23-25.

介瑞华(1988-),女,硕士(2013 年内蒙古科技大学),工程师,2010 年内蒙古科技大学(本科)毕业,金属热处理和材料性能研究。E-mail:353260209@qq.com

收稿日期:2021-01-18