

20CrMnTiH 齿轮钢铸坯宏观碳偏析对轧材带状组织的影响

刘建¹ 颜慧成² 唐薇¹ 朱文彬¹ 许伟阳² 唐广波²

(1 湖南华菱湘潭钢铁有限公司,湘潭 411101; 2 钢铁研究总院国家连铸技术工程研究中心,北京 100081)

摘要 20CrMnTiH 钢 $\Phi 130$ mm 圆钢的生产工艺流程为 120 t BOF-LF-VD-300 mm \times 430 mm 坯连铸-连轧。不同连铸工艺(过热度 15 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$, 电磁搅拌 0 ~ 400 A)生产的连铸坯和轧材的宏观碳偏析表明,较高的过热度和过强的结晶器电磁搅拌会加重 20CrMnTiH 钢连铸坯和轧材的宏观碳偏析;严重的宏观碳偏析,加剧晶枝偏析,提高钢的带状组织级别并提高退火钢材正偏析区的硬度值。

关键词 20CrMnTiH 齿轮钢 宏观碳偏析 带状组织 硬度

Effect of Carbon Macro-Segregation of Casting Bloom on Banded Structure of Rolled Bar of Gear Steel 20CrMnTiH

Liu Jian¹, Yan Huicheng², Tang Wei¹, Zhu Wenbing¹, Xu Weiyang² and Tang Guangbo²

(1 Xiangtan Iron and Steel Co Ltd, Hunan Valin, Xiangtan 411101; 2 National Engineering Research Center of Continuous Casting Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract Production flow sheet for $\Phi 130$ mm round bar of steel 20CrMnTiH is 120 t BOF-LF-VD-300 mm \times 430 mm bloom casting-continuous rolling. Carbon macro-segregation of rolled bar and casting bloom produced by different continuous casting process (liquid super-heating extent 15 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$, electromagnet stirring with 0 ~ 400 A) show that higher super-heating extent and stronger mold electromagnet stirring aggravate the carbon macro-segregation of bloom and rolled bar of steel 20CrMnTiH, and the serious carbon macro-segregation intensifies dendritic crystal segregation increases rating of banded structure of steel, and enhances hardness value of positive carbon segregation region of annealed steel products.

Material Index Gear Steel 20CrMnTiH, Carbon Macro-Segregation, Banded Structure, Hardness

齿轮钢圆钢宏观碳偏析的严重程度直接影响轧材组织性能的均匀性^[1]。宏观碳偏析可加剧带状组织的形成^[2],而且碳偏析与带状组织对齿轮热处理变形有较大的影响^[3]。

1 工艺流程与试验方法

20CrMnTiH 圆钢的生产工艺流程为:120 t BOF-LF-VD-CC(板坯/方坯兼用)-加热炉-可逆轧机-精轧机组,20CrMnTiH 内控成分如表 1 所示。

轧机配置为:粗轧 $\Phi 800$ mm 二辊可逆式轧机,精轧四平四立连轧机组,轧制连铸坯断面 300 mm \times 430 mm,圆钢直径 130 mm。坯料加热温度 1 200 $^{\circ}\text{C}$,出炉温度 1 100 ~ 1 150 $^{\circ}\text{C}$,终轧温度 850 ~ 950 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 20CrMnTiH 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 20CrMnTiH / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
0.18 ~ 0.21	0.20 ~ 0.30	0.95 ~ 1.15	≤ 0.020	≤ 0.015	1.05 ~ 1.20	0.05 ~ 0.07

通过实施 3 种不同的连铸工艺(表 2),获得 3 种坯料,对比分析其低倍和碳偏析情况。

表 2 试验炉次连铸工艺参数

Table 2 Continuous casting parameters of test heats

炉号	$\Phi 130$ mm 圆钢试样号	中间包 C 含量 / %	过热度 / $^{\circ}\text{C}$	拉速 / (m \cdot min ⁻¹)	电磁搅拌	比水量 / (L \cdot kg ⁻¹)
1722	No226	0.179	15	0.7 ~ 0.8	无电磁搅拌	0.32
1723	No324	0.185	15 ~ 30	0.7	200 A, 2.5 Hz	0.32
1724	No424	0.196	15 ~ 30	0.7	400 A, 2.5 Hz	0.32

将表 2 中 3 种不同连铸工艺的连铸坯在同样轧制工艺条件下得到 3 组圆钢,分别进行碳分析、组织和退火硬度检测。

2 实验结果

2.1 连铸坯和圆钢碳偏析

连铸坯料横截面低倍与钻屑取样为 8 个方向的皮下、3/4R、1/2R、1/4R 处钻屑分析碳成分,计算每个方向平均值,每个方向平均碳含量与平均碳偏析

通讯作者:颜慧成,博士,教授级高工,钢铁研究总院国家连铸技术工程研究中心,北京 100081

E-mail: huicheng_yan@163.com

指数比较见图 1。显然,电磁搅拌提高了等轴晶率,却促使产生皮下负偏析;随着电磁搅拌强度的增加,3/4R 处、中心正偏析加剧,1/4R 负碳偏析加剧。

3 炉圆钢的碳含量与碳偏析分别见表 3 和图 1, 结果为:

(1) No226 炉无电磁搅拌、低过热度圆钢样: 1/2r、3/4r 处碳含量极差很小, 1/4r 处极差大; 皮下 5 mm 处、1/4r 处无负偏析现象, 整个横断面碳比较均匀, 中心呈现负偏析。

(2) No324 炉 200 A 电磁搅拌、过热度较高的圆钢样: 1/4r、1/2r、3/4r 处碳含量极差很小; 皮下 5 mm、1/4r 处存在负偏析现象, 中心为正偏析。

(3) No424 炉 400 A 电磁搅拌、过热度较高的圆钢样: 1/2r、3/4r 处碳含量极差大; 1/4r 处碳偏析极差小; 皮下 5 mm、1/4r 处为负偏析, 中心为正偏析。

2.2 圆钢纵、横截面的组织

观察圆钢 No226 的 5 个样、No324 的 3 个样和 No424 的 3 个样沿轧制方向金相显微组织, 从里到外选择典型视场照片(图 2)。3 炉圆钢样沿轧向组织均显示出一定程度的带状组织形貌(铁素体/珠光体带状组织), 就每个样而言, 靠边沿由于冷却速度快, 晶粒细, 带状组织更加明显。比较 3 圆钢带状组织程度, No226 最轻微, No424 最严重, No324 比 No424 较好。根据 GB/T13299-1991 中带状组织评定方法, No226 样带状组织为 1 级, No324 和 No424 为 2 级。

3 炉圆钢样都为铁素体与珠光体的混合组织。圆钢横截面从中心至外圆不同位置处, 珠光体含量上存在一定差异, 尤其在 No324 和 No424 靠近中心 25 mm 范围内, 发现明显的珠光体含量较多区域, 且这些区域珠光体粗大。珠光体团的出现说明局部碳偏高, 这种现象与后两炉圆钢中心碳呈现正偏析相一致。

2.3 圆钢硬度

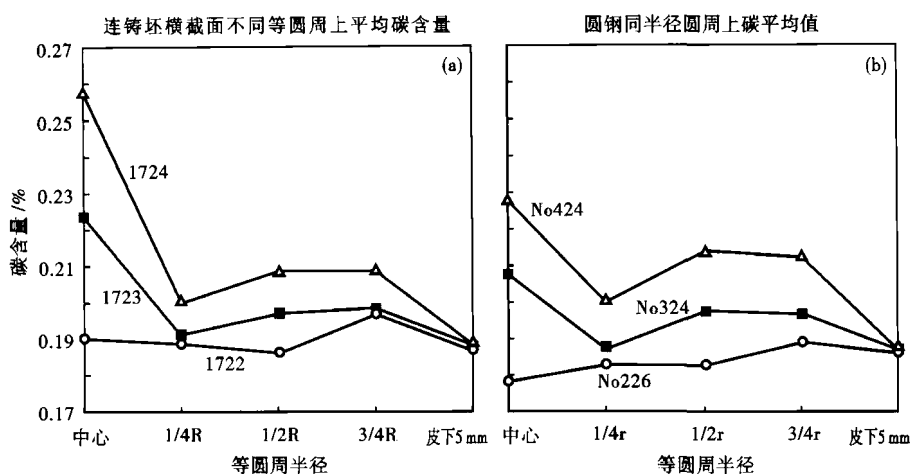


图 1 过热度与结晶器搅拌电流对连铸坯(a)与圆钢(b)横截面碳分布的影响, 各炉次的过热度与搅拌电流: 1722-No226 (15 °C, 0 A); 1723-No324 (15 ~ 30 °C, 200 A); 1724-No424 (15 ~ 30 °C, 400 A)

Fig. 1 Effect of super-heating extent and mold stirring current on distribution of carbon content in cross section of casting bloom (a) and round bar (b), super-heating extent and stirring current for each heat: 1722-No226 (15°, 0 A); 1723-No324 (15 ~ 30 °C, 200 A); 1724-No424 (15 ~ 30 °C, 400 A)

表 3 Φ130 mm 圆钢断面碳含量(硬度 HBW5/750)分布/%
Table 3 Distribution of carbon content (hardness HBW5/750) on section of Φ130 mm round bar / %

试样号		中心	1/4r	1/2r	3/4r	皮下 5 mm
No226	平均值	0.178 (143)	0.183 (147)	0.183 (148)	0.189 (149)	0.186
	极差	0(0)	0.020(6)	0.017(6)	0.015(7)	0.012
No324	平均值	0.207 (151)	0.187 (152)	0.198 (154)	0.197 (153)	0.187
	极差	0(0)	0.013(9)	0.019(10)	0.022(9)	0.004
No424	平均值	0.228 (158)	0.2(149)	0.214 (152)	0.213 (152)	0.187
	极差	0(0)	0.018(4)	0.028(12)	0.031(5)	0.022

将 3 炉圆钢试样(大约 30 mm 厚圆饼)进行退火, 退火制度为: 在 500 °C 时放入圆钢, 随炉升温到 840 °C, 保温 1.5 h, 然后随炉冷却到 680 °C, 保温 2 h, 再随炉冷却到 500 °C, 最后空冷。退火之后, 将试样表面精车并磨光, 然后在中心、1/4R、1/2R、3/4R 处分别测量布氏硬度。

按照标准(GB/T231.1-2009), 对 3 炉圆钢试样分别进行硬度检测(表 3), 结果表明, 1722 炉硬度比后两炉低, 中心偏软, 后两炉中心偏硬, 这些结果与碳含量分布相一致; 1722 炉圆钢硬度极差小, 1/2R、3/4R 处都小于 8, 中心硬度偏软; 1723 炉圆钢中心与周围硬度相当, 1/2R、3/4R 处硬度极差 ≤ 10; 1724 炉圆钢 1/2R 偏高, 硬度极差达到 12, 中心偏硬。

3 分析与讨论

3.1 连铸工艺、宏观碳偏析与圆钢带状组织的关系
研究认为^[4], 由于钢液在坯料结晶过程中选择

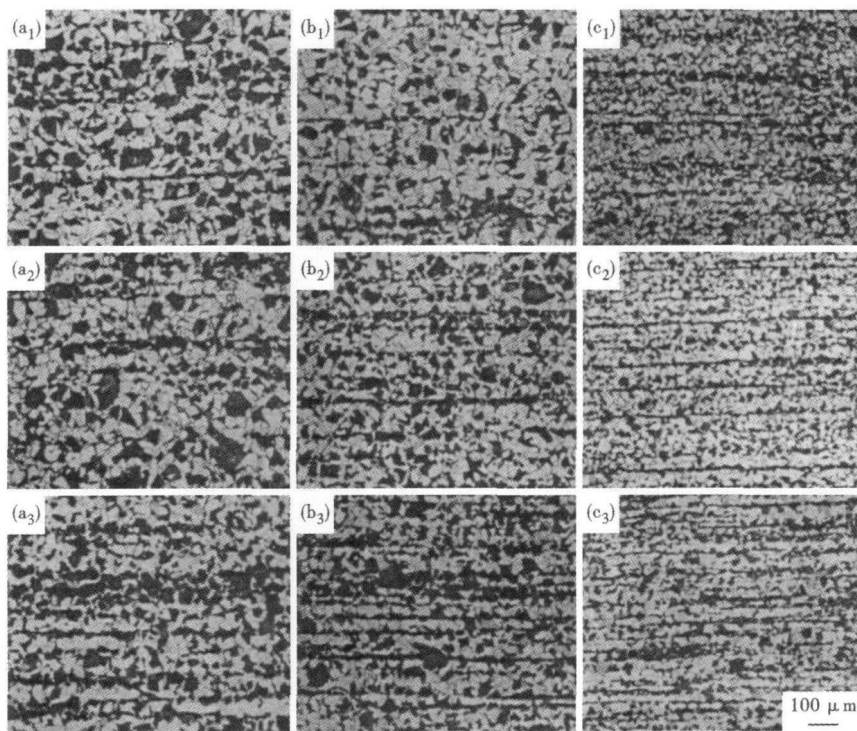


图2 $\Phi 130$ mm 圆钢带状组织形貌,炉次、过热度、搅拌电流:(a_1, b_1, c_1) No226, 15 $^{\circ}\text{C}$ 0 A; (a_2, b_2, c_2) No324, 15~30 $^{\circ}\text{C}$ 200 A; (a_3, b_3, c_3) No424, 15~30 $^{\circ}\text{C}$ 400 A; (a_1, a_2, a_3) 中心; (b_1, b_2, b_3) 1/2 半径; (c_1, c_2, c_3) 边缘

Fig.2 Morphology of banded structure of $\Phi 130$ mm round bar, heats, superheating extent, stirring current: (a_1, b_1, c_1) No226, 15 $^{\circ}\text{C}$, 0 A; (a_2, b_2, c_2) No324, 15~30 $^{\circ}\text{C}$, 200 A; (a_3, b_3, c_3) No424, 15~30 $^{\circ}\text{C}$, 400 A; (a_1, a_2, a_3) center; (b_1, b_2, b_3) 1/2 radius; (c_1, c_2, c_3) edge

性结晶形成化学成分呈不均匀分布的枝晶组织,粗大枝晶在轧制时沿变形方向被拉长,并逐渐与变形方向一致,从而形成碳及合金元素的条状贫化带,贫化带彼此交替堆叠,在缓冷条件下,先在碳及合金元素贫化带(过冷奥氏体稳定性较低)析出先共析铁素体,将多余的碳排入两侧的富化带,最终形成以铁素体为主的带,而富化带因过冷奥氏体稳定性较高而在其后形成以珠光体为主的带,因而形成了该彼此交替的带状组织,成分偏析越严重,形成的带状组织越严重。

试验的3组材料,由于电磁搅拌的差异使得连铸坯宏观偏析存在明显变化^[5],这种宏观偏析差异对应地表现在轧制圆钢中(图1),而圆钢的带状组织严重程度差异与圆钢宏观碳偏析(来源于连铸坯料成分的不均匀性)是相关的。3组圆钢的碳极差存在差异(表3),No226 轧材带状组织最轻微, No324 的次之, No424 的最严重。由此可见碳成分偏析越严重,对应的带状组织也越严重。C、Mn 等合金元素偏聚引起了带状组织,但是连铸坯上宏观碳偏析实际上对枝晶偏析起着决定性影响,因此,加

快钢液凝固时的冷却速度,有利减小 C、Mn 元素偏聚程度^[2]。试验中由于圆钢 No226 的连铸坯因为连铸过热度低、无搅拌致使柱状晶发达,相当于增加了冷却速度,从而有效控制柱状晶区域的枝晶碳偏析,从而使带状组织得以改善。由此看来,连铸结晶器电磁搅拌加剧了齿轮钢的碳宏观偏析,碳宏观偏析进而加剧了圆钢带状组织。

3.2 碳偏析对材料硬度的影响

从3炉圆钢的碳偏析含量及退火硬度的平均值(图1、表3)可以看出,圆钢的退火硬度分布与其碳含量分布趋势基本一样。同时在1/2r和3/4r处,轧材 No226 碳成分极差最小,相应的退火硬度的极差也最小。

4 结论

(1) 较高的过热度和过强的结晶器电磁搅拌会加剧齿轮钢 20CrMnTiH 的宏观碳偏析,进而加剧带状组织的发展,周向碳极差越大,带状组织越严重。

(2) 圆钢中心为碳正偏析时,中心会出现珠光体团,并且正偏析越重,现象越严重。

(3) 轧材碳偏析分布与退火硬度呈现相同的分布规律,碳偏析大时对应的退火硬度也大。

参考文献

- 1 Choudhary S K, Ganguly S. Morphology and Segregation in Continuously Cast Carbon Steel Billets [J]. ISIJ International, 2007, 47(12): 1759-1766.
- 2 张延玲, 刘海英. 中低碳齿轮钢中合金元素的偏析行为及其对带状组织的影响[C]. 2009 特钢年会论文集, 北京, 2009(9): 184-192.
- 3 任元和. 冶金因素对齿轮钢淬性的影响[J]. 炼钢, 1995, 11(12): 16-19.
- 4 刘云旭. 低碳合金钢中带状组织的成因、危害和消除. 金属热处理[J], 2000, 25(12): 1-3.
- 5 许伟阳, 曹志刚, 颜慧成, 等. 齿轮钢大方坯宏观碳偏析及形成机制[J]. 炼钢, 2011, 27(5): 63-67.

刘建(1974-),男,工程师,2000年湘潭大学毕业,轧钢工艺和金属热处理研究。

收稿日期:2012-03-25