

X1215 易切削钢连铸坯成分偏析的研究

王宏斌^{1,2)} 林腾昌¹⁾✉ 朱荣¹⁾ 段飞虎¹⁾ 李联生¹⁾ 张志强²⁾ 王勇²⁾

1) 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083 2) 宣化钢铁集团有限责任公司, 河北 张家口 075100

✉通信作者, E-mail: lintengchang@126.com

摘要 采用化学分析和低倍酸浸实验方法研究了低碳高硫易切削钢连铸坯的 C、Si、Mn、P、S 的成分偏析特征并分析其形成原因。结果表明, 连铸坯的 C、Si、Mn、P、S 的偏析度均在 0.9~1.1 之间, S、P 元素存在中心负偏析, 低倍酸浸实验检测发现连铸坯存在中心疏松。分析认为, 中心疏松是导致中心元素负偏析的主要原因。

关键词 易切削钢; 成分; 偏析; 疏松

分类号 TF 777.2

Study on composition segregation of X1215 free-cutting steel continuous casting billet

WANG Hong-bin^{1,2)}, LIN Teng-chang¹⁾✉, ZHU Rong¹⁾, DUAN Fei-hu¹⁾, LI Lian-sheng¹⁾, ZHANG Zhi-qiang²⁾, WANG Yong²⁾

1) School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Xuanhua Iron & Steel Group Co. Ltd., Hebei Zhangjiakou 075100, China

✉ Corresponding author, E-mail: lintengchang@126.com

ABSTRACT The characteristics and reasons of C, Si, Mn, P, S composition segregations in low carbon high sulfur free cutting steel were researched by chemical analysis and hot hydrochloric acid. The results show that the segregation degree of elements (C, Si, Mn, P, S) is between 0.9 and 1.1, S and P elements are negative segregation at the billet center region, and the center area of continuous casting billet is porosity. The analyses show that the center porosity is the main reason of element negative segregations at the center area.

KEY WORDS free cutting steel; composition; segregation; porosity

对于硫系易切削钢, 在一定范围内随着硫含量的增高, 钢材的切削性能也越好。以切削性能为主的硫系及硫复合系易切削钢, 硫含量一般在 0.20%~0.60%^[1-2]。硫系易切削钢质量要求高, 生产难度大。因为硫的熔点低且易氧化, 如果工艺控制不当, 易造成硫元素及其他元素在铸坯中的成分偏析。通过对宣钢生产的硫系易切削钢连铸坯进行取样分析, 研究铸坯内部成分偏析情况。

1 实验方法

宣钢采用 100 t 转炉→100 t LF 炉→150 mm×150 mm 方坯连铸→高线轧制工艺生产 X1215 硫系易切削钢。试验开发的 X1215 易切削钢的成分如表 1 所示。

表 1 X1215 型易切削钢成分(质量分数)

Table 1 Components of X1215 free cutting steel (mass fraction)

钢种	%				
	C	Si	Mn	P	S
X1215	0.06~0.09	≤0.10	1.20~1.50	0.08~0.10	0.30~0.50

连铸生产要点: 鉴于该钢种容易发生漏钢的特点, 连铸采用低拉速(约为 1.0~1.5 m/min), 低冷却强度(不大于 1 m³/kg)的基本原则, 勤捞渣, 去除渣圈。为防止高磷高硫钢的 P、S 元素偏析, 生产时采用适当强度的结晶器电磁搅拌, 以保证铸坯质量。

取样方法为: 在 150 mm×150 mm 的小方坯取 30 mm 厚的横截面, 再在其对面取 15 mm 厚的横截面。对 30 mm 厚的铸坯采用 φ4 mm 的钻头钻孔, 孔

深为 25 mm, 取钻削样分析元素含量, 试样取样点如图 1 所示. 对 15 mm 厚的坯子表面经抛光后做低倍酸浸试验.

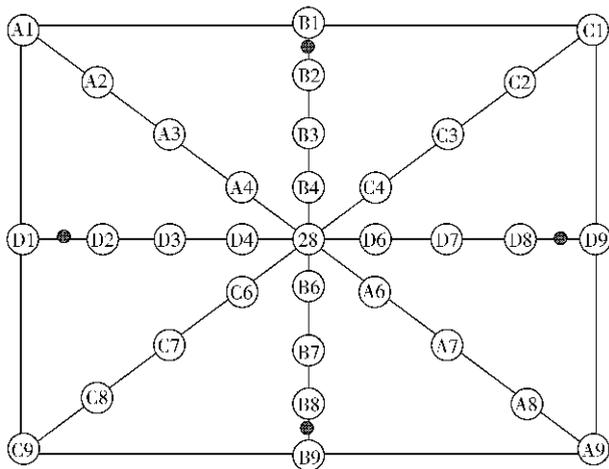


图 1 铸坯钻孔示意图

Fig. 1 Drilling schemes of casting billet

分别对铸坯四个方向上 A1 ~ A9、B1 ~ B9、C1 ~ C9、D1 ~ D9(另在 B 和 D 方向的铸坯外层向柱状晶转变区域的 0.875R 处取样, R 为铸坯中心到取样方向最远取样点的距离) 试样点分析化学元素 C、Si、

Mn、P、S 含量, 取测定结果的平均值代表平均化学成分. 采用偏析度表示铸坯横截面上成分偏析的程度, 元素的偏析度定义为:

$$K = \frac{C_i}{\bar{C}_o} \quad (1)$$

式中, C_i 为铸坯取样点某一元素的含量; \bar{C}_o 为铸坯所有取样点的 C_i 元素含量的平均值.

2 实验结果与分析

2.1 实验结果

两炉连铸坯的生产参数见表 2. 对两炉连铸坯进行随机取样并进行成分测定, 根据试样中各取样点对应的化学元素含量绘制不同方向上各元素偏析度变化曲线如图 2 和图 3 所示.

表 2 连铸参数

Table 2 Continuous casting parameters

样号	中包温度 (min/max) / °C	连铸拉速 / (m·min ⁻¹)	结晶器水冷 / (m ³ ·h ⁻¹)
1	1562 / 1579	1.4	136
2	1597 / 1605	1.5	137

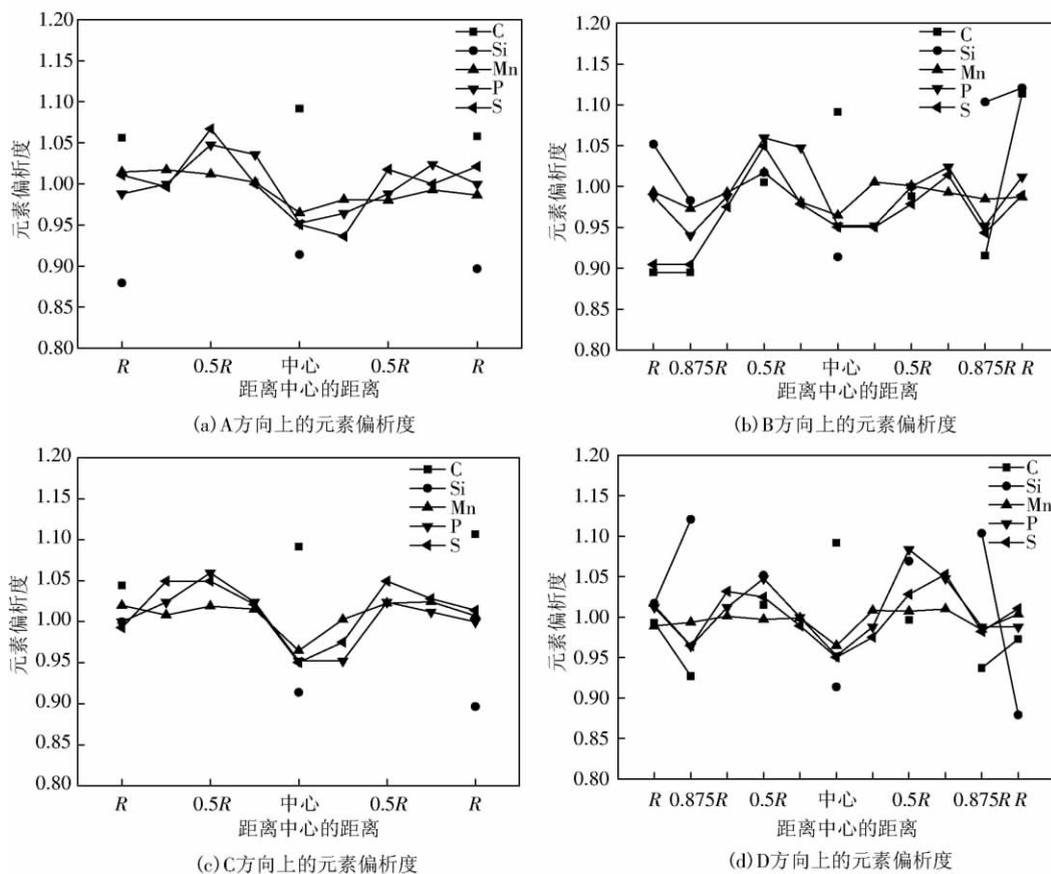


图 2 1# 试样元素的偏析度

Fig. 2 Segregation degrees of sample 1# element

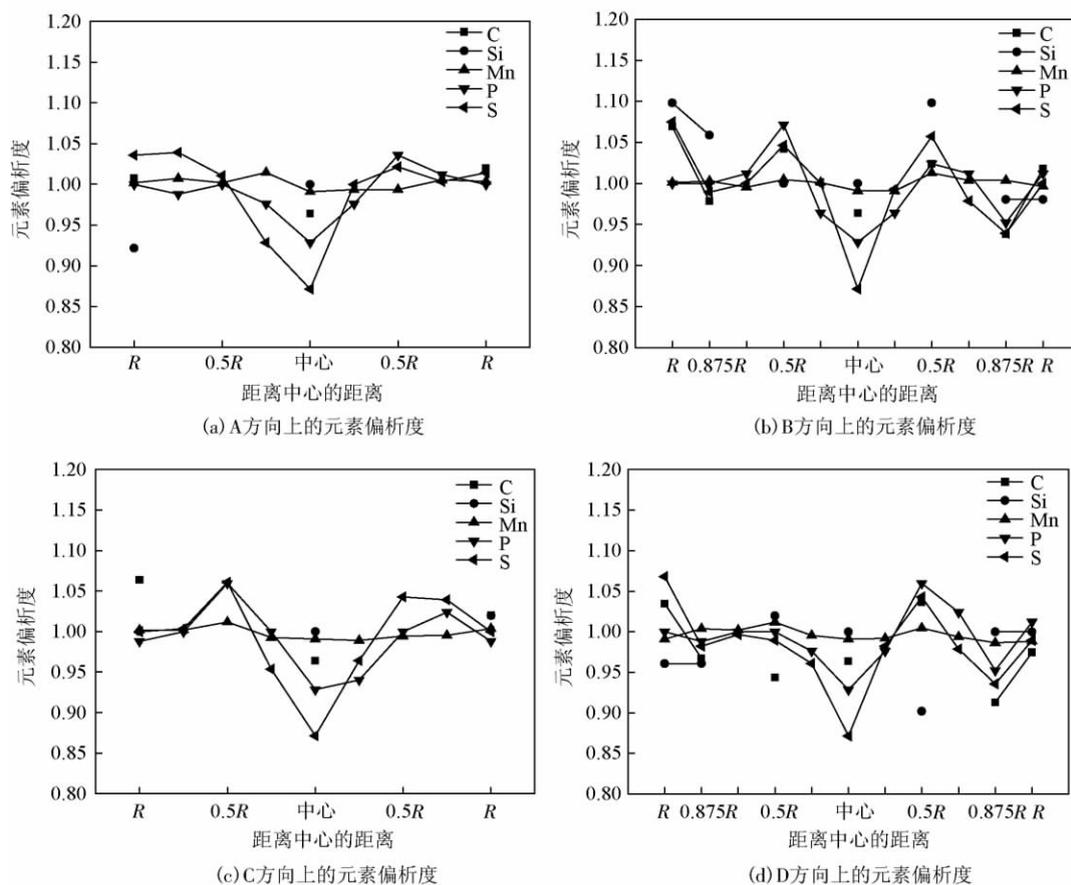


图 3 2#试样中元素的偏析度

Fig. 3 Segregation degrees of elements in sample 2#

从图 2 和图 3 可以看出, 生产硫系易切削钢采用低冷却强度和结晶器电磁搅拌技术, 得到的连铸坯的元素偏析情况如下:

(1) C、Si 元素的偏析度在 0.9 ~ 1.1 之间变化, 有轻微中心负偏析。

(2) Mn 元素在连铸坯的 4 个取样方向上的偏析曲线在 0.98 ~ 1.02 之间波动, 偏析度极小, Mn 元素的含量分布比较均匀。

(3) P、S 元素存在中心负偏析, 在铸坯横截面的四个方向上, 两者的偏析度曲线变化一致, 说明易切削钢中 P、S 的性质相似。在 B 和 D 方向上的 0.875R 处存在轻微负偏析。

由实验数据分析可知, 各元素成分偏析情况沿铸坯中心呈对称分布, 在整个铸坯截面上不存在非常严重的成分偏析, 说明宣钢现行的低碳高硫易切削钢的连铸生产工艺是可行的。

2.2 结果分析

X1215 钢中 C、Si 元素含量控制较低, 且两者的偏析度较轻微, 对钢的整体性能影响甚微。X1215 是高硫高磷钢, Mn、S、P 元素是非常重要的合金元素, 所以 Mn、S、P 的成分偏析会对钢的性能

有一定影响。

采用小方坯连铸工艺生产硫系易切削钢时不会出现非常严重的成分偏析。这是因为连铸坯凝固速度快, 因而易控制得到颗粒小的硫化物夹杂。从试样不同方向上的偏析度曲线变化可以看出, S、P 元素在柱状晶向等轴晶的过渡区(距离中心 0.5R ~ 0.75R) 含量比较高。其原因为由冷却速度的变化等因素引起的晶粒生长方式的变化, 会影响溶质的传输, 造成两种晶体形成的交界处的溶质聚集, 形成元素的正偏析。

根据溶质元素析出与富集理论, 铸坯从表层到中心结晶过程中, 钢水中的一些溶质元素如磷、硫等, 在固液边界上溶解并平衡移动, 从柱状晶析出的溶质元素排到尚未凝固的中心部位会形成连铸坯的中心偏析^[3]。从低倍酸浸结果(见图 4) 看出, 在距离中心 0.5R 的范围内出现的是以聚集的细小树枝晶为核的等轴晶, 由于凝固前沿的选分结晶而形成 S、P 元素的轻微偏析(见图 2、图 3)^[4]。在铸坯中心处, 各元素都出现了不同程度的负偏析。S、P 元素在铸坯中心处出现了最大负偏析。综合分析图 2 ~ 图 4 可知, 2#铸坯的中心疏松程度更严重些。

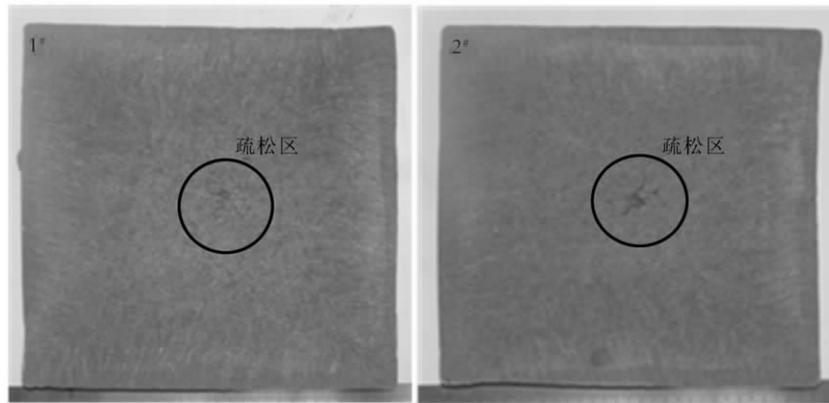


图 4 低倍酸浸试验结果

Fig. 4 Results of macro-acid-etching test

中心偏析和中心疏松这两种缺陷常同时产生,生产中一般采用增加铸坯断面上等轴晶的比例以避免这两种缺陷的产生.研究表明^[5-6],铸坯断面上的等轴晶率如果能达到 35%~40% 或者以上,中心偏析基本上就能消除.由图 4 可以看出,连铸坯存在一定程度的中心疏松,这是导致连铸坯中心部位元素负偏析的主要原因.铸坯产生中心疏松是由于浇注时过热度高(50~60℃)引起的,浇注温度高会使柱状晶发达,在连浇炉次中要相应降低过热度.

为了改善或避免铸坯中心偏析和中心疏松,应当优化浇注制度,可采用适度的电磁搅拌技术和低过热度浇注技术,并且采用合适的浇注速度以获得高比例等轴晶.

3 结论

连铸坯中 C、Si、Mn、P、S 的成分偏析系数均在 0.9~1.1 之间,连铸坯中 Mn 元素成分均匀;C、Si 元素有轻微偏析;S、P 元素在铸坯柱状晶向等轴晶的过渡区出现最大正偏析,在中心处出现最大负偏析.

S、P 元素在中心处偏析较严重,其原因是由于浇注过热度高,连铸坯存在一定程度的中心疏松,这是导致中心 P、S 元素负偏析的主要原因,可采用电磁搅拌技术、低过热度浇注技术和合适的浇注速度等措施减轻中心疏松.

参 考 文 献

- [1] Tian S S, Zhou X L, Shu R J. Research and development of the sulfur series easily cutting steel. *Met Mater Metall Eng*, 2008, 36 (6): 17
(田树生,周小丽,徐瑞军.硫系易切削钢的研发.金属材料与冶金工程,2008,36(6):17)
- [2] Huang L, Wu H T, Zhai W L. et al. The sulfides in steel and their beneficial effect//*Proceedings of China Iron & Steel Annual Meeting*. Beijing, 2009: 51
(黄雷,吴海涛,翟万里,等.钢中硫化物的种类及其有利作用//中国钢铁年会论文集.北京,2009:51)
- [3] Zhu G N, Bi Z N, Dong J X. Microsegregation and homogenization of nickel base corrosion resistant alloy C-276 ingots. *J Univ Sci Technol Beijing*, 2010, 32(5): 628
(朱冠妮,毕中南,董建新.镍基耐蚀合金 C-276 铸锭元素偏析和均匀化工艺.北京科技大学学报,2010,32(5):628)
- [4] Liu X F, Zhao J Z, Zhai Q J, et al. Macrosegregation analysis of SPA-H steel produced by compact strip process. *J Iron Steel Res*, 2007, 19(4): 102
(刘旭峰,赵建忠,翟启杰,等.CSP工艺生产SPA-H钢的宏观偏析.钢铁研究学报,2007,19(4):102)
- [5] Kawawa T, Tsuchida Y. The central segregation production mechanism of the continuous casting plate: basic research on the continuous casting becomes sticky IV. *ISIJ Int*, 1974, 60(11): S408
(川和高穗,土田裕.连续铸造スラブの中央偏析の生成機構について.鉄と鋼,1974,60(11):408)
- [6] Kametal H. Fractal analysis of the surface cracks on continuously cast steel slab. *Metall Mater Trans B*, 1998, 29(6): 1261