DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.019

Q235 连铸钢坯宏观偏析研究

肖步庆[1],杨海滨[1],吴耀光[2]

(1. 河钢股份有限公司 邯郸分公司一炼钢厂, 河北 邯郸 056015; 2. 中冶京诚工程技术有限公司 冶金工程咨询设计部, 北京 100176)

摘　要:采用酸浸蚀观察低倍组织,原位检测、统计分析等法研究了 Q235 钢连铸坯的成分偏析。结果表明,连铸钢坯存在鼓肚,角部凹陷等外观缺陷,部分内部存在裂纹问题,铸坯中心偏析严重,C 元素在铸坯中心富集,属于正偏析;在铸坯中心 Si、Mn、P 和 S 含量低,存在严重负偏析。

关键词:Q235;偏析;低倍酸洗法;宏观分析;原位分析法

中图分类号:TF777　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1080-06

Research on Macro-segregation of Continuous Cast Q235 Steel Slab

XIAO Buqing[1], YANG Haibin[1], WU Yaoguang[2]

(1. The First Steel Plant, Handan Branch of Hegang Co., Ltd., Handan 056015, China; 2. Metallurgical Engineering Consulting and Design Division, MCC Capital Engineering and Research Incorporation Limited, Beijing 100176, China)

Abstract: The composition segregation of Q235 steel continuous casting billet was studied by acid etching, observing the macrostructure, in-situ detection and statistical analysis. The results show that the continuous casting slab has defects such as bulge and corner depression, some internal cracks, serious segregation. C is enriched in the center but Si, Mn, P and S are segregated negatively in the center of slab.

Key words: Q235; segregation; acid etching; macro analysis; in-site detection and analysis

随着市场经济的快速发展和技术的不断进步,国内基础设施和工业建设不断加快,社会发展对钢铁材料的需求和性能也不断提高。铸坯表面经常出现纵裂、角裂等缺陷,铸坯内部的中心偏析和显微偏析也比较严重[1-2]。但是在发展过程中,由中心偏析造成的组织和力学性能异常一直没有得到很好的解决,而普碳钢中的元素偏析主要是由于连铸坯中心偏析导致。因此,解决中心偏析对组织和力学性能异常及对焊接性能的影响,势必要从连铸坯中心偏析的控制入手[3-4]。

连铸坯中心成分偏析是连铸坯最主要的缺陷之一,是钢液在凝固过程中因溶质元素在固液相中再分配所引起的一种连铸坯溶质元素分布不均匀的现象,在凝固末期枝晶间溶质富集的钢液流动作用下,微观枝晶间或宏观铸坯中心的 C、Si、Mn、S、P 等含量明显高于其他部位[5-6]。元素偏析是在连铸坯凝固过程固液界面浓化钢液双扩散自然对流和压差强迫对流共同作用的结果。

收稿日期:2021-08-18

作者简介:肖步庆(1973—),河北邯郸人,本科,高级工程师.主要从事洁净钢工艺方面的工作.电话:13231039591,Email:wang9020@126.com

1　研究方法

Q235 的化学成分如表 1 所示。该钢种生产的工艺流程为转炉 -LF- 连铸,断面尺寸为 170 mm×240 mm。

表1 Q235钢化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of Q235 steel

元素	C	Mn	Si	P	S
含量	0.19	0.53	0.23	0.025	0.021

1.1　低倍组织检测

截取铸坯横向试样,对横截表面采用酸浸蚀,分析低倍组织,对铸坯激冷层厚度、等轴晶率、中心疏松级别、中心缩孔级别等进行参数检测。

1.2　原位检测分析

采用 OPA-200 金属原位分析仪对铸坯试样在低倍下进行观察,检测和分析。试样的激发位置为铸坯中心 70 mm(X 轴)×50 mm(Y 轴)处。采用逐行面扫描的方式,X 轴正方向上扫描速度为 1 mm/s;Y 轴方向为步进方式;间隔 2.0 mm。氩气纯度 99.999%、氩气流量 80 mL/s;火花间隙为 2 mm。

2　研究结果及分析

2.1　组织分析

典型工艺条件下铸坯低倍及局部放大组织如图

1所示,可见该铸坯存在一些缺陷,表面质量可见:铸坯下方鼓肚,左下角和右下角凹陷,右上角明显凹陷,窄边存在凹陷;内部质量可见:铸坯内部裂纹严重,中心裂纹级别达到4级,中心缩孔级别为2级,角部裂纹级别分别为4级和3级。

低倍组织下部为铸坯内弧,上部为铸坯外弧。内弧喷嘴冷却过强,分布不均匀,外弧冷却不均,冷却过程中总体喷水量过大。前几段冷却过强,在铸坯初始凝固过程中,初始坯壳较薄,喷水量过大,加上导辊的挤压作用,产生机械剪切力,导致角部纵裂严重。末段冷却过强,导致凝固后期凝固不均匀,在热应力作用下易产生中心裂纹。解决方法为内外弧喷水量应进行调整,减小内弧喷水量,增大外弧喷水量,适当降低前几段喷水量,控制末段喷水量。

分别测量铸坯激冷层厚度为0~10 mm、等轴晶率为27%、中心疏松级别为1、中心缩孔级别为2。断面尺寸较小,拉速较快。在宽面支撑不良或二次冷却不足时,导致宽面刚度下降,铸坯在二冷区鼓肚,导致三角区裂纹。在同一块铸坯中,表面激冷层厚度不均匀现象普遍存在,说明在结晶器内存在明显的不均匀冷却现象,这将对铸坯质量产生潜在危害。

2.2　结果分析

元素偏析作如下分析。

(1)C偏析　C偏析检测结果如表2所示,在激发面积为70 mm×50 mm的范围内,最大偏析度为3.520;95%置信度下,激发范围内C的统计偏析度为0.389 8;统计均匀度为0.389 2。试样在铸坯中心处碳元素富集,C偏析严重;统计均匀度偏低,扫描区域内C含量分布不均匀。

表2　C元素偏析分析结果

Tab.2　Segregation analysis results of C element

最大偏析度	最大偏析位置	统计偏析度	统计均匀度
3.520	[31.03, 22]	0.389 8	0.389 2

试样的C元素偏析二维等高图如图2(a)所示,在激发范围内,从边缘至中心C元素浓度呈增加的趋势;C元素偏析度分布图如图2(b)所示,从整体趋势看,偏析度高峰集中在左侧,宽度较宽且排布严重不对称,因此C元素偏析的位置分布不均匀、整体偏析程度大;铸坯中心剖线C元素浓度分布如图2(c)所示,在试样中心处,C元素浓度突然上升且达到峰值,表明有大量的C元素在此处聚集;C元素偏析三维分布图如图2(d)所示,从三维分布图中可明显看出,在整个激发范围内的C元素主要集中在

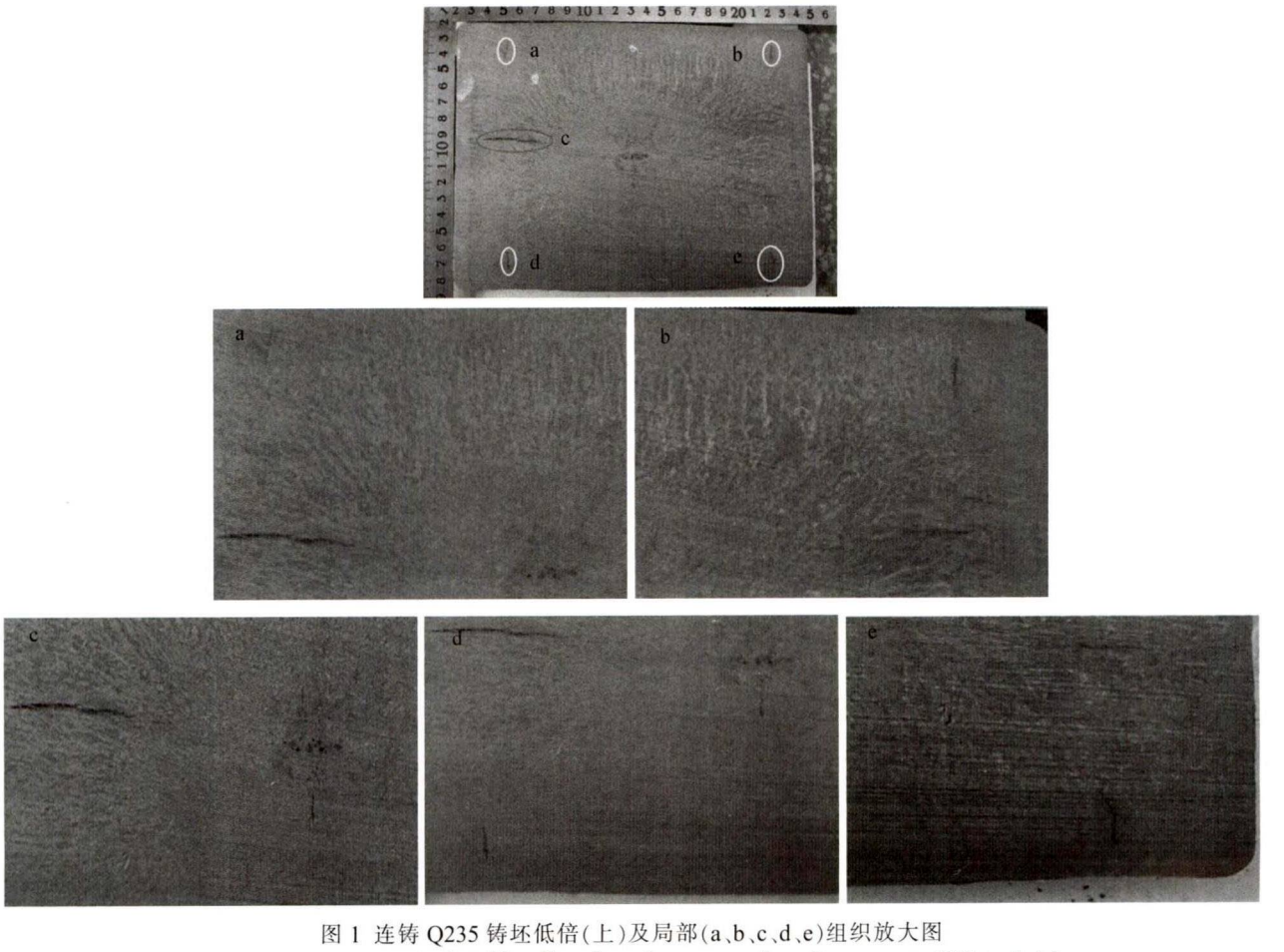
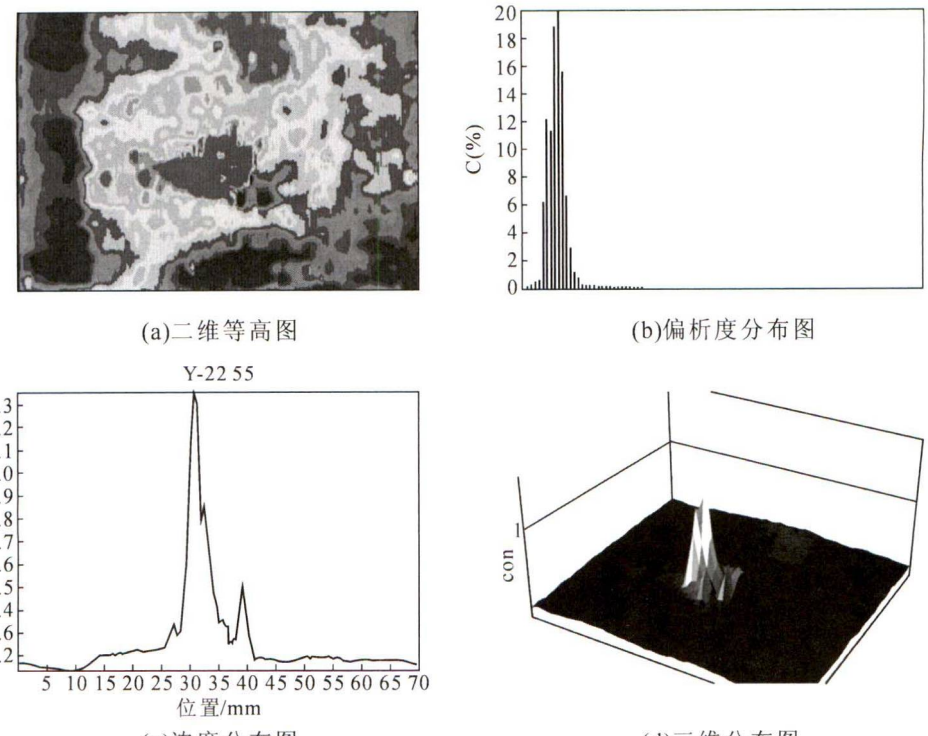


图1　连铸Q235铸坯低倍(上)及局部(a、b、c、d、e)组织放大图

Fig.1　Macrostructure (top) and locally enlarged structure of continuous cast q235 steel slab



(a)二维等高图　(b)偏析度分布图

(c)浓度分布图　(d)三维分布图

图 2 C 元素偏析检测结果

Fig.2 Test results of C element segregation

铸坯中心。

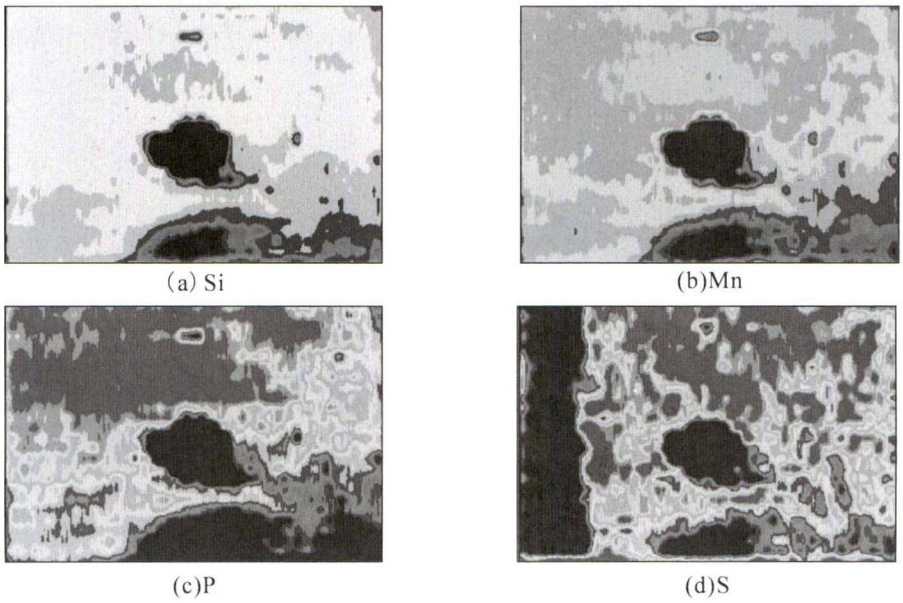
(2)Si、Mn、P、S 偏析　Si、Mn、P、S 偏析分析结果如表 3 所示，P、S 元素的最大偏析度和 95%置信度下的统计偏析度较高，Si、Mn 元素则较低，表明 P、S 偏析程度更为严重；Si、Mn、P、S 元素的统计均匀度均在 0.3 以下，表明在此激发范围内，Si、Mn、P、S 元素呈现偏析不均匀。

试样的 Si、Mn、P、S 元素偏析二维等高图如图 3 所示，可见，在激发范围内，铸坯中心处出现严重的负偏析，却均在铸坯中心负偏析处的周围聚集，因此，在铸坯尚未完全凝固时，Si、Mn、P、S 元素已经消耗殆尽。

表 3 Si、Mn、P、S 元素偏析分析结果

Tab.3 Segregation analysis results of Si, Mn, P, S elements

	元素	最大偏析度	最大偏析位置 [x,y]	统计偏析度	统计均匀度
试样	Si	1.096	[36.87, 36]	0.168 6	0.181 6
	Mn	1.199	[34.77, 36]	0.249 4	0.137 8
	P	1.413	[25.67, 46.00]	0.503 2	0.270 8
	S	1.567	[0.23, 0]	0.467 4	0.221 5



(a) Si　(b)Mn

(c)P　(d)S

图 3 Si、Mn、P、S 元素偏析二维等高图

Fig.3 Two-dimensional contour diagram of the segregation of Si, Mn, P and S elements

对试样的 Si、Mn、P、S 元素偏析度分布图进行分析，结果如图 4 所示，从整体趋势看，P、S 元素偏析度在中间位置处达到峰值，在峰值的两侧，峰的高度对称程度比 Si、Mn 元素较高，表明 P、S 元素的分布相对 Si、Mn 元素略微均匀一些，但是峰形比其他元素更宽，整体偏析程度更大；Si、Mn 偏析度峰值在右侧，峰的高度排布不对称，且峰形比较宽，因此 Si、Mn 元素偏析的位置分布均匀性较差。

铸坯中心 Y=22.55 mm 剖线处的 Si、Mn、P、S 元素浓度分布图如图 5 所示，在铸坯中心 Y=22.55 mm 剖线处，X=0~70 mm 范围内，Si、Mn、P、S 元素的浓度波动极大，特别是铸坯的中心位置，试样的 Si、Mn、P、S 元素均出现含量骤降为 0 的情况，表明铸坯凝固至此处之前 Si、Mn、P、S 元素已经几乎完全

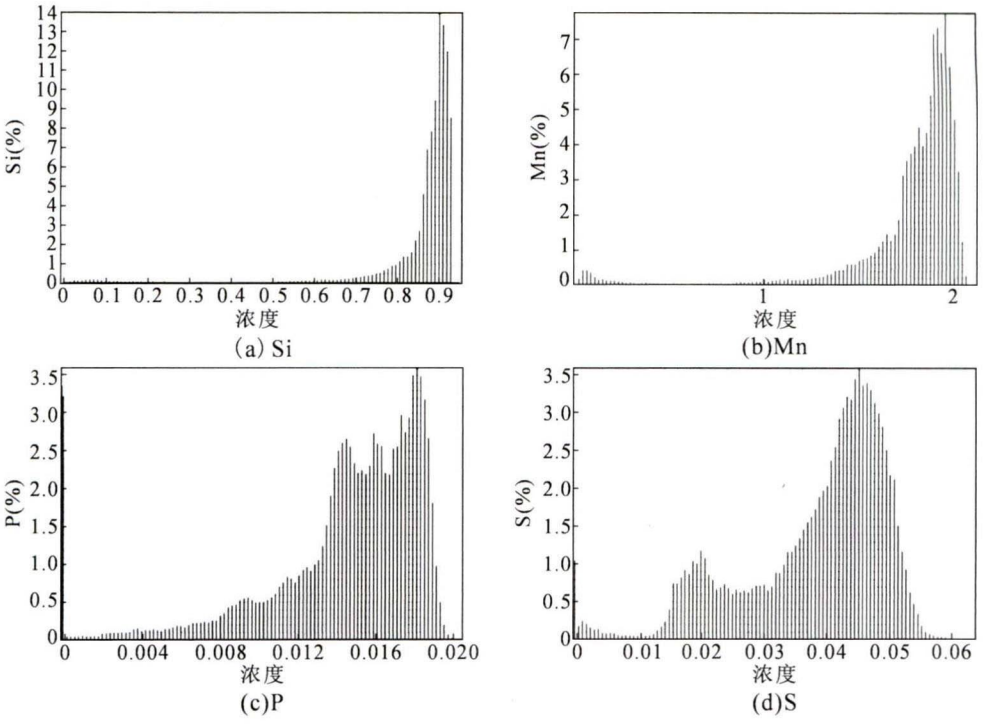


图 4 Si、Mn、P、S 元素偏析度分布图

Fig.4 Segregation degree distribution diagram of Si, Mn, P and S elements

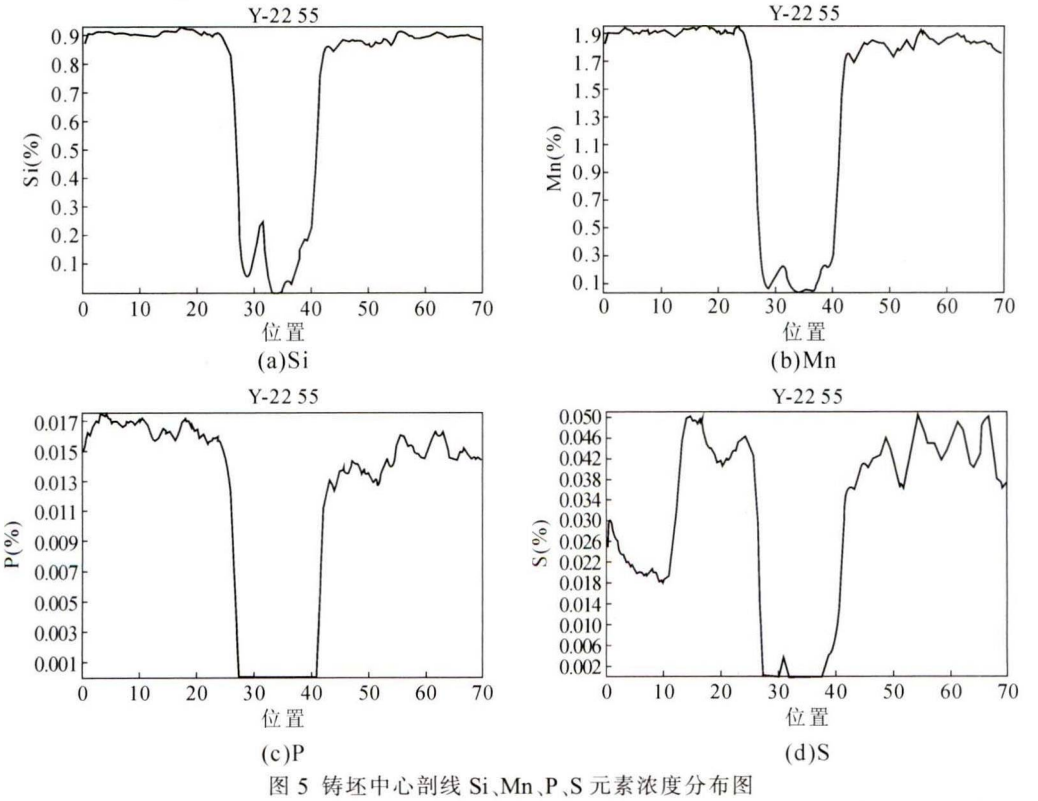


图 5 铸坯中心剖线 Si、Mn、P、S 元素浓度分布图

Fig.5 Concentration distribution diagram of Si, Mn, P, S element in the center section line of the slab

耗尽，因此呈现出严重的负偏析。

Si、Mn、P、S 元素三维分布图如图 6 所示。根据图 6(a)、图 6(b)可知，Si、Mn 元素在激发范围内整体分布较为均匀，但在铸坯中心处有明显的含量降低现象，这与二维等高图中所示的结果一致，见图 6(a)和图 6(b)；P、S 元素在激发范围内分布不均匀，尤其是 S 元素，其含量在整个激发表面波动极为明显，且在铸坯激发范围中心处也存在明显的含量降低现象，因此，在此铸坯中，P、S 元素的偏析不仅会造成严重中心缩孔，还会造成铸坯断面偏析均匀性低，从而产生裂纹，影响铸坯表面质量，造成更为严重的铸坯缺陷，见图 6(c)和图 6(d)。

2.2. 疏松度和致密度

致密度分布图可表明 Fe 基体谱线强度的变化，分析铸坯扫面面积内致密度变化情况，图 7 为致密度分布图，图 7(a)为致密度分布二维图，其中，暖色表示致密度高，冷色表示致密度低；图 7(b)为致密度分布三维图，通过对三维图立体的观察，可直观地观察铸坯缺陷情况。由图可知，在激发范围内，铸坯断面呈现出明显的中心缩孔，并且扫描区域内出现了较为严重的疏松区。疏松度和致密度具体数值如表 4 所示，在扫描区域内，出现了多处大范围的疏松区，造成统计疏松度较大；在中心缩孔处，致密度仅 53%，从而导致了铸坯断面致密度较低。

表4 致密度和疏松度分析结果

Tab.4 Analysis results of density and porosity

统计疏松度	致密度	中心位置(x,y)	中心位置致密度
0.237 2	0.836 1	[30.86, 22.55]	0.54

3 结论

(1)根据低倍组织分析法对 Q235 钢种分析可知，表面质量：铸坯下方鼓肚，角部凹陷明显，窄边存在凹陷；内部质量：铸坯内部裂纹严重。

(2)根据对 Q235 钢坯的原位检测分析，凝固

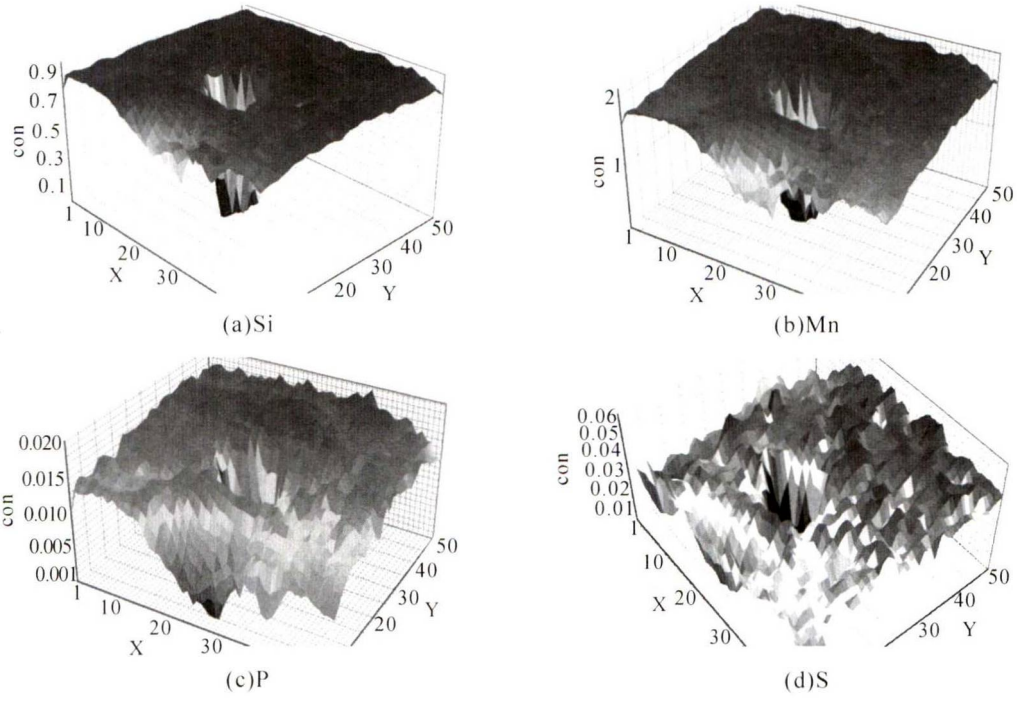


图 6 Si、Mn、P、S 元素三维分布图

Fig.6 Three-dimensional distribution diagram of Si, Mn, P, and S elements

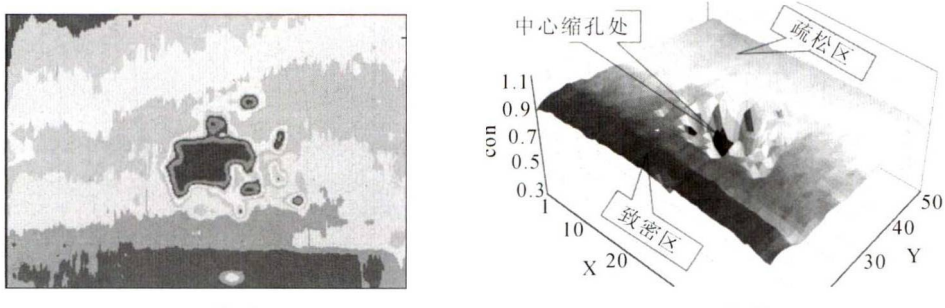


图 7 致密度分布图

Fig.7 Density distribution diagram

末期，由于选分结晶特性，大量 C 元素聚集在铸坯中心，属于正偏析；而 Si、Mn、P、S 等元素在铸坯中心出现严重的负偏析，浓度几乎为零，说明在凝固尚未完成时 Si、Mn、P、S 等元素几乎消耗殆尽。整个凝固的过程中，非金属元素不规律的析出，使铸坯出现严重偏析，致密度降低，从而造成铸坯中心缩孔和不规则裂纹缺陷。

(3)实际生产中应对内外弧喷水量进行调整，减小内弧喷水量，增大外弧喷水量，适当降低前几段喷水量，控制末段喷水。

参考文献：

[1] 郭福建. 低合金钢连铸坯中心偏析对组织性能的影响及其控制的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2020.

[2] 王臻明，赵晶，王玉龙，等. 400 mm 特厚板坯中心偏析控制的研究[J]. 连铸，2019, 44(6): 47-50.

[3] 苏瑞先，陈志军. 16MnCr5 连铸板坯中心偏析的控制研究[J]. 炼钢，2019, 35(3): 42-46.

[4] 刘丽萍，魏焕君，臧振东. 高强 IF 钢基板中心偏析及改善措施研究[J]. 轧钢，2018, 35(5): 25-28.

[5] 蔡开科，程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京: 冶金工业出版社，2008.

[6] 康吉柏，王卫领，罗腾飞，等. 20CrMnTi 钢 160 mm×160 mm 方坯内部质量控制[J]. 钢铁. 2021, 56(2): 82-92.

招贤纳士

襄阳聚力新材料科技有限公司

一、招聘销售工程师

任职要求：

1. 本科及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟悉二维、三维绘图软件者优先考虑。
2. 2 年以上铸造行业耐火材料销售或铸造涂料销售经验者。
3. 2 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 2 年以上铸造行业铁合金生产或销售经验者。
5. 2 年以上耐火材料技术研发或产品应用经验者。
6. 2 年以上铸造涂料技术研发或产品应用经验者。
7. 2 年以上有在铸造厂工作经验，对中频炉熔炼或造型工艺熟悉者。
8. 在压铸厂或铝厂工作 2 年以上，对有色金属铜铝熔炼工艺流程熟悉者。

二、招聘销售经理

任职要求：

1. 大专及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟练掌握办公软件，懂产品市场宣传，营销策划者优先考虑。
2. 5 年以上铸造行业耐火材料销售、铸造涂料或类似工业品销售经验者。
3. 5 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
5. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
6. 善于多部门或多层次沟通协调。

三、销售助理

任职要求：

1. 男性，30 岁以下，本科学历，身体健康，适合经常出差。
2. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
3. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
4. 善于多部门或多层次沟通协调。

有意向者请将简历发送至邮箱 wuhaiyan@xyjllc.com