



高强度中厚板钢的带状组织分析

李卫东 李泽源 史园园

(阳春新钢铁有限责任公司 阳春 529600)

Analysis of Band Structure in High-Strength Medium and Heavy Plate Steel

LI Wei-dong LI Zhe-yuan SHI Yuan-yuan

(Yangchun Iron and Steel Co. Ltd Yangchun 529600 China)

【摘要】采用金相显微镜、扫描电镜、能谱仪和万能材料试验机,对高强度中厚板钢的心部进行显微组织与力学性能的观察、检测和分析;利用化学分析方法对其成分进行测试,应用 J-MatPro 软件计算热轧卷板中 C、Mn、P、S 的成分偏析对相变温度的影响。试验结果表明:心部存在铁素体/珠光体带状组织;其屈服强度(367MPa)和抗拉强度(476MPa),显著下降,但延伸率率(26%)却稍微高于其表面试样,其原因与合金和杂质元素的偏析,钢液凝固速度以及夹杂物的分布有关。

关键词: 中厚板钢;带状组织;偏析;凝固速度;夹杂物

【Abstract】 The microstructure and mechanical properties in the center of high-strength medium and heavy plate steel were observed, detected and analyzed by the optical microscopy (OM) scanning electron microscopy (SEM) energy dispersive spectrum (EDS) and universal testing machine. Chemical composition of steel was tested by the chemical analysis method. The effects of C, Mn, P, S segregation in hot-rolled plate on the phase transformation temperature were examined by the J-MatPro software. The results showed that the banded microstructure mainly consisted ferrite and pearlite in the center of specimens the yield strength (367MPa) and tensile strength (476MPa) were greatly decreased and the elongation (26%) were slightly increased compared with the surface sample and the reason is due to the segregation of alloys and impurity elements solidification rate of molten steel and the distribution of inclusions.

Key Words: Medium and Heavy Plate Steel Banding Microstructure Segregation Solidification Rate Inclusion

中图分类号: TH16; TG333.7; TG14 文献标识码: A

1 引言

随着建筑、机械、造船、桥梁、锅炉、压力容器等行业的快速发展,对中厚板钢产品的品种、规格和质量要求日益提高,以满足超厚度、高强度、高韧性、高稳定性等使用要求。发展高强度中厚板钢,不仅是提高经济效益的需要,也符合国家发展战略方向的要求^[1]。中厚板板钢中,心部组织的铁素体珠光体带状组织是轧制过程中最常见的缺陷,会使材料的力学性能呈各向异性^[2-3]。导致钢板的 Z 向性能(厚度方向的拉力)降低,冲击韧性、抗疲劳能力变弱,易发生氢损伤和层状撕裂,严重降低钢板的综合力学性能及生产率的提高^[4-5]。如何有效控制中厚板钢中的带状组织缺陷的形成已引起国内同行的广泛关注。以试验的方法,研究分析中厚板钢心部组织的铁素体珠光体带状组织的形成原因。

2 试验

实验材料为探伤发现中心部位含有严重带状组织缺陷的中厚热轧板钢,板厚为 30mm,其化学成分如表 1 所示。金相试样直接在热轧钢板的纵截面上取得,在光学显微镜进行组织的观察,在扫描电镜下进行带状组织中夹杂物和拉伸断口的观察以及能谱分析,利用化学分析方法测量试样中合金元素的分布,在万

能材料试验机上进行拉伸试验(试样的标定长度为 $L_0=120\text{mm}$,厚度为 20mm,宽度 25mm),利用 J-MatPro 4.1 软件计算中厚板钢热轧钢板中 C、Mn、P、S 等成分偏析对相变温度的影响,为分析带状组织的形成提供动力学的依据。

表 1 高强度中厚板钢的化学成分 (wt%)
Tab.1 Chemical Composition of High Strength Plate Steel (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Nb	AlS	Ti
≤ 0.15	0.05~0.15	1.20~1.45	≤ 0.025	≤ 0.015	0.015~0.025	0.015~0.050	≤ 0.020

3 结果

3.1 力学性能

表 2 力学性能结果
Tab.2 Mechanics Performance Results

取样位置	屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	伸长率(%)
表面	418±14	510±11	23±3
心部	367±12	476±10	26±3

沿着中厚板钢坯的厚度方向,在表面和心部各取 2 个拉伸试样,做其力学性能分析,检测结果如表 2 所示。心部试样的屈服强度(367MPa)和抗拉强度(476MPa)显著低于表面试样(屈服

强度为 418MPa,抗拉强度为 510MPa);但心部试样的延伸率(26%)却稍高于表面试样(伸长率为 23%)。

3.2 微观组织

在光学显微镜下观察,试样表面,珠光体和铁素体组织分布基本均匀,晶粒大小和位置基本相同,珠光体在铁素体晶界上基本均匀分布,如图 1(a)所示。试样心部,可见白色铁素体(体积分数为(70~80)%,带宽为(30~40) μm 和明显的黑色珠光体(体积分数为(20~30)%,带宽为(10~20) μm 交替形成的带状组织,如图 1(b)所示。在扫描电镜下观察,试样表面,珠光体团细小均匀,如图 1(c)所示。试样心部,珠光体团明显粗大不均匀;具有大量的夹杂物,以及少量的贝氏体和马氏体,如图 1(d)所示。

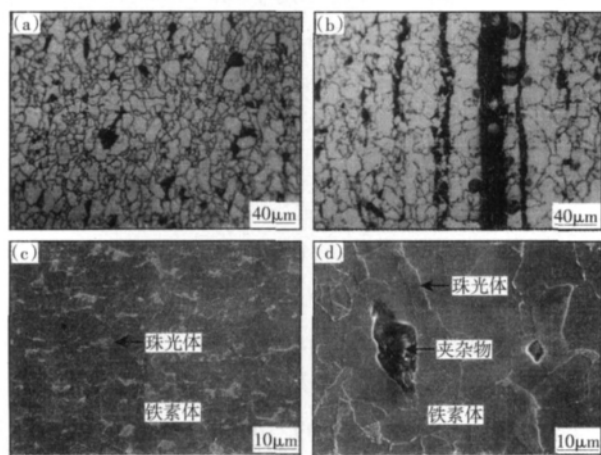
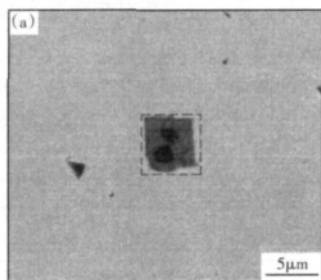


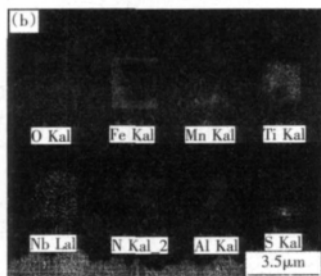
图 1 光学和扫描电镜显微组织

Fig.1 Optical and Scanning Electron Microscopy (SEM) Microstructure
图中 (a)、(c)—表面试样 (b)、(d)—心部试样。

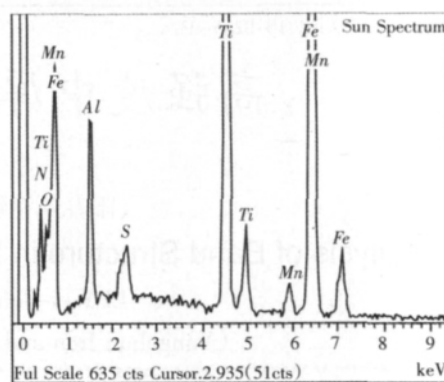
金相组织的电镜图片,如图 2 所示。从图 2 的金相组织的电镜图片中观察和能谱分析,夹杂物应为钙硅酸盐夹杂 $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$ 、硫化物 MnS 、氧化物 $\text{FeO} \cdot \text{MnO}$ 、氮化物 TiN 和碳氮化物 $\text{Nb}(\text{C}, \text{N})$;从图 3 的拉伸断口中观察和能谱分析,夹杂物应为铝酸盐夹杂物 $\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、镁尖晶石 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 和氧化物 $\text{FeO} \cdot \text{MnO}$ 。心部具有大量的非金属夹杂物组织。



(a) 带状组织区域中夹杂物



(b) 面扫描的元素分布



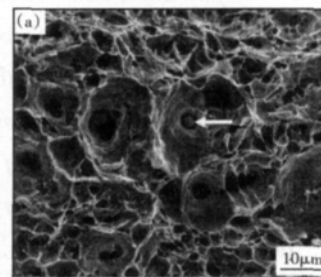
(c) 能谱图

Element	Weight%	Atomic%
NK	8.59	20.52
OK	12.35	25.83
AlK	5.48	6.80
SK	1.04	1.09
TiK	27.52	19.23
MnK	2.20	1.34
FeK	40.87	24.49
NbL	1.95	0.70
Totals	100.0	

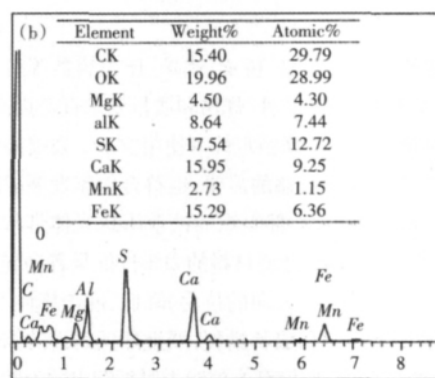
(d) 元素含量

图 2 金相组织的电镜图片

Fig.2 Electron Microscopy (SEM) Picture of Metallographic Organization



(a) 拉伸断口中夹杂物



(b) 能谱和元素含量

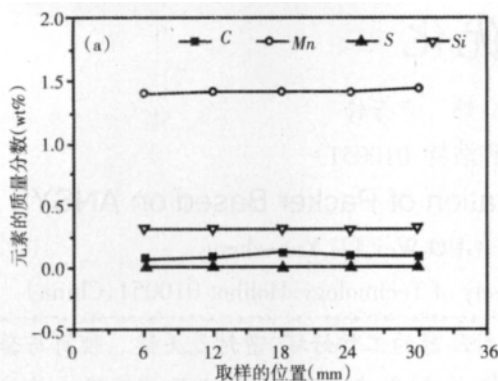
图 3 拉伸断口中观察和能谱分析示意图

Fig.3 The Tensile Fracture Observation and Energy Spectrum Analysis Diagram

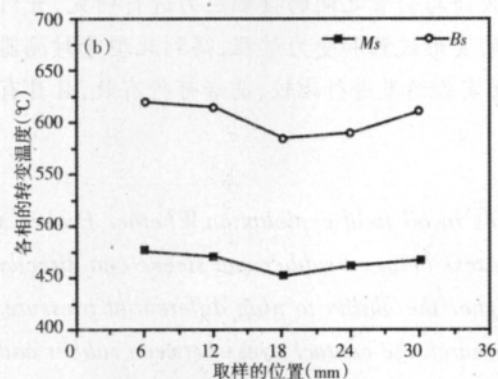
3.3 元素偏析

在中厚板钢横断面取样,采用化学分析方法测量其合金元素的含量,沿着板坯的厚度方向等距离取 5 个点。分析结果,如图 4(a)所示,可知 Mn、Si、S 元素含量基本相当,中心部位 C 元素含量很高(表面为 0.07wt%,心部为 0.12wt%,上升幅度大约为 0.05wt%),偏

析严重。用J-MatPro 软件^[6]计算可知,如图4(b)所示。合金元素的偏析显著降低贝氏体开始转变温度(B_s)(约为 36°C)和马氏体开始转变温度(M_s)(约为 25°C)。



(a) C, Si, Mn, S 元素的偏析



(b) 对 B_s 和 M_s 的影响

图4 分析结果

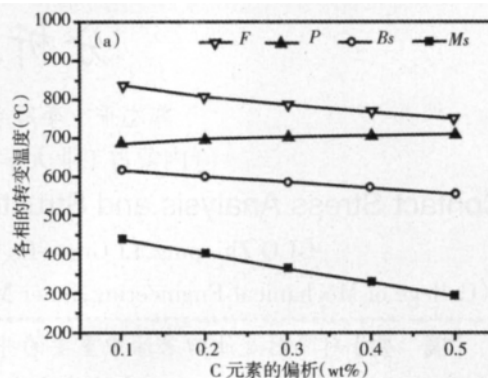
Fig.4 Analysis Results

4 讨论

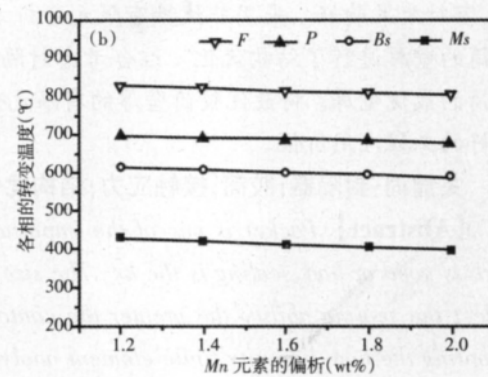
J-MatPro 4.0 软件^[6]计算的中厚板钢中 C、Mn、P、S 的成分偏析对相变温度的影响,如图5所示。可以发现,C、Mn 合金的偏析可以显著降低铁素体形成温度(F),对 B_s 和 M_s 的降低也有明显的影响;但是,P、S 杂质的偏析可以稍微升高铁素体形成温度(F),对 B_s 和 M_s 的升高没有明显的影响。心部带状组织形成是由合金元素的偏析开始的^[7]。降低铁素体析出温度的合金元素(C、Mn),铁素体在偏析区外侧形核长大,碳被排挤到尚处于奥氏体状态的偏析区,富集而转变成珠光体,结果偏析区外侧转变成铁素体,偏析区转变成珠光体;冷却到更低的温度区,形成贝氏体、马氏体的异常组织。相反,提高铁素体析出温度的杂质元素(S、P),铁素体在偏析区形核长大,碳被排挤到尚处于奥氏体状态的偏析区外侧,富集而转变为珠光体,结果偏析区转变为铁素体,偏析区外侧转变为珠光体。

由于钢液冷却凝固速度的差异,特别是中厚板,心部的凝固速度明显低于表面的区域,枝晶生长速度不同,心部容易形成具有疏松的结构或者微裂纹。由于S、Mn 等元素的中心偏析,心部通常分布了大量的硫化物夹杂(主要为 MnS),当钢板受Z向拉应力作用时,夹杂物周围产生大量位错环,位错环到达夹杂物和基体的界面时,在界面处产生应力集中,随着应力增加空穴之间互相连通沿界面形成层隙或微裂纹^[8-9]。对于中厚板钢,通常加入微

量元素钛和铌,以细化组织、改善性能,但钛和铌产生的夹杂物可能损害钢板的强度,致使钢板在承受较大拉伸应力时,沿Nb-Ti 颗粒分布的组织层开裂,严重影响轧板心部的组织和性能^[10]。



(a)



(b)

图5 中厚板钢的C、Mn、P、S 元素偏析对相变温度的影响

Fig.5 The Influence of C,Mn,P,S Element Segregation of Medium Thickness Plate Steel on the Phase Transition Temperature

5 结论

通过对中厚板钢中的铁素体/珠光体带状组织缺陷进行显微组织观察和分析,可知,中厚板钢板心部存在严重的C、Mn、P、S 元素偏析,影响各种相变的温度,是形成带状组织的原因。由于钢板表面和心部的冷却凝固速度的差异,容易形成了具有疏松的中心结构,中心区域出现贝氏体、马氏体、硫化物以及Nb-Ti 夹杂的异常组织,是导致钢板分层的主要原因。

参考文献

- [1] 张爱民,李清春.热处理中厚板的生产与发展趋势分析[J].宽厚板,2012,18(1):1-5.
- [2] 李中原.热轧板卷中心带状组织分析[J].大连铁道学院学报,2005,26(2):75-79.
- [3] 朱伟华,王玲玲.低碳合金钢中带状组织的形成机理和消减方法[J].莱钢科技,2002(1):19-22.
- [4] 赵乾.中厚板分层形成机制分析[D].沈阳:东北大学,2006.
- [5] Ervasti E, Ståhlberg U. Transversal cracks and their behavior during the hot rolling of steel slabs[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000,101(3):312-321.
- [6] J-MatPro 4.0: <http://www.cntech.com.cn/product/JMatPro.html>.
- [7] 李红.船用钢板断口开裂分层原因的分析[D].鞍山:辽宁科技大学,2008.
- [8] 张翔,刘旭辉.高强度船板钢裂纹产生原因探讨[J].钢铁,2001,36(11):46-46.
- [9] 张里,徐荣杰,郭晓宏.中板分层的原因分析[J].鞍钢技术,1997(5):42-46.
- [10] 赵鹏,乐可襄.济钢船板分层缺陷形成机制分析[J].宽厚板,2009,15(3):36-39.