

The Analysis of Fracture Defect for Low-Alloy Steel S355J0 Meeting the European Standard

Liming Fan*, Pin Liu

Shandong Iron and Steel Group Corporation, Ji'nan Shandong
Email: syflm1234@163.com

Received: Jul. 29th, 2017; accepted: Aug. 18th, 2017; published: Aug. 24th, 2017

Abstract

The paper mainly studied the reasons of tensile fracture defects of low-alloy steel S355J0 meeting the European standard. Analysis on the microstructure and the spectrum of inclusions showed that serious banded structure, the sulfide inclusion, the segregation and the abnormal structure in the core part were the main factors leading to fracture defect of the steels.

Keywords

Low-Alloy Steel Meeting the European Standard, Fracture, Segregation, Abnormal Structure

欧标低合金钢S355J0断口缺陷分析

范黎明*, 刘 品

山东钢铁集团有限公司, 山东 济南
Email: syflm1234@163.com

收稿日期: 2017年7月29日; 录用日期: 2017年8月18日; 发布日期: 2017年8月24日

摘 要

本文主要研究欧标低合金钢S355J0拉伸断口缺陷产生的原因。通过对显微组织和夹杂物能谱的分析, 得出严重带状组织、硫化物夹杂、合金元素偏析及中心异常组织是导致钢材断口产生缺陷的主要因素。

*通讯作者。

关键词

欧标低合金钢, 断口, 偏析, 异常组织

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

S355J0 属于欧标低合金高强度结构钢板, 比 Q345 系列钢板要求高, 但在强度级别、冲击值、产品尺寸公差等方面的要求又不完全等同。S355J0 产品适用范围广, 可适用桥梁、船舶、车辆及其他结构件中[1]。本次生产的 S355J0 在拉伸试验过程中试样出现断口分层, 断口伸长率过低等缺陷。本文采用扫描电镜观察及能谱分析等分析手段, 对其成分、组织、夹杂物等进行分析, 得出欧标低合金钢 S355J0 拉伸断口分层及断口伸长率过低的原因并提出解决措施。

2. 断口分层的原因分析

2.1. 化学成分及性能情况

S355J0 钢板化学成分见表 1。钢板实测力学性能及 S355J0 和 Q345 标准要求如表 2 所示, 由表 2 可以明显的看出, 钢板的力学性能并不理想, 强度过高, 断后伸长率过低, 塑性明显不足。

2.2. 组织分析

对欧标低合金钢 S355J0 纵截面进行金相分析, 图 1、图 2 分别为钢板厚度方向 1/4 处和心部 100× 的金相组织。对其心部组织进一步放大, 如图 3~图 6 所示, 可以清晰地看出, 钢板厚度方向中心部位存在异常组织并有魏氏组织存在, 且存在长度可达几百微米断续的微裂纹, 裂纹与钢板轧制面平行。

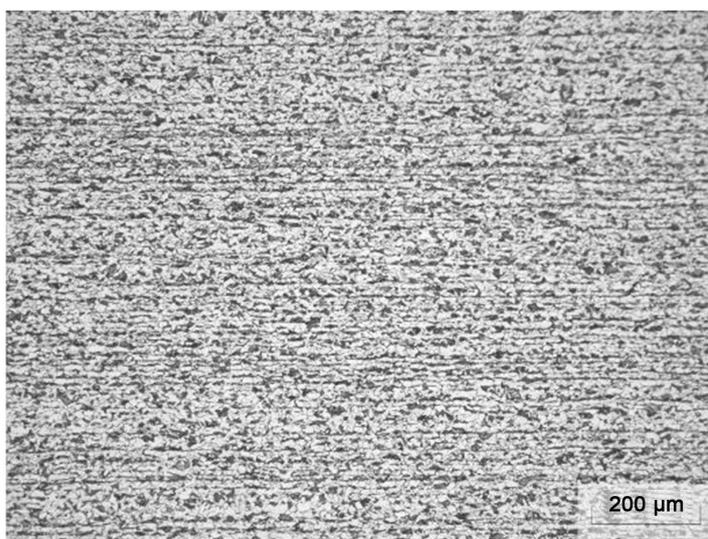


Figure 1. Structure of 1/4 thickness of steel plate

图 1. 钢板 1/4t (t 为厚度)处组织

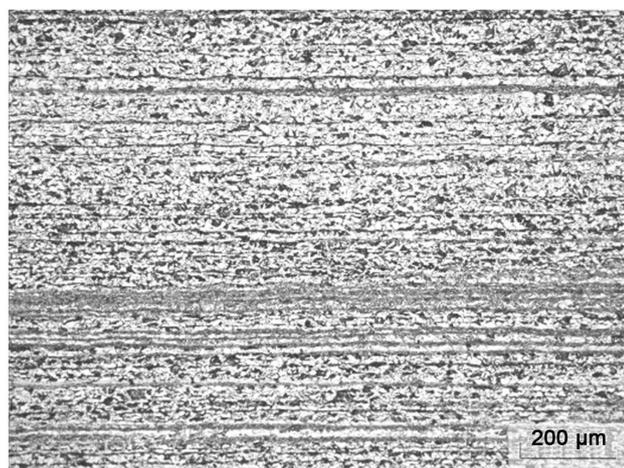


Figure 2. Structure of 1/2 thickness of steel plate
图 2. 钢板 1/2t (t 为厚度)处组织

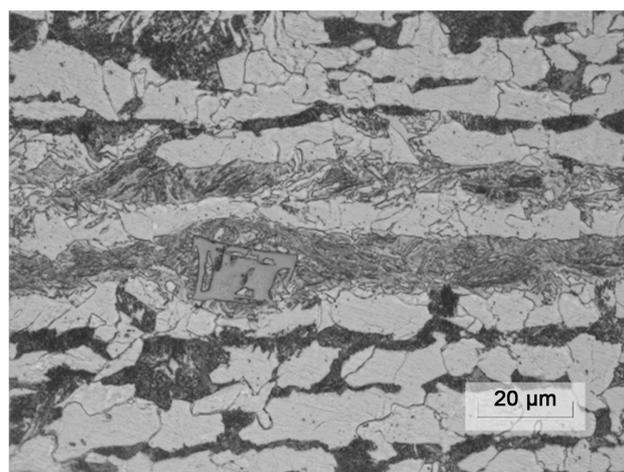


Figure 3. Abnormal structure of 1/2 thickness of steel plate
图 3. 钢板 1/2t (t 为厚度)处异常组织

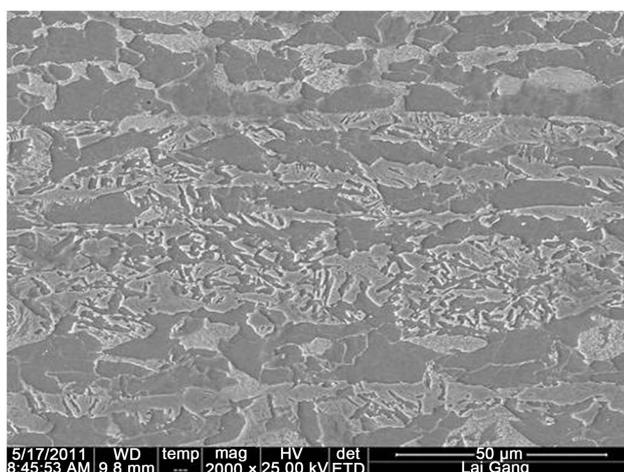


Figure 4. Abnormal structure of electron microscopy
图 4. 电镜下的异常组织

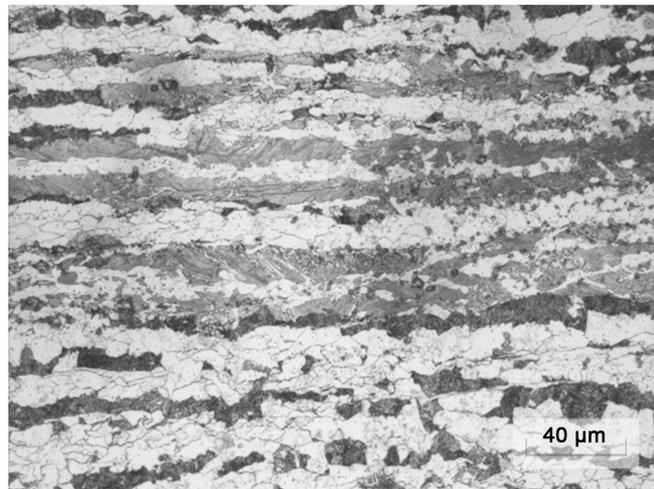


Figure 5. Microcracks of 1/2 thickness of steel plate
图 5. 钢板 1/2t (t 为厚度)处微裂纹

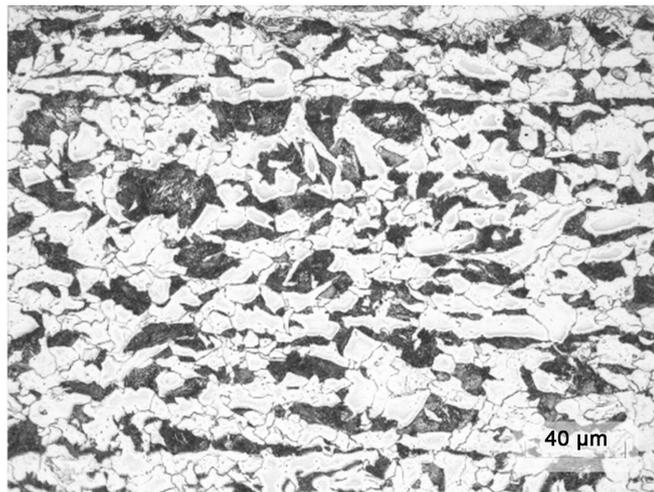


Figure 6. Widmannstatten structure of steel plate
图 6. 钢板魏氏组织

Table 1. Main components of S355J0 (mass fraction) %

表 1. S355J0 钢的主要成分(质量分数)%

C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb、Cr、Ni、Cu、B	Als
≤0.18	≤0.50	0.90~1.65	≤0.025	≤0.005	≤0.05	适量	≥0.02

Table 2. Mechanical properties and standard requirements of steel S355J0

表 2. S355J0 钢板实测力学性能及标准要求

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
实测范围	498~509	641~669	17.6~20.8
代表数值	507	657	18.5
S355J0 标准	≥355	470~630	≥20
Q345 标准	≥335	450~600	≥19

2.2.1. 显微硬度分析

用显微硬度计对金相试样心部异常组织进行显微硬度测量,显微硬度值如表 3 所示,结合试样的组织形态如图 3 所示,这些异常组织可能为贝氏体或马氏体组织,结合表 4 中各组织部位的显微硬度值分析,确定此异常组织为贝氏体组织。

2.2.2. 显微组织分析

从图 2 可以得出带状组织明显超标,并有偏析存在。此带状偏析部位中的合金元素含量高于钢板的其他部位,拉伸过程中每一个偏析带都是断裂源,从而形成拉伸断口心部层状平台,缩颈不明显,最终导致钢板的塑性不合格。由于钢板中心存在偏析,在轧后冷却过程中,钢板中心的偏析组织对应的 CCT 曲线将移动,在冷却速度不是很高的情况下心部偏析降低了临界冷却速度,使奥氏体直接发生中温转变成贝氏体,见图 3 和图 4。对缺陷组织进一步放大,发现中心有微裂纹存在,见图 5。这是因为过冷奥氏体直接转变为贝氏体的过程中体积膨胀而产生组织应力;同时在钢板轧制冷却过程中也存在温度应力和残余应力,这些内应力叠加造成应力集中,导致微裂纹产生。

通过金相组织可以看到试样中心部位的铁素体有沿着奥氏体晶界呈条片状或针状向晶内生长的趋势,即有魏氏组织的趋向,见图 6。这是由于在钢板中心形成合金元素偏析使组织中元素分布不均匀,这种偏析使局部的奥氏体稳定性增强,在相变时产生魏氏组织的趋向。

2.3. 夹杂物能谱分析

在金相显微镜下看到很多淡黄色夹杂物,还有部分硫化物,如图 7 所示,对夹杂物进行能谱分析,扫描电镜照片与金相照片相对应,见图 8 和图 9,成分见表 5。从表 5 中可以看出淡黄色夹杂物的主要成分为 TiN,并发现其中含有 Nb 元素。通过能谱分析钢板心部有 MnS 夹杂,S 是有害元素,增加冷热裂纹

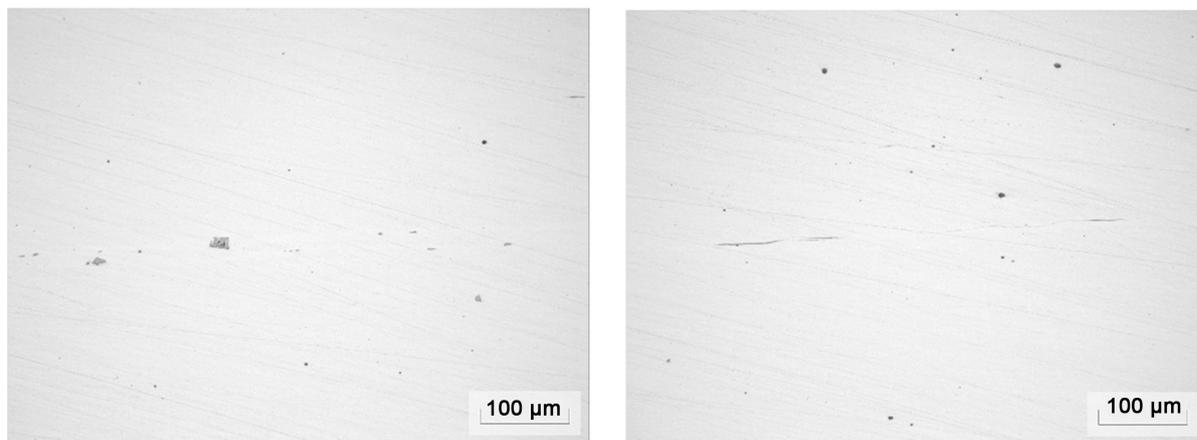


Figure 7. Inclusions in the center of the steel plate

图 7. 钢板中心部位的夹杂物

Table 3. Microhardness value

表 3. 显微硬度值

序号	载荷(gf)	晶界硬度值(HV)	晶内硬度值(HV)
1	100	320.7	459.2
2	100	312.6	450.4
3	100	326.8	468.2

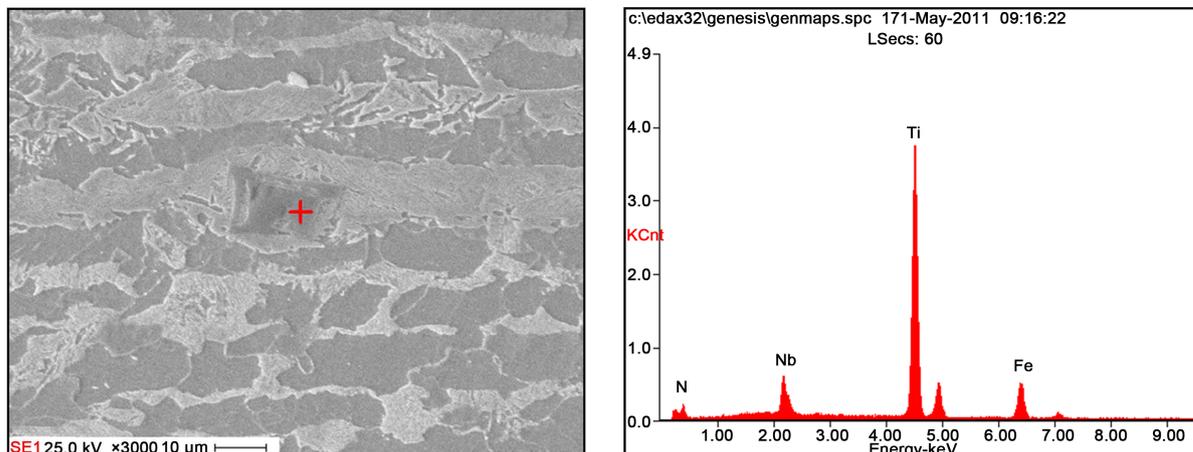


Figure 8. Analysis of inclusions in the center of the steel plate
图 8. 钢板中心部位夹杂物能谱分析

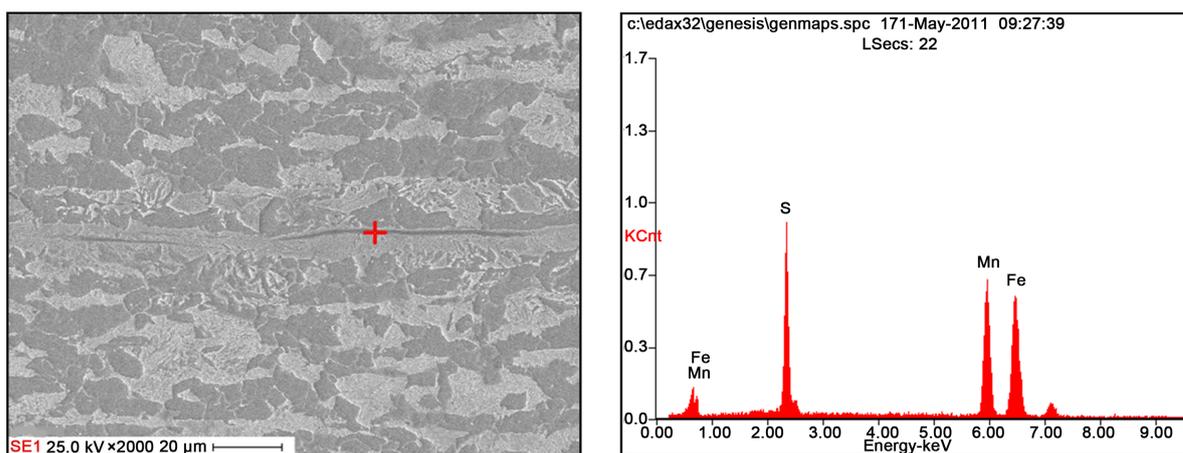


Figure 9. Analysis of inclusions in the center of the steel plate
图 9. 钢板中心部位夹杂物能谱分析

Table 4. Microhardness of each tissue site HV (Compressor load 100 gf)

表 4. 各组织部位的显微硬度 HV (压头载荷 100 gf)

项目	铁素体	珠光体	珠光体与贝氏体交界处	贝氏体或马氏体区
标准范围	204.0~230.7	258.6~285.2	292.0~338.2	401.2~530.3

Table 5. Chemical composition of inclusions

表 5. 夹杂物化学成分%

项目	淡黄色夹杂物			硫化物			
	N	Nb	Ti	Fe	S	Mn	Fe
质量分数	15.66	14.18	55.40	14.77	26.89	36.41	30.70
原子分数	41.54	5.67	42.97	9.82	38.86	36.70	30.44

的敏感性[2], 易导致分层; MnS 夹杂的界面强度小且收缩系数较大, 当其随轧制变形而伸长时, 界面处易产生空隙和微裂纹, 且微裂纹也会通过空隙而扩展, 这种 MnS 夹杂界面裂纹的三维空间形态就是分层, 尤其是横向拉伸试样中, 条带状 MnS 的长轴与拉伸方向垂直对钢板横向塑性的影响更为显著, 带状 MnS

的层状分布, 使得钢板的拉伸断口亦呈现层状, 从而影响钢板的塑性, 造成断后伸长率不合格[3]。C、Mn 均是易偏元素, 在 C 含量较高情况下, Nb 的加入加剧了组织的偏析; 从组织上看铁素体、珠光体组织比较细小, 说明 C、N、Nb、Ti 等元素弥散地溶解在奥氏体中, 抑制奥氏体形变再结晶, 阻止奥氏体晶粒的长大, 细化了晶粒, 但由于冷却速度过快, 过冷度较大, 其析出速度低于先共析铁素体和珠光体的析出速度, 使碳和这些元素大部分在晶界处以夹杂物的形式析出, 导致应力集中, 使其成为裂纹源, 出现裂纹, 这些微裂纹即为早期的裂纹源, 随着应力的提高, 加速了裂纹的开裂过程, 导致钢板的塑性明显下降。

3. 改进措施及效果

通过制定合适的加热温度, 调整碳含量、硫含量及其他合金元素的控制, 优化轧制工艺, 使钢板中的碳及其他合金元素在加热过程中充分扩散、均匀化, 减小各元素在心部的偏析; 另外, 控制连铸过程的工艺参数的稳定性可以较大程度的改善中心偏析, 可将中心成分偏析降到最低。采取一系列改进措施后生产的 S355J0 钢板实物性能完全满足标准要求。

4. 结论

综上所述, 钢板的成分偏析及钢板中存在大量的硫化物、氮化物, 造成异常组织贝氏体和魏氏组织的产生, 且促使微裂纹和分层的形成和发展, 是造成 S355J0 钢板拉伸断口分层和断口伸长率过低缺陷产生的主要原因。

参考文献 (References)

- [1] 景伟德, 王耀山, 维东, 白志杰. S355 系列钢板开发及裂纹缺陷的消除[J]. 金属世界, 2010, 32(5): 1-3.
- [2] 陈璞. 中厚钢板控轧控冷技术综述[J]. 宽厚板, 2004, 10(5): 1-9.
- [3] 程永固, 林梦桥, 王景, 赵朝, 晖陈萌. AH60 中厚板延伸性能不合原因的分析及改进[J]. 河南冶金, 2010, 18(5): 44-46.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: meng@hanspub.org