

10CrNiCu 钢拉力分层原因分析

付勇涛^{1,2}, 刘武群¹, 朱玉秀¹, 罗国华¹, 严翔¹, 陈庆丰¹

(1. 武汉钢铁(集团)公司 研究院, 湖北 武汉 430080; 2. 武汉科技大学 材料与冶金学院, 湖北 武汉 430081)

摘 要:通过电解夹杂、金相组织和电子探针等分析测试手段对 10CrNiCu 钢拉伸试验中出现的分层现象进行了分析。研究结果表明:拉力分层不是存在钢板某一个部位,而是存在整个钢板上;出现拉力分层的 10CrNiCu 钢板性能优良,夹杂总量较低,但拉力分层处(即板厚 1/2 处)存在较多条状硫化物夹杂,导致拉力分层。实践证明:降低钢中 $w(S)$,添加稀土丝或矽钙丝对钢种硫化物夹杂进行变性处理,采取低过热度浇铸、弱冷慢拉等工艺措施减小钢坯的中心偏析,可以改善 10CrNiCu 钢拉力分层现象。

关键词:拉伸试验;分层;电子探针;夹杂物

中图分类号: TG144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1447(2008)02-0047-04

Analysis on the layering in tensile test of 10CrNiCu Plate

FU Yong-tao^{1,2}, LIU Wu-qun¹, ZHU Yu-xiu¹, LUO Guo-hua¹, YAN Xiang¹, CHEN Qing-feng¹

(1. Research and Development Center of WISCO, Wuhan 430080, China; 2. College of Materials and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: This paper studies the layering in tensile test of 10CrNiCu plate by ionizing impurities, metallographic and EPMA. The results show that the layering in tensile test is existed not just on some area of plate, but on whole plate. The tested plate has good mechanical properties and the amount of impurities is very low. But there are a lot of sulfides impurities on the place of layer (1/2 of thickness), which results in the layering of plate. The layering of plate can be solved by reducing the amount of S in plate, changing the impurities' shape by adding RE and Si-Ca wires to steel, as well as reducing central segregation by casting in low temperature and cooling the slab in slow velocity and tugging the slab in low velocity.

Key words: tensile test; layering; EMPA; segregation

10CrNiCu 钢是一种优质船舶结构用钢,力学性能优良,焊接性能和造船工艺性能好,但该钢在生产中力学性能检验时,出现部分因拉伸试验后断口中心部位裂开而判废的钢板(以下简称拉力分层),影响了该钢的推广应用。

钢板分层现象是钢板容易出现的主要缺陷之一,在很多文献中就此现象进行了研究^[1~4],但本文中提及的拉伸分层显然与钢板分层不同,也没有相关文献进行报道。为找到 10CrNiCu 钢的拉力分层的原因,便于进一步改进工艺,提高 10CrNiCu 钢的性能合格率,进行了如下试验分析。

1 试验材料及方法

试样取至轧制后经高温回火(回火温度 670 ℃,保温 50 min)的出现拉力分层 12 mm 10CrNiCu 钢板,主要元素化学成分见表 1,在板长头、中、尾方向板宽 1/4 处取样,按照 GB/T228 测试了钢板的拉伸性能,GB/T229 测试钢板的冲击性能,检验是否整块钢板均存在分层现象。钢板拉力分层及取样示意图见图 1。在钢板板厚 1/2 处加工电解夹杂样,测试钢板夹杂物含量情况。按照 GB/T10561 方法测试拉力分层钢板组织情况,通过电

子探针测试钢板拉力分层处微区组织及成分。

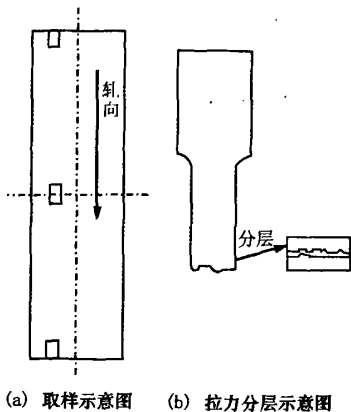


图 1 10CrNiCu 钢取样及拉力分层示意图

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.070	0.540	0.880	0.016	0.010	0.450

2 试验结果

2.1 拉力及冲击试验

拉力及冲击试验测试结果见图 2。从试验结果来看,本次进行试验的钢板头、中、尾处性能相当,均满足 10CrNiCu 钢交货要求 (R_m : 535 ~ 685 MPa, $-40\text{ }^{\circ}\text{C Akv} \geq 27\text{ J}$),但以上头、中、尾试样均出现拉力分层现象,表明拉力分层并非存在钢板某一部位,而是存在该批钢板的各个部位。

2.2 电解夹杂分析

10CrNiCu 钢电解夹杂分析结果见表 2。分析结果表明,出现拉力分层 10CrNiCu 钢板存在 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 等氧化夹杂,头尾处夹杂含量较高,中部夹杂含量较小,但头、中、尾 3 处氧化夹杂

物总量均处于同一水平,均在 29×10^{-6} 以下,说明 10CrNiCu 钢夹杂物控制水平较高。

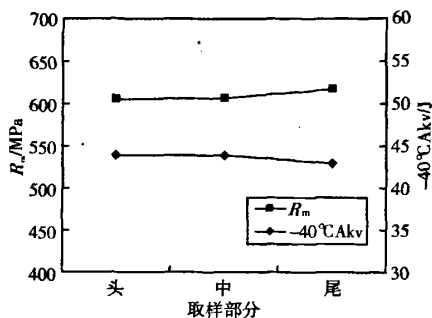


图 2 10CrNiCu 钢拉力及冲击试验结果

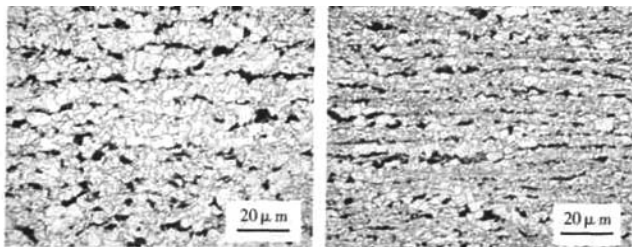
表 2 拉力分层 10CrNiCu 钢板电解夹杂分析 (w_B) %

编号	SiO_2	Al_2O_3	MnO	TiO_2	氧化夹杂总量
头	0.001 2	0.001 2	<0.000 1	0.000 2	0.002 6
中	0.000 9	0.001 2	<0.000 1	0.000 1	0.002 2
尾	0.001 5	0.001 2	<0.000 1	0.000 2	0.002 9

2.3 组织及夹杂

出现拉力分层钢板在板厚 1/4 和 1/2 处组织见图 3。由于拉力分层均出现在板厚 1/2 处,因此 1/4 处可视为 10CrNiCu 钢板的正常部位组织,1/2 处则为出现拉力分层处组织。组织观察结果表明两处均为条带状的细小珠光体 + 铁素体组织,铁素体晶粒度为 ASTM No. 11 ~ 12 级。

用电子探针对头、中、尾试样出现拉力分层 1/2 处进行分析,发现部位存在较多的条状硫化物夹杂,主要为密集的 MnS 夹杂,也存在少量有 TiS 、 TiN 夹杂,见图 4 ~ 图 6。而试样 1/4 处基本没发现夹杂物的存在。



(a) 1/4 处 (细 P+F)

(b) 1/2 处 (细 P+F)

图 3 钢板金相组织照片

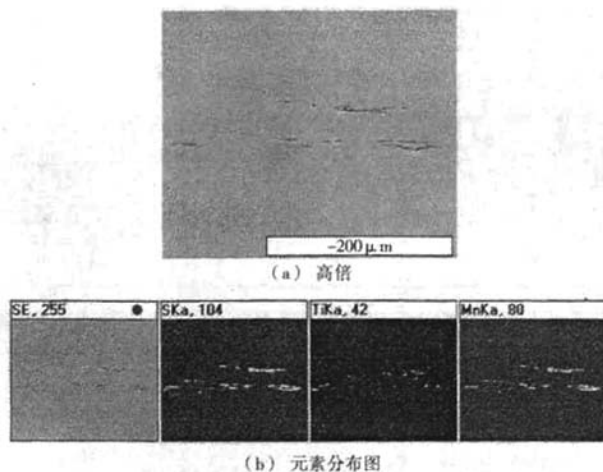


图4 头部试样 1/2 处条状夹杂(以 MnS 为主,含有少量 TiS + TiN)

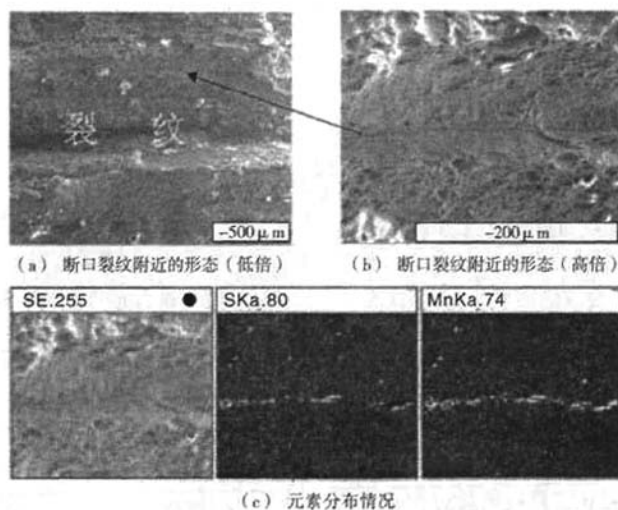


图5 中部试样 1/2 处粒状夹杂物(主要为 MnS)

3 分析及措施

从以上试验可以发现,出现拉力分层的 10CrNiCu 钢板力学性能优良,夹杂总量较低,但拉力分层处(即板厚 1/2 处)存在较多的条状硫化物夹杂。可认为这些夹杂物是 10CrNiCu 钢板产生拉力分层的最主要的原因。因为钢板宏观 S 含量虽不高,但若聚集在中心部位,则硫含量将远远高于所测出的硫含量,因此钢板夹杂总量虽较低,但板厚 1/2 处硫化物夹杂含量却远高于钢板平均水平。以上夹杂物以 MnS 等为主,MnS 具有较高熔点(1610℃),可以有效的防止热脆,在高温时也

有着良好的塑性^[5],但低温时不可能与铁基体有着相同的塑性,在钢板厚度方向的差异更大,因此 10CrNiCu 钢进行拉伸试验时将由于硫化物与铁基体的差异而产生分层的现象。

实践证明,在采取以下措施后,10CrNiCu 钢的拉力分层现象得到了很大的改善。

(1) 在炼钢过程中进一步降低 $w(S)$ 。10CrNiCu 钢是一种高 $w(Mn)$ 的钢,其目标 $w(Mn)$ 为 0.9%,而当钢中 $w(Mn)$ 在 1.0% 左右时,S 在钢中因极易与 Mn 形成 MnS 而有着较高的溶解度。要解决拉力分层的现象,从根本上来讲,就是降低钢中 MnS 夹杂的含量,因此控制炼钢过程中

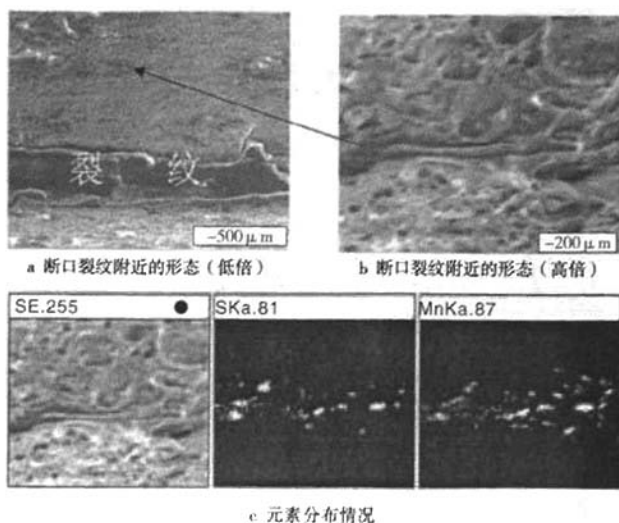


图 6 尾部试样 1/2 处粒状夹杂物(主要为 MnS)

$w(S)$ 是最有效的途径之一。经统计,出现拉力分层 10CrNiCu 钢的 $w(S)$ 为 0.009 % ~ 0.012 %,要改善拉力分层现象, $w(S)$ 应控制到 0.005 % 以下。

(2)将硫化物夹杂特别是 MnS 夹杂进行变性处理,将其控制为对钢危害较小的形态。MnS 在钢中有着 3 种形态,Ⅰ型呈球状,Ⅱ型呈枝晶间共晶形态,Ⅲ型呈不规则的角状质点形态。其中Ⅰ型和Ⅲ型在轧钢时将变成椭圆形状,Ⅱ型在轧制时将转动到轧制平面方向上,引起钢材横向塑性和韧性急剧下降,是十分有害的^[6]。因此,应尽量将 MnS 形态控制成Ⅰ型和Ⅲ型。加入稀土或喂矽钙丝是将硫化物变性处理的最有效途径。稀土可以强烈降低 O 和 S 在 Al、Mn 处理钢水中的溶解度,硫化物和氧化物夹杂在凝固前就有机会上浮,从而使钢中部分去 S,同时强化了硫化物。但为了用这种方法改变夹杂物形态和完全消除 MnS 夹杂,RE/S 比必须大于 4,这样有利于消除纵向冲击性能的差异^[7]。当 $w(Ca)$ 达到 15×10^{-6} 这样低时,就能消除链状的铝酸盐和第Ⅱ型 MnS,从而控制好 MnS 形态^[7],使得 MnS 以球状弥散分布,大大减轻 MnS 在中心部位的偏析,不会影响到钢板的性能。因此,在真空处理完毕后吨钢喂入 150 g 矽钙丝或在结晶器中喂入 100 ~ 150 g 的包芯线,能很好的将 MnS 夹杂进行变性处理,从而改善 10CrNiCu 钢板的拉力分层现象。

(3)减小钢坯的中心偏析。拉力分层也是一种中心偏析现象的一个反映,要消除拉力分层,必

须减小中心偏析,采取低过热度浇铸(过热度控制在 5 ~ 15 ℃)、弱冷慢拉(减小二冷水段水表流量,典型拉速控制在 0.9 ~ 1.0 m/min 左右)等工艺措施,减小钢坯的中心偏析。

4 结 论

(1)10CrNiCu 钢板拉力分层处存在较多的条状硫化物夹杂,由于以上夹杂与铁基体常温时在塑性上的差异,导致了 10CrNiCu 钢拉伸试验分层现象的出现。

(2)降低钢中 $w(S)$,添加稀土丝或矽钙丝对钢种硫化物夹杂进行变性处理,采取低过热度浇铸、弱冷慢拉等工艺措施减小钢坯的中心偏析,可以改善 10CrNiCu 钢拉力分层现象。

【参考文献】

- [1] 高峰,海超,李媛媛,等. 铁道车辆用 09CuPTiRE 耐候钢板分层的分析[J]. 特殊钢,2002,(4):45.
- [2] 余建文,谭云松. 钢板分层问题的探讨[J]. 锅炉制造,2001(1):45.
- [3] 吕亚平. 浅谈影响铸坯质量和钢板分层的主要因素[J]. 钢铁科技,2005,(2):46.
- [4] 任晓春,巴爱叶. 压力容器钢板分层缺陷检测及处理[J]. 锅炉压力容器安全技术,2002,(5):52.
- [5] 郑明新. 工程材料[M]. 北京:清华大学出版社 1991.
- [6] 赵沛. 合金钢冶炼[M]. 北京:冶金工业出版社 1992.
- [7] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社 1989.

(收稿日期:2007-06-19)