20Mn2 无缝钢管角部裂纹质量分析与对策

丰小冬,贺景春,井溢农

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 20Mn2 无缝钢管在推方过程中,角部出现细微裂纹,对管体进行了化学成分及热酸低倍检验,利用金相显微镜和扫描电镜对其进行微观分析。分析表明,非金属夹杂物是引起裂纹的主要原因,并对夹杂物做定性分析,找出其来源,并提出相应的改进措施。

关键词: 无缝钢管; 推 方; 裂 纹; 非金属夹杂物

中图分类号: TG335.71 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)03-0042-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.013

Quality Analysis and Countermeasures on Corner Cracks of 20Mn2 Seamless Steel Tube

FENG Xiao-dong, HE Jing-chun, JING Yi-nong

(*Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the thrusting block process of 20Mn2 seamless steel tube, there are fine cracks in the corner. The tube is inspected through chemical composition test and macroscopic examination of hot acid etching, the micro structure is analyzed by means of metallographic microscope and scanning electron microscope. The analysis shows that the nonmetallic inclusions are the main cause of cracks, and the qualitative analysis of the inclusions is made to find out the source and to put forward the corresponding improvement measures.

Key words: seamless steel tube; thrusting block; cracks; nonmetallic inclusion

无缝钢管厂生产的20Mn2无缝钢管、规格为Φ177.8 mm×10.0 mm,在对其进行推方的过程中,一侧角部出现纵向裂纹。通过喷砂和打磨处理,有些裂纹仍不能得以消除。为此取问题管样,进行理化性能检测,以便分析裂纹产生原因。无缝钢管生产工艺:铁水预处理→转炉冶炼→LF炉精炼→圆坯连铸→管坯加热→菌式穿孔→MPM连续轧管→三辊定径→高频加热→缩径→推方→热处理→喷砂。

1 检验分析

取样状态:热轧后无裂纹的圆管样和推方后出现角部裂纹的方管样;裂纹宏观特征:方管样一侧角部出现纵向裂纹,裂纹宽度在0.5~1.0 mm之间、裂纹深度在2.5~3.0 mm之间、裂纹长度在30~50 mm之间,且有约10°的旋进角,管体表面无明显的刮伤痕迹;检验项目:在圆管样和方管样上各取一组试样进行化学成分及气体含量的检测,在圆管样上取一环样进行热酸低倍检验,在方管样有纵向裂纹的角部取金相样进行高倍检验,并通过扫描电镜对典型的夹杂物进行能谱分析。

2 结果分析

2.1 化学成分检验

从化学成分及气体含量的检测结果(见表1)可

收稿日期:2017-01-17

作者简介:丰小冬(1975-),男,内蒙古包头市人,高级工程师,从事无缝钢管产品研发及质量攻关。

看出，圆管样和方管样的化学成分和气体含量均在　　标准要求范围内。

表 1　化学成分及气体含量的检测结果(质量分数)

试样	化学成分的检测结果/%						气体的检测结果/10^{-6}		
	C	Si	Mn	P	S	Al_{total}	[N]	$[O]_{total}$	[H]
圆管样	0.20	0.23	1.56	0.016	0.009	0.019	56	13	0.8
方管样	0.19	0.22	1.55	0.017	0.007	0.022	53	15	0.7
20Mn2	0.17～0.23	0.17～0.37	1.5～1.8	≤0.025	≤0.020	≤0.04			

2.2　热酸腐蚀低倍检验

经热酸腐蚀低倍检验发现，环样靠近外表面沿整个圆周 1/4 的区域存在轻微的点腐蚀，腐蚀点宽约 0.1～0.2 mm，长度不等且不连贯，而其它部位的情况相对较好。

2.3　高倍金相检验

金相组织检验结果见图 1，方管样的基体组织为铁素体＋珠光体，晶粒度为 9.5 级，存在轻微的带状组织，无明显脱碳层。

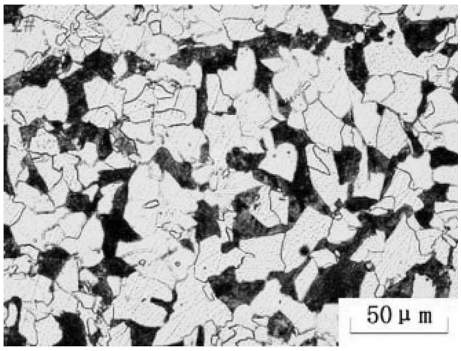


图 1　方管样的金相组织

从非金属夹杂物检验结果(见表 2)可看出，基体的非金属夹杂物含量较高，硫化物的级别为 0.5 级，氧化物的级别为 3.0 级，硅酸盐的级别为 1.0 级，球状氧化物的级别为 1.5 级。

表 2　非金属夹杂物检验结果

	夹杂物/级			
	A	B	C	D
方管样	0.5	3.0	1.0	1.5

2.4　电镜扫描和能谱分析

典型夹杂物的能谱谱线见图 2。由图可知，夹杂物的化学成分主要是 Al、Ca 和 O，还含有少量的 Na、Si、K、S 和 Fe。

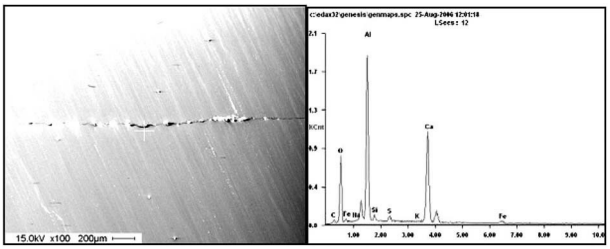


图 2　夹杂物形貌及成分组成

3　分析与讨论

非金属夹杂物破坏了钢基体的连续性和致密性，造成应力集中，降低钢的机械性能及加工性能，在热酸的腐蚀下发生点腐蚀[1]。

3.1　夹杂物的组成分析

根据夹杂物的化学组成可初步推断夹杂物主要为氧化铝(Al_2O_3)和含钙的铝酸盐($mCaO \cdot nAl_2O_3$)，还含有少量的硅酸盐(硅酸钠 $2Na_2O \cdot SiO_2$、硅酸钙 $2CaO \cdot SiO_2$ 和硅酸钾 $2K_2O \cdot SiO_2$)和硫化物(硫化钙 CaS 和硫化亚铁 FeS)。

Al_2O_3 属于脆性夹杂，硬度高且难以熔化，在热加工过程中尺寸和形状不发生变化，沿加工方向呈串链状分布(见图 2)。$mCaO \cdot nAl_2O_3$ 和高熔点的 CaS 均属于不变形夹杂，熔点高且在热加工过程中不变形，仍保持散点状或球状，夹杂的颗粒一般比较大。硅酸盐夹杂常以多相形式复合存在，当钢水凝固速度较快时，液态的硅酸盐来不及结晶，会以过冷液体(玻璃态)的形态存在于钢中[2]。低熔点的 FeS 属于塑性夹杂，在热加工过程沿加工方向延伸呈条状排列。

3.2　夹杂物的来源分析

转炉出钢采用有 Al 工艺进行终脱氧，精炼炉喂 CaSi 线进行深脱硫，这些终脱氧产物和深脱硫产物，在精炼后期由于吹氩搅拌不当，致使夹杂未能充分上浮和分离而留在钢水中。

夹杂成分中含有少量 Na 和 K 元素说明钢水中

卷入了部分保护渣[3]，分析原因是由于拉坯速度不稳定，引起结晶器内钢液波动，不断的冲刷致使保护渣卷入钢液中。

采用弧形连铸机，液相穴内的夹杂物被内弧侧捕捉而未能上浮到结晶器液面，因而在管坯圆截面的内弧侧造成大量的聚集[3]，形成皮下夹杂。

3.3 枝晶偏析的形成分析

C、Mn元素在固相中和液相中的溶解度有差异，凝固过程中不断析出的C、Mn元素被排挤到未结晶的液相中，随着凝固界面的推进，C、Mn元素的浓度在逐步增大，最后被固定在后凝固的枝晶间，造成C、Mn元素在枝晶内的含量低于枝晶间的含量[3]。

结晶器电磁搅拌工艺参数设计不当，搅动强度不够，运动的钢水不能有效打碎树枝晶；凝固末端电磁搅拌工艺参数设计不当，搅动强度不够，不能将液相穴末端糊状区富集C、Mn元素的液体分散在周围区域，造成中心偏析[3]。

二冷区的冷却强度偏低，外围不断析出的C、Mn元素有充足的时间向液芯部进行扩散，选分结晶进行的比较充分，造成圆铸坯中心的C、Mn元素含量最高[3]。

3.4 带状组织的形成分析

C元素在奥氏体中的扩散速度相对要明显快于Mn元素，在圆铸坯的加热过程中，C元素优先达到相对均匀，但Mn元素不能均匀分布。由于C、Mn元素在固相中的扩散速度非常缓慢，因此，枝晶偏析大部分能够继续存在[3]。

固溶在奥氏体中的C、Mn元素能够降低奥氏体向铁素体的转变温度A_3，使枝晶内和枝晶间处的转变温度A_3出现差别。热轧后的钢管从奥氏体区开始冷却，温度降到A_3时枝晶内开始析出铁素体，析出的C、Mn元素向枝晶周围扩散，温度降到低于A_3时在枝晶周围仍然能够析出铁素体，温度降到A_1时枝晶间发生共析反应形成珠光体[4]。

高频加热升温速度极快，奥氏体化后C、Mn元素来不及进行扩散，成分偏析能够稳定存在。变形后的钢管在冷却过程中发生相变，再次形成带状组织，并保留原来的位向。带状组织使钢管的性能出现方向性，降低横向力学性能。

3.5 显微裂纹的形成分析

在斜轧穿孔过程中，管坯表面层受三向压应力作用，管坯中间的塑性区不仅受切应力作用，还受到切向、轴向拉应力作用。在切应力的作用下，金属发生滑移、孪生等塑性变形[4]。管坯内弧侧的皮下存在大颗粒的氧化铝(Al_2O_3)和含钙的铝酸盐($mCaO \cdot nAl_2O_3$)，在轧制过程中会形成串链状，能够强烈隔离周围的金属，造成该部位的金属受力不均，降低界面间的结合力。

缩径过程中晶粒在应力的作用下伸长并破碎，晶格发生畸变，导致位错密度大幅增加，但位错的宽度较小，易于通过位错的攀移或交滑移实现动态回复，造成异号位错对消，减少位错数目，达到软化的目的[4]。缩径速度偏快导致加工硬化程度超过回复软化程度[4]。

缩径过程中不变形的夹杂物会与基体金属间产生相对滑动，导致金属破裂，沿变形方向形成不连续的纵向显微裂纹源。由于穿孔过程属于斜轧，对管坯产生巨大的扭矩，故裂纹多表现为螺旋状，而轧管过程和定径过程均属于纵轧，随着钢管的纵向延伸，螺旋角度在变小。

3.6 显微裂纹的扩展分析

推方温度偏低导致加工硬化程度超过回复软化程度[4]。在推方过程中，角部的内表面沿管体的横截面方向将产生切向压应力，角部的外表面沿管体的横截面方向将产生切向拉应力(属于破坏性应力)，若显微裂纹源恰巧位于此处，则会为裂纹的扩展提供能量。由于夹杂物的分布均靠近管体的外表面，根据最小阻力定律，裂纹将向外表面扩展形成纵向裂纹。

随着裂纹的扩展，裂纹尖端的应力也随之增大，而此时钢管的有效截面却在减小，但这并不意味着一定会引起材料的宏观裂纹，因为显微裂纹尺寸一般远小于临界裂纹长度。

裂纹在扩展过程中若遇到铁素体(韧性相)，铁素体会产生塑性变形，吸收变形功从而松弛应力，导致裂纹尖端的曲率半径增大而发生钝化，增大裂纹扩展的阻力，使得裂纹难以继续扩展，所以裂纹多表现为不连续。

4 改进措施

4.1 关于夹杂物的改进措施

控制适宜的氩气流量和工作压力、保证足够的软吹时间，以便让终脱氧产物和深脱硫产物有充分的条件浮入渣中。

保证相对稳定的拉坯速度，选用熔化速度快，流

动性好的保护渣，同时在操作上要勤加和少加、并及时挑出渣圈。

4.2　关于枝晶偏析的改进措施

针对结晶器和凝固末端电磁搅拌工艺，选择适宜的电流强度和电源频率，保证足够的钢水搅动强度，有效打碎树枝晶，并将液相穴末端糊状区富集 C、Mn 元素的液体及时分散在周围区域，减轻铸坯中心偏析。

适当增加二冷比水量，加快二冷区的冷却速度，使选分结晶不能充分进行，快速凝固使 C、Mn 元素来不及析出和扩散，能够减轻圆铸坯的成分偏析。二冷比水量也不宜过大，否则会造成凝固末端的温度梯度过大，促进柱状晶的生长，圆铸坯在凝固后的疏松比较严重。

4.3　关于带状组织的改进措施

适当提升圆铸坯的加热温度或延长保温时间，通过 C、Mn 元素的充分扩散达到奥氏体成分的相对均匀，以减轻枝晶偏析对相变的影响。

适当加快钢管热轧后的冷却速度，使选分结晶不能充分进行，组织相变时 C、Mn 元素来不及析出和扩散，以减轻带状组织程度。

4.4　关于变形温度和变形速度的改进措施

适当提高缩径过程和推方过程中管体的温度，必要时可以再次进行高频加热，使管体充分进行动态回复，以消除内应力、降低加工硬化程度。

在设备能力的承受范围内，适当降低缩径过程和推方过程中管体的变形速度，使管体充分进行动态回复，以消除内应力、降低加工硬化程度。

5　实施效果

经过对后续 20Mn2 钢管的生产跟踪，圆铸坯的枝晶偏析得到明显改善，非金属夹杂物含量和级别也大幅降低，管体的带状组织也相应得到明显改善，在缩径和推方过程中均未出现角部裂纹。

6　结论

(1) 精炼后期吹氩搅拌工艺控制不当，夹杂未能充分上浮和分离而留在钢水中。拉坯速度不稳定，引起结晶器内钢液波动，致使保护渣卷入钢液中。连铸阶段液相穴内的夹杂物被内弧侧捕捉而不能上浮到结晶器液面，聚集在圆管坯的内弧侧。

(2) 结晶器电磁搅拌强度不够，导致运动的钢水不能打碎树枝晶。凝固末端电磁搅拌强度不够，液相穴末端的糊状区富集 C、Mn 元素，造成中心成分偏析。二冷区的冷速偏低导致选分结晶能够充分进行，圆铸坯在凝固过程中发生枝晶偏析，C、Mn 元素在枝晶内的含量低于枝晶间的含量。

(3) 在圆铸坯的加热过程中，枝晶偏析大部分能够继续存在，Mn 元素的不均匀分布导致枝晶内和枝晶间的转变温度 A_3 出现差别，增加了铁素体的析出量，枝晶及周围形成铁素体，枝晶间形成珠光体，铁素体和珠光体沿带状分布。

(4) 高频加热升温速度极快，C、Mn 元素来不及扩散，成分偏析能够稳定存在。变形后的钢管在冷却过程中再次形成带状组织，并保留原来的位向。带状组织使钢管的性能出现方向性，降低横向力学性能。

(5) 管体在缩径过程和推方过程中因发生晶格畸变而产生加工硬化，因发生动态回复而产生软化。由于变形温度偏低或变形速度偏快，导致加工硬化相对占据主导地位。

(6) 钢中存在大颗粒的氧化铝(Al_2O_3)和含钙的铝酸盐($mCaO \cdot nAl_2O_3$)，在轧制过程中会形成串链状，能够隔离周围的金属，造成应力集中。在缩径过程中不变形的夹杂物与基体金属间产生相对滑动，导致金属破裂，沿变形方向形成显微裂纹源。

(7) 推方过程中，角部的外表面沿管体横截面方向产生切向拉应力，这为显微裂纹的扩展提供能量，裂纹朝着阻力较小的外表面扩展形成纵向裂纹。铁素体的大量存在，增大裂纹扩展的阻力，导致裂纹不能连续。

参　考　文　献

[1] 刘羽辉. 金属材料物理性能检验标准工作手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1985.

[2] 王雅贞, 李承祚. 转炉炼钢问答 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.

[3] 蔡开科. 连续铸钢 500 问 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

[4] 刘宗昌, 李文学, 任慧平, 等. 材料组织结构转变原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.