

高频焊管开裂原因分析及探索

Analysis and Exploration on Cracking of High Frequency Welded Pipe

供稿|王亚芬^{1,2}, 韩丹^{1,2}, 王禹^{1,2}, 杜洪志³ / WANG Yafen^{1,2}, HAN Dan^{1,2}, WANG Yu^{1,2}, DU Hongzhi³

内容导读

针对高频焊管开裂问题,通过宏观形貌对比、焊缝断面夹杂物分析、焊缝区组织分析、流线角分析并采用扫描电镜及X射线能谱仪对开裂处进行了微观组织和元素分析,探讨了高频焊管裂纹的产生原因和消除措施。结果表明,焊管开裂主要由于母材板厚1/4处或1/2处存在夹杂物带以及带状组织,在挤压力的作用下金属流动方向显著,夹杂物带与带状组织沿着金属流动的方向呈扇形带状分布,容易造成分层,当去除内外毛刺时这些夹杂物和分层就会露出表面,形成裂纹。通过改善工艺条件,如适当提高焊接温度,减小挤压力,及金属流线角度,以抵消带状组织的不良效应,或可减轻乃至消除此类问题。

高频焊接制管是目前最快和最有效的制管方法,因具有焊接速度快、热影响区小、对工件可以不清理、可焊薄壁管和金属管等特点被广泛应用。但是高频焊接制管会产生各种焊接缺陷,而焊管开裂是制管过程中常见的主要缺陷之一^[1-3]。

某公司生产的冷轧卷Q235B-L,供A钢管公司与B制管公司制管后存在开裂现象,造成制管成材率下降,质量不稳定等,因此研究此类问题的产生原因是非常必要的。

实验材料及方法

高频焊管原料Q235B-L的主要化学成分如表1所示。制管生产工艺流程为:分条→开卷→成

表1 Q235B-L主要化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S
0.10~0.15	≤0.30	0.3~0.5	≤0.020	≤0.020

型→高频焊接→去内外毛刺→冷却→定径→涡流探伤→矫直→飞锯切断→倒角→打包入库。

高频焊接是制管工艺中最重要的一环,钢带被送入成型机后,辊压形成圆筒状管坯,通过高频感应圈进行焊接,感应圈附近的磁场产生感应电流通过钢带边缘,钢带边缘由于自身电阻产生电阻热而被加热,加热的钢带边缘经挤压辊挤压形成焊缝。焊接工艺参数为:焊接功率90~100 kW,焊接速度30 m/min。针对此次开裂焊管,基于钢板、焊管断口结合焊接工艺,分别对开裂样品和合格样品,从宏观形貌、焊缝金相组织、流线角、断面夹杂物定性、断口组织等方面进行分析。

实验结果与分析

宏观形貌分析

A管厂与B管厂生产的焊管规格(直径×壁

作者单位:1.本钢集团有限公司技术中心,辽宁 本溪 117000;2.先进汽车用钢开发与应用技术国家地方联合工程实验室,辽宁 本溪 117000;3.本钢板材制造部,辽宁 本溪 117000

厚×管长)分别为 $\phi 22\text{ mm}\times 1\text{ mm}\times 5000\text{ mm}$ 和 $\phi 29\text{ mm}\times 1\text{ mm}\times 5000\text{ mm}$,分别为A管和B管。开裂管与合格管的宏观形貌见图1。两个管厂开裂管的裂缝肉眼可见,均位于焊缝处,沿轴向不规则断续出现,裂缝长度最长约15 cm,显微镜下测量裂缝宽度为20~40 μm 。合格管通管焊缝处平整光滑,未见明显裂纹。

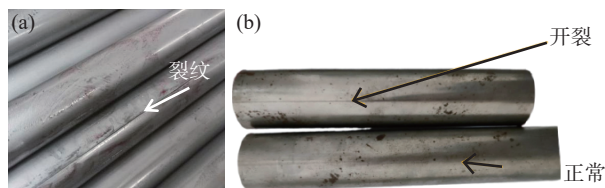


图1 开裂管与合格管宏观形貌:(a) A管样品;(b) B管样品

焊缝断面夹杂物分析

将开裂焊管在裂缝处沿径向切开,抛光后,对试样裂纹部位形貌及夹杂物进行观察,形貌如图2所示。

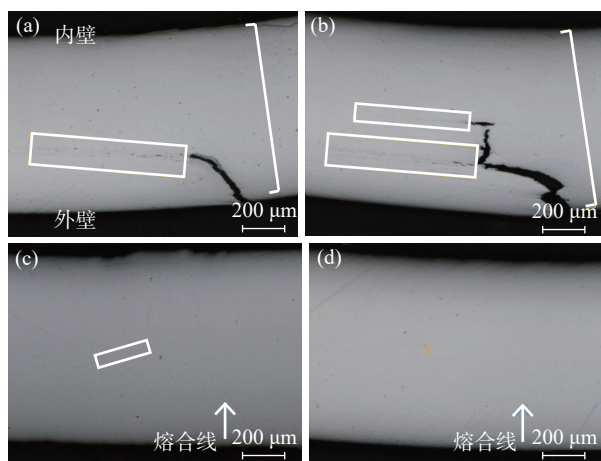


图2 开裂样品和合格样品的金相照片(未腐蚀):(a) A管开裂样品;(b) B管开裂样品;(c) A管合格样品;(d) B管合格样品

观察发现,制管后的管壁厚度均为1 mm,裂纹开口均位于管外壁,A厂生产开裂管的裂纹向板厚度方向1/4处延伸,而B厂生产开裂管的裂纹一直延伸至厚度方向1/2处。裂纹末端有大量的夹杂物密集分布(见图2框体),此类夹杂物尺寸非常细,小于标准评级要求的2 μm ,夹杂物沿管料的挤压方向形成了较明显的夹杂物带。并且在母材其他部位也有此类夹杂物聚集分布。

在扫描电镜下观察夹杂物形貌并用能谱仪做定

性分析,结果如图3和表2所示。夹杂物呈黑色细条状,长度<10 μm ,多个夹杂物形成条状聚集带。该部位成分分析主要为Mn、S、P和Fe元素,推断黑色条带状夹杂物为MnS。合格管焊缝部位附近有少量硫化物,未形成大量聚集条带,母材其他部位局部有硫化物夹杂偏聚。

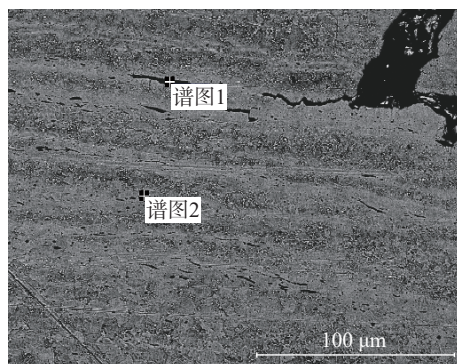


图3 夹杂物显微组织形貌及能谱分析位置

表2 夹杂物能谱分析成分(质量分数) %

位置	P	S	Mn	Fe
谱图1	6.90	8.97	21.95	62.18
谱图2	—	0.45	0.75	98.80

焊缝区组织分析

开裂焊管和合格管沿径向切取截面样品,研磨抛光后经体积分数为4%的硝酸酒精溶液腐蚀,首先在光学显微镜下观察开裂样品和合格样品的焊缝区形貌,然后观察A管开裂样品的熔合线、热影响区和母材的显微组织形貌,结果如图4所示。

由图4可知,熔合线非常窄是熔化层金属被挤出后留下的脱碳区,该熔合线宽度约40 μm ,其组织为贝氏体+铁素体。热影响区随着离熔合线的距离不同分为过热区和重结晶区,靠近熔合线两侧区域为过热区,呈腰鼓形,其组织为铁素体+贝氏体,晶粒较粗大。而靠近母材侧的热影响区为重结晶区(颜色较深),其组织为铁素体+贝氏体+珠光体,此区域晶粒大小不均,如图4(f)。而母材组织为铁素体+珠光体,晶粒被拉长。

热影响区中间部位即腰鼓形最窄处的宽度直接反应了焊接温度的高低,是判断焊接时输入热量大小的有力证据。对比开裂样品与合格样品,其腰鼓形最窄处的宽度基本一致,对应的熔合线、热影响

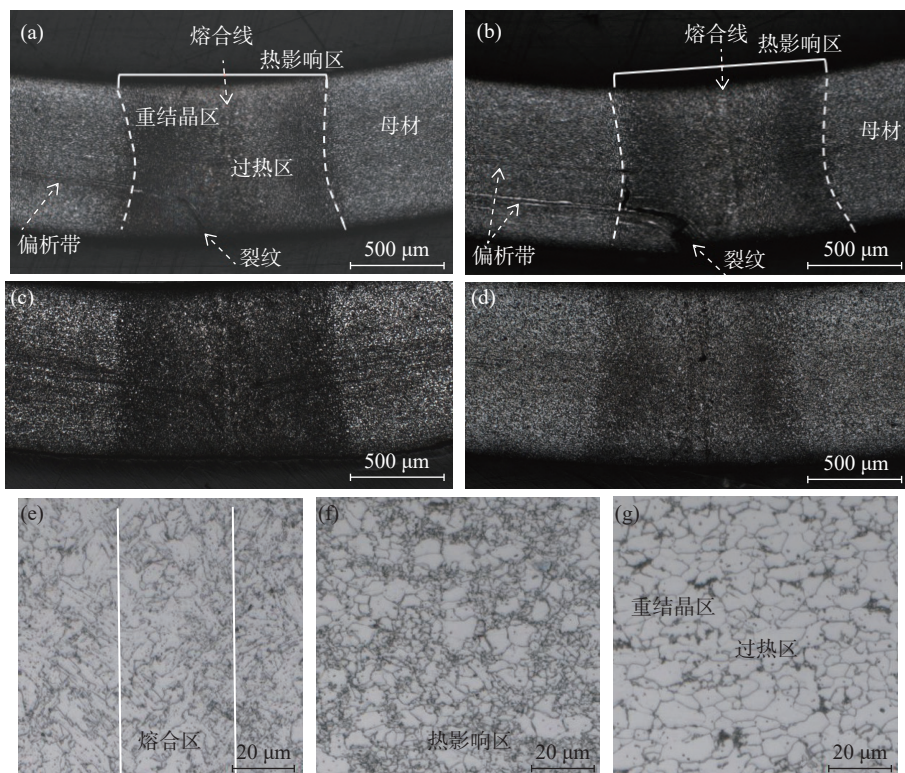


图4 开裂样品与合格样品焊缝区微观形貌: (a) A管开裂样品; (b) B管开裂样品; (c) A管合格样品; (d) B管合格样品; (e) A管开裂样品熔合线; (f) A管开裂样品热影响区; (g) A管开裂样品母材

区和母材的组织基本一致, 未见明显区别。

图4(a)和4(b)所示, A、B管裂纹侧的母材均有带状组织, A管裂纹位于板厚1/4部位, 裂纹沿带状组织延伸和扩展, 裂纹末端处于1/4厚度处的偏析部位; B管裂纹分别处于心部和厚度1/4部位, 裂纹末端也位于此处。将偏析带放大, 其形貌如图5所示, 可见裂纹侧母材均有明显的带状组织。另外图4(c)中A管合格样品板厚1/2处可见偏析带, 但1/4处未发现带状组织。

流线角分析

焊管挤压力是影响焊接质量的一个重要因素, 挤压力过大会将熔融金属大量挤出, 造成对接时金属的温度过低, 容易形成冷焊; 挤压力过小易造成熔融金属表面的杂质无法完成挤出, 内部残留夹杂物, 焊管在压扁实验中极易发生开裂。流线角(A)是熔融金属在受挤压过程中形成的, 流线角大小直接反应了金属受挤压力的大小。开裂管断面用饱和苦味酸腐蚀后, 从壁厚1/4处测量管熔合区上下两侧

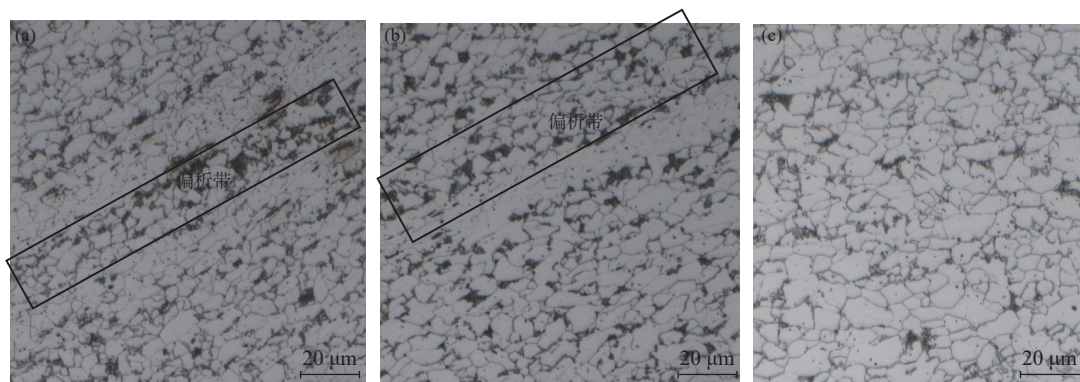


图5 母材偏析带金相照片: (a) A开裂管; (b) B开裂管; (c) 未开裂管

的流线角大小,结果如图6所示(L 为裂纹高度)。管外壁左右两侧的流线角分别为 58° 、 65° ,管内壁两侧分别为 58° 、 57° 。均在范围 $55^\circ\sim 75^\circ$ 内,且上下流线角差值 $\leq 10^\circ$,推断焊接时的挤压力未见明显异常。

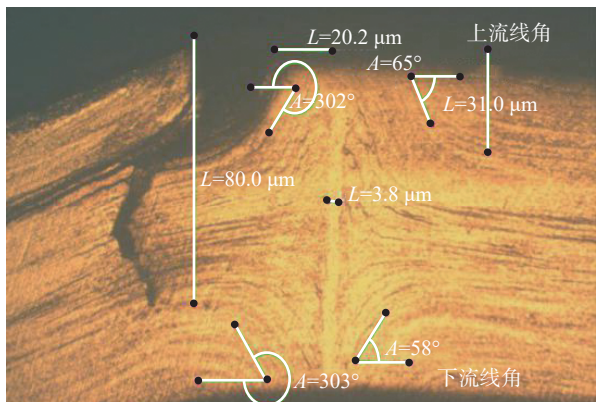


图6 开裂管断面流线测量金相照片

裂纹开口处扫描电镜分析

通过扫描电镜观察开裂部位形貌,并对开裂部位成分进行分析,结果见图7和表3。开裂部位韧窝处包裹着球状物质,其成分主要为S、Mn、Fe等元素。

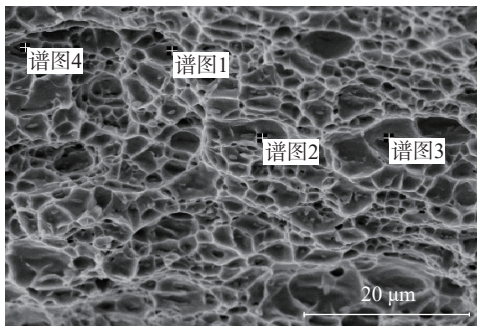


图7 开裂部位显微组织形貌及能谱分析位置

表3 开裂部位能谱分析成分(质量分数) %

位置	S	Mn	Fe
谱图1	6.81	10.15	83.04
谱图2	5.61	8.71	85.68
谱图3	7.13	20.67	72.20
谱图4	0.38	15.97	83.65

讨论

焊管的质量主要取决于焊缝的质量。而裂缝是

焊管生产过程中常见的主要缺陷,其表现形式可以是通常的裂缝、局部的周期性裂缝、不规则出现的断续裂缝。也有的钢管焊后表面未见裂缝,但经压扁、矫直或水压实验后出现裂缝。本次实验中两个管厂开裂管裂缝为不规则出现的断续裂缝,从管截面焊缝处组织形貌、夹杂物分布、流线角等方面,对比正常管与开裂管的异同,查找开裂原因。

母材在炼钢连铸过程中在铸坯厚度的 $1/4$ 处和中心部位极易形成夹杂物聚集,与Mn形成MnS夹杂物,在随后的轧制过程中被压扁拉长。

母材带状组织形成的原因一方面是钢的成分偏析。铁素体优先在枝晶偏析和非金属夹杂延伸的条带中形成铁素体条带,铁素体条带之间为珠光体,两者相间呈层状分布。另一方面是热轧工艺中,缓慢的冷却速度易形成带状组织。

对焊缝区组织形貌、腰鼓形热影响区的宽度及开裂管的流线上角进行测量分析,推断焊接时的热输入量和挤压力未见异常。

因此,在挤压力的作用下,金属流动方向显著,母材 $1/4$ 处或 $1/2$ 处存在的夹杂物带与带状组织沿着金属流动的方向呈扇形带状分布。这样在正常挤压力作用下,容易造成分层,当去除内外毛刺时这些夹杂物和分层就会露出表面,形成裂纹。而如果只有板厚 $1/2$ 处有带状组织在合理的焊接工艺条件下,流线角度控制得当,焊缝熔合时流动不易暴露于管表面,不易产生裂纹。因此对于带状组织不是很严重的情况,通过改善工艺条件,如适当提高焊接温度,并且适当减小挤压力,使金属流线角度比平常的偏小一些,以抵消带状组织的不良效应^[4-6]。

结束语

(1) 通过对比开裂焊管与合格焊管的焊缝区组织形貌及腰鼓形熔合区宽度测量结果等,推断焊接热量输入未见明显差异。

(2) 开裂焊管流线角为 $58^\circ\sim 69^\circ$,均在范围 $55^\circ\sim 75^\circ$ 内,且上下流线角差值 $\leq 10^\circ$,推断焊接时的挤压力未见明显差异。

(3) 开裂样品裂纹两边及末端处均有大量的细小夹杂物密集分布,形成了较明显的夹杂物带,能谱定性分析为MnS夹杂物。母材其他部位,也发现

局部此类硫化物夹杂有聚集分布。而合格试样焊缝附近有少量硫化物，母材其他部位仅局部有硫化物夹杂偏聚。

(4) 焊管裂纹侧母材有多条带状组织，裂纹沿带状延伸和扩展。推断起裂位置位于母材板厚 1/4 处或 1/2 处，因该处存在夹杂物带以及带状组织，在挤压力的作用下，夹杂物带与带状组织沿着金属流动的方向呈扇形带状分布。在正常挤压力作用下，容易造成分层，当去除内外毛刺时这些夹杂物和分层就会露出表面，形成裂纹。

参考文献

[1] 王伟旬, 关桂芬. 焊接钢管压扁试验开裂原因分析. 南方金属,

2015(6): 24

[2] 曹笈, 曹国富. 焊管智造 AI+高频直缝焊管制造的构想. 焊管, 2020, 43(1): 49

[3] 孟根巴根, 艾兵权, 王秋雨, 等. S380 高频焊管焊缝开裂分析. 焊接, 2019(8): 57

[4] 张季平. 高频直缝焊管机组的调整及常见生产故障的分析 (一). 焊管, 2003(5): 46

[5] 王亚芬, 李志伟, 赵广东, 等. 镀锌板汽车用镀锌板点焊工艺与性能研究. 金属世界, 2017(1): 70

[6] 刘爱民, 刘法涛. 影响高频直缝焊管工艺要素的分析. 焊管, 2015, 38(11): 29

作者简介: 王亚芬 (1983—), 女, 高级工程师, 从事汽车板应用技术研究。通信地址: 辽宁省本溪市平山区本钢厂区氧气路 6 号技术中心, 邮箱: 21072208@qq.com。