

气保焊丝用热轧盘条 ER50-6 “毛刺”原因分析

Analysis of the “Burr” Defects of Hot Rolled Wire for Gas Holding Wire ER50-6

供稿|张秀香¹, 曲广煦², 王亚东¹, 雷洪³, 卢秉军¹ / ZHANG Xiuxiang¹, QU Guangxu², WANG Yadong¹, LEI Hong³, LU Bingjun¹

内 容 导 读

本钢生产气保焊丝用热轧盘条 ER50-6 因“毛刺”缺陷导致后续加工送丝不畅。针对盘条后期加工出现的“毛刺”质量问题进行检验分析、工艺追溯,根据缺陷形貌、产生原因及机理总结防止产生“毛刺”对应措施。为 ER50-6 钢生产质量控制提供方法和借鉴。

工程机械中的焊接结构件焊缝密集且多为拼焊而成,角焊缝占多数,焊接工作量大,对焊件质量要求高。气体保护焊具有焊接操作灵活简单,适用全位置焊接等优点而受到工程机械领域的普遍采用。气体保护焊所用的气保焊丝多为 ER50-6 系列。盘条加工成气保焊丝过程工艺一般为:盘条机械剥壳—电解酸洗—硼化—烘干—粗拉—中拉—细拉—化学镀铜—抛光拉拔—工字轮收线—层绕—检验。盘条表面质量直接影响后续机械除鳞效果、拉拔过程对磨具的损害以及焊丝镀铜效果。本钢生产的气保焊丝用热轧盘条 ER50-6 存在“毛刺”缺陷,导致后续加工送丝不畅。为解决此问题进行取样分析,按照试样表面缺陷形貌将“毛刺”分为卷渣毛刺、轻微毛刺和小段毛刺三种类型。几种缺陷具体

分析如下。

“卷渣毛刺”分析

缺陷特征

此形貌缺陷在盘条母材无明显显现,但在拉拔半成品时会随机出现,且无明显的分布规律,形貌深浅不一,严重的会直接拉拔断裂,轻微的会在盘条表面形成“毛刺”。此“毛刺”表面一层翘起,另一层与基体相连,单个缺陷呈三角状、整体连续分布,见图 1。

微观形貌

通过对半成品和镀铜后成品显微观察,缺陷处有不规则裂纹,裂纹延伸至皮下,缺陷部位裂纹过

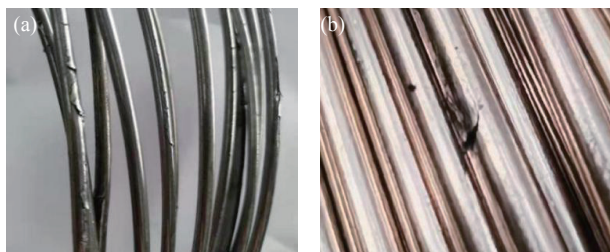


图1 不同产品的“卷渣毛刺”形貌: (a) 盘条; (b) 镀铜成品

渡圆滑, 尾端有细小的扩展裂纹, 且缺陷连着钢基体。由此判定, 铸坯表面结疤是形成该缺陷的主要原因。具体如图2。



图2 缺陷样品微观形貌

对缺陷部位进行腐蚀可见缺陷部位的裂纹根部连着钢基体, 且氧化脱碳现象明显, 进一步说明缺陷是钢坯带来。非缺陷部位显微组织为正常的铁素体+珠光体, 且晶粒均匀。具体如图3。

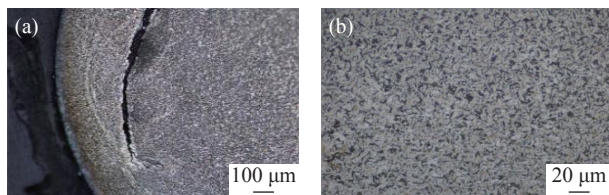


图3 微观形貌: (a) 缺陷部位; (b) 非缺陷部位

电镜分析

对缺陷试样截取一横向和一纵向, 分别命名为试样1和试样2。缺陷微观形貌见图4和图5。缺陷部位成分分析主要是O、Na、Mg、Si、K、Ca等元素, 详见表1。并将单质的元素还原成非金属夹杂物原始组分, 其成分组成见表2。同时, 在裂纹周边发现大量的氧化圆点, 说明有大量夹杂物存在。

将单质的元素折合成夹杂物的原始组分, 并与保护渣成分进行对比。由表2可以看出, 其夹杂物成分与结晶器保护渣组分接近, 其成分包括MgO、SiO₂、CaO等。由此可判定铸坯结疤的主要原因是结晶器保护渣卷渣所致。

工艺追溯

对存在“毛刺”缺陷炉次进行统计, 发现对应炉次均有拉速调整, 对应钢坯表面存在夹杂现象。如图6, 浇次20280对应的4炉次, 拉速由2.4 m/min

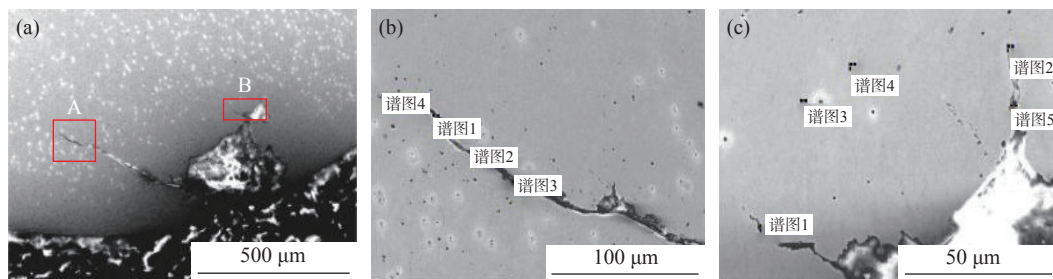


图4 试样1非金属夹杂物微观形貌: (a) 全貌; (b) 放大区域A; (c) 放大区域B

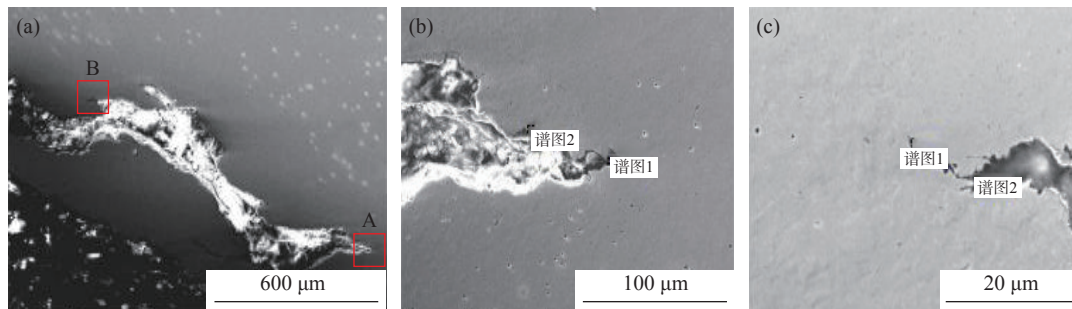


图5 试样2非金属夹杂物微观形貌: (a) 全貌; (b) 放大区域A; (c) 放大区域B

表 1 试样 1 和试样 2 不同部位能谱分析成分 (质量分数)

%

试样	谱图	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Na	Mn	Fe	K
试样 1-A	1	3.47			0.44		1.89	1.7	1.68	90.82	
	2	27.43	0.41	0.32	6.56	0.18	2.64	2.34	1.29	58.62	0.2
	3	28.08	2.47		2.37		4.77	3.72	1.11	57.48	
	4	4.37			2.7				1.52	91.41	
试样 1-B	1	27.35	0.71	1.12	6.49	0.22	4.27	3.25	2.68	53.57	0.33
	2	7.37			1.66	0.18	0.23	1.18	1.56	87.8	
	3	2.68			0.71		0.23		1.64	94.74	
	4								1.6	98.4	
	5	4.29			1.39	0.28	0.63	0.4	1.19	91.83	
试样 2-A	1	51.67	0.33	0.34	10.1	0.29	17.5	3.29	1.12	15.21	0.15
	2	11.1			3.59		0.49	1.1	1.27	82.46	
试样 2-B	1	29.41	1.5	1.71	9.82		12.29	3.77	2.45	39.05	
	2	46.53	0.81	3.64	12.99	0.69	8.4	6.07	3.05	17.44	0.38

表 2 试样 1 和试样 2 缺陷部位夹杂物原始组分 (质量分数)

%

试样	谱图	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO	MnO
试样 1-A	1	0.00	0.00	0.94	2.65	0.00	2.17
	2	0.68	0.60	14.06	3.70	0.00	1.67
	3	4.12	0.00	5.08	6.68	0.00	1.43
	4	0.00	0.00	5.79	0.00	0.00	1.96
试样 1-B	1	1.18	2.12	13.91	5.98	0.00	3.46
	2	0.00	0.00	3.56	0.32	0.00	2.01
	3	0.00	0.00	1.52	0.32	0.00	2.12
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07
	5	0.00	0.00	2.98	0.88	0.00	1.54
试样 2-A	1	0.55	0.64	21.64	24.50	0.00	1.45
	2	0.00	0.00	7.69	0.69	0.00	1.64
试样 2-B	1	2.50	3.23	21.04	17.21	0.00	3.16
	2	1.35	6.88	27.84	11.76	0.00	3.94
保护渣		≤6	4~10	29~35	21~27		

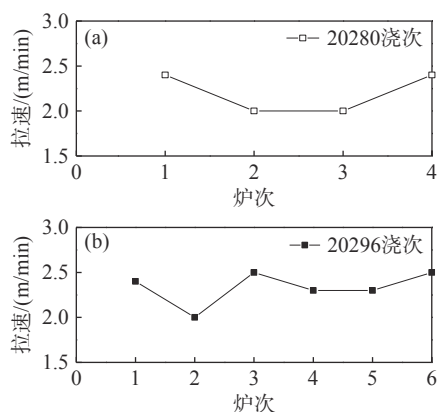


图 6 各浇次不同炉次拉速 (a-b) 及铸坯表面夹渣 (c)

调整为 2.0 m/min 后又调整到 2.4 m/min。浇次 20296 对应的 6 炉次，拉速变化过程为：2.4 m/min→2.0 m/min→2.5 m/min→2.3 m/min→2.5 m/min。拉速的调整影响钢水的液面波动，钢液易卷渣，最终导致铸坯表面夹渣。

机理分析

在轧制环节，由于连铸卷渣、铸坯夹杂物聚集，尤其塑性较差夹杂物存在时，在轧制过程中夹杂物与基体的变形不一致，塑性差的复合型夹杂在轧制过程中几乎不变形，呈颗粒状挤压基体，该区域便成为了裂纹源，并会在轧制中相互合并扩展。盘条在拉拔过程中，随着盘圆逐渐拉拔变细，当达到一定极限后卷渣导致的裂纹会从表面显露出来便形成了“毛刺”。



图 8 擦划伤拉拔过程中的演变: (a) 母材擦划伤表面; (b) 粗拔第一道后表面; (c) 粗拔最后一道后表面

现场的实际拉拔过程中，擦划伤缺口的形状是变化的，如图 9，三维投影后的 AB 面向上推至钢丝，BC 面呈倾斜状逼近 AB 面。划伤的深度 h 越小，随着拉拔的进行，缺口被修复的可能性越大， h 越大，后续形成重叠裂纹（毛刺）的可能性越大，具体演变情况见图 10 和 11。

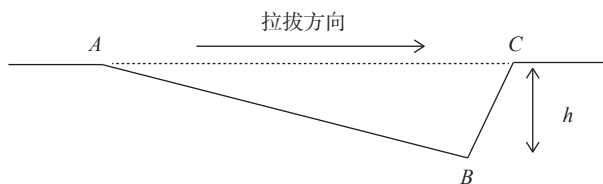


图 9 擦划伤缺口形状



图 10 缺口深度 h 小拉拔过程中缺陷被修复

“轻微毛刺”分析

缺陷特征

“轻微毛刺”呈单点状、不连续分布，部分只有一个凹坑，肉眼很难发现。盘条和镀铜成品缺陷如图 7。

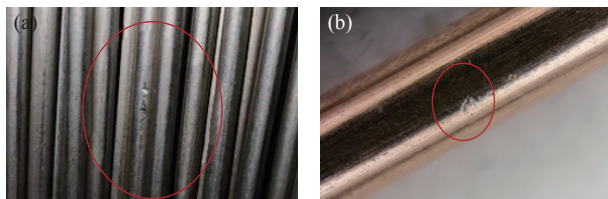


图 7 不同产品的“轻微毛刺”形貌: (a) 盘条; (b) 镀铜成品

通过标记缺陷并跟踪拉拔，验证了“轻微毛刺”与擦划伤有关。缺陷在加工过程的演变见图 8。



图 11 缺口深度 h 大拉拔过程中缺陷无法修复形成重叠裂纹即“毛刺”

检验及分析

对“轻微毛刺”缺陷试样进行了显微组织和扫描电镜分析，发现“轻微毛刺”只存在一个凹坑，无裂纹和其它缺陷。盘条的尺寸精度满足要求，不存在因焊丝直径过大，在通过焊嘴时阻力增加而导致送丝不连续^[1]。扫描电镜对缺陷处进行扫描，也未发现异常夹杂物（图 12），分析擦伤产生的主要原因在于盘卷吊装车环节和叉车卸货环节。

“小段毛刺”分析

形貌特征

半成品存在一层翘起，另一层与基体相连三角

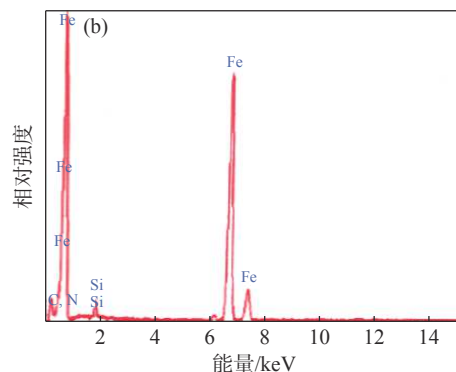
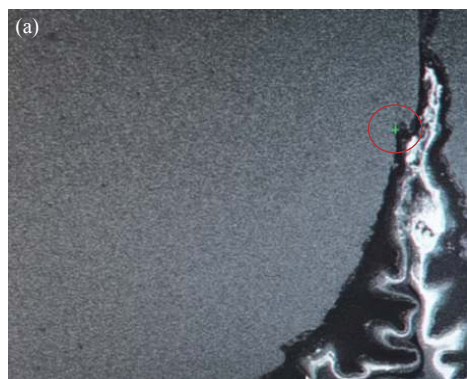


图 12 “轻微毛刺”扫描电镜分析: (a) 显微组织; (b) 能谱检测

状倒刺。“小段毛刺”虽然是连续分布但只有一小段、且形貌小，与“卷渣毛刺”多圈连续型出现倒刺有很大的不同，具体形貌如图 13。

相关检验

如图 14，对粗拔“小段毛刺”表面进行确认，放大 100 倍发现拉拔丝试样表面存在通条异常凸起和规律性压痕，且存在拉拔划伤问题。

经检测，“小段毛刺”试样显微组织为铁素体+珠光体，如图 15，拉拔后显微组织比较均匀。缺陷试

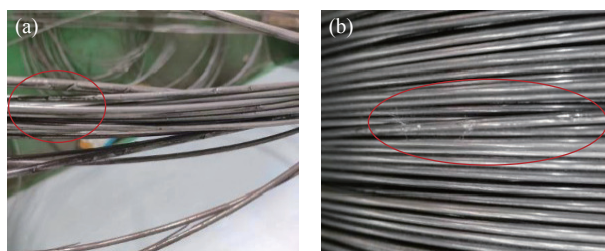


图 13 整体宏观形貌对比: (a)“卷渣毛刺”多圈连续倒刺, (b)“小段毛刺”一小段倒刺

样虽然存在裂纹，但无其他形貌特征。

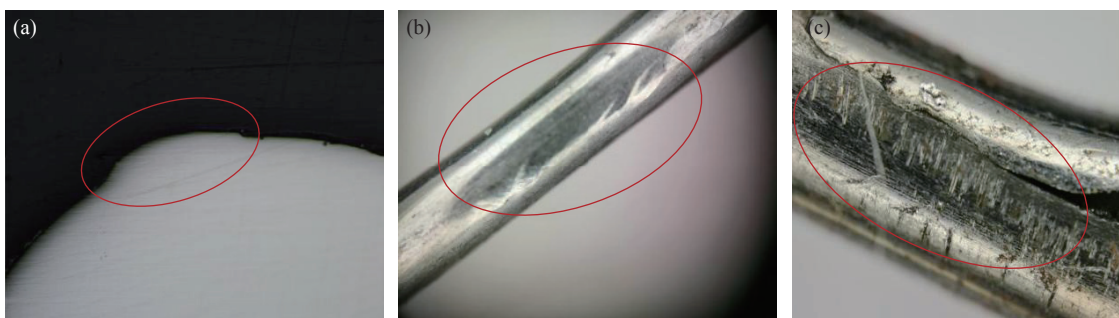


图 14 拉拔丝表面“小段毛刺”: (a) 横截面异常凸起; (b) 拉丝表面异常压痕; (c) 拉丝表面划伤

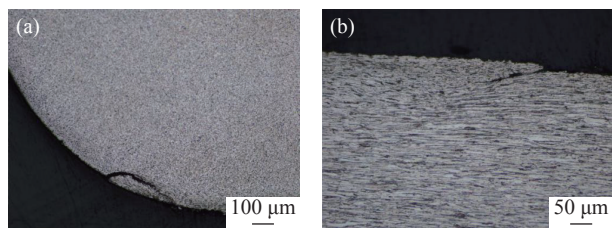


图 15 “小段毛刺”显微形貌: (a) 横截面, (b) 纵截面

通过能谱分析，发现主要含有 C、O、F、Si、Fe、Mn、N 元素，F 为保护渣特征元素，说明有轻微卷渣问题。如图 16 和表 3。

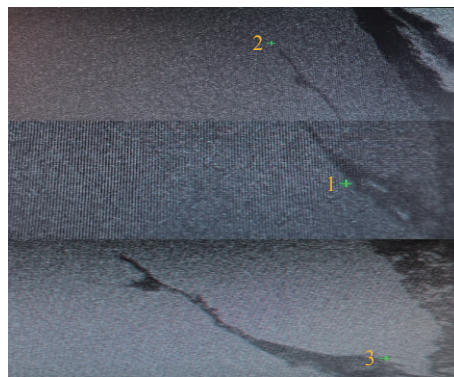


图 16 “毛刺”扫描电镜检测视图

表3 能谱分析结果 (质量分数)

	C	O	F	Si	Fe	N	Mn
图16							
点1	23.17	28.79	48.04				
点2	4.29	34.87		0.39	60.35		
点3	1.85			0.10	85.59	10.10	1.46

机理分析

钢丝拉拔过程中, 模具中的钢丝受到拉应力、模具壁给的压力和摩擦力, 钢丝表面受模具壁的压力和摩擦力影响, 较芯部变形阻力大。若拉拔过程中模具磨损造成偏心、润滑不良等情况, 使拉拔过程中模具壁压力或摩擦力增大, 钢丝横截面受力不均、变形不均, 当拉应力超过钢丝塑性极限时, 在钢丝表面相对脆弱的部位 (夹杂物聚集、卷渣等) 产生裂纹, 严重会发生断裂^[2]。

小结

“毛刺”缺陷划分为3种类型: “卷渣毛刺”、“轻微毛刺”和“小段毛刺”。其中“卷渣毛刺”为保护渣卷渣所致; “轻微毛刺”主要为擦划伤造成; “小段毛刺”为拉拔异常导致钢丝表面变形不均, 最终在盘条相对脆弱部位 (卷渣、夹杂物聚集、裂纹等) 产生“毛刺”。

整改措施

(1) “卷渣毛刺”控制

保证冶炼质量稳定, 结晶器液面波动控制调整为 ± 5 mm, 标记并剔除卷渣风险坯, 如换水口、拉速波动、头尾坯和液面异常波动等非稳态钢坯; 针对保护渣黏度、碱度、熔点等进行调整, 进一步降低卷渣发生概率。

(2) “轻微毛刺”控制

避免厂内焊丝产品吊运过程中的擦划伤, 加强外发时盘条表面质量检查, 杜绝擦划伤产品出厂; 加强盘条卸车时的内圈擦划伤问题。

(3) “小段毛刺”控制

首先优化方案生产, 加强过程管控; 此外控制夹杂物含量, 提高钢坯纯净度; 最后合理配置拉拔工艺, 减少拉拔环节的异常情况发生。

参考文献

- [1] 陈启武. CO₂ 气保焊丝生产工艺及焊丝缺陷的产生与预防. 金属制品, 1992(5): 15
- [2] 申延军. ER50-6 焊丝用盘条拉拔后期产生“毛刺”原因分析. 金属世界, 2021(6): 55

作者简介: 张秀香 (1979—), 女, 高级工程师, 从事特钢产品的研发和质量管理。E-mail: handai5263@163.com。