

气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 拉拔断丝分析

Analysis of The Drawing Broken Hot Rolled Wire for Gas Holding Wire ER50-6E-ZJ

供稿|张秀香¹, 刘志璞¹, 牟立君¹, 王亚东¹, 富强², 苗隼¹, 海超¹ / ZHANG Xiuxiang¹, LIU Zhipu¹, MOU Lijun¹, WANG Yadong¹, FU Qiang², MIAO Jun¹, HAI Chao¹

内容导读

本钢生产规格为 6.5 mm 的气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ, 在后续拉拔加工至 1.8 mm 过程, 出现拉拔断裂现象。为了查找断裂原因, 以气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 及拉拔断丝试样为分析对象, 通过显微观测和能谱检测等手段分析其化学成分、力学性能、断口形貌和非金属夹杂物, 研究盘条出现拉拔断丝原因。结果表明: 带状组织的存在是气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 拉拔断裂的主要原因。其中, 化学成分偏析和吐丝温度较高是导致带状组织形成的主要原因。最后通过理论分析并结合实际生产工艺, 给出生产改进措施建议。

气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 具有较低的强度和较高的塑性、韧性以及良好的拉拔性能。其优良的综合性能主要是基于钢的合理化学成分设计和轧制过程控轧控冷工艺得以实现。实际生产工艺为转炉→精炼→连铸→控扎控冷。焊丝后期加工过程为剥壳—酸洗—水洗—硼化—烘干—粗拉—细拉—镀铜—分卷—包装。本钢生产规格为 6.5 mm 气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 细拉至 1.8 mm 时出现拉拔断裂。

母材检验及分析

化学成分分析

本研究断丝断口为杯锥状形貌, 如图 1 所示。

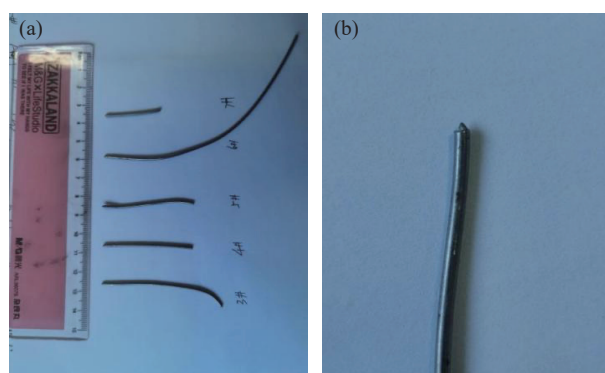


图 1 拉拔断丝试样形貌: (a) 所有拉拔断丝试样; (b) 杯锥状断口断丝样

选取 2 个断丝母材试样, 其化学成分见表 1, 满足内控标准要求。后续拉拔、焊接等仅使用化学成

分符合内控标准的盘条进行加工。冶炼过程进行脱硫预处理,转炉终点C质量分数控制在0.05%以内,合金化采用低碳锰铁和低碳硅铁,不采用钙处理,氩站吹氩时间保证5 min以上,保证合金化后的

温度和成分的均匀性。精炼软吹时间在12 min以上,且低碳硅铁在精炼过程加入。连铸过程采用恒拉速,过热度控制在35℃以内,保证钢坯的成分控制及钢坯质量。

表1 断丝母材试样化学成分(质量分数)

类别	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
试样1	0.074	0.92	1.47	0.013	0.014	0.0088	0.0208	0.0049
试样2	0.079	0.93	1.45	0.014	0.016	0.0084	0.0216	0.0046
内控标准	0.060~0.080	0.81~0.90	1.42~1.50	≤0.015	0.010~0.018	≤0.10	≤0.10	≤0.10
类别	Mo	V	Al	As	Ca	O	N	
试样1	0.0008	0.0052	0.001	0.0040	0.0005	0.0032	0.0044	
试样2	0.0012	0.0048	0.001	0.0010	0.0003	0.0045	0.0039	
内控标准	≤0.10	≤0.020	≤0.010	≤0.015	≤0.0015	≤0.0050	≤0.0060	

显微组织及夹杂物

取断丝母材试样横截面和纵截面做显微组织检验和非金属夹杂物检测。显微组织试样采用体积分数4%硝酸酒精腐蚀。试样显微组织主要为铁素体+珠光体,晶粒度7.5~8.0级,见图2(b)、3(b);带状组织3.0级,见图2(c)、3(c)。试样非金属夹杂物主要是D类球状氧化物和Ds类大颗粒球状氧化物,均为1.0级。且试样面弥散分布A类硫化物夹

杂物,见图2(a)、3(a)。

低碳低合金焊丝钢盘条一般用于拉拔加工,为保证拉拔效果,需要保证盘条较低的抗拉强度和通条稳定性,这需要通过合理的显微组织来实现。此产品理想组织为铁素体和少量珠光体,无不良显微组织,晶粒均匀^[1]。实现理想显微组织构成主要通过控制其化学成分偏析及控轧控冷工艺。化学成分主要控制C、Si、Mn,降低其偏析指数,保证显微组

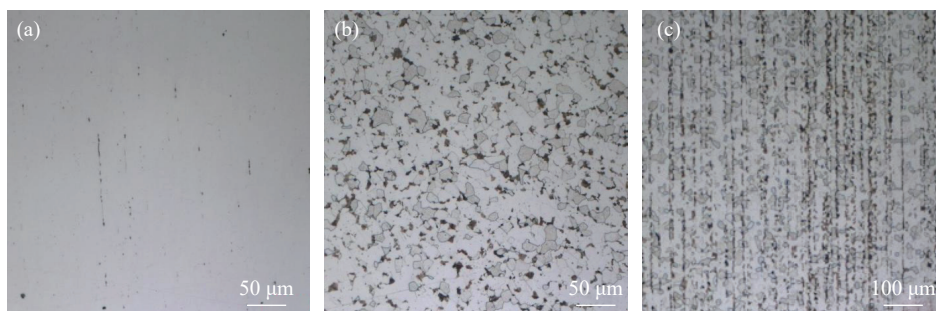


图2 断丝母材试样1显微组织:(a)非金属夹杂物;(b)横截面;(c)纵截面

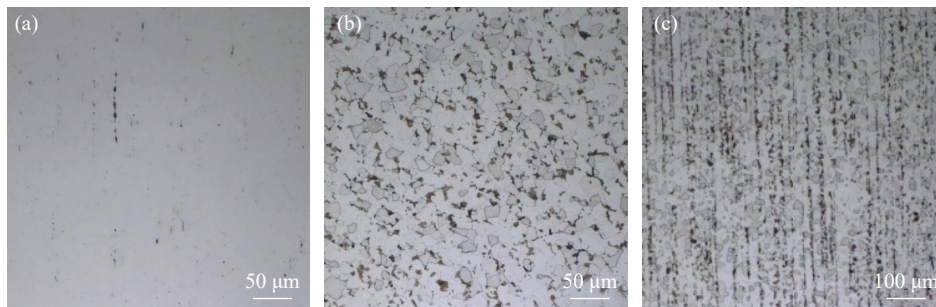


图3 断丝母材试样2显微组织:(a)非金属夹杂物;(b)横截面;(c)纵截面

织的均匀性。控轧控冷工艺主要是采用较低的精轧温度和吐丝温度，结合吐丝后快速冷却，缩短相变孕育期，快速进入相变区；相变过程采用缓冷，所有风机关闭、保温罩全关，风冷辊道速度保证盘条在出保温罩前相变结束^[2]。较低吐丝温度，可以抑制 ER50-6E-ZJ 盘条原始奥氏体晶粒长大，使盘条冷却时奥氏体开始析出游离铁素体的温度升高，由此减小因为 C 偏析所致的贫 C 和富 C 区的相变温度的差异，从而降低各区域的先共析铁素体析出不同时性，抑制不良组织如带状组织的形成。实际生产开轧温度设定在 $1010\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，入精轧温度 $880\pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，吐丝温度 $880\sim 910\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

性能检测结果及分析

断丝对应盘条母材性能结果见表 2。出厂母材性能满足标准要求。气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 主要用于焊接普碳及低合金钢板。气保焊丝用热轧盘条 ER50-6E-ZJ 与焊接母材的性能要求相匹配，保证后续焊缝及熔敷金属性能。

表 2 性能分析

试样	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	断面收缩率/%
试样1	503	31.5	79
试样2	506	30.5	78
标准	≤ 530	≥ 28	≥ 75

拉拔断丝试样检验及分析

显微组织及非金属夹杂物

对 2 个断丝试样纵向做显微组织和夹杂物检验。如图 4，显微组织均为纤维状组织，显微组织主要为铁素体+珠光体和被拉断宽窄不一的带状组。夹杂物弥散在试样表面（未达到评级标准），如图 5 所示。

断丝对应盘条母材及断丝试样均有带状组织存在。分析实际轧制温度对应 ER50-6E-ZJ 连续冷却转变 C 曲线（见图 6）可看出，最佳的吐丝温度约 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，而实际吐丝温度 $880\sim 910\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相对较高。吐丝温度过高，奥氏体晶粒粗大，同时高温促进了

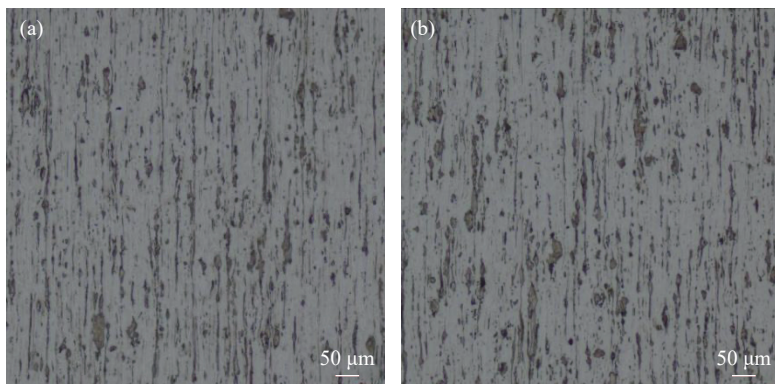


图 4 断丝试样纵向显微组织: (a) 试样 3; (b) 试样 4

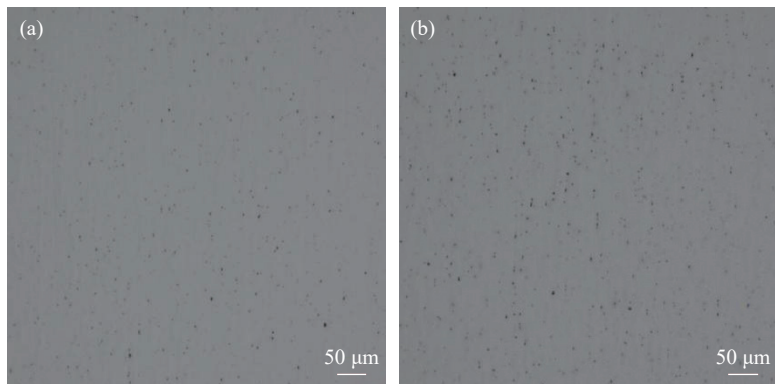
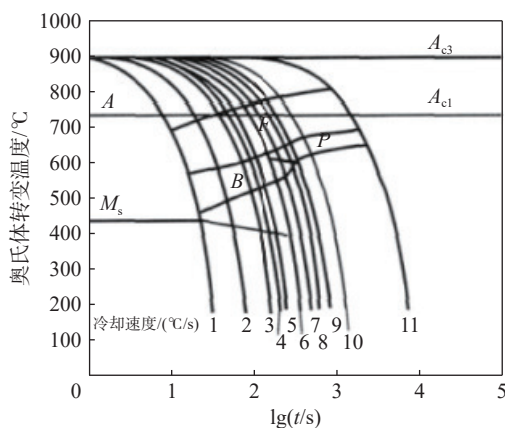


图 5 非金属夹杂物: (a) 试样 3; (b) 试样 4



A_{c1} ——加热时候珠光体向奥氏体转变的开始温度； A_{c3} ——加热时游离铁素体全部转变为奥氏体的温度； M_s ——冷却时奥氏体开始马氏体转变温度；A——奥氏体；F——铁素体；P——珠光体；B——贝氏体； t ——奥氏体完全转变时间

图6 ER50-6E-ZJ 连续冷却转变曲线

C 元素从先共析铁素体析出区域向周边扩散，铁素

体-珠光体不均匀交替带变宽，带状严重。此外，枝晶偏析是带状组织形成的另外一种原因^[3]。主要是由于合金元素的偏析和 C 元素的扩散，沿着轧制方向形成了近似平行的 C 元素富集带和贫化带。贫 C 区先共析铁素体析出温度较高形成了铁素体带，C 元素被排出到未相变的奥氏体中形成富 C 区，富 C 区相变为珠光体组织，最终形成典型的铁素体-珠光体带状组织。后续对钢坯进行成分偏析检测和判定。

断口检验分析

取断丝试样进行断口低倍形貌分析。如图 7，断口宏观形貌为杯锥状，断裂源处为解理面的脆性断口，沿着断口向四周扩展，扩展处均为韧窝特征，且韧窝尺寸大小不一。对断丝试样 3 和 4 断口处进行能谱分析（图 8）。根据能谱分析结果（表 3）可看出，断口处合金元素 Si 和 Mn 元素质量分数较高。

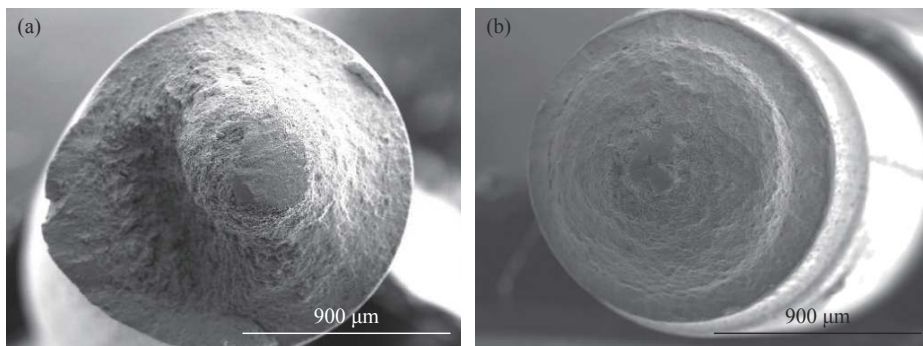


图7 断口低倍形貌: (a) 试样 3; (b) 试样 4

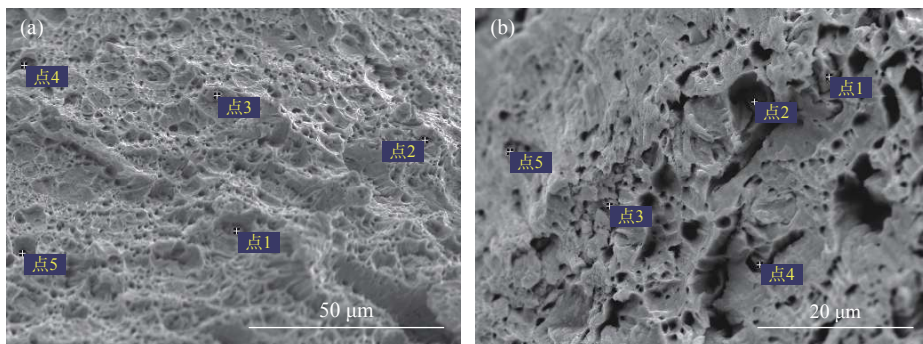


图8 断口形貌及能谱分析位置: (a) 试样 3; (b) 试样 4

钢坯化学成分偏析分析

连铸时，受浇铸温度、铸坯冷速等因素的影响，钢中合金元素结晶过程不均匀，在合金凝固界面处的溶质再分布形成宏观偏析。偏析程度受到溶质浓度差异和固液相对运动的影响。成分偏析影响

连铸坯的质量并对盘条后续相变产生作用，对 ER50-6E-ZJ 铸坯进行化学成分偏析检测。铸坯的偏析程度可采用偏析指数表示。

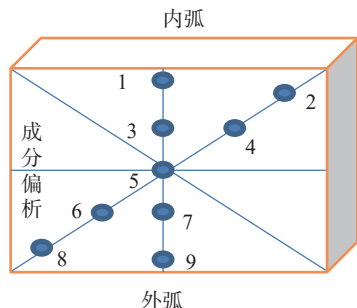
$$I = w_t / \bar{w}_t \quad (1)$$

式中， I 为某元素偏析指数， w_t 为取样点化学成分测

表3 试样断口打点能谱结果(质量分数)

试样	位置	Si	Mn	Fe
试样3	点1	1.60	1.93	96.47
	点2	0.09	1.94	97.98
	点3	0.77	1.99	97.25
	点4	0.31	2.02	97.66
	点5	0.14	2.06	97.80
试样4	点1	0.81	2.11	97.08
	点2	0.10	2.08	97.81
	点3	1.28	1.99	96.73
	点4	0.64	1.96	97.40
	点5	1.77	1.82	96.40

定值, w_i 为化学成分测定结果的加权平均值。取样位置示意图见图9。



5——中心位置; 4、6——距离中心 52 mm 位置; 3、7——距离中心 36 mm 位置; 1、2、8、9——距离边部 6 mm 位置

图9 ER50-6E-ZJ 钢坯成分偏析测定取样位置示意图

测定和计算 ER50-6E-ZJ 中易偏析元素 Si、Mn、P 和 S 的偏析指数(图10)。通过实验结果分析得出: 取样点偏析程度结果为 5 点 > 2 点 > 4 点 > 3 点 > 点 1。且偏析程度测试结果 $P > S > Mn > Si$ 。在 ER50-6E-ZJ 钢中, Mn、P 等元素在冶炼后在连铸坯中偏析部位不同, Mn 元素使珠光体的析出温度降低, P 元素则促进铁素体在高温下析出, 导致不同偏析部位形成的显微组织也不同。在轧制时连铸坯中的粗大枝晶沿轧向被拉长并逐渐与轧制方向一致, 易使得贫 C 区和富 C 区形成铁素体和珠光体带。

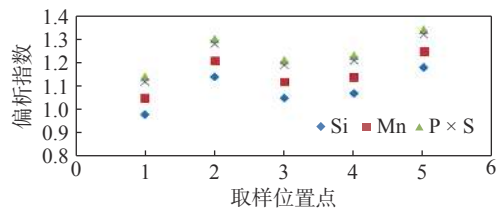


图10 ER50-6E-ZJ 化学成分偏析情况

盘条 ER50-6E-ZJ 其化学成分偏析和较高的吐丝温度容易导致盘条产生带状组织。因为带状组织的存在, 气保焊丝用盘条 ER50-6E-ZJ 在实际拉拔变形后期, 宽带处珠光体的应变硬化率远远高于铁素体基体珠光体条带, 因为变形不能同步, 极易导致在局部产生裂纹, 最终导致盘条在拉拔过程中断裂。

结束语

(1) 盘条 ER50-6E-ZJ 化学成分偏析是盘条带状组织形成的主要因素, 导致后续拉拔断丝。控制化学成分偏析主要通过采用“低拉碳”操作: 开机炉和换包炉次终点控制 $w(C) \leq 0.04\%$, 连浇炉次终点 $w(C) \leq 0.05\%$, 终点温度 $\geq 1650^\circ\text{C}$; 终点氧体积分控制 $0.06\% \sim 0.09\%$, 目标一次倒炉, 严格控制点吹率。转炉出钢过程中使用锰铁进行初步调锰, 精炼进站时加入低钙硅铁经过充分的软吹氩搅拌, 软吹时间 $\geq 12 \text{ min}$, 通电过程中对硅锰进行微调, 保证合金含量稳定在要求范围内; 维护好转炉炉型避免出现反应“死区”; 保证钢包底吹效果, 合理控制吹氩气量和吹氩时间提高钢水均匀性; 连铸全保护浇注, 中包低过热度浇注控制在 $\leq 35^\circ\text{C}$, 中包满包浇注, 稳定拉速控制在 2.4 m/min , 合理控制二冷水强度, 比水量 0 段和 3 段设定为 1.0, 1 段和 2 段设定 1.2, 优化铸坯的组织结构^[4]。

(2) 较高的吐丝温度是导致盘条 ER50-6E-ZJ 产生较宽带状组织的主要因素。通过降低吐丝温度, 吐丝后快冷的方式控制带状组织形成, 吐丝温度由 $880 \sim 910^\circ\text{C}$ 调整至 $780 \sim 800^\circ\text{C}$ 避免了带状组织的形成。

参考文献

- [1] 程伟, 杨哲, 杨晗, 等. 高品质 Inconel625 焊丝生产工艺探究. 金属世界, 2020(4): 68
- [2] 王超. 吐丝温度对 ER50-6 盘条带状组织的影响. 轧钢, 2021, 38(1): 96
- [3] 陈宇, 刘宏亮, 宋涛. 热轧带状组织对冷轧双相钢组织性能的影响. 轧钢, 2019, 36(5): 23
- [4] 王勇, 张素萍, 董庆, 等. ER70S-6 盘条拉拔断裂原因分析. 金属制品, 2009, 35(6): 55

作者简介: 张秀香(1979—), 女, 辽宁省本溪市人, 从事热轧产品研发。2009 年毕业于东北大学材料学专业, 主要研究方向: 线材产品包括焊接用钢及冷镦钢等产品开发。通信地址: 辽宁省本溪市明山区环山路 36 号; E-mail: handai5263@163.com。