

文章编号: 1001-5108(2024)02-0060-04

# 焊瓶钢 HP295 表面黑线缺陷分析与质量控制

王晓力<sup>1</sup>, 蒋小宇<sup>1,2</sup>, 刘善金<sup>1</sup>, 韦小虎<sup>1,2</sup>, 吴振海<sup>1,2</sup>, 王叶华<sup>1,2</sup>

(1.柳州钢铁股份有限公司销售中心, 广西 柳州 545000;

2.广西柳州岑海金属材料有限公司, 广西 柳州 545000)

**摘要:**针对客户反馈的焊瓶钢 HP295 表面存在黑线缺陷导致在冲压后产生褶皱的质量问题, 本文介绍了气瓶生产的主要工艺流程, 阐述了焊瓶钢 HP295 的材料及轧制过程, 对黑线缺陷的形态特点及冲压加工后表面褶皱情况进行了实物说明, 并通过金相组织分析、能谱分析和对比分析的手段研究了焊瓶钢 HP295 表面黑线缺陷的产生原因。结果表明: 检验分析中的焊瓶钢 HP295 钢板表面黑线为轧制早期产生的缺陷在过轧制过程中经碾压后体现为黑线, 主要由于异物压入和铸坯上存在表面裂纹、皮下气泡和孔洞等缺陷引起。结合生产厂实际控制情况, 通过组织协同优化, 在炼钢工序控制铸坯表面质量和热轧工序做好清洁生产维护和设备精度管控等措施, 有效控制 HP295 表面黑线缺陷的发生率, 总缺陷率由攻关前的 2% 控制在用户可以接受的千分之三以内, 满足了客户的使用要求。

**关键词:** 焊瓶钢 HP295; 黑线; 褶皱; 铸坯质量; 异物压入

中图分类号: TG335.5

文献标识码: B

## Analysis and quality control of surface black line defect of welded bottle steel HP295

WANG Xiaoli<sup>1</sup>, JIANG Xiaoyu<sup>1,2</sup>, LIU Shanjin<sup>1</sup>, WEI Xiaohu<sup>1,2</sup>, WU Zhenhai<sup>1,2</sup>, WANG Yehua<sup>1,2</sup>

(1. Liuzhou Iron and Steel Co., LTD. Sales center, Liuzhou 545002, Guangxi, China;

2. Guangxi Liuzhou Cenhai Metal Material Co., LTD, Liuzhou 545002, Guangxi, China)

**Abstract:** According to the customer feedback, the black line defect on the surface of welding bottle steel HP295 leads to the wrinkle after stamping. This paper introduces the main technological process of gas bottle production, expounds the material and rolling process of welding bottle steel HP295, describes the morphological characteristics of black line defect and the surface wrinkle after stamping, and studies the causes of black line defect on the surface of welding bottle steel HP295 by means of metallographic analysis, energy spectrum analysis and comparative analysis. The results show that the black line on the surface of HP295 steel plate of welding bottle steel in inspection and analysis is a defect produced in the early stage of rolling, and it is reflected as black line after being rolled in the process of over-rolling, which is mainly caused by foreign bodies pressing in and defects such as surface cracks, subcutaneous bubbles and holes on the billet. Combined with the actual control situation of the production plant, the occurrence rate of black line defects on the surface of HP295 was effectively controlled by organizing collaborative optimization, controlling the surface quality of billet in steelmaking process, cleaning production maintenance and equipment precision control in hot rolling process, and the total defect rate was controlled within three thousandths acceptable to users from 2% before tackling key problems, which met the use requirements of customers.

**Key words:** welding bottle steel HP295; black line; fold; billet quality; foreign body impingement

目前我国每年用于储存液化石油气的钢瓶产能在 2000 万个左右, 每年市场对用于焊接气瓶的钢材

需求量在 60~80 万吨。气瓶生产的主要工艺流程包括开卷、剪切下料、冲压拉伸成型、缩口、环缝焊

第一作者: 王晓力(1985-), 男, 本科, 工程师, 从事轧钢技术及产品经营管理工作, E-mail: 2027835366@qq.com。

通讯作者: 蒋小宇(1998-), 男, 助理工程师, 从事轧钢技术及产品销售与经营管理工作, E-mail: LGjiangxiaoyu@163.com。

接、表面检验、水压气密性检验、喷砂抛丸、热处理、表面喷漆、检验入库等<sup>[1]</sup>。焊瓶钢在冲压模具下拉伸成型时的变形量大,带钢在轧制过程中通过软硬相的控制方式来获取较低的屈强比和塑性延伸率,并要求带钢表面质量满足相关技术标准。但当钢板表面存在黑线缺陷时,下料的圆饼在冲压后出现褶皱,严重影响产品的表面质量和使用。本文针对近年来生产的焊瓶钢 HP295 存在的典型黑线缺陷进行机理性分析,结合生产控制情况提出具体的质量控制措施,实现焊瓶钢 HP295 黑线缺陷率控制,有效避免了冲压褶皱现象的发生。

## 1 材料及轧制过程

焊瓶钢 HP295 通过降低硅 Si、磷 P 和硫 S 含量

提高带钢的冲击性能,适当提高碳 C 含量以获取较低的屈强比,并添加适中的锰 Mn 含量以保证带钢满足强度和强韧性的要求<sup>[1]</sup>。焊瓶钢 HP295 内控化学成分如表 1 所示、轧制过程工序温度控制如表 2 所示。

焊瓶钢 HP295 需要重点控制好产品的屈强比和延伸率性能指标。采用 1200~1260 °C 的加热温度,保证板坯能均匀的奥氏体化,将合适的精轧入口温度控制在 1060 °C,以保证带钢的表面质量和轧制穿带的稳定性,终轧温度设定在 910 °C 和卷取温度设计为 620 °C,以保证铁素体晶粒度适中,轧后层流工序采用两段式冷却工艺以增加铁素体的析出量并且获得相对均匀的等轴铁素体,降低屈服强度,通过弥散分布的珠光体,提高抗拉强度,获取较低的屈强比和塑性性能。

表 1 材料化学成分(Wt.%)

成分要求	C	Si	Mn	P	S	Al
GB/T 6653—2017	≤0.18	≤0.10	≤1.00	≤0.025	≤0.012	0.020
内控	0.14~0.18	≤0.05	0.70~0.90	≤0.020	≤0.008	0.020~0.040

表 2 轧制过程工序温度控制参数

在火时间(min)	出炉温度(°C)	粗轧末道次温度(°C)	开轧温度(°C)	终轧温度(°C)	卷取温度(°C)
130	1230±30	1100±30	1060±30	910±20	620±20

## 2 黑线缺陷的形态特点

针对客户反馈的焊瓶钢 HP295 黑线缺陷质量异议情况,通过现场观察,发现在下料圆饼的带钢表面存在 1 条或多条宽度 0.25~0.5 mm,长度不等,与轧制方向平行、断续的暗色细线,手感较为平滑,未冲压前带钢表面形貌如图 1(a)所示。圆饼料经过冲压加工后存在黑线缺陷的部位会出现褶皱情况,严重时会导致冲压开裂,冲压加工后出现表面褶皱形貌如图 1(b)所示。

## 3 黑线缺陷原因分析

### 3.1 金相分析

为进一步研究黑线形成的具体原因,通过对表面存在黑线和褶皱的焊瓶钢 HP295 进行取样分析。利用金相试验得到如图 2 所示的金相组织。通过金相组织观察,从图 2 的(a)、(b)可以看到,冲压前后黑线和褶皱处的带钢金相组织一样,且缺陷处的晶粒组织完整,未出现明显变形、延晶界断裂和穿晶断裂情况。由此可以推断,未冲压前的表面黑线样品

缺陷为轧制早期产生的缺陷,经过轧制过程中的碾压后体现为黑线。如果是轧制后期产生,一般缺陷晶粒会产生相应的变形或者损伤。并且观察样品黑线和褶皱缺陷附近的金相组织,存在一定的脱碳现象和晶粒长大(图 2 (c)、(d)),但无明显的氧化质点。

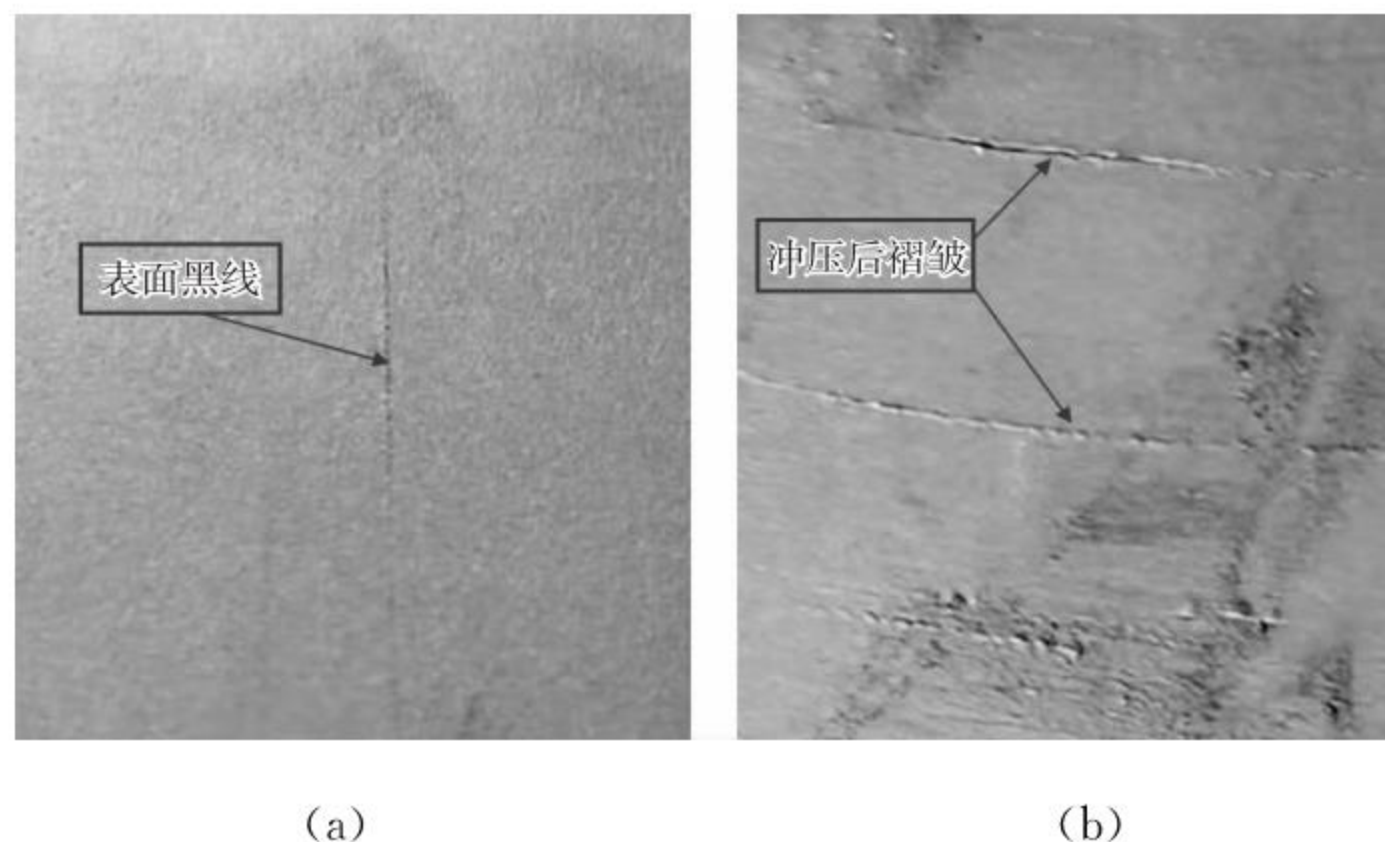


图 1 (a)未冲压加工前带钢表面黑线缺陷形貌图;(b)冲压加工后出现表面褶皱缺陷形貌图

### 3.2 能谱分析

对黑线和褶皱缺陷的部位取样进行能谱分析,

实验情况如图 3 和图 4 所示。分析可知黑线和褶皱处带钢基体存在异物压入,但主要组成成分为 Fe 跟 O,因此,通过能谱实验可以排除该缺陷为夹杂物压入引起,因为夹杂物会存在较多的其他元素。

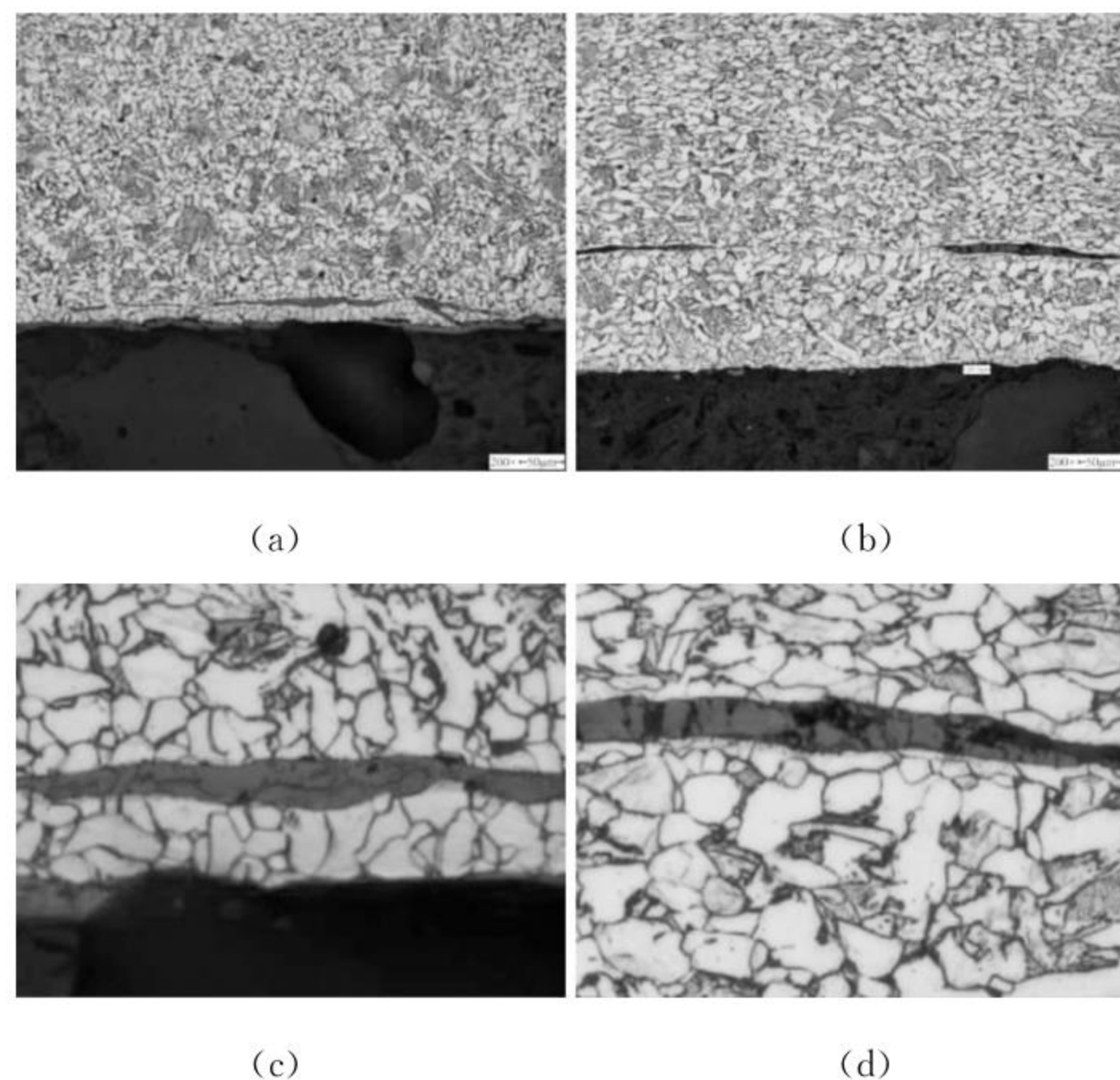


图 2 (a)未冲压前表面黑线金相组织;(c)黑线缺陷部位放大;  
(b)冲压加工后表面褶皱金相组织;(d)褶皱缺陷部位放大

通过缺陷宏观形貌特征和缺陷图谱规律,分析缺陷基体处存在异物压入为氧化亚铁 FeO,依据研究发现,由氧化铁皮压入引起的黑线,一般表面破碎后呈颗粒状,且缺陷底部较毛糙锐利<sup>[2]</sup>。这与此次黑线缺陷情况有明显的区别,但根据我们现场生产的情况,也存在氧化铁皮压入形成的黑线,如图 5 所示。

分析导致氧化铁皮压入的主要因素是由于轧辊的质量因素(氧化膜剥落、老化粗糙、龟裂、剥落)与除磷不净或钢坯加热温度过高、时间过长等原因造成的除鳞困难<sup>[3-4]</sup>,出现氧化铁皮在高温时发生粘结并压入铸坯表面或形成对铸坯表面划伤及压痕,而氧化铁轧制时不易随轧件发生塑性变形,因此在热轧工序中因轧制力的作用碎裂,并在带钢表面形成“点状黑线”缺陷。

结合轧线异物掉落引起的压入缺陷情况特点,其缺陷处未见明显的脱碳现象,二次氧化现象也没有出现在黑线的周围<sup>[5]</sup>,这与此次焊瓶钢 HP295 的黑线和褶皱缺陷处的金相组织情况类似。结合黑线缺陷区域取样进行微观检测发现,黑线处组织无明显异常;通过扫描电镜检测,黑线处无异常成分,只

是铁含量较正常部位稍高,由此可判断此次焊瓶钢 HP295 黑线缺陷可能与轧线异物掉落有关。

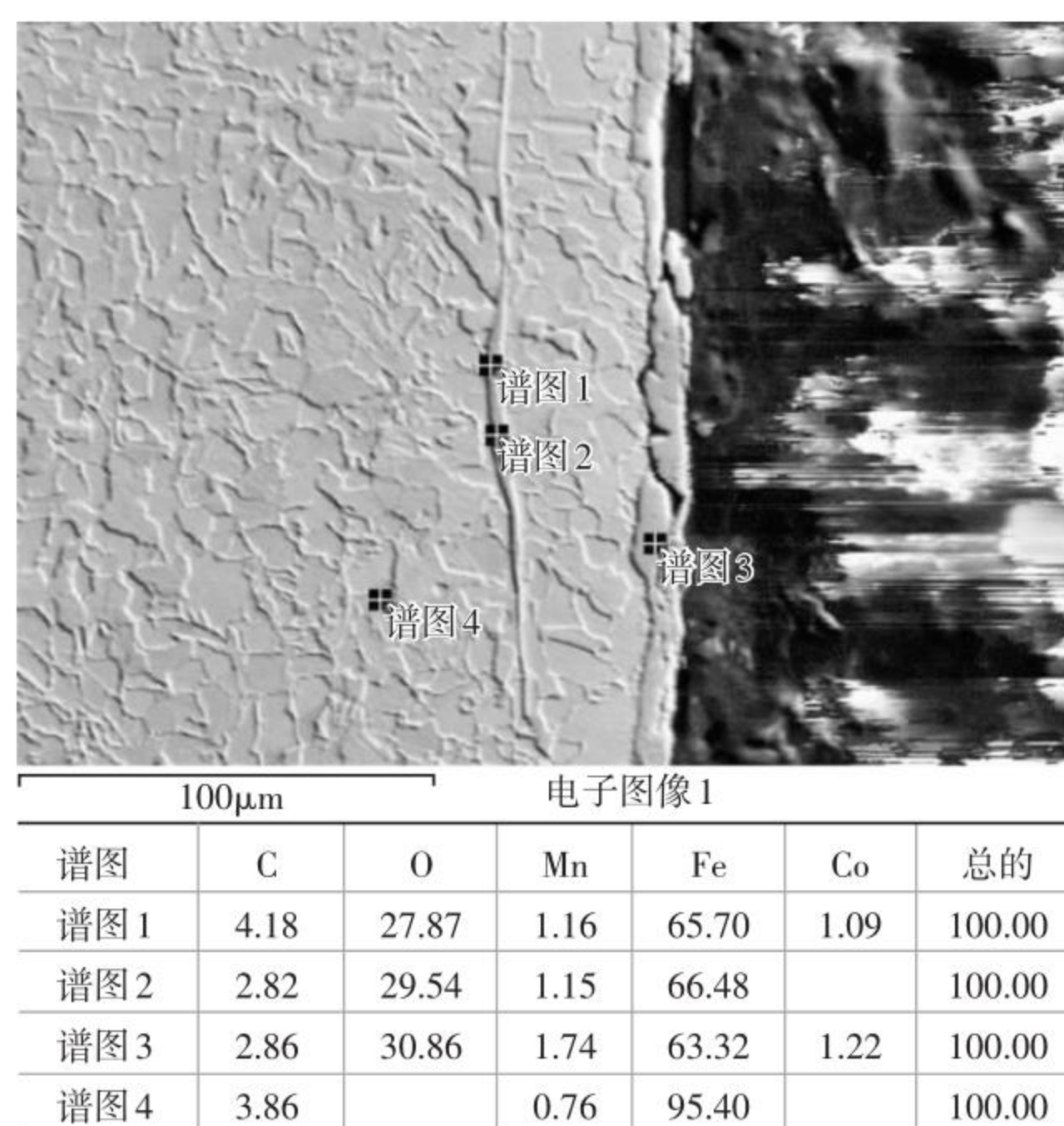


图 3 黑线缺陷压入物能谱

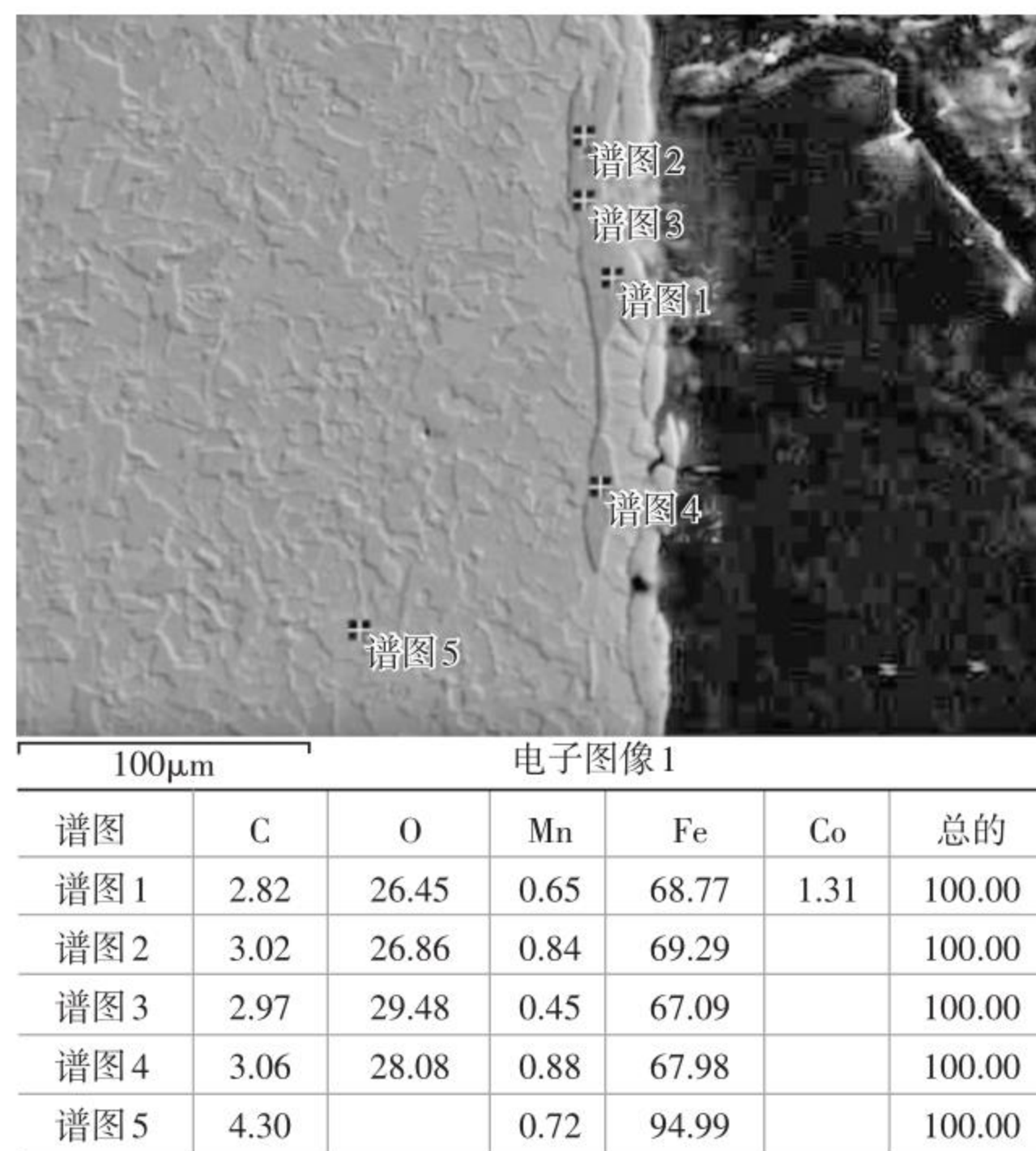


图 4 褶皱缺陷压入物能谱

### 3.3 对比分析

为进一步研究铸坯缺陷对轧后带钢表面黑线的影响,对比正常铸坯与带有孔洞或裂纹铸坯的轧后带钢表面的情况。结果表面,在孔洞和裂口处形成一层由氧化亚铁 FeO 和细密的氧化圆点组成的氧化层,在轧制过程中无法被轧制愈合,遗留在钢板表面就形成了黑线<sup>[6]</sup>。

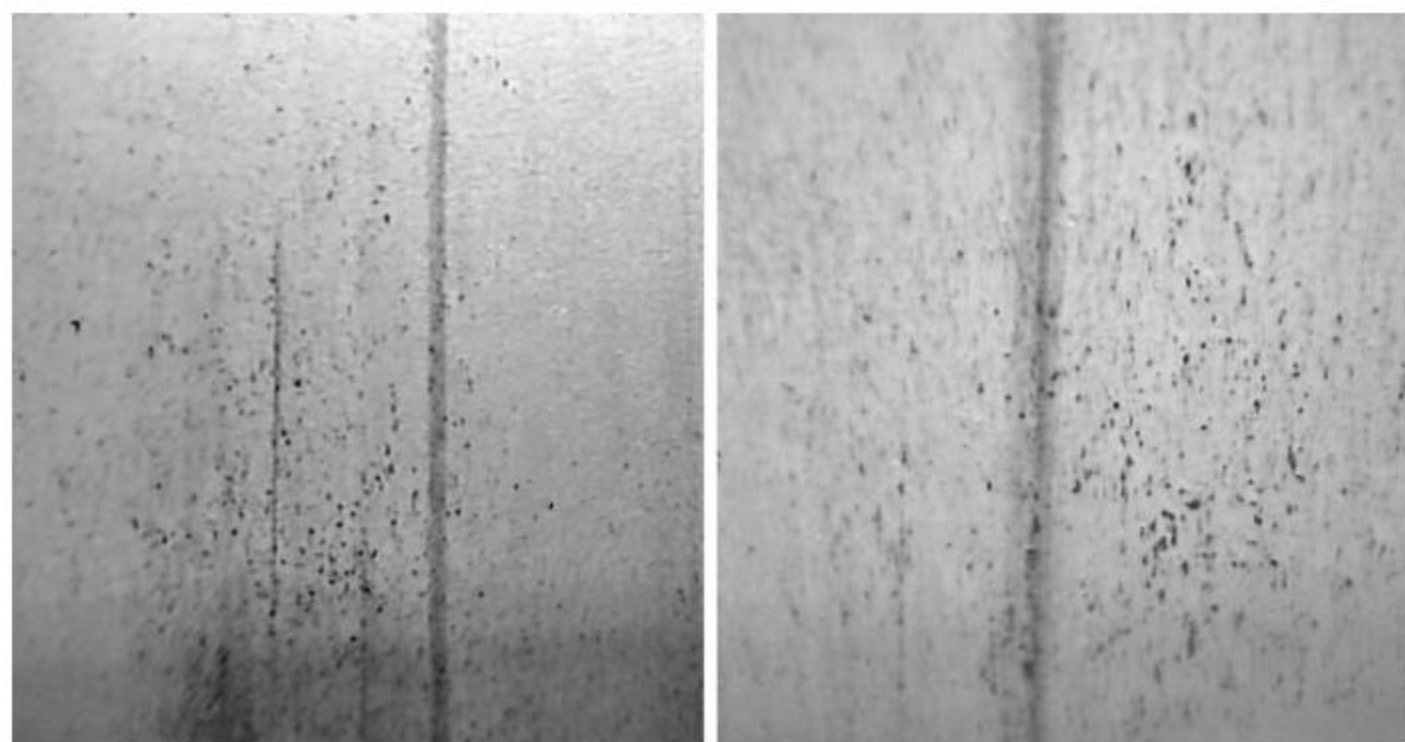


图5 焊瓶钢 HP295 表面黑线缺陷及氧化铁皮压入缺陷情况

造成钢板表面黑线的原因是由于铸坯表面出现微裂纹,在加热过程中,裂纹处首先经高温氧化生成氧化亚铁 FeO,并导致组织脱碳及晶粒长大<sup>[6]</sup>,而且所生成的氧化亚铁 FeO 结构较致密,轧制过程中不能消除<sup>[7]</sup>,而遗留在钢板上形成黑线。该黑线具有如前所述的此次缺陷宏观特征,钢板表面的黑线缺陷实际上是由氧化亚铁 FeO 组成的条带,其深度一般较浅,与板面垂直深度仅为 0.05~0.07 mm。缺陷两侧(或一侧)及其尾部钢基有大量细小而密集分布的氧化圆点,其两侧有脱碳为单一铁素体及晶粒长大现象,说明它们是同一性质的表面缺陷<sup>[6]</sup>。

此外,磁粉探伤检测结果表明,黑线率高的,表面或次表层确实存在一些纵向细裂纹的铸坯。这些出现裂纹的铸坯,受热后裂纹明显扩大,原裂纹在铸坯上较浅的,对成品表面质量影响较小,裂纹越深,留下的黑线在成品上越严重。铸坯上原始深度较浅的裂纹,经加热被氧化后随氧化铁皮剥落而消除,但也有可能暴露出新的纵裂纹,这是由于铸坯上原始皮下纵裂纹加热氧化后暴露扩大出来。由此分析认为,在检验分析中的钢板表面黑线是由铸坯表面缺陷所造成的,黑线缺陷是由铸坯上存在的表面裂纹、皮下裂纹或孔洞引起的。

#### 4 结语

本文针对客户反馈的焊瓶钢 HP295 表面存在黑线缺陷导致在冲压加工后出现褶皱的质量问题进行了机理分析,通过结合缺陷宏观特征与微观组织,开展金相组织、化学成分、铸坯质量对比分析,由此判断此次黑线和褶皱缺陷是由于异物压入和铸坯表面存在裂纹、气泡或孔洞等质量缺陷导致的。针对上述问题为进一步优化黑线缺陷质量管控,结合现场生产情况,采取以工艺优化措施:

(1)针对铸坯表面纵裂等质量缺陷,需进一步分

析缺陷产生原因并针对性采取措施,加强结晶器石英水口的质量检查和控制,在生产上逐步采用铝碳质水口代替石英质水口,增强坯壳承受横向应力的能力,提高在冷凝收缩时抵抗拉坯等应力下的强度,减小在该区域产生纵裂纹;配制性能良好的改进型颗粒保护渣,提高铺展性;将二冷水大喷嘴改成小喷嘴,以降低二冷水强度,使冷凝收缩应力减少,避免冷凝收缩应力加大造成铸坯上原有裂纹的扩展。

(2)针对轧线异物压入情况,热轧工序做好清洁生产维护和设备精度管控,对热卷箱、除鳞箱、精轧机入口和出口刮水板、精轧机侧导板、所有辊系以及和带钢有直接接触的板道进行检查,及时进行清理和维护。通过改进侧导板衬板材质及结构、增加机架间吹扫水、制定工艺通道点检制度等措施,使带钢表面质量得到改善。

(3)针对带钢表面异物压入进行制度优化改进。由于在线检仪表安装在层流出口处,无法实现卷取入口辊道及卷取机组的实时质量监控,因此每班对层流辊道和卷取工艺通道制定检查机制,并增加开卷抽查的频次,避免钢卷异物压入及划伤卷的产生。

通过上述质量管控及工艺改进措施后,在 2023 年合计生产 HP295 约 6 万吨,“黑线”缺陷质量异议未再发生,总缺陷率由攻关前的 2%控制在用户可以接受的千分之三以内,取得明显成效,满足了客户的使用要求。

#### 参考文献:

- [1] 袁勤攀,李义虎,李宗强.柳钢焊瓶钢冲压缺陷分析与工艺改进[J].四川冶金,2021,43(02):34-36.
- [2] 冯志强,姜丰.浅谈带钢缺陷分析方法[J].科技传播,2010,(24):90-91+82.
- [3] 伍康勉,周春泉,肖爱达,等.冷轧板夹杂与氧化铁皮压入的形成原因研究及形貌辨析[J].涟钢科技与管理,2008,(03):7-15.
- [4] Wu K M, Zhu Y Z, Zhou C Q, et al. Cause and Morphology of Inclusion and Pressed in Scale in Cold Rolled Strip[J].Iron & Steel, 2009, 44(2):93-97.
- [5] 王闯,任超,闫梦江.热轧带钢表面丝状异物压入原因分析及预防措施[J].新疆钢铁,2021,(03):46-48.
- [6] 龚桂仙,罗德信.热轧钢板表面黑线缺陷分析[J].武钢技术,1998,36(05):44-46.
- [7] 田俊.冷轧板夹杂类表面缺陷研究[D].武汉:武汉大学,2009.

责任编辑:卢辰