S250GD + Z 镀锌钢带产品点焊开焊原因分析及优化*

敬 鑫,刘成龙

(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: 通过采用合理成分设计和控轧控冷工艺措施,在满足S250GD + Z镀锌钢带产品性能要求的基础上,找到了满足下游客户点焊工艺、生产和检验需求的生产方法,形成了可批量生产具有良好的成型性能、焊接性等特点的镀锌结构钢,对下游焊接工艺为点焊的产品提供了产品设计方向。

关键词: 化学成分;点焊;锌层厚度

中图分类号: TG401 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2020)02 - 0030 - 05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.02.010

Cause Analysis and Optimization for Sealed Off of Spot Welding for S250GD + Z Galvanized Steel Strip

Jing Xin, Liu Cheng - long

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the article, it is introduced that the production method satisfying the demands of spot welding technology, production and inspection for downstream customers is found through adopting reasonable composition design as well as controlled rolling and controlled cooling technological measures on the basis of meeting the product performances of S250GD + Z galvanized steel strip. As a result, the manufactured galvanized structural steel could be with batch production and such characteristics as good formability and weldability, which provide product design direction for the downstream spot welding products.

Key words: chemical composition; spot welding; thickness of zinc coating

镀锌产品由于其表面镀层的作用,耐腐蚀性能要优于普通冷轧表面的产品,在国内拥有广泛的市场。S250GD + Z镀锌钢带产品(以下简称S250GD + Z)经过下游客户的剪切分条、辊压成型后,通过点焊接制作成需要的成品,由于其表面镀层原因,与冷轧钢带相比,镀锌产品的点焊工艺主要有两点不同:一是由于金属锌的熔点低,在焊接过程中,所镀的锌层会优先于钢板熔化,在电极压力的作用下被挤出焊接区域,形成锌环,由于焊接过程中熔锌分流的作用,导致镀锌钢板的焊接工艺参数需要适量调大[1];二是由于熔化的锌与电极反应,会在电极上形成一层合金层,同时也会附着一些氧化的锌,从而改变了电极的物理性能和形状,一方面加速了电极的磨损,降低了电极的寿命;另一方面导致电

* 收稿日期:2019 - 11 - 19

作者简介:敬 鑫(1984 -),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事汽车外板产品推进工作。

极与焊接件的接触面积增大，从而降低了电流密度，影响了焊接质量[2]。本文主要从产品焊接后焊接区域金相组织和锌层厚度对焊接质量的影响进行了分析和产品优化工作。

1　产品开发情况

S250GD + Z 是稀土钢板材厂在产品结构调整初期，面向国内镀锌结构钢市场、依据包钢企标 Q/BG 806—2015 连续热浸镀锌钢板及钢带标准开发的产品。该产品在下游经过纵剪分条、辊压成型、激光直缝焊接成管、管与管点焊成最终的成品。最终成品主要用于塑料吨桶外包装材料，起到保护和方便运输的作用。

2　产品开发设计

2.1　化学成分及力学性能

产品设计依据包钢企标 Q/BG 806—2015 连续热浸镀锌钢板及钢带标准开发的产品，对于产品检验方法、交货状态、产品交货尺寸精度依据客户技术条件要求，标准成分及设计成分见表 1，产品力学性能见表 2。

表 1　标准化学成分以及设计成分(质量分数)　%

项目	C	Si	Mn	P	S
标准成分	≤0.20	≤0.60	≤0.60	≤0.100	≤0.045
设计成分	0.18	0.02	0.36	0.011	0.003

表 2　产品力学性能

牌号	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A_{80}/%
S250GD + Z	371	470	28.0
标准要求	≥250	≥330	≥19

2.2　生产工艺流程

产品生产经过稀土钢板材厂炼钢、热轧、酸轧、镀锌生产工序，具体生产工艺如下。

炼钢工序：KR 脱硫→转炉冶炼→LF 精炼→板坯连铸→原料库冷却至室温

热轧工序：板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→E1R1 粗轧机轧制→E2R2 粗轧机轧制→(保温罩)→飞剪切头尾→高压水除鳞→F1 – F7 精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→托盘运输系统→称重→入库

酸轧工序：酸轧开卷→焊接→拉矫→酸洗→漂洗→烘干→切边→轧制→卷取→称重→标识→打捆→入库

镀锌工序：开卷→焊接→入口活套→清洗→退火炉→锌锅→镀后冷却→水淬→中间活套→光整机→拉伸矫直机→辊涂机→烘干机→空气冷却装置→出口活套→切边→表面检查→涂油→取样、检验→卷取→打捆称重→包装→入库→发货

3　钢带加工检验过程

3.1　钢带加工过程

S250GD + Z 在下游试制工艺流程为：钢卷开卷→纵剪分条→连续成型焊接制管→冲压成型→点焊成吨桶→跌落实验→吨桶成品。

3.2　检验过程及结果

钢卷原料从入厂到吨桶成品出货前共经过三次检验，分别为供应的原料产品技术条件符合性检验、加工成管后使用性能检验和制作成成品吨桶后的跌落检验。

技术条件符合性检验。钢卷入厂后需要对其厚度、宽度、表面质量、力学性能进行符合性检验，经过检验后产品各项技术条件符合技术标准的要求，检验合格。

加工成管后使用性能检验。钢带经纵剪分条后，在连续成型轧机中辊压轧制、焊接成管后，需要对成型的钢管进行扩孔、压扁检验，这一检验过程要求焊接处不开焊。产品经过扩孔、压扁检验符合检验标准要求，检验合格。扩孔检验试样见图 1。

吨桶成品跌落检验。吨桶成品在进行跌落检验前，桶内需装满防冻液，冷冻至零下 15 ℃。检验时从高度 1.90 m 处斜 45°向下跌落，要求焊点不开焊。产品经跌落检验时焊点开焊、断裂，检验不合格，跌落试验样品见图 2。

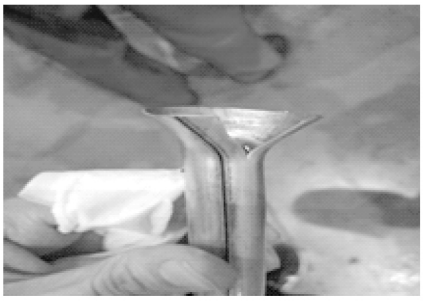


图 1　焊接成管后扩孔检验

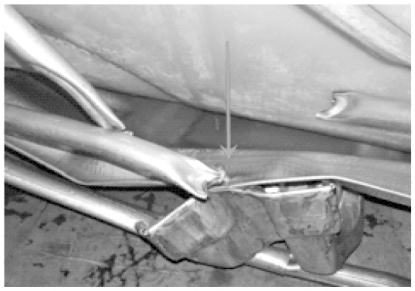


图2 跌落试验开焊样品

4 开焊试样检验分析

通过技术人员后期的技术服务，对产品跌落试验开焊的产品进行了取样。对开焊试样钢管(见图3)观察可以看到，开焊A点为焊合后跌落检验时焊点撕裂，B点可以明显的观察到熔核内部有部分未被挤压出焊合区域的镀层元素“锌”。针对以上观察到的现象，对开焊试样进行了金相组织、扫描电镜的检验分析。

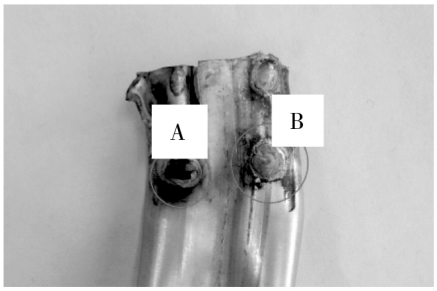


图3 开焊样品

4.1 金相组织分析

对焊点A、B进行了金相组织分析，检验结果为：A点撕裂处未见异常夹杂物，金相组织为马氏体+铁素体+贝氏体+珠光体(见图4)；B点焊点处未见异常夹杂物，金相组织为马氏体+铁素体(见图5)。

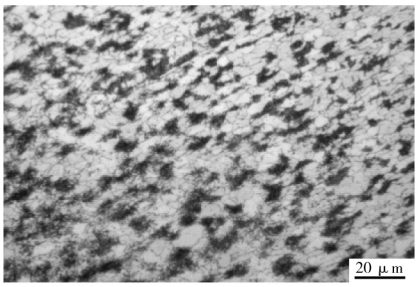


图4 A点开焊处金相组织

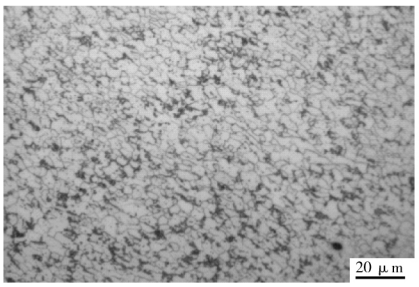


图5 B点开焊处金相组织

4.2 扫描电镜分析

对于镀锌产品进行点焊时，由于焊接处锌残留程度对焊接质量有着直接的影响。因此，分别对开焊点A、B进行面扫，主要目的是检验焊接区域表面锌元素残留情况。开焊部分面扫区域见图6、图7，表3为电镜面扫结果。

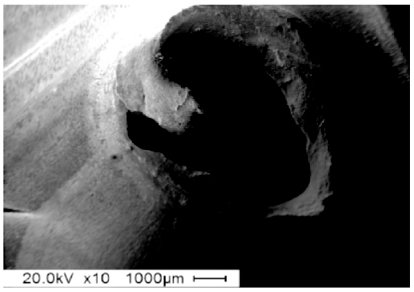


图6 A点扫描区域

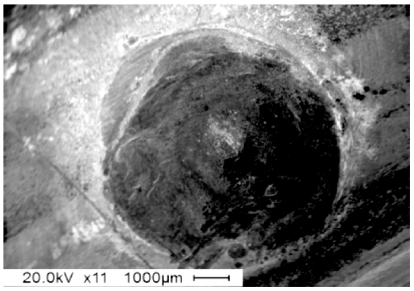


图7 B点扫描区域

表3 电镜面扫检验Zn含量 %

位置	Zn
焊点A	8
焊点B	27

4.3　锌层厚度对比分析

由于客户生产线为全自动化连续生产线，调试生产时完全按照当时的生产工艺路线和工艺参数，产线工艺参数不会因为生产原料不同而变化。对于焊接工序，由于锌层厚度是否与焊接工艺相匹配将直接影响焊接后的焊接质量。因此，有必要对比试制产品与客户正常生产产品的锌层厚度。通过扫描电镜测量锌层厚度可知，产品锌层厚度约为 0.027 mm，略高于正常产品锌层厚度 0.020 mm。

5　产品开焊原因分析及优化

5.1　产品开焊原因分析

通过对开焊钢管开焊点 A、B 进行的金相组织检验可知，焊点 A 属于点焊焊接后撕裂，焊接冷却后焊接处出现了大量马氏体，该类硬而脆的组织出现在焊接处易导致焊点出现虚焊、弱焊、焊点强度低等焊接缺陷，这与产品碳含量过高和焊接后冷却速度较快有关；焊点 B 金相组织同样出现了马氏体，由于焊核处有残余的镀层元素锌，焊接区域结果表明该焊点未完成焊接熔合，直接影响焊接质量。

同时，产品锌层厚度略高。锌层厚度与焊接电流大小成直接关系，当锌层厚度厚时，焊接电流相应增加。所以，对于相同焊接工艺来讲，锌层厚度相对较厚的产品，焊接质量将低于锌层厚度相对较薄产品[3]。

5.2　产品优化

针对以上原因分析，主要在两方面进行优化：第一，降低产品碳含量，以达到控制焊接后焊接处金相组织，避免焊接后出现大量马氏体；第二，优化产品锌层厚度，适当降低镀层厚度，以满足客户生产需要。由于焊接后焊核区域组织出现了大量的马氏体，这与产品化学成分中碳含量过高有关，因此优化的化学成分碳含量是最有效的方法，优化后的化学成分见表 4，优化后的力学性能以及性能对比见表 5。同时，在线控制气刀吹扫压力，保证锌层厚度。锌层厚度经过控制后检验平均值为 0.020 mm，符合客户焊接参数需求保证值。

表 4　优化后化学成分（质量分数）　%

项目	C	Si	Mn	P	S
标准成分	≤0.20	≤0.60	≤0.60	≤0.100	≤0.045
优化成分	0.08	0.02	0.30	0.011	0.003

表 5　优化后的产品力学性能以及性能对比

内容	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A_{80} / %
优化前	371	470	28.0
优化后	281	367	37.0
性能对比	−90	−103	+9
标准要求	≥250	≥330	≥19

5.3　产品优化后效果

经过降低碳含量和控制锌层厚度优化后的产品，再次在客户厂完成试制生产，再次试制的产品经过三次检验后符合客户各项要求。对焊接后合格产品进行了取样（见图 8），对焊接区域进行了金相组织分析（见图 9），优化后产品的金相组织为铁素体和少量珠光体，消除了焊接冷却后出现马氏体组织，达到了优化的目的。



图 8　优化后焊接式样

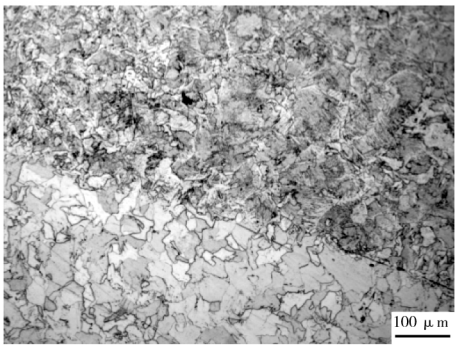


图 9　优化后焊接区域金相组织

6　结论

（1）对于镀锌产品点焊工艺，产品碳含量从 0.18% 降低至 0.08%，可以保证点焊焊接质量满足客户要求，消除焊接区域冷却后马氏体的存在。

（下转第 55 页）

3　工艺参数分析

选择 930 ℃作为淬火加热温度，使 Q690CF 试验钢中更多的碳化物溶于奥氏体中，并且使加入 Q690CF 试验钢的合金元素得到充分固溶，淬透性得到提升。试验钢淬火得到的马氏体是一种亚稳相，碳原子有从晶格间隙自发脱溶的倾向，文中的试验钢中碳化物形成元素较多，具有较高的回火稳定性，在较高温度回火时，马氏体完全分解，过渡碳化物转变成与基体无共格关系的细粒状渗碳体，同时固溶的合金元素在回火后大量析出，阻碍位错运动，强化组织。在 525 ~ 650 ℃的回火过程中，奥氏体发生回复和再结晶，部分位错通过迁移发生合并或抵消，板条逐渐消失，使强度不断降低，并且随着回火温度升高，板条消失的比例增大，强度性能逐渐降低，说明回复和再结晶对强度性能的影响占据主要地位[6]。回火温度升高使得淬火时产生的宏观应力和微观内应力大大减小，同时弥散分布的碳化物使得实验钢的韧塑性不断提高，表现为延伸率和冲击功的提高[7]。

4　结论

(1)综合小炉冶炼结果，所研发的 Q690CF 试验钢成分设计合理，通过降低碳当量和焊接裂纹敏感性指数达到免预热焊接的技术要求，可焊性得到提高，较传统 Q690 具有更低的碳当量和冷裂纹敏感性指数。

(2)Q690CF 试验钢经 930 ℃淬火并于 550 ~ 650 ℃回火时，随着回火温度的升高，屈服强度、抗拉强度降低，延伸率升高。综合不同稀土添加量的试验结果，添加 0.002% 稀土的 Q690CF 试验钢在回火温度为 575 ℃下具有最佳的力学性能匹配，为后续的工业化生产奠定了基础。

参　考　文　献

[1] 姚连登. CF 钢在煤矿机械和水电工程中的应用现状及开发前景[J]. 机械工程材料，2004，28(12)：39 - 41.

[2] 王九清，罗应明，胡湘红. Q690CFD 钢焊接热模拟试验分析研究[J]. 宽厚板，2017，23(1)：1 - 7.

[3] 刘丽华. 低焊接裂纹敏感性低碳贝氏体高强钢板 Q800CFE 的研发[J]. 特殊钢，2014，35(2)：51 - 53.

[4] 黄楠，任慧平，王雪莲. 包钢 Q890D 高强钢的研制[J]. 包钢科技，2017，43(1)：37 - 39.

[5] YB/T 4137—2015 低焊接裂纹敏感性高强钢板[S].

[6] 苏世宇，斯松华，贺文文. 回火温度对 Q890 高强钢组织和性能的影响[J]. 热处理，2012，47(2)：44 - 47.

[7] 李红英，赖永秋. 直接淬火工艺对 Q690 钢组织和性能的影响[J]. 热加工工艺，2017，46(6)：195 - 197.

(上接第 33 页)

(2)生产 S250GD + Z 镀锌钢带产品，找到了保证锌层厚度符合点焊要求的连续生产控制工艺。

参　考　文　献

[1] 程轩挺. 镀层厚度对镀锌钢板点焊质量的影响[J]. 研究与设计，2001，(11)：28 - 30.

[2] 赵涛. 镀锌钢板电阻点焊工艺研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2005.

[3] 王广山，宁亮亮，霍仁杰. 镀锌板点焊工艺研究及应用[J]. 国网技术学院学报，2017，32(5)：41 - 45.