

# ER310 焊接用不锈钢线材开发

王哨兵 杨连金 朱晓洁 王安德 钟尧舜

(瑞浦科技集团特殊钢研究院 丽水 323900)

**摘要:** 通过对 ER310 焊接钢的成分进行优化设计, 利用 Thermo - Calc 热力学计算对该钢种的冶炼过程和轧制过程进行合理的设计, 并在实际的生产过程中进行了验证, 最终成功开发出 ER310 纯奥氏体不锈钢盘条。

**关键词:** ER310; 焊接用不锈钢线材; Thermo - Calc 热力学计算; 冶炼; 轧制

## 0 引言

ER310 焊接用不锈钢的主要成分是 25Cr - 20Ni, 是完全奥氏体组织的不锈钢, 熔敷金属具有优良的力学性能、抗裂性能及抗氧化性能和优良的耐热耐腐蚀性能, 常应用于焊接不锈钢衬里, 或异种钢、高 Cr、高 Mn 钢等的焊接<sup>[1-3]</sup>。瑞浦科技集团特殊钢研究院(下称瑞浦科技)为了满足客户的订单需求, 通过对成分的优化以及冶炼和轧制过程的控制, 成功开发出 ER310 焊接用不锈钢线材。

## 1 工艺流程简介

ER310 焊接用不锈钢线材开发工艺流程为: 成分设计→Thermo - Calc 热力学计算→冶炼过程→连铸坯表面检验→轧制过程→盘条。

根据国家标准(GB/T 4241 - 2006)中关于 ER310 焊接钢的化学成分要求, 对 ER310 的成分进行优化设计, 利用 Thermo - Calc 热力学软件计算得到该钢种的性质图, 控制 ER310 焊接钢冶炼过程中的各个元素的含量, 保证其在标准范围内, 利用 ER310 的性质图推断出合理的热加工区间, 进行现

场试验轧制生产, 确保热轧盘条表面无翘皮、折叠和裂纹等缺陷, 并对热轧后的盘条进行各项性能检验。

## 2 实验过程及分析

### 2.1 成分设计

ER310 是完全奥氏体组织的焊接用不锈钢, 合金元素对于奥氏体组织的稳定性和各项性能有着重要的作用。Cr 具有特别高的钝化倾向, 在不锈钢中能显著改善钢的抗腐蚀能力; Ni 的主要作用是促使形成奥氏体, 使奥氏体组织直至室温或更低温度还保持稳定; Si 是铁素体形成元素, 加入 Si 主要是为了冶炼时脱氧, Si 能促进低熔点相形成, 对焊缝金属中的热裂纹有重要影响; P、S 在焊接奥氏体钢时极易形成低熔点化合物, 增加焊接接头的热裂倾向, 所以应尽量将钢中 S、P 降到最低。

为了获得综合性能优良的 ER310 焊接用不锈钢线材, 根据国家标准(GB/T 4241 - 2006)中关于 ER310 焊接钢的化学成分要求, 并且结合各成分对组织的影响, 确定了 ER310 焊接钢的化学成分, 如表 1 所示。

表 1 ER310 焊接钢化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
GB/T 4241 - 2006	0.08	≤	1.00	≤	≤	25.00	20.00	≤	≤
	0.20	0.35	2.50	0.30	0.030	28.00	22.50	0.75	0.75
设计	0.15	0.30	2.00	0.25	0.020	27.20	21.50	0.10	0.10

### 2.2 Thermo - Calc 热力学计算

通过利用 Thermo - Calc 热力学计算软件, 得到

ER310 焊接钢在凝固过程中的各相析出温度(见图 1)。可以看出在凝固过程中, 1388℃ 时开始析出奥

氏体,伴随着凝固的进行,奥氏体中有各相析出,特别是在 1180℃ 时奥氏体中有 M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 析出,而在 900℃ 时奥氏体中析出  $\sigma$  相。 $\sigma$  相为有害相,容易造成轧制过程中出现开裂的现象,因此要确保线材的终轧温度在 900℃ 以上。

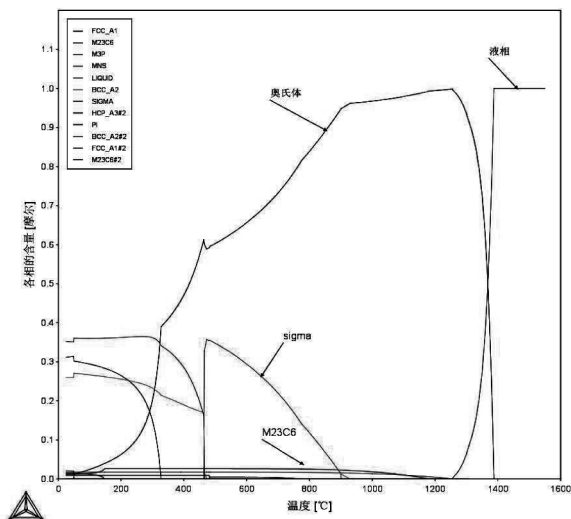


图 1 ER310 焊接钢性质图

### 2.3 生产工艺流程设计

根据瑞浦科技的技术装备情况,确定 ER310 不锈钢线材生产工艺为:电弧炉初炼→AOD 炉精炼→LF 钢包炉精炼→连铸 180 方坯→连铸坯的表面检验及修磨→步进式加热炉加热→高线轧机生产线材→检验→成品入库。

### 2.4 冶炼技术要求

瑞浦科技冶炼不锈钢采用的是不锈钢返回料,返回料的循环使用及铁合金带进部分 P,不锈钢中 P 越来越富集,钢液很容易因 P 含量超标而报废,因此 ER310 冶炼过程中的脱磷问题将是重中之重。不锈钢的脱磷一般在电炉中进行,主要是控制 Si、C 和 Cr 的含量,并且注意熔炼温度的控制。



图 2 ER310 焊接钢盘条表面宏观形貌

在 AOD 冶炼过程中,主要进行 S 元素的控制,在 AOD 冶炼脱碳期,通过调整 O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>(Ar) 的比例,来进行 C 元素的控制,并随时进行温度的调整,在还原期加入硅铁进行还原,提高 Cr 的收得率,并且硅铁有一定的脱氧作用,在该期控制渣系的碱度  $\geq 2.0$ ,精炼脱硫期加入高活性的石灰,吹入氩气搅拌  $\geq 8$  分钟,造渣脱硫,温度控制在 1650℃ 左右,渣系碱度调整为  $\geq 2.5$ ,化学成分控制在瑞浦科技的内控范围内。

LF 精炼炉精炼时间需保证在 1h 以上,软吹时间要保证在 10min,并且喂入高纯度的硅钙线  $\geq 100m$ ,进行夹杂物的控制。

### 2.5 轧制技术要求

ER310 是完全奥氏体组织的焊接用不锈钢,基体组织为单相组织,由于其合金含量极高,在加热的过程中造成热传导性很差,连铸坯不容易烧透,但是当温度过高时轧制容易产生热裂,另外 ER310 不锈钢轧制过程中宽展量大,容易出耳子和折叠等问题,导致轧制过程难以控制,轧制成材率较低。

连铸坯在加热炉内的加热温度在 1200 ~ 1250℃ 之间,保温 2.5 h,使其组织呈现单相的奥氏体组织状态,有很好的热加工塑性,在轧制过程中注意轧制速度的控制,尽量将轧制速度控制在 65m/s 以下,避免速度过快造成的划伤缺陷。另外轧钢对该钢种的连铸坯表面要求严格,钢坯表面不能有气孔、夹渣、翻皮、裂纹等缺陷存在,修磨采用机磨的方式,清除表面夹杂物,否则对成品表面质量的控制带来很大的困难。

### 2.6 盘条表面检验

对酸洗处理后的热轧盘条进行表面宏观检验,图 2 为 ER310 焊接钢盘条表面宏观形貌。由图 2 可以看出,盘条表面并无翘皮、折叠、划伤和耳子等缺陷,表面质量良好。

(下转第 41 页)

下停留时间过长,晶粒长大,晶界出现氧化物或局部熔化时,则锻造可能会导致零件表面开裂,停锻后无论冷却速度的快与慢,均将在零件的表面或心部产生不同程度的过烧现象。

轴承套圈缺陷内夹杂物主要是以铬、锰、铁的氧化物为主,也有可能是加工过程中出现表面裂纹,后经过高温加热,由于氧化物能量的不断积累,逐渐外排了基体成分,在局部区域形成了氧化物的聚集区,而引起该缺陷形貌。高温氧化动力学中速度常数  $k$  与温度  $T$  之间存在 Arrhenius 关系,即  $\ln k = \ln k_0 - Q/RT$ ,式中  $k_0$  为常数, $Q$  为氧化激活能, $R$  为气体常数, $T$  为氧化温度。从 Arrhenius 公式可以看出,随着温度的升高,元素的易氧化性不断增大。文献<sup>[3]</sup>中介绍,高于 600℃ 时,氧化铁停止生长,氧化过程以锰、铬的氧化物为主。因而该文中分析的缺陷是因长时间高温,导致缺陷处的基体元素铬、硅、锰的氧化产物形核并长大,而非原始冶金缺陷。

另外,在磨削加工过程中也有可能产生此类缺陷,如磨削用砂轮粒度、硬度、磨削速度和进给量等工艺参数选用不当会产生大量磨削热量,使零件表面温度剧烈升高。当温度升高到轴承钢的相变温度以上时,会重新发生组织转变,在再次冷却过程中所产生的组织应力和热应力极易超过该处的强度极限,导致磨削表面出现缺陷。

综上所述,套圈外壁缺陷的产生可能为锻造温度过高,锻打时在试样表面产生的锻造折叠缺陷后经车削所致。预防该类缺陷的产生,需从钢材表面质量控制着手。生产过程中,锻造、辗制环件等过程均会导致轴承套圈表面出现裂纹。因此在辗制

后,需对钢材表面进行严格的检查并及时清理;在辗制环件后,必须对出现的缺陷确认其深度并及时清理,以防止存在裂纹的工件流入到下一道工序,从而导致在后续加热或热处理环节工件裂纹处形成高温氧化产物,直接导致工件报废,造成人力和物力的浪费

## 4 结语

1) 该 GCr15 钢轴承套圈缺陷内物质以铬、硅、铁的氧化物为主,扫描电镜分析及高温氧化动力学分析结果均表明其为高温氧化产物;该缺陷是由于轴承套圈在球化退火前已存在裂纹,在高温条件下,裂纹内部基体的易氧化元素发生氧化形成的,而非材料中的原始冶金缺陷。

2) 该 GCr15 钢轴承套圈外壁缺陷是由锻造过程中试样表面产生的锻造裂纹后经车、磨加工所致。

3) 为防止类似缺陷的产生,试件在锻造前应去除表面裂纹,在锻造过程中,应关注试件表面质量,防止因折叠等缺陷形成的表面裂纹。在车、磨加工过程中,也要选择合适的工艺参数,防止缺陷的产生。

### 参考文献

- [1] 刘中柱. 纯净钢生产技术[J]. 钢铁, 2010, 35(2): 64~68
- [2] 钟顺思, 王昌生. 轴承钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- [3] 胡灶福, 张晖. 高铬铸铁高温氧化产物转变和动力学研究[J]. 热加工工艺, 2013, 42(11): 157~160

收稿日期: 2017-09-04

审稿: 林水石

编辑: 吴彩霞

(上接第 38 页)

## 2.7 用户使用情况

瑞浦科技开发生产的 ER310 焊接钢,目前已经形成定量的销售额度,产品的化学成分、力学性能、盘条表面和金相组织良好,符合客户所要求的质量需求。

## 3 结论

通过对 ER310 钢种的生产试验,优化了 ER310 焊接钢的成分,形成了一套稳定的冶炼和轧制生产工艺,成功开发出 ER310 焊接钢。特别注意的是在冶炼过程中关于磷、硫元素的脱除,避免磷、硫元素过高在加热过程中造成的开裂;在轧制过程中要注意加热工艺的控制,ER310 合金含量极高,在加热

的过程中造成热传导性很差,连铸坯不容易烧透,但是当温度过高时轧制容易产生热裂,另外轧制过程中宽展量大,容易出耳子和折叠等问题,导致轧制过程难以控制,轧制成材率较低。

### 参考文献

- [1] 金致华. H00Cr19Ni12Mo2 不锈钢表面缺陷分析[J]. 物理测试, 1996, (2): 22~24
- [2] 孟繁德, 余思信, 叶国华. 焊接用不锈钢 H0Cr21Ni10 和 H1Cr24Ni13 的热塑性[J]. 特殊钢, 1993, 14(5): 10~13
- [3] 英若彩. 熔焊原理及金属材料焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008

收稿日期: 2017-08-31

审稿: 余国松

编辑: 潘君益