

高强连退线吉帕级超高强钢生产关键技术研究与应用

王坤鹏

(河钢邯钢邯宝冷轧厂连退车间 河北 邯郸 056009)

摘要: 高强度与轻量化是当前汽车材料发展的主要方向, 吉帕级超高强钢作为汽车材料轻量化的代表产品, 具有极大的市场需求量。本文结合邯钢 1650 连退线生产实践, 分析了限制超高强钢产能的几方面因素, 包括超强钢之间焊接不稳定, 易出现沿焊缝断带事故; 出清洗段边部带水, 无法高速生产; 冷却速度限制产能; 平整机段与出口段张力波动大等; 针对以上因素, 进行了技术改进, 主要包括以下几点: 优化焊接参数; 改造设计新型清扫装置; 进一步优化冷却速度控制, 优化张力控制, 降低张力波动幅度。通过以上技改措施, 以超高强汽车板为代表的产品各项性能指标均得到了显著提升。

关键词: 冷轧连退; 吉帕级; 超高强钢

高强度与轻量化是当前汽车材料发展的主要方向, 吉帕级超高强钢作为汽车材料轻量化的代表产品, 具有极大的市场需求量。因此, 提高吉帕级超高强钢产品的产量和质量已成为钢铁企业抢占汽车制造业市场和提高企业经济效益的必由之路。邯宝冷轧厂 1650 连退线在生产吉帕级超高强钢的过程中, 曾经常出现超高强钢间焊接不稳定、清洗后表面带水、冷却速率控制不良、检查活套弹跳辊弹出等工艺问题, 严重影响高强钢产能和质量, 其月产能只有 1000 吨左右。针对以上问题, 冷轧厂组织技术人员进行了专项攻关, 通过优化超强钢之间的焊接参数, 设计和加装清洗段吹扫装置, 自由控制冷却速率和动态调整张力控制 PI 控制器参数等技术措施使上述问题得到了解决。在稳定产品质量的同时, 月产能也提高到了 4500 吨以上。为企业带来了可观的经济效益和市场口碑, 也为企业产业升级和产品高端化发展做出了贡献。

1 超高强钢生产中存在的问题

1.1 超强钢之间焊接不稳定, 易出现沿焊缝断带事故

减退机组采用窄搭接焊接方式以保证生产的连续性, 焊接质量直接影响到生产效率。由于高强钢具有合金含量高, 碳当量高, 焊接后淬硬性强, 焊缝热影响区硬度高的特点, 因此可焊接性很差, 在高温和大张力的生产条件下很容易发生沿焊缝断带事故, 以致被迫放缓生产节奏。为了保证高强钢生产的连续性, 过去在两高强钢之间采用普板过渡的方式, 以普板搭接以降低焊接难度和保证焊接质量。但这种卷卷普板过渡的方式, 不仅导致生产周期延长, 高强钢产量上不去; 而且生产能耗和成本也高。因此, 如何实现各类超高强钢之间的直接焊接是钢铁企业急需攻克的难题。

1.2 出清洗段边部带水, 无法高速生产

由于表面浪形, 挤干辊未能将带钢表面上所有的水分全部挤干, 凹凸不平处残留的水分就会被带进烘干机和加热炉中。这些水分不仅会污染炉内气氛, 影响产能, 而且易造成造成炉辊污染结瘤, 复制到超高强钢边部形成麻点缺陷。为了清除带钢表面残留水分, 现有装置在带钢进入烘干机之前, 其上下表面布置有带小圆孔的气管, 以达到吹走带钢表面水分的目的。但该设计吹扫效果并不好, 不能将带钢表面全覆盖, 带钢边部带水的问题未能彻底解决。

1.3 冷却速度限制产能

连续退火高氢快冷的设计冷却速率在 20-60℃/s, 以此冷却速率生产高合金超高强钢, 在此条件下生产超高强钢, 产量低。在提高生产线速度的情况下, 快冷速率很难稳定保证; 并且提高快冷冷却速率同时, 快冷风机负荷增长, 高速喷吹冷保护气体 (20%H₂+80%N₂) 喷吹到热板带表面, 还会导致板带出现抖动。易造成板带与风箱刮蹭后出现表面划伤。

1.4 平整机段与出口段张力波动大

张力控制主要由 PI 控制其进行闭环控制, 现有 PI 控制器的 PI 参数为恒定, 这会导致 PI 控制器缺乏适应性, 参数调整存在不适应和滞后的情况。某些情况下会导致平整机区域、检查活套区域和出口区域张力的大幅波动。在波动期间出口区域起线的瞬间, 由于检查活套区域张力强烈的波动会导致检查活套区域张力超过弹跳辊张力限幅导致弹跳辊弹出引发生产线停车。

2 超高强钢生产技术改进

2.1 优化焊接参数

为实现各类超高强钢之间的直接焊接质量稳定, 采取了以下改进措施:

(1) 超高强生产之前, 更换焊轮, 提高焊轮工作面的平整度, 以最好的状态进行焊接。每次焊完后对于沾渣严重的焊轮也要及时更换。

(2) 优化焊接参数。窄搭接焊接中, 焊机的电压、电流以及不同钢种的成分等均会影响焊接质量。我们针对不同品种规格的超高强钢进一步优化了焊接参数。

以 HC550/980DP 为例, 按下述公式 I - VI 计算所得的搭接量、补偿量、焊接速度、焊接压力、焊接温度和焊接电流进行焊接;

$$W = 0.25 + 0.26 \times H \quad (1);$$

$$C = 0.2 + 0.1 \times H \quad (2);$$

$$V = 19.35 - 2.74 \times H \quad (3);$$

$$P = 1.25 + 3.34 \times H \quad (4);$$

$$\Delta T = 750 + 95 \times H \quad (5);$$

式中: W 是搭接量, 单位为 mm; H 是焊接厚度, 单位为 mm; C 是补偿量, 单位为 mm; V 是焊接速度, 单位为

m/min; P 是焊接压力, 单位为 KN; ΔT 是焊接温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$; I 是焊接电流, 单位为 A; K、 α 、 β 、 ε 为常数, K/ ε 取值 0.247、 α 取值 -2.75、 β 取值为 0.75; ρ 为钢铁的密度, 取值 7.9g/cm³; CE 是焊缝碳当量, 质量百分数。将此公式计算出的焊接参数, 作为参考。根据焊缝表现出的实际情况再微调个别参数, 确定最终参数, 并做好焊接参数记录。通过采取制定更换焊轮标准化作业和完善不同牌号、规格超高强钢的焊接参数后, 使超高强钢直接焊接达到了一次焊接满足生产工艺的需求, 杜绝了超高强钢在生产过程中因焊缝断裂而出现的停车、降速现象。

2.2 改造设计新型清扫装置

为了改善效果,设计了新型的清洗段清扫装置。该清扫装置采用专门的气动阀台和气动管路供气,并设计了距离和角度可调的扁平状空气喷嘴,喷嘴可以 360° 旋转。在保证吹扫压力的同时,提高了清扫的覆盖面,有效地提升喷吹效果,气源由气动管路中间进入,平衡了气源的压力,更大程度上发挥压缩空气的作用。解决了超高强钢带水而减速生产的现象,提高了超高强钢的机时产量。

2.3 进一步优化冷却速度控制

针对带钢冷却速率限制产能的问题,连退线开发高氢快冷冷却速率自由控制技术,将冷速提升至 $120^{\circ}\text{C}/\text{s}$,为生产 1300MPa 超高强钢提供必要条件。为了优化冷却速率控制,减少表面划伤,主要采取了措施:

(1) 调整冷却混合气成分。高氢快冷段采用狭缝式风箱喷吹冷却, 通过增加冷却气体中氢气含量的方式提高了导热系数; 同时通过改进快冷段两组密封辊密封结构、优化炉压控制参数等方式, 在保证退火炉进出口氢气含量不超过 5% 的前提下, 将快冷段氢气含量提高到 20%-30%。保证了安全生产。

(2) 开发移动风箱标定标尺, 减少喷嘴与带钢间距。调整风箱喷嘴与带钢间距也可作为提高气体冷却速率的途径之一。为了避免风箱与带钢的刮蹭, 冷却风箱采用了可移动式设计, 并设计了一种退火炉移动风箱标定标尺。通过该标尺在炉外就可以快速确定风箱的具体位置, 从而更好掌握风箱

移动距离。

(3) 优化区域运行模式，实现冷速自由控制。在生产实践中发现，单独使用一个区域的时候，反而可以获得更高的冷却速率。据此，我们针对不同厚度的带钢建立了区域控制与冷却速率控制的数学模型，可根据带钢的规格，退火温度以及产线机时产量等信息，给出区域风机启停命令和速度设定值。该技术应用后，连退生产线高氢快冷冷却生产超高强钢时，可以在产线速度保证在 50m/min 以上时，冷却速率由 $80^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 增加至 $120^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，实现了高氢快冷条件下生产 1300MPa 级超高强钢。

(4) 优化快冷移动风箱与带钢间的控制距离。为减少人为因素对生产的影响, 将快冷段移动风箱与带钢的控制距离进行优化并固化到数学模型中, 实现了不同规格以及产线速度对风箱移动控制。达到了冷却速率与表面质量的兼容。

2.4 优化张力控制，降低张力波动幅度

通过对张力波动和 PI 控制器算法的分析, 优化了 PI 控制器的参数动态调整。提出采用对比例环节 K_p 参数进行动态调整, 使参数 K_p 在活套不同运行情况下给定不同值。当检查活套设定张力与实际张力差值大于一定值 (设为 ep) 时, 对 K_p 给定新值 K_{pn} , 使整个张力调节处在最优状态。使用 MATLAB 进行仿真验证, 将以上 PDA 采集到的数据提取到 MATLAB, 使用 MATLAB 对 PI 控制器编程模拟实际生产中的张力调节。该项目中的方法应用于高强退连生产线实际生产后, 经过几个月使用, 效果良好, 再未发生过检查活套弹跳辊弹出的情况。

3 结语

通过以上技改措施,以超高强汽车板为代表的产品各项性能指标均得到了显著提升,1650 高强连退线超高强钢实现 48 小时以上连续生产。月产量从 1000 吨提高到 4500 吨以上,超高强钢一级品率从 80% 提高到 96%。为企业带来了可观的经济效益和市场口碑。

参考文献:

[1] 程鹏, 张弘, 张世友. 连续退火线平整机控制技术 [J]. 冶金自动化, 2015 (5).

(上接第 28 页)

动毛刷对接线座零件内腔的异型台阶凹槽毛刺翻边进行清理。

该去除毛刺加工步骤及参数设定为：将专用抛光刷安装于钻头钻夹头上一选用主轴转速 1720mm/r → 手持零件靠近毛刷（毛刷头部置于零件内腔）→ 零件作顺时针位移 → 用空气压缩气清理清理零件内腔 → 包装零件。

4 结语

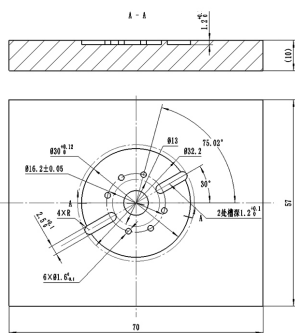


图 2 专用铣具示意图

通过对小型接线座零件的工艺路线中各个工序进行分析,并利用鱼刺图从人、机、料、法、环、测六个方面梳理分析加工风险点及缺陷原因,完成对该零件加工工艺方法的优化和验证。最终,采用优化铣削参数、设计专用铣具、专用抛光刷三个途径进行加工改进和优化,保证了该零件铣削台阶弧形槽与原 $\phi 1.6$ 同心度要求,同时便捷有效地解决了零件翻边毛刺无法有效去除的问题,加工效率显著提升72%,显著的提高了加工质量和操作便捷度。目前,该工艺方法已成熟运用并予以推广借鉴至其他相关零部件加工中。

参考文献:

[1] 王先逵, 李旦卷, 李旦. 机械加工工艺手册: 机械装配工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.