

低碳包晶钢铸坯表面裂纹缺陷的原因分析与防治

师军谦

(河钢集团邯钢一炼钢厂 河北 邯郸 056000)

摘要: 通过分析包晶钢铸坯表面凹陷、裂纹产生的原因,我厂结合生产实际,制定了控制碳含量波动,优化结晶器振动和冷却效果的措施,包括控制连浇炉数碳含量的波动,减少成分对凹陷的影响;优化结晶器振动,改善铸坯对向凹陷的敏感性;改善结晶器冷却,消除了铸坯纵向凹陷;合适的结晶器锥度以及结晶器铜管表面质量;合适的拉速技术等,减少了铸坯凹陷和裂纹问题的产生,提高了产品质量。

关键词: 包晶钢;铸坯;裂纹;原因分析;防治

低碳包晶钢由于其内部组织成分的原因,凝固正好处于包晶区。在铸坯凝固的过程中容易出现较大的、不均匀的体积收缩,继而导致铸坯表面出现凹陷和裂纹等缺陷问题,并对后续的精整和轧制带来困难。我厂在生产 SWRCH15A、Q355B、15CrMoG 等包晶钢种时,铸坯表面出现了大量的表面纵向裂纹、表面横向裂纹、以及角部裂纹等表面质量缺陷,严重影响了铸坯的成材率。通过分析包晶钢铸坯表面凹陷、裂纹产生的原因,我厂结合生产实际,制定了控制碳含量波动,优化结晶器振动和冷却效果的措施,减少了铸坯凹陷和裂纹问题的产生,提高了产品质量。本文对低碳包晶钢铸坯表面裂纹缺陷的原因分析与防治进行了探讨。

1 主要设备及工艺参数

邯钢公司一炼钢厂方坯连铸作业区采用全弧型,连续矫直连铸机,铸机本体半径 10m,铸机冶金长度 25m,铸机流数 8 流,流间距 1250mm。结晶器采用带足辊及喷淋环的弧形管式结晶器;结晶器铜管采用磷脱氧铜材质,长度 900mm。二次冷却方式为气水喷淋冷却,全锥水喷嘴,喷淋水缝 4mm;结晶器进水、回水压力分别为 1.0MPa 和 0.2-0.3MPa;当结晶器坐落于振动框架时,冷却水自动连接。

2 包晶钢铸坯表面出现凹陷和裂纹的原因分析

包晶钢是浇筑难度较大的一类钢种,究其原因,主要在于其内部的包晶结构和含碳量的大小有关。我厂包晶钢主要有 SWRCH15A、Q355B、15CrMoG 等钢种,生产包晶钢时,在铸坯表面出现大量的表面纵向裂纹、表面横向裂纹以及角部裂纹等表面质量缺陷。主要是因为包晶钢的凝固正好处于包晶区 ($L+\delta \rightarrow \gamma$),在固相线温度以下 20 ~ 50℃ 钢的线收缩最大。当结晶器弯月面坯壳在温度下降和刚刚凝固时会发生 $\delta \text{Fe} \rightarrow \gamma \text{Fe}$ 转变,而此时恰好满足了包晶钢的收缩条件,使包晶钢出现比较显著的体积收缩。在包晶钢体积收缩的过程中,坯壳会与铜板分开形成气隙,并在坯壳较薄的部位出现凹陷,导致坯壳厚度变化的不均匀。由于凹陷部位的冷却效果不佳,因而其凝固速度比其它部位要慢,内部组织也比较粗化;在钢液静压力和热应力的作用下,该部位很容易因应力集中而产生裂纹,并且凹陷越深,冷却凝固速度越难,出现裂纹的可能性越大。从上述分析可知,低碳包晶钢铸坯表面裂纹的产生主要与包晶反应下坯壳较

大的、不均匀的收缩和凹陷有关;此外,铸坯含碳量影响下形成的粗大的铸态奥氏体晶粒也与坯壳凹陷的形成有关。由于钢水成分本身的不可避免性,结晶器工艺参数不合适,保护渣性能以及拉速不匹配,使凹陷很难消除。

3 包晶钢铸坯表面裂纹缺陷的治理

经过组织技术人员对包晶钢铸坯表面裂纹缺陷的原因分析,认为缺陷产生的原因主要与碳含量波动、结晶器振动和冷却效果不佳有关。对此,制定了下列优化措施:

(1) 控制连浇炉数碳含量的波动,减少成分对凹陷的影响。当碳含量在 0.06% -0.18% 区间时,低碳包晶钢较容易发生包晶反应。伴随着包晶反应下坯壳的急剧收缩和不均匀收缩而导致凹陷处微裂纹的产生。在结晶器内钢液凝固的过程中,钢中碳含量在 0.12% ~ 0.18% 时,热流值最低。结晶器内刚刚形成的坯壳由于较大的凝固收缩和横向气隙的产生,使热量难以向外散出,该部位冷却凝固缓慢;坯壳向下拉动时,受到内部钢液静压力和回温膨胀,坯壳又会紧贴结晶器内壁,对其内部晶体组织形成一种拉拽作用,如此反复形成横向凹陷。为减少包晶反应的发生和影响,生产中应根据不同钢种的成分要求,尽量使碳含量避开 0.12% ~ 0.18% 的包晶反应区间;实在无法避开的,则可通过控制连浇炉数碳含量的波动,以减少钢液成分变化对凹陷的影响。在生产实践中,通过将含碳量变化稳定在 $\pm 0.01\%$,使铸坯合格率达到了 95% 以上。

(2) 优化结晶器振动,改善铸坯对向凹陷的敏感性。包晶钢弯月面坯壳是振痕深度最大的部位,也是表面横裂纹的源头。对此,可采取优化结晶器振动方式,减小振痕深度的办法予以解决。建议采用高频小幅液压振动的方式,减小结晶器振幅;同时采用控制技术实现频率和振幅在线可调。通过精确的导向和对振动参数的调节,可有效减小弯月面应力,有利于振痕深度变浅,改善铸坯对横裂纹的敏感性。

(3) 改善结晶器冷却,消除了铸坯纵向凹陷。包晶钢凝固的最大特点是初生坯壳的不均匀性,而结晶器缓冷有利于坯壳的均匀生长,结晶器缓冷最有效的措施是适当减小结晶器的冷却水流量和提高结晶器的进水温度,项目实施前结晶器的进出水温度差小于 6℃,项目实施后将结晶器的进水温度由原来的 30-35℃ 提高到 35-40℃,结晶器水流量由原

来的 $125 \pm 5 \text{ m}^3/\text{h}$ 减少到 $110 \pm 5 \text{ m}^3/\text{h}$, 保持结晶器的进出水温度差在 $6 \sim 10^\circ\text{C}$ 范围内。

(4) 合适的结晶器锥度以及结晶器铜管表面质量。弯月面前沿部位是钢液最先开始凝固的位置, 坯壳表面状态与该部位铜管表面的光洁度密切相关。如果铜管表面存在磨损和划伤, 则会导致铜管的热传导出现差异, 使坯壳冷却不均, 容易使坯壳产生裂纹。对此应密切关注铜管表面的光洁度, 避免出现较大的热传导差异。结晶器的锥度应与凝固坯壳的收缩相适应, 但在结晶器使用周期中, 由于磨损和变形结晶器的锥度可能会发生变化, 项目实施前, 一炼钢厂在生产包晶钢时, 对结晶器通钢量与其他钢种没有区别, 项目实施后要求生产包晶钢结晶器通钢量要小于 3000 吨。

(5) 合适的拉速技术。降低拉速相当于间接增强了结晶器冷却, 反而更加剧了结晶器内钢液凝固过程的包晶相变反应。相反, 提高拉速相当于间接降低了结晶器冷却强度。起到和减少结晶器冷却水流量一样的作用。实际生产中, 为防止拉速过高导致漏钢事故, 项目实施前一炼钢厂 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 小方坯拉速控制在 $1.80 \sim 2.2 \text{ m/min}$,

$200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 小方坯拉速控制在 $1.0 \sim 1.2 \text{ m/min}$ 。项目实施后 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 小方坯拉速控制在 $2.0 \sim 2.2 \text{ m/min}$, $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 小方坯拉速控制在 $1.1 \sim 1.3 \text{ m/min}$ 。

(6) 优化结晶器保护渣。结晶器保护渣的主要作用是润滑铸坯和调节凝固坯壳向结晶器的传热。低碳包晶钢在冷却过程对传热的均匀性有很高的要求, 为达到其冷却要求, 应根据低碳包晶钢选用热传导效率较差一些的保护渣, 以使铸坯均匀、缓慢冷却。设计低碳包晶钢保护渣成分和物理性能的指导原则是控制热流和固体渣层厚度。保证较高熔点、较高粘度和较高碱度。

4 结语

技术改进措施实施以来, 包晶钢铸坯无论是纵向还是横向的凹陷和裂纹均显著减少, 凹陷深度也普遍降低到 0.5 mm 以下, 有效提高了包晶钢铸坯质量。

参考文献:

[1] 巩彦坤, 史进强, 颜慧成, 等. 包晶钢连铸坯角部裂纹缺陷产生原因分析与预防 [J]. 河南冶金, 2019, (2) .

(上接第 10 页)

力约 268 Mpa , 超过屈服强度为 256 Mpa , 顶部的承载处存在变形量最大, 位移量约 9.38 mm , 按照垂直升降式立体车库相关设计标准对起重机垂直挠度进行计算, 需要满足公式 $W \leq s/1000$ 。其中, W 表示垂直挠度 (单位 mm), s 表示起重跨度 (单位 mm)。横框跨度 7200 mm , 则垂直挠度需要 $\leq 7.2 \text{ mm}$, 刚度和强度无法满足相关校准要求。

3.4 结构优化

针对最上角层的钢支撑部位所受的载荷最大问题, 可以将此处的角钢进行加厚处理, 在确保车辆进行安全进出的前提下, 在最上层两梁之间设置角钢支撑。通过结构优化, 最大应力 177 Mpa , 位移最大量 6.42 mm , 满足设计要求标准。

4 垂直升降式立体车库的结构设计实际案例分析

4.1 工程概括

该垂直升降式立体车库工程建设面积为 80 平方米, 停车位设计为 50 辆, 建筑高度为 52.5 m 。通过 EPC 模式进行工程建设。在该工程中对于垂直升降式立体车库钢结构的设计为支撑结构体系, 安全等级为二级, 工程场地类别为 II 类, 抗震设防烈度为 6 度, 预计使用年限为 50 年, 钢架结构的抗震等级设计为四类。

4.2 设计流程

按照《车库建筑设计规范》相关规范要求进行设计, 该工程属于小型垂直升降式立体车库。不同于传统建筑, 此工程的机电设备和主体结构都由供货商提供, 相关设计院需要首先对上部结构的受力情况和变形情况进行复核, 确保相关设计满足国家规范要求, 支护对电气设计、给排水、消防、基础进行检查。

4.3 结构设计要点

对于垂直升降式立体车库结构的设计包括基础设计和

上部结构的设计。在该工程中, 上部结构图纸有供货商提供, 设计院进行验算复核, 结合实际工作经验和实际情况开展基础设计工作。

该项目中垂直升降式立体车库支撑结构构件主要包括 Q345、斜撑、纵梁、横梁以及立柱。基础通过混凝土管桩形式, 共 8 根, 混凝土等级为 C30, 桩径为 500 mm , 承台尺寸设计为 $1 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 高度为 1.2 m 。经过计算, 垂直升降式立体车库在受风载作用下最大位移为 146.3 mm , 层间位移角最大为 $1/278$, 地震载荷作用下位移最大 5.7 mm , 层间最大位移角为 $1/5354$, 结构的侧向刚度满足相关要求规范。

强度分析方面, 垂直升降式立体车库底部的尺寸为 $\text{HW}250 \times 14 \times 9 \times 250$, 地脚螺栓规格为 M24, 设计强度无法有效满足。究其原因, 主要是供货商没有对水平载荷进行考虑, 通过分析, 可将 1 ~ 5 层的水平梁截面设计由 $\text{HM}194 \times 150 \times 9 \times 6$ 改为 $\text{HN}298 \times 149 \times 8 \times 5.5$, 底部两层钢支撑截面改为 140×5 , 地脚螺栓选用 M52。

5 结语

随着我国国民经济的不断发展, 全社会车辆保有量将不断增长, 住宅小区和商业停车位供应将逐渐紧缺, 因此需要积极加强对垂直升降式立体车库的设计, 实现垂直升降式立体车库在建筑中的广泛应用, 解决停车难问题。另外, 垂直升降式立体车库的广泛应用也将成为城市建筑的一大新亮点。

参考文献:

[1] 王亦凡, 陶睿. 垂直升降式立体车库的结构设计 [J]. 中国机械, 2016(6):49.
[2] 赵云, 杨海栗, 德祥, 等. 垂直升降式立体车库钢架结构分析及优化设计 [J]. 科技创新与应用, 2016(9):16-17.