

大型热轧支撑辊堆焊修复制造技术

马耀东¹ 刘景凤² 沈凤刚² 符定梅² 王清宝²

(1.大连重工·起重集团有限公司 特种焊接加工厂, 大连 116035;

2.中冶集团建筑研究总院 焊接研究所, 北京 100088)

摘要: 采用药芯焊丝埋弧堆焊硬面技术, 可修复大型热轧支撑辊。本文详细介绍了堆焊修复制造该类辊的堆焊技术要求、堆焊材料的选择、堆焊修复制造工艺的特点及流程。

关键词: 药芯焊丝, 大型热轧支撑辊, 堆焊修复制造

0 前言

众所周知, 随着现代化热轧板带轧机向大型化、高速化、自动化方向发展, 相应对热轧支撑辊的要求也越来越高。对于热轧板带轧机使用的大型支撑辊, 应能满足如下轧制的特性要求^[1]:

(1) 具有较高的抗压强度和良好的刚性, 足以承受高轧制力和峰值负荷;

(2) 具有良好的韧性, 以避免断辊、辊身裂纹和表面剥落;

(3) 辊身工作层有良好的耐磨损性能和抗疲劳性能, 以降低辊耗;

(4) 辊身工作层具有均匀的组织 and 硬度, 使得全辊面具有均匀的耐磨损性;

(5) 具有良好的耐蚀性, 以抵抗热轧过程中高温与润滑或冷却媒介的腐蚀。

基于以上特性要求, 由于合金锻钢支撑辊辊身表面硬度可以达到 70HSD 左右, 以及兼有良好的耐磨性和高的机械性能, 合金锻钢支撑辊的断裂韧性又优于铸钢支撑辊, 因此合金锻钢支撑辊已成为目前热轧板带轧机支撑辊的主要首选。

具有大型热轧支撑辊的热轧板带轧机主要有: 宽带钢热连轧机、薄板坯(连铸)连轧机、中厚板轧机、宽厚板轧机等, 其热轧支撑辊是各生产线上的重要备品备件之一, 每个大型轧钢厂每年都要消耗大量该类轧辊, 由于消耗量大, 轧辊价格昂贵, 越来越引起技术人员的重视。轧辊质量的优劣, 不仅直接影响其使用寿命, 而且对钢材的质量、生产率和生产成本都有很大影响。而采用堆焊方法修复的复合轧辊, 不但修复成本低, 而且能提高轧辊使用寿命, 降低轧辊耗量, 合理使用并节约合金元素, 同时能够提高轧机的效益和产品的质量, 是一种有效的技术经济措施。因此, 对热轧板带轧机支撑辊进行堆焊修复, 进一步提高其性能和使用寿命显得十分重要^[2-3]。

1 堆焊技术要求

对于大型热轧支撑辊, 堆焊修复的一般技术要求有:

(1) 堆焊层应满足特定的化学成分的要求;

(2) 堆焊层应具有适宜的金相组织(包括基体组织和碳化物);

(3) 堆焊层要具有较高的抗剥落性能、良好的耐磨损性能和抗疲劳性能;

(4) 堆焊层应有足够的厚度(最高可达 70~80mm);

(5) 堆焊层应有良好的可加工性能;

(6) 连续埋弧堆焊作业中, 焊材工艺性能优良, 焊渣具有良好的脱渣性(指不粘渣、自动脱渣);

(7) 具有较高的(堆焊)生产效率, 同时要求使用后能多次堆焊修复;

(8) 堆焊层经热处理后的硬度及硬度均匀性满足支撑辊技术要求;

(9) 堆焊层中不得有裂纹、气孔、夹渣等焊接缺陷。

(10) 堆焊修复后的大型支撑辊, 其上机使用寿命不得低于原辊。

2 堆焊专用设备和辅助装置

由于大型热轧支撑辊堆焊修复量大, 一次堆焊 4~7 吨焊丝, 连续堆焊时间长, 这样就对堆焊设备及相应装备提出了较高的性能要求。

堆焊修复大型热轧支撑辊, 堆焊专用设备和辅助装置应具备以下设备能力要求:

2.1 大型轧辊堆焊专用设备要求

(1) 工件转动及支撑系统确保支撑辊实现轴向不窜动的稳定匀速旋转运动, 并且转速要无级连续可调;

(2) 采用单丝多头(条件允许, 至少 4 个机头)同时施焊, 各机头轴向移动应单独控制, 并在堆焊作业时, 做到同步、稳定、可靠。机头移动采用交流变频调速, 调速范围满足堆焊支撑辊连续螺旋参数要求;

(3) 机头的垂直升降，调整过程须平稳，提升高度范围满足堆焊支撑辊参数要求；

(4) 由于连续堆焊作业时间长，要求整个堆焊系统各个部分都要保持稳定、可靠，不出任何故障。

2.2 大型轧辊堆焊辅助装置要求

辅助系统中必须有带自动测温、控温系统的电加热（或燃气加热）保温罩装置，目的是为了确保支撑辊堆焊作业过程中的层间温度技术要求，这一点对于大型支撑辊的堆焊修复尤其重要。另外为了满足长时间的连续埋弧堆焊作业需求，焊剂自动送给装置也必须配备。

表 1 堆焊材料合金成分范围（质量分数，%）

序号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	备注
1	0.15~	0.50~	0.50~	11.50~	0.40~	0.50~	1.00~	0.10~	0.10~	支撑辊
	0.35	1.20	1.80	14.50	0.80	2.50	2.00	0.30	0.30	工作层
2	0.10~	0.20	1.00~	4.50~		0.50~	1.00~	0.30~	2.00~	支撑辊
	0.30	~0.70	2.00	6.50	--	1.50	2.00	0.60	3.50	工作层
3	0.10~	0.20~	1.50~	1.00~		0.40~				支撑辊
	0.20	0.70	2.50	2.50	--	0.60	--	--	--	过渡层
4	0.08~	0.20~	0.80~	0.50~	0.40~	0.20~				支撑辊
	0.12	0.60	1.20	1.00	1.20	0.40	--	--	--	打底层

由于大型热轧支撑辊母材的含碳量或合金含量过高，为确保母材和堆焊金属之间的良好冶金结合，即保证二者具有强韧性俱佳的结合性能，推荐在工作层材料堆焊前，先使用低碳抗压强度较高的焊丝材料进行过渡层堆焊。为进一步降低母材和堆焊层界面的脆化以避免支撑辊使用过程中产生局部剥落，在过渡层材料堆焊前，可先实施打底层材料的堆焊。

为满足大型热轧支撑辊的轧制特性要求以及堆焊技术要求，辊身工作层堆焊金属基体组织设计为强度高、相对韧性好的单一低碳回火马氏体，同时在基体上分布着均匀细小的弥散合金碳化物。

由于针对原辊使用中发生的辊面局部剥落情况，经微观断口组织分析，造成的原因大多为片状或长条状的非金属夹杂物，因此，这里特别强调，要对焊丝材料的纯度提出较高的要求，即尽可能降低 S、P、H 以及有害的非金属夹杂物（硫化物、硅酸盐、氧化物等）含量。

焊丝规格为：Φ4.0mm 或 Φ5.0mm。

3.1.2 焊剂

选用国产经专门研制生产的碱性烧结焊剂。碱性烧结焊剂的渣系为： $MgO-Al_2O_3-CaF_2-SiO_2$ ，碱度 B_{IIV} 约为：1.8，化学活性系数 A_f 为：0.15。

选用原因：

3 堆焊修复工艺

3.1 堆焊材料的选择

3.1.1 焊丝的选择

针对大型热轧支撑辊的不同材质（50CrMo、70Cr3Mo、3%CrMoV）以及轧制的特性要求，可选用马氏体系不锈钢或耐磨性、强韧性和热稳定性好的 Cr-Mo-V（或 Cr-Mo-W-V-Nb）低碳热工具钢成分的埋弧堆焊用药芯焊丝材料进行堆焊修复。表 1 为推荐的堆焊焊丝材料合金成分范围（参考）。

(1) 提高焊剂碱度可以降低焊缝金属的含氧量和含硫量，提高其韧性和抗裂能力；

(2) 为解决高温脱渣问题，应降低焊剂的化学活性（熔炼焊剂 HJ260 的化学活性系数 $A_f \approx 0.46$ ）并加强脱氧。

应用实践表明：选用的国产碱性烧结焊剂比 HJ260、HJ108、SJ301 等焊剂具有更优良的工艺性能，尤其是具有优良的高温脱渣性能，完全能满足大型热轧支撑辊的堆焊要求。

3.2 堆焊修复工艺方案

采用下述工艺流程对大型热轧支撑辊进行堆焊修复：

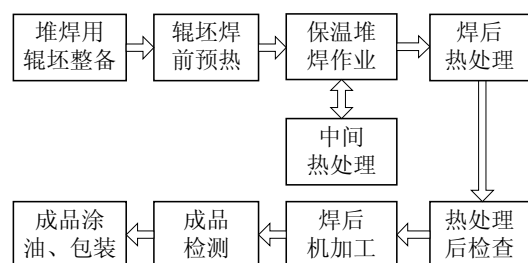


图 1 大型热轧支撑辊堆焊修复工艺流程图

3.2.1 堆焊用辊坯整备

堆焊修复前，对旧辊辊坯进行疲劳层车削、超声和磁粉（或渗透）探伤、局部缺陷焊补、保证堆焊工作层厚度车削的整备工作。

(1) 辊颈探伤

在辊面加工前，对辊颈进行超声波和渗透探伤，若发现有严重缺陷（特别是辊身与辊颈过渡区内），则终止对该辊的后道加工。

(2) 辊面车削加工

将辊面疲劳层完全去除，并车削至保证堆焊层厚度要求。

(3) 局部缺陷焊补

对于局部缺陷，首先要确保缺陷完全清除，车削较深之处，可采用打底和过渡层焊材进行焊补，使之平整。

(4) 辊面探伤

对已车削辊面进行检测，检查疲劳层是否车削净及辊身是否存在裂纹等缺陷，若仍有缺陷，则需继续车削，消除隐患。如果超声探伤出辊坯有严重内伤，则不允许再进行该辊坯的堆焊修复工作。

3.2.2 焊前准备工作

辊坯预热前，要在辊身的两端装上挡环。挡环为焊接式（一次性），用薄钢板（厚度 $\geq 6\text{mm}$ ）制成，并环向对接点焊在辊身两端。挡环的作用是托住焊剂，防止在堆焊时发生熔渣流淌，从而保证在辊身两端得到良好的堆焊层形状。

3.2.3 预热

预热的主要目的是降低堆焊过程中堆焊金属及热影响区的冷却速度，降低淬硬倾向并减少焊接应力，防止母材和堆焊金属在堆焊过程中发生相变导致裂纹产生。预热温度的确定需依据母材以及堆焊材料的碳含量和合金含量而定，参考经验公式：

$$T_0(^{\circ}\text{F}) = 1020 - 630(\%C) - 72(\%Mn) \\ - 63(\%Si) - 36(\%V) - 36(\%Cr) \\ - 31(\%Ni) - 18(\%Cu) - 18(\%Mo) \\ - 9(\%W) + 27(\%Co) + 54(\%Al)$$

其中， $^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$ 。

堆焊过程中应控制预热及层间温度高于 M_s 点，避免堆焊金属发生马氏体相变及淬回火效应，使整个堆焊层焊完之后在热处理电炉中同时进行马氏体转变，只有这样才能保证堆焊层的组织、硬度均匀性。由于大型热轧支撑辊母材及堆焊材料的合金含量均相对偏高，再加之支撑辊的尺寸及堆焊厚度均较大，焊接应力大，故应尽量提高预热和层间温度，又考虑到实际操作上容许程度，将预热温度确定为 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ ，焊道层间温度控制在 350°C 以上。在预热过程中要求：预热升温速度 $\leq 25^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；预热保温时间根据支撑辊外径尺寸大小来确定（原则是确保辊坯从外到里热透）。

3.2.4 保温堆焊作业

(1) 施焊前，选用焊丝和配用烧结焊剂分别按其要求进行烘焙，以去除水份。

(2) 使用具有下降电源特性的直流电源，配备带自动测温、控温系统的电加热（或燃气加热）保温罩装置和焊剂自动送给装置，在大型轧辊自动埋弧堆焊专用设备上，进行多机头单丝圆周方向连续螺旋自动埋弧堆焊。

(3) 堆焊过程必须连续施焊，中途不允许停止。如遇意外情况停焊时，在层间温度保温装置不能保证支撑辊层间温度时，应尽快进炉按预热温度要求保温。

(4) 进行圆周方向螺旋线堆焊时，为防止在辊身两端出现“缺肉”现象，在辊身的两端，即始焊部位和终焊部位，均应先沿圆周方向堆焊一周（即在不移动堆焊机头的情况下堆焊一周），然后再进行螺旋线堆焊。同时为保证各堆焊层间硬度的均匀性，要求堆焊时应使各堆焊层间的焊道位置相互错开 $1/2$ 焊道宽度。

(5) 对于 $\Phi 4.0\text{mm}$ 药芯焊丝，要求：

焊接电流： $400\sim 450\text{A}$

焊接电压： $27\sim 32\text{V}$

焊接速度： $400\sim 500\text{mm}/\text{min}$ （指轧辊堆焊层转动圆周线速度）

焊道搭接：相邻焊道搭接须大于 50% ，具体搭接量应视焊道平整光滑情况。

焊接极性：采用直流反接。

电源特性：采用具有弧压反馈的下降特性。

焊弧导前距离：取决于轧辊直径。一般在 $12.7\sim 50.8\text{mm}$ 范围内，具体导前距离视焊道成形情况。

焊丝伸出长度： $25\sim 35\text{mm}$

焊道层间温度： $350\sim 400^{\circ}\text{C}$

3.2.5 中间去应力热处理

由于大型热轧支撑辊的堆焊厚度较大（最厚达 $70\sim 80\text{mm}$ ），如果一次连续堆焊完成，将使得堆焊金属产生非常大的焊接累积应力（尽管始终保持在较高的预热和层间温度下），该累积应力的存在，将大大增加堆焊辊产生裂纹的倾向，严重时将发生支撑辊开裂的严重事故。因此在堆焊厚度到一定范围时，须进行中间去应力热处理，以降低或消除焊接累积应力。稳妥的措施是在堆焊 $20\sim 30\text{mm}$ 后，进行一次中间去应力热处理。去应力热处理温度要求控制在 $480\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，时间则由堆焊厚度来确定。

3.2.6 焊后热处理

焊后热处理的主要目的是为改善焊后组织和消除焊接应力。堆焊修复支撑辊的焊后热处理应在专用的热处理电炉中进行，要求炉内温度均匀性好，温度测定准确，控温过程精确。

堆焊支撑辊完毕后，应立即吊装热处理电炉进行回火处理，送炉过程中，可用厚石棉垫包裹以防止轧辊温度快速下降，同时炉膛不能冷炉，初始温度应在支撑辊预热温度或层间温度要求范围内。升温过程中，为保证温度均匀，升温速度要缓；降温过程中，为防止产生新的应力，也应缓慢冷却。为充分发挥材料的性能，选择 550~565℃ 进行中高温回火，以产生充分的弥散强化效应。回火后，待支撑辊逐渐冷却至 50℃ 以后，才可以出炉，并要求在静止空气中自然冷却至室温。热处理工艺曲线如图 2 所示：

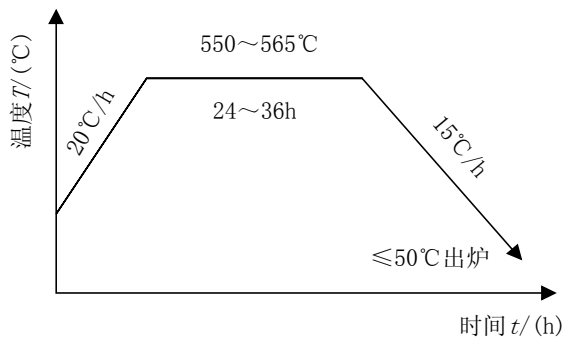


图 2 焊后热处理工艺曲线图

3.2.7 热处理后检查、机加工及成品检测

对经过焊后回火热处理后的堆焊支撑辊进行粗加工，然后进行半成品检验，包括：超声波探伤、硬度检查、外观检查、几何形状及粗加工尺寸检查等。堆焊层的着色探伤（PT）或磁粉探伤（MT）检查在支撑辊最终机械加工完成后进行。

3.3 堆焊层缺陷的手工修焊工艺

对于丝极埋弧自动堆焊方法，在堆焊层中出现的局部微小缺陷，如缺肉、咬边、夹渣、气孔、裂纹等，可采用手工电弧焊方法进行补焊修复，修复工艺如下：

(1) 焊前要用砂轮打磨方法除去缺陷，并进行着色探伤检查。确认缺陷已完全清除后，才可着手修焊。

(2) 用煤气或氧-乙炔焰局部预热，要保证缺陷周围 50mm 范围内达到 $\geq 300^\circ\text{C}$ 的预热温度。

(3) 焊条选用与堆焊层化学成分相同或接近的堆焊焊条产品牌号，直径 $\Phi 3.2\text{mm}$ 。使用前 $300\sim 350^\circ\text{C}$ 烘焙 1hr。

(4) 选用较小的焊接电流，通常为 90~110A，采用直流电源，焊条接正极。为了防止出现焊接裂纹，要采用热锤击焊缝的方法。补焊修复可在焊后热处理后进行，修焊后可不进行热处理。

4 堆焊修复热轧支撑辊的质量检查

在支撑辊的堆焊修复过程中，要按照事先编制的《质量检查要领书》中规定的内容进行严格的检查，以保证堆焊修复辊具有合格的化学成分、力学性能和特殊需求性能，外部尺寸符合粗加工图纸要求，金相组织、硬度、超声波探伤（UT）、磁粉探伤（MT）或渗透探伤（PT）合格。在堆焊修复过程中的质量检查项目主要应有：

(1) 焊前辊坯检查

对需进行堆焊修复的支撑辊辊坯，要核对合格证的数据，并进行辊颈（特别是辊身辊身部位）的质量（UT、MT 或 PT）和尺寸（保证堆焊层厚度车削）检查。

(2) 温度检查

按照《质量检查要领书》中规定的辊坯预热规范进行预热温度检查，堆焊过程中用接触式表面温度计测量工件的层间温度。测量部位选在辊身的两端和中心，层间温度较预热温度低 $20\sim 50^\circ\text{C}$ ，并在堆焊过程中保持这一温度。

(3) 堆焊工艺参数检查

在堆焊过程中应随时检查焊接电流、电弧电压、焊接速度、机头移动速度、焊弧导前距离、焊道成型及尺寸等工艺参数，并填写在记录表内。

(4) 外观质量检查

在堆焊过程中应随时检查堆焊层的外观质量，包括焊道成型，有无裂纹、气孔、夹渣、咬边等焊接缺陷，如有缺陷产生，应及时处理。

(5) 焊后检查

焊后要进行宏观检查、尺寸检查和堆焊层质量检查，在确认无堆焊缺陷和堆焊层有足够的加工余量的情况下，才能进行焊后热处理。热处理完成后对辊面进行车削加工（留出后道磨削加工余量），之后进行表面硬度检查、最终尺寸检查、外观检查和超声探伤（UT）检查（含辊颈的重新检测）。堆焊层的渗透探伤（PT）或磁粉探伤（MT）检查在支撑辊最终机械加工完成后进行。

参考文献：

- [1] Donaldson T, Christier R G, Hewitt P H. Improved cast steel back-up rolls for hot and cold rolling mills[J]. International Journal of Fatigue, 1996, 18(5): 344~345.
- [2] 林剑东,何藩,李强.热轧支撑辊堆焊技术研究 [J]. 工艺与应用, 2003, 32(5): 23~24.

作者简介：马耀东，男，1976 年 1 月出生，工程师。主要从事硬面堆焊技术及热喷涂技术方面的研究及生产制造，发表学术论文 5 篇。

Email: mayd@dhidcw.com

