

碳化硅陶瓷辊棒表面处理中抛磨工艺 一致性与效率提升

王永华

山东华信电炉有限公司 山东潍坊 261000

摘要：对碳化硅陶瓷辊棒表面抛磨工艺中存在的同轴度偏移、压力不均及粉尘残留等问题进行分析，从夹持结构优化、多轮协同调节、同步控制与参数设定等方面进行改进，并对优化前后的同轴度、表面粗糙度、产能与劳动强度进行了对比。研究表明，该优化工艺可显著提升抛磨一致性、抛磨效率与设备运行稳定性。

关键词：碳化硅陶瓷辊棒；抛磨工艺；自动化

1 序言

碳化硅陶瓷辊棒具备优异的高温性能、结构强度和耐磨性能，被广泛应用于冶金、陶瓷烧结等高温领域。良好的尺寸稳定性、抗腐蚀性及表面洁净特性也使其逐步应用于金属加工输送线、电子材料涂布生产线及部分半导体洁净工艺环节，展现出广泛的工程适用前景，其中抛磨工艺是保证其表面质量及尺寸精度的关键处理工艺。传统抛磨工艺存在一致性差、效率低及操作繁琐等问题，亟需从工艺层面进行系统的优化与技术升级。

2 抛磨一致性差原因分析

2.1 多研磨轮构型下的同轴度偏移

当前，碳化硅陶瓷辊棒表面抛磨工艺大多采用四轮或多轮围合式研磨结构。该结构的优点是覆盖面广、效率较高，缺点是一旦夹持不精准或轮组调节误差存在，则容易导致研磨轮与工件轴心不同轴，形成偏心抛磨，从而造成辊棒局部研磨深度不足或过度研磨，影响几何形状精度，误差严重还会导致整根辊棒报废，降低抛磨一致性^[1]。

2.2 多轮接触压力不一致导致局部过磨或者漏磨

多研磨轮同时作用于辊棒表面的过程中，各轮与工件表面的接触压力如果不一致，那么不同区域的研磨将会深浅不一：接触力大的区域易产生局部过磨甚至结构损伤；而压力不足区域则会导致研磨

不充分，残留烧结物或表面不均问题突出。

2.3 人工调节难以保证稳定性

传统抛磨过程中，研磨轮的位置与接触力大多依赖人工调节，存在效率低、劳动强度大及调节精度受操作经验限制等问题，不易实现高一致性重复作业。而更换辊棒或规格切换时，需要频繁重新调整，每次调节都会带来误差累积。操作的不稳定性使得加工质量存在不确定性，制约整体工艺水平的提升。

2.4 典型缺陷案例

在实际生产中，由于同轴度不准、压力不均或调节失误，碳化硅陶瓷辊棒存在三类典型缺陷：一是研磨斑，表现为局部抛光明显、质感不一致；二是过磨点，表面低洼、结构削弱，易成为使用疲劳点；三是环形痕，多因非均匀旋转而形成的周期性轨迹。

3 抛磨工艺一致性提升策略

3.1 夹持对中定位工艺的改进逻辑

三点橡胶柱夹持实现自动居中。传统夹持装置采用刚性爪或机械限位方式固定碳化硅陶瓷辊棒，易造成装夹偏心。本工艺引入三点式橡胶柱夹持结构，通过对称分布、同步转动的摆动臂将辊棒柔性压紧，使其自动居于中心轴线。橡胶柱具备适度弹性，可自适应辊棒微小偏差，提升同轴定位精度，

显著减少偏心打磨缺陷。

3.2 多研磨轮协同调节工艺优化

(1) 齿轮/齿条机构带动同步滑动 针对多研磨轮之间同步调节难的问题,采用内齿环驱动多个从动齿轮联动齿条滑动,使所有研磨轮能实现等距同步向内或向外调整。该结构可以消除传统逐一调节所累积的误差,提高研磨轮对辊棒表面的均衡接触,确保抛磨力分布的一致性。

(2) 动态负载调节压力均衡策略 研磨过程中局部残料或形变点会影响接触稳定性。引入弹性压缩结构及压紧弹簧,使研磨轮能在外力作用下自动避让,可减少局部冲击磨损,实现压力的动态调整^[2]。该策略保护了研磨轮,使得工件受力均匀,有效控制过磨或压伤。

3.3 同轴旋转与往复滑动的路径同步机制

(1) 双轴同步转动工艺节拍控制 抛磨过程中,辊棒须在轴向缓慢旋转,配合研磨轮横向往复滑动,形成全覆盖打磨轨迹。通过双控制电动机分别驱动旋转与滑移系统,设定统一节拍周期,可实现两者同步协调,避免路径重叠或遗漏,确保研磨均匀无死角。

(2) 横向滑动节奏与速度匹配优化 横向滑动速度需与辊棒旋转角速度相匹配。若移动过慢,将导致局部热积聚和过磨;过快则影响表面平整度。通过可调伺服电动机与限位杆控制移动块行程,可实现恒速往复与自动限位,确保在同等加工周期内获得理想的研磨轨迹分布。

3.4 抛磨过程控制参数优化

(1) 接触压力控制范围 推荐研磨轮与碳化硅陶瓷辊棒的接触压力控制在10~20N。该范围可有效清除烧结残料,不会引发辊棒结构损伤或表面晶体破裂。

(2) 抛磨时间、频率与往复次数匹配 单段抛磨时间不超过8min,往复频率控制在0.5~1Hz,横向行程约为辊棒长度的80%。通过周期性变换抛磨方向与起止点,可进一步提升表面均匀度,减少周期性痕迹。

(3) 各参数与表面粗糙度的关联性分析 当接触压力保持在推荐范围内、旋转与滑动速度协同稳定时,碳化硅陶瓷辊棒表面粗糙度值 R_a 可控制在0.6~0.8 μm ,满足绝大多数热处理与输送场景的使用

要求。

该抛磨工艺优化后的设备结构如图1所示。

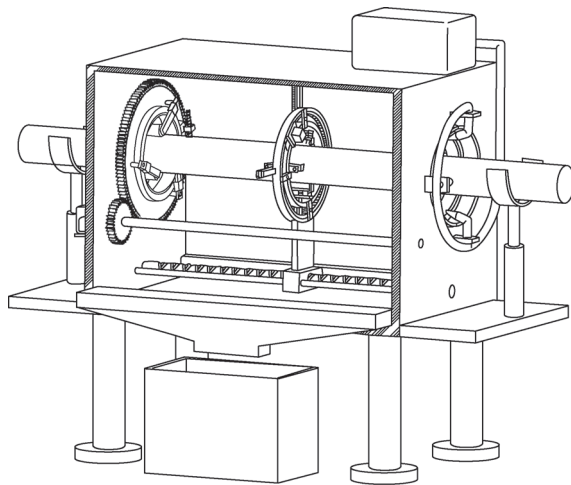


图1 抛磨工艺优化后的设备结构示意图

4 抛磨效率提升途径探讨

4.1 工序集中与自动化程度提升

通过整合夹持、研磨与清理环节,实现流程自动化。自动夹持系统快速定位辊棒,研磨轮协同动作完成打磨,清理系统同步喷气去屑,有效减少人工操作,提升单件处理效率与工艺连贯性^[3]。

4.2 粉尘控制与排屑优化工艺

(1) 气流控制与布气方案分析 采用上下喷气组合的布气方案,清理喷嘴形成定向气流通道,将粉尘集中驱赶至排料口,提升排屑效率,保持设备内洁净,避免粉尘干扰抛磨效果。

(2) 清理频率对设备运行稳定性的影响 定期喷气清理可减少粉尘堆积,防止研磨轮卡滞或设备发热。优化清理频率可降低故障率、延长设备寿命,确保设备长时间稳定运行。

4.3 抛磨节拍与生产节奏匹配

工件换位时间压缩策略。通过优化送料装置与夹持机构配合,可实现辊棒快速上料与定位,缩短非加工时间,压缩换位节拍,提高产出率^[4]。建立高负载批量作业与效率测算模型,即建立以节拍、换料间隔为核心的效率模型,结合排产计划,实现设备利用最大化。

5 工艺优化实效分析

5.1 优化前后抛磨一致性指标对比

(1) 同轴度偏差 在未优化前,由于夹持方

式不稳定,同轴度偏差常达0.8~1.2mm,容易导致抛磨轨迹偏心,形成环状痕或局部削弱。优化后采用三点橡胶柱自动夹持机构,辊棒居中定位精度大幅提高,同轴度偏差稳定控制在0.2~0.3mm,确保研磨轨迹与中心轴重合,减少废品率,提升表面一致性。

(2) 表面粗糙度值 Ra 对比 优化前表面粗糙度值 Ra 常因压力不均或轮组失调波动大,多在0.9 μm 以上。采用齿轮联动滑块结构后,研磨轮接触更均匀,表面粗糙度值 Ra 控制在0.6~0.8 μm ,表面质量更好,满足使用标准。

5.2 抛磨周期与产能提升分析

通过整合优化自动夹持、同步调节及清理一体化等流程,单位工件的抛磨周期从10min缩短至6min左右。原流程中夹持与清理约占整体时间的30%,优化后这些步骤高度集成,实现快速响应。设备从单班日产45支提升至72支,产能提升60%。生产节拍更加连续稳定,降低了操作等待时间和转换频次,有利于实现自动化线体的节奏对接与规模化推广。

(上接第86页)

率与质量的平衡^[4]。

5.2 打磨深度、刀具路径重叠率及接触角调整

若的保障工艺稳定,则应合理控制单次打磨深度,路径重叠率决定打磨覆盖度,一般控制在20%~50%,确保无漏磨与磨痕重叠现象。接触角影响切削效率与表面质量,需结合刀具形貌与工件轮廓自动调整。

6 优化结果对比分析

与传统人工打磨方式相比,优化后的系统在加工时间上缩短约35%,由原平均每件7.8min减少至5.1min;表面粗糙度值 Ra 由3.2 μm 降至1.8 μm ,表面质量明显提升;同批次零件尺寸一致性误差控制在 $\pm 0.15\text{mm}$ 以内,远优于传统方式的 $\pm 0.5\text{mm}$ 。工艺文件的可复用性大幅降低了编程与调试时间,单件调整时间由原来的20min缩减至不到5min,显著提升了生产效率与工艺稳定性。

6 结束语

通过对碳化硅陶瓷辊棒表面抛磨过程中关键影响因素的系统分析,结合夹持、研磨与清理环节的优化设计,有效解决了多轮不协调、定位偏心和效率低等问题。优化后的工艺在保证加工质量一致性的同时,大幅提高了产能并降低了操作强度,验证了抛磨工艺系统集成与自动化控制的可行性。

参考文献:

- [1] 韩玉琪,唐洁媛,廖建尚,等.侧边抛磨光纤抛磨表面粗糙程度分析[J].重庆理工大学学报(自然科学),2024,38(5):312-320.
- [2] 杨志坚.叶片抛磨机器人设计及路径规划研究[D].西安:西安理工大学,2023.
- [3] 据春.工业机器人辅助百页轮抛磨叶片前后缘工艺参数优化及实验研究[D].太原:太原理工大学,2023.
- [4] 据春,刘佳,杨胜强,等.叶片前后缘识别及百页轮抛磨工艺研究[J].中国机械工程,2023,34(22):2674-2683,2692.

MW 20250510

7 结束语

本文围绕铸件浇冒口的自动打磨需求,提出了基于五轴联动结构的工艺优化方法,涵盖路径生成策略、工艺参数设定与误差补偿机制。研究证明,该方法可显著提升打磨精度与生产效率,具备良好的可扩展性与工艺适应性。

参考文献:

- [1] 牛虎利,邢佳洛,王渊,等.大型圆柱形铸件浇冒口切除与打磨一体化设备总体设计[J].机床与液压,2020,48(10):101-103,108.
- [2] 田冬冬.基于AI视觉与机器人的智能化柔性打磨技术研究[J].冶金设备,2022(S1):17-20.
- [3] 郝张红,陈剑.机器人在三缸曲轴打磨工艺中的应用研究[J].机床与液压,2020,48(21):17-20,25.
- [4] 谭银元,徐自立.车用摇枕铸钢件浇冒口切割打磨自动化系统的设计[J].武汉船舶职业技术学院学报,2021,20(1):156-159.

MW 20250505