

轴承加工连续式清洗机清洗效率提升的实验探究与数据分析

陆业聪

宁波银球科技股份有限公司 浙江 宁波 315221

摘要: 在全球制造业向高端化、智能化迈进的大背景下,轴承制造精度与质量愈发关键,清洗工序对轴承品质影响深远。连续式清洗机虽在轴承加工清洗环节占据重要地位,但面对技术革新和市场需求升级,传统清洗液和工艺难以满足新型材料与复杂结构轴承的清洗要求。为解决上述问题,本研究聚焦清洗液配方优化、清洗工艺创新及清洗设备参数精准调校。通过对比不同清洗液成分对杂质溶解能力的差异,探究多种清洗工艺组合的效果。结果显示,新型清洗液使金属碎屑和油污溶解量分别提升约20%,有效延长使用寿命,且优化后的清洗工艺让各类轴承杂质去除率显著提高。

关键词: 轴承;连续式清洗机;清洗效率;提升;数据分析

1 引言

在全球制造业加速迈向高端化、智能化的进程中,轴承作为工业运转的“关节”,其制造精度和质量的重要性愈发凸显。连续式清洗机凭借自动化、连续性强的优势,已然成为轴承加工企业清洗环节的主力军,在大规模生产中发挥着不可或缺的作用^[1]。但技术革新和市场需求的不断攀升,让现有清洗机面临着前所未有的挑战。一方面,随着新能源汽车、高端数控机床等新兴产业崛起,对轴承的精度、清洁度提出了近乎严苛的标准,传统清洗液和工艺难以应对新型材料、复杂结构轴承的清洗需求,导致清洗后的轴承杂质残留超标,废品率居高不下^[2]。另一方面,人力成本上升、市场竞争加剧,要求企业必须提升生产效率、降低运营成本。可现有的连续式清洗机存在设备老化、运行不稳定、自动化程度低等问题,频繁停机维修、人工干预操作,严重拖慢了生产节奏,增加了生产成本^[3]。

基于此,本研究将聚焦清洗液配方优化、清洗工艺创新以及清洗设备等改造,运用先进数据分析方法,深度剖析影响清洗效率的关键因素,探索切实可行的改进策略,并通过实证研究验证方案的可行性与有效性。研究成果不仅有望助力轴承加工企业突破清洗环节的瓶颈,提升生产效率与产品质量,增强市场竞争力。

2 轴承加工连续式清洗机改造设计

2.1 机械结构优化

本研究将传动系统更换为同步带传动,同步带节距设计为10mm,预期带速提升至0.3m/s。同步带具有传动平稳、精度高、噪音低的特点,可有效减少传动过程中

的能量损失和故障发生概率。预计同步带的使用寿命是普通链条的3倍以上,可极大降低设备维护成本。且本研究将喷淋头数量增加至16个,采用多角度交错布置,喷淋角度可在60°-120°范围内灵活调节。喷淋压力提升至0.3MPa,流量增加到15L/min。通过这样的优化设计,清洗覆盖面预计达到98%以上,能有效消除清洗死角。同时将清洗槽长度增加0.5m,宽度增加0.2m,高度保持不变,有效容积从1.2m³扩大至1.8m³,并在清洗槽内增设扰流装置,使清洗液在槽内形成更均匀的流动,增强清洗效果。清洗液装载量相应增加至1.5m³,减少清洗液因杂质污染导致清洗能力下降的频率。预计每清洗200个轴承后,清洗液杂质含量增加10%,相比改造前清洗液更换频率降低^[4]。

2.2 电气系统升级

本研究选用3.0kW的变频电机,转速可在500r/min-2000r/min范围内无级调节。在清洗大型轴承时,通过提高电机扭矩,提升清洗速度,且本研究采用先进的PLC控制系统,搭配人机界面(HMI)。操作人员可通过HMI便捷地设置清洗时间、喷淋压力、电机转速等参数。系统具备故障诊断和报警功能,当设备出现故障时,能够在1分钟内快速定位故障点,并及时发出报警信号,极大提高设备的智能化水平和操作便利性,减少设备故障对生产进度的影响^[5-6]。

2.3 清洗液及工艺改进

本研究采用新型环保清洗液,新型环保清洗液中,表面活性剂占比15%,缓蚀剂占比8%,助洗剂占比5%,其余为去离子水。新型环保清洗液具有良好的缓蚀性

能，可有效保护轴承表面。在清洗过程中，新型清洗液的使用寿命预计比传统清洗液延长50%，减少清洗液的更换频率，降低生产成本。且在清洗过程中增加超声波清洗环节，超声波频率设定为40kHz，功率为1000W。超声波的空化作用能够进一步强化清洗效果，使杂质去除率显著提高^[7]。

3 结果分析

3.1 清洗液对比分析

本研究选取50个型号为6205的轴承，在清洗温度为50℃、喷淋压力为0.3MPa、清洗时间为8分钟条件下，分别使用传统清洗液和新型环保清洗液进行清洗。测定并记录两种清洗液的表面活性剂占比、缓蚀剂占比、助洗剂占比、金属碎屑溶解量、油污溶解量、使用寿命以及更换频率。改造前后的清洗液参数变化如表1所示。新型环保清洗液中的乳化分散油污能力显著增强，有效提升对

油污的清洗效果，新型环保清洗液中的缓蚀剂占比8%，在清洗过程中为轴承金属材料提供了有效保护，防止因清洗造成腐蚀损伤，确保轴承质量稳定。在金属碎屑和油污溶解量上，新型环保清洗液展现出明显优势^[8-9]。金属碎屑溶解量从75mg提升至95mg，油污溶解量从60mg提升至80mg，均提升约20%。这表明新型清洗液对轴承表面杂质的溶解和去除能力大幅增强，能够更彻底地清洁轴承，满足更高的清洗质量标准，有效减少因杂质残留导致的产品质量问题。且可观察到，新型环保清洗液使用寿命从3天延长至4.5天，延长50%，更换频率从每月10次降低到6-7次，进一步减少了清洗液的采购成本和更换时的停机时间及人工成本。在长期的生产过程中，成本的降低为企业带来了显著的经济效益，同时也提高了设备的有效运行时间，可以有效提升企业的生产效率。

表1 清洗液对比变化

对比项目	传统清洗液（改造前）	新型环保清洗液（改造后）
表面活性剂占比	-	15%
缓蚀剂占比	-	8%
助洗剂占比	-	5%
金属碎屑溶解量（mg）	75	95
油污溶解量（mg）	60	80
使用寿命（天）	3	4.5
更换频率（次/月）	10	6-7

3.2 超声波清洗时间变化

本节进一步分析普通精度轴承、深沟球轴承、圆锥滚子轴承及圆柱滚子轴承等轴承的超声波清洗时间变化，选取普通精度轴承、深沟球轴承、圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承各50个，分为三组，分别进行无超声波清洗（改造前）、超声波清洗5分钟（改造后）、超声波清洗10分钟（改造后）的实验。在其他清洗条件一致（如清洗温度50℃、喷淋压力0.3MPa、使用新型环保清洗液）的情况下，测定并记录各类轴承的杂质去除率。试验结果如表2所示。由表可知，随着超声波清洗的引入，各类轴承的杂质去除率均呈现上升趋势。普通精度轴承杂质去除率从原本的60%提升至最高80%，深沟球轴承从70%提升至最高85%，圆锥滚子轴承从65%提升至最高80%，圆柱滚子轴承从60%提升至75%以上，表明超声波清洗能有效增强清洗效果，提高产品清洁度^[10]。

且清洗时间延长，杂质去除率逐步提高，清洗5分钟时，普通精度轴承杂质去除率提升至60%-70%，效果初显。超声波清洗10分钟时，各类轴承杂质去除率提升幅度明显增大，普通精度轴承达到60%-80%，深沟球轴承、圆

锥滚子轴承、圆柱滚子轴承的杂质去除率也显著提高，说明适当延长超声波清洗时间，能显著增强清洗效果。

不同类型的轴承对超声波清洗的响应存在一定差异。深沟球轴承在超声波清洗10分钟后，杂质去除率提升至70%-85%，提升幅度较大。圆锥滚子轴承缝隙处杂质在超声波清洗作用下减少70%，清洗效果明显；圆柱滚子轴承杂质去除率也提升至60%-75%以上，表明超声波清洗对不同结构的轴承均有良好的清洗效果，但具体提升程度因轴承类型而异。虽然超声波清洗15分钟时杂质去除率可能更高，但考虑到生产效率，10分钟的清洗时间在保证清洗质量的同时，对生产效率影响较小，表明在实际应用中，需综合考虑清洗效率和质量，找到最佳的清洗时间。

3.3 不同类型轴承清洗效果

本研究选取深沟球轴承（型号6205）、圆锥滚子轴承（型号30206）、圆柱滚子轴承各50个，分为两组，分别进行未增加超声波清洗（改造前）和增加超声波清洗10分钟（改造后）的实验，试验结果如表3所示。

在三种类型的轴承中，深沟球轴承、圆锥滚子轴承

和圆柱滚子轴承，在增加超声波清洗10分钟后，杂质去除率均有明显提升。深沟球轴承从70%提升至70%-85%，圆锥滚子轴承从65%提升至65%-80%，圆柱滚子轴承从60%提升至60%-75%以上，进一步表明超声波的空化作用能有效剥离轴承表面及内部的杂质，增强清洗效果，大幅提高产品的清洁度。且深沟球轴承（型号6205）未增加超声波清洗时，表面残留杂质颗粒数为15个，而增

加超声波清洗10分钟后，减少至5个以下，表面洁净度得到极大提升，表明超声波清洗对表面杂质的高效去除能力，有助于提升轴承的后续加工质量以及使用性能。且由于圆锥滚子轴承（型号30206）的结构较为特殊，其缝隙处杂质难以清洗。但增加超声波清洗10分钟后，缝隙处杂质残留量减少70%，有效解决复杂结构部位的清洗难题，确保轴承的各个部位都能得到充分清洗。

表2 超声波清洗时间变化

对比项目	无超声波清洗（改造前）	超声波清洗5分钟（改造后）	超声波清洗10分钟（改造后）
普通精度轴承杂质去除率	60%	60%-70%	60%-80%
深沟球轴承杂质去除率	70%	-	70%-85%
圆锥滚子轴承杂质去除率	65%	-	65%-80%
圆柱滚子轴承杂质去除率	60%	-	60%-75%以上

表3 不同类型轴承清洗效果变化

对比项目	未增加超声波清洗（改造前）	增加超声波清洗10分钟（改造后）
深沟球轴承（型号6205）表面残留杂质颗粒数	15个	5个以下
深沟球轴承杂质去除率	70%	70%-85%
圆锥滚子轴承（型号30206）缝隙处杂质残留量	-	减少70%
圆锥滚子轴承杂质去除率	65%	65%-80%
圆柱滚子轴承杂质去除率	60%	60%-75%以上

4 结论

（1）轴承加工连续式清洗机改造前，表面残留杂质颗粒数为15个，杂质去除率达70%；增加10分钟超声波清洗后，表面残留杂质颗粒数降至5个以下，杂质去除率提升至70%-85%，表明超声波清洗对深沟球轴承表面杂质的清理效果显著，不仅减少杂质残留数量，还进一步提高了杂质去除率。

（2）超声波清洗对于各类轴承均有积极作用，尤其是在清洗10分钟的情况下，能显著提高轴承的杂质去除率，提升清洗质量。而5分钟的超声波清洗虽对普通精度轴承有一定效果，但对于深沟球轴承、圆锥滚子轴承和圆柱滚子轴承，相比10分钟清洗，效果提升不明显。因此，在实际应用中，对于追求更高清洗质量的场景，建议采用10分钟的超声波清洗工艺。

（3）本研究增加10分钟超声波清洗工序对深沟球轴承、圆锥滚子轴承和圆柱滚子轴承都产生了积极且显著的影响，不仅减少了表面及缝隙处杂质残留量，还大幅提高了杂质去除率，优化了轴承清洗工艺，在实际生产中，若追求高质量的轴承清洗效果，增加10分钟超声波清洗的改造方案值得推广应用。

参考文献

[1]吴勇,薛旭智.环保碳氢清洗技术及其在热处理行业

的应用[J].清洗世界,2024,40(12):39-41.

[2]郑雪真,王晓燕,刘彩红.脉动真空清洗消毒器对腔镜器械清洗的效果研究[J].中国医疗器械信息,2024,30(22):174-176.

[3]朱建锡,傅剑,王洁,等.植物组培瓶内外壁全自动清洗机设计与试验[J].农业工程,2024,14(09):98-102.

[4]王明娟,梁繁贵,姜愉.蒸发罐自动清洗机设计与实现[J].食品与机械,2024,40(08):93-98.

[5]冯鼎.内胎模具自动化激光清洗系统研究[D].齐鲁工业大学,2024.

[6]董航.组合激光清洗铝合金氧化膜的机理与效率研究[D].长春理工大学,2024.

[7]陈银鹏,宁利川,肖潇,等.激光清洗效果评价体系及系统研究[J].机床与液压,2024,52(07):105-109.

[8]林雅,吴珠芳,李小莲.两种清洗机对手术超声刀清洗效果对比研究[J].中国医疗器械信息,2023,29(21):165-167.

[9]汤利萍,黄蓉,危夷,等.3种不同清洗方式对眼科显微器械的清洗效果比较[J].实用临床医学,2023,24(05):55-58+67.

[10]胡宗益,杨怀洁,李瑾,等.不同清洗消毒方式对消化内镜副送水管道的消毒效果与效率的对比研究[J].生物医学工程与临床,2023,27(05):670-674.