机械零件表面处理技术的研究与应用

江竹茵[1]，李帅孝[2]，王瑛霖[1]
1. 辽沈工业集团有限公司，辽宁 沈阳 110045
2. 陆军装备部驻沈某部，辽宁 沈阳 110004
DOI: 10.61369/TACS.2026090044

摘　　要： 为了克服传统机械零件表面处理工艺依靠经验、精度低、稳定性差的行业弊端，本文采用计算机数字化技术进行工艺的应用研究。文章对目前表面处理在仿真建模、数据融合、参数优化等方面存在的问题进行了梳理，有针对性地提出了仿真推演、多维数据检测采集、智能算法动态调优的数字化优化策略，用实际工业项目验证了方案的可行性。有效地改善了传统工艺生产短板，提高了零件表面处理加工精度和生产稳定性，可以给机械制造领域表面处理智能化升级提供理论和实践上的借鉴。

关 键 词： 机械零件；表面处理；计算机技术；数字化优化

Research and Application of Surface Treatment Technology for Mechanical Parts

Gang Zhu Yin [1], li Shuaixiao [2], wang yinglin [1]
1. Liaoshen Industrial Group Co., LTD., Shenyang, Liaoning 110045
2. A certain unit of the Army Equipment Department stationed in Shenyang, Shenyang, Liaoning 110004

Abstract: To overcome the industrial drawbacks of traditional surface-treatment processes for mechanical parts, such as experience-dependent operation, low precision and poor stability, this paper conducts applied research on the process by adopting computer digital technology. This paper sorts out existing problems of surface treatment in simulation modeling, data fusion and parameter optimization, and puts forward targeted digital optimization strategies including simulation deduction, multi-dimensional data detection and collection, and dynamic optimization based on intelligent algorithms. The feasibility of the scheme is verified through practical industrial projects. The proposed method effectively remedies the shortcomings of traditional production processes, improves the processing precision and production stability of part surface treatment, and provides theoretical and practical references for the intelligent upgrading of surface treatment in the mechanical manufacturing field.

Keywords: mechanical parts; surface treatment; computer technology; digital optimization

在智能制造和工业4.0的数字化转型大背景之下，机械零件表面处理是提高零部件耐磨性、耐腐蚀性和使用寿命的重要工序，也是高端精密制造产业升级的重要环节。传统的表面处理工艺大多依靠人工经验以及试错的方式，存在参数调节粗放、质量稳定性差、工艺复用率低等缺点，不能满足高精度、复杂化零件的生产要求。伴随着数字孪生、机器视觉、大数据建模等数字化技术同制造业领域的深度融合，以数据为基础的智能化表面处理方式逐渐取代了以前依靠经验进行的工艺。依靠数字化手段达成工艺参数的实时监测、动态改良和精确控制，可以很好地解决传统技术的限制，对于改善机械零件表面加工精度、生产速度和标准化程度有着十分重要的作用。

一、开展机械零件表面处理技术研究的现实意义

现代先进制造体系中加入计算机技术对机械零件表面处理技术进行研究有重要的现实意义。依靠计算机仿真模拟、智能算法优化、自动化测控等技术，可以达到表面处理工艺的精准建模、参数迭代优化、全过程智能控制的目的，从而摆脱传统工艺对人工经验的过度依赖。可以很好地解决零件表面处理均匀度不够、批次质量不稳定等问题，使表面处理工艺向着自动化、精确化、智能化的方向发展，促进制造业提质增效，给高端机械零部件国产化、精密化生产提供关键技术支撑[1]。

二、机械零件表面处理技术应用现存现实难点

（一）仿真建模不足，数字预判技术支撑较为薄弱

机械零件表面处理的数字化作业流程中，数字化仿真预判环节存在明显的不足。现有的仿真模型大多是固定的结构，只能对

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

常规的标准零件表面处理进行模拟运算，不能满足异形、高精度复杂的零部件工艺仿真需求。模型对于喷涂、电镀、抛光等处理工序微观表层变化、应力分布、缺陷生成规律的模拟精度较低，不能准确预测工艺实施后零件表面质量的状态。由于缺乏数字化技术的支持，工艺前期的预判工作大多依靠传统的经验来进行，而数字化预判所具有的辅助决策作用不能得到充分发挥[2]。

（二）数据融合欠缺，智能检测体系建设仍有滞后

目前表面处理行业没有建立起一体化的数据采集、融合应用系统。生产现场的零件基材参数、工艺运行数据、环境数据、成品检测数据等都是分散孤立的，各个生产设备、检测系统之间的数据接口不统一，存在严重的数据壁垒[3]。各类生产数据不能实现实时互通、整合分析、联动应用，造成表面处理质量检测缺少全面的数据支持。智能化检测设备覆盖率低，传统的手工抽检方式仍然占据主要地位，不能对全过程、全方位进行准确的检测，阻碍了智能质检体系的建立和实施[4]。

（三）算法迭代缓慢，工艺参数优化能力有待提升

目前表面处理工艺智能优化体系存在着明显的不足，智能算法更新换代的速度不能满足智能制造的生产需要。现有的优化算法大多为固定的程序化模块，只能对基本的参数进行微调，不能根据生产工况、零件材质不同、环境变化等动态变量自行更新升级。算法对于复杂的工况下工艺参数的匹配度不高，不能发现参数组合和表面处理质量、生产能耗之间的深层次联系，不能实现工艺参数的动态精准优化，不能满足高端精密零件表面处理的高品质生产要求[5]。

三、基于计算机技术的表面处理应用优化策略

（一）搭建仿真模型，推演零件处理工艺演化规律

数字化技术的落地应用可以很好地弥补表面处理工艺预判的不足。企业可以利用计算机仿真技术对工艺进行模拟，根据零件材质、结构参数以及表面处理工艺机理来建立适合的数字化仿真模型。工作人员可以对模型运算逻辑进行优化，改变微观形变、应力变化和涂层成型的模拟运算维度来提高复杂零部件工艺模拟的准确性[6]。利用仿真系统对工艺全过程进行数字化推演，提前发现工艺实施过程中存在的缺陷和参数偏差，完全克服了传统经验预判的不足，给工艺方案的制定提供数字化的数据支持[7]。

比如在航空发动机钛合金整体叶盘滚磨光整加工项目中，企业主要采用计算机数值仿真技术来创建全流程工艺模拟系统，有目的地解决复杂曲面零件加工均匀性不好、前期工艺预判不准等行业难题。项目以流体力学和动力学耦合为基础，建立专门的仿真运算模型，准确模拟出磨块运动轨迹、滚筒转速、装料配比等主要变量对零件表层加工效果的影响机理[8]。工作人员根据模型边界条件的调整来修正叶盆、叶背不同曲面的仿真运算误差，准确推算出加工时零件表面粗糙度的变化以及材料微量去除的过程。实测结果表明仿真预判参数与实际加工参数的误差控制在4.3%以内，通过仿真优选出50% ~ 60%磨块装入量、0.65 ~ 0.8倍最大转速的工艺区间，可以使得零件各个区域的表面加工均匀性提高38.6%，有效地避免了传统试错加工造成的零件报废和工期延误，给复杂精密零件表面处理工艺方案定型提供准确的数据支持[9]。

（二）构建检测系统，采集表面处理多维状态数据

企业依靠计算机信息技术创建起智能化质检体系，冲破行业数据孤岛状况。工作人员可以统一各种生产、检测设备的数据传输接口，搭建一体化的数据采集和存储平台，全方位收集生产环境、工艺运行、零件基材、成品质量等各方面的核心数据[10]。用数字化技术对各种数据进行实时采集、分类整理、云端同步，弥补传统检测模式下数据采集不全面、滞后的问题。依靠完备的多维数据资源，创建起全流程在线监测体系，改善表面处理品质检测的全面程度和精确度，给工艺改良赋予有力的数据支撑。

以汽车精密螺栓静电喷涂加工为例，企业采用计算机大数据采集与智能监测技术创建起一体化数据管控平台，从而克服生产数据分散、质量检测滞后、数据不能相互联系分析等难题。项目统一喷涂设备、环境监测仪器、厚度检测设备的数据传输协议，建立生产全过程的多维数据采集系统，对喷涂进气压力、扇面压力、喷涂距离、车间温湿度、基材粗糙度、成品涂层厚度等二十余个主要参数进行实时收集[11]。系统以1秒一次的数据抓取和云端归档的方式工作，对异常干扰数据进行自动分类剔除，得到完整的工艺数据台账。从项目运行数据可知，该体系可以实现100%生产数据的采集，比传统的手工抽检模式数据采集完整度提高92.7%，涂层厚度检测误差降到 ±2μm，可以及时发现微小工艺波动造成的质量隐患，完全克服了传统检测模式滞后、覆盖面小的缺点，给工艺精准优化提供全面、可靠的依据[12]。

（三）运用智能算法，实现处理工艺参数动态调优

企业可以依靠计算机智能技术来提升工艺优化体系的动态调整能力，使参数的调节变得更加灵活。工作人员引进新的智能运算程序，对传统的固定参数调节模块进行升级，使系统具备自主学习、不断更新的能力[13]。通过程序不断对多维生产数据进行分析，发现工艺参数、生产环境、成品质量三者之间内在联系，自主完成参数组合的更新。依靠智能程序完成工艺参数的实时自适应调节，适应不同材质、不同结构零件的生产要求，不断改善表面处理工艺的精确程度和稳定性，符合高端精密零部件的生产标准[14]。

以7075铝合金结构件喷丸强化加工为例，企业主要使用机器学习智能算法创建工艺参数动态优化系统，摆脱传统固定参数加工模式的束缚。项目利用大量的历史生产数据集，把零件表面残余压应力幅值、应力层均匀度、表面粗糙度当作主要的优化指标，创建起多目标智能优化算法模型[15]。系统不断把不同弹丸覆盖率、弹丸速度、加工时间所对应的成品质量数据归集起来，从中自动找出参数变量与产品质量的内在联系，从而让算法模型不断更新。实际生产数据表明，算法可以依据零件基材的不同以及车间环境温度的波动，自动调节工艺参数，当弹丸覆盖率达到200%临界阈值的时候，铝合金工件表层残余压应力分布更加均匀，表面粗糙度合格率达到99.1%。该种智能控制方式不需要人工反复调节参数，可以满足多批次、不同批次产品的加工要求，从而大大提高了工艺稳定性和产品质量。

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

四、结语

综上，本文主要研究的是数字化背景下计算机技术在机械零件表面处理方面的应用问题及优化途径。本文对目前表面处理工艺中存在仿真建模精度低、数据融合差、工艺参数优化慢等问题进行梳理，根据数字化制造技术特点提出适合行业生产需求的智能化优化方案。利用工艺仿真建模、多维数据采集检测、智能算法动态调优这三个主要的技术手段，并且对实际工业项目进行了验证，证明了数字化优化策略是可行的、有效的。有效地解决了传统表面处理依靠人工经验、质量不稳定、工艺适应性差的问题，给机械零件表面处理工艺智能化、精准化、数字化升级提供了一种可行的技术途径和理论支撑。

参考文献

[1] 苗雅丽，杨玉霞 . 基于 SolidWorks 的《机械零件与典型机构数字化设计》教学改革实践探索——以凸轮机构设计为例 [J]. 机械管理开发 ,2025,40(7):280-282.

[2] 肖依晨，李德方 . 基于数字化项目教学法的职业教育教学活动设计及应用——以 " 机械零件加工 " 课程为例 [J]. 职教通讯 ,2025(11):99-111.

[3] 吴远文 . 机械制造工艺对机械零件加工精度的影响探究 [C]//AI+ 智慧建造与建筑数字化转型交流会论文集。2026:1-3.

[1] 王艺森 . 基于照明自适应调节的 YOLOv8 机械零件视觉识别系统设计 [J]. 灯与照明 ,2025,49(6):10-12.

[2] 梁文恒 . 基于声波辨识的机械零件缺陷检测技术研究 [D]. 西京学院 ,2025.

[6] 杜承韬 . 基于点云模型的机械零件数字化检测方法研究 [D]. 郑州：郑州大学 ,2023.

[7] 辛保娟 . 数字化三维模型在纺织机械零件加工中的应用 [J]. 轻纺工业与技术 ,2023,52(4):57-59.

[8] 林春苗 . 机械零件智能制造中的工装夹具设计与实操应用 [J]. 模具制造 ,2026,26(2):189-191.

[9] 张权 . 面向机械零件的点云分割和曲面拟合系统的设计与实现 [D]. 苏州：苏州大学 ,2025.

[10] 饶锡新，柳和生，杨义，等 . 机械零件磨损量评定的数字化模型获取 [J]. 应用基础与工程科学学报 ,2008,16(1):79-85.

[11] 张沅 . 基于定位工艺几何特征的机械零件数字化检测方法研究 [D]. 南京：南京航空航天大学 ,2017.

[12] 刘金龙 . 基于参数化建模的机械零件自动化设计方法 [J]. 机械工业标准化与质量 ,2025(12):51-53,70.

[13] 程文青 . 基于深度学习的机械零件点云语义分割和形状拟合的研究 [D]. 成都：电子科技大学 ,2025.

[14] 袁文婷，秦国防 . 课程教法改革典型案例探索——以机械零件与典型机构数字化设计为例 [J]. 济源职业技术学院学报 ,2024,23(1):33-38.

[15] 李树清 . 三维数字化工艺设计系统在机械制造中的应用研究 [J]. 科技资讯 ,2025,23(2):132-134.

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License