

机器视觉检测技术在机械零部件生产中的应用

葛中华

宁波利凯特环保科技有限公司 浙江 宁波 315600

摘要: 机械零部件加工质量直接决定机械设备的运行性能与使用寿命,传统人工及常规检测方式精度低、效率弱,难以适配规模化精密生产需求。依托图像识别与智能算法的机器视觉技术,可替代传统检测手段开展零部件全流程质量管控,本文围绕零部件形貌检测、尺寸检测、缺陷筛查及生产工序管控四大维度,系统探究该技术在机械零部件生产场景中的具体应用形式。分析结果表明,机器视觉技术能够有效弥补传统检测的盲区与误差问题,提升零部件加工精度、产品合格率与生产线自动化水平,可为机械加工行业提质增效提供技术支持。

关键词: 机器视觉;机械零部件;尺寸检测;缺陷筛查;工序管控

引言:智能制造转型背景下,机械加工行业逐步向精密化、规模化、自动化方向升级,市场对零部件的成型精度、尺寸一致性与整体质量稳定性提出了更高标准。传统人工检测与常规量具检测模式,易受人为经验、设备精度与作业环境限制,存在检测效率低、误差大、漏检率高等诸多弊端,难以满足现代化批量生产的质量管控需求。机器视觉检测技术凭借高精度、高效率、非接触式检测优势,广泛应用于机械加工各环节,可实现零部件质量的精细化、标准化管控,助力生产流程的规范化升级。

1 机器视觉检测技术在零部件形貌检测中的应用

1.1 零部件外观轮廓检测应用

零部件外观轮廓是成型加工的基础形态指标,轮廓的完整度与规整度,是保障零部件装配匹配、设备稳定运行的前提条件。机械加工过程中,受机床加工误差、工装定位偏移、加工工艺偏差等因素影响,零部件容易出现轮廓变形、边缘缺角、外圆畸变、轮廓不规则等成型问题。机器视觉检测系统可通过专业成像设备采集零部件完整轮廓图像,借助图像降噪、边缘分割、特征提取算法,精准锁定零部件轮廓边界信息。系统能够高效识别各类轮廓成型缺陷,完成轮廓尺寸偏差与形态异常的精准判别。整套检测流程无需人工干预,检测精度远高于传统人工筛查方式,可适配大批量零部件的连续化检测作业,维持零部件外形加工的一致性与规范性^[1]。

1.2 零部件表面纹理与形态检测应用

零部件表面纹理与整体形态能够直观体现加工工艺的优劣,表面状态不合格会直接降低零部件的耐磨性、美观度与使用可靠性。机械切削、打磨、冲压等加工工序,容易让零部件表面产生划痕、麻点、局部凸起、凹陷、纹理不均等各类缺陷。多数细微缺陷尺寸极小,无

法通过肉眼或常规检测设备有效识别,长期留存会影响零部件后续加工与装配效果。机器视觉技术依靠高分辨率成像捕捉表面光影变化与像素差异,精准提取零部件表面纹理特征。算法通过特征数据比对,精准筛查表面瑕疵与形态异常,完成表面加工质量的标准化判定。这种精细化检测方式可以捕捉各类微小加工缺陷,筑牢零部件表面质量的管控基础。

1.3 零部件边角、孔洞结构形态检测应用

边角、孔洞属于机械零部件的核心功能性结构,多用于装配定位、固定连接与传动配合,结构成型质量对整机装配精度至关重要。加工工序出现偏差时,零部件边角会产生毛刺堆积、钝化、缺损等问题,孔洞结构会出现圆度偏差、孔壁粗糙、孔径形变、内壁凹凸等质量问题。这类结构缺陷会造成装配错位、连接松动,大幅降低机械产品的运行稳定性。机器视觉检测技术可针对边角、孔洞重点区域开展聚焦成像,精准采集局部结构特征数据。系统依托智能算法分析边角平整状态、锐利程度,判别孔洞圆度、孔壁规整度等关键指标,精准排查各类结构成型缺陷。针对性的定点检测模式弥补了传统检测方式对细微结构把控不足的短板,强化零部件关键功能结构的质量管控力度,保障零部件整体加工质量达标。

2 机器视觉检测技术在零部件尺寸检测中的应用

2.1 线性尺寸自动化检测应用

线性尺寸属于零部件最基础的加工参数,涵盖工件长度、宽度、厚度、孔径、槽距以及各类端面间距等基础指标,是零部件成型质量管控的首要内容。传统量具采用接触式单点测量,只能选取有限点位获取数据,无法完整反映工件整体尺寸状态,传统卡尺、千分尺测量误差普遍在 $\pm 0.03\sim 0.05\text{mm}$ 。细小孔径、窄槽间距等微型结构,还会出

现量具无法伸入、测量数据失真的情况。机器视觉检测系统通过高清工业相机完成工件全域成像,结合专业光源消除成像干扰,利用边缘识别算法精准提取工件轮廓边界。系统完成像素与实际物理尺寸的精准换算,线性尺寸检测精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$,实现全域线性尺寸的自动测算与数据记录。整套检测流程无需接触工件,不会对精密零部件表面造成损伤^[2]。检测模式适配规整构件与异形构件的尺寸筛查,可快速完成大批量工件的尺寸核验,持续保障零部件基础尺寸的加工合规性。

2.2 几何公差匹配检测应用

机械零部件的整体加工质量,不能只依靠基础线性尺寸完成判定,几何公差参数的合规性对工件结构形态与使用性能影响深远。几何公差主要包含平面度、垂直度、平行度、同轴度等空间精度指标,用来约束零部件各结构的空位位置与形态精度。传统检测手段对空间几何参数的测算能力有限,多数工况只能依靠简易设备粗略判定,细微的形变偏差、位置偏移难以有效识别。机器视觉技术采用多视角成像方式,全方位采集零部件空间结构特征,结合预设的行业加工标准建立数据判定体系。算法对采集的结构数据进行对比分析,精准判别各类几何公差的偏差区间,筛选出存在空间形态缺陷的不合格工件。高精度的数据分析模式,能够实现几何公差的精细化、标准化检测,严格把控零部件的空间加工精度。

2.3 零部件装配配合尺寸检测应用

零部件加工生产的最终目的是适配整机装配工况,装配配合尺寸的精准程度,直接决定构件之间的衔接状态与设备运行品质。各类配合间隙、定位尺寸、对接端面尺寸出现偏差,都会引发装配卡顿、构件松动、运行异响等问题,影响机械设备的整体使用寿命。传统检测工作侧重单体工件尺寸核验,忽视装配场景下的尺寸适配关系,容易出现单体尺寸达标但装配适配性不足的情况。机器视觉检测技术可针对装配关键区域开展专项成像检测,重点采集对接端面、定位孔、连接卡槽等配合结构的尺寸数据。系统依托数据运算判定结构匹配程度,识别间隙异常、定位偏移、配合余量不当等问题。专属的检测方式补齐传统尺寸检测的短板,从生产源头把控零部件装配性能,提升机械产品整体装配精度与运行稳定性。

3 机器视觉检测技术在零部件缺陷筛查中的应用

3.1 零部件表面破损类缺陷筛查

表面破损属于零部件生产阶段出现频率最高的缺陷类型,贯穿工件加工、转运、成型存放全流程。常见缺陷形式包含表面细微裂纹、加工划痕、挤压凹坑、表层

起皮剥落、磨损斑驳等多种形态。部分破损缺陷尺寸微小,分布在曲面、边角、沟槽等隐蔽区域,肉眼识别难度较大。传统人工筛查只能分辨肉眼可见的明显缺陷,细微破损问题长期留存于工件表面,形成质量隐患。机器视觉检测系统通过高分辨率工业相机采集工件全域图像,搭配可调光源优化成像效果,弱化反光、阴影等环境干扰。系统通过算法完成图像预处理与特征提取,精准区分工件完好区域与破损区域的像素差异,精准定位破损位置、识别缺陷类型^[3]。整套检测模式覆盖工件全部表面区域,弥补人工检测存在的盲区问题,切实提升零部件表面质量的管控精度。

3.2 零部件加工残留类缺陷筛查

零部件切削、钻孔、打磨等机械工序完成后,工件表面及封闭结构内部容易留存各类加工残留物。主要涵盖金属毛刺、细碎切削废渣、打磨粉尘、油污积垢等杂质,属于加工收尾阶段的常见质量问题。残留物质会改变零部件原有结构尺寸与表面平整度,阻碍后续装配工序正常开展。硬质残留杂质还会加剧设备运行磨损,诱发构件卡顿、异响等故障,压缩设备服役周期。人工筛查方式存在明显局限性,狭小孔洞、深层缝隙等封闭结构无法实现全面排查,残留缺陷清理不够彻底。机器视觉检测技术可针对复杂结构区域聚焦成像,捕捉细微附着物与多余结构特征。算法依据标准工件特征参数完成比对判别,精准筛查各类加工残留缺陷,保障零部件结构规整度与表面洁净度。

3.3 零部件材质内部隐性缺陷筛查

机械零部件在铸造成型、锻造、热处理等前期加工过程中,受原料纯度、加工温度、成型工艺等因素影响,内部易产生气孔、夹渣、疏松、微裂纹、分层等隐性材质缺陷,此类缺陷隐藏于工件内部,无任何表面可视特征,是极易被忽视的质量隐患。传统检测方式多依赖人工目视、常规探伤抽检,不仅检测效率低下、漏检率高,且无法适配大批量流水线全检需求。零部件内部隐性缺陷会大幅降低构件结构强度、韧性与抗疲劳性能,设备长期运行受力后,易出现断裂、形变、失效等问题,严重影响机械设备运行安全性与使用寿命。机器视觉检测技术可结合透射成像、高扫描成像技术,穿透零部件表层结构,全面采集工件内部材质结构图像。通过专属图像算法完成降噪、分层处理与特征提取,精准识别内部材质不均匀区域、空洞、裂纹、杂质夹藏等各类隐性缺陷,判定缺陷位置、大小与严重程度。该检测模式可实现零部件内部缺陷的自动化、全覆盖筛查,突破传统检测仅能检测表面、浅层缺陷的局限,全方位

排查零部件材质质量隐患,从材质层面保障机械零部件的结构稳定性与使用可靠性,完善零部件全维度缺陷管控体系。

4 机器视觉检测技术在生产工序管控中的应用

4.1 零部件加工工序对位校准应用

零部件铣削、钻孔、打磨、开槽等精密加工工序,对工件摆放位置、加工基准对位精度有着极高要求。传统人工对位偏差普遍在 $\pm 0.08\sim 0.12\text{mm}$,加工前期对位精度不足,会直接引发孔位偏移、槽型歪斜、加工余量不均等质量问题,造成大批量工件报废^[4]。传统加工对位依靠工装夹具限位与人工微调完成校准,工装长期使用会产生磨损偏差,人工微调存在主观判断误差,难以维持长期稳定的加工基准精度。机器视觉技术可在每道加工工序启动前完成基准校准,通过高清成像采集工件摆放状态与加工基准位置,结合预设加工标准生成对位校正数据。设备依据视觉反馈数据调整工件姿态与加工行程,修正工装磨损、摆放偏移带来的位置偏差。自动校准模式能够持续稳定加工基准精度,减少前期对位偏差引发的加工缺陷,提升单道工序的加工合格率与稳定性。

4.2 生产工位零部件物料识别与分拣应用

机械生产流水线包含大量规格、品类、加工阶段不同的零部件物料,工位物料的精准识别与规范分拣,是保障流水线有序运转的基础条件。传统物料分拣依靠人员识别品类、区分加工状态,重复化作业容易出现错分、漏分问题,打乱整体生产节奏。人工分拣模式处理速度有限,无法适配高强度、快节奏的批量生产需求。机器视觉检测技术可依托工件外形结构、轮廓特征、工艺点位等独有标识,自动识别不同品类零部件物料,区分未加工、半加工、成品等不同加工状态。视觉系统联动流水线执行机构完成物料分拣作业,将不同状态、不同规格的工件划分至对应流转通道,保证工位物料流转秩序,维持各工序生产节奏的连贯性。

4.3 批量零部件分类与规整管控应用

规模化机械生产模式下,大批量零部件成型后容易

出现摆放杂乱、品类混存、姿态错乱等问题。无序的工件堆放与摆放状态,会影响后续抽检、收纳、装配等工序推进,增加后续整理作业的工作量。传统规整管控依靠人工批量整理,耗费人力成本,规整标准难以统一,整体管控效率偏低。机器视觉检测技术可对批量零部件开展全域图像采集,根据结构外形、尺寸规格、成型状态完成自动分类判别。系统识别工件摆放姿态,针对歪斜、倒置、错位摆放的工件发出矫正指令,配合自动化机构完成姿态调整与规整排布^[5]。统一的分类规整标准可以规范批量工件存放状态与流转秩序,优化生产线整体管控水平,为后续加工与成品收纳提供稳定基础条件。

结束语

机械零部件生产涵盖形貌成型、尺寸精度、质量缺陷、工序作业等多个管控环节,各环节检测质量直接影响整机产品的装配效果与运行稳定性。机器视觉检测技术突破传统检测模式的诸多局限,实现零部件外观、尺寸、内外缺陷的全方位精准检测,同时完成生产工序的智能校准、物料分拣与批量规整管控。该技术有效提升机械零部件加工的标准化水平与生产效率,降低人工检测误差与生产成本,充分契合现代机械加工的高质量生产需求,为机械制造行业智能化、精细化提质发展提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]朱海江,刘济慧.基于机器视觉的机械零部件表面缺陷检测系统设计[J].电脑知识与技术,2025,21(33):38-40.
- [2]李宗祺.基于机器视觉的机械零部件表面硬度检测研究[J].自动化应用,2025,66(14):59-62.
- [3]安晓英.基于机器视觉的复杂机械零部件尺寸测量技术[J].工程机械与维修,2024(1):29-31.
- [4]闫国良,杨朝.基于机器视觉的机械产品质量检测技术应用研究[J].标准生活,2026(1):200-202.
- [5]李传彪.机器视觉技术在机械制造自动化中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(11):88-90.