

钣金制造工艺的机械自动化控制技术

雷达尊

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213125

摘要：在新时期发展背景下，钣金制造业正在经历变革，即从传统人工模式向全流程自动化转型，这一转型即技术层面革新，也是生产模式和产业结构的全面升级。基于此，本文主要分析钣金制造工艺机械自动化控制技术，通过分析其应用提出相应的优化措施，希望可以为钣金制造业提升生产效率和产品质量奠定强有力的基础。

关键词：钣金制造工艺；机械自动化；控制技术

钣金制造可以说是制造业的关键组成部分，可以在多个领域进行运用，如领域、航空航天领域、电子领域等等。以往传统钣金制造工艺通常都是依赖人工操作，这种方式存在生产效率低下、产品精度不稳定、劳动强度大等问题。随着科学技术的快速发展，机械自动化控制在钣金制造工艺中得到了广泛应用，并已经成为提升这一行业竞争力的关键要素，对于推动钣金制造业实现现代化发展有重要意义。

1 钣金制造特点与自动化控制技术目标

钣金制造主要是针对金属薄板（通常在6mm以下）的一种冷加工工序，主要包括剪、冲/切/复合、折、焊接、铆接、拼接、成型等工序，其明显特征即为同一零件厚度要保持一致。钣金件具有重量轻、强度高、成本低以及容易加工成型等特点，其已经在诸多产品进行了应用，如汽车车身、电器外壳、通风管道等都是较为常见的钣金件^[1]。

在钣金制造行业，因传统生产模式难以满足市场需求，这就需要通过实现智能化升级。这一目标实现需要满足一系列关键技术目标，主要如下：其一，工艺参数精准调控。通过运用先进闭环控制技术对冲压力、折弯角度等参数实施动态优化，需要确保冲压力控制在 $\pm 5\text{kN}$ 的误差范围内，折弯角度精确至 $\pm 0.1^\circ$ 。在实际生产阶段，面对不同材质和厚度的板材，系统要确保每件产品都可以达到高质量标准；其二，构建柔性生产系统。现代市场需求具有多变性特征，订单波动较为频繁，为更好的适应这一情况，钣金制造产线应具备高度灵活性，即支持同一生产线在30分钟内快速完成多品种切换。这说明企业要能快速响应市场并及时调整生产安排，进而高效生产不同规格、型号的钣金产品；其三，实现全流程数据闭环。基于MES制造执行系统来讲，可以全面整合设备运行状态、工艺参数及质量数据，进而实现SPC统计过程控制。借助实时分析和监控生产数据，系统能够捕捉生

产过程中的各类异常，然后有针对性的进行调整，这样能够全面提高生产效率。

2 传统钣金制造工艺流程与不足

传统钣金制造工艺流程即为下料、折弯、焊接、表面处理等，其对人工依赖性普遍偏高。如以折弯工序为例，传统钣金制造时需要操作者手动调整模具参数和各类复杂操作，根据实际调研数据显示，培养一名熟练技工的周期较长，甚至可以达到半年之久^[2]。同时人力成本在总生产成本中的占比相对较高，可达35%，而在进行复杂曲面加工时，如汽车翼子板这类具有较高工艺难度的零部件，人工操作造成批次间尺寸波动可达到 $\pm 1.5\text{mm}$ 。这种大波动不仅会影响产品质量，也会增加后续装配与调试难度，长时间就会降低生产效率。

另外，以往传统钣金制造工艺流程还存在精准度和效率低下等问题。针对于冲压机床来讲，部分钣金企业普遍采用的是机械式离合结构，这种结构具有一定的局限性，其冲压频率上限仅为200次/分钟，而重复定位准确度约为 $\pm 0.1\text{mm}$ ^[3]。这样在处理品种小的批量订单时，其换型时间就会较长，这样就会降低设备利用率。在这一基础上，长时间换型也会浪费大量生产时间和生产成本，进而则会降低企业对市场需求变化的响应速度，难以满足客户对产品多样化的要求。

3 机械自动化控制在钣金制造工艺中的应用

3.1 数控切割技术

数控切割机主要是利用计算机系统，主要依托先进的计算机系统来开展工作。在实际操作时，技术人员首先将设计图纸导入软件系统，该软件会依据图纸各项参数要求生成切割程序，这一过程能够使设备严格按照这份指南来执行切割任务。生成切割程序后，计算机发出数字信号，这些信号就好比一条指令，能够控制切割设备运动及切割参数^[4]。切割设备中的电机在数字信号驱动下，能够带动切割头在X、Y轴方向精准移动。这种精

准移动控制可使切割头能按照预设轨迹对板材进行自动切割,进而实现从设计到切割的自动化流程。以常见数控等离子切割机为例,其切割原理较为独特,主要是通过高温等离子电弧来完成切割任务。在工作时设备会产生高温等离子电弧,这电弧温度极高,能迅速将金属板材熔化。与此同时,设备还会产生强大气流,将融化的金属吹离板材,进而完成切割。

与传统的切割方式相比,数控切割技术具有诸多明显优势,如高精度优势,其可以严格依照设计图纸进行切割,精准度能达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。这种不仅可以满足各种复杂形状的钣金加工需求,还有助于提高产品质量和合格率。另外,数控切割技术可连续作业,并不会受到人工疲劳等因素的影响。在这一背景下,可缩短生产周期并提高生产效率,适用于大批量钣金加工^[5]。

3.2 数控折弯技术

数控折弯技术是钣金制造工艺中的另一个关键环节,其主要通过数控折弯机来实现。数控折弯机借助数控系统控制电机驱动滑块和工作台运动,就可以实现对板材的折弯操作。这一过程同样能够实现自动化控制,并减少人工操作误差。在数控折弯机中,五轴联动折弯机具有独特优势,其能够实现多轴协同加工,这说明在加工中多个轴可同时运动并相互配合。这种多轴协同的工作方式有利于提高运行速度,能快速完成大批量折弯工作。以Bystronic Xpert 40这一型号的折弯机为例,其配备了A/B/C轴的旋转补偿功能^[6]。这一功能在处理复杂折弯件时发挥重要作用,可有效解决复杂折弯件回弹问题。在实际生产及阶段,针对U型钣金件来讲,五轴系统能根据经验公式($\theta_{comp} = 0.8 \times \theta_{nominal}$)自动计算回弹角。通过精确计算回弹角,折弯机在折弯过程中能够对板材折弯角度进行精准控制,从而全面提升折弯精度。这种多轴协同加工技术,可使折弯机能有效应对各种复杂任务,无论是形状复杂的钣金件,还是对精度要求高的产品,五轴联动折弯机都能出色完成加工任务,并为钣金制造企业提供强大技术支持。

3.3 自动化装配与焊接系统

自动化装配系统主要是由机器人、自动化设备、输送线、控制系统组成,针对于机器人来讲,ABB IRB 4600六轴机器人搭载先进的3D视觉系统,如康耐视In-Sight 7000,其具备强大识别能力,能准确识别无序堆叠的钣金毛坯^[7]。然后通过采用点云匹配算法(ICP迭代最近点),定位精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$,抓取节拍更能缩短至2秒/件。在实际生产中,这种高效的上下料搬运系统与手工装备相比,不仅能够提高生产效率,还可以减少人工操

作的劳动强度,装配速度是人工的数倍,可以大幅缩短产品生命周期。

另外,常见自动化焊接系统可以通过机器人手臂带动焊枪,然后按照预设焊接路径和参数进行焊接,利用电弧作为热源熔化焊丝和母材,形成焊缝^[8]。例如在汽车排气管焊接这一应用场景中,通过采用先进阻抗控制算法,能够实时精确调节焊枪压力(范围:10—50N),可运用发那科(FANUC)M-20iA力控机器人,这一机器人准确控制能力较高,可实现高质量焊接,进而有助于增强产品耐久性。长此以往,既可以减少钣金因焊接缺陷而导致返工,还能够进一步降低生产成本。

4 分析机械自动化控制技术在钣金制造工艺中应用的优化策略

4.1 合理规划设备投资

在钣金制造领域,合理进行设备投资规划使机械自动化技术有效应用的基础,钣金制造企业生产运营状况有一定区别,这就需要其依照自身生产规模、产品类型及发展战略分阶段制定设备投资计划。针对于中小型企业来讲,资金是限制其发展的关键要素,一次性要投入大量资金购置设备,就会给企业带来较大资金压力,甚至引发经营风险。因此,建议企业可以根据自身资金流动情况逐步加大设备投入,也可以租用设备,这样企业只需要支付租金就可以在特定时间段内使用所需设备,进而降低初始投资成本^[9]。而在设备选型中,也要进行综合考量,智能化水平是主要考虑因素。随着工业物联网(IIoT)的兴起,支持IIoT的设备能对数据进行实时采集和远程监控,企业可借助这些数据及时了解设备运行状态,进而实现预防性维护,这样能够全面降低设备故障发生率。

4.2 加强人才培养与引进

人才是推动自动化技术在钣金制造工艺有效执行的核心动力,为有效满足企业对复合型技术人才的需求,构建“政-行-企-校-研”协同育人模式十分重要。钣金制造企业可以与高校联合建立智能制造跨企业培训中心,这是培养专业人才的有效途径,借助校企合作,高校就可以根据企业实际需求开设钣金加工工艺、机器人编程等课程,让学生在学习理论知识的同时,进一步接触实际生产各环节,这样可以缩短新人培养周期。针对于企业内部培训来讲,应定期组织开展技术培训和技能竞赛,可对钣金制造折弯工艺中的模具更换、角度补偿等难点工艺开展实操演练,使员工在实践中掌握操作技巧。在这一基础上可建立技能等级认证体系,这样可以激励员工不断进步,并持续提升自身技术水平。另外,

在外部人才引进时,通过将先进理念和实践经验的人才带入企业,可以推动企业技术创新发展。

4.3 推进系统集成技术研发与应用

在钣金制造过程中,其会使用不同类型的设备,而想要使设备之间实现协同工作,就要制定统一的设备接口和通信协议,例如OPC UA。通过统一标准协议,不同设备之间能实现有效对接,数据可以实时传输共享,这对于提高生产效率和生产质量有一定帮助,如G-Press通过开发专用换模系统和角度检测补偿系统,就能够实现折弯工序自动化闭环控制,以提高折弯精度并减少人工干预^[10]。选择技术实力强的系统集成商对于企业来说也至关重要,一个优秀的系统集成商应具备从设计、调试到运维的全周期服务能力,通过制造执行系统(MES),集成商能够实现生产数据的实时监控与质量追溯,企业可随时了解产品生产进度和质量状况。同时,系统还应支持与企业资源计划(ERP)、产品生命周期管理(PLM)等系统对接,实现企业管理的一体化。为适应未来智能制造发展需求,系统应预留升级扩展接口,以便引入AI算法优化排产,在这一基础上通过对生产数据的分析预测,就可以使生产计划安排更加合理。在技术研发方面,钣金制造企业还应聚焦多工序复合加工与智能检测技术,如FLTC系列复合机床集冲孔、折弯、攻丝等多种功能于一体,能够实现多工序一次加工,这样既可以减少工序间转运,还可以提高生产效率。

结束语

结合全文,机械自动化控制技术在钣金制造工艺中应用,不仅可以提高钣金制造生产效率和产品质量,还

能够进一步降低生产成本,进而为钣金制造业发展带来了全新发展机遇。虽然其在运用阶段会面临一些挑战,但通过合理规划设备投资、加强人才培养与引进、推进系统集成和技术研发,就可以很好的解决这些问题,使钣金制造行业朝着更高水平迈进。

参考文献

- [1]杨磊.钣金件尺寸快速检测方法分析与探索[J].专用汽车,2024,(11):81-83.
- [2]付旭,李斌.基于参数化模板的家电钣金模具结构自动化设计方法研究与应用[J].电器,2024,(11):74-77.
- [3]郭丹.汽车钣金加工中冲压成形工艺与模具设计研究[J].汽车测试报告,2024,(12):80-82.
- [4]刘颖鹏,李萧宏,肖文彬.自动化蓝光三维扫描系统在汽车RPS质量体系中的应用研究[J].汽车工艺师,2023,(09):43-47.
- [5]谭敏.智能冲压系统及CAE技术在空调钣金生产中的应用分析[J].中国机械,2023,(05):34-37.
- [6]廖少鹏.电气自动化技术在机械制造中的应用与优化研究[J].造纸装备及材料,2022,51(11):13-15.
- [7]庾鹏.汽车钣金零部件下料机械手爪的模块化设计方法研究[J].内燃机与配件,2022,(19):53-55.
- [8]史晓辰,周波,孙慧.汽车零部件自动化热成形生产线关键技术设计[J].金属加工(热加工),2022,(07):6-17.
- [9]周建明.自动化技术在钣金制造工艺中的应用[J].信息记录材料,2021,22(09):77-78.
- [10]王鹤达.基于钣金制造工艺的机械自动化控制技术研究[J].湖北农机化,2021,(05):126-127.