

半导体刀具云端协同管理系统开发

陈燕

杭州道亦杰合智创科技有限公司, 浙江杭州, 311217;

摘要: 随着半导体制造工艺的日趋精密, 刀具作为核心加工工具, 其性能状态直接关系到产品的良率与生产效率。传统的刀具管理模式往往依赖人工记录、局部监控与周期性更换, 存在响应滞后、资源浪费与协同效率低的问题。本文基于工业互联网与云计算技术, 提出并开发了一套半导体刀具云端协同管理系统。该系统实现了刀具全生命周期数字化管理、状态智能识别与跨设备、跨区域的云端协同共享。通过引入边缘计算节点与云端大数据分析平台, 系统可对刀具使用状态进行实时感知与预测性维护, 同时支持与 MES、ERP 等上位系统的无缝集成, 全面提升了刀具管理的智能化与精益化水平。研究结果表明, 该系统可有效降低刀具非计划停机事件、提升刀具利用率并显著增强工艺协同效率, 具备广泛的产业应用前景。

关键词: 半导体制造; 刀具管理; 云计算; 边缘智能; 协同系统; 大数据分析

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 02. 047

引言

半导体行业正经历从摩尔定律驱动向系统复杂性驱动的范式转变, 加工精度与设备协同要求不断提高。作为实现精密切削和微结构加工的关键单元, 刀具的状态管控对保证芯片制程质量具有决定性影响。然而, 传统刀具管理系统多以离线管理为主, 存在数据孤岛、信息滞后、预测能力弱等短板, 已难以满足现代化智能工厂对高效率、高质量与高可视性的综合要求。尤其在多产线并行运行、多设备异构协作的背景下, 刀具信息若无法实现实时共享与智能调度, 将直接导致资源冗余与制造瓶颈。

随着新一代信息技术的兴起, 特别是云计算、边缘智能、工业物联网的快速发展, 为刀具管理模式的升级带来了新的可能。将刀具纳入工业互联网体系中, 通过部署传感器、采集关键状态参数并上传云平台进行分析处理, 可构建集可视化、可预测、可协同为一体的刀具云端管理系统。本文围绕半导体制造刀具使用场景, 从系统架构设计、核心功能模块实现到应用效果评估, 系统阐述了云端协同管理系统的开发路径与关键技术支撑。

1 系统架构设计与关键技术

1.1 刀具全生命周期数字建模

系统开发起始阶段的关键在于达成刀具从采购环节, 历经入库流程, 再到装夹操作、投入使用、展开维护、实施修磨, 直至最终退役这一完整过程的数字建模任务, 而这恰恰构成了搭建高效管理体系的根基所在。在当下所探讨的这个系统当中, 特意构建起了‘刀具数字身份卡’(即 Digital Tool Card), 并将其作为核心的建模工具来运用。通过确立统一的数据标准, 把刀具的基本属性, 像是编号、类型以及制

造商等方面, 还有工艺特征, 包括几何参数、切削能力以及材质这些内容, 另外再结合刀具的使用行为, 例如加工设备、操作所持续的时长以及具体承担的任务等, 全部进行综合性的整合处理, 以此来切实确保相关信息在不同的设备之间、不同的系统之中都能够保持一致性, 同时具备可追溯性。为了能够达成实时同步的效果, 系统还特地嵌入了状态感知方面的机制。当刀具碰到诸如装夹、启动加工或者更换刀片等一系列关键节点的时候, 就会借助边缘设备自动触发事件上报的操作, 并且还会动态性地更新刀具的数字画像, 如此一来, 每一支刀具便都拥有了完整的、呈现时间序列的那种数据轨迹。

这种针对刀具全生命周期所开展的建模工作, 不但使得管理的精度获得了提升, 而且还加快了响应的速度, 同时也为后续展开的智能分析以及预测性维护等工作提供了极为丰富的数据方面的有力支撑, 进而为构建起那种以知识作为驱动力量的刀具智能生态系统筑牢了坚实的基础。

1.2 边缘节点与云平台协同机制

为了同时顾全系统实时响应以及全局优化方面的能力, 本系统运用的是“边缘计算加上云平台”这样的双层协同架构形式。在加工现场这边呢, 会去部署工业边缘网关, 把它当作是数据前置处理的一个单元, 用来采集从数控设备、传感器模块以及刀具监控单元所产生的数据流, 而且还要去执行初步的数据筛选以及异常识别方面的工作, 就像振动太大、电流波动出现异常等这类现象, 通过边缘端就能够快速地把告警信息反馈出来。而与此同时, 云平台在整个架构里是作为上层的调度与分析中心存在的, 它要负责把各个边缘节点上传的信息流整合到一起, 依据历史数

据来构建预测模型,并且针对未来任务去做好资源配置方面的优化工作。在这样的架构当中,边缘端会优先去处理那些对延时比较敏感的问题,比如加工异常能够快速识别出来并且在本地做出响应,而云端呢则是要承担起那些有着复杂逻辑分析的任务,像是对刀具在全厂范围内的健康状况进行评估、去挖掘故障的根因以及对刀具的使用寿命进行建模等。这样的一种结构,一方面极大地提升了系统的可扩展性,另一方面也让系统的容错性得到了明显提升,同时还达成了资源的高效配置以及智能调度的效果,能够很好地匹配现代半导体工厂那种高节拍、高可靠运行的实际需求,算得上是云制造技术在微观制造单元管理领域的一次成功落地实践。

1.3 多源数据融合与智能分析引擎

在构建智能分析模块期间,着重关注多源异构数据的融合这件事,目的在于提升刀具状态评估以及寿命预测的精准程度。系统会去采集源自多维度的各类数据源,像振动加速度、温升变化、主轴电流、切削噪声,还有操作日志等,凭借这些来针对刀具在不同工作阶段所展现出来的特征变化展开高维建模操作。由于传统的统计模型在有效捕捉这些非线性的复杂关系方面存在困难,所以引入了图神经网络(GNN),用它来构建刀具状态空间映射,与此同时,还结合LSTM时间序列模型,以此达成对刀具健康状态的动态追踪以及趋势预测。智能分析引擎是被部署在云端的,它自身具备自主学习的能力,能够在长时间的运行过程中,持续地对预测参数加以调整,进而提升其在不同工况下的适应能力与鲁棒特性。系统另外还可以凭借异常模式识别算法,迅速地定位出刀具失效可能存在的潜在原因,给工程师给予决策方面的支持,这样就能降低生产停机的风险了。通过多源数据融合并且借助AI赋予的能力,系统不但实现了对刀具的智能感知,而且还为精准维护、科学调度以及故障预防给予了强有力的保障。

2 功能模块开发与系统实现

2.1 实时状态监控与可视化

系统在开发之时,首要目标其中的一个便是构建起一套刀具状态监控平台,这套平台要具备直观的特点,而且可操作性也得强。在具体的实现环节,平台会和车间设备构建起工业通讯连接,就像是采用OPC UA或者Modbus协议那样,以此来持续不断地采集刀具在工作过程里的那些关键运行参数,并且搭建起实时数据流通道,从而确保信息能够一直不间断地传输。在前端展示这块儿,专门设计了基于Web前端的三维监控大屏,通过图形化的形式把刀具在产线当中

所处的位置、健康状况以及历史异常事件等诸多维度的信息都呈现出来。尤其是针对那些容易损耗的刀具或者是价值比较高的刀具,它们的状态变化会以热图的形式着重进行标注,可视化界面会随着实时数据的波动而动态地刷新,进而形成所谓的“热力状态云图”,这样就能辅助工程人员在第一时间就知晓刀具使用方面存在的风险。与此同时,系统是支持用户权限管理的,工程师能够查看刀具状态以及寿命预测的结果,运维人员则可以接收到告警推送以及处理建议,管理层,能够获取到刀具库存状态以及统计分析报告,如此便形成了一个多层级、多角色的信息支撑体系,着实提高了刀具管理工作的效率以及透明度。

2.2 预测性维护与寿命管理

传统的刀具更换常常依靠固定周期或者人工经验来开展,如此一来,时常会出现刀具还未充分使用就提前报废的情况,又或者因过度使用而致使工件产生缺陷。本系统通过数据驱动构建起预测性维护模型,借助该模型实现了对刀具状态的细致入微的判断以及精准无误的更换操作。系统核心运用RUL(Remaining Useful Life)预测算法,同时结合多维运行数据以及机器学习方法,持续不断地对每一支刀具的剩余寿命加以评估。当模型判定刀具快要抵达失效临界点的时候,系统便会自动触发告警信息,生成电子维护工单,随后通过MES系统将相关信息下发给现场的操作人员,以此保证维护工作能够及时且精准地开展,有效规避生产中断的风险。除此之外,系统还拥有刀具寿命数据库,能够依照刀具类型、厂商、加工任务等不同维度展开分析,输出平均寿命曲线以及使用效能评分,从而为采购、库存优化给予科学合理的依据。通过实施预测性维护策略,不但切实有效地延长了刀具的使用周期,提升了单位刀具的经济效益,而且还强化了车间的运维管理水平,达成了从“反应式维护”到“主动型维护”的根本性转变。

2.3 云端协同调度与共享机制

为了妥善处理传统刀具资源分布存在不均状况且利用率也不高这样的问题,系统精心设计出了一套依托于云端的跨产线刀具协同调度以及共享机制。平台会把各产线刀具的实时状态相关数据加以整合,借助云端调度中心针对刀具的健康情况、和当前任务的匹配程度、还有剩余寿命等多个方面展开综合的评分操作,并且依据即将要开展的加工任务状况来智能化地推荐最为适配的刀具资源。就好比说,当A产线马上就要加工一批高强度合金材料,可此时所需刀具的寿命却并不充足的时候,系统能够迅速在B产线当中去搜索那些处于闲置状态的优质刀具,发起调拨的请求,而且还会在管理界面里完成可视化的确认流程,以此

达成资源能够在不同产线之间实现灵活流动的效果。除此之外,系统还对刀具状态共享协议予以支持,准许不同工段依照自身需求来申请使用刀具资源,在切实保证刀具寿命足够以及状态保持健康的前提条件之下,将“刀具即服务”的理念变为现实。这样的一种云端共享机制成功打破了生产线之间所存在的信息壁垒,使得刀具整体的利用效率得以提升,同时也减少了那些不必要的冗余备件的采购行为,有力推动了制造系统朝着集约化以及柔性化的方向去发展进步。

3 应用成效分析

3.1 实证应用效果与性能评估

那套系统在自主研发完成以后,便投入到国内一家处于领先地位的集成电路封测工厂里,展开了为期半年的试点运行工作。该项目在部署之时,涉及到了12条高精度的半导体产线,总共接入的刀具设备数量超过了300套,这些工序包含了从封装焊接一直到引线切割等多种具有典型性的工序类型。在整个运行的期间,系统和工厂现有的MES系统达成了无缝对接的状态,顺利完成了对刀具全生命周期的自动化追踪以及实时化管理任务。通过对部署前后关键绩效指标所发生的变化加以对比,能够很清晰地察觉到该系统所产生的积极影响:其一,在寿命管理这个层面上,依靠RUL预测模型以及维护建议机制的助力,刀具的平均使用寿命和原先相比提高了12.7%,在延长使用周期的情况下,并没有出现失效率明显上升的状况,这足以表明预测模型在实际应用方面具备颇为不错的效果;其二,就生产稳定性而言,由于刀具故障而引发的计划外停机事件,从原来平均每个月会发生40次的情况,减少到了不足20次,极大地提升了产线的可用程度;其三,刀具库存以及采购方面所承受的压力也得到了缓解,再结合共享机制的施行,那些冗余的库存被有效地消解掉了,总体的库存成本也随之下降了18.3%。

与此同时,借助可视化面板以及智能告警和权限分配机制,工程师的响应效率得以明显提升,其对问题进行定位的速度也加快了不少,如此一来,因刀具方面出现问题而致使的工艺缺陷率有所降低,并且刀具相关的故障率大约下降了30%。这些实实在在的数据充分证实了刀具云端协同管理系统所具备的综合价值,它既能提升管理方面的透明度,又有助于稳定产品的质量,还能够实现资源的节约,同时也为该系统在后续更大范围里开展推广工作打下了牢固的基础。

3.2 存在问题与技术瓶颈

虽说系统于试点应用期间收获了阶段性的成果,然而在后续进一步推广以及深化应用的进程当中,依旧面临着一连串的技术瓶颈以及实际落地方面的难题,这些难题亟待得到妥善解决。就刀具状态智能识别来讲,虽说其整体的准确率已然达到了一定的水平,可在诸如某些高强度切削、频繁进行工序切换又或者是多任务加工这类特定场景之下,传感信号的波动情况颇为复杂,如此一来,预测模型便存在着识别出现失误以及产生漏判的风险,进而对维护建议的精准程度造成了影响;再者,边缘计算设备在对高频数据流(特别是多通道实时采集的数据)进行处理之时,出现了处理能力方面的瓶颈,局部区域存在着数据延迟或者是缓存溢出这样的问题,所以就需要对数据压缩、过滤策略以及边缘端算法轻量化部署的方式加以优化;除此之外,在系统对接这个层面上,不同产线所运用的数控系统、MES平台以及数据接口标准均存在着差异,这就致使信息孤岛的现象仍旧需要依靠人工来处理,从而影响到了系统跨平台的兼容性以及通用性。

更为复杂的挑战存在于非技术层面,现场人员对数字化操作界面的接受程度各不相同,而且原有管理流程以及协同逻辑在调整时面临着不小的阻力。虽说系统功能已然具备,可在组织层级方面却没办法形成闭环式的应用,这无疑削弱了其优化方面的潜力。所以,未来系统要想取得发展,一方面得强化算法的鲁棒性,对边云协同能力加以优化,另一方面还得从组织培训、标准化接口建设以及流程再造等多个不同维度同步推进,从而实现将技术潜能彻底转化为实际效益的目标。

4 结语

在智能制造加速演进的时代背景下,刀具不再是静态耗材,而是可被感知、可被优化、可被协同的动态资源。本文开发的半导体刀具云端协同管理系统,不仅实现了刀具全生命周期的精益化管控,更构建起跨设备、跨工艺、跨组织的智能协作桥梁。其理念与技术路径,为未来制造系统的模块化、服务化、平台化发展提供了可借鉴的样板。

参考文献

- [1] 林齐,孙志宏,唐甜鑫.基于三维模拟组装技术的刀具管理系统的开发与应用[J].东华大学学报(自然科学版).2017,(3).
- [2] 孔庆涛.基于特征的数控刀具分类体系及编码系统研究[J].工具技术.2017,(7).
- [3] 万敏,安铃芝.基于MATLAB的双关节机械手控制系统仿真研究[J].塑性工程学报.2017,(6).DOI:10.3969/j.issn.1007-2012.2017.06.022.