

铸件机加工的自动化改造路径：从单机到柔性生产线

林润琛

广东鸿特科技股份有限公司, 广东 肇庆 526070

DOI:10.61369/WCEST.2025040009

摘要：本文聚焦于铸件机加工的自动化改造，深入探讨了从单机生产迈向柔性生产线的有效路径。分析了当前美的项目的现状，包括订单需求少、机床稼动率低等问题，凸显了改造的必要性。接着，详细阐述了共线策划评估，明确了部分产品可共线生产的情况。介绍了柔性线计划，设定了产品夹具切换及调试等目标，并提出了夹具快换、刀具配置、程序优化等对策。对不同类型夹具的切换步骤进行说明，如水平转台夹具、工字板夹具等。还对切换流程进行了分析与优化，通过取消产前 CMM 稳定性、并行操作等措施，使流程更高效，为铸件机加工的自动化改造提供了全面且可行的方案，助力企业提升生产效率和资源利用率。

关键词：铸件机加工；自动化改造；柔性生产线；夹具切换；流程优化

The Automation Transformation Path for Casting Machining: from Single Machines to Flexible Production Lines

Lin Runchen

Guangdong Hongte Technology Co., LTD. Zhaoqing, Guangdong 526070

Abstract : This paper focuses on the automation transformation of casting machining and deeply explores the effective path from single-machine production to flexible production lines. The current situation of the Midea project was analyzed, including problems such as low order demand and low machine tool utilization rate, highlighting the necessity of transformation. Then, the assessment of co-production line planning was elaborated in detail, and the situations where some products can be produced on the same production line were clarified. The flexible line plan was introduced, goals such as product fixture switching and debugging were set, and countermeasures such as fixture quick change, tool cup configuration, and program optimization were proposed. Explain the switching steps for different types of fixtures, such as horizontal turntable fixtures and I-beam clamps, etc. The switching process was also analyzed and optimized. By eliminating the stability of pre-production CMM and implementing parallel operations, the process became more efficient, providing a comprehensive and feasible solution for the automation transformation of casting machining, and helping enterprises enhance production efficiency and resource utilization.

Keywords : casting machining; automation transformation; flexible production line; fixture switching; process optimization

在制造业飞速发展的当下，铸件机加工行业面临着提高生产效率、降低成本、提升产品质量的多重挑战。传统的单机生产模式在应对多样化的订单需求和资源高效利用方面逐渐显现出局限性。美的项目目前就面临着订单需求少、机床稼动率低等问题，大量资源被闲置，生产效益亟待提升。而柔性生产线作为一种先进的生产模式，能够快速适应不同产品的生产需求，实现生产的灵活性和高效性。因此，探索铸件机加工从单机到柔性生产线的自动化改造路径具有重要的现实意义。本文将围绕美的项目，详细阐述改造过程中的关键环节和有效策略，为行业的转型升级提供有益的参考。

一、美的项目现状分析

(一) 订单需求情况

美的项目目前订单需求较少，约100套/月，涵盖6款产品共600件。小批量订单导致生产线频繁切换，设备利用率低，原材料

采购难以议价，仓储与物流成本分摊困难，整体生产效率下降，难以形成规模效应，进一步推高了单位产品成本，影响项目盈利能力

和市场竞争力^[1]。

(二) 机床稼动率问题

6款产品共13个工序，长期分散在13台专用机床上生产，

作者简介：林润琛（1990.12-），男，汉族，佛山南海人，毕业于肇庆学院，本科学历，学士学位，中级机械设计工程师职称，研究方向：主要从事铝合金压铸技术改善，以及铝合金加工技术优化。

设备专属性强，换型困难，导致单台机床日均运行时间不足2小时，稼动率不足10%。大量设备空置不仅造成固定资产闲置与维护成本上升，还挤占生产空间，影响排产灵活性，严重制约了产能释放与交付效率，形成显著资源浪费。

（三）现状对生产的影响

低订单需求和低机床稼动率导致企业生产效益低下，难以在市场竞争中占据优势。设备闲置、人力浪费与交付周期延长进一步加剧经营压力。因此，急需对现有的生产模式进行改造，通过推进柔性生产、优化排产调度、引入智能化管理系统，提升资源利用率和生产效率，实现降本增效与快速响应市场需求^[2]。

二、共线策划评估

（一）产品共线分析

机加工程部经详细评估发现，美的06因夹具与捷力V4 XP设备Z轴钣金存在空间干涉，无法满足同线生产要求，故不纳入项目内共线规划；而美的01至05机型结构兼容性良好，可实现与捷力V4 XP的共线生产^[3]。该结论为产线资源配置、排产计划制定及设备布局优化提供了关键依据，有助于提升生产效率与设备利用率，确保项目顺利推进。

（二）共线的可行性

美的01至05型号产品具备共线生产能力，可灵活切换生产任务，实现多型号产品在同一生产线上的高效协同作业。该模式显著提升了机床设备的利用率，有效减少换线和待机时间，避免资源闲置，从而大幅提高整体生产效率。通过统一工艺流程与共享设备资源，不仅缩短了生产周期，还降低了设备投入、维护及人力成本。同时，共线生产有助于优化生产管理，提升产能调配的灵活性，增强企业对市场需求变化的响应能力^[4]。这一生产方式在保障产品质量稳定的基础上，进一步压缩运营成本，提升资源利用效率，为企业创造更高的经济效益，助力实现精益化、智能化制造目标。

（三）共线对生产的意义

产品共线生产是迈向柔性生产线的重要一步，它能够实现生产的灵活性和高效性，使企业更好地应对市场需求的变化。通过在同一生产线上兼容多种产品的制造，企业可以快速切换产品类型，减少设备闲置和换线时间，显著提升资源利用率。同时，共线生产有助于降低固定资产投入和运营成本，避免为单一产品建设专用产线带来的资源浪费。在市场需求日益个性化、订单趋于小批量多品种的背景下，共线生产赋予制造系统更强的适应能力。借助先进的生产调度系统、模块化工艺设计和智能控制系统，企业可实现产品混流生产过程的精准管控，确保质量稳定与交付效率^[5]。此外，共线生产还推动了人员技能的复合化发展和管理流程的标准化建设，为后续向智能制造和数字化工厂升级奠定基础。因此，产品共线不仅是生产模式的优化，更是企业构建柔性制造体系、增强市场响应能力的关键举措。

三、柔性线计划

（一）目标设定

柔性线计划的目标是8小时完成一款产品的夹具切换并送检，16小时完成设备调试并达到合格标准，4小时完成模拟装配及流程

确认，总计28小时内实现产线全面就绪，具备批量生产条件。该目标的设定不仅明确了各阶段时间节点，更体现了对生产效率与响应速度的极致追求。通过标准化切换流程、优化夹具设计与预调机制，减少停机等待时间，提升产线在多品种、小批量生产模式下的适应能力^[6]。同时，依托数字化管理系统实时监控进度，确保各环节无缝衔接，降低人为误差。这一高效切换模式显著缩短了产品导入周期，增强了对市场需求变化的敏捷应对能力，为后续柔性制造体系的持续优化奠定了坚实基础，有力支撑企业实现快速交付与精益生产的战略目标。

（二）对策措施

为实现高效柔性生产目标，企业系统性地实施了一系列优化对策。通过引入夹具快换系统，并在快换板上加装高精度定位销，显著提升了工装更换的重复定位精度与作业效率，缩短了换型时间。刀库配置方面，确保刀杯数量超过共线生产项目中单工序所需刀具的总和，实现产品切换过程中无需人工装拆刀具，避免了因换型导致的停机等待。在程序控制层面，优化加工程序，增加坐标系自动刷新指令，由系统程序直接调用并录入工件坐标系，减少了人为输入误差，提高了加工稳定性与一致性^[7]。同时，对生产流程进行全面梳理与再造，精简冗余环节，实现各工序间的无缝衔接。上述措施协同作用，不仅大幅提升了设备利用率和换产效率，还有效降低了人工干预带来的质量风险与时间成本，显著增强了生产线应对多品种、小批量订单的响应能力，为实现精益化、智能化制造奠定了坚实基础。

（三）计划的实施效果

通过实施柔性线计划，企业能够根据订单需求灵活调整生产节奏与产品种类，实现多品种、小批量的高效生产。柔性生产线采用模块化设计和智能化控制系统，不仅缩短了换线时间，还降低了设备停机率，显著提升资源利用率和生产效率。同时，该模式有助于减少库存积压，加快产品上市周期，使企业更敏捷地应对市场波动与个性化需求。此外，柔性化生产还能推动制造过程的数字化与可视化，为后续的数据分析和工艺优化提供支撑。在当前竞争激烈、需求多变的市场环境下，实施柔性线计划不仅提升了运营弹性，也为企业实现智能制造和可持续发展奠定了坚实基础，从而全面增强企业的市场响应能力与核心竞争力^[8]。

四、夹具切换步骤

（一）不同夹具类型

在多品种、小批量生产模式下，夹具的快速切换对提升加工效率至关重要。针对水平转台夹具、工字板夹具、单头架夹具等不同类型的夹具，切换过程需遵循标准化作业流程。首先进行粗定位，通过目视对齐夹具底板与工作台上的正面及侧面标识线，确保初始位置准确；随后插入定位销，实现精确定位，防止加工过程中的位移；接着使用专用工具锁紧底板固定螺丝，保证夹具整体刚性；对于带液压或旋转功能的夹具，如水平转台夹具，还需正确连接液压油管和转台控制线，确认接口密封性与信号传输正常。每一步操作均需按顺序执行并由操作人员进行互检，避免漏接、错接^[9]。此外，夹具切换前应清理安装面杂质，确保接触面洁净平整。通过规范执行粗定位、销钉定位、紧固锁紧、管路与线路连接等环节，可有效缩短换型时间，减少人为误差，保障

加工精度与生产连续性。标准化的切换流程已成为实现柔性制造和高效生产的重要支撑。

(二) 切换前准备工作

切换夹具前需做好充分的准备工作，包括提前准备叉车、六角扳手、扭力扳手、吊装带、定位销、螺栓螺母等必要工具和配件，并检查其完好性与适用性，避免因工具缺失或损坏导致作业中断。同时，应根据生产计划确认新夹具的型号、规格是否匹配，并将其运送至换装区域，确保夹具提前到位。操作人员需熟悉换装流程和安全规范，必要时进行技术交底和分工协作。现场应清理障碍物，保证作业空间畅通，便于设备移动与定位。此外，可采用标准化作业指导书和工具定置管理，提升准备工作的系统性与效率。充分的准备工作不仅能有效缩短换模时间，减少设备停机，还能降低操作失误风险，保障作业安全，从而显著提升生产线的切换效率和整体运行效率。

(三) 夹具切换的重要性

夹具快速切换是柔性生产线的基础，能够实现不同产品的快速生产转换，提高生产的灵活性和效率。通过标准化接口和模块化设计，夹具可在数分钟内完成更换，大幅缩短停机时间，减少人工干预，降低换型错误率。配合自动化系统如机器人或数控设备，夹具快速切换可实现无人化换产，提升整体设备利用率^[10]。在多品种、小批量的生产模式下，该技术尤为关键，能够快速响应市场需求变化，支持定制化生产。同时，结合 MES 系统与数据追溯功能，还能实现夹具状态监控与生产过程的精细化管理，进一步增强产线的智能化水平。

五、切换流程分析与优化

(一) 目前切换流程

目前的切换流程较为繁琐，涉及上机申请、夹具与刀具的选型及预调准备，拆卸旧夹具、安装新夹具并精确对位，刀具按工艺要求装配并校验，液压站与转台的对接布线及功能测试，随后进行试切样件的工艺参数调试与优化，最后还需完成产前 CMM 检测以验证工件尺寸稳定性。各环节衔接紧密，依赖人工经验操作，且缺乏标准化作业指导，导致切换过程易受人为因素影响，出现等待审批、物料准备不齐、接线错误或调试反复等问题，整体切换周期长，严重影响设备稼动率与生产交付效率。尤其在多品种、小批量生产模式下，频繁换型进一步放大了流程冗余，制约了柔性生产能力的提升。

(二) 流程优化措施

通过研发、工艺、品质及生产等多部门协同评估，决定取消产前 CMM 设备稳定性检测环节，将 CMM 检测与工艺验证、品质首件确认同步开展，实现并行作业。同时，优化调机流程，明确调机标准与验收节点，减少重复等待和设备空置时间。此外，建立跨部门快速响应机制，提前介入设备调试与参数设定，提升问题处理效率。通过上述流程整合与协同优化，有效压缩了产前准备周期，避免了原流程中因串行作业导致的时间浪费。实践表明，该优化方案显著缩短了生产启动时间，提升了设备利用率和整体生产效率，为订单快速交付提供了有力支持。

(三) 优化后的效果

经过系统化优化，切换流程不仅显著缩短了换线时间，还实现了操作标准化与自动化程度的提升，有效减少了人为失误和设备空转现象。通过引入精益管理工具和实时监控系统，生产准备周期大幅压缩，设备综合效率 (OEE) 明显提高，从而提升了整体生产效率。同时，资源利用率得到改善，辅料损耗和能源消耗相应降低，直接推动生产成本下降。更为重要的是，优化后的流程具备更强的灵活性和响应速度，能够快速适应多品种、小批量的市场趋势，缩短产品交付周期，增强企业对动态需求的应变能力。这一系列改进不仅达成了预设的运营目标，还提升了企业在激烈竞争环境中的可持续发展能力，为后续的智能化升级奠定了坚实基础。

六、结语

铸件机加工从单机到柔性生产线的自动化改造是一个系统而复杂的过程，对于提高企业的生产效率、降低成本、提升市场竞争力具有重要意义。通过对美的项目的分析，我们明确了当前生产模式存在的问题，如订单需求少、机床稼动率低等。在共线策划评估中，确定了部分产品可共线生产的方案，为生产资源的优化配置提供了方向。柔性线计划的制定和实施，为实现生产的快速响应和高效转换奠定了基础。不同类型夹具切换步骤的规范以及切换流程的优化，进一步提高了生产的灵活性和效率。然而，要实现全面的自动化改造，还需要企业各部门的密切配合和持续改进。在未来的发展中，企业应不断探索和创新，引入先进的技术和管理理念，进一步完善柔性生产线，以适应不断变化的市场需求，在激烈的市场竞争中立于不败之地。本项目的经验也为其他铸件机加工企业的自动化改造提供了有益的参考和借鉴。

参考文献

- [1] 薛玉珂. 基于多尺度特征的密集铸件检测算法研究 [D]. 安徽省: 安徽理工大学, 2024.
- [2] 王帅. 基于工业机器人的铸件打磨关键技术研究 [D]. 河北省: 石家庄铁道大学, 2024.
- [3] 衡思迎, 常青, 李国和, 等. 基于双目结构光的铸块铸件初序加工在线定位系统 [J]. 制造业自动化, 2024, 46(7): 151-156.
- [4] 毛辉, 田学智, 常涛, 等. 基于铸件柔性自动加工线的加工全流程方案设计 [J]. 铸造设备与工艺, 2024(1): 29-32.
- [5] 朱梓豪. 多维振动铸件调姿分拣装置的结构设计与分析 [D]. 安徽省: 安徽理工大学, 2024.
- [6] 江西锦瑞机械有限公司. 一种压铸件加工用抛丸装置: CN202410638491.6[P]. 2024-08-23.
- [7] 胡佳琪. 基于多尺度特征与注意力机制的铸件表面缺陷检测研究 [D]. 安徽省: 安徽理工大学, 2024.
- [8] 毛辉, 田学智, 常涛, 等. 基于铸件柔性自动加工线的加工全流程方案设计 [J]. 中国铸造装备与技术, 2024, 59(02): 89-93.
- [9] 高狄, 段坤, 李星辰, 等. 自动化铸造生产线工艺特点分析 [J]. 大型铸锻件, 2024, (01): 18-22.
- [10] 李玉霞, 宫哲, 张翠华, 等. 基于视觉检测的铸件自动打磨系统 [J]. 今日制造与升级, 2024, (02): 72-74.