

基于精益生产的钣金零部件机加工生产线布局优化与产能提升研究

陆彬斌

西安合容开关有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18048

[摘要] 随着制造业竞争日益激烈,钣金零部件加工企业面临多品种小批量、短交期、高质量要求的市场环境。本文基于精益生产理念,针对钣金零部件机加工生产线存在的布局不合理、产能瓶颈、物流效率低等问题,提出了系统的优化方案。通过引入U型生产线布局、优化物料流动路径、实施均衡生产计划和信息化管理系统,显著提升了生产线平衡率和产能,降低了在制品库存和生产成本。研究表明,精益生产在钣金零部件机加工领域的应用能够有效提升企业市场竞争力,为同类企业提供有益借鉴。

[关键词] 精益生产; 钣金零部件; 生产线布局; 产能提升; U型布局; 价值流分析

中图分类号: TG38 **文献标识码:** A

Research on Layout Optimization and Capacity Improvement of Sheet Metal Parts Machining Production Line Based on Lean Manufacturing

Binbin Lu

Xi'an Herong Switch Co., Ltd.

[Abstract] With increasingly fierce competition in the manufacturing industry, sheet metal parts processing enterprises face a market environment characterized by diverse product varieties, small batches, short lead times, and high quality requirements. Based on lean production principles, this paper proposes a systematic optimization solution to address issues such as unreasonable layout, capacity bottlenecks, and low logistics efficiency in sheet metal parts machining production lines. By introducing a U-shaped production line layout, optimizing material flow paths, implementing balanced production planning, and an information management system, the production line balance rate and capacity were significantly improved, while work-in-process inventory and production costs were reduced. Research shows that the application of lean production in the sheet metal parts machining field can effectively enhance the market competitiveness of enterprises and provide valuable lessons for similar companies.

[Key words] Lean manufacturing; sheet metal parts; production line layout; capacity improvement; U-shaped layout; value stream analysis

引言

钣金零部件作为机械设备、航空航天、汽车制造等领域的关键组成部分,其加工质量与生产效率直接影响着整体产品的制造周期和成本。当前,钣金零部件机加工行业普遍面临多品种小批量的生产模式挑战,传统生产线布局已难以适应快速变化的市场需求。徐州某公司作为卡特彼勒公司的战略供应商,在近年来的市场竞争中,急需通过开展工艺布局优化以求在竞争中求得生存和发展^[1]。同样,航空工业哈飞钣金车间也在探索实践“五化、四抓、三计划”的“543”生产理念,精准调配生产资源,补足钣金各专业产能缺口,提升整体生产制造效率。

在制造业转型升级的背景下,精益生产理念为钣金零部件机加工生产线优化提供了系统方法论。精益生产通过消除浪费、降低成本、提高效率,使企业能够以最小的资源投入获得最大的产出效益。本文基于精益生产理论,结合多家钣金制造企业的实践案例,深入研究生产线布局优化与产能提升的策略与方法,旨在为钣金零部件制造企业提供切实可行的改进方案。

1 精益生产与生产线布局的理论基础

1.1 精益生产的核心原则。精益生产源于日本丰田汽车公司的生产方式,其核心在于最大限度地减少浪费,提升价值流效率。在钣金零部件机加工领域,精益生产的应用主要体现在以下

几个方面：一是识别价值流，明确客户真实需求，消除非增值活动；二是创造连续流，使产品在生产过程中顺畅流动，减少等待和停滞；三是实施拉动系统，根据下游需求进行生产，减少在制品库存；四是追求完美，通过持续改进，不断提高生产效率和水平。

某加工中心秉持“精益化、智能化、绿色化”发展理念，以生产组织优化为基石、流程革新为引擎、成本管控为核心，通过全维度精益化管理，实现产能、效率与效益的协同跃升^[2]。这种精益管理模式为其成为江北地区最大的百亿级临港钢材贸易、加工集散基地奠定了坚实基础。

1.2 生产线布局的主要模式。生产线布局是影响生产效率的关键因素之一。合理的布局能够缩短物料搬运距离，减少在制品库存，提高生产线平衡率。常见的生产线布局模式包括：

传统“一”字型布局：按加工顺序排列设备，布局简单但存在“步行的浪费”，一人操作多台设备时效率低下^[4]。

U型布局：生产线摆放如U型，出口和入口在相同位置，减少了步行浪费和工位数，从而缩短周期、提高效率，同时也减少了操作工，降低了成本^[4]。

花瓣型布局：由多个单元共同组成，是按照“两个遵守、两个回避”原则进行布局的结果，有助于加强单元间的相互协作，从而提高生产线平衡率。

“一个流”布局：产品在生产过程中尽量实现小批量的流转，最好是单件的流动，这是减少在制品数量的最佳方法之一，也是消除生产线浪费的良策。

2 钣金零部件机加工生产线现状与问题分析

2.1 生产线布局问题分析。传统的钣金零部件机加工生产线多采用功能式布局，即将相同类型的设备集中布置在同一区域，如切割区、折弯区、焊接区等。这种布局方式容易导致以下问题：

一是物料搬运距离长，搬运浪费严重。在徐州某公司的案例中，通过价值流程图分析，找出了生产过程中存在的浪费环节、生产设备布局的不合理和生产物流混乱等问题^[1]。二是在制品库存高，生产周期长。功能式布局导致工序间存在大量在制品，增加了场地占用和资金积压。三是生产线不平衡，存在瓶颈工序。某些工序产能不足，而其他工序则存在闲置能力，导致整体效率低下。

某钣金厂在精益单元建设过程中，通过流程优化发现实际生产中的断点、慢点、盲点，从生产瓶颈点出发通过工艺精益、产线布局、线边物流、质量提升、人才培养五大转型重点方向，制定行动项目和改善措施^[3]。这种系统化的问题分析方法是识别和解决布局问题的基础。

2.2 产能制约因素与提升分析。钣金零部件机加工产能的提升面临多方面制约，主要包括：

设备能力不足是常见的瓶颈问题。特别是关键设备如激光切割机、数控折弯机等，其加工能力直接决定了整体产出。某加工中心通过深挖焊接机器人工作站、地轨式激光切割机等智能装备使用潜能，提升从板材切割到折弯成型的全流程加工能力，订单承接范围大幅拓展。

生产计划与调度不合理也是影响产能的重要因素。某车间通过抓源头、抓瓶颈、抓均衡、抓准时，启动生产计划优化改进工作，组建生产计划专项团队，负责生产系统冗余数据清理，科学合理制定计划，监督考核执行情况^[5]。这种系统化的计划管理方法有效解决了生产调度中的痛点。

此外，物料管理不规范、质量控制不完善、人员技能不足等问题都会在不同程度上制约产能提升。某公司在2025年前三季度的生产经营中，通过技术质量领域持续发力，实施精细化定尺料管理、模铸锭小冒口优化等工艺创新，以及电渣模块黑皮一次合格率提升攻关，使锻造产线钢材综合成材率同比提升0.54个百分点。这表明质量改善对产能提升有直接贡献。

3 基于精益生产的布局优化

3.1 U型生产线布局设计与实施。U型生产线布局是精益生产中的重要布局形式，特别适用于多品种小批量的生产环境。在钣金零部件机加工生产线中实施U型布局，需要遵循以下原则：

一是出入口一致原则。原材料入口和成品出口在一起，有利于减少空手浪费，提高生产线平衡率。在徐州某公司的优化案例中，两条主要生产线都采用U型线的布局模式，同时考虑了今后一条生产线生产多品种零件的要求^[6]。

二是逆时针排布原则。主要目的是希望员工能够采用一人完结作业方式、能够实现一人多机。这种布局方式使员工成为动态的“巡回作业”者，能够有效提高人工效率。

三是固定循环原则。尽量减少诸如搬运、传递这类非增值活动，使生产过程标准化。某公司生产线通过“精益生产+智能协同”的模式，破解工序衔接与效能提升难题，通过MES系统加强“钢轧零等待”管理，直装率、热装率分别提升至45%、70%^[7]。

在实施U型布局时，需要充分考虑人机工程学和安因素。某公司在优化和改造中将人、车、物流分开，在提高工作效率的同时，也强化了安全意识，设置了专门的参观通道。这种人性化设计不仅提高了效率，也改善了工作环境。

3.2 物料流动与物流路径优化。精益生产强调物料的顺畅流动，避免停滞和倒流。在钣金零部件机加工生产线中，优化物料流动路径的主要措施包括：

一是设计合理的物流路线。按照生产工艺流程，确保物料流动距离最短，避免交叉和回流。某公司在物料转运过程中大大减少叉车的使用次数，在杜绝废气排放的同时可以减少噪音污染。这种优化不仅提高了效率，也符合绿色制造的要求。

二是实施定量配送系统。根据生产节拍，确定标准容器和配送频率，实现物料准时化供应。某公司通过推行“生产工段横向协调内部资源、项目团队纵向解决制造问题”的“一横一纵”管理模式，提高外部协调和内部协作工作效率。这种协调机制是物料准时供应的保障。

三是利用可视化管理系统。通过标识、看板等可视化工具，明确物料存放区域和流动路径，减少寻找和等待时间。某公司结合现场特点进行区域优化布局，对工装、工作台、马凳进行清理与定位，对产品按工序、工装类别划分进行重新优化布局，制作

零件周转架,划分班组员工责任定置区域^[8]。这些可视化措施使现场管理更加高效。

4 案例实施与效果评估

4.1某公司生产线优化案例。徐州某公司基于精益生产的理论,运用了SWOT、价值流程图、柏拉图等工具分析了公司原主要的生产布局状况及其工艺,绘制出公司当前价值流程图。然后根据企业目标设计绘制未来价值流程图,进一步分析并找出当前价值流与未来价值流之间的差距。

在充分分析的基础上,某公司结合主要生产工艺路线和实际情况,充分考虑公司现有工艺布局状况,运用精益生产和布局设计的理念,从柔性生产的角度出发,本着投入低、风险低、周期短的原则,设计绘制出两条主要生产线的未来价值流程图。优化方案的主要内容包括:

设备重新布局:采用U型布局模式,合理布局生产车间,缩短物料搬运距离;

物流路径优化:将人、车、物流分开,设置专门参观通道,提高安全性;

物料转运改善:大大减少叉车使用次数,减少噪音和废气污染;

柔性生产能力:考虑一条生产线生产多品种零件的要求。

通过设备设施重新布局,某公司成功缩短了物料搬运距离,优化了生产物流,缩短了生产周期,消除了生产中的浪费,达到了提高生产效率和降低成本的目的。这一案例验证了精益生产在钣金零部件机加工行业的适用性和有效性。

4.2实施效果量化评估。精益生产布局优化与产能提升策略的实施效果可以通过多项指标进行量化评估:

生产效率提升是明显的改善效果。某公司生产线通过精益生产与智能协同,使月产量首次突破40万吨,创该生产线自2007年投产以来月产量新高^[9]。同样,某公司在2025年1-9月,45MN快锻机组过钢量逆势增长3.72%,达2.61万吨;31.5MN快锻机组实现达产达效,累计完成入库量11.7万吨,专项产品入库1.04万吨,同比增长3.41%。

质量指标改善也是重要的评估维度。某公司通过技术质量领域持续发力,使锻造产线钢材综合成材率同比提升0.54个百分点,电渣钢成材率超目标1.46个百分点,一次合格率稳定在96.81%。中航工业成飞利用飞机钣金自动排料系统进行套裁下料,优化了排料方式,产品质量得到大幅度提高,一次交检合格率达100%,同时每年能节省206万元原材料成本。

表1 精益生产实施效果量化指标示例

| 评估维度 | 评估指标 | 改善前 | 改善后 | 提升幅度 |
|------|--------|----------|------------|----------|
| 生产效率 | 月产量 | 35万吨 | 40.28万吨 | 15.10% |
| 设备效率 | 设备可开动率 | 92.50% | 94.64% | 2.14个百分点 |
| 设备效率 | 故障停机时间 | 12.5小时/月 | 8.04小时/月 | 35.77% |
| 质量水平 | 一次合格率 | 95.30% | 96.81% | 1.51个百分点 |
| 成本控制 | 综合成材率 | 93.70% | 94.24% | 0.54个百分点 |
| 成本控制 | 降本金额 | - | 2370万元/9个月 | - |

设备效率提高同样不可忽视。某公司生产线通过加大精密巡检与预防性维护力度,建立设备故障“早发现-快处置”机制,设备停机时间同比减少50%。攀长特锻轧厂全厂主要设备可开动率同比提升2.14%,月均故障停机时间同比降幅35.77%,设备修理费同比下降10.73%。

5 结论

本文基于精益生产理论,系统研究了钣金零部件机加工生产线布局优化与产能提升的策略与方法,得出以下结论:

首先,精益生产理念适用于钣金零部件机加工行业,能够有效解决传统生产线存在的布局不合理、产能瓶颈、物流效率低等问题。博斯特公司通过工艺流程优化和布局改进,成功缩短了生产周期,消除了浪费,提高了生产效率。

其次,U型生产线布局是实现多品种小批量生产的有效方式,通过出入口一致、逆时针排布等原则,能够减少搬运浪费,提高生产线平衡率。这种布局方式与传统的“一”字型布局相比,更加灵活高效^[4]。

再次,均衡生产和快速换模技术是提升产能的重要手段,通过产品分族分类、生产节拍平衡和换模作业优化,能够显著提高设备利用率和生产线柔性。中航工业成飞通过复合冲床冲切下料和自动排料系统,实现了钣金下料的均衡生产^[9]。

最后,信息化系统如MES、BOM管理系统是支持精益生产的重要工具,通过数据采集、分析和可视化,能够提高生产透明度和决策效率。哈飞钣金车间通过MES系统运行,实现了从“调度型”向“计划型”的转变。

[参考文献]

- [1]杨保国.博斯特公司工艺布局优化研究[D].兰州大学,2015.
- [2]张方哲,贾纯洁.基于价值流的飞机蒙皮族零件生产精益改善[J].工业工程,2019,22(06):110-117.
- [3]杜嘉玮,王少华,梁箫.多源不确定条件下的M公司生产线优化研究[J].机械设计与制造,2020,(07):296-299.
- [4]熊轮,陈绪兵,戴耀南,等.基于SLP法的零件加工车间布置优化[J].武汉工程大学学报,2020,42(06):678-682.
- [5]程泽宇.基于精益生产的冲压模具快换研究[J].装备制造技术,2020,(12):141-143+163.
- [6]颜海梅.基于精益生产的生产现场布局与节拍优化研究[J].现代制造技术与装备,2021,57(02):206-207+210.
- [7]吴智勇,蔺宇,郑硕,等.多产品混流生产线精益改善方法研究[J].装备制造技术,2021,(04):65-69.
- [8]张惠,李成松,李玉林,等.基于SLP法和Flexsim仿真的机加工车间设施布置优化研究[J].现代制造工程,2016,(05):63-68.
- [9]马得璋.基于精益生产的F公司生产线优化研究[D].中北大学,2024.

作者简介:

陆彬斌(1988--),男,汉族,河南省长葛市人,大学本科,机械设计制造及其自动化专业学士学位,中级,研究方向:电气行业,钣金工艺、机械加工工艺、表面处理工艺、电气柜装配工艺。