

[经营·管理]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.04.019

基于精益六西格玛的热压板生产作业改善

蒋言武, 范金辉

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘 要:热压板是人造板机械的核心产品,影响着整体生产线的产品质量。针对D公司热压板生产出现的准时交付率低、生产作业不平衡等问题,采用精益六西格玛管理的DMAIC流程,对热压板生产过程中存在的问题进行定义、测量、分析、改善和控制,制定出一套针对性的改善措施。改善后交货周期从47.1 d缩减到35.6 d,缩短了24.4%,可以满足客户对热压板交货周期的要求。验证了精益六西格玛在以非标、单件小批量为行业特点的人造板机械制造行业的可适用性,值得借鉴。

关 键 词:人造板机械;精益六西格玛;价值流图;布局优化;Flexsim 仿真

中图分类号:F273;TH181

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2020)04-0098-07

Production Improvement of Hot Platen Based on Lean Six Sigma

JIANG Yanwu, FAN Jinhui

(School of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Hot platen is the core product of wood-based panel machinery, which affects the product quality of the overall production line. Aiming at the problems of low on-time delivery rate of wood-based panel machinery industry core product heating plate and unbalanced production workloads, DMAIC process from Lean Six Sigma was used to define, measure, analyze, improve and control the problems existing in the hot platen production process, and made a series of targeted measures. After optimizing, delivery time was improved from the initial 47.1 days to 35.6 days, with a reduction of 24.4%, which could meet the customer's requirements for the delivery time of hot platen. It is proved that Lean Six Sigma is applicable in the wood-based panel machinery industry with the characters of non-standard and single-piece small batches, which has certain significance to other companies in the same industry.

Keywords: wood-based panel machinery; Lean Six Sigma; value stream mapping; layout optimizing; Flexsim simulation

改革开放后,随着国民经济的飞速发展,人造板机械行业的客户需求发生了很大的变化,体现在对产品提出了高性价比、短交货期和定制化等综合需求^[1]。如果想具有更强的市场竞争力,必须做到以更短的周期进行项目交付。精益六西格玛帮助多家知名企业改善了经营绩效,其标准的DMAIC(define, measure, analyze, improve, control)流程是一套系统地解决问题的方法论,并在各个行业得到验证。A. J. Thomas等^[2]在处理航空制造公司的生产问题中,应用精益六西格玛理论,提高了生产效率。Barrios等^[3]通过SIPOC(supplier, input, process, output, customer)图清晰

地表现了整个流程,并找到了缩短医院等候时间的方法。王迎春等^[4]在供应商交货期管理和控制的案例研究中,运用精益六西格玛的DMAIC模型进行交货期问题的分析,最终有效地为企业减少了大量成本。王昀睿^[5]针对汽车制造厂存在的生产效率低的问题,通过现状价值流图,分析了客车生产过程存在的问题,将价值流程图应用于现场作业改善,为企业带来了良好的经济效益。针对不同行业的精益六西格玛改善研究,对提升效率具有积极的作用,也为在人造板机械行业中进行精益六西格玛改善提供了参考。

课题组以人造板机械行业D公司的热压板生产

收稿日期:2019-11-24;修回日期:2020-03-06

第一作者简介:蒋言武(1990),男,安徽芜湖人,硕士研究生,工程师,主要研究方向为工业工程、质量管理。E-mail:fujiedajack@163.com

为研究对象,分析从原材料加工开始到完成产品包装,发运给客户的整个生产过程,从精益六西格玛的角度分析问题,寻找瓶颈并采取措施予以消除,从而减少了非增值活动,达到提高生产效率、缩短交货周期的目的,满足了客户对热压板交货期的需求。

1 定义问题

1.1 问题现状描述

D 公司的热压板标准交货周期是 40 d,公司 2018 年的准时交付率只维持在 60% 左右。

1.2 改善项目目标

历史数据和市场调研显示,客户对 D 公司热压板交货周期的期望为 40 d,竞争对手可以做到 35 d 的交货周期,本项目选择以竞争对手的交货周期为标杆,在半年内缩短交货周期 20% 以上。

1.3 改善项目实施范围

公司的生产部门、质量部门、技术部门和采购部门分别指派相应人员,组成精益六西格玛改善团队。

1.4 对企业的战略意义

解决企业实际问题,有利于提高企业的生产效率,解决企业面临的交货期长,提升客户满意度,赢得市场占有率,为企业创造了更高的经济效益。

2 项目测量

为了对热压板的生产过程进行分析,需要对各道生产工序进行作业时间的测定,结果如表 1 所示。

表 1 各工序作业时间

Table 1 Work time of each process

工序	工序描述	作业时间/min
1	气割下料	320
2	焊接	320
3	校正	600
4	粗铣	1 020
5	深孔钻	3 120
6	落地镗铣床	2 520
7	检验	30
8	焊接	1 560
9	检验	65
10	精铣	1 100
11	数控镗床	3 840
12	焊接	300
13	试漏测试	600
14	焊接	600
15	检验	30
16	装配	3 140
17	油漆	400
18	包装	1 000

针对在定义阶段确定的项目目标,交货周期为 35 d,根据这个目标建立数学模型,每个项目中热压板的

生产总时间为 T , t_{ij} 为第 j 块热压板的第 i 道工序的生产时间, n 为热压板加工所需要的总工序数, k 为一个项目中热压板的数量。对整个生产过程中各道工序的生产时间和生产数量进行求和,就可以得到生产总时间 T ,所建立的目标函数:

$$\text{Min } T = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (1)$$

由于生产过程中,每道工序节拍时间的不同,会产生等待空闲的情况,生产时间不是单纯的各道工序节拍时间的相加,而是随着生产数量不同而发生动态变化。

3 项目分析

3.1 价值流程图

根据课题组收集的数据和热压板生产车间实地测量,公司采取的是两班作业制度,单班时长为 9 h,除去吃饭、生理休息等时间,可直接利用生产的时间为 8 h,绘制热压板生产价值流程图如图 1 所示。

一般用增值比来反映增值活动在整个生产活动中所占的比重:

$$\text{增值比} = \frac{\text{增值活动时间}}{\text{增值活动时间} + \text{非增值活动时间}} \quad (2)$$

从图 1 中可以得出增值作业时间为 20 565 min,非增值作业时间为 39 d,数据代入式(2),可得当前热压板生产的增值比为 28.9%。这意味着在整个热压板的生产过程中,只有 28.9% 的时间是增值的,剩下 71.1% 的时间为不增值的活动,这些活动对客户而言都是不产生价值的,也就是浪费。

价值流程图的作用就是可以将整个流程中的浪费突显出来,找到浪费的根源,也就找到了所需要相应采取措施的改善点^[6]。根据价值流程图可以得出:热压板的交货周期在 55 d 左右,大大超出了客户对产品交付的预期;由于每道工序的周期时间不平衡,产品在多数工序之间会出现拥堵停滞的现象,进而造成整个生产流程中存在着大量的在制品的积压;由于车间布局的不合理,导致工序间工件的搬运次数增加,并需要很长的搬运时间。

3.2 瓶颈分析

合适的时间生产出合适数量的产品是精益生产的核心^[7]。在整个生产过程中生产节拍最长的工序被称为“瓶颈工序”,它直接影响到整个生产节拍。需要识别瓶颈工序并消除瓶颈工序对生产线不平衡带来的影响以达到生产线平衡。生产线平衡是以客户需求的节拍时间被满足为目标导向,即产品生产周期时间不

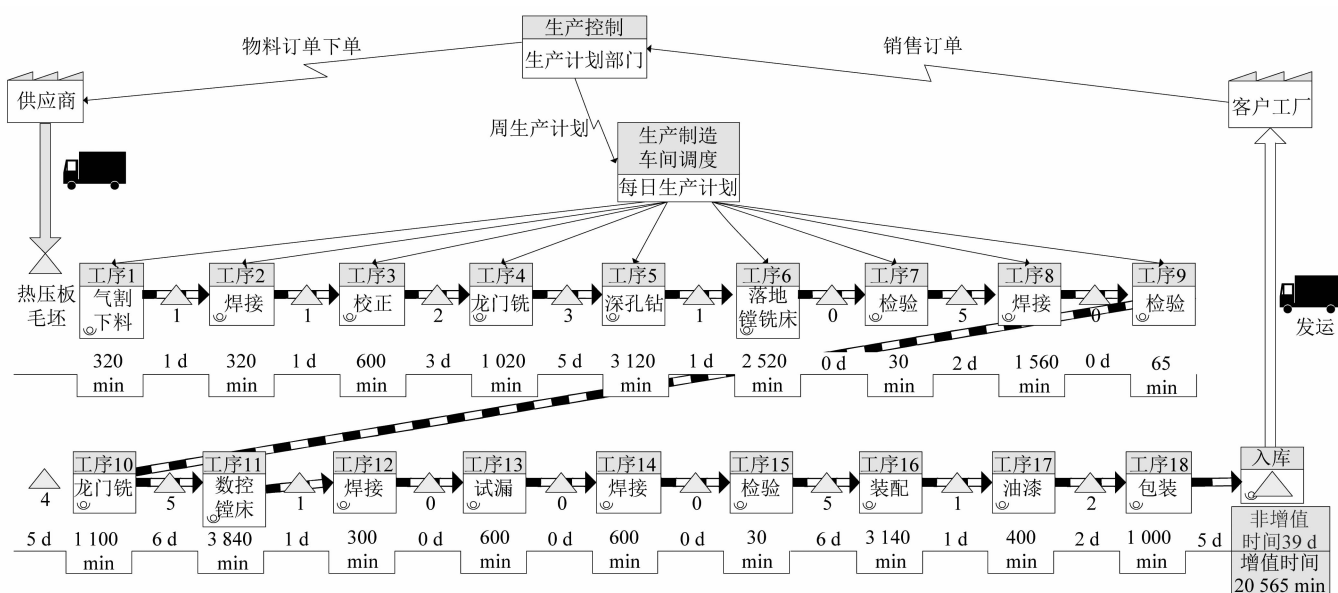


图 1 热压板生产价值流图

Figure 1 Value stream mapping of hot platen

大于节拍时间。

$$\text{生产节拍时间} = \frac{\text{可用工作时间}}{\text{客户对产品的需求数量}} \quad (3)$$

根据所设定的 35 d 目标,计算单个项目含有 10 件热压板的生产节拍时间,将对应的可用工作时间 33 600 min 和需求数量 10 件 2 个数据,代入到式(3)中,可以算出所要求的生产节拍时间是 3 360 min。

结合各道工序的作业时间做生产节拍分析,各个工序作业时间如图 2 所示,可以看出在所有工序中,只有第 11 道工序数控镗床的周期时间是超出需求的节拍时间。故数控镗床工序为瓶颈工序。生产线平衡率一般被用来评价各工序作业时间的一致性程度,以衡量生产线是否良好运行。

$$\text{生产线平衡率} = \frac{\text{各个工序时间总和}}{\text{瓶颈工序时间} \times \text{工序数}} \quad (4)$$

将目前瓶颈工序的作业时间 3 840 min、作业工序数 18 和总作业时间 20 565 min 代入到式(4)中,得出目前的生产平衡率为 29.8%。

对数控镗床工序进行瓶颈工序的人机作业分析,结果如表 2 所示。从表中数据可以看出,操作员和机床总是有一个处于空闲状态,工作中数控镗床有 1/3 的时间没有工作,这是由于当操作员进行人工操作时,机床停止工作;机床自动进行数控加工时,操作员则无事可做。因此此处存在可改善点,想要缩短整个周期时间,应尽量利用机器工作的时间进行人工操作,减少人工操作的时间对整个加工周期时间的影响。

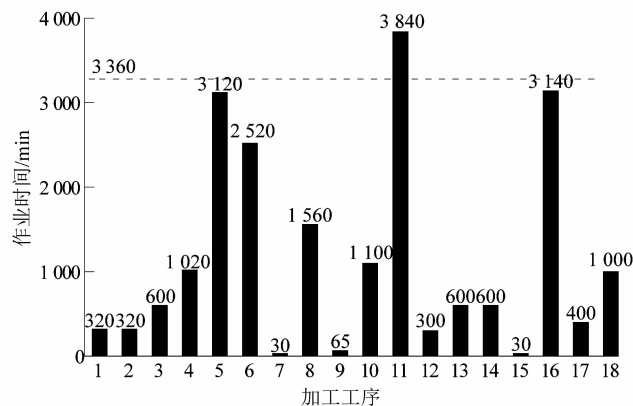


图 2 各工序作业时间

Figure 2 Work time of each process

表 2 人机作业分析

Table 2 Man machine operation analysis

序号	作业内容	作业时间/min	人	机
1	固定工件	240	忙	闲
2	调用 CNC 程序	20	忙	闲
3	镗孔	1 530	闲	忙
4	换刀	240	忙	闲
5	加工端面	1 000	闲	忙
6	卸下工件	30	忙	闲
7	清理工件	60	忙	闲
8	固定工件	240	忙	闲
9	调用 CNC 程序	20	忙	闲
10	镗孔	1 530	闲	忙
11	换刀	240	忙	闲
12	加工端面	1 000	闲	忙
13	卸下工件	30	忙	闲
14	清理工件	60	忙	闲

3.3 物流动线分析

为了清晰表达车间生产布局以及车间热压板生产过程中的物流动线,更直观地分析车间布局方面存在的问题,结合前期对现场观测的车间距离数据,绘制车间布局现状如图3所示。公司的车间布局由7个区域组成:原材料下料区、冷作焊接区、油漆区、新车间数控镗床加工区、机加工区、装配区和露天加工区。

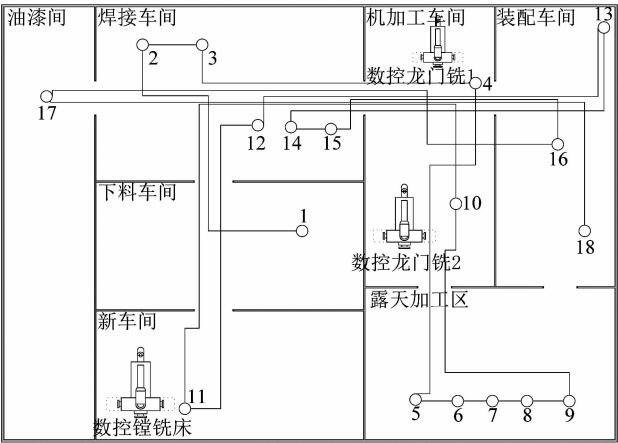


图3 车间布局现状图
Figure 3 Workshop current layout

从图3中可以看出热压板在生产过程中的动线十分复杂,且迂回过多,15次加工工序和14次的搬运,搬运距离为559 m。这意味着每一次加工后都需要1次搬运,造成大量的搬运上的浪费,并且在搬运过程中,会在动线交织处发生严重的拥堵,这不仅会引起搬运时间的增加,还可能发生多次吊装、转运等引起工件损坏的质量风险,并且增加了非增值时间。

4 项目优化

4.1 流程优化

在精益生产思想中,检验是非增值活动,它不能为产品带来价值,客户也是不愿意为产品检验额外付出的。工序7的检验是在工序6落地镗铣床完成铣腰形槽之后而进行的检验,该落地镗铣床是数控机床而且此处的腰形槽的精度要求并不是很高,机床加工精度完全可以保证。同时工序8为焊接工序,焊接前会做基础的焊前检查和清理工作,若发现不符合要求的腰形槽,必然无法进行焊接,需要退回到工序6进行返工。在工序8的焊接完成之后,会有工序9进行专门的焊后检验,进一步确认焊接质量,包括腰形槽好坏对焊接质量的影响评定。因此工序7设置一个专人检验,是不必要的且浪费的,可以取消工序7的检验。

工序12 是进行热压板侧面导向板的焊接,工序

14 是在试漏完成后进行弯管头的焊接,这2道工序都是在焊接车间完成,中间却因为有序序13试漏测试的间隔,问题在于工序13对热压板深孔通道的试漏必须在弯管头焊接之前完成,经过团队讨论技术上是可以进行合并的。固将工序12与工序14合并,在试漏测试工序完成后,对侧面导向块和弯管头在同一道工序进行焊接。

经过优化,热压板的加工工艺由18道工序减少至16道工序。

4.2 作业平衡

根据分析结果可以看出,操作员在完成了工件固定并调用完CNC程序后,拥有大量的空闲时间。在机床进行镗孔加工时,操作员可以进行换刀具的准备工作,以缩短换刀的时间。换刀完成后,进行加工端面工作时,操作员再次处于空闲状态,这段空闲时间可以用来处理前一块热压板的去毛刺倒角和清理工件的工作,同时可以准备两套夹具工装和加工用刀,利用空闲时间做好下一块热压板的夹具工装和加工用刀的准备工作。经过调整,人机等待空闲时间可以得到改善,把串行的作业流程变为并行作业,从而达到减少作业时间的目的,改善后的人机作业分析如表3所示。

表3 改善后的人机作业分析表
Table 3 Man machine operation analysis
after improvement

序号	作业内容	作业时间/min	人	机
1	安装夹具,固定工件	240	忙	闲
2	调用CNC程序	20	忙	闲
3	镗孔/准备刀具	1 530	闲	忙
4	换刀	120	忙	闲
5	加工端面/清理工件	1 000	闲	忙
6	卸下工件	30	忙	闲
7	安装夹具,固定工件	240	忙	闲
8	调用CNC程序	20	忙	闲
9	镗孔/准备刀具	1 530	忙	闲
10	换刀	120	闲	忙
11	加工端面/清理工件	1 000	忙	闲
12	卸下工件	30	忙	闲

数控镗床的加工作业时间从改善前的3 840 min缩短到2 940 min,小于客户要求的生产节拍时间3 360 min,从而满足了客户需求的生产节拍。

经过改善,数控镗床不再是瓶颈工序,工序16装配工序成为新的瓶颈工序,将新的瓶颈工序作业时间3 140 min,优化的作业工序数16和总作业时间19 355 min代入到式(4)中,得到改善后的生产线平衡率是

38.5%,相比改善前的生产线平衡率29.8%提高了近8.7%,同时还满足了客户所需求的节拍,改善效果良好。与一般生产线要求的85%生产线平衡率相比,仍有很大的差距。这主要是由于行业性质所决定的,人造板机械设备的生产制造离散程度高,给生产组织带来了很大的难度,不过这也为进一步的改善和研究指明了方向。

4.3 车间布局优化

根据分析阶段的流程,每一道加工工序后都伴随着一次搬运的发生,物流动线在焊接车间、装配车间以及新车间的拥堵和交织程度最高。因此,对各个车间做布局调整分析,改善后的布局如图4所示。

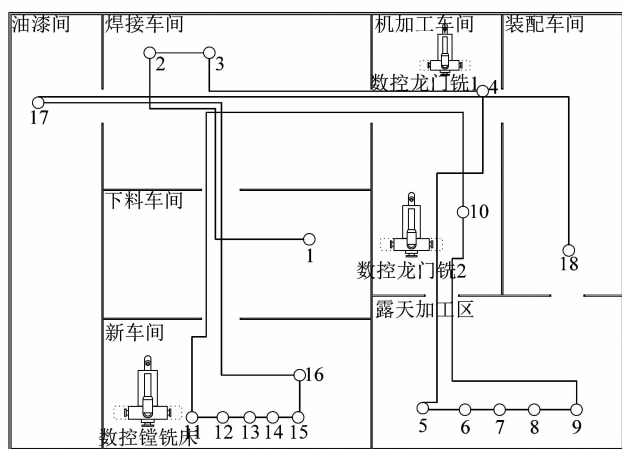


图4 改善后的车间布局

Figure 4 Workshop layout after improvement

4.3.1 装配车间

将试漏仪器转移到新车间进行试漏,在第11道工序数控镗床完成加工后,可以直接就近进行试漏测试。

由于工序16装配地点距离工序17油漆几乎跨越整个工厂,可以放到空间足够大的新车间进行装配工作,缩短搬运距离。

4.3.2 焊接车间

将工序13和15焊接所用的焊机安排到新车间进行,可以在工序12试漏完成后,进行焊接。

4.3.3 新车间

在完成对装配车间和焊接车间调整后,在新车间可以形成从工序11到工序16的连续加工,搬运次数可以减少4次,搬运距离减少183 m。

经过新的车间布局调整后,改善后的物流动线如图4所示,可以看出新的物流动线相比于改善前的物流动线更加清晰,减少了物流动线的拥堵和相互交织

的程度,缓解了工件搬运过程中可能出现的线路拥堵的情况。

4.4 现场管理改善

经过团队现场调研和一线的管理人员进行充分讨论,对存在的现场5S管理问题制定了如下改善措施:

1) 场地清理

对整个油漆间场地进行了彻底的清理,把所有堆放在油漆间场地上的工件、杂物全部搬运出油漆间;在专门的临时区域进行集中并分类管理,区分不需要的杂物和需要的工件。

2) 区域规划

对油漆间场地按照功能进行区域划分。分为工件清理准备区域、待清砂工件区域、待油漆工件区域、工件干燥区域和临时存储区域,并在车间地面区域做相应的标识。

3) 吊运工装统一化

为了使吊运更加高效,重新设定吊运工装,统一规格尺寸。在吊运不同的托盘时,不需要再调整吊运挂钩的间距,缩短了吊运所需要的时间,提高了工件吊运的效率。

4) 建立看板

通过增加看板,对工件的项目号、处理状态和完成时间等信息进行显示,让操作工和一线管理人员对整个油漆间的状态有更加直观的信息掌握,提高油漆工作效率^[9]。

5 项目控制阶段

管理问题的解决离不开配套管理制度,为了保证精益六西格玛改善项目所取得成果的可持续性,必须制定了一系列规章制度予以保障。

5.1 完善车间晨会

在每日的车间晨会要求各个班组长加强进行现场管理工作的宣讲,回顾过去5S现场管理工作做得不好的地方,明确新的目标。

5.2 组织相关培训

建立学习型组织是保证企业能长期发展的基础。为了能做到公司内部思想意识上的统一,从管理层到基层员工,加强对精益六西格玛的相关培训和教育,学习先进的标杆企业的生产经验。

5.3 绩效考核制度

建立精益改善绩效指标与个人和团队绩效指标相挂钩的制度。通过员工个人的薪资调整和奖金的发放调动员工参与的积极性,以班组为单位的团队考核与项目准时交付率相关联,推动团队不断改进。

5.4 定期客户满意度调查

每一个精益六西格玛改善项目起始于客户之声,经过改善后,得到的输出成果需要与原始输入的客户之声进一步比对,也是下一步的持续优化的输入。

6 Flexsim 仿真及改善效果分析

仿真是对系统进行分析的有效工具,生产制造过程最为关注的就是在合适的时间生产出合适的产品^[10]。通过构建生产系统模型,并对系统模型的各项参数进行调整,在不同参数下对比各个方案的效果。

从仿真模拟的角度,为实施改善方案的管理决策提供数据分析上的支持,避免盲目地投入而带来的风险,并且验证精益六西格玛项目带来的改善收益。

公司一年一般运行 10 个项目,每个项目以标准的 10 件热压板进行模拟,即一年生产 100 件热压板。利用 Flexsim 软件建立改善前后的仿真模型如图 5 所示。分别进行 100 件热压板的生产模拟,得到的输出数据如表 4 所示。

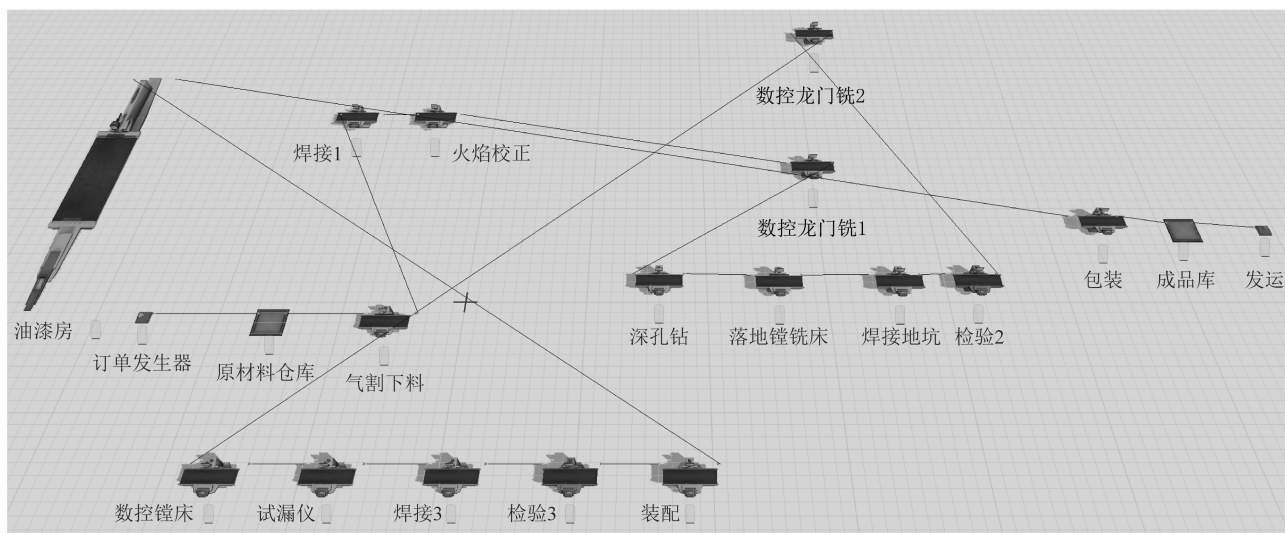


图 5 Flexsim 仿真模型

Figure 5 Flexsim simulation model

表 4 改善前后热压板生产时间

Table 4 Production time of hot platen before and after improvement

模型	单个项目/天	单件产品/min
改善前	47.1	4 522.0
改善后	35.6	3 422.2

由仿真结果可知,相比改善之前交货周期的 47.1 d,改善后为 35.6 d,工期缩短了 24.4%,满足了客户对热压板交货周期的要求;在成本方面,每年可以节省 1 224.6 万元,达到了项目的预期效果。

通过 Flexsim 仿真数据,得出了热压板生产过程中,单位生产时间随生产数量的变化曲线,如图 6 所示。从图中可以看出,随着生产数量的增加,总生产时间都是一条直线,以固定的斜率逐渐增加的;单位生产时间和单位生产成本都随斜率不断变化的曲线,且曲线斜率是逐渐减小的。当生产数量接近 100 件时,单位生产时间的曲线斜率趋近于 0。这说明生产效率的改善可以在相同的时间生产更多的热压板,便有了规

模产生的益处,使单件热压板的边际生产时间大大降低。

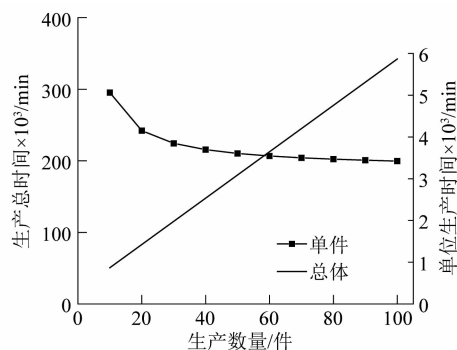


图 6 生产总时间和单位生产时间随生产数量的变化曲线

Figure 6 Change of unit production time with production quantity

7 结语

对热压板生产进行精益六西格玛改善,提升了生产效率,缩短了交货周期时间,同时也降低了生产成

本,验证了精益六西格玛在以非标、单件小批量为行业特点的人造板机械制造行业具有可适用性,值得同行业的其他企业借鉴^[11]。通过减少不必要工序,对瓶颈工序的作业平衡、车间布局的调整和现场管理改善等方法,以最小的投入达到减少作业时间,改善热压板的生产作业效率的目的。改善后的整体生产线平衡率还有继续提升的空间,在后续的工作中,可以将此改善方法横向扩展并应用到企业的其他产品中,从产品整体组合的角度进一步优化作业流程、减少浪费,以达到资源配置的优化和生产效率的整体提升,不断提高企业的效益。

参考文献:

- [1] 齐英杰,赵越,曲文,王炳宇.用科学发展观回顾并展望中国人造板机械制造业[J].林业机械与木工设备,2013,41(4):4-14.
- [2] THOMAS A J, FRANCIS M, FISHER R, et al. Implementing Lean six sigma to overcome the production challenges in an aerospace company [J]. Production Source Production Planning and Control, 2016, 27(7/8):591-603.
- [3] BARRIOS O M A, JIMENEZ F H. Use of Six Sigma methodology to reduce appointment lead-time in obstetrics outpatient department [J]. Journal of Medical Systems, 2016, 40(10):220.
- [4] 王迎春,刘巍巍,姜彤.基于精益六西格玛供应商交货日期管理与控制研究[J].组合机床与自动化加工技术,2018(8):177-180.
- [5] 王昀睿.基于价值流图析技术的客车精益生产管理研究[J].组合机床与自动化加工技术,2019(1):154-160.
- [6] WOMACK J P, JONES D T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation [J]. Journal of the Operational Research Society, 1997, 48(11):1148-1148.
- [7] JACOBS F R, CHASE R B. Operations and supply chain management [M]. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2014:148-161.
- [8] 公绪霞.面向离散制造企业的装配线平衡优化研究[D].天津大学,2014:20-32.
- [9] 李月,李明颖,王德权.精益生产的发动机装配线看板管理研究与应用[J].组合机床与自动化加工技术,2017(3):154-157.
- [10] 孙影慧,杜劲松.服装单件流水线的 Flexsim 仿真[J].纺织学报,2018,39(6):155-161.
- [11] 赵瑞,张新昌.家电产品包装线工艺流程优化[J].轻工机械,2018,36(4):100-104.

[信息·简讯]

· 行业简讯 · 西门子携手宝钢升级数字化服务——共探“智慧制造”新路径

西门子与宝山钢铁股份有限公司(宝钢股份)签署《备件供应及服务综合战略框架协议》,建立可持续综合服务战略合作伙伴关系。双方将合作领域从产品和解决方案进一步拓展至数字化咨询、大数据分析、智能运维和人才培养等更广泛的领域。西门子将为宝钢股份提供从设备备件供应到数字化服务的全方位支持,以全新的服务模式支持其业务的持续发展,提升其“智慧制造”能力。此次合作是双方在2015年签署的《备件框架协议》的进一步深化,将成为探索中国钢铁企业数字化转型路径与方法的又一合作典范。

早在2015年8月,西门子就与宝钢建立联合工作组,共同探索“工业4.0项目”在钢铁行业的实践。双方于2016年签订的《宝钢与西门子智慧制造(工业4.0)战略协议》已成为德国“工业4.0”与中国智能制造对接的最佳实践和中国钢铁行业智能制造的标杆。2017年8月,西门子与宝钢工程技术集团旗下的宝钢工业技术服务有限公司就虚拟远程运维技术及标准研究签署合作协议,帮助其建设高效的数字化、可视化运维体系,实现设备运维的全生命周期管理,共同打造流程工业领域的虚拟远程运维样板工程。

根据此次协议,西门子将在备件供应、维修与改造、服务、培训及工业智能制造等诸多领域为宝钢股份提供全面技术支持,为特定设备与系统提供以旧换新,透明化设备运行管理和产线运行智能分析。双方也将在大数据分析领域进一步合作,通过西门子产品生命周期管理软件(PLM)、资产优化分析(AOS)等技术为宝钢股份生产线设备运行提供指导和建议,实现停产预警、产品升级和库存的优化,有效降低运维成本、提高设备综合效率和产量。此外,西门子还计划为宝钢股份量身打造智能制造解决方案,包括项目规划、技术咨询、现场实施、产品采购和人员培训等方面。

(陈洪钰)