

面向延迟制造的 MRP 动态调整方法研究

苗文明¹ 陈泳¹ 陈关龙¹ 林忠钦¹

摘要 延迟制造要求对相同的在制品根据不同的客户需求进行工艺区分. 过程质量的不确定性使得传统物料需求计划 (Material requirement planning, MRP) 难以满足延迟区分的实时性要求. 本文简要介绍了面向延迟制造的物料需求计划改进方法, 提出了基于累计实时合格率的物料需求计划动态调整方法, 开发了实现算法. 应用案例表明: 该方法能够实时地根据各生产阶段的质量波动对物料需求计划进行动态调整, 制定合理的在制品工艺区分决策.

关键词 累计实时合格率, 物料需求计划, 动态调整, 延迟制造
中图分类号 F410.75

Dynamic Adjustment of Material Requirement Planning for Postponement Manufacturing

MIAO Wen-Ming¹ CHEN Yong¹ CHEN Guan-Long¹ LIN Zhong-Qin¹

Abstract The identical work-in-process (WIP) must be differentiated according to different customization processes for postponement manufacturing. Due to uncertain process quality, it is difficult for traditional material requirement planning (MRP) approach to satisfy the real-time requirement of postponement differentiation. This paper briefly introduces how the MRP approach is adapted for postponement manufacturing at first. A dynamic adjustment approach based on the real-time yield rate is then proposed. The algorithm for implementing the dynamic adjustment approach is also developed. A case study shows that this proposed approach can adjust material requirement plans dynamically according to the real-time quality fluctuation at every stage. As a result, decisions on differentiation for process customization can be made more wisely.

Key words Cumulative real-time yield rate, material requirement planning (MRP), dynamic adjustment, postponement manufacturing

激烈的市场竞争、个性化的市场需求使得按订单生产 (Make-to-order)^[1] 已成为制造业的一种主要运作模式. 目前大部分按订单生产企业的产品具有品种多、批量小的特点. 如何提高生产效率、降低运作成本是按订单生产企业需要解决的一个重要问题. 技术产品 (特别是机械产品) 的生产常常是多阶段生产过程. 不同订单产品虽然需要不同定制工艺, 但其在生产初期阶段常常具有相同的基本属性, 如型号、规格、材质等. 因此, 按订单生产企业常常采用延迟区分 (Postponed differentiation)^[2] 的策略来解决上述问题, 即通过对不同订单的相同在制品的生产进行延迟区分, 尽可能以接近大规模生产的效率实现个性化产品的生产.

延迟制造^[3-4] 在给企业带来利益的同时, 也给物料需求计划 (Material requirement planning, MRP) 的制定及控制带来了严峻挑战. 因为延迟制造常常发生在多阶段生产过程中, 一种零件在到达工艺定制分离点 (类似于客户订单分离点 (Cus-

tomers order decoupling point, CODP)) 时会面临不同工艺的加工, 所以必须用多个物料编号来表达一类相似零件的不同定制工艺. 传统 MRP 一般不涉及零件的工艺区分, 一种零件在整个生产过程中都采用同一个物料编号. 因此, 传统 MRP 通常只是制定零件完工阶段的物料需求计划, 而延迟制造环境下则需要对零件的每个生产阶段制定物料需求计划. 由于实际生产中产量具有不确定性, 零件在每个生产阶段都可能产生废品, 传统 MRP 一般不考虑此问题, 因此它生成的物料需求计划是静态的. 延迟制造下则需要根据每个阶段的实际产率及时调整各阶段物料需求计划, 否则就可能造成不同定制工艺的加工数量区分不合理, 进而导致部分订单的物料短缺.

本文首先简要介绍了延迟制造下的物料需求计划的改进方法, 然后提出了基于累计实时合格率的物料需求计划动态调整方法, 并给出了此方法的应用实现算法以及应用实例.

1 面向延迟制造的物料需求计划方法

传统 MRP 方法源于按库存生产模式, 因此生成的物料需求计划与订单无关. 另外, 早期的 MRP 常常假设生产情况稳定, 不考虑生产过程中的废品.

收稿日期 2007-04-02 收修稿日期 2008-04-18
Received April 2, 2007; in revised form April 18, 2008
1. 上海交通大学机械与动力工程学院 上海 200240
1. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240
DOI: 10.3724/SP.J.1004.2008.00950

由于实际生产过程质量水平的不确定性, 实际产量经常会发生波动, 导致计划很容易和实际生产脱节。

为了解决生产过程中各个阶段的产量不确定性对物料需求计划的影响, 国内外学者进行了一定的研究^[5-10]. Hegseth 提出了基于组合经验合格率的 MRP 方法, 该方法的特点是以多阶段系统的组合质量损失为基础制定初始阶段的物料需求计划^[5]. Lee 和 Yano 以 LED 显示器的生产为例, 利用历史合格率分布计算多阶段生产系统中每个阶段的投料数量, 以解决生产过程中的产量不确定问题^[6]. Murthy 和 Ma 利用投料数量和产量的函数关系来解决此问题^[7].

延迟制造常常是按订单生产, 由于定制要求多, 常常需要严格地控制在制品库存. 根据 Kurtulus 的统计分析研究^[8], Hegseth 提出的组合经验合格率方法最有利于库存控制, 可操作性也较强. 另外, 为了使生产平滑进行, 另两种方法通常要求一定的在制品安全库存, 这在按订单生产中常常难以实现. 因此, 本文也以组合合格率方法为基础制定物料需求计划。

由于延迟制造通常是按订单生产, 因此生产计划也应该与订单紧密关联, 这样才能及时地响应客户需求变更. 然而, Hegseth 的方法以传统的按库存生产模式为基础, 常常对交货期相近、需要相同物料的订单合并制定物料需求计划^[11]. 因此, 需要根据按订单生产的特点对传统的组合合格率方法进行适当改进, 为每一份订单制定单独的物料需求计划。

具体制定方法如下:

第 1 步, 按照 Hegseth 的方法确定订单 k 的零部件初始投料量, 即在第一个按订单生产阶段的投料数量 $I_{(1,k)}$. 假设订单 k 的某种零部件的净需求量是 A_k , 在按订单生产过程 (即从自身生产一直到成品生产的过程) 中需要先后经过 S_1, S_2, \dots, S_n 共 n 个阶段加工, 每个生产阶段的经验合格率分别是 $R_{E1}, R_{E2}, \dots, R_{En}$, 则

$$I_{(1,k)} = \frac{A_k}{\prod_{i=1}^n R_{Ei}} \quad (1)$$

有一点需要说明. 一般的复杂定制产品通常有多层 BOM, 物理上相同的在制品可以分布在不同的 BOM 层次. 因此, 应该对它们分别制定投料计划. 以图 1 所示产品 Product 0 中的零件 Part 3 为例, 尽管位置 A 和位置 B 都需要 Part 3, 而且 Part 3 自身的工艺路线也相同, 但是从部件开始它们具有不同的工艺路线, 因此需要对它们按照上面的方法分别制定计划. 假设 Part 3 自身的生产需要经过 S_1, S_2, S_3 三个阶段的生产, Assembly 2 的生产需

要经过 S_4, S_5 两个阶段的生产, Product 0 需要经过 S_6, S_7 两个阶段的生产, 相应的经验合格率分别是 $R_{E1}, R_{E2}, \dots, R_{E7}$. 设订单 k 对位置 A 的 Part 3 的净需求量是 A_{k1} , 则其在第一个按订单生产阶段的投料数量为

$$I_{(1,k)} = \frac{A_{k1}}{R_{E1} \times R_{E2} \times R_{E3} \times R_{E6} \times R_{E7}}$$

设订单 k 对位置 B 的 Part 3 的净需求量是 A_{k2} , 则其在第一个按订单生产阶段的投料数量为

$$I_{(1,k)} = \frac{A_{k2}}{\prod_{i=1}^7 R_{Ei}}$$

第 2 步, 通过综合考虑生产能力、订单交货期等因素, 为每份订单设置在每个按订单生产阶段的生产提前期。

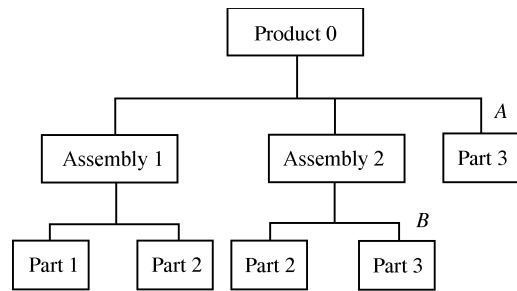


图 1 Product 0 的产品结构示意图

Fig. 1 Product structure of Product 0

此方法与传统 MRP 制定的物料需求计划相比, 主要不同点在于: 首先, 前者制定的计划是具体订单的计划, 而后者制定的计划不区分订单; 其次, 前者制定的计划是针对每个阶段的计划, 而后者制定的计划只针对零部件生产的最后一个阶段。

此外, 此方法只是针对定制产品中有客户定制要求的零件, 对于无客户定制要求的零件仍然可按照传统 MRP 方法制定物料需求计划。

2 基于累计实时合格率的物料需求计划动态调整方法

由于基于组合经验合格率的 MRP 方法仅能对按订单生产的初始阶段进行控制, 所以还需要对中间生产阶段的物料需求进行控制. 因此, 本节将以实时合格率为基础, 研究物料需求计划的动态调整方法。

在延迟制造的生产模式下, 假设某订单 k 的某种零部件在按订单生产的过程中, 需要先后经过 S_1, S_2, \dots, S_n 共 n 个阶段加工, 并且各阶段之间的零部件都是批量运转 (即一个阶段的某种零部件并不

是全部加工完毕才运往下一个阶段, 而是达到一定批量或者间隔一定时间就运往下一个阶段). 订单 k 的该种零部件在阶段 S_i 的投料数量是 $I_{(i,k)}$, 产量 (合格品量) 是 $M_{(i,k)}$, 废品量是 $B_{(i,k)}$, 合格率是 $R_{(i,k)}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$, 此订单的零部件初始投料量 $I_{(1,k)}$ 为已知, 并由式 (1) 得到, 求订单 k 的该种零部件在生产阶段 S_i ($i = 2, 3, \dots, n$) 的投料数量 $I_{(i,k)}$.

显然, 有以下关系式成立

$$\begin{aligned} M_{(i,k)} + B_{(i,k)} &= I_{(i,k)} \\ I_{(i,k)} \times R_{(i,k)} &= M_{(i,k)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$M_{(i,k)} = I_{(i+1,k)} \quad (3)$$

2.1 物料需求计划动态调整的基本方法

传统的 MRP 是根据生产经验预先确定一个该类零部件在各个生产阶段的经验合格率, 进而通过累计的经验合格率, 利用式 (2) 和 (3) 得到某阶段的产量和投料数量. 用 I_1 表示某订单的某零件在第 1 个阶段的初始投料量, R_{Ei} 表示此零件在第 i 个阶段的经验合格率, 则第 j 个阶段此零件的产量 M_j , 也就是第 $(j+1)$ 个阶段的投料数量 $I_{(j+1)}$, 可以根据从第 1 个阶段到第 j 个阶段的累计经验合格率计算得到

$$I_{(j+1)} = M_j = I_1 \times \prod_{i=1}^j R_{Ei} \quad (4)$$

显然, 由于经验合格率是固定的, 因此, 这种基于累计经验合格率的方法是一种静态的计算方法, 只能适用于合格率稳定的场合. 对上面基于累计经验合格率的方法进行改造, 用订单 k 对应的零部件在某阶段的实际合格率 $R_{(i,k)}$ 替代经验合格率 R_{Ei} , 就可以根据实际合格率对投料数量进行动态调整. 通过式 (5) 即可得到某订单 k 的零部件在第 $(j+1)$ 个阶段的投料数量 $I_{(j+1,k)}$

$$I_{(j+1,k)} = M_{(j,k)} = I_{(1,k)} \times \prod_{i=1}^j R_{(i,k)} \quad (5)$$

在工艺区分点以前, 具有相同零部件的订单被合并在一起生产, 在物理上无法区分, 很难确定其中某个订单零部件的合格率值. 因此, 根据风险共担的原则, 让各个阶段产生的废品由该种零部件所属的所有订单共同承担, 避免某个订单由于废品过多而导致物料短缺. 如果能够确定订单 k 对应的零部件全部由该阶段的某个班次生产, 则可以把该阶段该班次生产此种零部件的平均合格率 \bar{R}_i , 作为此种零部件所属的所有订单的合格率, 即订单 k 的此种零

部件的合格率 $R_{(i,k)}$ 等于 \bar{R}_i , 即

$$R_{(i,k)} = \bar{R}_i \quad (6)$$

假设此种零部件全部由生产阶段 S_i 的第 m 个班次生产, 则 \bar{R}_i 可用以下公式计算

$$\bar{R}_i = \frac{G_{(i,k,m)}}{G_{(i,k,m)} + B_{(i,k,m)}} \quad (7)$$

其中, $G_{(i,k,m)}$ 表示订单 k 在第 i 个生产阶段 S_i 对应的零部件在第 m 个班次生产的合格品数量, $B_{(i,k,m)}$ 表示订单 k 在生产阶段 S_i 对应的零部件在第 m 个班次生产的废品数量. $G_{(i,k,m)}$ 和 $B_{(i,k,m)}$ 的数据可以通过每个班次下班时上报的生产情况而获得. 订单在第一个按订单生产阶段的投料数量为已知, 因此就可以通过式 (5)~(7) 实现对投料数量的动态计算.

2.2 面向多班次生产的物料需求计划动态调整方法

上述基本方法的前提是某订单的某零部件在某阶段的一个班次内完成生产. 然而, 实际情况是: 一个订单的某零部件可能由多个班次共同完成生产. 因此, 该阶段除了第一个班次可以直接利用上述基本方法外, 其他班次在确定此订单在本阶段的投料数量时, 都需要考虑本阶段前面班次已经完成的此订单的产量, 以及本阶段生产此订单的最新的平均合格率.

不失一般性, 假设第 i ($i = 1, 2, \dots, j+1$) 个阶段 S_i 已经经历了 T_i 个班次的生产, 第 $(j+1)$ 个阶段 S_{j+1} 已经为订单 k 生产的合格品数量是 $C_{(j+1,k)}$, 则有下面的关系式成立

$$I_{(j+1,k)} \times R_{(j+1,k)} = M_{(j+1,k)} - C_{(j+1,k)} \quad (8)$$

其中 $I_{(j+1)}$ 表示订单 k 的某零部件需要在阶段 S_{j+1} 继续投料的数量. 需要说明的是: 第 2.1 节提到的 $I_{(j+1,k)}$ 表示订单 k 的某零部件需要在阶段 S_{j+1} 完全投料的数量, 由于当时的前提是订单 k 的某零部件在一个班次内生产完成, 因此, 第 2.1 节的 $I_{(j+1,k)}$ 实际上也就是订单 k 的某零部件需要在阶段 S_{j+1} 继续投料的数量, 在后文的论述中 $I_{(j+1,k)}$ 也将统一沿用其在本节的含义.

多班次生产造成的另外一个情况就是一份订单在某个阶段里会有多个合格率, 不过既然这些班次生产都是根据同一份订单, 那么就可以把这些班次的平均合格率 \bar{R}_i 作为这份订单在这个阶段的合格率. \bar{R}_i 的计算公式为

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{m=1}^{T_i} G_{(i,k,m)}}{\sum_{m=1}^{T_i} G_{(i,k,m)} + \sum_{m=1}^{T_i} B_{(i,k,m)}} \quad (9)$$

式 (7) 可以看作是式 (9) 的一个特例. 此时, 根据式 (5)、(6)、(8) 和 (9), 对于阶段 S_{j+1} 中除了第一个班次以外的其他班次, 订单 k 的投料数量计算方法为

$$I_{(j+1,k)} = \frac{I_{(1,k)} \times \prod_{i=1}^{j+1} \bar{R}_i - C_{(j+1,k)}}{\bar{R}_{j+1}} \quad (10)$$

因此, 无论某个阶段对某个订单进行了多少班次的生产, 都可以借助本文提出的方法动态地计算该订单在该阶段的投料数量, 即实现了对物料需求计划的动态调整.

2.3 异常状况下的物料需求计划动态调整方法

当生产过程中发生比较严重的质量事故时, 某阶段的合格率过低, 如果仍然按照式 (9) 和 (10) 进行计算, 就可能使 $I_{(j+1,k)}$ 小于订单需要数量, 从而导致订单 k 的产量不足, 无法满足订货量. 因此, 在这种情况下需要根据生产经验, 为每种零部件在第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个生产阶段设置一个合格率的阈值 F_i . 当实际合格率小于这个阈值时, 就用这个阈值代替实际的合格率进行计划调整.

综合上述各种情况, 订单 k 的某种零部件在阶段 S_{j+1} 的投料数量 $I_{(j+1,k)}$ 可通过式 (11) (见本页下方) 进行计算, 其中, 若 T_{j+1} 等于 0 表示阶段 S_{j+1} 没有进行过订单 k 的生产; 若 T_{j+1} 大于 0 表示阶段 S_{j+1} 已经进行过订单 k 的生产.

与根据经验合格率来控制生产过程的投料数量的传统 MRP 方法不同, 本文提出的方法以实际生产合格率来动态调整投料数量, 保持了计划和生产的一致性.

3 算法实现

本节以某阶段按订单生产的某种零部件为例来说明对于该零部件所属订单在该阶段实现对投料数量动态调整的算法. 对于所有阶段的所有按订单生产零部件所属订单投料数量的动态调整都可以通过此算法得到实现.

介绍具体算法之前, 首先对本算法用到的主要数据库结构表进行简要介绍.

合格率阈值表: 存储每个生产阶段零部件的合格率阈值, 这是基础数据表.

在制品表: 存储每个生产阶段的在制品实时信息, 包括零部件名称、数量等信息, 这是个动态表, 每当从上游阶段接收在制品或者生产完成转出在制品时, 此表数据都会相应地增加或减少.

生产情况统计表: 存储每个生产阶段每个班次生产的合格零部件数量、废品数量, 每次生产统计都会在此表里添加一条记录, 这是记录每个阶段生产情况的静态表.

物料需求计划信息表: 存储订单编号、零部件名称、订单零部件的初始投料量、阶段名称以及在各个生产阶段的计划投料数量、首次投产时间、完成数量、完成时间、平均合格率等信息.

对接订单生产过程的第 $(j+1)$ 个阶段 S_{j+1} 的在制品 P , 图 2 (见下页) 给出了实现对在制品 P 所属订单投料数量动态调整的算法流程图, 该流程的简要描述如下:

步骤 1. 从在制品表中读取第 $(j+1)$ 个阶段 S_{j+1} 的在制品 P ;

步骤 2. 在物料需求计划信息表中搜索在制品 P 所属的所有未生产完成的订单, 假设共有 n 份, 按任意顺序排列, 并置第 1 个订单为当前订单, 即 $k = 1$;

步骤 3. 从物料需求计划信息表中读取当前订单在制品 P 的初始投料量 $I_{(1,k)}$, 并置第 1 个按订单生产阶段为当前阶段, 即 $i = 1$, 置 $I_{(j+1,k)} = I_{(1,k)}$;

步骤 4. 按照式 (9) 计算第 i 个阶段 S_i 生产在制品 P 的平均合格率 \bar{R}_i ;

步骤 5. 从合格率阈值表中获取第 i 个阶段在制品 P 的合格率阈值 F_i ;

步骤 6. 比较 \bar{R}_i 和 F_i 的大小, 取大者为阶段 S_i 订单 k 的合格率, 并把 $I_{(j+1,k)} \times \max\{\bar{R}_i, F_i\}$ 的值赋给 $I_{(j+1,k)}$;

步骤 7. 如果 $i < j+1$, 则 $i = i+1$, 并转到步骤 4 进行当前订单在下一个阶段的合格率计算;

步骤 8. 如果 $i = j+1$ (即本阶段循环结束) 且 $T_{j+1} = 0$ (即本阶段没有生产过订单 k), 则 $I_{(j+1,k)}$ 的计算完成, 转到步骤 10;

$$I_{(j+1,k)} = \begin{cases} I_{(1,k)} \times \prod_{i=1}^j \max\{\bar{R}_i, F_i\}, & \text{若 } T_{j+1} = 0 \\ \frac{I_{(1,k)} \times \prod_{i=1}^j \max\{\bar{R}_i, F_i\} - C_{(j+1,k)}}{\max\{\bar{R}_{j+1}, F_{j+1}\}}, & \text{若 } T_{j+1} > 0 \end{cases} \quad (11)$$

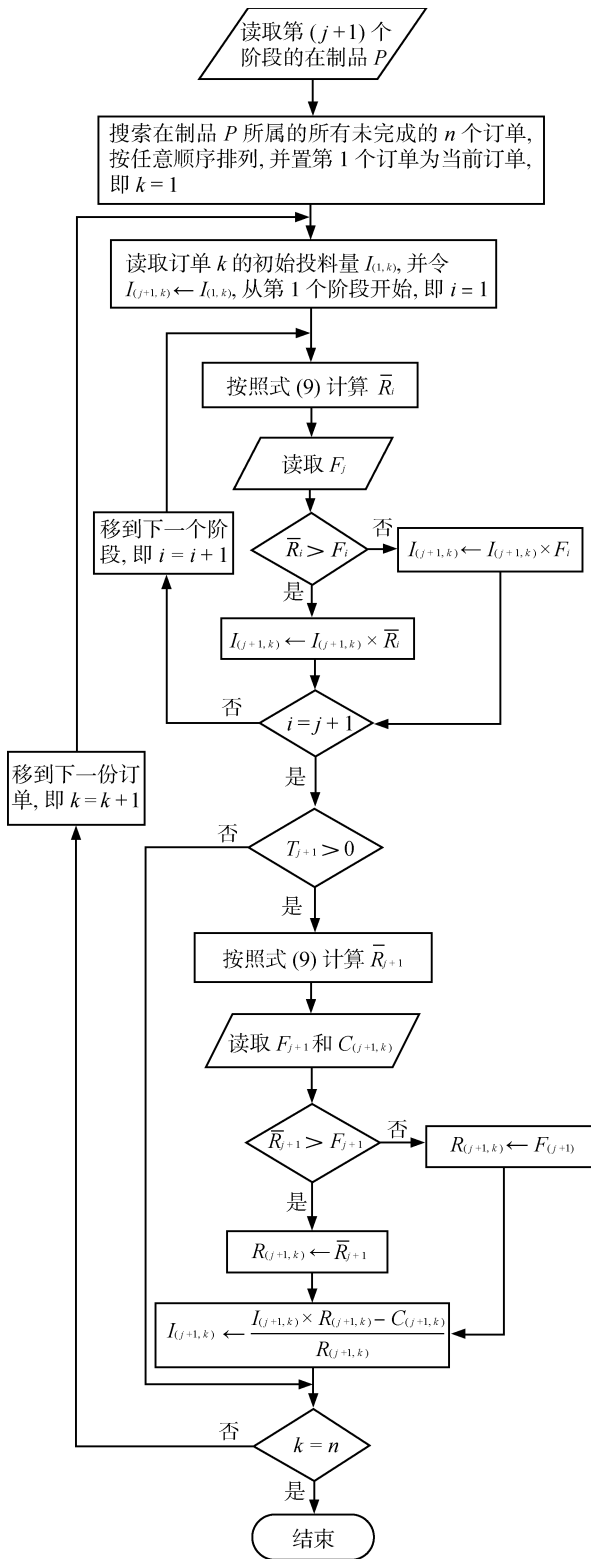


图2 物料需求计划动态调整算法的流程图

Fig.2 The dynamic adjustment algorithm of material requirement planning

步骤 9. 如果 $i = j + 1$ 且 $T_{j+1} > 0$ (即本阶段已经进行过订单 k 的生产), 从相关表读取本阶段

已经为订单 k 生产的产量 $C_{(j+1,k)}$ 以及 F_{j+1} , 并计算, 把 $(I_{(j+1,k)} \times \max\{\bar{R}_{j+1}, F_{j+1}\} - C_{(j+1,k)}) / \max\{\bar{R}_{j+1}, F_{j+1}\}$ 的值赋给 $I_{(j+1,k)}$, 则 $I_{(j+1,k)}$ 的计算完成;

步骤 10. 如果 $k < n$, 则置 $k = k + 1$, 即移到下一个订单, 转到步骤 3 计算下一份订单的 $I_{(j+1,k)}$;

步骤 11. 如果 $k = n$, 则所有订单的计算都完成, 结束退出.

根据上述算法, 任何班次在开工前都可以准确了解到本阶段每份订单的物料需求数量, 有利于制定出合理的车间作业计划.

4 应用案例

山东省文登县某大型工具制造企业为来自世界各地的客户定制各种工具产品. 以其生产的活扳手为例, 年销量达 2 千万只以上, 其中 90% 以上出口到国外. 活扳手的生产需要依次经过锻压、机加工、热处理、粗装、抛光、电镀、精装等多个阶段. 由于客户通常要求将特定的客户牌号锻压在主要零件—扳身上, 因此扳身属于按订单生产的零件, 需要对其投料及库存进行严格控制, 避免生产浪费.

4.1 实例

抛光车间现有某种扳身活嘴组合体 (规格: 10 寸; 型号: WB-25 型; 材质: 40CrV; 牌号: FACOM), 相关订单共有三份, 主要信息见表 1 (按交货期排列, 1 号订单交货期最早). 抛光车间是一个客户订单分离点, 其中 1 号和 3 号订单对应的在制品要进行“全抛”加工, 而 2 号订单对应的在制品则要进行“半抛”加工. 三份订单的初始投料量分别是 430 只、750 只和 1500 只. 各个车间相关在制品的合格率阈值及生产数据如表 2 所示 (表 1 和表 2 见下页).

2006 年 10 月 16 日在进行生产调度时, 共收到粗装车间在制品 $1275 + 1269 = 2544$ 只, 已经投料 380 只, 当前车间剩余在制品 $2544 - 380 = 2164$ 只. 1 号和 3 号订单的累计实时合格率是 93.91%, 2 号订单的累计实时合格率是 94.41%, 三份订单的投料数量按照式 (11) 计算结果如下:

$$I_1 = (430 \times 93.91\% - 378) / 99.47\% = 26$$

$$I_2 = 750 \times 94.41\% = 708$$

$$I_3 = (1500 \times 93.91\% - 0) / 99.47\% = 1416$$

根据三个订单的投料计划, “全抛”工艺的投料数量为: $(I_1 + I_3) = (26 + 1416) = 1442$ 只, “半抛”工艺的投料数量为 708 只. 因此, 2164 个在制品完全可以满足三份订单的要求.

因此, 基于累计实时合格率的方法能够根据实际质量状况实现对物料需求计划的动态调整.

表 1 三份订单的主要信息及 2006 年 10 月 15 日抛光车间的完成情况

Table 1 Main information of three orders and product information of polishing work floor on October 15, 2006

订单号	规格	材质	型号	牌号	主要工艺要求	净需求量	初始投料量	抛光已完成量
1	10 寸	40CrV	WB-25	FACOM	全抛、镀铬	400	430	378
2	10 寸	40CrV	WB-25	FACOM	半抛、镀镍	700	750	0
3	10 寸	40CrV	WB-25	FACOM	全抛、镀锌	1400	1500	0

表 2 各个车间的生产数据

Table 2 Production data of work floors

车间名称	合格率阈值	日期	投料数量	合格品量	合格率	平均合格率	累计实时合格率
锻压车间	97.30 %	10 月 11 日	1360	1324	97.35 %	97.35 %	97.35 %
锻压车间	97.30 %	10 月 12 日	1320	1286	97.42 %	97.39 %	97.39 %
机加工车间	97.70 %	10 月 12 日	1324	1297	97.96 %	97.96 %	95.40 %
机加工车间	97.70 %	10 月 13 日	1286	1267	98.52 %	98.23 %	95.67 %
热处理车间	98.50 %	10 月 13 日	1297	1290	99.46 %	99.46 %	95.15 %
热处理车间	98.50 %	10 月 14 日	1267	1261	99.52 %	99.49 %	94.67 %
粗装车间	99.10 %	10 月 14 日	1280	1275	99.61 %	99.61 %	94.30 %
粗装车间	99.10 %	10 月 15 日	1271	1269	99.84 %	99.73 %	94.41 %
抛光车间	全抛: 98.60 %	10 月 15 日	380	378	99.47 %	99.47 %	93.91 %
抛光车间	全抛: 98.60 %	10 月 16 日	0	0	—	—	—
抛光车间	半抛: 98.40 %	10 月 15 日	0	0	—	—	—
抛光车间	半抛: 98.40 %	10 月 16 日	0	0	—	—	—

表 3 车间生产本案例产品的经验合格率表

Table 3 The experienced yield rates of the items in the case

车间名称	锻压车间	机加工车间	热处理车间	粗装车间	抛光车间	
					全抛	半抛
经验合格率	98.40 %	98.60 %	99.20 %	99.50 %	98.90 %	99.20 %

4.2 讨论

该企业过去按照传统 MRP 方法制定物料需求计划, 通过设置经验合格率达到制定各车间的投料计划, 各车间生产相应产品的经验合格率如表 3 所示.

根据传统 MRP 方法, 可以计算出三份订单在抛光车间 2006 年 10 月 16 日的投料计划如下:

$$I_1 = (430 \times 98.40\% \times 98.60\% \times 99.20\% \times 99.50\% \times 98.90\% - 378) / 98.90\% = (430 \times 94.71\% - 378) / 98.90\% = 31$$

$$I_2 = 750 \times 98.40\% \times 98.60\% \times 99.20\% \times 99.50\% = 750 \times 95.76\% = 718$$

$$I_3 = (1500 \times 98.40\% \times 98.60\% \times 99.20\% \times 99.50\% \times 98.90\% - 0) / 98.90\% = (1500 \times 94.71\% - 0) / 98.90\% = 1436$$

这样, “全抛” 工艺的理论投料数量为: ($I_1 +$

I_3) = (31 + 1436) = 1467 只, “半抛” 工艺的理论投料数量为 718 只.

因为 2006 年 10 月 15 日抛光车间已进行了“全抛” 工艺的生产, 所以为了避免更换工装夹具, 节约时间, 2006 年 10 月 16 日排产时首先按照计划给“全抛” 工艺投产 1467 个在制品, 然后再对剩余的 697 个在制品 (2164 - 1467 = 697) 进行“半抛” 加工. 显然, 由于所有相关在制品已加工完毕, 投产量 (697) 已经无法满足 2 号订单订货量 (700) 的要求, 造成物料短缺, 必须进行补充投料.

通过以上实例对比可以发现, 本文提出的方法能根据零部件的实际合格率达到对各阶段的投料情况进行调整, 具有实时、动态的优点, 可以最大限度地避免由于决策不当引起的物料短缺, 进而可以减少订单交货期延误的概率.

5 结论

延迟制造下, 在客户订单分离点以前, 所有具有相同产品的订单都被无区分地合并在一起生产. 当到达客户订单分离点的时候, 需要对物理上相同的在制品, 按照不同订单的不同客户要求, 采用不同的定制工艺进行加工, 实现订单对在制品的分离. 对每份订单在每个生产阶段投料计划的动态调整, 是做出合理调度方案的重要前提和基础.

本文提出了面向延迟制造的基于累计实时合格率的物料需求计划动态调整方法, 实现了对物料需求计划的动态调整, 并在山东省文登县某大型工具制造企业进行了应用. 应用实例表明: 本文提出的方法保证了计划与实际生产的一致性, 可以有效地避免由于决策不当引起的物料短缺, 保证生产的顺利进行.

References

- 1 Stevenson M, Hendry L C, Kingsman B G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 2005, **43**(5): 869–898
- 2 Alderson W, Sessions R E. Marketing efficiency and the principle of postponement. *Cost and Profit Outlook*, 1950, **3**(4): 15–18
- 3 Grag A, Tang C S. On postponement strategies for product families with multiple points of differentiation. *IIE Transactions*, 1997, **29**(8): 641–650
- 4 Skipworth H, Harrison A. Implications of form postponement to manufacturing: a case study. *International Journal of Production Research*, 2004, **42**(10): 2063–2081
- 5 Hegseth M A. The challenge of operation yield. *Production and Inventory Management*, 1984, **25**(1): 4–10
- 6 Lee H L, Yano C A. Production control in multi-stage systems with variable yield losses. *Operations Research*, 1988, **36**(2): 269–278
- 7 Murthy D N P, Ma L. Material planning with uncertain product quality. *Production Planning and Control*, 1996, **7**(6): 566–576
- 8 Kurtulus I S. A statistical analysis of yield loss in material requirements planning systems. *Production Planning and Control*, 1996, **7**(1): 22–26
- 9 Zhang Jie, Wang Wei, Fang Hai-Song, Cheng Yang. Double-feedback and phases based scheduling for firer production. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2006, **42**(11): 125–130
(张洁, 王伟, 方海松, 程扬. 基于双反馈控制和分阶段调度的光纤生产调度. *机械工程学报*, 2006, **42**(11): 125–130)
- 10 New C, Mapes J. MRP with high uncertain yield losses. *Journal of Operations Management*, 1984, **4**(4): 315–330
- 11 Wang Ding-Wei, Xu Chang-Guo. A comparative study on material requirement planning and just-in-time. *Acta Automatica Sinica*, 1993, **19**(3): 370–378
(汪定伟, 徐昌国. 物料需求计划与准时生产制的对比分析. *自动化学报*, 1993, **19**(3): 370–378)



苗文明 上海交通大学机械与动力工程学院博士研究生. 主要研究方向为生产调度, 生产计划与控制.

E-mail: miaowenming@hotmail.com

(**MIAO Wen-Ming** Ph.D. candidate in the School of Mechanical Engineering at Shanghai Jiao Tong University. His research interest covers scheduling, production planning and control.)



陈泳 博士, 上海交通大学机械与动力工程学院副教授. 1997 年和 2004 年在浙江大学分别获得学士学位和博士学位. 主要研究方向为计算机辅助概念设计, 面向大规模定制生产的生产计划与控制, 制造执行系统. 本文通信作者.

E-mail: mechenyong@sjtu.edu.cn

(**CHEN Yong** Ph.D., associate professor in the School of Mechanical Engineering at Shanghai Jiao Tong University. He received his bachelor and Ph.D. degrees from Zhejiang University, in 1997 and 2004, respectively. His research interest covers computer-aided conceptual design, mass customization-oriented production planning and control, and manufacturing execution system. Corresponding author of this paper.)



陈关龙 上海交通大学机械与动力工程学院教授. 1982 年毕业于上海交通大学. 主要研究方向为车身焊接技术及其数字化制造. E-mail: glchen@sjtu.edu.cn

(**CHEN Guan-Long** Professor in the School of Mechanical Engineering at Shanghai Jiao Tong University. He graduated from Shanghai Jiao Tong University in 1982. His research interest covers weld quality and digital manufacturing for auto-body assembly.)



林忠钦 博士, 上海交通大学机械与动力工程学院教授. 1982 年和 1989 年在上海交通大学分别获得学士学位和博士学位. 主要研究方向为薄板冲压成形技术, 车身制造质量控制.

E-mail: zqlin@sjtu.edu.cn

(**LIN Zhong-Qin** Ph.D., professor in the School of Mechanical Engineering at Shanghai Jiao Tong University. He received his bachelor and Ph.D. degrees from Shanghai Jiao Tong University, in 1982 and 1989, respectively. His research interest covers sheet forming technology and quality control of auto-body manufacturing.)