

文章编号:1000-582X(2012)05-029-06

装备类产品外协件协同制造过程及资源匹配模式

郭 钢¹, 沈 磊¹, 杨联星¹, 徐建萍²

(1. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044; 2. 贵州大学 管理学院, 贵阳 550025)

摘 要:针对装备类产品在零件外协加工过程中计划与外协资源匹配、外协过程进度监控等方面存在的问题,基于装备类产品项目制造(Project Manufacturing, PJM)管理模式,提出了外协件协同制造模式、协同制造资源能力模型、基于时段和资源约束条件下外协计划与契约可用资源能力匹配矩阵、外协计划与资源冲突消解模型,有效提高了装备类产品项目制造中外协计划编制、资源匹配与执行的可行性,保证外协计划的按期完工。

关键词:外协;能力模型;资源匹配;冲突消解

中图分类号:TH181

文献标志码:A

Resource matching mode of collaborative manufacturing process for outsourcing planning of equipment products

GUO Gang¹, SHEN Lei¹, YANG Lian-xing¹, XU Jian-ping²

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;
2. School of Management, Guizhou University, Guiyang 550025, P. R. China)

Abstract: To solve the problems of outsourcing planning matching with outsourcing resource and outsourcing process monitoring, outsourcing parts of collaborative manufacture mode based on project manufacturing management mode is put forward. The mode involved collaborative manufacturing resource capacity model, outsourcing plans and promises resources matching matrices based on constraints of time and resource, outsourcing planning and resource conflict resolution model can improve the feasibility of the outsourcing planning, resource matching and execution effectively and guarantee the outsourcing plans completed on time.

Key words: outsourcing; capacity model; resource matching; conflict resolution

在装备类产品中,除自制件外,还有 30%~40% 的外购、外协件,数量有几百上千个。自制件的生产计划管理和外购件的采购管理,在现行的企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)技术中,已有成熟的解决方案。而外协件的委外加工计划,则是根据主机厂的经验选择外协供应商,按外协生产提前期编制外协计划,发放给外协供应商去执

行^[1]。由于主机厂在编制外协计划时,对外协供应商制造资源和能力的具体情况并不清楚,对外协加工过程也无法监控;而供应商为了能承接主机厂的外协订单,也时常夸大自己的制造资源和能力供给,导致许多外协计划经常延期,影响主机厂最终产成品计划的完成,这一问题已成为影响装备制造行业中主机厂与供应商协同制造发展的瓶颈。

收稿日期:2011-12-25

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2012BAF32F04),国家 863/CIMS 主题资助项目(2007AA04Z1B1)

作者简介:郭钢(1960-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事产品设计/生产一体化管理、协同制造和制造服务管理研究,(E-mail)cqguogang@163.com。

针对这一问题,国内外的学者进行了相关研究,取得了许多有价值的成果。文献[2-5]针对跨企业协同制造,提出了基于网格的协同制造平台和平台的集群模式以及分布式的协同制造框架;文献[6]针对制造网格应用上的问题,提出了基于点对点环境下的分布式协同制造框架;文献[7-8]针对中小型制造企业如何在竞争中取得优势的问题,提出了高分形式网络合作模型和分布式虚拟内存系统;文献[9-12]针对协同制造的资源优化配置问题,提出了制造资源优化配置模型并对模型的关键技术进行了研究;文献[13-15]为了实现网络制造环境下制造资源的共享与优化配置,提出了面向复杂零件的协同制造链概念并对协同制造链的调度进行了研究。综上所述,现行的 ERP/MRP 计划模式中,由于不能准确掌握供应商的制造资源和能力供给,也不能监控供应商的外协加工过程,只好把外协计划当成一个订单来处理,却无法保证外协计划的按时完成。笔者针对装备制造业中大型复杂产品外协计划编制与执行难问题,建立了装备类产品外协计划模型、外协制造资源模型、外协计划与资源匹配、冲突消解方法,在此基础上构建了一个基于互联网的协同制造平台,通过实例应用,解决了这一问题。

1 装备类产品项目制造与外协制造模式

装备类产品往往产品结构复杂,按客户订单边设计边生产,周期长。装备类产品的制造模式按三段式计划展开,分别为技术准备计划、生产准备计划和生产计划,在技术准备计划时间内完成客户订单产品的设计;在生产准备计划时间内,完成毛坯与原辅材料制备;在生产计划时间内,完成自制件、外购件的加工和外购件的采购,再完成产成品的装配。其生产计划管理特征如下:

1) 装备类产品按项目制造模式,按客户订单约定的交货期倒排技术准备计划、生产准备计划和生产计划;技术准备计划主要完成产品设计、工艺/工装设计,输出产品及零部件物料清单给生产准备计划和生产计划,包括产品最终装配工艺物料清单和自制件、外购件、外协件物料清单。

2) 生产计划编制按产成品交货期要求,编制产品最终装配生产计划,按装配工艺流程和工序编制各进装点(装配工序点)物料需求计划,在各进装点物料需求计划中,包括自制件、外购件、外协件和工艺辅料等,并按时段(一般以月为单位)汇总各进装点需要的物料清单,分别按自制件生产提前期、外购

件采购提前期、外协件生产提前期下达物料需求计划,保证各进装点在开工前所需物料能达到,拉动生产准备计划的编制与执行(包括毛坯制备、原辅材料采购、外购、外协计划)。

3) 按时段汇总的自制件种类和数量,采用 MRP 模式编制物料需求计划(原辅材料、毛坯和工装)、粗生产计划、能力需求与平衡、细生产计划,从而构成了装备类产品的两级生产计划模式。如图 1 所示。

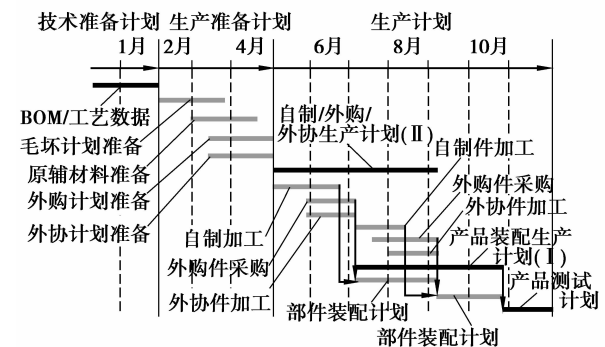


图 1 装备类产品项目制造中两级生产计划模型

4) 装备类产品外协生产过程比较复杂,有零件工序外协、带料和不带料的零件外协。在外协加工过程中,供应商的设备、场地、工艺水平、加工人员技术水平、设备占用状态、工装保证等制造资源状态及供给能力,对外协计划的编制、执行与按期完工至关重要。因此,主机厂在编制外协计划时,需要实时掌握供应商的协同制造资源状态和供给能力,才能保证外协计划的按期完工。如图 2 所示。

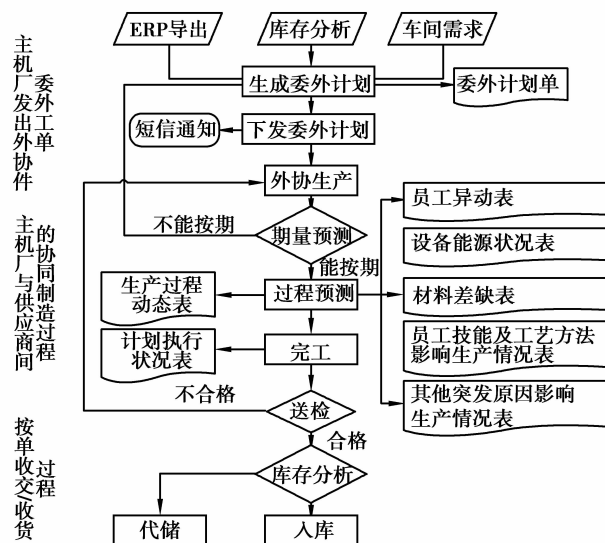


图 2 主机厂与供应商间的外协件协同制造过程模型

2 协同制造资源能力模型

外协件协同制造过程对加工资源的需求体现在需同时满足所需工时和资源数量,如5个不同类型零件外协加工给同一个供应商。为区别外协件协同制造资源与一般ERP系统中制造资源的不同,笔者采用资源组的工时能力和负荷两大指标来描述供应商外协资源能力。

供应商协同制造资源颗粒包括:加工设备、生产线、工装、场地、工人等,同一时间内可组合在一起的多个资源颗粒称为资源组。例如,一个供应商有多条功能相似的生产线。主机厂在给供应商匹配外协订单任务时,可指供应商的某个资源组。

在资源组定义基础上,协同制造模式下供应商外协资源能力可以描述为一个三元组:

$$\left. \begin{aligned} \text{ResAbiav} &= (\text{AbiavInfo}, \text{Abiav}, L), \\ \text{AbiavInfo} &= (\text{ResID}, \text{ResName}, \text{ResTotal}, \text{ResState}), \\ \text{Abiav} &= (\text{ResID}, \text{TeamID}, \text{Date}, \\ &\quad \text{AvailableNum}, \text{AbiavValue}), \\ L &= (\text{ResID}, \text{TeamID}, \text{Date}, \\ &\quad \text{TradNum}, \text{TaskID}, \text{AcquireNum}, \\ &\quad \text{ResL}, \text{TradState}). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中,AbiavInfo描述资源的基本信息:包括资源组数量ResTotal,资源组属性ResState,资源组被占用、计划被占用或空闲等状态。供应商外协资源能力包括两个部分:可用工时能力(Abiav)和负荷(L),工时能力是在协同制造计划展望期内供应商可提供的加工工时AbiavValue,负荷L是外协加工任务TaskID对资源组的占用数量(TradNum)、工时负荷(ResL),是以工时为基准,外协加工任务TaskID对资源组占用的数量(AcquireNum)和占用状态(TradState)。

协同制造环境下零件外协加工任务及资源需求定义为一个三元组:

$$\left. \begin{aligned} \text{PartTask} &= (\text{TInfo}, \text{Dep}, \text{Res}), \\ \text{TInfo} &= \{\text{task}_i, |i = 0, 1, \dots, n\}, \\ \text{task}_i &= (\text{ProjectID}_w, \text{TaskID}_i, \\ &\quad \text{TaskName}_i, \text{Num}_i, \text{Dur}_i, \\ &\quad \text{TS}_i, \text{TF}_i, \text{Buf}_i), \\ \text{Dep} &= \{\text{DepTask}_i | i = 1, 2, \dots, n\}, \\ \text{DepTask}_i &= (\text{ProjectID}_w, \text{TaskID}_i, \\ &\quad \text{PredTask}_i, \text{FollowTask}_i), \\ \text{Res} &= \{\text{TaskRes}_i | i = 0, 1, \dots, n\}, \\ \text{TaskRes}_i &= (\text{ProjectID}_w, \text{TaskID}_i, \\ &\quad \text{TeamID}_i, \text{ResID}_i, \text{ReqNum}_i). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中,Num_{*i*}、Dur_{*i*}、TS_{*i*}、TF_{*i*}和Buf_{*i*}分别描述工序任务task_{*i*}的加工数量、工期、开工时间、完工时间和任务具有的时间缓冲。Dep描述了任务间的紧前、紧后工序。任务task_{*i*}的资源需求TaskRes_{*i*}可以对应一个资源组TeamID_{*i*},或是直接与资源集合ResID_{*i*}关联,所需资源数量为ReqNum_{*i*},资源占用状态根据任务的开工时间和工期确定。

3 外协计划与供应商外协资源匹配方法

外协生产过程主要可分为两类:零件工序外协和带料/不带料的零件外协。对于零件加工整体外协的情况类似于零件外购,主机厂需要控制好零件加工完成的时间,同时参与零件加工过程的质量监控。零件工序外协由于受到紧前工序和紧后工序计划时间的约束,对外协加工企业的生产能力需要掌握详细的数据,在满足前后工序计划时间约束的基础上,根据外协加工企业提供的生产能力配置情况,完成零件整个加工过程制造资源能力匹配。

3.1 外协制造资源匹配问题分析

主机厂在把加工任务委托为协作企业之前,需要确认协作企业是否能在规定的时间内完成任务,以便调整零件加工过程中其他工序的分配情况。外协工序由于不占用本车间的机器工作时间,通过约束它是在哪个工序后开始,哪个工序前结束,确定其计划外协时间,并与协作企业制造资源进行能力匹配。

假设进行外协制造资源匹配的外协计划展望期为 $H=[h_1, h_2]$,其中 h_1 超过当前日期。集合 J^c 表示协同制造计划展望期中的外协任务集合,有 $J^c = \{\text{Ptask}_1, \text{Ptask}_2, \dots, \text{Ptask}_c\}$,集合中任务根据TS_{*j*}的递增顺序排队,外协计划通过多任务时标网络图描述,如图3(a)所示。包括任务开始时间TS_{*j*}、完成时间TF_{*j*}和工期Dur_{*j*}。

外协工序的能力需求经过协作企业确认后表示为

$$\left. \begin{aligned} \text{ResMatching} &= \{\text{Resouce}_j | j = 1, 2, \dots, c\}, \\ \text{Resource}_j &= (\text{ProjectID}_w, \text{TaskID}_j, \text{TeamID}_j, \\ &\quad \text{Date}_{j_l}, \text{Num}_{j_l}, T_j^s, T_j, \text{Leadtime}_j), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中:TeamID_{*j*}表示协作企业为给任务分配的资源组代号;T_{*j*}^s和T_{*j*}分别表示协作企业可承诺的任务开始时间和完工时间;Leadtime_{*j*}为外协任务占用资源组的时间跨度。外协资源在时段(T_{*j*}^s, T_{*j*})期间在不同时段Date_{*j*}^{*l*}(*l*=1, 2, ..., *r*)契约可用的资源数量为Num_{*j*}^{*l*}。

图 3(b)中采用二维能力模型表示外协资源的资源能力,横坐标在展望期上对应资源工时,纵坐标表示资源组数量,如果外协资源或资源组 Resource_j 在时刻 t 契约可用的资源数量 $Num_{jt} \geq 1$,此时该资源具有单位工时能力值为 $AbiavValue_{jt}$ (1 h/1 d/1 周); 否则, $AbiavValue_{jt} = 0$,即资源能力已经被占用形成负荷。资源能力契约可用量动态曲线反映外协任务 $Ptask_j$ 的资源需求 Resource_j 在计划时段契约可用的资源能力,根据 T_j^s 和 T_j 确定资源配置时段 $Date_{jt}$ 以及资源配置数量 Num_{jt} ,若 $T_j > TF_j$,表示协作企业契约的工序完工时间超过了主机厂计划完工时间,即协作企业的生产能力不能满足主机厂的需求,双方需要进行协商解决资源能力冲突。

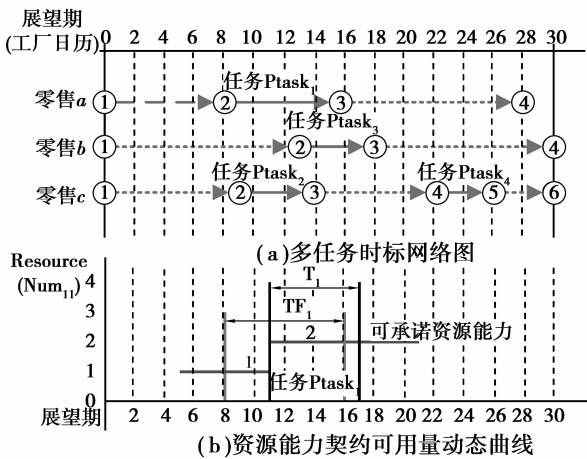


图 3 多任务网络图及资源契约可用量动态曲线

3.2 外协计划与资源匹配算法

协同制造模式下外协计划采用时标网络图表示,外协计划与供应商外协资源的匹配,需统一表示出多个外协任务的资源需求以及供应商契约可用的资源能力与交付时间。

步骤 1:绘制多任务时标网络图,划分资源能力需求时段。

集合 $J^c = \{Ptask_1, Ptask_2, \dots, Ptask_m\}$ 中的工序任务来自外协加工零件,工序任务之间的时间衔接可以不连续,根据各任务的开工时间 TS_j 和完工时间 TF_j 在展望期上形成 m 个对应的外协加工时段 $t_y = (a, b)$,其中 $y = 1, 2, \dots, m; a, b \in [h_1, h_2]$ 。

步骤 2:按外协加工时段汇总所需外协资源的契约可用能力 $ResMatching|_t$ 。

外协资源契约可用能力是时间的函数,由此得出的多外协任务的资源需用量动态曲线,如图 3 所示,外协供应商对资源 $Resource_j (R_j)$ 在外协计划展望期上基于计划时段形成契约可用能力,横坐标是

基于工作日历表示的资源工时能力,纵坐标表示工序任务在对应时段获得的契约可用的资源数量。

步骤 3:外协资源计划需用量与资源供给能力的匹配分析,构建基于时段的资源契约可用能力与外协计划需求的匹配矩阵,反映外协资源匹配结果。

外协资源契约可用能力与外协资源计划需用量匹配分析结果,反映出外协加工计划需求时段内外协资源能力是否满足外协完工时间要求,可采用一个基于时段的资源契约可用能力匹配矩阵 $(a_{yj})_{m \times c}$ 来表示,见表 1。其资源契约可用能力匹配系数为

$$a_{yj} = \frac{T_j}{TF_j} \quad (4)$$

若 $a_{yj} > 1$,资源 $Resource_j$ 在时段 $t_y = (a, b)$ 的契约可用能力不能满足零件工序外协交付时间。

若 $a_{yj} \leq 1$,资源 $Resource_j$ 在时段 $t_y = (a, b)$ 的契约可用能力满足零件工序外协交付时间。

另外,如果在时段 $t_y = (a, b)$ 内对资源 $Resource_j$ 没有使用需求,即有 $TF_j = 0$,则令 $a_{yj} = +\infty$ 。

表 1 基于时间分段的外协资源匹配关系表

| t_y | R_j | | | | | |
|-------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|
| | R_1 | R_2 | ... | R_j | ... | R_c |
| t_1 | a_{11} | a_{12} | ... | a_{1j} | ... | a_{1c} |
| t_2 | a_{21} | a_{22} | ... | a_{2j} | ... | a_{2c} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| t_y | a_{y1} | a_{y2} | ⋮ | a_{yj} | ⋮ | a_{yc} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| t_m | a_{m1} | a_{m2} | ... | a_{mj} | ... | a_{mc} |

步骤 4:有限资源与计划冲突的消解。

对于契约可用能力不能满足零件工序外协交付时间的外协制造资源,需要主机厂与协作企业共同协商解决资源冲突,实现资源外协资源冲突的消解。

4 外协计划与资源冲突的消解

在外协加工过程中,经常出现外协订单额外增加,供应商的外协资源发生短缺或供应商承接的外协订单太多资源不够等外协计划与资源的冲突。外协资源冲突消解的方法可从两个方面考虑,一方面是通过与协作企业协商,使得协作企业做出让步,增加计划时段资源契约可用的工时容量或资源总数,从而在计划交付时间之前完成零件的外协工序加工。另一方面从主机厂的角度考虑,可以采取以下措施:1)主机厂调整零件加工计划,以适应协作企业制造资源契约可用能力的分布特征;2)零件工序计划时间不变,主机厂重新选择外协供应商。

工序外协完成时间变更导致的主机厂零件加工计划的调整,存在外协工序提前完成和延期完成两种情况,计划调整的措施是基于有限能力计划的原则,将外协资源设置为瓶颈资源,在采纳供应商契约交付时间基础上,利用紧前、紧后工序具有的时间缓冲进行局部调整,以保证外协工序的资源需求。

步骤 1:准备多外协加工任务时标网络图和资源契约可用能力匹配矩阵。

步骤 2:从左向右依次考察各时段外协加工资源契约可用能力匹配矩阵的各个外协资源,若其对应时段 (a, b) 内资源契约可用能力匹配系数 $a_{ij} \leq 1$,即外协资源能力满足外协完工时间约束。否则,该外协资源为瓶颈资源。

步骤 3:主机厂与协作企业协商确定外协工序的契约交付时间。协作企业的契约交付时间 T_j 可以早于原计划工序完工时间 TF_j 或是晚于 TF_j 。主机厂需要根据外协工序的紧前工序与紧后工序所具有的缓冲时间出发,争取较有利的契约交付时间。

步骤 4:根据外协工序契约交付时间,利用紧前或紧后工序的缓冲时间调整其紧前或紧后工序的计划时间,并修正资源契约可用能力匹配矩阵。

主机厂零件加工计划调整方法如图 4 所示,若工序 2 在协作企业的契约交付时间 T_j 早于原计划工序完工时间 TF_j ,则其紧前工序 1 利用缓冲时间抵消工序 2 提前的时间,并根据工序 2 的契约开始时间 TS_j 为参照点倒排工序 1 的计划时间;若工序 2 在协作企业的契约交付时间 T_j 晚于原计划工序完工时间 TF_j ,则其紧后工序 3 利用缓冲时间抵消工序 2 滞后的时间,并根据工序 2 的契约完成时间 T_j 为参照点顺排工序 3 的计划时间。

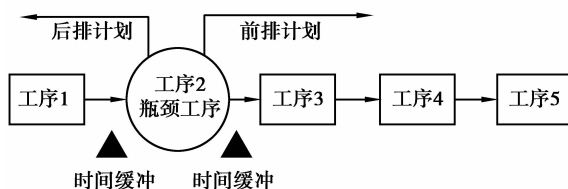


图 4 基于瓶颈资源有限能力的计划调整方法

5 实例分析

以图 3 所示的多任务时标网络图为例,有 3 个零件存在工序外协,3 项外协任务分别对应不同的协作企业,由此构成工序外协计划任务计划 $J^c = \{Ptask_1, Ptask_2, Ptask_3\}$,对应的时段分别是 $t_{11} = (8, 10)$, $t_{22} = (9, 14)$, $t_{33} = (13, 18)$ 。

根据图 3(b)外协任务 $Ptask_1$ 存在资源冲突,初始计划时间 (TS_1, TF_1) 为 $t_{11} = (8, 16)$,协作企业契约可用的工序计划时间 (T_1^s, T_1) 为 $(11, 17)$,导致工序 2 的契约完工时间滞后计划完工时间 1 个单位时间。经过双方协商后,协作企业的契约可用资源能力与工序计划时间不变,在不重新选择协作企业的前提下,主机厂需要对该零件 a 自行承担的加工工序计划时间进行调整,以适应外协资源的资源配置。零件 a 的加工工艺路线参照图 5 所示,以工序 2 为瓶颈工序,保持紧前工序 1 的计划时间不变,调整紧后工序 3 的计划时间。若工序 3 的缓冲时间 $Buf_1 \geq 1$,则可以从工序 3 的缓冲时间中划分出 1 个单位时间来冲销工序 2 滞后的时间,并以工序 2 的契约完工时间 T_1 为参照点顺排工序 3 计划时间。调整后的零件 a 的资源契约可用量动态曲线如图 5 所示。

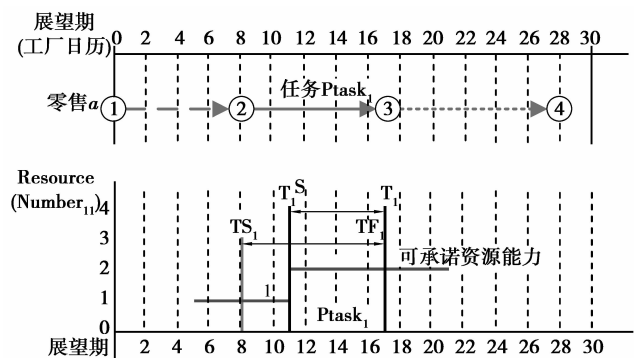


图 5 调整后的外协计划与契约可用量动态曲线

在保证外协资源有限能力的基础上,通过有效利用紧前、紧后工序的缓冲时间充分保证稀缺外协资源的契约可用能力。

6 结语

大型装备产品的零件加工具有单件小批生产的特征,同时需要从协同制造项目出发掌握外协加工计划与资源的匹配情况,使主机厂与协作企业的生产进度能够衔接一致,有效保证最终产品的按期交付。主机厂参照协作企业对外协工序提供的契约可用资源能力及交付时间对外协计划资源匹配程度进行分析评价,对不满足计划要求的外协加工任务以外协加工资源为瓶颈资源,利用紧前、紧后工序的缓冲时间进行零件加工计划的调整,消除资源冲突,实现外协零件加工过程的协同制造管理。

参考文献:

- [1] TENHIALA A. Solution for projected-based manufacturing[EB/OL]. <http://www.google.com.hk/url?sa=t&ret=j&q=Solution+for+projected-based+manufacturing>.
- [2] KULVATUNYOU B, WYSK R A, CHO H, et al. Integration framework of process planning based on resource independent operation summary to support collaborative manufacturing[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2004, 17(5): 377-393.
- [3] 王国庆, 王刚, 吕民, 等. 基于网格的跨企业协同制造平台研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2007, 39(11): 1723-1726.
WANG GUO-QING, WANG GANG, LV MIN, et al. Research on grid-based platform of cross-enterprise collaborative manufacturing[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2007, 39(11): 1723-1726.
- [4] 宋豫川, 陈学海, 雷琦, 等. 一种网络化制造平台集群模式的构建[J]. *重庆大学学报*, 2009, 32(5): 499-505.
SONG YU-CHUAN, CHEN XUE-HAI, LEI QI, et al. A type of cluster mode of networked manufacturing platforms[J]. *Journal of Chongqing University*, 2009, 32(5): 499-505.
- [5] MAHESH M, ONG S K, NEE A Y C, et al. Towards a generic distributed and collaborative digital manufacturing[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2007, 23(3): 267-275.
- [6] FAN L Q, KUMAR A S, JAGDISH B N, et al. Development of a distributed collaborative design framework within peer-to-peer environment[J]. *Computer-Aided Design*, 2008, 40(9): 891-904.
- [7] CAMARINHA-MATOS L M, AFSARMANESH H, GALEANO N, et al. Collaborative networked organizations-concepts and practice in manufacturing enterprises[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2009, 57(1): 46-60.
- [8] LI J, WEN Z G, ORAIFIGE I A. Distributed VR for collaborative design and manufacturing [C] // *Proceedings of the 11th International Conference on Information Visualization*, July 4-6, 2007, Zurich, Switzerland. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 792-797.
- [9] 尹胜, 尹超, 刘飞, 等. 网络化协同产品开发资源集成服务机制研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(11): 2233-2240.
- YIN SHENG, YIN CHAO, LIU FEI, et al. Integrated service mechanism of networked collaborative product development resources [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2009, 15(11): 2233-2240.
- [10] 姚倡锋, 张定华, 卜昆, 等. 异地协同制造资源优化配置过程模型及实现[J]. *计算机集成制造系统*, 2008, 14(3): 455-461.
YAO CHANG-FENG, ZHANG DING-HUA, BU KUN, et al. Collaborative manufacturing resources optimization deployment process model and its realization [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2008, 14(3): 455-461.
- [11] 董宝力, 祈国宁, 魏修亭, 等. 面向产品开发的网络化制造资源服务研究[J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2007, 41(5): 709-714.
DONG BAO-LI, QI GUO-NING, WEI XIU-TING, et al. Web manufacturing resource services for networked cooperative product development [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2007, 41(5): 709-714.
- [12] KIM H, KIM E Y. A collaboration framework for resource sharing in wireless mesh network[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2009, 20(3): 289-302.
- [13] 吉锋, 何卫平, 王东成, 等. 网络制造环境下面向复杂零件的协同制造链研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2006, 12(1): 73-77.
JI FENG, HE WEI-PING, WANG DONG-CHENG, et al. Research on collaborative manufacturing chain for complex parts in networked manufacturing environment[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2006, 12(1): 73-77.
- [14] SAMARANAYAKE P, TONCICH D. Integration of production planning, project management and logistics systems for supply chain management[J]. *International Journal of Production Research*, 2007, 45(22): 5417-5447.
- [15] 熊锋. 供应链协同调度研究[D]. 武汉: 武汉理工大学管理学院, 2009.

(编辑 张 革)