

基于华铸 ERP 的航空钛合金铸造大纲式工艺管理

颜秋余¹, 张爱斌², 计效园¹, 姜安龙², 周建新¹, 殷亚军¹, 沈旭¹

(1. 华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074;

2. 北京百慕航材高科技股份有限公司, 北京 100094)

摘要: 针对航空钛合金铸件产品质量要求高、生产工序长、工艺复杂、工序操作严谨、工艺参数多、版本控制严格、保密要求高等特点, 提出了一种面向航空钛合金铸造的大纲式工艺管理模型。同时, 基于华铸ERP系统, 设计了相应的大纲式工艺管理模块, 并应用于某一航空钛合金铸造企业。结果表明, 提出的大纲式工艺管理模型能有效满足航空钛合金铸件工艺管理需求; 能有效指导车间生产操作、降低管理难度、提升工艺水平。

关键词: 航空; 钛合金铸造; 工艺管理; 华铸ERP; 大纲式工艺

随着航空制造业的发展及高性能飞机需求的日益增加, 航空钛合金铸件将向大型、整体、复杂、薄壁、异形变化^[1], 相应地其制造工艺也更加复杂。应用数字化技术, 及时掌控工序生产情况, 加强铸造过程中的工艺管理, 成为提升铸件质量水平的重要条件。

针对铸件生产过程中的工艺监控和管理问题, 国内外学者们从各方面进行了较多的研究和应用。张福群等^[2]提出了一种基于WSNs(无线传感器网络)的综合管理框架, 实现了铸机设备的在线监控和工艺生产的动态管理。黄小川等^[3]提出了基于数字化技术的包含造型、合箱浇注、清理打磨等主要工艺参数的铸造工艺卡参考模型, 涵盖工装模具、作业路线、工艺BOM、工艺成本、质检要求、生产质检反馈等方面信息, 应用表明, 该工艺卡参考模型能有效指导车间生产, 良好控制铸件质量, 快速准确地形成工艺BOM, 较好地控制工艺成本。李峥嵘^[4]基于高级数据库技术设计了计算机铸造工艺管理系统, 实现了对大量铸造工艺的管理及铸造过程中的设计结果自动存储和更新, 并通过对铸造过程中的大量数据比较, 预测出铸造过程中可能出现的缺陷。德国的Michael Rix等^[5]开发了用于铸造生产的信息处理框架, 可实现不同部门之间的信息管理可扩展性和互操作性, 加强铸造不同工艺过程之间的联系与工艺可视化监管。周黔等^[6]联合华铸团队针对精密铸造过程的混炉、混组、批次管理等问题, 提出了一套生产流程主子卡方案, 实现了生产进度的实时追溯及生产管理优化。林垦^[7]提出一套铸件质量与工艺、生产三角协同管理的方案, 将质量体系与工艺、生产体系有效联系起来, 提升了工艺水平, 增强了铸件质量的稳定性。王智平等^[8]通过分析计算铸造生产中的各类参数, 开发出铸造工艺数据库管理系统, 实现了工艺数据信息的有效维护和利用。Zhang zhishan等^[9]利用Delphi技术设计了铸造过程参数数据库, 通过该数据库可以对铸件生产过程中的加工参数进行管理和查询。Jung-Sook Kim等^[10]基于产品已有的案例推理开发了可以依据产品结果推导并显示铸件工艺路径的智能金属铸造工艺管理系统, 应用结果显示, 相对于人工管理方案, 该系统有更高的生产率。Xiao-yuan Ji等^[11]针对精密铸造企业对数字化管理的要求, 提出基于主子卡模式的生产过程跟踪卡、基于条形码的车间现场生产流程处理和设备数据整合三项技术, 给企业迈向数字化和智能化管理提供了参考。

上述应用于铸造生产的方法关联了铸件加工过程前后的工艺信息, 减轻了人工

作者简介:

颜秋余(1994-), 女, 硕士生, 研究方向为铸造工艺知识库与铸件质量管理。E-mail: 1512438927@qq.com

通讯作者:

周建新, 男, 教授。E-mail: zhoujianxin@hust.edu.cn

中图分类号: TG293

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)

03-0292-05

基金项目:

国家自然科学基金(51905188; 51775205)。

收稿日期:

2019-07-23 收到初稿,

2019-11-01 收到修订稿。

现场的管理难度。然而，对于航空钛合金类型铸件来说，由于其用途的特殊性及重要性，产品的质量要求很高，生产工序也较长，工艺复杂，加工时操作严谨，参数多，版本控制严格，并且涉及到保密问题，当前鲜有针对航空钛合金精密铸件工艺管理的详细研究。

为此，本研究提出了一种面向航空钛合金铸件的大纲式工艺管理模型，该模型包括工艺大纲、路线模板、工序工艺、版本控制及审批和工艺完成库等部分；工序工艺由工艺状态、参考规程、模具工装、设备准备、技术参数、操作步骤、检验要求、变更记录等组成。并基于华铸ERP系统，设计了相应的大纲式工艺管理系统模块，将其应用于某一航空钛合金铸造企业。

1 大纲式工艺管理模型

基于钛合金精密铸造工艺相关内容，大纲式工艺管理模型以铸件工艺生产大纲为主线，依据该主线对铸件工艺生产进行纲领式指导，再借助已建立的相关资料信息库对大纲中所指定的工序进行详细的编辑，如操作说明、加工参数以及模具规范等，并形成记录铸件生产状况的路线模板，最终获取铸件工艺完成库，整个模型得以全面地指导、监控和管理铸件生产。

1.1 模型基础

大纲式工艺管理模型如图1所示，主要涉及大纲、工序、路线和资料四个方面的内容和信息。

1.1.1 大纲信息

大纲信息主要包含针对不同铸件生产的由相应工艺师编制的工艺大纲，对铸件生产加工起指导性作用。当完善铸件质量计划信息并审批通过后，开始制定大纲。大纲包含客户情况、铸件信息（如生产图纸、数量）、工艺内容以及编制审批信息等。每添加

一个工艺，大纲都会生成一个独立的大纲编号，该编号是指导铸件生产的重要标识。工艺大纲的主要内容之一为产品的应用范围，主要涉及铸件图纸的图号及相应版本、铸件是否为重要件、加工关键过程的标记以及产品所属大类等。紧接着就是对铸件生产工艺的工序编制，航空钛合金铸件采用精铸方式，生产工序多，过程控制严格，铸件质量要求高，工艺师在给定的铸件种类基础上，结合订单信息、企业已有的生产标准或相关生产经验对铸件生产工艺进行编制，添加铸件所需的工序，确定对应的工艺单及其版本，最终由相应人员审批通过。编制完成后，由于客户需求改进或者生产方式的升级，同一铸件工艺大纲可能有不同的版本，结合生产状况按指定的版本进行生产。另外，若大纲信息存在问题影响工艺加工，可申请大纲作废并备注作废原因，审批通过后即停用，作废的大纲则另外存储，不再流通和指导生产。

1.1.2 工序信息

该部分主要涉及工序方面的信息，包括工艺参数初始化、单个工序的详细说明、紧急工艺工序设置、技术通知单下达、工序的分类集合管理和工艺完成库等。工艺参数的初始化主要对各个工序的工艺参数给定参考，提供一个参数范围，并推荐一个参考值，此外，对于需要加工设备的工序进行设备的指定。在初始化的基础上，进行工艺的详细说明即直接指导各工序加工的工艺文件，该文件的编制为工序部分重要内容，包含了生产所需的所有关键信息，详细记录了铸件各生产工序的技术资料。另外，对于大件、急件生产或者需要缓和铸件工序积压问题，还设置了紧急工序工艺，将需要紧急生产加工的工序设置优先生产，方便及时应对生产过程中的进度管理问题。若个别工序存在问题，还可特别编制临时的技术通知单，说明问题原因、内容等并标注有效期，第一时间下发到生产线上

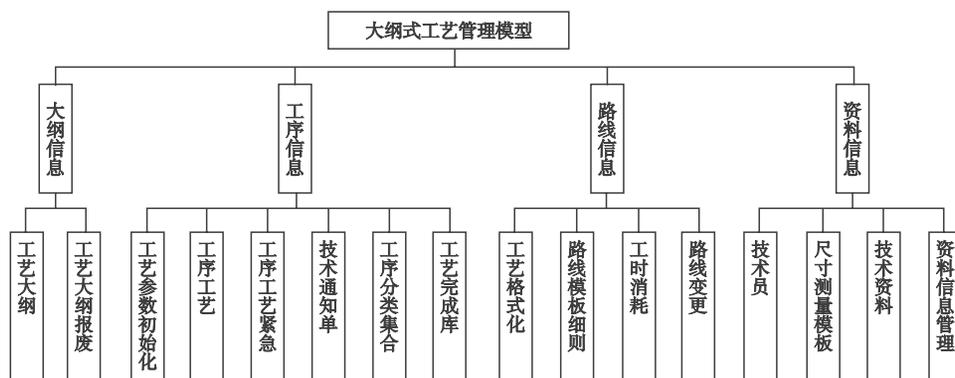


图1 大纲式工艺管理模型

Fig. 1 Outline process management model

指导生产。对于进行完成后的铸件工序，采用按工序类别进行分类，方便查找及进行同类铸件的工艺工序对比和优化。铸件的整套工序完成后，对同一铸件的所有工序进行汇总、存档，方便后续查看及问题追溯。

1.1.3 路线信息

路线信息主要涉及铸件生产的路线控制以及过程报工，包括合同信息、路线模板细则制定、工时消耗记录以及路线变更等内容，用于指导具体现场。合同信息在该模型内称为工艺格式化，按统一格式规划工艺方便查看和管理，主要存储合同号、客户信息、订单要求、路线长、订货信息以及交货期限等，从整体上对每个订单的路线做安排。路线模板细则也对应一个细则号，主要记录作业描述、工序前后期等待时间、计划耗时以及是否为特殊工序、外协工序等，对生产过程进行趋势掌控。工时消耗记录工序的实际完成时间，通过将时间与计划耗时作横向对比，可及时掌握当前工艺完成进度情况，且工时消耗可直接与工序执行技术员绩效相关。若作业路线需要临时或者小范围变更，则视情况制定路线子卡，说明需要进行循环或者更改的工序，可用于铸件的返修、挽救以及补焊等。

1.1.4 资料信息

资料信息主要是指生产相关的资料，包括技术员信息、铸件尺寸测量模板、技术资料和管理。技术员信息即各工序的编制人员集合，在进行大纲编制时可直接从该部分挑选对应工序的技术员。而铸件尺寸测量模板主要针对铸件的尺寸测量，用于指导加工及提供检验标准。技术资料包含工艺参考规程、技术规范、质量规范及标准等，具体内容涉及模具的委托加工及使用参考、铸件包装及存储参考等。上述信息和资料的各项属性专门保存和管理，生成资料信息管理内容，除技术员外的都对应一个资料编号（技术员对应职工编号），拥有来源、登记人、版本号、文件附件及实施时间等详细信息，为铸件生产各方面形成参考或规范储备。

1.2 模型结构与功能

该模型的数据结构如图2所示。签署订单之后，技术部门开始制定质量计划表，然后安排工艺师编写铸件工艺大纲细则，再根据交货日期制定铸件路线模板细则，控制加工工时，紧接着技术员根据要求在参考资料的辅助作用下完善指导单工序的工序技术卡，加工过程中若线上产生问题则临时更改路线模板，同时下达技术通知单，加工完成之后各工序汇总，生成铸件的工艺完成库，其工艺生产流程如图3所示。

2 应用与效果分析

2.1 企业应用

某公司拥有国内规模较大的钛合金精密铸造生产线，为国内航空航天和国际宇航行业提供了大量钛合金铸件。基于华铸ERP系统，华铸团队研发了专门适应大纲式工艺管理模型的工艺设计模块，子模块清单如图4所示，应用于该企业的钛合金精铸日常生产，砂铸和石墨型铸型制备统一纳入型壳制备工艺模块。在完成铸件质量计划后开始进行大纲编写时，生成一技术卡，其名称以铸件名称命名，指定相应负责该铸件的技术开发组、人员以及审批信息等。而铸件具体的工序计划则记录在工艺大纲中，如图5所示，包含技术员、对应工艺单号、编制人以及严格的审批信息等，多重审批保证大纲的可靠性和安全性。在具体进行工序完善时，设计了所需的工序技术卡，该技术卡包含了生产所需的所有关键信息，具体有工艺状态、参考

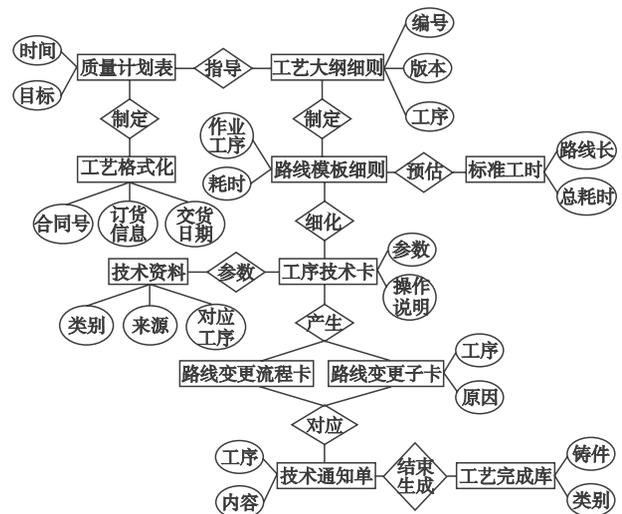


图2 大纲式工艺模型数据结构图

Fig. 2 Data structure diagram of outline process model

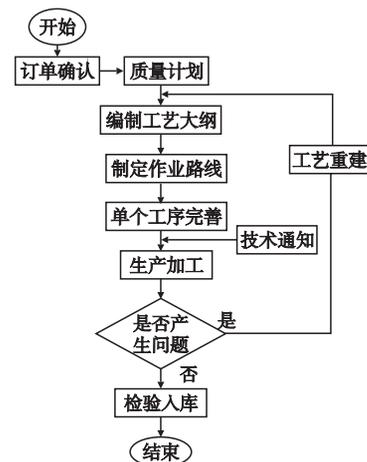


图3 工艺生产流程

Fig. 3 Production flow of process



图4 大纲式工艺管理模型应用

Fig. 4 Application of outline process management model

规程、模具工装、设备准备、技术参数、操作步骤、检验要求、变更记录和工艺预览等8个方面内容，详细记录了铸件各生产工序的技术资料。路线模板信息则记录在路线模板细则子模块内，结合细则路线变更和子卡路线模板整体掌控铸件加工情况。加工完成后工序汇总到工序工艺完成库内，按版本不同分为有效、新和旧三库，方便管理和查看，也可按技术人员汇总进行及时追责，以及按工序种类存储，有利于进行同类铸件同种工序的工艺对比和改进升级。

2.2 应用效果分析

该公司应用华铸ERP系统大纲式工艺管理模型前后的效果对比如表1所示。从表中可以看出，该公司在应用大纲式工艺模型之后，在计划效率、工艺质量、过程控制、审批保密以及管理难度等方面都有显著改善。

工序Operation	技术员Technician	通用规格号Specification No.	对应工艺单号Process No.	内部编号No.
蜡模尺检			8032301	
模组组焊			8032304	
脱蜡焙烧			8032306	
熔炼浇注				
清壳切割				
蜡模压制			8032302	
去除浇冒				
修整打磨				
X光检验				
深酸洗				
补焊				
热等静压				
荧光检验				
退火				
铸件刻号				
外观检验			8032309	
尺寸检验				
入库				
轻酸洗				
理化检测				
面层涂料			8032310	
背层涂料			8032311	

图5 铸件工艺大纲

Fig. 5 Outline of casting process

表1 应用前后效果对比分析

Table 1 Comparative analysis of effects before and after application

序号	对比项目	应用模型前	应用模型后
1	计划效率	大纲、路线、工序制定线下进行，各部分时间关联不紧凑，效率较低	在模块内按设计好的格式统一进行编制，操作性好且可及时查看完成情况，效率大幅提升
2	工艺质量	同一产品生产所需的技术资料分开存放，查看不及时，且工艺版本变化后各相应人员难以及时知晓，影响加工质量	拥有直接指导生产的工序技术卡，可在显示器上及时查看所有关键信息，且工艺版本改动后可及时得到通知，工艺质量得到提升
3	过程控制	生产线上应对突发问题呈报不及时，处理方案下达进度慢，影响整体进展	面对临时问题可直接在系统内更改路线，下达子卡，且可设置紧急工艺工序优先生产，保证工期
4	审批保密	各重审批人为实体流转，费时费力且流转过程中保密不够严格	通过赋予不同人员相应的权限查看和审批，信息直接在模型对应的模块内流转和推送，省时省力且保密性好
5	管理难度	工艺越复杂协调难度越大，各方面信息的存储和流通困难，相应管理人员负担重	工艺整体线上可控，工艺信息、资料信息及审批信息也可在系统内电子化存储和流转，显著降低管理难度

3 结束语

通过分析企业航空钛合金精密铸造生产现状,设计并实现了大纲式工艺管理模型,模型涵盖工艺大纲、路线模板、工序工艺、版本控制及审批和工艺完成库等部分。应用效果表明,该模型能有效提升工艺计划效率,改善工艺质量,并及时控制生产过程,保证审批的及时性和文件保密性,显著降低复杂航空钛合金铸件的工艺管理难度,满足其应用需求。

参考文献:

- [1] 张美娟,南海,鞠忠强,等.航空铸造钛合金及其成型技术发展[J].航空材料学报,2016,36(3):13-19.
- [2] 张福群,宋喜忠,刘金广.基于WSNs的铸造车间数据采集与智能管理系统[J].铸造技术,2015,36(3):785-787.
- [3] 黄小川,计效园,周建新,等.基于数字化技术的铸造工艺卡的研究[J].特种铸造及有色合金,2014,34(9):917-921.
- [4] 李峥嵘.基于高级数据库技术的计算机铸造工艺管理系统设计与应用实例研究[C]//2017冶金企业管理创新论坛论文集,2017.
- [5] RIX M, KUJAT B, MEISEN T, et al. An Agile information processing framework for high pressure die casting applications in modern manufacturing systems [C]// Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016. Springer International Publishing, 2016: 1084-1089.
- [6] 周黔,邓蔚林,计效园,等.钛合金精密铸造企业生产流程卡主子卡方案研究[J].特种铸造及有色合金,2015,35(11):1184-1187.
- [7] 林垦,计效园,周建新,等.铸造企业不合格品协同管控的方案研究[J].铸造,2016,65(1):35-39.
- [8] 王智平,杨娇,朱昌盛,等.铸造工艺数据库系统的研究及开发[J].铸造,2010,59(8):810-813.
- [9] ZHANG Z, ZHAO H. Establishment and analysis of casting process parameters database [C]// International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference. 2015.
- [10] KIM J S, KIM J H, JEONG J H, et al. Development of the metal casting process management system based on touch screen [J]. Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 2013, 23(3): 244-248.
- [11] JI X Y, YE H, ZHOU J X, et al. Digital management technology and its application to investment casting enterprises [J]. China Foundry, 2016, 13(5): 301-309.

Outline Process Management of Aviation Titanium Alloy Casting Based on InteCAST ERP

YAN Qiu-yu¹, ZHANG Ai-bin², JI Xiao-yuan¹, JIANG An-long², ZHOU Jian-xin¹, YIN Ya-jun¹, SHEN Xu¹

(1. State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Baimtec Material Co., Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract:

Targeted these features of aviation titanium alloy casting products in the high quality requirements, long production process, complicated process, rigorous process operation, many process parameters, strict version control and high confidentiality requirements, this paper proposes an outline process management model for aviation titanium alloy casting. At the same time, based on the InteCAST ERP system, the corresponding outline process management module was designed and applied to a certain aviation titanium alloy casting enterprise. The results shows that the proposed outline process management model can effectively meet the process management requirements of aviation titanium castings; it can effectively guide the production operation of the workshop, reduce the management difficulty and improve the process level.

Key words:

aviation; titanium alloy casting; process management; InteCAST ERP; outline process