

高温合金精密铸造工艺数据库管理系统

刘乃坚¹ 金磊^{2,3} 黄强飞⁴ 关洋^{2,3} 孙逊^{2,3} 税国彦^{2,3} 马岚波^{2,3} 郭新力^{2,3} 张玲^{2,3}

(1. 中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 沈阳 110043; 2. 中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司, 沈阳 110022; 3. 高端装备铸造技术全国重点实验室, 沈阳 110022; 4. 中国航发南方工业有限公司, 株洲 412002)

摘要 以高温合金精密铸造工艺为研究对象, 通过建立数据库管理系统, 将生产及科研过程中的产品信息、工艺参数等各类型数据经过整理、分类、关联后形成一个有序的体系结构, 然后结构化上述信息并存储入数据库, 以便于稳定、长期地保存下来。通过提供信息检索功能, 授权用户可在数据库中快速、准确地获取需要的信息, 用于工艺设计和研发参考。

关键词 数据库管理系统; 精密铸造; 高温合金

中图分类号 TG248; TP392; TG249.5; O242; TP311

文献标志码 A

DOI: 10.15980/j.tzzz.T20250030

Database Management System for Investment Casting Process of Superalloy

LIU Naijian¹, JIN Lei^{2,3}, HUANG Qiangfei⁴, GUAN Yang^{2,3}, SUN Xun^{2,3}, SHUI Guoyan^{2,3}, MA Lanbo^{2,3}, GUO Xinli^{2,3}, ZHANG Ling^{2,3}

(1. AECC Shenyang Limited Aeroengine Co., Ltd., Shenyang 110043; 2. China Academy of Machinery Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022; 3. State Key Laboratory of Advanced Casting Technologies, Shenyang 110022; 4. AECC South Industry Co., Ltd., Zhuzhou 412002)

Abstract: Taking the investment casting process of superalloy as object, a database management system was established to form an orderly architecture by organizing, classifying and associating various types of data including product information, process parameters generated from production and research processes. The information was then structured and stored in a database to be preserved stably and chronically. Information retrieval function authorizes users to quickly and accurately obtain required information from the database, providing references of process design and research development.

Key Words: Database Management System, Investment Casting, Superalloy

近年来,随着大数据、云计算、数字孪生等新技术的出现和应用,工业4.0、智能制造、云制造等新的制造模式不断涌现,为铸造等传统材料加工工艺带来新的理念、方法和技术的同时,也对各种制造工艺的应用和数据管理提出了新的要求^[1-3]。其中,大数据技术的成熟使得数据成为新的生产资源、资产和未来制造业的核心要素。

在现代制造行业生产全生命周期中,伴随着大量数据的产生,特别是在产业升级、环保、客户需求等因素推动下,铸造企业的自动化、信息化水平大幅提升。生产企业纷纷上线了自动化数据采集设备,用于记录铸造生产过程中设备、工艺、环境、质量等信息,产生了大量的一线真实生产数据^[4-6]。高温合金精密铸件制造

工序多、工艺复杂、生产周期长,影响铸件质量的因素多,在其制造过程中产生的各种工艺数据尤为繁多^[7-8]。这些数据不仅是企业生产状况的实际体现,也是企业进行分析、管理的基础,可为后续的生产和科研提供借鉴。然而,传统的工艺数据管理方式依赖于人工记录和经验判断,存在效率低、易出错等问题,工艺数据管理在便捷性、时效性等方面无法满足科研和生产的实际需要,影响企业的工作效率^[9-11]。随着企业和部门积累的数据越来越多,许多企业面临着“数据爆炸、知识匮乏”的困境^[12-13]。随着信息技术的发展,铸造工艺数据库管理系统的建设成为解决上述问题的有效手段^[14-16]。工业发达国家在铸造工艺数据库管理系统方面的研究和应用较早,技术相对成熟。这些铸造工艺

收稿日期: 2025-01-17; 修订日期: 2025-02-26

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFB3706800)

第一作者简介: 刘乃坚,男,1979年出生,高级工程师, E-mail: gy79060977@163.com

通信作者: 金磊,男,1983年出生,正高级工程师, E-mail: 13842017963@163.com

引用格式: 刘乃坚,金磊,黄强飞,等. 高温合金精密铸造工艺数据库管理系统[J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45(6): 890-894.

LIU N J, JIN L, HUANG Q F, et al. Database management system for investment casting process of superalloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2025, 45(6): 890-894.

数据库管理系统通常与CAD/CAE/CAM系统深度集成,支持从设计到制造的无缝衔接。如ProCAST、MAGMASOFT、CAST-Designer等软件集成了强大的材料数据库和工艺优化功能,广泛应用于航空航天、汽车、能源等领域,为铸造工艺的设计和 optimization 提供了强有力的支持。国内在铸造工艺数据库管理系统方面的研究和应用起步较晚,但得益于制造业数字化转型的推动,近年来发展迅速。研究者在材料性能数据库、工艺参数优化和缺陷预测等方面开展了大量研究,如华铸CAE软件集成了材料数据库和工艺优化功能,支持多种铸造工艺的仿真和缺陷预测。一些大型铸造企业也开始引入或开发铸造工艺数据库,用于支持生产管理和工艺优化。如丰田某整车厂引入了MES(制造执行系统)集成铸造工艺数据库,实现了生产过程的实时监控和管理,显著提高了生产效率和产品质量^[17];中车大同电力机车有限公司开发并应用了铸件质量信息管理系统,大幅提高了信息的共享追溯和统计分析的效率,提升了企业的管理水平^[9]。但国内的铸造工艺数据库仍面临着数据标准化、技术成熟度和应用范围等方面的挑战。未来,随着数字化转型的深入,铸造工艺数据库将在提高生产效率、降低成本和提升产品质量方面发挥更加重要的作用。

基于上述理念,本研究开发了高温合金精密铸造工艺数据库管理系统。该系统目的是通过收集高温合金精密铸造生产各工序的数据建立有序的数据集,实现铸造工艺、产品等信息的高效管理,推进企业现有技术、经验和数据的积累,旨在为提高铸造工艺制定的效率,满足不同用户对安全、可靠、快捷信息的需求。

1 系统设计

1.1 系统架构

本系统采用的分层架构见图1,具体包括:

- (1)用户界面层 提供用户登录,并根据用户对系统的操作权限为不同角色的用户提供数据浏览、检索、录入、修改等服务。
- (2)业务执行层 实现用户权限验证,并根据用户操作及其权限通过数据库连接组件访问相应的数据库,执行用户的指令。
- (3)数据存储层 将高温合金精密铸件产品相关信息存入产品信息库,精密铸造工艺相关的文档、图片等数据存入铸造工艺数据库,铸件生产过程中的各工序相关参数、照片等数据存入生产过程信息库,系统授权用户的信息存入用户信息库。

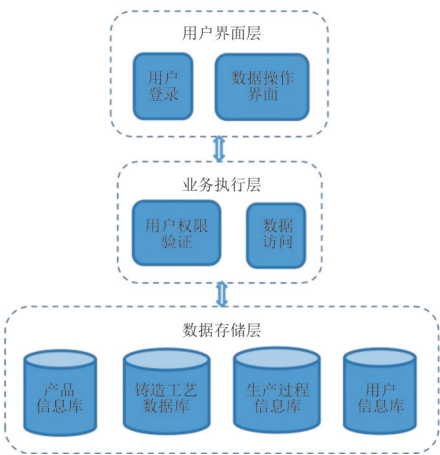


图1 系统总体架构
Fig.1 Overall architecture of system

1.2 功能模块设计

通过对从事高温合金精密铸造生产和研发的技术和管理人员进行调研,根据用户的实际需求,确定了系统功能模块,见图2。

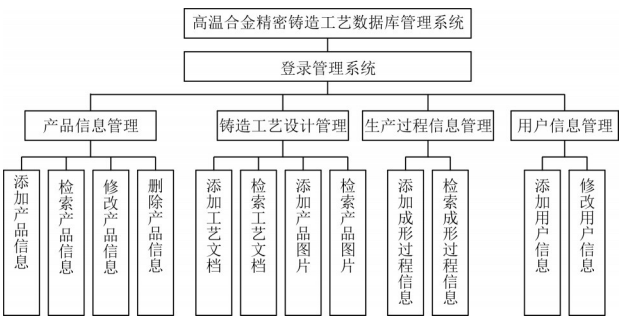


图2 高温合金精密铸造工艺数据库管理系统功能模块
Fig.2 Function modules of database management system for investment casting process of superalloy

1.3 数据库设计

将高温合金精密铸件在生产、研发过程中涉及到的数据进行科学合理的分类,建立了数据库关系模型,见图3。在此模型基础上,设计了4个数据库。

- (1)产品信息库 存储高温合金精密铸件产品的基本信息,包括录入时间、工艺人员、质检人员、编号、类别、铸件结构、合金材料、铸造工艺、产品名称、铸件质量、用户单位、工程应用背景、产品成本、报价和工时信息。
- (2)铸造工艺数据库 存储工艺文档和产品图片信息,其中,工艺文档指铸造工艺设计文件,包括铸件工艺规程、铸件技术条件、相关标准及管理文件等;产品图片包括产品设计图片、数值模拟结果和产品照片等。
- (3)生产过程信息库 存储铸件生产各工序的过程信息,包括模具制造合同、模具验收文件、模具照片,

产品在制模/芯、组模、制壳、脱蜡烧结、熔铸、清理、补焊、热处理各工序的工艺指令单、相关设备的实际运行参数、实际投入人员数、工时及照片,产品的质量检测报告和包装入库发货信息。

报告和包装入库发货信息。

(4)用户信息库 存储用户名、密码、单位、操作时间和使用人员权限等。

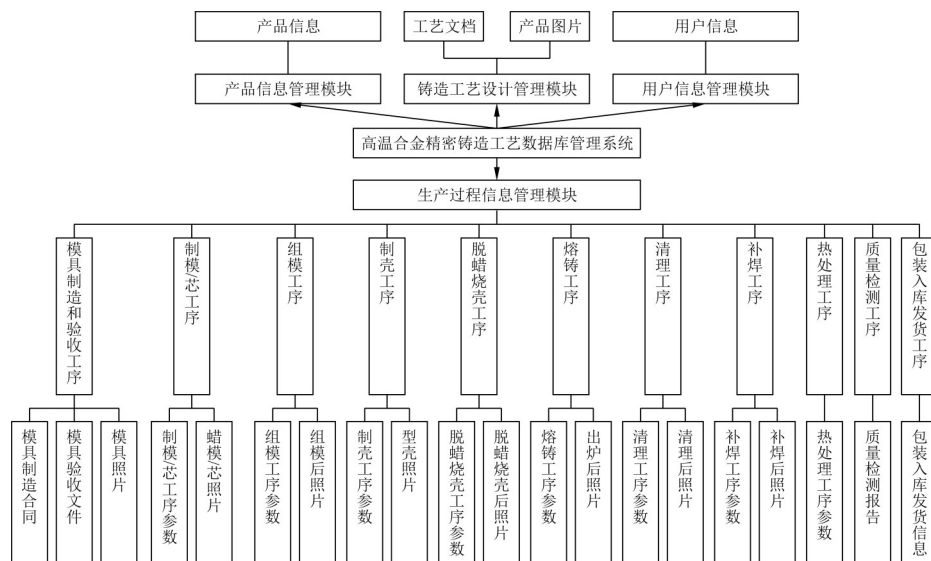


图3 数据库的关系模型

Fig.3 Relationship model of databases

2 系统开发

2.1 开发工具选择

Delphi具有简单、高效、功能强大等特点,其同时兼具了VC功能强大和VB简单易学的优点。另外,Delphi在数据库方面的特长显得尤为突出;适应于多种数据库结构,从客户机/服务机模式到多层数据结构模式;高效率的数据库管理系统和新一代更先进的数据库引擎;最新的数据分析手段和提供大量的企业组件;具有强大的数据存取功能。其数据处理工具BDE是一个标准的中介软件层,可以用来处理当前流行的数据格式,如 xBase、Paradox 等,也可以通过 BDE 的 SQLLink 直接与 Sybase、SQLServer、Informix、Oracle 等大型数据库连接。鉴于Delphi在数据库开发方面的上述优势,本研究选择Delphi10作为高温合金精密铸造工艺数据库管理系统的开发工具。

2.2 后台数据库的选择

Microsoft SQL Server 是一个全面的数据库平台,使用集成的商业智能(BI)工具提供了企业级的数据管理,其数据库引擎为关系型数据和结构化数据提供了安全可靠的存储功能,用于构建和管理高可用和高性能的数据应用程序,具有使用方便、可伸缩性好、与相关软件集成度高等特点。SQL Server 2012以“大数据”来替代“云”的概念,增加了Power View数据查找工具

和数据质量服务、从大数据到StreamInsight复杂事件处理、新的可视化数据和分析工具等,具备可伸缩性、更高的可靠性以及前所未有的高性能,为用户对数据的转换和勘探提供强大的交互操作能力,并协助做出正确的决策,成为可用性和大数据领域的领头羊。因此,本研究选择SQL Server2012作为高温合金精密铸造工艺数据库管理系统的后台数据库。

2.3 开发流程

高温合金精密铸造工艺数据库管理系统开发流程见图4。

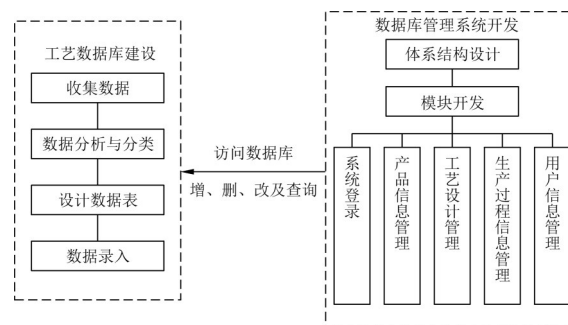


图4 高温合金精密铸造工艺数据库管理系统开发流程图

Fig.4 Development flowchart of database management system for investment casting process of superalloy

2.4 构建用户界面

Delphi的窗体设计器(Form Designer)能够帮助开发者快速设计和构建用户界面。通过窗体设计器,可以方便地放置和配置各种控件(如 TEdit、TButton、

TDBGrid 等),实现用户输入和数据展示功能。使用 Delphi 的窗体设计器构建用户界面的步骤见图 5,构建了系统登录、数据录入、数据查询等界面。

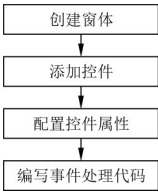


图 5 构建用户界面的步骤
Fig.5 Steps to build a user interface

2.5 数据库的连接与操作

在 Delphi 中,ADO(ActiveX Data Objects)组件能够方便地连接和操作各种数据库,并支持多种数据库连接方式。使用 ADO 组件连接 SQL Server 数据库,步骤如下:①配置 ADO Connection 组件,用于建立和管理数据库连接;②使用 ADO Query 组件执行 SQL 查询和操作;③数据绑定与显示,使用 TDBGrid 组件将 ADO Query 组件的数据绑定到界面上,在界面上显示查询结果;④实现数据操作,通过 ADO Query 组件,实现数据的添加、修改、删除和查询等操作;⑤处理异常,使用 try...except 语句捕获和处理数据库操作过程中可能遇到的各种异常情况(如连接失败、SQL 语法错误等),确保程序的稳定性。

2.6 权限管理

在铸造企业中,不同角色的用户对工艺数据库系统的操作权限需求各不相同。如工艺工程师需要修改工艺参数,质量管理员需要查看产品信息,生产调度员需要查看生产过程信息。为了实现这些需求,通过用户角色设置不同的操作权限。

(1)定义系统中的用户角色及其对应的权限 ①一般用户仅拥有信息的浏览权限;②工艺工程师可以对铸造工艺数据库进行信息添加、检索、修改和删除操作,对其他数据库仅拥有信息浏览权限;③质量管理员可以对产品信息库进行信息添加、检索、修改和删除操作,对其他数据库仅拥有信息浏览权限;④生产调度员可以对生产过程信息库进行信息的添加、检索、修改和删除操作,对其他数据库仅拥有信息浏览权限;⑤系统管理员拥有最高访问权限,可以对所有数据库进行信息添加、检索、修改和删除操作,并能管理用户信息。

(2)在 SQL Server 数据库中,设计用户信息表和权限表 ①用户信息表用于存储用户的基本信息,包括用户名、密码和角色;②权限表用于存储每个角色的权限信息。

(3)权限管理实现 ①用户登录与角色获取,在用户登录时,根据用户名和密码查询用户信息,获取用户角色;②根据用户角色设置界面权限,根据用户角色,动态设置界面控件的可见性和可操作性。

3 系统测试

3.1 系统登录

本系统登录界面见图 6,用户需要输入正确的用户名和密码,方可使用本系统。

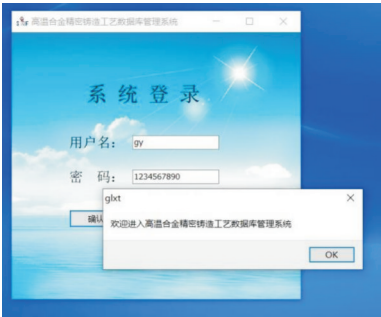


图 6 系统登录界面
Fig.6 Login interface of system

3.2 添加数据

通过对话框实现数据的添加功能,添加产品信息界面见图 7。

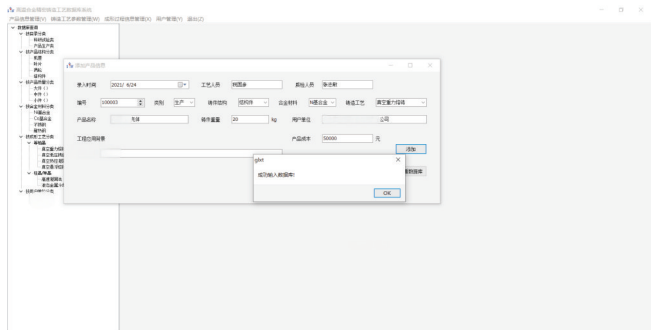


图 7 添加产品信息界面
Fig.7 Interface of adding product information

3.3 检索数据

图 8 为检索产品信息界面。用户可在检索产品信息

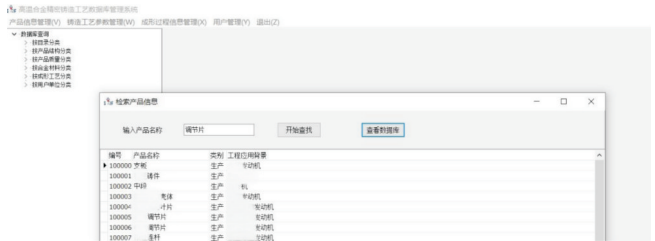


图 8 检索产品信息界面
Fig.8 Interface of retrieving product information

息界面中输入关键字段自动检索或点击“查看数据库”按钮在数据库中手动检索关心的产品。使用自动检索功能时,系统会自动在数据库中检索包含用户输入字段的所有工艺文件。

3.4 修改数据

图 9 为检索要修改的产品信息界面。用户可在修改产品信息界面中输入关键字段自动检索或点击“查看数据库”按钮在数据库中手动检索要修改的产品信息。修改后点击“确认修改”按钮即可完成对产品信息的修改。

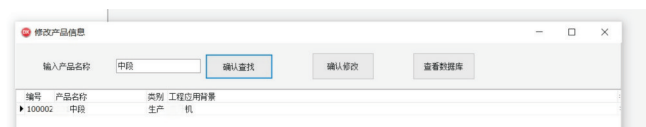


图 9 检索要修改的产品信息

Fig.9 Retrieving the product information to be modified

3.5 删除数据

图 10 为删除产品信息界面。用户可在删除产品信息界面中输入关键字段自动检索或点击“查看数据库”按钮在数据库中手动检索要删除的产品信息。选中后点击“确认删除”按钮即可完成对所选产品信息的删除。



图 10 删除产品信息

Fig.10 Deleting product information

4 结 论

(1)设计并开发了高温合金精密铸造工艺数据库管理系统,使用大数据思维对相关生产和科研试验过程中产生的数据进行收集并实现了集中管理。

(2)利用系统中的数据查询功能,生产过程可追溯,问题反馈更及时,提高了生产和科研的效率和稳定性。

(3)实现基于用户角色的权限管理,能够有效控制不同用户对系统的操作权限,确保数据的安全性和系统的稳定性。

(4)所研发系统可为高温合金精密铸造企业数字化、智能化升级奠定数据基础。

参 考 文 献

- [1] 张洁,汪俊亮,吕佑龙,等.大数据驱动的智能制造[J].中国机械工程,2019,30(2):127-133.
- [2] SAFHI H M,FRIKH B,OUHBI B.Assessing reliability of big data knowledge discovery process[A]//Second International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences[C].Fez,Morocco,2019.
- [3] 叶志兴.挤压铸造工艺参数数据可靠性评价方法及其应用研究[D].南宁:广西大学,2021.
- [4] 杨虎.砂型铸造车间在线化生产管理方案的研究与应用[D].武汉:华中科技大学,2015.
- [5] 李从发,李晓明,高毅.铸造企业MES信息化建设[J].铸造设备与工艺,2018,40(2):48-52.
- [6] 杜玉珠,唐红涛,陈涛.面向智能铸造的PLM/ERP/MES信息化集成平台构建与应用研究[A]//2019重庆市铸造年会[C].重庆:2019.
- [7] 谢秋峰.K4169合金涡轮壳铸件精密铸造工艺研究[D].沈阳:东北大学,2012.
- [8] 樊振中,徐秀利,王玉灵,等.熔模精密铸造技术在航空工业的应用及发展[J].特种铸造及有色合金,2014,34(3):285-289.
- [9] 王凯,王雪飞,黄晓东.基于数据库的铸件质量信息化的建立与应用[J].铸造设备与工艺,2024(5):33-45.
- [10] 杨伟强,白晋成.关于ODBC在铸造行业中数据互通的设计与实现[J].工业控制计算机,2021,34(2):127-130.
- [11] 周楚昊,郭树人,向东,等.基于零件结构特征计算的铸造工艺数据库研究[J].铸造,2024,73(10):1466-1472.
- [12] 冯尔磊.基于SMT大数据的产品质量预测方法研究与实现[D].西安:西安电子科技大学,2018.
- [13] 张志鹏.基于生产数据的砂型铸件力学性能与缺陷预测及其工艺参数优化[D].武汉:华中科技大学,2022.
- [14] 邢章杰,郭孝江.提高船用柴油机油底壳铸件表面质量的方法[J].现代铸铁,2016,36(3):42-45.
- [15] 中国机械工程学会铸造分会.铸造行业“十三五”技术发展规划纲要[J].铸造,2015,64(12):1165-1203.
- [16] 李增利,李克锐,吴现龙.铸铁件铸造缺陷管理系统的开发与应用[J].铸造技术,2016,37(2):393-395.
- [17] 张巍,赵宏鹏,陈明.新一代MES系统在一汽丰田某整车厂的导入和应用[J].天津科技,2023,50(7):74-82.

(编辑:张正贺)

上新版网站,下全彩文章

2024年起,《特种铸造及有色合金》杂志采用黑白印刷,电子版文章为彩色版本。自2024年5月1日起,特种铸造及有色合金杂志新版网站正式上线,期刊论文彩色版本均可在网站免费在线阅读或下载pdf文件,并可体验AI导读功能,网址:www.special-cast.com,欢迎访问!