

61

李德群 主编

李德群 主编

 **机械工业出版社**
China Machine Press

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

现代模具设计方法

主 编 李德群

副主编 梁书云 文劲松

参 编 刘瑞祥 李建军

温建勇 李材元

盛自强 骆昌勤

主 审 姜奎华



机械工业出版社

本书是《材料加工 CAD/CAM 基础》的延伸和扩展。在扼要地介绍注射模、铸造模和级进模设计和分析软件生成原理的基础上全面讲授注射模三维结构设计系统,注射流动、保压、冷却、气辅成型过程计算机模拟系统,铸造充型和凝固过程计算机模拟系统以及基于特征的级进模设计系统的基本结构和操作步骤,并通过实例分析加深读者对现代模具设计方法的认识。

与本书所配套的软件均系华中科技大学模具技术国家重点实验室所研制,这些软件已在国内较大范围内推广和应用。

本书可作为材料加工工程、机械工程及相关专业的教材,也可供从事模具和制品设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代模具设计方法 / 李德群主编. —北京:机械工业出版社, 2001.8

普通高等教育材料成形及控制工程改革教材

ISBN 7-111-08483-7

I. 现... II. 李... III. 模具—计算机辅助设计—高等学校—教材
IV TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037238 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王霄飞

封面设计:姚毅 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7 印张·270 千字

0 001—5 000 册

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

普通高等教育材料成形及控制工程专业

改革教材编审委员会

主编单位：华中科技大学

策划单位：华中科技大学 机械工业出版社

顾问：杨叔子 院士

周 济 院士

崔 崑 院士

参编单位：西北工业大学 武汉理工大学

武汉大学 吉 林 大 学

重庆工业大学 太原理工大学

湖北工学院 华南理工大学

太原重型机械学院 武汉科技大学

大连理工大学 上海交通大学

湖北汽车工业学院 武汉凯奇公司

机械科学研究院武汉材料保护研究所

审稿单位：武汉大学 东 南 大 学

武汉理工大学 山 东 大 学

合肥工业大学 中国科学院计算所

西安交通大学 浙 江 大 学

福州大学 上海交通大学

(排名不分先后)

CAA48/05

序

我国社会主义现代化建设浪潮不断高涨，高等教育与教学改革不断深入发展，长江后浪推前浪。

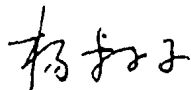
培养基础宽、素质高、能力强、适应面广，具有创新能力的人才，教材建设是一大关键。新的专业目录颁布以来，经过摸索的探讨，对一些改革力度大的专业组建和教材建设，各高校的观点和看法逐渐趋于大同。在这个基础上，编写一套适合于普通高等教育“材料成形与控制工程”专业系列改革教材是适时的，也是非常必要的。

该系列教材内容合理而先进，充分体现了专业重心下移，看重于专业的基础性、共性课程的设置。而反映铸、锻、焊专业方向性的课程，绝大部分作为选修课程设置。其主要特点，一是系列教材覆盖面宽，不仅覆盖了4个老专业近40门专业教材的内容，而且还延伸到材料热加工的最新技术及发展的前沿；二是内容精练，选材新颖，结构合理，12门教材平均每门不足30万字，仅为4个老专业教材篇幅的 $1/4 \sim 1/5$ ，且近一半的内容选自近10余年来的科研成果、国内外文献和国外原版教材；三是12门专业主干教材中，有4门是与计算机和信息技术相结合的教材，突出了计算机和信息技术的学习与应用。

我相信，通过这套专业系列教材的学习，可使材料成形与控制工程专业的学生较为充分掌握系统的专业基础与共性知识，在先进的材料加工新技术和发展趋势方面较好了解乃至有所掌握，在计算机应用和外语水平方面能形成优势，这有利于培养较高的综合素质和较强的创新能力。

当然，任何事情不能一蹴而就。这套专业系列教材也有待在教学实践中不断修改与完善。好的开始等于成切的一半。我祝愿在著者与读者的共同努力下，这套教材有一个更为美好的明天，谨此为序。

中科院院士



2000年8月

前 言

为了适应国家教育改革形势的发展,根据教育部最新颁布的新的专业目录,全国大部分工科院校已将原热加工专业的铸造、焊接、锻压、热处理四个专业合并为材料成形及控制工程大专业。1998年12月,教育部热加工专业教学指导委员会在哈尔滨召开年会,探讨了专业改造和教材建设的问题。

推行专业改革,为社会培养综合素质高,知识结构全面的栋梁之材,在很大程度上取决于教材建设。教育部颁布新的专业目录已两年多,经过这一阶段的摸索和探讨,对材料成形及控制工程专业的改造和教材建设,各高校观点和方法逐渐趋于大同,在这个基础上,编写一套普通高等教育材料成形及控制工程专业系列教改教材是适时的。为此,机械工业出版社教材编辑室成立了以华中科技大学为牵头单位的教改教材编审委员会,共同组织编写材料成形及控制工程专业系列教材。

《现代模具设计方法》是《材料加工 CAD/CAM 基础》的延伸和扩展。在《材料加工 CAD/CAM 基础》中主要讲授 CAD/CAM 的基本概念和原理,所列举的一些典型系统也仅局限于扼要地介绍其功能和特色。如何应用所学的 CAD/CAM 基础来正确分析材料的成形工艺及灵活设计模具的结构,是每一位理工科大学生所面临的难题。开设本课程的宗旨就是希望通过实际操作模具软件来弥补学生们只学不练的缺陷,培养重实践、重应用、适应当前科研部门和企业迫切要求的优秀人才。

本书所选用的4套软件为注射模三维结构设计系统,注射流动、保压、冷却、气辅成型过程计算机模拟系统,铸造充型和凝固过程计算机模拟系统和基于特征的级进模 CAD/CAM 集成系统。这些软件均系华中科技大学模具技术国家重点实验室所研制,其中大部分软件已在国内较大范围内推广和应用,具有较高的水平,代表了现代模具设计的方向。同时,注射模、铸造模和级进模又是塑料成型、液态金属成形和板料成形中应用最广泛、最有典型意义的模具,初步掌握这三种模具的设计和分析方法,对于即将走上工作岗位、面临社会激烈竞争的大学生而言,其意义是不言而喻的。

为了使学生们能更深入地理解和应用上述软件,本书除讲解这些软件的

结构和操作步骤外，还简明地介绍了这些软件的设计原理，并通过实例分析进一步加深学生们对现代模具设计方法的认识。本书设计原理部分建议由学生自学，教师以指导学生操作软件和分析结果为主要教学内容。

本书共分六章，李德群教授编写第一章及第二章的第二节；文劲松博士编写第二章的第一节，第三章的第一节、第二节、第三节及第六章的第一节；刘瑞祥教授编写第二章的第三节、第四章及第六章的第三节；李建军教授编写第二章的第四节、第五章，并与文劲松博士合作编写第六章的第四节；梁书云工程师编写第三章的第四节、第五节及第六章的第二节；温建勇、李材元、盛自强博士、骆昌勤硕士参与了级进模教学软件的编写。全书由李德群、文劲松和梁书云统编及修改，由武汉理工大学姜奎华教授主审。

鉴于作者水平所限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

书中所用软件的光盘可邮购。地址为：武汉华中科技大学材料学院塑性所华塑软件研究室，邮政编码：430073，联系电话：027-87544457。

编者

2001年2月



李德群 1945 年生于江苏泰

县。1968 年毕业于清华大学冶

金系。1980 年毕业于华中工学

院(现华中科技大学)研究生院

材料加工工程专业, 获硕士学

位, 同年留校任教。1986 年至

1987 年在美国康乃尔大学作访

问学者。现为华中科技大学材

料科学与工程学院院长、教授、

博士生导师。编著教材6部、译

著 1 部, 在国内外发表学术论

文 160 余篇。主要研究领域为

基于知识、面向装配的注射模

CAD/CAE/CAM/PDM。

目 录

序

前言

第一章 现代模具设计方法概述	1
第一节 注射模 CAD/ CAE / CAM 技术的发展和應用	1
第二节 铸造模 CAD / CAE 技术的发展和應用	4
第三节 级进模 CAD / CAE / CAM 技术的发展和應用	7
第二章 软件设计原理概述	12
第一节 注射模 CAD 软件的设计原理	12
第二节 注射模 CAE 软件的设计原理	24
第三节 铸造模 CAE 软件的设计原理	40
第四节 级进模 CAD 软件的设计原理	49
第三章 注射模软件的结构与操作步骤	63
第一节 InteSolid 造型软件简介	63
第二节 注射模 CAD 的结构	68
第三节 注射模 CAD 系统的操作步骤	79
第四节 注射模 CAE 软件的结构	85
第五节 注射模 CAE 软件的操作步骤	93
第四章 铸造模 CAE 软件的结构与操作步骤	119
第一节 铸造模 CAE 软件的结构	119
第二节 铸造模 CAE 软件的操作步骤	123
第五章 级进模 CAD 软件的结构与操作步骤	127
第一节 级进模 CAD 软件的结构	127
第二节 级进模 CAD 软件的使用说明	132
第六章 实例分析	155
第一节 注塑模 CAD 实例分析	155
第二节 注射模 CAE 实例分析	162
第三节 铸造模 CAE 软件实例分析	196
第四节 级进模 CAD 实例分析	205
附录 弯曲表	215
参考文献	216

第一章 现代模具设计方法概述

随着科学技术的进步和社会的发展,产品对模具的要求愈来愈高,传统的模具设计与制造方法已不能适应产品及时更新换代和提高质量的要求。近十年来,模具 CAD/CAE/CAM(计算机辅助设计、辅助工程和辅助制造)技术发展很快,应用范围日益扩大。在注射模、压铸模、冲压模、锻模和挤压模等方面都有成功的应用并产生了显著的经济效益和社会效益。纵观国内外模具工业的发展,可以认为,采用 CAD/CAE/CAM 技术是模具生产革命化的重要措施,是现代模具设计方法中最主要的组成部分。注射模、铸造模和级进模是塑料成型、液态金属成形和板料成形中应用最广泛、最有典型意义的模具。本书以这三种典型模具为对象,全面地介绍模具 CAD 和 CAE 软件的设计原理、体系结构和使用操作,以培养高层次的、掌握现代模具设计方法的专门人才。

第一节 注射模 CAD/ CAE / CAM 技术的发展和应用

一、发展简史

常用塑料如聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、ABS 等,在 20 世纪 40 年代才问世,注射模的历史也才 50 余年,但发展速度却异常迅速,塑料制品已成为工业部门和日常生活不可缺少的重要组成部分。塑料工业对模具的迫切需求是注射模 CAD/CAE/CAM 发展的原动力,而近 30 年塑料流变学、几何造型技术、数控加工以及计算机技术的突飞猛进又为注射模 CAD/CAE/CAM 系统的开发创造了条件。

注射模 CAE 技术的发展十分迅速。在 20 世纪 60 年代,英、美、加拿大等国的学者相继开展了注射过程一维流动模拟和冷却分析算法的研究。在此基础上,在 70 年代便完成了二维流动模拟与冷却分析程序的开发。80 年代开展了三维软件的研究并将研究范围扩展到保压分析、纤维分子取向以及翘曲预测等领域,从 90 年代开始进行集成化的研究。以上的研究成果为开发商品化的注射成型过程分析软件奠定了坚实的基础。

几何制造与数控加工技术在此期间也取得了显著的进步。从 60 年代基于线框模型的 CAD 系统到 70 年代的以曲面造型为核心的 CAD/CAM 系统、

80 年代实体造型技术的应用、90 年代基于特征的参数化实体/曲面造型技术的完善,为注射模的设计与制造采用 CAD/CAM 技术提供了可靠的保证。目前在国内外市场已涌现出一批成功应用于注射模设计与制造的 CAD/CAM 系统。

注射模 CAD/CAE/CAM 能够推广运用的另一个原因是计算机的发展。从 70 年代采用集中式分时系统的中、小型计算机,到 80 年代采用分布式系统的工作站,再到能与工作站媲美的微型计算机,性能价格比越来越高,购置一台能用于模具 CAD/CAE/ CAM 的微机对于普通的中、小模具厂甚至于个人,在价格上都是能够承担的。

正是由于上述领域的努力和发展,注射模 CAD/CAE/CAM 才会在机械制造工程中异军突起,在实际应用中发挥出较大的作用。

二、技术特点

注射模 CAD/CAM 的重点在于注射制品的几何造型、模具设计、绘图和数控加工数据及指令的生成;而 CAE 则是将工程试验、分析、文件生成乃至制造贯穿于制品研制过程的每一个环节之中,用以指导和预测制品在构思、设计和制造阶段的行为。

按照传统方法,注射制品的构思完成后,需要制作实际样品以评估其外观及测定其性能。若采用仿形加工制作型腔或者电火花机床所需的电极,则需首先制作木模,经过两次翻型后方能得到石膏靠模。这种方法的主要缺点是木模的精度无法保证,而且由于仅凭经验设计模具,需要多次试模和修正才能生产出合格的注射制品。

CAD/CAE/CAM 的集成化从根本上改变了传统的模具设计与制造方式。采用几何造型技术,注射制品一般不必进行原型试验,制品形状能够逼真地显示在计算机屏幕上,并可借助于弹性有限元分析软件对制品的力学性能进行预测。当必需实际样品时,可采用快速原型制造技术(RPM: Rapid Prototype/Part Manufacturing)直接由保存在计算机中的制品几何模型自动而迅速地将实物制造出来。当需要依靠实际注射制品设计注射模时,可采用反求工程(RE: Reverse Engineering)技术,由三坐标测量仪获得制品表面测量点的数据,再据此生成所测制品的几何模型。借助于模具 CAD 软件的自动检索、交互绘图和快速计算的能力,模具设计者能够从繁冗的手工绘图和计算中解放出来,集中精力从事诸如方案构思和结构优化等创造性的工作。

在模具图下达车间制造之前,CAE 软件可以预测成型工艺及模具结构等有关方案和参数的正确性。例如,可以采用流动模拟软件来考察塑料熔体

在模具型腔内的流动过程，以此改进流道系统的设计，提高试模的成功率；可以采用保压和冷却分析软件来考察塑料熔体的凝固过程和模温的变化，以此改进模具的冷却系统，调整注射成型工艺参数，提高制品的质量和生产效率；还可以采用应力分析软件来预测制品出模后的翘曲和变形。

借助于 CAM 软件，模具型腔的几何数据能交互地转换为机床刀具的曲面运动轨迹，进而生成数控加工指令，这样就可以省去模型的制作工序。在实际加工之前还可以采用数控加工过程仿真软件对切削过程进行检验，以避免误切。

由此可见，模具 CAD/CAE/CAM 技术是用科学的方法，以计算机软件的形式，为用户提供一种有效的辅助工具，使用户能借助于计算机对制品、模具结构、加工、成本等进行反复的修改和优化，直至获得最佳结果。因此 CAD/CAE/CAM 技术能显著地缩短模具设计与制造时间，降低模具成本并提高制品的质量。

三、工程应用

在西方先进工业国，注射模 CAD/CAE/CAM 技术的应用已非常普遍。公司之间模具订货所需的塑料制品资料已广泛使用电子文档，能否具有接受电子文档的模具 CAD/CAM 系统已成为模具企业生存的必要条件。当前代表国际先进水平的注射模 CAD/CAE/CAM 的工程应用具体表现在如下四个方面：

(1) 基于网络的模具 CAD/CAE/CAM 集成化系统已开始使用 如英国 Delcam 公司在原有软件 DUCT 5 的基础上，为适应最新软件发展及实际需求，向模具行业推出了可用于注射模 CAD/CAM 的集成化系统 Delcam's Power Solution。该系统覆盖了几何建模、注射模结构设计、反求工程、快速原型、数控编程及测量分析等领域。系统的每一个功能既可独立运行，又可通过数据接口作集成分析。

(2) 微机软件在模具行业中发挥着越来越重要的作用 在 90 年代初，能用于注射制品几何造型和数控加工的模具 CAD/CAM 系统主要是在工作站上采用 UNIX 操作系统开发和应用的，如在模具行业中应用较广的美国 Pro/E、UG II、CADD5，法国的 CATIA、EUCLID 和英国的 DUCT5 等。随着微机技术的飞速进步，在 90 年代后期，基于 Windows 操作系统的新一代微机软件，如 Solid Works、Solid Edge、MDT 等崭露头角。这些软件不仅在采用 NURBS 曲面（非均匀有理 B 样条曲面）、三维参数化特征造型等先进技术方面继承了工作站级 CAD/CAM 软件的优点，而且在 Windows 风格、动态导航、特征树、面向对象等方面还具有工作站级软件所不能比拟的

优点,深得使用者的好评。为了顺应潮流,许多工作站级软件相继都移植了微机级的 CAD/CAM 版本,有的软件公司为了能与 Windows 操作系统风格一致,甚至重写了 CAD/CAM 系统的全部代码。

(3) 模具 CAD/CAE/CAM 系统的智能化程度正在逐步提高 当前,注射模设计和制造在很大程度上依靠着人的经验和直觉。仅凭有限的数值计算功能,软件是无法为用户提供符合实际情况的正确结果的,软件的智能化功能必不可少。面向制造、基于知识的智能化功能现已成为衡量模具软件先进性和实用性的重要标志之一。许多软件都在智能化方面做了大量的工作。如以色列 Cimatron 公司的注射模专家系统,能根据脱模方向优化生成分模面,其设计过程实现了模具零件的相关性,自动生成供数控加工的钻孔表格,在数控加工中实现了加工参数的优化等,这些具有智能化的功能可显著提高注射模的生产效率和质量。

(4) 三维设计与三维分析的应用和结合是当前注射模技术发展的必然趋势 在注射模结构设计中,传统的方法是采用二维设计,即先将三维的制品几何模型投影为若干二维视图后,再按二维视图进行模具结构设计。这种沿袭手工设计的方式已不能适应现代化生产和集成化技术的要求,在国外已有越来越多的公司采用基于实体模型的三维模具结构设计。与此相适应,在注射流动过程模拟软件方面,也开始由基于中性层面的二维分析方式向基于实体模型的三维分析方式过渡,使三维设计与三维分析的集成得以实现。

第二节 铸造模 CAD / CAE 技术的发展和應用

一、开展铸造模 CAD/CAE 的重要性

铸造在国民经济中有着举足轻重的地位,由砂型和金属型生产的铸件在机械产品中占有很大的比例。然而,作为一种传统的基础产业,我国铸造工艺及模具的技术水平与西方先进工业国相比还存在着较大的差距,这主要表现在生产环境差、生产手段落后、质量不稳定和废品率高等方面。

要提高铸件的质量、降低铸件的废品率,必须要研究铸件在模具中的成形过程。在成形过程中高温的液态金属经浇注系统流入模具型腔,充满后在模具中凝固定型。其间,液态金属会发生流动、冷却和收缩等一系列物理、化学变化。如果这些物理和化学变化所发生的时间和地点不合适,铸件便会产生缺陷。由于铸件的成形过程是在不透明的模具型腔内进行的,直接了解铸件的成形过程十分困难。长期以来,铸造工作者只能采用其它的实验方法对铸造过程进行间接的研究。例如,利用水力模拟法来研究铸造的浇注系统,

利用有机物的结晶过程来类比液态金属在型腔内的凝固过程等。这些方法仅限于在实验室内作基础理论的研究,很难直接用于指导生产实践。因此,在实际生产中还是只能依靠技术人员的经验,铸件质量很难得到保证。

计算机技术的飞速发展不仅给新兴科学带来了质的飞跃,也为传统的铸造工业开辟了崭新的道路。铸件成形过程中出现的一些重要的物理现象,如液态金属的流动和冷却过程,早就可以用非线性高阶偏微分方程来描述。但这些方程却难以采用解析法精确求解,计算机的出现和不断完善,使工程界终于能够用数值方法求得这些方程的近似解。

铸件成形过程的数值模拟将会使铸造生产发生深刻的变革。对于任何一种铸件的成形过程,技术人员均可在计算机上模拟该铸件在不同工艺方案和模具结构下的成形过程,了解缺陷产生原因,以便确定优化的工艺方案和模具结构,从而提高铸件的质量,降低铸件的生产成本。

二、发展简史

长期的铸造实践使人们越来越清楚地认识到,铸件在模具型腔中的温度分布是影响铸件质量的关键因素。例如,缩孔和缩松总是在铸件中温度最高、凝固最晚的区域出现的,热裂也是由于铸件中温度分布不均造成铸件中某些部位冷却速度过快而造成的。因此,铸造成形过程数值分析的探索性工作便是从求解铸件的温度场分布开始的。1962年丹麦的 Fursund 用有限差分法首次对二维形状的铸件进行了凝固过程的传热计算,1965年美国通用汽车公司的 Henzel 等人对汽轮机铸件进行了温度场数值模拟,从此铸件在型腔内的传热过程数值模拟技术在全世界范围内迅速展开。从20世纪70年代到80年代,西方发达工业国如美国、英国、德国、日本、法国、丹麦等相继在铸件凝固过程数值模拟研究和应用上取得了显著的成果,并陆续推出一批商品化的模拟软件。到90年代我国的高等院校,如清华大学和华中科技大学在该领域的研究中也取得了令人瞩目的成就。

在铸件温度场的计算机模拟技术方面,主要是采用有限差分法(FDM)、有限元法(FEM)和边界元法(BEM)三种计算方法。每一种方法均有着各自的优缺点。与有限元法和边界元法相比,有限差分法具有原理简单、计算结果可靠、网络划分容易等特点,在凝固过程数值分析中得到了广泛的应用。有限差分法的缺点是网格形状固定,在模拟曲面形状时有明显的阶梯状误差。但是随着计算机容量的增大和计算速度的加快,有限差分法的网格可以划分得很细,这使得有限差分法的缺点得到了明显的改善。目前国内外大多数商业化的铸件凝固过程模拟软件都是采用有限差分法。

依靠铸件成形过程温度场的数值模拟还不能准确地计算出铸件中的温度

变化和实现铸造缺陷的预测。铸件在充型过程的流动对铸件初始温度场分布的影响,以及凝固过程中液态金属在型腔内的流动情况对铸件缺陷形成的影响都是不可忽视的因素。铸件充型流动过程的数值模拟技术始于 20 世纪 80 年代初期,它以计算流体力学的理论和方法为基础,经过十余年各国科技人员的辛勤工作,从二维简单形状开始,现在已经实现了三维复杂形状铸件的充型过程的数值模拟,并能将铸件中的流动与传热耦合在一起。到 90 年代,一些商品化软件都具有了三维充型流动与传热耦合数值模拟的功能。

三、工程应用

铸件充型流动与凝固过程数值模拟在短短十余年的发展过程中,由二维到三维,由简单到复杂,由工作站到微机,由实用化到商品化,为铸造生产提供越来越重要的指导作用。国外现已推出了一系列商品化的三维模拟软件,如日本的 Solidia、Min/HICASS、Stefan、CASTAS,英国的 Solstar,法国的 Simulor,瑞典的 NOVACAST,德国的 MAGMA 及美国的 Procast,国内清华大学研制了 FT-solver,华中科技大学推出的商品化三维模拟软件华铸 CAE。这些铸造模 CAE 软件在铸造生产中取得了显著的效益。本书在第六章实例分析中所介绍的,利用华铸 CAE 来指导球墨铸铁在后桥壳铸造生产工艺及分析康明斯柴油机灰铸铁机体铸造过程夹渣形成缺陷亦是很好的例证。目前,铸造模 CAE 软件已覆盖了铸钢、球墨铸铁、灰铸铁、铸铝和铸铜等各类铸件,大到一、二百吨,小到几千克,无论是解决缩孔和缩松,还是优化浇冒口结构,提高生产效率,改进浮渣夹渣等方面,都发挥了明显的作用。

伴随着 CAE 技术在铸造领域的推广应用,铸造工艺及模具结构 CAD 的研究和应用也在不断地深入。近年来国外在铸造工艺及模具结构设计方面也相继推出了一些实用化软件,如美国铸造协会的 AFS-software 软件,可用于铸钢和铸铁的浇冒口设计;英国 Foseco 公司的 FEEDERCALK 软件,可以计算铸钢件的浇冒口尺寸和选择保温冒口套的类型等;丹麦 DISA 公司的 DISAMATC 软件,专门用于垂直型生产线的浇冒口设计。我国华中科技大学和清华大学在铸造工艺及模具结构 CAD 方面也做出了显著的成绩,如清华大学开发的 THFSCAD 软件,便具有一定的代表性。THFSCAD 为基于图样自动扫描输入的铸造工艺 CAD 系统,主要由图样扫描及矢量化和铸造工艺 CAD 两大部分组成。图样扫描输入及矢量化部分能对扫描输入的图形进行消蓝去污和矢量化,铸造工艺 CAD 可用来建立参数化图形、计算铸件的加工余量、绘制工艺卡等。THFSCAD 是在二维图形学的基础上开发的,采用了 AutoCAD 软件为开发平台。随着 CAD 技术的飞速进步,在铸造生产

领域中, 三维 CAD 系统也会逐渐取代传统的二维 CAD 系统而成为主流设计系统。

第三节 级进模 CAD / CAE / CAM 技术的发展和运用

一、技术特点

级进模是冲压模的一种。在压力机的一次行程内, 级进模在不同工位上可完成多道冲压工序, 因此被广泛地应用于中、小零件的板料成形。级进模的设计主要包括工艺性、毛坯展开与排样、条料排样、压力与压力中心计算、压力机选择、模具结构设计与模具图样绘制。

由于级进模是一种结构复杂、依赖于经验的冲模类型, 建立实用化的级进模 CAD/CAE/CAM 系统十分困难, 至今仍是国内外有关机构研究和开发的主攻方向。从目前的发展趋势可以看到, 一个理想的级进模 CAD/CAE/CAM 应解决如下几方面的关键技术:

(1) 特征建模技术 板金零件的产品信息是模具设计的主要依据, 它决定了模具结构形式及零部件的形状。在模具设计过程中, 除了要考虑板金零件的形状特点以外, 还需要充分考虑板金零件的材料、尺寸精度等技术要求。因此, 在板金零件的产品模型中必须完整地描述这些信息, 仅靠一般的几何建模方法是无法完成产品信息描述的。此外, 无论是从板金零件, 还是从板金零件的冲压工艺及模具结构设计角度来看, 设计人员都需要在较高的语义层次上进行设计, 以便使设计者能直接以设计对象的功能、加工及形状特征等信息进行设计操作。而一般的几何建模方法却要求设计者在设计的开始阶段就涉及设计对象的几何细节, 造成设计过程与设计思维的不协调, 妨碍了设计者创造性的发挥。

(2) 专家系统技术 级进模和其它模具一样, 是一种以经验为主的设计过程, 要提高模具软件的实用化和自动化程度, 采用专家系统技术是十分必要的。在级进模 CAD/CAE/ CAM 系统中, 专家系统技术主要用于模具设计知识的表达、设计方案的决策、模具结构的优化设计以及成形工艺及模具结构的调整和修正。

(3) 系统的柔性化 级进模的设计制造与企业环境(包括企业标准、设计方法、设计经验与加工条件等)密切相关, 这就要求级进模 CAD/CAE/CAM 系统应能适应不同的企业环境。因此, 系统应具有一定的柔性, 允许用户能根据需要来配置与企业相关的标准、设计经验及设计方法, 建立本企业的模具标准件与典型结构库。

(4) 基于网络的数据管理技术 模具设计过程中,一方面要引用大量的标准及经验数据,另一方面它还将产生大量的设计数据,只有采用统一的方法有效地管理这些数据,才能保证模具设计结果的一致性。由于这些数据的类型及其结构存在着较大的差别,同时还应考虑到设计与制造可能不在同一区域,因此必须针对模具设计与制造过程中的信息特点和信息传递的需要,开发基于网络的模具数据库管理和通信系统。

(5) 冲压过程计算机仿真技术 由于级进模设计的成功与否主要取决于人的经验,无论是手工设计还是采用 CAD/CAM 系统在目前阶段都是如此。因此往往一副模具在设计与制造完毕后,必须经过生产中的调试、修正后才能投入正式生产。为了缩短生产周期,在 CAD/CAM 系统中应进一步加入 CAE 功能,即能够对板金零件的冲压成形过程进行计算机仿真,以便在制造之前便能对板金零件的成形状态及模具零件的运动情况进行观测,达到确保模具和板金零件质量、减少模具调试时间的目的。

二、国外级进模 CAD/CAM 系统发展简况

在国外,首次将 CAD/CAM 技术引入级进模设计与制造的当数美国 DieComp 公司。该公司早在 1971 年便开发出用于简单级进模的 CAD 系统 PDDC。在 70 年代中期,又对 PDDC 系统进行了进一步的改造,将 PDDC 划分为十个单独模块,每一个模块完成特定的设计任务。1977 年捷克金属加工研究所研制出用于单冲、复合和级进模的 CAD/CAM 系统 AKT。限于当时计算机图形技术的障碍,该系统采用编码法输入产品零件的几何形状,采用线性规划的方法进行毛坯优化排样,模具设计则是建立在模具结构及零件的标准化基础之上。设计结果可用来产生模具零件的加工工艺卡及加工指令。PDDC 和 AKT 两个系统,由于受当时硬件和软件条件的限制,系统的灵活性差,使用也不方便,因此并不能广泛推广使用。

日本日立公司于 20 世纪 80 年代初期研究并开发了级进模 CAD/CAM 系统。该系统建立在模具结构及模具零件标准化基础之上,级进模在设计时被分为排样区的工作部件和非排样区的标准零部件两大部分。标准的模具结构采用了如下描述模型:

$$D = F(a, b, S_n, T_p, T_b, C)$$

式中 a ——凹模排样区长度;

b ——凹模排样区宽度;

S_n ——凹模刃口形状;

T_p ——凹模厚度;

T_b ——板料厚;