

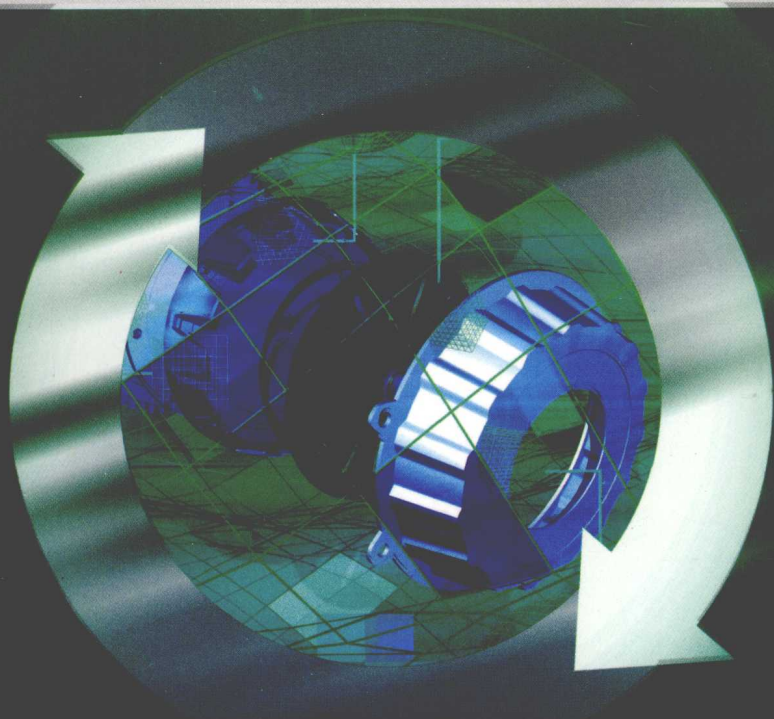


21世纪高等职业技术教育规划系列教材

现代模具制造技术

XIANDAI MOJU ZHIZAO JISHU

主编 谭海林 副主编 陈慧玲



西安地图出版社

21 世纪高等职业教育模具专业规划教材

现代模具制造技术

主 编：谭海林

副主编：陈慧玲

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代模具制造技术 / 谭海林主编. — 西安: 西安地图出版社, 2007.5

ISBN 978-7-80748-094-5

I. 现… II. 谭… III. 模具—制造—工艺 IV. TG706.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 076195 号

责任编辑 史 英

现代模具制造技术

谭海林 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮编: 710054)

新华书店经销

湖南华商文化商务有限公司印刷

787 毫米 × 1092 毫米 1/16 开 11.50 印张 293 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1-5000

ISBN 978-7-80748-094-5

定价: 19.00 元

* * * *

(如有印刷质量问题可更换)

21 世纪高等职业教育模具专业规划教材

编委会

主 任：杜文字

副主任：李名望 汤忠义 谭海林 杨建群

编委会：李名望 李奇志 张 谦 张 定

杨建群 杜文字 汤忠义 钟振龙

罗 佳 蒋 屹 谭海林 谭 健

陈慧玲

前 言

模具制造技术是模具设计与制造专业的主要专业课程之一。根据当今社会对模具专业人才的需要,结合当前各类职业院校的教学实践,本着“理论够用为度,突出应用性及实践性”原则,编写了此书。

本书主要介绍模具制造工艺的基本知识,模具型面的机械加工、特种加工和模具的装配方法等内容。对一般的机械加工及在当今模具制造业中逐渐被淘汰的加工方法从简或不再介绍,而对一些新知识、新技术、新工艺、新方法进行介绍。

本书由湖南化工职业技术学院谭海林任主编。全书共七章,其中第一章和第二章的1~4节和第7节由湖南铁路科技职业技术学院张谦编写,其他章节由谭海林编写。此外还参考了许多相关著作,并得到了有关模具企业的大力帮助。同时湖南化工职业技术学院李奇志为本书做了大量的文字编辑工作,在此谨表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和缺点在所难免,恳切希望广大同行、读者批评指正。

编 者

2007 年 5 月



绪 论

一、模具在国民经济中的地位

模具是现代工业生产的基础工艺装备。随着工业技术的迅速发展,在国民经济的各个领域都越来越多地依靠模具进行加工。特别在电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电和通信等产品中,60%~80%的零部件都要依靠模具成型。用模具生产制件所具备的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗,是其他加工制造方法所不能比拟的。模具又是“效益放大器”,用模具生产的最终产品的价值,往往是模具自身价值的几十倍、上百倍。目前全世界模具年产值约为 600 亿美元,日、美等工业发达国家的模具工业产值已超过机床工业,从 1997 年开始,我国模具工业产值也超过了机床工业产值。模具生产技术水平的高低,已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志,因为模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。

在我国,随着生产和科学技术的发展,特别是 20 世纪 80 年代以来,产品的更新换代速度加快,品种数量迅速增加。这使模具的需求量相应增加,质量要求也越来越高,从而使模具技术在国民技术中的地位 and 作用日趋重要。显然,模具技术落后,制造周期长,质量低劣,必将影响生产发展和产品的更新换代,使产品丧失竞争力。近年来,日本的汽车、手表、家用电器等产品的产量猛增,品种多,并在国际市场占据优势地位,其重要原因之一就是模具技术的高度发展。可见,研究和发展模具技术,对促进国民技术水平的发展具有特别重要的意义。

据国际生产技术协会统计,2000 年以来,机械零件中,粗加工的 75%、精加工的 50%由模具成型完成。因此,工业发达国家都十分重视模具技术的开发。在模具制造中大量采用新工艺和新设备,提高制造水平,并取得了显著的经济效益。可以预见,随着工业生产的迅速发展,模具工业在国民经济中的地位将日益提高,模具技术也会有新的发展,而且必将对加速国民经济的发展作出更大的贡献。

同时随着科学技术和工业技术的发展,模具工业在国民经济中的地位和作用也发生了本质的变化。首先,模具工业已从传统的工业技术成为高新技术产业不可分割的组成部分。标志着当今高新技术领域的集成电路,其设计与制造不能没有做引线框架的精密级进冲模和精密的集成电路塑封模;在数字化时代的今天,各种电子产品(包括通信产品)的发展,同样离不开精密模具的发展。模具已成为这些高新技术发展的基础之一。其次,模具工业本身已成为高新技术产业化的重要领域。随着计算机技术和制造技术的发展,CAD/CAM/CAE 技术贯穿于模具从设计到制造的全过程之中。这使得模具设计的质量和制造精度都上了新的台阶,发展成为一门高技术含量的制造技术。快速原型技术,就是最有力的例证。它使模具的设计



制造技术发生了重大变革,展现了模具发展的方向。第三,模具工业已成为装备工业一个极其重要的组成部分。国民经济各产业部门的装备,其零件有很大一部分是模具做出来的。各个产业部门需要的装备,有许多是电子信息技术的载体,就好像一个人,不仅要有聪明的头脑,还必须要健全的四肢和躯体。第四,模具工业是五大支柱产业发展的需要,国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石化、建筑都要求模具工业与之相适应,以满足五大支柱产业发展的需要。机械、电子、汽车工业需要大量的模具,特别是轿车大型覆盖件模具、电子产品的精密塑料模具和冲压模具,目前在质与量上都还不能满足这些支柱产业发展的需要,尤其是在加入世贸组织后,对我国模具工业是有很影响的。其中受影响最大的是汽车制造业,而汽车制造业是模具的一大用户,因此对模具工业来说,加入世贸组织既是机遇,也是挑战。

由此可见模具工业在国民经济中的重要性,同时也看到了模具工业在未来的发展前景是非常广阔的。

二、模具制造技术的发展趋势

随着市场经济发展的需要和产品更新换代不断加快,对模具制造提出了越来越高的要求,模具制造质量提高、生产周期缩短已经成为该行业发展的必然趋势。纵观模具制造业十余年来的发展道路,其主要发展方向可以归纳为如下几个方面。

1. 模具生产的专业化和标准化程度不断提高

模具的专业化和标准化是模具工业与模具技术发展的重要标志,目前美国模具专业化程度已超过 90%,日本也超过了 75%。而我国模具专业化程度还只有 25% 左右。

实现模具专业化生产,前提是要模具标准化,这样可使专业模具生产厂减少 30%~50% 的制造工作量,降低成本 50%。有了模具的各项标准,才可能采用专用的先进生产设备和技术,建立专门的机械化和自动化生产线,才可能采用高精度的、专用的质量检测手段,从而实现提高模具质量、缩短生产周期、降低制造成本的目标。到目前为止,我国已经制定了冲压模、塑料模、压铸模和模具基础技术等 50 多项国家标准,基本满足了国内模具生产发展的需要。

2. 模具粗加工技术向高速加工发展

铣削加工是型腔模具加工的重要手段。而高速铣削具有工件温升低、切削力小、加工平稳、加工质量好、加工效率高(为普通铣削加工的 5~10 倍)及可加工硬材料($<60\text{HRC}$)等诸多优点。因而在模具加工中日益受到重视。瑞士克朗公司 UCP710 型五轴联动加工中心,其机床定位精度可达 $8\mu\text{m}$,自制的具有矢量闭环控制电主轴,最大转速为 42000r/min 。意大利 RAMBAUDI 公司的高速铣床,其加工范围达 $2500\text{mm}\times 5000\text{mm}\times 1800\text{mm}$,转速达 20500r/min ,切削进给速度达 20m/min 。HSM 一般主要用于大、中型模具加工,如汽车覆盖件模具、压铸模、大型塑料等曲面加工,其曲面加工精度可达 0.01mm 。以高速铣削为代表的高速切削加工技术,代表了模具零件外形表面粗加工发展的方向。



3. 模具检测、加工设备向精密、高效和多功能方向发展

精密、复杂、大型模具的发展,对检测设备的要求越来越高。现在精密模具的精度已达 $2 \sim 3 \mu\text{m}$,目前国内厂家使用较多的有意大利、美国、日本等国的高精度三坐标测量机,并具有数字化扫描功能。如东风汽车模具厂不仅拥有意大利产 $3250\text{mm} \times 3250\text{mm}$ 三坐标测量机,还拥有数码摄影光学扫描仪,率先在国内采用数码摄影、光学扫描作为空间三维信息的获得手段,从而实现了从测量实物→建立数学模型→输出工程图纸→模具制造全过程,成功实现了逆向工程技术的开发和应用。这方面的设备还包括:英国雷尼绍公司第二代高速扫描仪(CYCLON SERIES2)可实现激光测头和接触式测头优势互补,激光扫描精度为 0.05mm ,接触式测头扫描精度达 0.02mm 。另外德国 GOM 公司的 ATOS 便携式扫描仪,日本罗兰公司的 PIX-30、PIX-4 台式扫描仪和英国泰勒·霍普森公司的 TALYSCAN150 多传感三维扫描仪分别具有高速化、廉价化和功能复合化等特点。

模具成型表面的加工向计算机控制和高精度加工方向发展,数控加工中心、数控电火花成型加工设备、计算机控制连续轨迹坐标磨床和配有 CNC 修整装备与精密测量装置的成型磨削加工设备等的推广使用,是提高模具制造技术水平的关键。如日本沙迪克公司采用直线电机伺服驱动的 AQ325L、AQ550LLS-WEDM 具有驱动反应快、传动及定位精度高、热变形小等优点。瑞士夏米尔公司的 NCEDM 具有 P-E3 自适应控制、PCE 能量控制及自动编程专家系统。另外有些 EDM 还采用了混粉加工工艺、微精加工脉冲电源及模糊控制(FC)等技术。

4. 光整加工技术向自动化方向发展

当前模具成形表面的研磨、抛光等光整加工仍然以手工作业为主,不仅花费工时多,而且劳动强度大、表面质量低。工业发达国家正在研制由计算机控制、带有磨料磨损自动补偿装置的光整加工设备,可以对复杂型面的三维曲面进行光整加工,并开始在模具加工上使用,大大提高了光整加工的质量和效率。

5. 反向制造工程制模技术的发展

以三坐标测量机和快速成型制造技术为代表的反向制造工程制模技术是一种以复制为原理的制造技术。它是模具制造技术上的又一重大发展,对模具制造具有重要影响。这种技术特别适用于多品种、少批量、形状复杂的模具制造,对缩短模具制造周期,进而提高产品的市场竞争能力有重要意义。

6. 模具 CAD/CAE/CAM 正向集成化、三维化、智能化和网络化方向发展

模具 CAD/CAE/CAM 技术在模具设计和制造上的优势越来越明显,它是模具技术的一次革命,普及和提高模具 CAD/CAE/CAM 技术的应用是模具制造业发展的必然趋势。

(1) 模具软件功能集成化

模具软件功能的集成化要求软件的功能模块比较齐全,同时各功能模块采用同一数据模



型,以实现信息的综合管理与共享,从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程,达到实现最佳效益的目的。如英国 Delcam 公司的系列化软件就包括了曲面/实体几何造型、复杂形体工程制图、工业设计高级渲染、塑料模设计专家系统、复杂形体 CAM、艺术造型及雕刻自动编程系统、逆向工程系统及复杂形体在线测量系统等。集成化程度较高的软件还包括:Pro/ENGINEER、UG 和 CATIA 等。国内有上海交通大学金属塑性成型有限元分析系统和冲裁模 CAD/CAM 系统;北京北航海尔软件有限公司的 CAXA 系列软件;吉林金网格模具工程研究中心的冲压模 CAD/CAE/CAM 系统等。

(2) 模具设计、分析及制造的三维化

传统的二维模具结构设计已越来越不适应现代化生产和集成化技术要求。模具设计、分析、制造的三维化、无纸化要求新一代模具软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工、成型过程模拟及信息的管理与共享。如 Pro/ENGINEER、UG 和 CATIA 等软件具备参数化、基于特征、全相关等特点,从而使模具并行工程成为可能。另外,Cimatran 公司的 Moldexpert, Delcam 公司的 Ps-mold 及日立造船的 Space-E/mold 均是 3D 专业注塑模设计软件,可进行交互式 3D 型腔、型芯设计、模架配置及典型结构设计。澳大利亚 Moldflow 公司的三维真实感流动模拟软件 MoldflowAdvisers 已经受到用户广泛的好评和应用。国内有华中理工大学研制的同类软件 HSC3D4.5F 及郑州工业大学的 Z-mold 软件。面向制造、基于知识的智能化功能是衡量模具软件先进性和实用性的重要标志之一。如 Cimatron 公司的注塑模专家软件能根据脱模方向自动产生分型线和分型面,生成与制品相对应的型芯和型腔,实现模架零件的全相关,自动产生材料明细表和供 NC 加工的钻孔表格,并能进行智能化加工参数设定、加工结果校验等。

(3) 模具软件应用的网络化趋势

随着模具在企业竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,网络使得在模具行业应用虚拟设计、敏捷制造技术既有必要,也有可能。美国在其《21 世纪制造企业战略》中指出,到 2006 年要实现汽车工业敏捷生产/虚拟工程方案,使汽车开发周期从 40 个月缩短到 4 个月。

7. 模具材料及表面处理技术发展迅速

模具工业要上水平,材料应用是关键。因选材和用材不当,致使模具过早失效,大约占失效模具的 45% 以上。在模具材料方面,常用冷作模具钢有 CrWMn、Cr12、Cr12MoV 和 W6Mo5Cr4V2,火焰淬火钢(如日本的 AUX2、SX105V(7CrSiMnMoV)等;常用新型热作模具钢有美国 H13、瑞典 QRO80M、QRO90SUPREME 等;常用塑料模具用钢有预硬钢(如美国 P20)、时效硬化型钢(如美国 P21、日本 NAK55 等)、热处理硬化型钢(如美国 D2、日本 PD613、PD555、瑞典一胜白 136 等)、粉末模具钢(如日本 KAD18 和 KAS440)等;覆盖件拉延



模常用 HT300、QT60-2、Mo-Cr、Mo-V 铸铁等,大型模架用 HT250。多工位精密冲模常采用钢结硬质合金及硬质合金 YG20 等。在模具表面处理方面,其主要趋势是:由渗入单一元素向多元素共渗、复合渗(如 TD 法)发展;由一般扩散向 CVD、PVD、PCVD、离子渗入、离子注入等方向发展;可采用的镀膜有:TiC、TiN、TiCN、TiAlN、CrN、Cr7C3、W2C 等,同时热处理手段由大气热处理向真空热处理发展。另外,目前对激光强化、辉光离子氮化技术及电镀(刷镀)防腐强化等技术也日益受到重视。

8. 模具制造新工艺、新理念和新模式逐步得到了认同

在成型工艺方面,主要有冲压模具功能复合化、超塑性成型、塑性精密成型技术、塑料模气体辅助注射技术及热流道技术、高压注射成型技术等。另一方面,随着先进制造技术的不断发展和模具行业整体水平的提高,在模具行业出现了一些新的设计、生产、管理理念与模式。具体主要有:适应模具单件生产特点的柔性制造技术,创造最佳管理和效益的团队精神,精益生产;提高快速应变能力的并行工程、虚拟制造及全球敏捷制造、网络制造等新的生产哲理,广泛采用标准件通用件的分工协作生产模式;适应可持续发展和环保要求的绿色设计与制造等。

进入 21 世纪,在经济全球化的新形势下,随着资本、技术和劳动力市场的重新整合,我国装备制造业在加入 WTO 以后,将成为世界装备制造业的基地。而在现代制造业中,无论哪一行业的工程装备,都越来越多地采用由模具工业提供的产品。为了适应用户对模具制造的高精度、短交货期、低成本的迫切要求,模具工业正广泛应用现代先进制造技术来加速模具工业的技术进步,满足各行各业对模具这一基础工艺装备的迫切需求。

三、本课程的性质、任务、要求和学习方法

本课程是模具设计与制造专业的一门主要专业课程。通过学习本课程,要求学生掌握模具工作型面制造常用方法的基本原理和特点、适用场合,并能根据实际情况综合分析,选择合适的加工方法,制定出最佳工艺方案;掌握各种加工方法对模具结构设计的要求,具备分析模具结构工艺性的能力,从而设计出工艺性良好的模具结构基本知识,并初步学会模具安装、调试的基本技能,能够发现试模中出现的缺陷,找出产生原因,并找出解决办法;了解模具制造技术的发展趋势,熟悉行业发展概况;了解快速成型及快速制模的基本知识。使学生具有较强的从事模具制造工艺技术工作和组织模具生产管理的能力。

本课程综合性强,涉及机械类专业的基础课、技术基础课及有关专业课的多学科知识,是数学、物理学、金属工艺学、材料及热处理、互换性与技术测量技术、电工学、计算机技术及模具设计等诸多课程有关知识的综合应用。因此善于综合运用上述有关课程的知识,对学习本课程十分重要。

本课程也是一门实践性很强的课程。对于任何一个模具零件,其制造工艺的制定和加工方法的选用,都与现场生产条件密切相关。对于同一模具零件,不同生产条件下可能采用不



同的工艺路线和加工方法。因此在处理工艺技术问题时,必须理论联系实际,结合现场具体加工条件。

随着工业生产的发展和金属成型新技术的应用,对模具制造技术的要求越来越高,模具制造方法已不再是过去的手工作业加传统的机械加工,而是广泛采用电火花成型、数控线切割、电化学加工、超声波加工、激光加工以及成型磨削、数控仿形等现代加工技术。因此在教学实践中,应尽可能多地安排实践环节,尽可能参观一些模具厂,结合模具生产实际,学习、积累模具制造的基本理论、基本知识和基本技能。



目 录

绪 论

第 1 章 模具制造工艺综述

1.1 模具的生产过程和特点	1
1.1.1 模具生产过程	1
1.1.2 模具生产的特点	2
1.2 模具的主要加工方法	3
1.3 模具制造的工艺路线	5
1.4 模具零件工艺规程的制定	6
思考与练习	11

第 2 章 模具型面的机械加工

2.1 切削加工方法及其选择	12
2.1.1 模具型面常用机械加工方法	12
2.1.2 模具零件加工方法的选择	15
2.2 外圆柱面的加工	16
2.3 平面加工	18
2.4 孔加工及孔系的加工	20
2.4.1 圆形型孔加工方法	20
2.4.2 非圆形型孔加工	24
2.4.3 孔系的加工	25
2.5 成型磨削加工	29



2.5.1 成型砂轮磨削法	29
2.5.2 夹具成型磨削	32
2.5.3 成型磨削加工中的工艺问题	34
2.6 数控加工技术	39
2.6.1 数控加工概述	39
2.6.2 数控加工在模具制造中的应用	41
2.7 模具典型零件的加工	44
2.7.1 模架零件的加工	44
2.7.2 其他零件的加工	50
思考与练习	53

第3章 电火花成型加工

3.1 电火花成型加工基本原理及应具备的条件	54
3.2 电火花成型加工的机理及特点	55
3.3 电火花成型加工设备	56
3.4 电火花成型加工的基本工艺规律	58
3.5 型孔的电火花成型加工	62
3.6 型腔的电火花加工工艺	66
3.6.1 型腔电火花加工的工艺方法	66
3.6.2 型腔电火花加工用电极选用	68
思考与练习	72

第4章 电火花线切割加工

4.1 电火花线切割加工原理、特点及应用范围	73
4.2 电火花线切割加工设备	74
4.3 电火花线切割加工工艺的步骤与要求	76
4.4 电火花线切割加工程序编制	80



思考与练习	87
-------------	----

第 5 章 其他制模加工技术介绍

5.1 压印铨修加工技术	88
5.2 冷挤压加工技术	90
5.3 超塑性成型制模技术	95
5.4 高能束加工	98
5.4.1 激光加工	99
5.4.2 电子束加工	99
5.4.3 离子束加工	100
5.5 电铸成型技术	101
5.6 铸造制模技术	103
5.7 环氧树脂制模技术	107
5.8 快速成型技术	109
5.8.1 快速成型制模技术	109
5.8.2 基于 RPM 的快速制模技术	111
思考与练习	113

第 6 章 模具型面的光整加工

6.1 超声波加工及抛光工艺	114
6.1.1 超声波加工的基本原理和特点	114
6.1.2 超声波加工设备的基本组成	115
6.1.3 超声波抛光工艺	117
6.2 电解加工及电解修磨抛光	119
6.2.1 电解加工	119
6.2.2 电解修磨抛光	121
6.3 化学腐蚀加工	123



6.4	磁性磨料研磨加工和磁性磨料电解研磨加工	125
6.5	挤压珩磨加工	126
	思考与练习	128
第7章 模具装配工艺		
7.1	模具装配概述	129
7.1.1	模具装配的工艺流程	129
7.1.2	模具装配的组织形式	130
7.1.3	模具装配的方法及应用范围	130
7.2	冲压模具的装配	133
7.2.1	冲压模具装配的主要技术要求	133
7.2.2	冲压模具的装配要点	134
7.2.3	冲压模具装配与调试	135
7.3	塑料模具的装配	152
7.3.1	塑料模具的装配内容	152
7.3.2	塑料模具装配的精度与技术要求	152
7.3.3	塑料模具的组装	155
7.3.4	塑料模具的总装	160
7.4	塑料模的试模	163
7.4.1	试模前的检验与准备	163
7.4.2	注射模具的试模	164
	思考与练习	167
参考文献		167



第1章 模具制造工艺综述

1.1 模具的生产过程和特点

► 1.1.1 模具生产过程

模具生产过程,是指根据用户提供的产品信息,制件的技术信息,通过结构分析、工艺性分析,设计成模具;再将模具材料加工成为符合设计要求的模具零件;然后经装配、试模和修整而得到整副模具产品的全过程。它主要包括:

1. 生产技术准备工作

在生产过程中,生产技术准备阶段是整个生产的基础,主要是完成产品投入生产前的各项技术和生产的准备工作,包括模具图样的分析,制定工艺规程;设计和制造工装夹具;制定生产计划,以及各种生产资料的准备工作。

2. 毛坯制造

如毛坯的锻造、铸造、冲压和焊接等。

3. 零件的加工过程

如机械加工、特种加工、热处理和表面处理等。在模具加工过程中,相关工序之间的转接会造成等待和停歇,生产组织者应尽可能缩短这部分时间,在确定生产周期时,也应考虑到它的影响。

4. 模具装配

根据模具装配图样要求的质量和精度,将加工好的零件装配成一副完整模具。

5. 试模及修整

模具的调试和鉴定。

它们的关系及内容如图 1-1 所示。

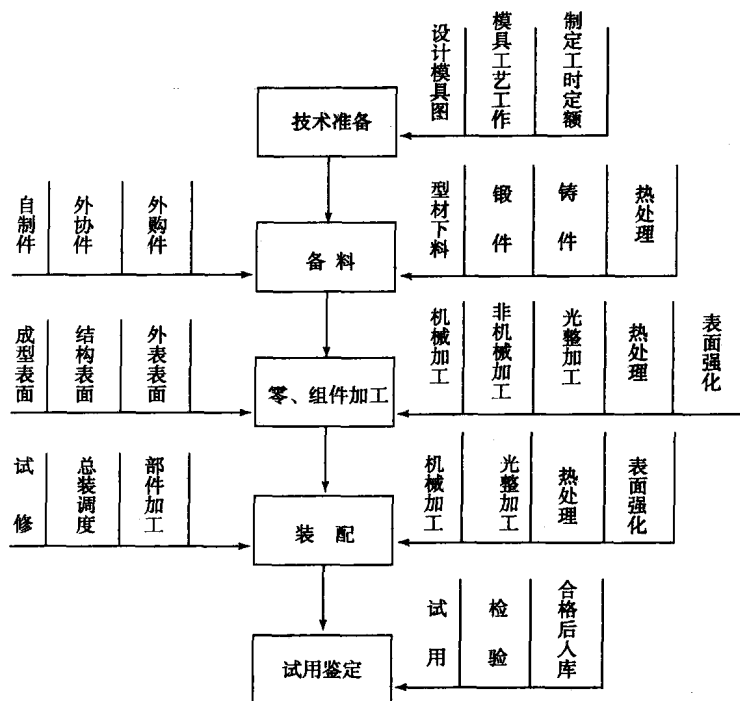


图 1-1 模具工艺过程关系

► 1.1.2 模具生产的特点

模具作为一种高寿命的专用工艺装备有以下生产特点:

1. 制造质量要求高

模具制造不仅要求加工精度高,而且要求加工表面质量要好。一般来说,模具工作部分的制造公差都应控制在 $-0.01\text{mm}\sim 0.01\text{mm}$ 以内,有的还要求在微米级范围内。模具加工后的表面不允许有任何缺陷,工作部分的表面粗糙度都要求小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

2. 形状复杂,材料硬度高

模具的工作零件一般都是二维或三维的复杂曲面,而不是一般机械加工的简单几何体。模具相当于一种机械加工工具,工作部分其硬度要求较高,一般都是用淬火工具钢或硬质合金等材料制成,使用传统的机械加工方法制造,会比较困难。

3. 要求模具生产周期短

由于新产品更新换代的加快和市场的需要,要求模具生产周期越来越短。模具的生产管理、设计和工艺都应尽可能地适应这一要求,提高标准化程度,尽量缩短模具制造周期。

4. 单件、多品种生产

作为高寿命专用工艺装备,通常一副模具只能生产某一特定形状、尺寸和精度的制件,每制造一副模具,从设计开始大概需要一个月或几个月才能完成,设计和制造的周期相对来说都比较长。这就决定了模具生产属于单件、多品种生产规程。