

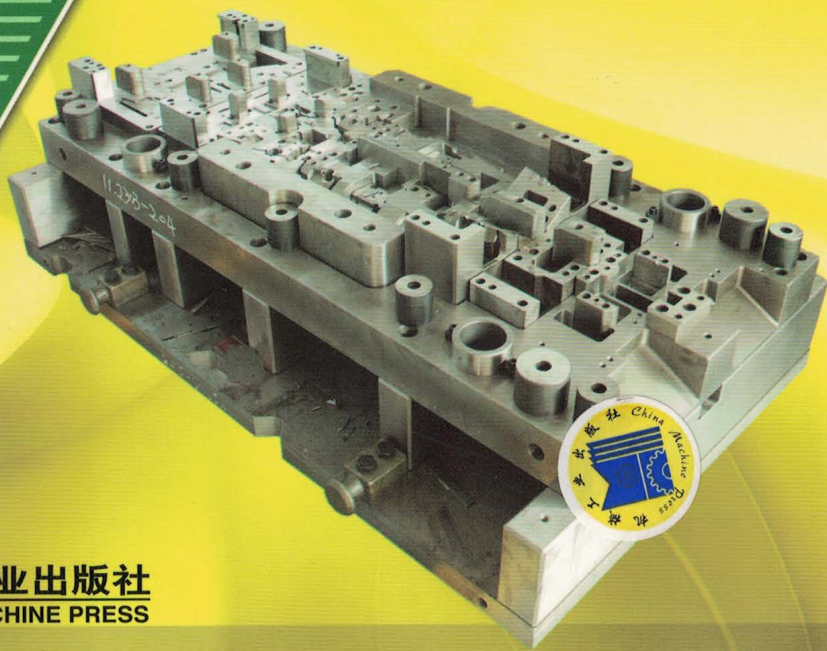


模具职业技能培训系列教程

丛书主编 王浩钢

模具制造技术

主编 李晓东



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模具职业技能培训系列教程

丛书主编 王浩钢

模 具 制 造 技 术

主 编 李晓东

副主编 马晓录

参 编 王德俊 彭 伟 李新广
李海平 姬裕江 涂 勇



机 械 工 业 出 版 社

本书按照模具制造的流程,系统全面地介绍了模具制造技术。内容包括模具制造概述、模具加工工艺规程设计、模具的技术经济与质量分析、模具零件毛坯处理、模具零件的加工技术、模具典型零件的加工过程和模具零件的装配。本书具有突出实用、内容全面、技术先进、可锻炼技能的特色。

本书适于高职高专模具专业师生做教材使用,也可供培训机构、企业模具专业技术人员、操作工人使用。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术/李晓东主编. —北京:机械工业出版社,2009.10(2011.4重印)

(模具职业技能培训系列教程)

ISBN 978-7-111-28284-6

I. 模… II. 李… III. 模具—制造—技术培训—教材 IV. TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第162506号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李万宇 申伟

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2011年4月第1版第2次印刷

169mm×239mm·19印张·372千字

3001—4500册

标准书号:ISBN 978-7-111-28284-6

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

丛书序言

业内人士这样评价：“模具是工业之母”，足见模具行业在国民经济和制造业中占据着非常重要的地位。模具技术水平的高低，是衡量制造业水平高低的重要标志，模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和开发能力。我国模具行业一直保持着良好的发展势头，模县城、模具园区、模具生产基地等各种集群生产形式在全国迅速发展，自主创新能力和模具技术含量不断提高，“十一五”期间，国家将继续大力发展我国模具工业。

模具的应用在我们的生活中无处不在，从日用小家电到交通工具，其制作均要使用一系列大小模具。近年来，我国模具行业从业人员队伍虽然发展迅速，但仍然跟不上行业高速发展的需求，培养一大批各种层次的优秀的模具人才，已成为中国模具企业提高竞争力的必要条件。模具专业人才已经成为人才市场最紧缺的人才之一。

为了适应我国高等职业教育发展及模具应用型人才、操作技能型人才培养的需要，编者编写了这套“模具职业技能培训系列教程”，涵盖了模具人才需要掌握的各方面技术内容。承担本系列教程编写工作的作者，均为多年在生产一线从事模具设计、制造的技术专家和有丰富模具教学经验的教师。

目前，模具企业和模具人才教育培训机构有这样一个矛盾，教育培训机构培养的学生不能满足企业的需要，企业使用的新技术不能及时地丰富到教学工作中去。到企业后，学生有时会觉得所学的东西用上不，而企业需要的又没学到。针对这些问题，本套丛书将尽最大的努力去解决。加强职业技能训练，争取全方位提高学生的实际工作技能，切实满足企业需求是本套丛书出发点。

本系列教程的主要目的是提高读者的实际操作水平和应用知识解决问题的能力。丛书具有以下特点。

1) 突出实用。丛书各本教程的编写都突出了应用的特色，精选了大量的典型应用实例。

2) 内容全面。本系列教程是专门针对模具职业教育的较为全面的系列教



程，每本教程对其本身技术领域内容进行了比较全面的介绍，各本教程都深入浅出、图文并茂地介绍了模具基本理论知识。

3) 技术先进。教程中包括大量先进的模具设计、制造的新概念和新技术。

4) 锻炼技能。教程安排了较多的实例和习题，以锻炼学生实际动手能力和解决实际问题的能力。

另外，本套丛书的一些分册还附有教学课件，可供教师选用，这对于学生理解抽象的知识有很好的辅助作用。

本系列教程可作为高等职业教育的教学与实践用教材或教学参考用书，对从事模具设计、制造的各类模具从业人员也有较大的参考价值，同时也可作为各种层次的继续教育用模具培训教材，以及社会上模具培训机构的培训教程。

由于编者的水平和经验有限，书中难免有疏漏和不当之处，恳请广大读者和同仁批评指正。

王浩钢

E-mail: ptc01@163.com

前言

PREFACE

本书根据我国高等职业教育发展现状，以及面向生产一线的从事模具制造为主的高技能应用型人才培养的需要，依照职业教育的特点和专业培养目标、教学要求，本着专业知识够用为度，重点放在培养从事实际工作的基本能力和基本技能方面，侧重于模具制造工艺规程设计、模具制造、模具装配等相关能力的培养，力求有良好的适用性和适度性，同时注意培养学生的知识综合运用能力和创新能力。

本书由河南职业技术学院李晓东任主编，由河南工业大学马晓录任副主编，全书的编写分工如下：第1章、第5章由河南职业技术学院李晓东编写；第2章、第3章由河南工业大学马晓录编写；第4章、第12章由鹤壁职业技术学院王德俊编写；第6章由河南职业技术学院彭伟编写；第7章由河南职业技术学院涂勇编写；第8章由许昌职业技术学院李新广编写；第9章由河南工业大学李海平编写；第10章由河南工业大学王浩钢编写；第11章由开封大学姬裕江编写；全书由李晓东统稿。

本书在编写过程中，参考了国内外公开出版的同类书籍并引用了部分内容，在此向这些书籍的作者表示敬意！同时，对在编写过程中给予大力支持和帮助的单位和个人，表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请广大读者批评指正。

为方便老师使用本书教学和培训，我们为本书配了电子教案，需要本书电子教案的老师可发 E-mail 至 cmplwy@sina.com 与编辑联系。

编者



目 录

CONTENTS

丛书序言

前言

第1章 绪论 1

1.1 模具制造技术的现状及发展趋势 1

1.1.1 模具制造技术的现状 1

1.1.2 模具制造技术的发展趋势 3

1.2 模具制造过程 4

1.3 模具制造的特点及基本要求 5

1.3.1 模具制造的特点 5

1.3.2 影响模具制造的主要因素 6

1.3.3 模具制造的基本要求 6

1.4 本课程的性质、任务和学习方法 7

第2章 模具加工工艺规程设计 8

2.1 基本概念 8

2.2 工艺规程制定的原则和步骤 10

2.3 产品图样的工艺分析 14

2.4 毛坯的设计 16

2.5 定位基准的选择 17

2.6 零件工艺路线分析与拟定 21

2.7 加工余量与工序尺寸的确定 27

2.8 工艺装备的选择 31

思考与练习题 31

第3章 模具的技术经济与质量分析 33

3.1 模具的技术经济分析 34

3.1.1 模具生产周期 34

3.1.2 模具生产成本 35

3.1.3 模具寿命 36

3.1.4 模具精度 36

3.1.5 模具刚度 37

3.2 模具零件制造精度分析 37

3.2.1 影响模具零件制造精度的因素 38

3.2.2 提高模具零件加工精度的途径 42

3.3 模具机械加工的 surface 质量 43

3.3.1 模具零件的表面质量 43

3.3.2 影响模具表面质量的因素及改善途径 45

思考与练习题 51

第4章 模具零件毛坯处理 52

4.1 下料 52

4.2 锻造加工 54

思考与练习题 59

第5章 模具钳工的基础加工 60





5.1 划线	61	7.2.3 数控加工工艺规程的 制定	142
5.2 铣削	64	7.2.4 数控加工路线的确定	143
5.3 镗削	65	思考与练习题	146
5.4 钻孔、铰孔、铰孔和攻螺纹	66	第8章 模具的电火花加工	147
思考与练习题	75	8.1 模具电火花成型加工	147
第6章 模具零件的机械加工	76	8.1.1 电火花成型加工的 设备	147
6.1 普通机床加工	76	8.1.2 电火花成型加工的基本 原理	151
6.1.1 车削加工	77	8.1.3 模具电火花成型加工的 特点及应用范围	153
6.1.2 铣削加工	79	8.1.4 电极的设计与制造	154
6.1.3 刨削和插削加工	83	8.1.5 电加工规准的选择	161
6.1.4 磨削加工	85	8.1.6 工作介质的选择	163
6.2 模具的仿形加工	88	8.2 模具电火花线切割加工	164
6.2.1 仿形加工的控制方式及 工作原理	88	8.2.1 电火花线切割机床	164
6.2.2 仿形加工工艺	90	8.2.2 电火花线切割加工的原理 和特点	166
6.2.3 雕刻加工工艺	93	8.2.3 加工规准的选择	167
6.3 模具的精密加工	95	8.2.4 工作介质的选择	168
6.3.1 坐标镗床加工	95	8.2.5 工件的装夹与变形 预防	169
6.3.2 坐标磨床加工	98	思考与练习题	170
6.3.3 成形磨削	104	第9章 模具的其他制造技术	171
思考与练习题	119	9.1 快速成型制造技术	171
第7章 模具零件的数控加工	120	9.1.1 快速成型技术的基本 原理	171
7.1 模具零件数控加工概述	120	9.1.2 快速成型工艺方法的 分类	173
7.1.1 数控加工的特点及在模具 加工中的应用	122	9.1.3 快速成型技术的应用 特点	177
7.1.2 数控加工程序编制的内容 和步骤	124	9.1.4 快速成型技术在模具 中的应用	178
7.1.3 数控机床的坐标系统及运 动方向	126	9.2 电化学加工	185
7.1.4 程序编制的方法及其 选择	129	9.2.1 电解加工	186
7.1.5 常用数控标准	131		
7.2 数控加工的工艺处理	140		
7.2.1 数控加工工艺的基本特点 和内容	140		
7.2.2 数控加工的工艺分析	141		





9.2.2 电铸成型	189
9.3 熔模铸造	194
9.4 陶瓷型铸造成型	195
9.5 环氧树脂型腔模	199
9.6 冷挤压成型	200
9.7 超塑成型	202
思考与练习题	204
第10章 模具的研磨与抛光	205
10.1 研磨抛光的目的、特点及 分类	205
10.2 研磨抛光的基本原理	207
10.3 研磨工艺	208
10.4 研磨抛光剂	211
10.5 研具	214
10.6 常用的研磨抛光方法	218
10.7 其他研磨抛光技术	219
10.7.1 超声波抛光	219
10.7.2 挤压研磨抛光	224
10.7.3 喷丸抛光	226
10.7.4 照相腐蚀	227
思考与练习题	228
第11章 模具典型零件的 加工	229
11.1 导柱、导套的制造工艺 过程	229
11.2 上、下模座的制造工艺	

过程	235
11.3 冲裁模凸模与凹模的制造 工艺过程	240
11.4 塑料模型芯与型腔的制造 工艺过程	254
11.5 锻模的制造工艺过程	262
11.6 压铸模的制造工艺过程	264
思考与练习题	266
第12章 模具装配	267
12.1 模具的装配精度	267
12.1.1 冲模的装配精度 要求	268
12.1.2 塑料注射模的装配精度 要求	269
12.2 装配尺寸链	270
12.3 模具装配的工艺过程及 方法	274
12.4 模具零件的固定方法	278
12.5 模具零件的间隙控制方法	285
12.6 模具零件的位置控制方法	287
12.7 模具连接件的调试与修整	288
12.8 冲压模装配	290
12.9 塑料模装配	291
思考与练习题	293
参考文献	294

第 1 章 绪 论

1.1 模具制造技术的现状及发展趋势

1.1.1 模具制造技术的现状

模具是现代生产中制造各种工业产品的重要工艺装备，它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成型。由于模具成形具有优质、高产、省料和成本低等特点，所以在国民经济各个部门，特别是汽车、拖拉机、航空航天、仪器仪表、机械制造、家用电器、石油化工、轻工等工业部门得到极其广泛的应用。如在汽车生产中，一个车型的轿车，约需 4 000 多套模具，包含冷冲压模、锻模、塑料模、橡胶模等。采用模具生产的零、部件具有生产效率高、质量稳定、一致性好、节省原材料和能源、生产成本低等优点，现在已经成为当代工业生产的重要手段和工艺发展方向之一。现代工业产品的发展和生产效益的提高，在很大程度上取决于模具的发展和技术水平。模具已成为衡量一个国家、一个地区、一家企业制造水平的重要标志之一。模具工业能促进工业产品生产的发展和质量的提高，并能获得极大的经济效益，因而引起了各个国家的高度重视。在日本，模具被誉为“进入富裕社会的原动力”，在德国则冠之以“金属加工业中的帝王”，在罗马尼亚被视为“模具就是黄金”。我国将模具工业视为整个制造业的“加速器”。因此，随着工业生产的迅速发展，模具工业在国民经济中的地位日益提高。

随着改革开放的不断深入，技术的不断进步，及经济的快速发展，目前，我国已经可以制造大型、精密、复杂、长寿命的模具了。例如，在冲压模具方面，我国设计和制造的电动机定转子硅钢片硬质合金多工位自动级进模和电子、电器行业用的 50 余工位的硬质合金多工位自动级进模等，都达到了国际同类模具产品的技术水平。凹模镶件的重叠定位精度 $<0.005\text{mm}$ ，步距精度 $<0.005\text{mm}$ ，模具成形表面粗糙度 R_a 值达 $0.4 \sim 0.1\mu\text{m}$ 。零件可以互换，模具寿命可达 1 亿冲次。级进冲裁和叠铆原理相结合的技术已在高速冲床上使用，具有自动冲切、叠压、铆合、扭角、记数分组及安全保护功能。在塑料模具方面，能设计制造汽车保险杠及整体仪表盘大型注射模，大型彩色电视机、洗衣机和电冰箱等精密、大型注射模。如





天津市通信广播公司模具厂设计和制造的汽车后保险杠模具重达 10 余 t、模具尺寸精度可达 $10\mu\text{m}$ 、型腔表面粗糙度 R_a 达 $0.1\mu\text{m}$ ，型芯表面粗糙度 R_a 达 $3.2\mu\text{m}$ ，模具寿命达 30 万次以上，达到国际同类模具产品的技术水平。随着社会经济的发展，人们对生活必需品的数量、品种、质量的要求越来越高。为了满足人们的这种需求，世界各发达工业国家都十分重视模具技术的开发，在模具行业重点投资，制模水平有了很大的提高，并取得了可观的经济效益。

模具的好坏与模具制造技术有直接的关系，模具制造技术发展到今天主要与以下因素有关。

1. 制造设备水平

模具制造技术随着制造设备水平的提高而提高。随着先进、精密和高自动化程度的模具加工设备的应用，如数控仿形铣床、数控加工中心、精密坐标磨床、连续轨迹数控坐标磨床、高精度低损耗数控电火花成型加工机床、慢走丝精密电火花线切割机床、精密电解加工机床、三坐标测量仪、挤压研磨机等模具加工和检测设备的应用，拓展了可进行机械加工模具的范围，提高了加工精度，降低了制件的表面粗糙度，大大提高了加工效率，推进了模具设计制造一体化的发展。

2. 模具新材料的应用

模具制造技术随着模具新材料的应用而提高。模具材料是影响模具寿命、质量、生产效率和生产成本的重要因素。必须有充足的、高质量的、品种系列齐全的模具用材料，模具工业才能赶上世界先进水平。目前我国模具的寿命仅为国外模具寿命的 $1/5 \sim 1/3$ ，在造成这一差距的因素中，模具材料和热处理方面的影响占 60% 以上。经过多年努力，我国已经开发了一些专用模具材料，实践证明，这些材料（如 65Nb、LD1、HM1、GR 等钢）具有良好的使用效果。目前，材料研究生产部门还在继续开发生产塑料模具钢、压铸模具钢、高强韧、高耐磨优质模具钢等。在实际生产中，为促进模具制造技术的提高，模具设计和制造者应大力推广应用新型和高级模具材料。

热处理是提高模具钢的强韧性和表面性能，发挥模具钢潜力的有效措施。为了提高模具基体的强度、刚度和韧性，应进一步完善和推广使用组织预处理、高淬低回、低淬低回、低温快速退火等热处理工艺。为使模具表面强化，即提高模具表面的强度、润滑性、耐蚀性，应推广化学热处理（氮化、硫化）、渗金属、化学沉积、电镀、涂层及电火花强化等技术。

3. 标准化程度

模具制造技术随着标准化程度的提高而提高。模具的标准化是代表模具工业与模具技术发展的重要标志。到目前为止，已经制定了冲压模、塑料模、压铸模和模具基础技术等数十项国家标准，几百个标准号，基本满足了国内



模具生产技术发展的需要。商品化程度是以标准化为前提的,随着标准的颁布实施,模具的商品化程度也大大提高。商品化推动了专业化生产,降低了制造成本,缩短了制造周期,提高了标准件的内外质量,也促进了新型材料的应用。

4. 模具现代设计与制造技术

模具制造技术随着模具现代设计与制造技术的发展而提高。随着计算机技术的发展与应用,我国的模具设计与制造正朝着数字化方向发展,国内外一些通用或专用软件已经有了比较普遍的应用,特别是模具成型零件方面的软件。今后,模具现代设计与制造技术必将大大推进模具的设计与制造水平。

5. 专业化生产

模具专业化生产是实现高质量、低成本、短生产周期的重要手段,发达国家的经验表明,要加快模具技术的发展,必须要实现专业化生产。目前,美国模具专业化程度已达80%~90%,日本为70%~80%,而我国仅为20%左右。

1.1.2 模具制造技术的发展趋势

随着我国社会主义市场经济的不断发展,工业产品的品种增多,产品更新换代加快,市场竞争日益激烈。因此,模具质量的提高和生产周期的缩短尤为重要,模具制造技术的发展呈现以下趋势。

1. 模具粗加工向高速加工技术发展

高速加工具有生产效率高、切削抗力小等特点,可以大大改善模具表面的质量状况,降低加工成本。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。世界各国竞相研究高速切削加工设备,美国Ingersoll公司研制生产的HVM600型卧式加工中心,主要技术参数:最高主轴转速达20 000r/min,快速移动速度、最高进给速度均为76m/min,加(减)速度为(1~1.5)g,换刀时间(切削—切削)为4s,托板交换时间为8s。日本日立精机生产的HG400Ⅲ型加工中心主轴最高转速达36 000~40 000r/min,工作台快速移动速度为36~40m/min。目前主轴转速在20 000~40 000r/min的加工中心越来越普及,一些欧洲的高速加工中心的主轴转速已经达到60 000r/min,转速高达100 000r/min以上超高速主轴也正在研制开发中。毛坯下料设备出现了高速锯床、阳极切割和激光切割等高速、高效率加工设备,还出现了高速磨削设备和强力磨削设备等。

2. 成型表面的加工向精密、自动化方向发展

成型表面的加工正不断向微细化、高效化、精密化、自动化及智能化等方向发展,主要是通过计算机控制和高精度加工来实现。目前,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。

3. 光整加工技术向自动化方向发展

模具成型表面的研磨和抛光质量决定了制件质量与模具寿命，但目前企业的光整加工大多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。发达工业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。

4. 逆向模具制造工程技术的发展

逆向模具制造工程技术以三坐标测量机和快速成型制造技术为代表，是 20 世纪 80 年代以来制造技术的又一重大突破，对模具制造具有重大的影响，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。这种技术特别适用于多品种、小批量用模具，而多品种、小批量生产方式又占工业生产的 75% 左右。因此，逆向模具制造工程技术将有极大的发展前途。

5. 模具 CAD/CAM/CAE 技术的应用发展

模具 CAD/CAM/CAE 技术在模具设计、制造和分析上的优势越来越明显，它是模具技术的又一次革命。目前，国内外一些通用或专用软件在我国模具制造行业已经得到了比较普遍的应用，这种技术采用 CAD，进而将数据交换到加工制造设备上，实现 CAM，或将设计与制造连成一体实现设计制造一体化。CAD 不仅提高了设计速度，还可以实现模具工作状况的模拟。实践证明，采用模具 CAD/CAM/CAE 技术将大大缩短模具的制造周期，提高模具的设计与制造质量，大大普及和提高模具 CAD/CAM/CAE 技术的应用。

1.2 模具制造过程

模具制造过程就是模具制造工艺，是把模具设计转化为模具产品的过程，包括了设计、零件制造、标准件采购、模具装配与试模验收等工作，模具制造过程如图 1-1 所示。

研究模具制造过程的主要任务就是探讨模具制造的可能性，解决如何制造模具的问题，一个模具由若干个零件组成，寻求低成本、短周期、高质量的模具零件加工是根本出路。成本、周期和质量是模具制造的主要经济技术指标。不能单一地考虑这三个指标，应综合加以考虑，要使设计、制造和使用三个环节相互协调。设计中除考虑满足使用功能外，还要充分考虑制造的可行性；制造中要满足设计要求，并指导用户使用。设计与制造也要了解使用，使得设计在满足使用功能的前提下便于制造。

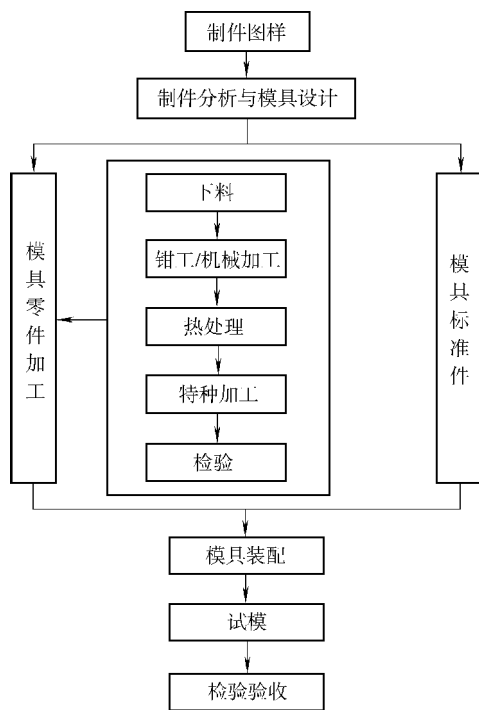


图 1-1 模具制造过程

1.3 模具制造的特点及基本要求

1.3.1 模具制造的特点

模具作为一种专用工艺装备，其生产与一般机械制造相比既具有一定的共性，又具有其自身的特殊性。一般相对来说模具制造难度较大一些。模具生产和工艺主要有以下几个特点。

1) 单件、多品种生产。每副模具只能生产某一特定形状、尺寸和精度的制件。一般在加工制造中尽量采用通用机床、通用刀具、量具和仪器，最大限度地减少专用工具的数量。在制造工序安排上要求工序相对集中，以保证模具加工的质量和进度，简化管理和减少工序周转时间。

2) 制造质量要求高。模具制造既要求加工精度高，又要求加工表面质量好。一般来说，模具工作部分的制造公差都应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，有的甚至要求在微米级范围内，模具加工后的表面缺陷要求非常严格，而且工作部分的表面粗糙度要求 $R_a < 0.8\mu\text{m}$ 。加工制造精度主要取决于加工机床精度、加工工





艺条件、测量手段和方法等。因此,在模具生产中精密数控设备的使用越来越普遍,如加工中心、电火花和线切割、连续轨迹坐标磨床、三坐标测量机等,使模具加工向高技术密集型发展。同时,在生产中较多地采用“实配法”、“同膛法”等,虽然降低了模具零件的互换性,但便于保证加工精度,减小加工难度。

3) 形状复杂。普通的机械加工只是加工简单几何型面,但模具工作部分的加工,尤其型腔类模具工作部分的加工一般都是二维或三维的复杂曲面,这是产品所要求的。

4) 材料硬度高。模具实质上是一种生产制品的工具,其硬度要求较高,一般都是用淬火合金工具钢或硬质合金等材料制成,形状因制件形状而定,所以模具加工方法有别于一般机械加工。

1.3.2 影响模具制造的主要因素

从制造角度考虑,影响制造的主要因素有以下几点。

1) 表面。外表面加工较内表面加工容易,规则表面较异形表面加工容易,型孔较型腔加工容易。

2) 精度。精度提高则制造难度可能成几何级数增加。模具制造的尺寸精度和成形部位的相对位置精度要靠设备、测量、修配保证。其他部位的位置精度则可以通过同时加工等方法保证,并可降低成本。

3) 表面粗糙度。表面粗糙度对模具来讲十分重要,占用的制造时间较多。增加表面装饰必然增加制造工序,但有时可以降低对表面粗糙度的要求。

4) 型孔和型腔的数量。型孔和型腔的数量增加,无疑要提高模具的制造尺寸和位置要求(特别是相对位置的要求),增加模具的复杂性和制造难度。

5) 热加工和热处理。热加工和热处理除了满足用户最终对模具寿命的要求外,还影响各道工序的制造效率。

1.3.3 模具制造的基本要求

1) 模具寿命高。从使用角度来讲,模具寿命越高越好。这对模具设计制造者来说是一项综合性指标,不仅促进了模具新材料的应用,也给模具生产带来了新的要求,加工精度要求高,表面粗糙度要求低。

2) 生产周期短。由于新产品更新换代的加快和市场竞争的日趋激烈,用户要求模具生产周期越来越短。模具的生产管理、设计和工艺工作都应该适应这一要求。提高模具的现代设计、制造和标准化水平,以缩短制造周期。

3) 成本低。模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度等要求及加工方法有关。必须根据制品要求合理设计和制定其加工工艺,降低成本。



4) 成套性生产。当某个制件需要多副模具加工时,前一模具所制造的产品是后一模具的毛坯,模具之间相互牵连制约,只有最终制件合格,这一系列模具才算合格。因此,在模具的生产和计划安排上必须充分考虑这一特点。

5) 要求进行试模和试修。模具的设计与生产除了自身特点外还和经验有关,模具的有些部位需要通过试修才能最后确定,装配后的模具必须通过试冲或试压,最后才能确定模具是否合格。所以,在生产进度安排上必须留有一定的试模周期。

从模具制造的特点和基本要求来看,各项指标是相互关联、相互影响的。片面追求模具精度和使用寿命必然会导致制造成本的增加。当然,只顾降低成本和缩短制造周期而忽视模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。应根据实际情况在设计与制造模具时作出全面考虑,总的原则是在保证制品质量的前提下,选择与制品生产量相适应的模具结构和制造方法,使模具制造周期短、成本低。

1.4 本课程的性质、任务和学习方法

本课程是高职高专模具设计与制造专业的一门专业课。在学习本课程之前,学生应已修完“机械制造基础”课程,并开始学习“冷冲压与塑料成型机械”、“冲压工艺与模具设计”、“塑料成型工艺与模具设计”等有关课程,对模具设计与制造已有了初步的了解。一个好的设计师首先必须是一个好的工艺师。作为一名模具设计人员,如果不熟悉模具制造工艺知识,甚至连自己设计出来的模具都不知道应该用什么方法制造,那么不管其设计的模具功能多全,精度定得多高,其设计也只能是纸上谈兵,更谈不上是一副好模具了。

本课程的任务是使学生掌握模具制造所需的主要工艺方法及其选用原则,能够安排一般零件的制造工艺,处理一般工艺问题,熟悉模具的工艺性分析,了解国内外先进的制模技术,尽可能多地学习模具制造的新工艺、新技术。

通过本课程的学习,要求学生掌握各种现代模具加工方法的基本原理、特点及加工工艺,掌握各种制造方法对模具结构的要求,以提高学生分析模具结构工艺性的能力,巩固和加深已经学过的理论知识。



第2章 模具加工工艺规程设计

模具加工工艺规程是规定模具零部件机械加工工艺过程和操作方法等的工艺文件。也就是说，一个模具零件可以用几种不同的加工工艺方法来制造。在具体的生产条件下，确定一种较合理的加工工艺和操作方法，并按规定的形式书写成工艺技术文件，经审批后用来指导生产，这类文件就是模具加工的工艺规程。这里面包括各个工序的排列顺序、加工尺寸、公差及技术要求、工艺设备及工艺措施、切削用量及工时定额等内容。

模具生产工艺水平的高低、解决各种工艺问题的方法和手段都要通过模具加工工艺规程来体现，在很大程度上决定了能否高效、低成本地加工出合格产品。因此，模具加工工艺规程编制是一项十分重要的工作。

2.1 基本概念

1. 生产过程

生产过程是将原材料或半成品转变成成为成品的各有关劳动过程的总和。

一般模具产品，其生产过程主要包括以下几步。

1) 生产技术准备过程。主要是完成模具产品投入生产前的各项生产和技术准备工作。如模具方案策划、结构设计、工艺设计、标准件配购、普通或成形零件的工艺规程编制；刀具、工装等各种生产资料的准备，以及生产组织等方面的准备工作。

2) 毛坯的制造过程，如铸造、锻造等。

3) 零件的各种加工过程，如机械加工、热处理和其他表面处理等。

4) 模具的装配过程，包括部装、总装、检验、试模和油封等。验收与试用根据模具的验收技术标准与合同规定进行。

5) 各种生产服务活动，如生产中原材料、半成品、标准件、外构件和工具的准备、供应、运输、保管，以及产品的包装和发运等。

模具的生产过程还是相当复杂的，从生产组织、降低成本、提高生产效率来看，现代模具工业的发展趋势是专业化生产，使其变得比较简单。如模具零件毛坯的生产，由专业化的毛坯生产工厂来承担；模具上的导柱、导套、顶杆等零件和模架，由专业化的标准件厂来完成。这既有利于模具上各种零件质量的保证，也利于降低成本，提高生产效率。对于专业化零部件制造厂和模具制造厂都是有利的。



2. 工艺过程

工艺过程是指在模具产品的生产过程中, 那些与使原材料成为成品直接有关的过程, 如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等。

3. 模具机械加工工艺流程的组成

用机械加工的方法, 直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量, 使之成为产品零件的那部分工艺过程, 称为模具机械加工工艺流程。将合理的机械加工工艺流程确定后, 以文字和图表形式作为加工的技术文件, 即为模具机械加工工艺流程。

模具机械加工工艺流程由若干个按顺序排列的工序组成, 而每一个工序又可依次细分为安装与工位、工步与走刀。

工序。工序是工艺过程的基本单元, 是指一个(或一组)工人, 在一个固定的工作地点(如机床或钳工台等), 对一个(或同时几个)工件所连续完成的那部分工艺过程。划分工序的主要依据是零件在加工过程中工作地点、加工对象是否改变, 以及加工是否连续完成。如果不能满足其中一个条件, 即构成另一个工序。

1) 工步与走刀。在一个工序内, 往往需要采用不同的刀具和切削用量, 对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述工序的内容, 工序还可进一步划分为工步。当加工表面、切削工具和切削用量中的转速与进给量均不变时, 所完成的那部分工序称为工步。

在一个工步内由于被加工表面需切除的金属层较厚, 需要分几次切削, 则每进行一次切削就是一次走刀。走刀是工步的一部分, 一个工步可包括一次或几次走刀。

2) 安装与工位。工件在加工之前, 在机床或夹具上先占据一个正确的位置, 这就是定位。工件定位后再予以夹紧的过程称为装夹。工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一个工序内, 工件的加工可能只需一次装夹, 也可能需要几次装夹。工件在加工过程中应尽量减少装夹次数。因为多一次装夹就多一次误差, 而且还增加了装夹工件的辅助工作时间。

为了减少工件安装的次数, 常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具, 使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。此时, 工件在机床上占据的每一个加工位置称为工位。

4. 生产纲领

生产纲领是指包括废品、备件在内的该产品(或零件)的年产量。在制定工艺流程时, 一般按产品(或零件)的生产纲领来确定生产类型。零件的生产纲领可按下列公式计算

$$N = Qn(1+a)(1+b)$$

式中 N ——零件的生产纲领;

Q ——产品的生产纲领;





n ——每台产品中该零件的数量；

a ——该零件的备品率；

b ——该零件的废品率。

5. 生产类型

生产类型是指产品生产纲领的大小和品种的多少。模具制造业的生产类型主要可分为单件生产和成批生产两种类型。

1) 单件生产。生产的产品品种较多，每种产品的产量很少，同一个工作地点的加工对象经常改变，且很少重复生产。如新产品试制用的各种模具、大型模具等都属于单件生产。

2) 成批生产。产品的品种不是很多，但每种产品均有一定的数量。工作地点的加工对象周期性地更换，这种生产称为成批生产。如模具中常用的标准模板、模座、导柱、导套等零件及标准模架等多属于成批生产。

不同的生产类型所考虑的工艺装备、加工方法、对工人的技术要求、生产成本、零件的互换性等都不相同，在制定工艺路线时必须明确该产品的生产类型。各种生产类型的工艺特点见表 2-1。

表 2-1 各种生产类型的工艺特点

工 艺 特 点	单 件 生 产	成 批 生 产
零件的互换性	用修配法，钳工修配，缺乏互换性	具有广泛的互换性
毛坯制造方法	手工造形或自由锻造，毛坯精度低、加工余量大	广泛采用毛坯制造的高效方法，精度高，加工余量小
机床	通用机床	广泛采用高效专用机床和自动机床
工艺装备	大多采用通用夹具、标准附件、通用刀具和万能量具	广泛采用专用高效夹具、复合刀具、专用量具或自动检具
工人的技术要求	需技术水平较高的工人	工人的技术水平要求较低
工艺文件	有简单的工艺过程卡	有详细的工艺文件
生产效率与成本	生产效率低、成本高	生产效率高、成本低

2.2 工艺规程制定的原则和步骤

1. 工艺规程的作用

- 1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件。
- 2) 工艺规程是生产组织和生产管理的依据，即是生产计划、调度、工人操作和质量检验等工作的依据。
- 3) 生产前用工艺规程作生产的准备，生产中用其作生产的指挥，生产后用



其作生产的检验。

2. 制定工艺规程的原则

制定工艺规程的原则是在一定的生产条件下,所编制的工艺规程能以最少的劳动量和最低的费用,可靠地加工出符合图样及技术要求的零件。也就是在保证产品质量的前提下,同时兼顾经济性。在制定工艺规程时,工艺人员必须认真研究原始资料,如产品图样、生产纲领、毛坯资料及生产条件的状况等。参照同行业工艺技术的发展,综合本部门的生产实践经验和现有条件,进行工艺文件的编制。主要体现在以下三个方面的要求。

1) 技术上的先进性。要了解国内外本行业工艺技术的发展。通过必要的工艺试验,优先采用先进工艺技术和工艺装备,同时,还要充分利用现有生产条件。

2) 经济上的合理性。在一定的生产条件下,可能会出现几个工艺方案。此时,应全面考虑,并通过核算或评比来选择经济上最合理的方案,使产品的成本达到最低。

3) 有良好的劳动条件。要注意保证工人具有良好、安全的劳动条件,通过机械化、自动化等途径,把工人从笨重的体力劳动中解放出来。

3. 制定工艺规程的步骤

制定工艺规程一般可按以下步骤进行。

- 1) 对产品装配图和零件图的分析与工艺审查。
- 2) 确定生产类型。
- 3) 确定毛坯的种类和尺寸。
- 4) 选择定位基准和主要表面的加工方法,拟订零件加工工艺路线。
- 5) 确定各工序余量,计算工序尺寸和公差,提出其技术要求。
- 6) 确定机床、工艺装备、切削用量及时间定额。
- 7) 填写工艺文件。

4. 模具工艺规程的形式

为了适应工业发展的需要,加强科学管理和便于交流,模具工艺规程的形式已标准化(JB/T 9165.2—1998)。常见的模具工艺规程形式有模具机械加工工艺过程卡、模具机械加工程序卡、模具机械加工程序操作指导卡、检验卡等。

其中最常用的是模具机械加工工艺过程卡和模具机械加工程序卡。

(1) 模具机械加工工艺过程卡

表2-2所示为模具机械加工工艺过程卡,它是以工序为单位,简要说明产品或零、部件的加工过程的一种工艺文件。它是生产管理的主要技术文件,广泛用于成批生产和单件小批生产中比较重要的零件。

(2) 模具机械加工程序卡

表2-3所示为模具机械加工程序卡,它是以工序为单位,详细说明零件工艺





表 2-2 模具机械加工工艺过程卡

(厂名)	工艺 过程 综合 卡片	名称型号			零件名称			零件图号			
		材料	名称		毛坯	种类		零件 质量	毛重		第 页
			牌号			尺寸			净重		共 页
			性能				每台件数				每批件数
工序号	工序内容			加工车间	设备 名称	工艺装备名称编号			技术 等级	时间定额/min	
						夹具	刀具	量具		单件	准备终结
更改 内容											
编制			校对				审核			会签	

表 2-3 模具机械加工工序卡

机械加工工序卡片		产 品 型 号		零（部）件图号		共 页
		产 品 名 称		零（部）件名称		第 页
		车 间		工序名称		材料牌号
		毛坯种类	毛坯外形尺寸	每坯件数		每台件数
		设备名称	设置型号	设备编号		同时加工件数
		夹具编号		夹具名称		切削液
						工序工时
						准终 单件
工步内容	工艺装备	主轴转速/ (r/min)	切削速度/ (m/min)	进给量/ (mm/r)	进给 次数	工时定额/min
						机动 辅助
				编制（日期）	审核（日期）	会签（日期）
更改文件号	签字	日期				





过程的工艺文件,用来指导工人操作和帮助管理人员及技术人员掌握零件的加工过程。模具机械加工工序卡主要用于大批大量生产中的所有零件、中批生产中的重要零件和单件小批生产中的关键工序。

5. 工艺规程的应用

(1) 工艺过程综合卡片

工艺过程综合卡片主要列出了整个零件加工所经过的工艺路线(包括毛坯、机械加工和热处理等),它是制定其他工艺文件的基础,也是生产技术准备、编制作业计划和组织生产的依据。在单件小批生产中,一般简单零件只编制工艺过程综合卡片,作为工艺指导文件。

(2) 工艺卡片

工艺卡片是以工序为单位,详细说明整个工艺过程的工艺文件。它不仅标出工序顺序、工序内容,同时对主要工序还表示出工步内容、工位及必要的加工简图或加工说明。此外,还包括零件的工艺特性(材料、质量、加工表面及其精度和表面粗糙度要求等)、毛坯性质和生产纲领。在成批生产中广泛采取这种卡片,对单件小批生产中的某些重要零件也要制定工艺卡片。

(3) 工序卡片

工序卡片是在工艺卡片的基础上分别为每一个工序制定的,是用来具体指导工人进行操作的一种工艺文件。工序卡片中详细记载了该工序加工所必需的工艺资料,如定位基准、安装方法、机床、工艺装备、工序尺寸及公差、切削用量及工时定额等。在大批量生产中,广泛采用这种卡片,在中、小批生产中,对个别重要工序有时也编制工序卡片。

2.3 产品图样的工艺分析

模具零件图、总装图、部件装配图及验收标准是制定工艺规程最主要的原始资料。在制定工艺时,首先要认真分析,了解零件的功用和相关零件间的配合,以及主要技术要求制定的依据,深刻地理解零件结构上的特征和主要技术要求,以便从加工制造的角度来分析零件的工艺性是否良好,为合理制定工艺规程作好必要的准备。总的原则是在满足使用要求的前提下,按现有的生产条件能用较经济的方法方便地加工出来。

1. 模具零件的结构工艺分析

模具零件的结构具有各种形状和尺寸。在研究具体零件的结构特点时,首先要分析该零件是由哪些表面组成的,因为表面形状是选择加工方法的基本因素。模具零件都是由一些基本的表面和特殊表面组成的。基本表面有内、外圆柱表面、圆锥表面和平面等,特殊表面主要有螺旋面、渐开线形表面及其他一



些成形表面等。例如，外圆表面一般可由车削和磨削加工出来，内孔则多通过钻、扩、铰、镗和磨削等加工方法获得。其次，表面尺寸对工艺也有重要的影响，以内孔为例，大孔与小孔、深孔与浅孔在工艺上均有不同的特点。因此，在分析零件的结构时，不仅要注意零件的各个构成表面本身的特征，而且还要注意这些表面的不同组合。正是这些不同的组合才形成零件结构上的特点。例如，以内、外圆为主的表面，既可组成盘、环类零件，也可构成套筒类零件。对于套筒类零件，既可是一般的轴套，也可以是形状复杂的薄壁套筒。上述不同结构的零件在工艺上往往有着较大的差异。

2. 模具零件的技术要求分析

模具零件的技术要求对制定工艺方案有重要的影响。主要包括下列几个方面。

- 1) 主要加工表面的尺寸精度。
- 2) 主要加工表面的几何形状精度。
- 3) 主要加工表面之间的相互位置精度。
- 4) 零件表面质量。
- 5) 零件材料、热处理及其他要求。

根据零件结构特点，在认真分析了零件主要表面的技术要求之后，对零件加工工艺即可有一初步的轮廓。首先，根据零件主要表面的精度和表面质量的要求，初步确定为达到这些要求所需的最终加工方法，然后再确定相应的中间工序及粗加工工序所需的加工方法。例如，对于孔径不大的 IT7 级精度的内孔，最终加工方法取精铰时，则在精铰孔之前，通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工过程。其次，根据各加工表面之间的相对位置要求，包括表面之间的尺寸联系和相对位置精度，即可初步确定各加工表面的加工顺序。同时，要注意模具零件的热处理要求影响着加工方法和加工余量的选择，对零件加工工艺路线的安排也有一定的影响。例如，要求渗碳淬火的零件，热处理后一般变形较大。对于零件上精度要求较高的表面，工艺上要安排精加工工序（多为磨削加工），而且要适当加大精加工的工序加工余量。

在研究零件图时，如发现图样上的视图、尺寸标注、技术要求有错误或遗漏、或结构工艺性不好时（图 2-1），应提出修改意见。但修改时必须征得设计人员的同意，并经过一定

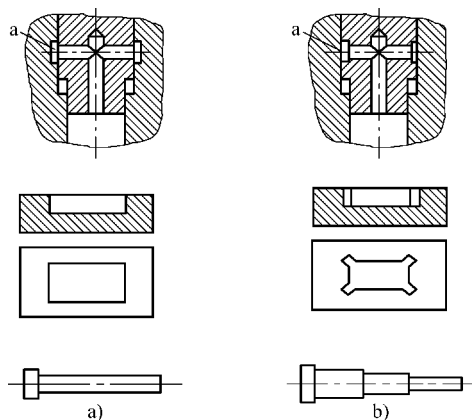


图 2-1 结构工艺性比较

a) 结构工艺性差 b) 结构工艺性好





的审批手续。必要时,与设计者协商改进,以确保在保证产品功用的前提下,更容易将其制造出来。

2.4 毛坯的设计

模具零件毛坯是根据模具零件所要求的形状、工艺尺寸等而制成的供进一步加工用的生产对象。毛坯设计的基本任务就是确定毛坯的制造方法及制造精度。模具零件的毛坯设计是否合理,对于模具零件加工的工艺性与质量、模具寿命,以及生产率、经济性都有很大的影响,不能片面地追求某一项指标而忽略了其他指标。例如:选择高精度的毛坯,则可以减少机械加工劳动量和材料消耗,提高机械加工生产率,降低加工成本,但却提高了毛坯的制造费用。因此,要综合考虑,以获得最佳效果。在毛坯设计中,主要考虑以下两个方面。

1) 模具零件几何形状特征和尺寸关系。当模具零件的不同外形表面尺寸相差较大时,如大型凸缘式模柄零件,为了节省原材料和减少机械加工工作量,应该选择锻件毛坯形式。

2) 模具材料的类别。根据模具设计中规定的模具材料类别,可以确定毛坯形式。例如:精密冲裁模的上、下模座多为铸钢材料;大型覆盖件拉深模的凸模、凹模和压边圈零件为合金铸铁时,这类零件的毛坯形式必然为铸件;非标准模架的上、下模座材料多为45钢,毛坯形式应该是厚钢板的原型材;模具结构中的工作零件,例如:精密冲裁模和重载冲压模的工作零件,多为高碳高合金工具钢,毛坯形式应该为锻件;高寿命冲裁模的工作零件材料多为硬质合金材料,毛坯形式为粉末冶金件;模具结构中的一般结构件,则多选择原型材毛坯形式。

模具零件的毛坯形式主要分为原型材、锻件、铸件和半成品件四种。

(1) 原型材

原型材是指利用冶金材料厂提供的各种截面的棒料、丝料、板料或其他形状截面的型材,经过下料以后直接送往加工车间进行表面加工的毛坯。

(2) 锻件

锻件是指经原型材下料,再通过锻造来获得合理的几何形状和尺寸的坯料,称为锻件毛坯。主要是为改善毛坯材料的力学性能,获得与模具零件接近的形状。

(3) 铸件

在模具零件中常见的铸件有冲压模具的上模座和下模座,大型塑料模的框架等,材料为灰铸铁 HT200 和 HT250;精密冲裁模的上模座和下模座,材料为铸钢 ZG270—500;大、中型冲压成形模的工作零件,材料为球墨铸铁和合金铸



铁；另外吹塑模具和注射模具中的铸造铝合金，如铝硅合金 ZL102 等。

对于铸件的质量要求主要有以下几点。

1) 铸件的化学成分和力学性能应符合图样规定的材料牌号标准。

2) 铸件的形状和尺寸要求应符合铸件图样的规定。

3) 铸件的表面应进行清砂处理，去除结疤、飞边和毛刺，其残留高度应小于 $1 \sim 3\text{mm}$ 。

4) 铸件内部，特别是靠近工作面处不得有气孔、砂眼、裂纹等缺陷；非工作面不得有严重的疏松和较大的缩孔。

5) 铸件应及时进行热处理，铸钢件依据牌号确定热处理工艺，一般以完全退火为主，退火后硬度不大于 229HBW；铸铁件应进行时效处理，以消除内应力和改善加工性能，铸铁件热处理后的硬度不大于 269HBW。

(4) 半成品件

随着模具专业化和专门化的发展以及模具标准化的提高，以商品形式出现的冷冲模架、矩形凹模板、矩形模板、矩形垫板等零件（GB/T 2851—2008、GB/T 2851.1—1990、GB/T 2851.5—1990、GB/T 2851.7—1990，GB/T 2852—2008，JB/T 7643.1~6—2008，JB/T 7644.1~8—2008），以及塑料注射模标准模架的应用日益广泛。当采购这些半成品件后，再进行成形表面和相关部位的加工，这对降低模具成本和缩短模具制造周期都是大有好处的。这种毛坯形式应该成为模具零件毛坯的主要形式。

2.5 定位基准的选择

模具零件加工中定位基准选择的好坏，不仅影响零件加工的位置精度，而且对零件各表面的加工顺序也有很大的影响。因此，在制定零件加工的工艺规程时，正确地选择工件定位基准有着十分重要的意义。

1. 基准的概念

零件总是由若干表面组成，各表面之间有一定的尺寸和相互位置要求。模具零件表面间的相对位置包括两方面要求：表面间的距离尺寸精度和相对位置精度（如同轴度、平行度、垂直度和圆跳动等）。相对位置关系就是相对的，就是以—一个为参照来确定另—一个，这就离不开基准。基准就其—般意义来讲，就是零件上用以确定其他点、线、面的位置所依据的点、线、面。基准按其作用不同，可分为设计基准和工艺基准两大类。

(1) 设计基准

在零件图上用以确定其他点、线、面的基准，称为设计基准。如图 2-2 所示的零件图，轴线 $O-O'$ 是各外圆表面和内孔的设计基准；端面 A 是端面 B、C





的设计基准；由内孔表面 D 的轴线 $O—O'$ 是 $\phi 40h6$ 外圆表面径向圆跳动和端面 B 端面圆跳动的基准。

(2) 工艺基准

零件在加工和装配过程中所使用的基准，称为工艺基准。工艺基准按用途不同，又分为定位基准、测量基准和装配基准。

1) 定位基准。加工时使工件在机床或夹具中占据一正确位置所用的基准，称为定位基准。如图 2-2 所示，零件套在心轴上磨削 $\phi 40h6$ 外圆表面时，内孔即为定位基准。

2) 测量基准。零件检验时，用以测量已加工表面尺寸及位置的基准，称为测量基准。如图 2-2 所示，当以内孔为基准（套在检验心轴上）检验 $\phi 40h6$ 外圆的径向圆跳动和端面 B 的端面圆跳动时，内孔即为测量基准。

3) 装配基准。装配时用以确定零件在部件或产品中位置的基准，称为装配基准。如图 2-2 所示，零件 $\phi 40h6$ 及端面 B 即为装配基准。

2. 工件的安装方式

为了在工件的某一部位上加工出符合技术要求规定的表面，在机械加工前，就必须使工件在机床上相对于工具占据某一正确的位置。通常我们把这个过程称为工件的定位。工件定位后，由于在加工中受到切削力、重力等的作用，还应采用一定的机构，将工件夹紧，使其位置保持不变。将工件从定位到夹紧的整个过程，统称为安装。工件安装的好坏，是模具加工中的一个重要问题，它不仅直接影响加工精度，工件安装的快慢、稳定性，还影响生产率的高低。

如图 2-2 所示，为了保证加工表面 $\phi 40h6$ 及其径向圆跳动的要求，工件安装时必须使其作为设计基准的内孔轴线 $O—O'$ 与机床主轴的轴线重合。

在各种不同的机床上加工零件时，有各种不同的安装方法。它可以归纳为直接找正法、划线找正法和夹具安装法 3 种。

1) 直接找正法。工件在机床上应占有的正确位置，这是通过一系列的尝试而获得的。具体的方式是在工件直接装在机床上后，用千分表或划针，以目测法校正工件的正确位置，一边校验，一边找正，直至合乎要求。

直接找正法的定位精度和找正的快慢，取决于找正方法、找正工具和工人的技术水平。缺点是花费时间多，生产率低，且要凭经验操作，对工人技术水平要求高。故仅用于单件、小批量生产中。此外，对工件的定位精度要求较高，例如误差小于 $0.01 \sim 0.05\text{mm}$ 时，如果采用夹具，因其本身有制造误差，故难以

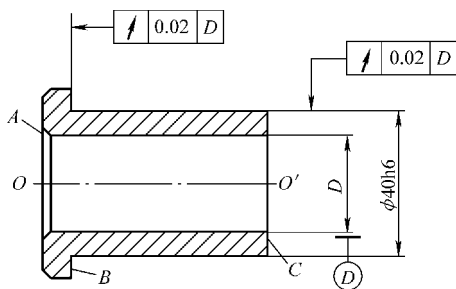


图 2-2 零件图



达到要求,就不得不使用精密量具和由较高技术水平的工人用直接找正法来定位,以达到其精度要求。

2) 划线找正法。是在机床上用划针按毛坯或半成品上所划的线来找正工件,使其获得正确位置的一种方法。此法要多一道划线工序。划的线本身有一定宽度,划线时有划线误差,校正工件位置时还有观察误差,误差累计较多。多用于生产批量较小,毛坯精度较低,以及大型工件等不宜使用夹具的粗加工中。

3) 夹具安装法。夹具是机床的一种附加装置,它在机床上相对刀具的位置,在工件未安装前已预先调整好。在加工一批工件时,不必再逐个找正定位,就能保证加工的技术要求,既省工又省事,是先进的定位方法。适用于成批和大量生产中。

3. 定位基准的选择

设计基准已由零件图给定,而定位基准可以有多种不同的方案。一般在第一道工序中只能选用毛坯表面来定位,在以后的工序中可以采用已经加工过的表面来定位。有时可能遇到这样的情况:工件上没有能作为定位基准用的恰当表面,此时就必须在工件上专门设置或加工出定位的基准面,称为辅助基准。辅助基准在零件工作中一般并无用途,完全是为了工艺上的需要,加工完以后可以去掉。

如图2-3所示车床小刀架,A为工艺凸台,主要是为了加工时定位稳定可靠。工艺凸台A的定位面应和定位面B同时加工出来。

选择定位基准时,要从保证工件加工精度的要求出发,应先选择精基准,再选择粗基准。

(1) 粗基准的选择

在起始工序中,毛坯工件定位只能选择未经加工的毛坯表面,这种定位表面称为粗基准。粗基准的选择主要是为后续工序提供必要的定位基准。具体选择时应考虑下列原则。

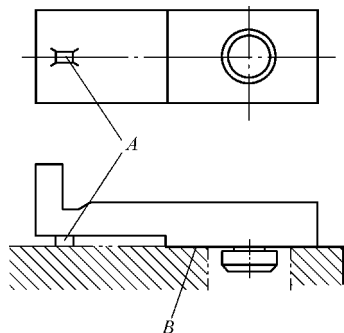


图2-3 车床小刀架

1) 如果工件要求首先保证某重要表面的加工余量均匀,则应选择该表面为粗基准。如图2-4所示,冷冲模下模座的上表面是模具中其他零件的装配基准面,为保证该表面有足够且均匀的加工余量,应先以该表面为粗基准加工下表面,然后再以下表面为精基准加工上表面。

2) 如果工件要求首先保证不加工表面与加工表面之间的位置要求,则应选择该不加工表面为粗基准。如图2-5所示的模具中导套的外圆柱面A通常不加工,但在加工内孔时应保证其壁厚均匀,所以在找正装夹时应选择外圆柱面A为粗



基准。如果零件上有多个不加工表面,且与各自相关的加工表面均有位置要求时,应选择其中位置精度要求较高的不加工表面作为粗基准,以达到壁厚均匀、外形对称等要求。

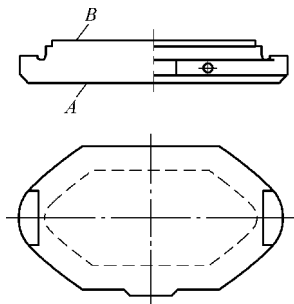


图 2-4 冷冲模下模座

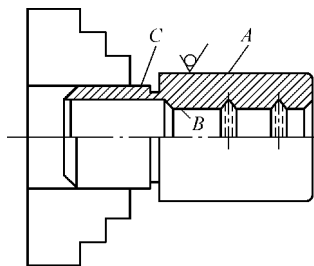


图 2-5 模具导套

3) 对于具有较多加工表面的工件,应按合理分配各加工表面的加工余量为原则进行粗基准的选择,选择毛坯上加工余量最小的表面,或选择工件上加工面积较大、形状比较复杂、加工劳动量较大的表面。

4) 在同一尺寸方向上,粗基准只能使用一次,否则因重复使用所产生的定位误差,会引起相应加工表面间出现较大的位置误差。

5) 选作粗基准的表面应尽可能光洁,不能有飞边、浇口、冒口或其他缺陷,以便使定位准确、稳定,夹紧方便、可靠。

(2) 精基准的选择

在最终工序和中间工序,应采用已加工表面进行定位,这种定位基面称为精基准。选择精基准时,主要应考虑保证加工精度,其选择原则如下。

1) 基准重合原则。即选用设计基准作为定位基准,避免定位基准与设计基准不重合而引起的基准不重合误差。基准重合的情况能使本工序允许出现的误差加大,从而使加工更容易达到精度要求,经济性更好。如图 2-6 所示,当加工 B 、 C 表面时,从基准重合原则出发,应选择设计基准表面 A 为定位基准。

2) 基准统一原则。应采用同一组基准定位加工零件上尽可能多的表面,这就是基准统一原则。这样做可以简化工艺规程的制定工作,减少夹具设计、制造的工

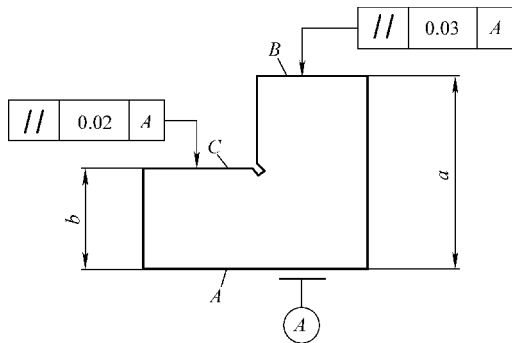


图 2-6 基准重合工件示例



作量和工作成本,并缩短生产准备周期。由于减少了基准转换,便于保证各加工表面的相互位置精度。例如:导柱加工时,采用两中心孔定位加工各外圆表面,就符合基准统一原则。

3) 自为基准原则。某些要求加工余量小而均匀的精加工工序,选择加工表面本身作为定位基准,称为自为基准原则。例如:用浮动镗刀镗导柱或导套安装孔,以及珩磨孔、拉孔、无心磨外圆等都是自为基准的实例。

4) 互为基准原则。当对工件上两个相互位置精度要求很高的表面进行加工时,需要用两个表面互相作为基准,反复进行加工,以保证位置精度要求。例如:要保证精密齿轮的齿圈跳动精度,就可以在齿面淬硬后先以齿面定位磨内孔,再以内孔定位磨齿面,从而保证位置精度。

5) 便于装夹原则。所选择的精基准应保证工件安装可靠,夹具设计简单、操作方便。

无论是精基准还是粗基准的选择,上述原则中每一项都只能说明一个方面的问题,实际应用时往往会出现相互矛盾的情况,这就需要全面考虑,灵活运用,保证重点。

2.6 零件工艺路线分析与拟定

工艺路线不但影响加工的质量和生产效率,而且影响到工人的劳动强度、设备投资、车间面积、生产成本等。因此,在制定模具的加工工艺规程时,应在充分调查研究的基础上,提出多种方案并进行分析比较。

拟定工艺路线就是制定工艺过程的总体布局。其主要任务是选择各个表面的加工方法和加工方案,确定各个表面的加工顺序,以及整个工艺过程中工序数目等。

除定位基准的合理选择外,拟定工艺路线还要考虑零件各表面加工方法、加工阶段划分、工序的集中与分散和加工顺序的安排4个方面。

1. 零件各表面加工方法的选择

1) 首先要保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一精度及表面粗糙度的加工方法往往有若干种,实际选择时还要结合零件的结构形状、尺寸大小,以及材料和热处理等要求全面考虑。例如:对于IT7级精度的孔,采用镗削、铰削、拉削和磨削等方法均可达到要求,但型腔体上的孔,一般不宜选择拉削和磨孔。而是常选择镗孔或铰孔,其中孔径大时选择镗孔,孔径小时选择铰孔。

2) 工件材料的性质对加工方法的选择也有影响,如淬火钢应采用磨削加工,有色金属零件,为避免磨削时堵塞砂轮,一般都采用高速铰、精密铰或高





速精密车削等方法进行精加工。

3) 在保证质量的前提下,还应考虑生产效率和经济性的要求。大批量生产时,应尽量采用高效率的先进工艺方法。在年产量不大的生产情况下,如若盲目采用专用设备,则会因设备利用率不高,而造成经济上的较大损失。此外,任何一种加工方法,可以获得的加工精度和表面质量均有一个相当大的范围。但只有在一定的精度范围内才是经济的,这种一定范围的加工精度,即为该种加工方法的经济精度。选择加工方法时,应根据工件的精度要求选择与经济精度相适应的加工方法。

4) 要考虑本厂、本车间现有设备情况及技术条件。充分利用现有设备,挖掘企业潜力、发挥工人和技术人员的积极性和创造性。同时也应考虑不断改进现有的方法和设备,推广新技术,提高工艺水平。

2. 加工阶段的划分

对于加工质量要求较高的零件,工艺过程应分阶段进行,这样才能保证零件的精度要求,充分利用人力、物力资源。模具加工工艺过程一般可分为以下几个阶段。

1) 粗加工阶段。本阶段任务是切除各加工表面上的大部分加工余量,使毛坯在形状和尺寸上尽量接近成品。因此,在此阶段中应尽量采取能提高生产率的方法和措施。

2) 半精加工阶段。本阶段任务是使主要表面消除粗加工留下的误差,达到一定的精度及留有精加工余量,为精加工做好准备,并完成一些次要表面(如钻孔、铣槽等)的加工。

3) 精加工阶段。本阶段主要任务是去除半精加工所留的加工余量,使工件各主要表面达到图样要求的尺寸精度和表面粗糙度。

4) 光整加工阶段。对于精度和表面粗糙度要求很高,如 IT6 级及 IT7 级以上的精度,表面粗糙度 R_a 值为 $0.4\mu\text{m}$ 的零件可采用光整加工。但光整加工一般不用于纠正几何形状和相互位置误差。

工艺过程分阶段的主要原因如下。

1) 保证加工质量。工件粗加工时切除金属较多,产生较大的切削力和切削热,同时也需要较大的夹紧力,而且加工后内应力要重新分布。在这些力和热的作用下,工件会发生较大的变形。如果不分阶段地连续进行粗精加工,就无法避免上述原因所引起的加工误差。加工过程分阶段后,粗加工造成的加工误差,通过半精加工和精加工即可得到纠正。并逐步提高零件的加工精度和减小表面粗糙度数值,保证零件的加工质量。

2) 合理使用设备。加工过程划分阶段后,粗加工可采用功率大、刚度好和精度低的高效率机床加工,以提高生产效率。精加工则可采用高精度机床加工,



以确保零件的精度要求,这样才能做到设备的合理使用。

3) 便于安排热处理工序。对于一些精密零件,粗加工后安排去应力的时效处理,可减少内应力变形对精加工的影响;半精加工后安排淬火不仅容易满足零件的性能要求,而且淬火引起的变形也可通过精加工工序予以消除。

此外,粗、精加工分开后,毛坯的缺陷(如气孔、砂眼和加工余量不足等)可在粗加工后及早发现,及时决定修补或报废,以免对应报废的零件继续精加工而造成浪费。精加工表面安排在后面,还可以保护其不受损伤。

在拟定工艺路线时,一般应遵循划分加工阶段这一原则。但具体运用时要灵活掌握,不能绝对化。例如,对于要求较低而刚性又较好的零件,可不划分加工阶段。对于一些刚性好的重型零件,由于装夹吊运很费工时,往往不划分加工阶段。而在一次安装中完成表面的粗、精加工,更易保证位置精度。

3. 工序的集中与分散

对同一个工件的同样加工内容,可以安排两种不同形式的工艺规程:一种是工序集中,另一种是工序分散。所谓工序集中,是使每个工序中包括尽可能多的工步内容,因而使总的工序数目减少,夹具的数目和工件的安装次数也相应地减少。所谓工序分散,是将工艺路线中的工步内容分散在更多的工序中去完成,因而每道工序的工步少,工艺路线长。

工序集中和工序分散的特点都很突出。工序集中有利于保证各加工面间的相互位置精度要求,有利于采用自动化程度高的机床设备,节省装夹工件的时间,减少工件的搬动次数。工序分散可使每个工序使用的设备和夹具比较简单,调整、对刀也比较容易,对操作工人的技术水平要求较低。

传统的流水线、自动线生产多采用工序分散的组织形式(个别工序也有相对集中的形式,例如,对箱体类零件采用专用组合机床加工孔系等)。这种组织形式可以实现高效率生产,但是适应性较差,特别是那些工序相对集中、专用组合机床较多的生产线,转产比较困难。

采用高效自动化机床,以工序集中的形式组织生产(典型的例子是采用加工中心机床组织生产),除了具有上述工序集中的优点以外,生产适应性强,转产相对容易,因而虽然设备价格昂贵,仍然得到愈来愈多的应用。

4. 加工顺序的安排

(1) 切削加工顺序的安排

机械切削加工顺序的安排,应考虑以下几个原则。

1) 先粗后精。当零件需要分阶段进行加工时,先安排各表面的粗加工,中间安排半精加工,最后安排主要表面的精加工和光整加工。由于次要表面精度要求不高,一般在粗、半精加工即可完成。对于那些与主要表面相对位置关系密切的表面,通常多置于主要表面精加工之后进行加工。





2) 先主后次。零件上的装配基面和主要工作表面等先安排加工。而键槽、紧固用的光孔和螺孔等由于加工面小,往往又和主要表面有相互位置要求,一般应安排在主要表面达到一定精度之后(如半精加工之后),但应在最后精加工之前进行加工。

3) 基面先行。每一个加工阶段总是先安排基面加工工序,以便后续工序用此基面定位,加工其他表面。

4) 先面后孔。对于模座、凸凹模固定板、型腔固定板、推板等一般模具零件,平面所占轮廓尺寸较大,用平面定位比较稳定可靠。因此,其工艺过程总是首先选择平面作为定位精基准面,先加工平面再加工孔。

(2) 热处理工序的安排

模具零件常采用的热处理工艺有退火、正火、调质、时效、淬火、回火、渗碳和氮化等。按照热处理的目的,将上述热处理工艺可大致分为预先热处理和最终热处理两大类。

1) 预先热处理。预先热处理包括退火、正火、时效和调质等。这类热处理的目的是改善加工性能,消除内应力和为最终热处理作组织准备,其工序位置多在粗加工前后。

2) 最终热处理。最终热处理包括各种淬火、回火、渗碳和氮化处理等。这类热处理的目的主要是提高零件材料的硬度和耐磨性,常安排在精加工前后。

(3) 辅助工序的安排

辅助工序包括工件的检验、去毛刺、清洗和涂防锈油等。其中,检验工序是主要的辅助工序,它对保证零件质量有极重要的作用。检验工序应安排在以下几个位置。

1) 粗加工全部结束后,精加工之前。

2) 零件从一个车间转向另一个车间前后。

3) 重要工序加工前后。

4) 零件加工完毕之后。

钳工去毛刺一般安排在易产生毛刺的工序之后,检验及热处理工序之前。清洗和涂防锈油工序安排在零件加工之后,进入装箱和成品库前进行。

外圆表面、内孔表面、平面三种简单几何表面的常用加工方案见表2-4~表2-6。

表 2-4 外圆表面加工方案

序号	加工方案	经济精度	经济表面 粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11	12.5	适用于加工淬火钢以外的各种金属
2	粗车—半精车	IT8 ~ IT10	3.2 ~ 6.3	



(续)

序号	加工方案	经济精度	经济表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
3	粗车—半精车—精车	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	适用于加工淬火钢以外的各种金属
4	粗车—半精车—精车—滚压(或抛光)	T7 ~ IT8	0.025 ~ 0.2	
5	粗车—半精车—磨削	IT7 ~ IT8	0.4 ~ 0.8	主要适用于加工淬火钢,也可用于加工非淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车—半精车—粗磨—精磨	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.4	
7	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精加工(或轮式超精磨)	IT5	0.1 ~ R_z 0.1	
8	粗车—半精车—精车—金刚石车	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.4	主要适用于加工要求较高的有色金属
9	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精磨或镜面磨	IT5 以上	0.025 ~ R_z 0.05	适用于加工精度极高的外圆
10	粗车—半精车—粗磨—精磨—研磨	IT5 以上	0.1 ~ R_z 0.05	

表 2-5 内孔表面加工方案

序号	加工方案	经济精度	经济表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	钻	IT11	12.5	适用于加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也适用于有色金属加工。孔径小于 15 ~ 20mm
2	钻—绞	IT8 ~ IT10	1.6 ~ 6.3	
3	钻—粗绞—精绞	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	
4	钻—扩	IT10 ~ IT11	6.3 ~ 12.5	适用于加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也适用于有色金属加工。孔径大于 15 ~ 20mm
5	钻—扩—绞	IT8 ~ IT9	1.6 ~ 3.2	
6	钻—扩—粗绞—精绞	IT7	0.8 ~ 1.6	
7	钻—扩—机绞—手绞	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.4	
8	钻—扩—拉	IT7 ~ IT9	0.1 ~ 1.6	适用于大批大量生产(精度由拉刀的精度而定)
9	粗镗(或扩孔)	IT11	12.5	适用于加工除淬火钢以外的各种材料,毛坯已有底孔
10	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)	IT9 ~ IT10	1.6 ~ 3.2	
11	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)—精镗(绞)	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	
12	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)—精镗—浮动镗刀精镗	T6 ~ IT7	0.4 ~ 0.8	





(续)

序号	加工方案	经济精度	经济表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
13	粗镗（粗扩）—半精镗—磨孔	IT7 ~ IT8	0.2 ~ 0.8	主要适用于加工淬火钢，也可用于加工非淬火钢，但不宜加工有色金属
14	粗镗（粗扩）—半精镗—粗磨—精磨	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.2	
15	粗镗—半精镗—精镗—精细镗（金刚镗）	IT6 ~ IT7	0.05 ~ 0.4	主要适用于加工要求较高的有色金属
16	钻—（扩）—粗绞—精绞—珩磨； 钻—（扩）—拉—珩磨； 粗镗—半精镗—精镗—珩磨	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.2	适用于加工很高精度的孔
17	以研磨代替上述方法中的珩磨	IT5 ~ IT6	0.006 ~ 0.1	

表 2-6 平面加工方案

序号	加工方案	经济精度	经济表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11	12.5	端面加工
2	粗车—半精车	IT8 ~ IT10	3.2 ~ 6.3	
3	粗车—半精车—精车	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	
4	粗车—半精车—磨削	IT6 ~ IT8	0.2 ~ 0.8	
5	粗刨（或粗铣）	IT11	12.5	一般加工不淬硬平面（端铣 R_a 值较小）
6	粗刨（或粗铣）—精刨（或精铣）	IT8 ~ IT10	1.6 ~ 6.3	
7	粗刨（或粗铣）—精刨（或精铣）—刮研	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.8	精度要求较高的不淬硬平面加工。批量大时宜采用方案
8	以宽刃精刨代替上述刮研	IT7	0.2 ~ 0.8	
9	粗刨（或粗铣）—精刨（或精铣）—磨削	IT7	0.2 ~ 0.8	精度要求高的平面加工
10	粗刨（或粗铣）—精刨（或精铣）—粗磨—精磨	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.4	
11	粗铣—拉	IT7 ~ IT9	0.2 ~ 0.8	大批生产的较小的平面（精度由拉刀的精度而定）
12	粗铣—精铣—磨削—研磨	IT5 以上	0.1 ~ R_z 0.05	高精度平面加工



2.7 加工余量与工序尺寸的确定

1. 加工余量

为了使加工表面达到所需的精度和表面质量而切除的金属层称为加工余量。确定加工余量是制定加工工艺的重要问题之一。加工余量过大,不但浪费金属,增加切削工时,增大机床和刀具的负荷和磨损,有时还会将加工表面所需保留的耐磨表面层(如床身导轨表面)切掉;加工余量过小,则不能消除前道工序的误差和表层缺陷,以致产生废品,或者使刀具切削在很硬的表层(如氧化皮、白口层)上,导致刀具急剧磨损。总之确定加工余量的基本原则是在保证加工质量的前提下尽量减少加工余量。

加工余量又分为工序余量和总加工余量。工序余量是指某表面在一道工序中所切除的金属层厚度,它等于上道工序的加工尺寸(工序尺寸)与本工序要得到的加工尺寸之差。总加工余量是指由毛坯变为成品的过程中,在某表面上切除的金属层总厚度,它等于毛坯尺寸与成品尺寸之差,也等于该表面各工序余量之和。加工总余量和工序余量的关系可用下式表示。

$$Z_0 = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i$$

式中 Z_0 ——加工总余量;

Z_i ——工序余量, Z_1 为第一道粗加工工序的加工余量。它与毛坯的制造精度有关;

n ——机械加工的工序数目。

工序余量还可定义为相邻两工序基本尺寸之差。按照这一定义,工序余量有单边余量和双边余量之分。零件非对称结构的非对称表面,其加工余量一般为单边余量,可表示为

$$Z_i = l_{i-1} - l_i$$

式中 Z_i ——本道工序的工序余量;

l_i ——本道工序的基本尺寸;

l_{i-1} ——上道工序的基本尺寸。

零件对称结构的对称表面,其加工余量为双边余量,可表示为 $2Z_i = l_{i-1} - l_i$

由于工序尺寸有公差,所以加工余量也必然在某一公差范围内变化,其公差大小等于本道工序尺寸与上道工序尺寸公差之和。一般情况下,工序尺寸的公差按“人体原则”标注。即对被包容尺寸(轴的外径,实体长、宽、高),其最大加工尺寸就是基本尺寸,上偏差为零。对包容尺寸(孔径、槽宽),其最小加工尺寸就是基本尺寸,下偏差为零。毛坯尺寸公差按双向对称偏





差形式标注。

2. 影响工序余量的因素

除前述第一道粗加工工序余量与毛坯制造精度有关以外,其他工序的工序余量影响因素比较复杂,主要有以下几个方面。

1) 上工序的尺寸公差愈大,则本道工序的余量愈大。本道工序应切除上道工序尺寸公差中包含的各种可能产生的误差。

2) 上道工序产生的表面粗糙度和表面缺陷层深度应在本道工序加工时切除掉。

3) 空间误差是指轴线直线度误差和各种位置误差。上道工序留下的需要单独考虑的空间误差,应根据具体情况分析处理。

4) 本工序的装夹误差会直接影响被加工表面与切削刀具的相对位置,应考虑这项误差。装夹误差包括定位误差和夹紧误差。

3. 确定加工余量的方法

确定加工余量的方法有经验法、查表法和计算法 3 种。

1) 经验法。由一些有经验的工程技术人员或工人根据经验确定加工余量的大小。为了保证不致由于加工余量不够而出废品,估计出来的余量总是偏大,多用于单件小批生产,在模具生产中广泛采用。

2) 查表法。以工厂生产实践和实验研究积累的经验所制成的表格为基础,并结合实际加工情况加以修正,确定加工余量。这种方法方便、迅速,生产上应用广泛。

3) 计算法。在影响因素清楚的情况下,用计算法是比较准确的。要做到对余量影响因素清楚,必须具备一定的测量手段和掌握必要的统计分析资料。在掌握了各项误差因素大小的条件下,才能比较准确地计算余量。

4. 工序尺寸及公差计算

工序尺寸及公差的计算分为工艺基准与设计基准重合和不重合两种情况。

(1) 基准重合时工序尺寸及公差计算

生产上绝大部分加工面都是基准重合的情况,确定工序尺寸及公差时,由最后一道工序开始向前推算,计算步骤如下。

1) 查表或凭经验估计确定毛坯总余量和工序余量。

2) 求出工序基本尺寸。从设计尺寸开始,一直倒着推算到毛坯尺寸。

3) 确定工序尺寸公差。最终工序尺寸及公差等于设计尺寸及公差,其余工序尺寸公差按经济精度确定,见表 2-4 ~ 表 2-6。

4) 标注工序尺寸及偏差。最后一道工序尺寸的公差按设计尺寸标注,其余工序尺寸公差按“人体原则”标注,毛坯尺寸公差按对称偏差标注。

例 2.1: 如图 2-7 所示圆凹模上 $\phi 28^{+0.021}_0$ mm 的孔,经粗车—半精车—精



车—热处理—磨孔达到设计要求，淬火硬度为 58~62HRC， $R_a = 0.8\mu\text{m}$ 。试确定各工序尺寸及偏差。

解：通过查表或凭经验确定毛坯总余量、公差、工序余量，以及经济精度等级和表面经济粗糙度，然后计算工序基本尺寸。各项结果见表 2-7。

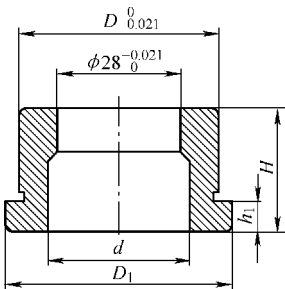


图 2-7 圆凹模

表 2-7 工序尺寸及偏差的计算 (单位: mm)

工序名称	工序余量	工序基本尺寸	经济精度等级	表面经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	工序尺寸及偏差
磨孔	0.4	28	H7 ($\begin{smallmatrix} +0.02 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	0.8	$\phi 28 \begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix}$
精车	1	$28 - 0.4 = 27.6$	H8 ($\begin{smallmatrix} +0.033 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	1.6	$\phi 27.6 \begin{smallmatrix} +0.033 \\ 0 \end{smallmatrix}$
半精车	1.8	$27.6 - 1 = 26.6$	H10 ($\begin{smallmatrix} +0.084 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	3.2	$\phi 26.6 \begin{smallmatrix} +0.084 \\ 0 \end{smallmatrix}$
粗车	2.8	$26.6 - 1.8 = 24.8$	H12 ($\begin{smallmatrix} +0.21 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	12.5	$\phi 24.8 \begin{smallmatrix} +0.21 \\ 0 \end{smallmatrix}$
毛坯		$24.8 - 2.8 = 22$	± 1.2		$\phi 22 \pm 1.2$

(2) 基准不重合时工序尺寸及公差

当工艺基准与设计基准不重合时，确定各工序尺寸及公差必须运用工艺尺寸链原理来解决。

在零件加工过程中，由相互联系的一组尺寸所形成的尺寸封闭图形称为工艺尺寸链。直接通过调刀得到的，称为组成环。间接得到的，称为封闭环。若某组成环尺寸变化时引起封闭环作同向变化，则该组成环称为增环，反之称为减环。

工艺尺寸链的计算公式与符号说明见表 2-8。

表 2-8 工艺尺寸链的计算公式与符号说明

序号	计算公式	符号说明			
		符号名称	封闭环	增环	减环
1	$L_0 = \sum_{i=1}^m \vec{L}_i - \sum_{j=1}^n \vec{L}_j$	基本尺寸	L_0	$\vec{L}_i$	$\vec{L}_j$
2	$ES_0 = \sum_{i=1}^m \vec{ES}_i - \sum_{j=1}^n \vec{EI}_j$	上偏差	ES_0	$\vec{ES}_i$	$\vec{ES}_j$
3	$EI_0 = \sum_{i=1}^m \vec{EI}_i - \sum_{j=1}^n \vec{ES}_j$	下偏差	EI_0	$\vec{EI}_i$	$\vec{EI}_j$
4	$L_{0\max} = \sum_{i=1}^m \vec{L}_{i\max} - \sum_{j=1}^n \vec{L}_{j\max}$	最大极限尺寸	$L_{0\max}$	$\vec{L}_{i\max}$	$\vec{L}_{j\max}$





(续)

序号	计算公式	符号说明			
		符号名称	封闭环	增环	减环
5	$L_{0\min} = \sum_{i=1}^m \bar{L}_{i\min} - \sum_{j=1}^n \bar{L}_{j\min}$	最小极限尺寸	$L_{0\min}$	$\bar{L}_{i\min}$	$\bar{L}_{j\min}$
6	$T_0 = \sum_{i=1}^{m+n} T_i$	公差	T_0	$\bar{T}_i$	$\bar{T}_i$
7	$L_{0m} = \sum_{i=1}^m \bar{L}_{im} - \sum_{j=1}^n \bar{L}_{jm}$ 其中: $L_{im} = (L_{imax} - L_{imin})/2$	平均尺寸	L_{0m}	$\bar{L}_{im}$	$\bar{L}_{jm}$
8	$T_{im} = T_0/(m+n)$	平均公差	m 为增环总环数, n 为减环总环数		

例 2.2: 如图 2-8a 所示零件, 尺寸 $60_{-0.12}^0$ mm 已经保证, 现以面 1 定位精铣面 2, 试计算工序尺寸 A_2 。

解: 由图 2-8a 可知, 面 2 的设计尺寸 $25_{+0}^{+0.22}$ mm 的设计基准为上平面 3, 而定位基准为底面 1, 基准不重合。当以面 1 定位加工面 2 时, 将按工序尺寸 A_2 进行加工, 而设计尺寸 $25_{+0}^{+0.22}$ mm 是本工序间接保证的尺寸, 为封闭环。其尺寸链如图 2-8b 所示, 其中 A_1 为增环, A_2 为减环。尺寸 A_2 的计算如下。

由表 2-8 中的公式 1 求基本尺寸: $25 = 60 - A_2$, 则 $A_2 = 35$ mm。

由表 2-8 中的公式 3 求上偏差: $0 = -0.12 - ES_2$, 则 $ES_2 = -0.12$ mm

由表 2-8 中的公式 2 求下偏差: $+0.22 = 0 - EI_2$, 则 $EI_2 = -0.22$ mm

最终求得工序尺寸 $A_2 = 35_{-0.22}^{-0.12}$ mm。

通过分析以上计算结果可以发现, 由于基准不重合而进行尺寸换算, 明显提高了对加工的要求。如果能按原设计尺寸 $25_{+0}^{+0.22}$ mm 进行加工, 其公差值为 0.22 mm, 换算后的加工尺寸 $A_2 = 35_{-0.22}^{-0.12}$ mm, 公差为 0.10 mm, 减小了 0.12 mm, 此值恰是另一组成环的公差值。

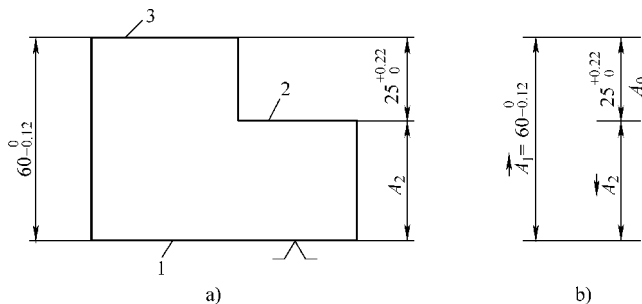


图 2-8 基准不重合时工序尺寸计算



2.8 工艺装备的选择

设备及工装的选择对保证零件的加工质量和提高生产率有着直接的作用。

1. 机床的选择

在选择设备时,应注意以下几点。

1) 机床的主要规格尺寸应与零件的外廓尺寸相适应。即小零件应选小的机床,大零件应选大的机床,做到机床的合理使用。

2) 机床的精度应与工序要求的加工精度相适应。对于高精度的零件加工,在缺乏精密机床时,可通过机床改造“以粗干精”。

3) 机床的生产率与加工零件的生产类型相适应。单件小批生产选择通用机床,大批量生产选择高生产率的专用机床。

4) 机床选择还应结合现场的实际情况。例如机床的类型、规格及精度状况、机床负荷的平衡状况,以及设备的分布排列情况等。

2. 夹具的选择

选择夹具主要应考虑生产类型,同时,夹具的精度应与加工精度相适应。模具零件的生产属于单件小批生产,一般选用通用夹具、拼装夹具等,但当零件形状结构较复杂,且各表面间的相互位置精度要求较高时,也可采用专用夹具或考虑采用成组夹具。模具标准件属于大批量生产,可采用高生产率的气、液传动的专用夹具。

3. 刀具的选择

选择刀具主要应考虑各工序所采用的加工方法、加工表面尺寸的大小、工件材料、所要求的加工精度和表面粗糙度、生产率和经济性等。刀具的类型、规格及精度等级应符合加工要求,特别是对刀具寿命的要求是一项重要指标。模具零件的加工一般采用标准刀具,必要时也可采用各种高生产率的复合刀具及其他一些专用刀具。

4. 量具选择

量具主要根据生产类型和所要求的检验精度来选择。所选用量具能达到的准确度应与零件的精度要求相适应。单件小批生产中广泛采用游标卡尺、千分尺等通用量具;大批生产常采用极限量规等高效量具;当零件形状结构较复杂,且各表面间的相互位置精度要求较高时,可考虑采用专用量具检验。

思考与练习题

1. 何谓设计基准,何谓工艺基准?
2. 如何正确拟定模具机械加工工艺路线?





3. 如图 2-9 所示, 试分析加工该零件各平面及孔的设计基准、定位基准、工序基准和测量基准。

4. 如图 2-10 所示, 按零件的结构工艺性要求, 指出该零件在结构上存在的问题, 并提出改进意见。

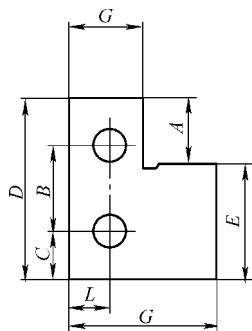


图 2-9

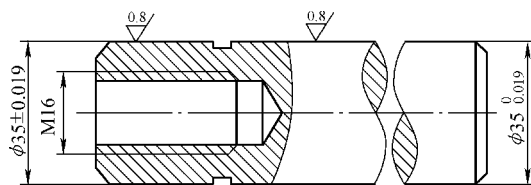


图 2-10

5. 在零件的机械加工工艺过程中, 应如何选择精基准和粗基准?

6. 安排零件在加工中各道工序的先后顺序时应遵循哪几项原则? 试举例说明。

第3章 模具的技术经济与质量分析

模具是由若干个模具零件按照技术要求装配而成，每个模具零件都需要加工获得，但每个模具的加工工艺方案并不是唯一的，也就是说可以通过不同的技术手段、技工设备等同样加工完成，满足模具零件的技术要求。这些不同的加工工艺过程直观地反映是工序的简与繁，反映到经济上就是贵和便宜，最终将影响模具的生产成本，影响模具的售价，影响模具制造企业的经济效益与市场竞争力。因此，在模具零件的加工上必须进行经济分析比较，选择一个在给定的生产条件下最为经济的方案。

模具加工的经济性与模具的质量是紧密联系在一起，模具企业不能为追求最大化的经济效益而降低模具的制造精度、模具寿命，也不能单纯为提高模具的质量而不考虑经济性，综合考虑在一起就是模具的技术经济指标。

模具根据在工作状态和非工作状态的精度，可分别称为动态精度和静态精度。模具的精度主要体现在模具工作零件的精度和相关部位的配合精度。

模具工作部位的精度高于产品制件的精度，例如：冲裁模刃口尺寸的精度要高于产品制件的精度。在工作状态下，受到工作条件的影响，其静态精度数值往往发生了变化，这时的精度称为动态精度。一般模具的精度应与产品制件的精度相协调，同时也受模具加工技术手段、条件的制约。

影响模具精度的主要因素有以下几点。

1) 制件的精度。产品制件的精度越高，模具工作零件的精度就越高。模具精度的高低不仅对产品制件的精度有直接影响，而且对模具的生产周期、生产成本，以及使用寿命都有很大的影响。

2) 模具加工技术手段的水平。模具加工设备的加工精度和自动化程度，是保证模具精度的基本条件。今后模具零件精度将更大地依赖于模具加工技术手段的高低。

3) 模具装配钳工的技术水平。模具的最终精度在很大程度上依赖于装配调试，模具光整表面的表面粗糙度大小也主要依赖于模具钳工的技术水平，因此模具装配钳工技术水平是影响模具精度的重要因素。

4) 模具制造的生产方式和管理水平。模具制造的生产方式和管理水平同样在很大程度上影响模具制造精度水平。例如模具工作刃口尺寸在模具设计和生产时，是采用“实配法”，还是“分别制造法”是影响模具精度的重要方面。





3.1 模具的技术经济分析

模具的技术经济指标是衡量一个国家、地区和企业模具生产技术水平的重要标志。模具的技术经济指标概括起来可以归纳为：模具生产周期、模具生产成本和模具寿命、模具精度、模具刚度等。它们之间互相影响，相互制约，又相互依存，影响因素是多方面的。在模具生产过程中应根据设计要求和客观情况，抓住主要矛盾，综合考虑平衡各项指标，求得最佳的经济效益，满足生产的需要。

为得到较好的模具技术经济指标，在接受模具制造的委托时，首先，要根据制品零件图样或实物，结合企业的生产实际，分析研究制件质量要求、模具的结构、套数、主要加工方法，以及各种加工方法所用的工具、夹具、交货期、模具寿命等，同时，还应该对模具制造和试模过程中可能出现的问题以及制成后的使用情况有充分的了解和估计，还要考虑到不可预见的情况，然后，在此基础上进行模具价格估算，接受定货、进行模具设计、零件加工、装配、调整、试模，直到生产出符合要求的制品。

3.1.1 模具生产周期

模具生产周期是指从接受模具订货任务开始，到模具试模鉴定后交付合格模具所用的时间。

随着市场竞争的剧烈，为满足模具使用单位不断创新的更新换代需要，模具的生产周期要求越来越短。对模具生产企业来说，从生产到管理各个环节都有较高的要求，只有这样才能适应不断发展的需要。因此，模具生产周期长短是衡量一个模具企业生产能力和技术水平的重要标志之一，也关系到一个模具企业在激烈的市场竞争中有无立足之地。同时，模具的生产周期长短也是衡量一个国家模具技术管理水平高低的标志。

影响模具生产周期的主要因素有以下几点。

1) 模具技术和生产的标准化程度。这是影响模具生产周期的重要因素。模具标准化程度是一个国家模具技术和生产发展到一定水平的产物。过去由于我国企业的小而全和大而全状况，思想意识上也普遍认为只有自己生产的才是最好的，使得模具标准件的商品化程度还不高。随着改革开放和市场经济的发展，目前我国模具技术的标准化已有良好的基础，有模具基础技术标准、各种模具设计标准、模具工艺标准、模具毛坯和半成品件标准，以及模具检验和验收标准等。

2) 模具企业的专门化程度。现代工业发展的趋势是企业分工越来越细，企



业的专门化程度越高,越能提高产品质量和经济效益,并有利于缩短产品生产周期。目前,我国模具企业的专门化程度还较低。只有各模具企业生产自己最擅长的模具类型,有明确和固定的服务范围,同时,各模具企业互相配合搞好协作化生产,才能缩短模具生产周期。

3) 模具生产技术手段的现代化。模具设计、生产、检测手段的现代化也是影响模具生产周期的重要因素。只有大力推广和普及模具 CAD/CAM 等先进技术,才能使模具的设计效率得到大幅度提高;模具的加工中广泛使用先进的技术装备,如:毛坯下料采用高速锯床、阳极切割和砂轮切割等高效设备;粗加工要采用高速铣床、强力高速磨床;精密加工采用高精度的数控机床,如数控仿形铣床、数控光学曲线磨床、高精度数控电火花线切割机床、数控连续轨迹坐标磨床等,推广先进快速制模技术,才能使模具生产技术手段提高到一个新水平。

4) 模具生产的经营和管理水平。这是一个综合效应。认真研究模具生产企业的规律与特点,采用现代化的管理手段和制度管理企业,从管理上要效率,也是影响模具生产周期的重要因素。

3.1.2 模具生产成本

模具生产成本是指企业为生产和销售模具所支付费用的总和。模具生产成本包括原材料费、外购件费、外协件费、设备折旧费、经营开支等。

从与模具生产过程有直接关系的生产成本来讲,影响模具生产成本的主要因素有以下几点

1) 模具结构的复杂程度和模具功能的高低。模具的结构越复杂、模具的功能越多、使用模具生产制件的自动化程度越高,相应使得模具生产成本越高。

2) 模具精度的高低。模具精度和刚度应该与客观需要的产品制件的要求和生产纲领的要求相适应。模具的精度和刚度要求越高,模具生产成本也就越高。

3) 模具材料的选择。模具费用中,特别是模具工作部分零件所使用的材料不同,反映在模具寿命上相差较大。材料费在模具生产成本中约占 25% ~ 30%,所以,应正确地选择模具材料,应使所使用的模具材料与模具寿命要求相协调,同时,应采取各种措施充分发挥材料的效能。

4) 模具加工设备。模具发展趋势要求模具加工设备向高效、高精度、高自动化、多功能方向发展。一方面设备的价格较高,另一方面维护设备的费用提高,同时,对设备操作人员的要求提高,从而使得模具成本提高。所以,模具生产企业要充分发挥这些设备的效能,提高设备的使用效率。

5) 模具的标准化程度和企业生产的专门化程度。这些都是制约模具成本和生产周期的重要因素。





3.1.3 模具寿命

模具寿命是指模具在保证所加工产品零件质量的前提下，所能加工的制件的总数量，它包括工作面的多次修磨和易损件更换后的寿命。

模具正常损坏的形式也不一样，对工作表面来说损坏的形式有摩擦损坏、塑性变形、开裂、疲劳损坏、啃伤等。一般要求在模具设计阶段就应根据模具对应制件的生产纲领明确模具的设计寿命。

影响模具寿命的主要因素有以下几点。

1) 模具结构。合理的模具结构有助于提高模具的承载能力，减轻模具承受的热及机械负荷。可靠的模具导向机构可以避免凸模和凹模间的互相啃伤；承受高强度负荷的冷墩和冷挤压模具通过截面尺寸变化处理可以防止应力集中。

2) 模具材料。应根据制件的生产纲领选择模具材料。生产批量大的应选择承载能力强、抗疲劳破坏能力好的高性能模具材料。

3) 模具加工质量。模具零件在加工、热处理过程中所产生的缺陷都会影响模具寿命。如：模具表面残存的刀痕、电火花加工的显微裂纹、热处理时的表层增碳和脱碳等缺陷都对模具的承载能力和寿命带来影响。

4) 模具工作状态。模具工作时，使用设备的精度与刚度、润滑条件、被加工材料的预处理状态、模具的预热和冷却条件等都对模具寿命产生影响。如：薄料的精密冲裁对压力机的精度、刚度尤为敏感，必须选择高精度、高刚度的压力机，才能获得良好的效果。

5) 产品零件状况。被加工零件材料的表面质量状态、材料硬度、伸长率等力学性能，被加工零件的尺寸精度等都与模具寿命有直接的关系。如：镍的质量分数为80%的特殊合金成形时极易和模具工作表面发生强烈的咬合现象，使工作表面咬合拉毛，直接影响模具能否正常工作。

3.1.4 模具精度

模具精度主要体现在模具零件的加工精度和相关模具零部件的配合精度两个方面，是一项综合指标。高质量的模具零件是保障模具精度的前提，但没有好的模具装配同样生产不出高精度的模具。虽然受模具加工技术手段的制约，但一般模具的精度应与产品制件的精度相协调。

模具在非工作状态下测量出的精度为模具的静态精度。在工作状态时，受到工作条件的影响，其静态精度数值都发生了变化，这时称为模具的动态精度。模具的动态精度在实际生产中才具有真正的实际意义。

影响模具精度的主要因素有以下几点。

1) 产品制件精度。模具工作部位的精度高于产品制件的精度，产品制件的



精度越高,模具工作零件的精度就越高。模具精度的高低不仅对产品制件的精度有直接影响,而且对模具的生产周期、生产成本都有很大的影响。

2) 模具加工的技术手段水平。模具加工设备的加工精度、自动化程度等技术手段水平是保证模具精度的基本条件。模具精度的高低很大程度上依赖于模具加工技术手段的高低。

3) 模具装配钳工的技术水平。模具的精度保障需要高水平的模具装配钳工来实现,尤其是模具光整表面的表面粗糙度数值主要依赖模具钳工来完成。因此,模具钳工技术水平高低是影响模具精度的重要因素。

4) 模具制造的生产方式和管理水平。生产方式和管理模式的不同将影响到模具精度。如:模具工作刃口尺寸在模具设计和生产时,是采用“实配法”,还是采用“分别制造法”是影响模具装配精度的重要因素。

3.1.5 模具刚度

模具刚度是指模具在工作状态下抵抗变形的能力。模具不仅要求精度高,还应有良好的刚度。对于高速冲压模、大型件冲压成形模、精密塑料模和大型塑料模,这类模具工作负荷较大,当出现较大的弹性变形时,不仅会影响模具的动态精度,而且关系到模具能否继续正常工作。因此,在模具设计中,在满足强度要求的同时,对于模具刚度也应得到保证,同时,在制造时也要避免由于加工不当而造成的附加变形。

3.2 模具零件制造精度分析

模具零件的加工质量是保证产品质量的基础。零件的机械加工质量包括零件的机械加工精度和加工表面质量两大方面,也就是说零件的加工精度包括:尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度。本节主要讨论模具零件的机械加工中的尺寸精度、形状精度、位置精度问题。

模具零件制造精度是指零件加工后的实际几何参数与设计几何参数的符合程度。符合程度越高,加工精度就越高。在机械加工过程中,由于各种因素的影响,使得加工出的零件,不可能与设计的要求完全符合。同时,零件的加工精度越高加工成本就越高,生产效率就越低。因此,设计人员应根据零件的使用要求,合理地规定零件的加工精度。

模具零件的机械加工中的尺寸精度、形状精度、位置精度三者之间是有联系的。通常形状误差应限制在位置公差之内,而位置误差一般也应限制在尺寸公差之内。当尺寸精度要求高时,相应的位置精度、形状精度也应提高要求,但形状精度要求高时,相应的位置精度和尺寸精度有时不一定要高,这要根





据零件的功能要求来决定。

3.2.1 影响模具零件制造精度的因素

在机械加工中,零件的尺寸、几何形状和表面间相对位置的形成,取决于工件和刀具在切削运动过程中相互位置的关系,而工件和刀具又安装在夹具和机床上,并受到夹具和机床的约束。因此,在机械加工时,机床、夹具、刀具和工件就构成了一个完整的系统,称之为工艺系统,加工精度问题也就牵涉到整个工艺系统的精度问题。工艺系统中的种种误差,在不同的具体条件下,以不同的程度和方式反映为加工误差。工艺系统的误差是“因”,是根源,加工误差是“果”,是表现。因此,把工艺系统的误差称之为原始误差。

1. 工艺系统的几何误差对加工精度的影响

(1) 加工原理误差

加工原理误差是指采用了近似的成形运动或近似的刀刃轮廓进行加工而产生的误差。这种近似的加工方法虽然会带来加工原理误差,但往往可简化机床结构或刀具形状,或可提高生产效率,且能得到满足要求的加工精度。因此,只要其误差不超过规定的精度要求,在生产中仍能得到广泛的应用。

在三坐标数控铣床上铣削复杂形面零件时,通常要用球头刀并采用“行切法”加工,就是球头刀与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的,由于数控铣床一般只具有空间直线插补功能,所以,即便是加工一条平面曲线,也必须用许多很短的折线段去逼近它。当刀具连续地将这些小线段加工出来时,也就得到了所需的曲线形状,逼近的精度可由每根线段的长度来控制。因此,在曲线或曲面的数控加工中,刀具相对于工件的成形运动是近似的。这种方法实质上是将空间立体表面视为众多的平面截线的集合,每两次走刀之间的行间距 s 可以按下式确定。

$$s = \sqrt{8Rh}$$

式中 R ——球头刀半径;

h ——允许的表面平面度。

在滚齿机上用滚刀加工齿轮时,就有两种误差:一是为了制造方便,采用阿基米德蜗杆或法向直廓蜗杆代替渐开线基本蜗杆而产生的刀刃齿廓形误差;二是由于滚刀刀齿有限,实际上加工出的齿形是一条由微小折线段所组成的曲线,和理论上的光滑渐开线有差异,从而产生加工原理误差。

(2) 调整误差

在机械加工的每一道工序中,总是要对工艺系统进行这样或那样的调整工作。由于调整不可能绝对地准确,因而会产生调整误差。

通常工艺系统的调整有两种基本方法:试切法和调整法,不同的调整方式有不同的误差来源方式。



1) 试切法。模具生产中普遍采用试切法加工。加工时先在工件上试切,根据测得的尺寸与要求尺寸的差值,用进给机构调整刀具与工件的相对位置,然后再进行试切、测量和调整,直至符合规定的尺寸要求时再正式切削出整个待加工表面。采用试切法时引起调整误差的因素有:测量误差、机床进给机构的位移误差、试切与正式切削时切削层厚度变化等。试切法比较符合实际加工情况,可得到较高的加工精度。

2) 调整法。在成批、大量的生产中,广泛采用试切法预先调整好刀具与工件的相对位置,并在一批零件的加工过程中保持这种相对位置不变,来获得所要求的零件尺寸。调整法较费时。因此,实际使用时可先根据样件进行初调,然后,试切若干工件,再根据试切结果作出精确微调。这样既缩短了调整时间,又可得到较高的加工精度。

(3) 机床误差

机床的制造误差、安装误差和磨损是引起机床误差的原因。机床误差的项目很多,但对工件加工精度影响较大的主要有以下几点。

1) 机床导轨导向误差是指机床导轨副的运动件实际运动方向与理想运动方向的符合程度。导轨是机床中确定主要部件相对位置的基准,也是运动的基准,它的各项误差直接影响被加工工件的精度。

2) 机床主轴的回转误差是指机床主轴的回转精度。机床主轴是用来装夹工件或刀具的,并传递主要切削运动的重要零件,是机床精度的一项很重要的指标。主要影响零件加工表面的几何形状精度、位置精度等。

(4) 夹具的制造误差与磨损

夹具的制造误差与磨损主要有:定位元件、刀具导向元件、分度机构、夹具体等的制造误差;夹具装配后,各元件工作面间的相对尺寸误差;夹具在使用过程中工作表面的磨损。

一般来说,夹具误差对加工表面的位置误差影响最大。在设计夹具时,凡影响工件精度的尺寸应严格控制其制造误差,精加工用夹具的尺寸公差一般可取工件上相应尺寸或位置公差的 $1/5 \sim 1/10$,粗加工用夹具则可取为 $1/2 \sim 1/3$ 。

(5) 刀具的制造误差与磨损

刀具制造误差根据刀具的种类、材料等对加工精度的影响不尽相同。

1) 采用定尺寸刀具(如钻头、铰刀、键槽铣刀、镗刀块及圆拉刀等)加工时,刀具的尺寸精度直接影响工件的尺寸精度。

2) 采用成形刀具(如成形车刀、成形铣刀、成形砂轮等)加工时,刀具的形状精度将直接影响工件的形状精度。

3) 展成刀具(如齿轮滚刀、花键滚刀、插齿刀等)的刀刃形状必须是加工表面的共扼曲线。因此,刀刃的形状精度会影响加工表面的形状精度。





4) 对于一般刀具(如车刀、铣刀、镗刀),其制造精度对加工精度无直接影响,但这类刀具的寿命较低,刀具容易磨损。

任何工具在切削过程中都不可避免地要产生磨损,并由此引起工件尺寸和形状误差。刀具的尺寸磨损是指刀刃在加工表面的法线方向上的磨损量,它直接反映出刀具磨损对加工精度的影响。

2. 工艺系统受力变形引起的加工误差

机床、刀具、夹具和工件组成切削加工时的工艺系统,在切削力、夹紧力以及重力等的作用下,将产生相应的变形,使刀具和工件在静态下调整好的相互位置,以及切削成形运动所需要的正确几何关系发生变化,从而造成加工误差。

工艺系统受力变形通常是弹性变形,是加工中一项很重要的原始误差。一般来说,工艺系统抵抗弹性变形的能力越强,则加工精度越高。

(1) 工艺系统刚度对加工精度的影响

1) 切削力作用点位置变化引起的工件形状误差。切削过程中,工艺系统的刚度会随切削力作用点位置的变化而变化,这使得工艺系统受力变形也随之变化,引起工件形状误差。

2) 切削力大小变化引起的加工误差。例如:在车床上加工短轴,这时如果毛坯形状误差较大或材料硬度很不均匀,工件加工时切削力的大小就会有较大变化,工艺系统的变形也就会随切削力大小的变化而变化,从而引起工件加工误差。

分析可知,当工件毛坯有形状误差(如圆度、圆柱度、直线度等)或相互位置误差(如偏心、径向圆跳动等)时,加工后仍然会有同类的加工误差出现。在成批大量生产中用调整法加工一批工件时,如果毛坯尺寸不一,那么加工后这批工件仍有尺寸不一的误差,这一现象叫做误差复映。

如果一批毛坯材料硬度不均匀,差别很大,就会使工件的尺寸分散范围扩大,甚至超差。

3) 夹紧力和重力引起的加工误差。工件在装夹时,由于工件刚度较低或夹紧力着力点不当,会使工件产生相应的变形,造成加工误差。

4) 传动力和惯性力对加工精度的影响。这个影响主要有以下两点。

① 机床传动力对加工精度的影响。主要取决于传动件作用于被传动件上的力学分析情况。当存在有使工件及定位件产生变形的力时,刀具相对于工件发生误差位移,从而引起加工误差。

② 惯性力的影响。当高速切削时,如果工艺系统中有不平衡的高速旋转构件存在,就会产生离心力,它和传动力一样,在工件的每一转中不断变更方向,引起工件几何轴线作摆动,从而引起加工误差。此外,周期变化的惯性力还常



常引起工艺系统的强迫振动。针对惯性力的影响可采用“对重平衡”的方法来消除这种影响，即在不平衡质量的反向加装重块，使两者的离心力相互抵消。

(2) 减小工艺系统受力变形对加工精度影响的措施

减小工艺系统受力变形是保证加工精度的有效途径之一。在实际生产中，常从两个主要方面采取措施来予以解决：一是提高系统刚度；二是减小载荷及其变化。

1) 提高工艺系统的刚度。提高工艺系统的刚度的措施有：合理的结构设计；提高连接表面的接触刚度；采用合理的装夹和加工方式。

2) 减小载荷及其变化。采取适当的工艺措施，如合理选择刀具几何参数和切削用量以减小切削力，就可以减少受力变形。

3) 减小工件残余应力引起的变形。残余应力（也称内应力）是指在没有外力的作用下或去除外力后工件内存留的应力，是由于金属内部相邻组织发生了不均匀的体积变化而产生的，主要来自冷、热加工。具有残余应力的零件处于一种不稳定的状态，零件将会不断缓慢地翘曲变形，原有的加工精度会逐渐丧失。

要减少残余应力的措施有：增加消除内应力的热处理工序；合理安排工艺过程；改善零件结构，提高零件的刚性。

3. 工艺系统的热变形对加工精度的影响

在机械加工过程中，工艺系统会受到各种热的影响而产生温度变形，即所谓的热变形。引起工艺系统变形的热源可分内部热源和外部热源两大类。内部热源主要指切削热和摩擦热，它们产生于工艺系统内部，其热量主要是以热传导的形式传递的。外部热源主要是指工艺系统外部的环境温度对流传热（它与气温变化、通风、空气对流和周围环境等有关）和各种辐射热（包括由阳光、照明、暖气设备等发出的辐射热）。工艺系统的热变形会破坏刀具与工件的正确几何关系和运动关系，造成工件的加工误差，还影响加工效率。

工艺系统在各种热源作用下，温度会逐渐升高，同时它们也通过各种传热方式向周围的介质散发热量。当工件、刀具和机床的温度达到某一数值时，单位时间内散出的热量与热源传入的热量趋于相等，这时工艺系统就达到了热平衡状态。在热平衡状态下，工艺系统各部分的温度就保持在一个相对固定的数值上，因而各部分的热变形也就相应地趋于稳定。为减少热变形对加工精度的影响，精加工时通常需要预热机床以获得热平衡，或降低切削用量以减少切削热和摩擦热，或粗加工后停机以待热量散发后再进行精加工，或使粗、精加工分开进行等。

(1) 工件热变形对加工精度的影响

在工艺系统热变形中，机床热变形最为复杂，工件的热变形则相对简单一





些。这主要是因为加工过程中,影响机床热变形的热源较多,也较复杂,而对工件来说,热源比较简单。因此,工件的热变形常可用解析法进行估算和分析。

(2) 刀具热变形对加工精度的影响

刀具热变形主要是由切削热引起的。通常传入刀具的热量并不太多,但由于热量集中在切削部分,而且刀体小,热容量小,故仍会有很高的温升。

连续切削时,刀具的热变形在切削初始阶段增加很快,随后变得较缓慢,经过不长的一段时间后(约10~20min)便趋于热平衡状态。此后,热变形变化量就非常小。通常刀具总的热变形量可达0.03~0.05mm。

为了减小刀具的热变形,应合理选择切削用量和刀具几何参数,并给予充分冷却和润滑,以减少切削热,降低切削温度。

(3) 机床热变形对加工精度的影响

机床在工作过程中,受到内外热源的影响,各部分的温度将逐渐升高。由于各部件的热源不同,分布不均匀,以及机床结构的复杂性,导致各部件的温升不同,而且同一部件不同位置的温升也不相同,进而形成不均匀的温度场,使机床各部件之间的相互位置发生变化,破坏了机床原有的几何精度而造成加工误差。

机床空运转时,各运动部件产生的摩擦热基本不变。运转一段时间之后,各部件传入的热量和散失的热量基本相等,即达到热平衡状态,变形趋于稳定。机床达到热平衡状态时的几何精度称为热态几何精度。在机床达到热平衡状态之前,机床几何精度变化不定,对加工精度的影响也变化不定。因此,精密加工应在机床处于热平衡之后进行。

3.2.2 提高模具零件加工精度的途径

机械加工误差是由工艺系统中的原始误差引起的。在对某一特定条件下的加工误差进行分析时,首先要列举出其原始误差,即要了解所有原始误差因素,以及对每一原始误差的数值和方向定量化。其次要研究原始误差与零件加工误差之间的数据转换关系。最后,用各种测量手段实测出零件的误差值,进而采取一定的工艺措施消除或减少加工误差。

生产实际中尽管有许多减少误差的方法和措施,但从消除或减少误差的技术上看,可将它们分成两大类。

1) 误差预防技术是指减小原始误差或减少原始误差的影响,亦即减少误差源或改变误差源与加工误差之间的数量转换关系。但实践与分析表明,精度要求高于某一程度后,利用误差预防技术来提高加工精度所花费的成本将成指数规律的增长。



2) 误差补偿技术是指在现存的原始误差条件下,通过分析、测量,进而建立数学模型,并以这些原始误差为依据,人为地在工艺系统中引入一个附加的误差源,使之与工艺系统原有的误差相抵消,以减少或消除零件的加工误差。从提高加工精度的方面考虑,在现有工艺系统条件下,误差补偿技术是一种行之有效的办法。特别是借助计算机辅助技术,可达到很好的实际效果。

3.3 模具机械加工的表面质量

3.3.1 模具零件的表面质量

1. 加工表面质量的含义

模具零件加工表面质量也称表面完整性,它主要包含以下两个方面的内容。

(1) 表面的几何特征

表面的几何特征,主要由以下几部分组成。

1) 表面粗糙度。即加工表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特征。它主要与刀刃的形状、刀具的进给以及切屑的形成等因素有关,其波高与波长的比值一般大于1:50。

2) 表面波度。即介于宏观几何形状误差与表面粗糙度之间的中间几何形状误差。它主要是由切削刀具的偏移和振动造成的,其波高与波长的比值一般为1:50~1:1 000。

3) 表面加工纹理。即表面微观结构的主要方向。它取决于形成表面所采用的机械加工方法,即主运动和进给运动的关系。

4) 伤痕。即在加工表面上一些个别位置上出现的缺陷。它们大多是随机分布的,如砂眼、气孔、裂痕和划痕等。

(2) 表面层力学物理性能

表面层力学物理性能的变化,主要有三个方面的内容:①表面层加工硬化;②表面层金相组织的变化;③表面层残余应力。

2. 零件表面质量对零件使用性能的影响

(1) 零件表面质量对零件耐磨性的影响

零件的耐磨性与摩擦副的材料、润滑条件和零件表面质量等因素有关。特别是在前两个条件已确定的前提下,零件表面质量就起着决定性的作用。

当两个零件的表面接触时,其表面凸峰顶部先接触,因此实际接触面积大大小于理论上的接触面积。表面越粗糙,实际接触面积就越小,凸峰处单位面积压力就会增大,表面磨损更容易。即使在有润滑油的条件下,也会因接触处压强超过油膜张力的临界值,破坏了油膜的形成,从而加剧表面层的磨损。





表面粗糙度虽然对摩擦面影响很大,但并不是表面粗糙度数值越小越耐磨。从图 3-1 的试验曲线可知,表面粗糙度 R_a 与初期磨损量 Δ_0 之间存在一个最佳值。此点所对应的是零件最耐磨的表面粗糙度值。在一定条件下,若零件表面粗糙度值过大,实际压强增大,凸峰间的挤裂、破碎和切断等作用加剧,磨损也就明显。在零件表面粗糙度值过小的情况下,紧密接触的两个光滑表面间储油能力很差。一旦润滑条件恶化,则两表面金属分子间产生较大亲和力,因粘合现象而使表面产生“咬焊”,导致磨损加剧。因此零件摩擦表面粗糙度值偏离最佳值太大(无论是过小还是过大)是不利的。

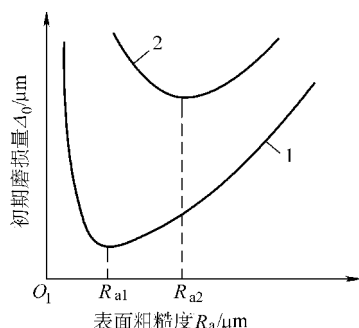


图 3-1 初期磨损量与表面粗糙度
1—轻载荷 2—重载荷

在不同的工作条件下,零件的最优表面粗糙度值是不同的。重载荷情况下零件的最优表面粗糙度值要比轻载荷时大。表面粗糙度的轮廓形状和表面加工纹理对零件的耐磨性也有影响,因为表面轮廓形状及表面加工纹理影响零件的实际接触面积与润滑情况。

表面层的加工硬化使零件的表面层硬度提高,从而使表面层的弹性和塑性变形减小,磨损减少,使零件的耐磨性提高。但硬化过度,会使零件的表面层金属变脆,磨损会加剧,甚至出现剥落现象,所以零件的表面硬化层必须控制在一定范围内。

(2) 零件表面质量对零件疲劳强度的影响

零件在交变载荷的作用下,其表面微观上不平的凹谷处和表面层的缺陷处容易引起应力集中而产生疲劳裂纹,造成零件的疲劳破坏。试验表明,减小表面粗糙度值可以使零件的疲劳强度有所提高。因此,对于一些重要零件的表面,如连杆、曲轴等,应进行光整加工,以减小零件的表面粗糙度值,提高其疲劳强度。

加工硬化对零件的疲劳强度影响也很大。表面层的加工硬化可以在零件表面形成一个冷硬层,因而能在一定程度上阻碍表面层疲劳裂纹的出现,从而使零件疲劳强度提高。但零件表面层冷硬程度过大,反而易产生裂纹,故零件的冷硬程度与硬化深度应控制在一定范围之内。

表面层的残余应力对零件疲劳强度也有很大影响,当表面层为残余压应力时,能延缓疲劳裂纹的扩展,提高零件的疲劳强度;当表面层为残余拉应力时,容易使零件表面产生裂纹而降低其疲劳强度。

(3) 零件表面质量对零件耐腐蚀性能的影响



零件的耐腐蚀性在很大程度上取决于零件的表面粗糙度。零件表面越粗糙,越容易积聚腐蚀性物质,凹谷越深,渗透与腐蚀作用越强烈。因此,减小零件表面粗糙度值,可以提高零件的耐腐蚀性能。

表面残余应力对零件的耐腐蚀性能也有较大影响。零件表面残余压应力使零件表面紧密,腐蚀性物质不易进入,可增强零件的耐腐蚀性,而表面残余拉应力则降低零件耐腐蚀性。

(4) 零件的表面质量对配合性质及其他方面的影响

相配零件间的配合关系是用过盈量或间隙值来表示的。在间隙配合中,如果零件的配合表面粗糙,则会使配合件很快磨损而增大配合间隙,改变配合性质,降低配合精度;在过盈配合中,如果零件的配合表面粗糙,则装配后配合表面的凸峰被挤平,配合件间的有效过盈量减小,降低配合件间连接强度,影响了配合的可靠性。因此对有配合要求的表面,必须规定较小的表面粗糙度值。

总之,提高加工表面质量,对保证零件的使用性能、提高零件的寿命是很重要的。

3.3.2 影响模具表面质量的因素及改善途径

1. 影响加工表面几何特征的因素及其改进措施

由上所述,加工表面几何特征包括表面粗糙度、表面波度、表面加工纹理、伤痕等四方面内容,其中表面粗糙度是构成加工表面几何特征的基本单元。

国家标准规定,表面粗糙度等级用轮廓算术平均偏差 R_a 、微观平面度十点高度 R_z 或轮廓最大高度 R_y 的数值大小表示,并要求优先采用 R_a 。

(1) 切削加工后的表面粗糙度

切削加工表面粗糙度值主要取决于切削残留面积的高度。影响切削残留面积高度的因素主要包括:刀尖圆弧半径、主偏角、副偏角及进给量等。

切削加工后表面粗糙度的实际轮廓形状,与纯几何因素所形成的理论轮廓有较大差别。这是由于切削加工中有塑性变形发生的缘故。在实际切削时,选择低速宽刀精切和高速精切,往往可以得到较小的表面粗糙度值。

加工脆性材料时,切削速度对表面粗糙度的影响不大。一般来说,切削脆性材料比切削塑性材料容易达到表面粗糙度的要求。对于同样的材料,金相组织越是粗大,切削加工后的表面粗糙度值也越大。为减小切削加工后的表面粗糙度值,常在精加工前进行调质等处理,目的在于得到均匀细密的晶粒组织和较高的硬度。

此外,合理选择切削液,适当增大刀具的前角、提高刀具的刃磨质量等,均能有效地减小表面粗糙度值。

还有一些其他因素影响加工表面粗糙度,如在已加工表面的残留面积上叠





加着一些不规则金属生成物、粘附物或刻痕等。其形成主要原因有积屑瘤、鳞刺、振动、摩擦、切削刃不平整、切削划伤等。

(2) 磨削加工后的表面粗糙度

正如切削加工时表面粗糙度的形成过程一样，磨削加工表面粗糙度的形成也是由几何因素和表面层金属的塑性变形（物理因素）决定的，但磨削过程要比切削过程复杂得多。

1) 几何因素的影响。磨削表面是由砂轮上大量的磨粒刻划出的无数极细的沟槽形成的。单纯从几何因素考虑，可以认为在单位面积上刻痕越多，即通过单位面积的磨粒数越多，刻痕的等高性越好，则磨削表面的粗糙度值越小。

2) 表面层金属的塑性变形（物理因素）的影响。砂轮的磨削速度远比一般切削加工的速度高，且磨粒大多为负前角，磨削比压大，磨削区温度很高，工件表层温度有时可达 900℃，工件表层金属容易产生相变而烧伤。因此，磨削过程的塑性变形要比一般切削过程大得多。

由于塑性变形的缘故，被磨表面的几何形状与单纯根据几何因素所得到的原始形状大不相同。在力和热等因素的综合作用下，被磨工件表层金属的晶粒在横向被拉长了，有时还产生细微的裂口和局部的金属堆积现象。影响磨削表层金属塑性变形的因素，往往是影响表面粗糙度的决定性因素。

影响工件产生塑性变形的因素主要有：磨削用量，砂轮的粒度、硬度、组织和材料以及磨削液的选择，如何选择各因素的参数，应视具体情况而定。

2. 影响表层金属力学物理性能的工艺因素及其改进措施

由于受到切削力和切削热的作用，表面金属层的力学物理性能会产生很大的变化，最主要的变化是表层金属显微硬度的变化、金相组织的变化和在表层金属中产生残余应力等。

(1) 加工表面层的冷作硬化

1) 冷作硬化的产生。机械加工过程中产生的塑性变形，使晶格扭曲、畸变，晶粒间产生滑移，晶粒被拉长，这些都会使表面层金属的硬度增加，这种现象统称为冷作硬化（或称为强化）。表层金属冷作硬化的结果，会增大金属变形的阻力，减小金属的塑性，金属的物理性质（如密度、导电性、导热性等）也有所变化。

金属冷作硬化的结果，使金属处于高能位不稳定状态，只要一有条件，金属的冷硬结就会本能地向比较稳定的结构转化。这些现象称为弱化。机械加工过程中产生的切削热，将使金属在塑性变形中产生的冷硬现象得到恢复。

由于金属在机械加工过程中同时受到力因素和热因素的作用，机械加工后表层金属的最后性质取决于强化和弱化两个过程的综合。

评定冷作硬化的指标有下列三项：①表层金属的显微硬度 HM；②硬化层深



度 h (单位为 μm)；③硬化程度 N 。

硬化程度与显微硬度的关系如下。

$$N = \frac{HM - HM_0}{HM_0} \times 100\%$$

式中 HM_0 ——工件原表面层的显微硬度。

2) 影响表面冷作硬化的因素。金属切削加工时，影响表面层加工冷作硬化的因素可从4个方面来分析。

① 切削力越大，塑性变形越大，硬化程度越大，硬化层深度也越大。因此，增大进给量和背吃刀量，减小刀具前角，都会增大切削力，使加工过程冷作硬化严重。

② 当变形速度很快（即切削速度很高）时，塑性变形可能跟不上，这样塑性变形将不充分，冷作硬化层深度和硬化程度都会减小。

③ 切削温度高，回复作用增大，硬化程度减小。如高速切削或刀具钝化后切削，都会使切削温度上升，使硬化程度和深度减小。

④ 工件材料的塑性越大，冷作硬化程度也越严重。碳钢中含碳量越大，强度越高，其塑性越小，冷作硬化程度也越小。

金属磨削时，影响表面冷作硬化的因素主要有以下几点。

① 磨削用量的影响。加大磨削深度，磨削力随之增大，磨削过程的塑性变形加剧，表面冷硬倾向增大。提高纵向进给速度，每颗磨粒的切屑厚度随之增大，磨削力加大，冷作硬化程度增大。因此加工表面的冷硬状况要综合考虑上述两种因素的作用。提高工件转速会缩短砂轮对工件热作用的时间，使软化倾向减弱，因而表面层的冷硬增大。提高磨削速度，就可能使金属表面的组织来不及变形，使表层金属的塑性变形减小。而磨削区的温度增高，弱化倾向增大。所以，高速磨削时加工表面的冷硬程度比普通磨削时低。

② 砂轮粒度的影响。砂轮的粒度越大，每颗磨粒的载荷越小，冷硬程度也越小。

3) 冷作硬化的测量方法。冷作硬化的测量主要是指表面层的显微硬度和硬化层深度的测量，硬化程度可由表面层的显微硬度和工件内部金属原来的显微硬度计算求得。

表面层显微硬度的常用测定方法是用显微硬度计来测量，它的测量原理与维氏硬度计相同。加工表面冷硬层很薄时，可在斜截面上测量显微硬度。对于平面试件可按图3-2a磨出斜面，然后逐点测量其显微硬度，并将测量结果绘制成如图3-2b所示的图形。斜切角常取为 $0^\circ 30' \sim 2^\circ 30'$ 。采用斜截面测量法，不仅可测量显微硬度，还能较为准确地测出硬化层深度值。

其关系式为 $h = l \sin \alpha + R_z$



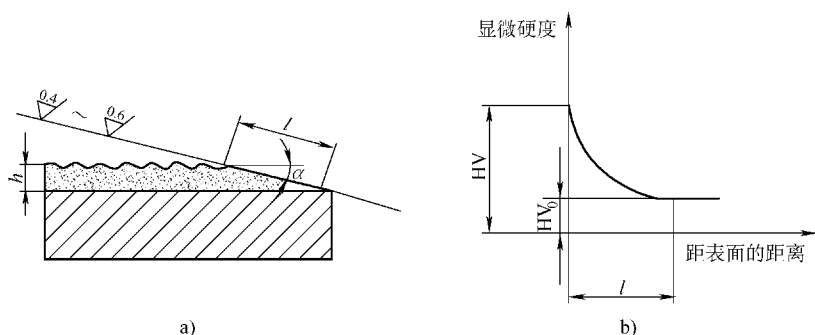


图 3-2 在斜截面上测量显微硬度

a) 试件斜面制备 b) 试件斜面硬度

(2) 表层金属的金相组织变化

1) 磨削加工表面金相组织的变化。机械加工过程中,在工件的加工区及其邻近的区域,温度会急剧升高。当温度升高到超过工件材料金相组织变化的临界点时,就会发生金相组织变化。对于一般的切削加工方法,通常不会上升到如此高的程度。但在磨削加工时,不仅磨削比压特别大,且磨削速度也特别高,切除金属的功率消耗远大于其他加工方法。加工所消耗能量的绝大部分都要转化为热量,这些热量中的大部分(约 80%)将传给被加工表面,使工件表面具有很高的温度。对于已淬火的钢件,很高的磨削温度往往会使表层金属的金相组织产生变化,使表层金属硬度下降,使工件表面呈现氧化膜颜色,这种现象称为磨削烧伤。磨削加工是一种典型的容易产生加工表面金相组织变化的加工方法,在磨削加工中的烧伤现象,会严重影响零件的使用性能。

磨削淬火钢时,由于磨削条件的不同,在工件表面层产生的磨削烧伤有 3 种形式:淬火烧伤、回火烧伤、退火烧伤。

2) 影响磨削烧伤的因素及改善途径。磨削烧伤与温度有着十分密切的关系。一切影响温度的因素都在一定程度上对烧伤有影响,因此,研究磨削烧伤问题可以从切削时的温度入手,通常从以下三方面考虑。

① 合理选用磨削用量。以平磨为例来分析磨削用量对烧伤的影响。磨削深度对磨削温度影响极大;加大横向进给量对减轻烧伤有利,但增大横向进给量会导致工件表面粗糙度值变大,因而,可采用较宽的砂轮来弥补;加大工件的回转速度,磨削表面的温度升高,但其增长速度与磨削深度的影响相比小得多。从减轻烧伤而同时又尽可能地保持较高的生产率考虑,在选择磨削用量时,应选用较大的工件回转速度和较小的磨削深度。

② 正确选择砂轮。磨削导热性差的材料(如耐热钢、轴承钢及不锈钢等),容易产生烧伤现象,应特别注意合理选择砂轮的硬度、结合剂和组织。硬度太



高的砂轮，由于砂轮钝化之后不易脱落，容易产生烧伤，所以应选择较软的砂轮。选择具有一定弹性的结合剂（如橡胶结合剂，树脂结合剂），也有助于避免烧伤现象的产生。此外，为了减少砂轮与工件之间的摩擦热，在砂轮的孔隙内浸入石蜡之类的润滑物质，对降低磨削区的温度、防止工件烧伤也有一定效果。

③ 改善冷却条件。磨削时，磨削液若能直接进入磨削区，对磨削区进行充分冷却，能有效地防止烧伤现象的产生。因为水的比热和汽化热都很高，在室温条件下，1mL 水变成 100% 以上的水蒸气至少能带走 2 512J 的热量，而磨削区热源每秒钟的发热量，在一般磨削用量下都在 4 187J 以下。据此推测，只要设法保证在每秒时间内确有 2mL 的冷却水进入磨削区，将有相当可观的热量被带走，就可以避免产生烧伤。然而，如图 3-3 所示的常用的冷却方法，其冷却效果很差，实际上没有多少磨削液能够真正进入磨削区 AB，因此，必须采取切实可行的措施改善冷却条件，防止烧伤现象的发生。

内冷却是一种较为有效的冷却方法，如图 3-4 所示。其工作原理是：经过严格过滤的磨削液通过中空主轴法兰套引入砂轮中心腔 3 内，由于离心力作用，这些磨削液就会通过砂轮内部的孔隙向砂轮四周的边缘甩出，因此磨削水就有可能直接注入磨削区。目前，内冷却装置尚未得到广泛应用，其主要原因是使用内冷却装置时，磨床附近有大量水雾，操作工人的劳动条件差，且在精磨加工时无法通过观察火花来试磨对刀。

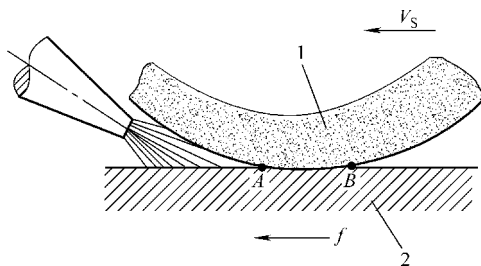


图 3-3 常用的冷却方法

1—砂轮 2—工件

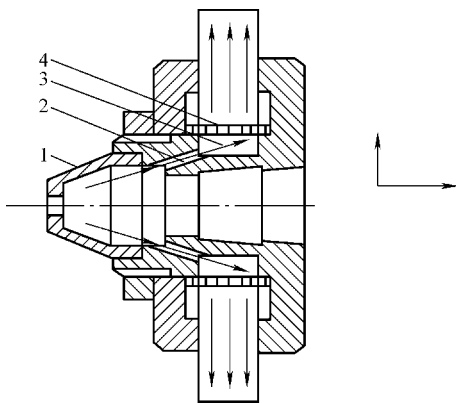


图 3-4 内冷却砂轮结构

1—锥型盖 2—切削液通孔 3—砂轮中心腔
4—有径向小孔的薄壁套

(3) 表层金属的残余应力

在机械加工过程中，当表层金属组织发生形状变化、体积变化或金相组织变化时，将在表面层的金属与其基体间产生相互平衡的残余应力。





表层金属产生残余应力的原因是：机械加工时，在加工表面的金属层内有塑性变形产生，使表层金属的比体积增大。由于塑性变形只在表面层中产生，而表面层金属的比体积增大和体积膨胀，不可避免地要受到与它相连的里层金属的阻碍，这样就在表面层内产生了压缩残余应力，而在里层金属中产生拉伸残余应力。当刀具从被加工表面上切除金属时，表层金属的纤维被拉长，刀具后刀面与已加工表面的摩擦又加大了这种拉伸作用。刀具切离之后，拉伸弹性变形将逐渐恢复，而拉伸塑性变形则不能恢复。表面层金属的拉伸塑性变形，受到与它相连的里层未发生塑性变形的金属的阻碍，因此就在表层产生压缩残余应力，而在里层金属中产生拉伸残余应力。

(4) 表面强化工艺

这里所说的表面强化工艺是指通过冷压加工方法使表面层金属发生冷态塑性变形，以降低表面粗糙度值，提高表面硬度，并在表面层产生压缩残余应力的表面强化方法。冷压加工强化工艺是一种既简便又有明显效果的加工方法，因而应用十分广泛。

1) 喷丸强化。喷丸强化是利用大量高速运动的珠丸打击被加工工件表面，使工件表面产生冷硬层和压缩残余应力，可显著提高零件的疲劳强度和使用寿命。

珠丸可以是铸铁的，也可以是切成小段的钢丝（使用一段时间之后，自然变成球状）。对于铝质工件，为避免表面残留铁质微粒而引起电解腐蚀，宜采用铝丸或玻璃丸。珠丸的直径一般为 $0.2 \sim 4\text{mm}$ ，对于尺寸较小、要求表面粗糙度值较小的工件，宜采用直径较小的珠丸。

喷丸强化主要用于强化形状复杂或不宜用其他方法强化的工件，例如板弹簧、螺旋弹簧、连杆、齿轮、焊缝等。

2) 滚压加工。滚压加工是利用经过淬硬和精细研磨过的滚轮或滚珠，在常温状态下对金属表面进行滚压，将表层的凸起部分向下压，凹下部分往上挤。如图 3-5 所示，经过滚压加工，可逐渐将前工序留下的波峰压平，从而修正工件表面的微观几何形状。此外，它还能使工件表面金属组织细化，形成压缩残余应力。

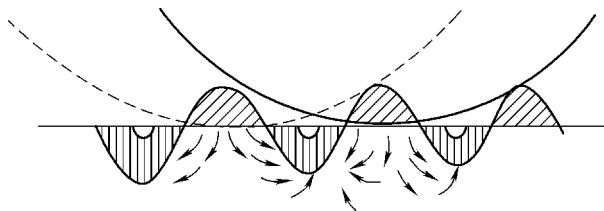


图 3-5 滚压加工原理图



3) 挤压加工。挤压加工是利用经过研磨的、具有一定形状的超硬材料(金刚石或立方氮化硼)作为挤压头,安装在专用的弹性刀架上,在常温状态下对金属表面进行挤压。挤压后的金属表面粗糙度值下降,硬度提高,表面形成压缩残余应力,从而提高了表面抗疲劳强度。

思考与练习题

1. 影响模具加工精度的因素主要有哪些?
2. 如何理解表面完整性与表面粗糙度?
3. 加工细长轴时,工艺系统应作如何考虑?
4. 工艺系统热变形是如何影响加工精度的?



第4章 模具零件毛坯处理

模具生产属于单件、小批量生产类型，除了标准模架、模具标准件可以按标准选择购买外，其他工作部分零件加工所需的原材料毛坯形状上基本都是方形或长方形，没有现成的标准型材可供选择，另外，模具工作部分零件，往往要求承载能力高，需要较高的硬度，所使用的材料基本上都是高碳钢或高合金钢，钢厂提供的都是原始的毛坯料，需要下料、锻造加工。主要是由于这类材料的冶金质量大多存在严重的缺陷，如大量共晶网状碳化物的存在，这种碳化物很硬也很脆，而且分布不均匀，降低了材质的力学性能，恶化了热处理工艺性能，降低了模具的使用寿命。只有通过锻造，打碎共晶网状碳化物，并使碳化物分布均匀，细化晶粒组织，充分发挥材料的力学性能，才能提高模具零件的加工工艺性和使用寿命。

4.1 下料

一般是在锻造前，在专门的下料设备上把金属棒料切成所需长度。当没有专门的下料设备时，也可以在其他设备上进行切料。常用的下料方法介绍如下。

1. 锯切

锯切常在圆盘锯、弓形锯和带锯上进行。

圆盘锯是由电动机带动带齿的锯盘慢速旋转并移动，从而将棒料切断。圆盘锯通用性强，锯盘的最大直径可达2m，能够锯切的棒料直径在750mm以下。

弓形锯是由电动机带动带齿的锯条作往复移动，从而把棒料切断。弓形锯投资少，使用方便，适用于小批生产，可以锯切的棒料直径在100mm以下。对于直径特别小的棒料，也可以成捆锯断。

带锯切割具有节能、节约原材料（锯缝狭窄）、生产效率高、切割质量好、自动化程度高、噪声小、便于操作的优点，适合较大批量的生产。因此，它适用于切割普通结构钢及不锈钢、钛合金、镍铬合金等难切材料，镶有碳化钨的刀片能切割最难加工的钢，也可用于锯切有色金属材料和各种非金属材料，是较为先进的下料方法。

锯切的优点是切口断面平整，尺寸准确。常用的圆盘锯和弓形锯生产效率低，有锯口损失，锯盘和锯条的损耗大。





2. 砂轮切割

砂轮切割是在砂轮切割机上将钢坯切断。砂轮切割机是由电动机带动薄片砂轮（厚度一般在3mm以下）高速旋转，并通过手动或机动使它作上下运动而将钢坯切断。砂轮切割机可切割直径在40mm以下的任何硬度的金属材料。

砂轮切割生产效率高，切割端面平整，适用于其他下料方法难以切割的金属。缺点是砂轮损耗较大；工人劳动条件较差，需要有良好的通风设备；切割低熔点金属棒料时（如铝合金等），对切割端面稍有影响。

3. 气割

气割是利用氧气和可燃气体的气割器（称割炬），产生温度很高的火焰，使割缝上的金属熔化而烧断金属材料。

气割主要用于大型钢坯和大断面切割。气割下料的费用较低，设备简单轻便。但气割下料的断面质量差、金属损耗较多、精度低、生产率低、劳动条件差，且影响金属的性能。

除上述方法外，还有等离子切割法、电子束切割法、阳极切割法等。

4. 剪切

剪切一般在剪床上进行，可以剪切直径为200mm以下的钢材。对于低碳钢、中碳钢和截面尺寸较小的钢坯可以冷剪。而对于高碳钢、合金钢和截面尺寸较大的钢坯，在剪切前应预热至350~700℃，以避免被剪处产生很大应力而出现裂纹。

采用剪床下料，可以装置自动送料出料机构，工人劳动条件较好，生产效率很高。同时，剪切下料无切屑，可以节约金属，降低成本，提高材料利用率。

剪切下料的缺点是剪切端面不平，局部被压扁，剪断面常有毛刺和裂缝，特别是在预热状态下剪切直径大的钢坯时更为严重。

剪切下料也可以在曲柄压力机和摩擦压力机等设备上进行。

5. 冷折下料

在水压机或曲柄压力机上，通过冲头将压力传到材料上，从而使被折材料沿预先加工好的切口折断，如图4-1所示。

冷折前一般用锯切或气割加工出预切口，其目的是为了在切口处造成大的应力集中，以保证材料在一定的部位折断，不产生大的塑性变形而影响断面质量。预切口尺寸确定如下。

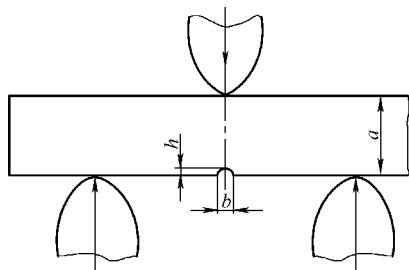


图4-1 冷折下料工作原理示意图

$$b = 5 \sim 8 \text{ mm};$$

$$h = 3\sqrt{a} \text{ mm};$$





式中： b ——切口宽度（mm）；

h ——切口深度（mm）；

a ——坯料直径或厚度（mm）。

冷折适用于硬度较高的高碳钢及高合金钢，如 GCr15、GCr15SiMn 等轴承钢，要求预热到 300 ~ 400℃。

4.2 锻造加工

将金属坯料加热使其具有较高的塑性，然后放在锻造设备上，利用通用工具或专用模具对其施加压力，迫使其产生塑性变形，从而获得所需形状和尺寸的锻件，这种压力加工方法称为锻造。

1. 锻造目的

1) 得到合理的几何形状和机械加工余量，节省原材料和减少机械加工工作量，提高了材料的致密度，获得良好的力学性能。

2) 改善了材料碳化物分布不均匀的状态和金相组织状态，避免了原始材料由于碳化物分布的不均匀所造成的模具零件在热处理时易开裂、硬度不均、脆性大、冲击韧性低，以及碳化物堆聚或呈网状出现在模具刃口处、易崩刃、折断和剥落等现象，提高了材料的热处理性能和模具的使用寿命。

3) 改善了坯料的纤维方向。纤维方向的合理分布，使模具零件的各向淬火变形趋向一致，提高材料的力学性能和使用性能。满足不同类型模具的要求。

2. 锻压设备

模具零件毛坯的锻压方式通常是自由锻，所使用的锻压设备为空气锤、水压机等。应根据锻件材料、形状和尺寸大小等合理地选择锻压设备的吨位，否则会影响锻件质量、锻造生产率。如果设备吨位过小，锻造打击能量不足，会造成锻打不深不透，锻件仅仅在表层发生一定的变形，而锻件内部的质量得不到改善，甚至发生恶化，如果设备吨位选择过大，则打击过重，容易出现锻裂等现象。

空气锤吨位通常是指落下部分（锤头、锤杆、活塞和上砧铁等）的质量。结构比较简单，操作灵活，维修方便，但由于受压缩缸和工作缸大小的限制，空气锤吨位较小，锤击能力也较小。水压机是在静压力下使坯料产生塑性变形，能产生数万 kN 压力，锻透深度大，变形速度慢，工作平稳，噪声小，有利于获得金属再结晶组织，工作条件好。但设备庞大，结构复杂，价格昂贵。

3. 锻前加热

金属加热是锻造生产中不可缺少的重要工序之一。目的是为了提高金属的塑性，降低变形抗力，以利于锻造和获得良好的锻后组织。金属在加热过程中，



其内部发生一系列变化,会影响到金属的锻后组织和性能。同时,正确的加热金属坯料和对温度进行准确及时地测量,对于减少设备吨位,降低燃料消耗均有重要意义。

(1) 锻前加热的方法

根据热源不同,在锻造生产中金属的加热可分为两大类。

1) 火焰炉加热是利用燃料(煤、油、煤气等)燃烧所产生的热能直接加热金属的方法。由于燃料来源方便,炉子修造较容易,费用较低,加热的适应性强等原因,所以应用较为普遍。缺点是劳动条件差、加热速度较慢、加热质量较难控制,对环境造成污染等。

2) 电加热是利用电能转换为热能来加热金属的方法。与火焰炉加热相比,它具有很多优点,如升温快(如感应加热和接触加热)、炉温易于控制(如电阻炉加热)、氧化和脱碳少、劳动条件好、便于实现机械化和自动化等。缺点是对毛坯尺寸形状变化的适应性不够强、设备结构复杂、投资费用较大。

(2) 锻造温度范围

锻造温度范围是指始锻温度和终锻温度间的一段温度间隔。如图4-2所示为在铁碳合金相图基础上制定的碳钢锻造温度范围。钢料在高温单相区具有良好的塑性,所以锻造温度范围最好在这个区间。各类材料的锻造温度范围可参考相关的手册。

开始锻造的温度称为始锻温度。它应低于固相线 AE 约 $150 \sim 200^\circ\text{C}$,以防止过热和过烧。

结束锻造时的温度称为终锻温度。终锻温度主要应保证在结束锻造之前金属还具有足够的塑性,以及锻件在锻后获得再结晶组织,但过高的终锻温度也会使锻件在冷却过程中晶粒继续长大,因而降低了力学性能,尤其是冲击韧度。对过共析钢,为避免形成二次网状渗碳体,在 ES 线下还应继续锻打,它的终锻温度应高于 PSE' 线 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 。对亚共析钢,由于

在高温单相区内有良好塑性,所以终锻温度应在 GS 线上 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 。对于低碳钢,在 GS 线 (A_3) 以下的两相区 ($\gamma + \alpha$) 也有足够的塑性,因此低碳钢的终锻温度可以在 GS 线下。对于最后一次锻造的终锻温度还要根据剩余变形程度查再结晶图,以避免锻件晶粒粗大。对于锻后立即进行余热热处理的锻件,终锻

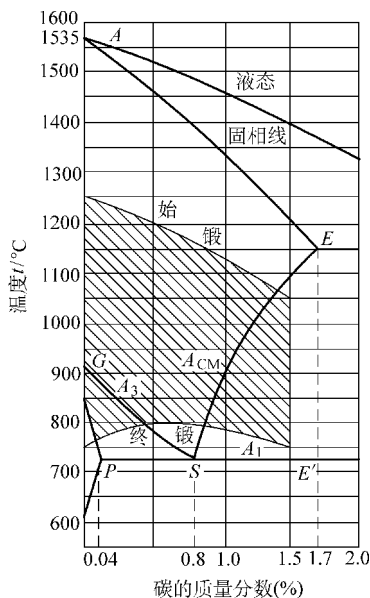


图4-2 碳钢锻造温度范围





温度还要考虑余热热处理的要求。精整工序的终锻温度允许比规定值低 $50 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

4. 坯料质量与尺寸

(1) 坯料质量

坯料质量的计算公式为 $m_{\text{坯}} = m_{\text{锻}} + m_{\text{烧}} + m_{\text{芯}} + m_{\text{切}}$

式中 $m_{\text{坯}}$ ——坯料质量；

$m_{\text{锻}}$ ——锻件质量；

$m_{\text{烧}}$ ——加热时坯料表面氧化而烧损的质量；

$m_{\text{芯}}$ ——冲孔时芯料的质量；

$m_{\text{切}}$ ——端部切头损失质量。

(2) 坯料尺寸

首先根据材料的密度和坯料质量计算出坯料的体积，然后再根据基本工序的类型（如拔长、镦粗）及锻造比计算坯料横截面积、直径、边长等尺寸。

有以下几点需要注意。

1) 某些零件上的精细结构，如键槽、齿槽、退刀槽，以及小孔、不通孔、台阶等，难以用自由锻加工，必须暂时添加一部分金属以简化锻件形状。这部分添加的金属称为余块，它将在切削加工时被去除。

2) 由于自由锻的精度较低，表面质量较差，一般需要进一步切削加工，所以零件表面要留有加工余量。余量大小与零件形状、尺寸等因素有关，其数值应结合生产的具体情况而定。

3) 锻件公差是锻件名义尺寸的允许变动量。公差的数值可查阅有关国家标准。

5. 锻造工序

自由锻的工序可分为基本工序、辅助工序和精整工序三大类。辅助工序是为基本工序操作方便而进行的预先变形的过程，如压钳口、压钢锭棱边、压肩等。基本工序是改变坯料形状、尺寸以获得所需锻件的工艺过程。如镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、错移等。精整工序是用来修整锻件表面缺陷，使其符合图样要求的过程。如校正、平整、滚圆等。自由锻工序见表 4-1。

基本工序的主要工序有以下几个。

1) 镦粗。使坯料高度减小、横截面积增大的工序。镦粗是自由锻生产中最常用的工序。圆坯料的高度与直径之比应小于 2.5，否则易镦弯；坯料加热温度应在允许的最高温度范围内，以便消除缺陷，减小变形抗力。主要用于圆盘类工件，也可以作为冲孔前的辅助工序。

2) 拔长。使坯料横截面积减小、长度增大的工序。坯料的下料长度应大于直径或边长；为达到规定的锻造比和改变金属内部组织结构，锻造时，拔长经



常与镦粗交替反复使用。拔长凹档或台阶前应先压肩；矩形坯料拔长时要不断翻转，以免造成偏心与弯曲。用于轴类、杆类锻件的生产，也可以用来改善锻件内部质量。

3) 冲孔。在工件上冲出通孔或不通孔的工序。孔径小于 450mm 的可用实心冲子冲孔；孔径大于 450mm 的可用空心冲子冲孔；孔径小于 30mm 的孔一般不冲出。冲孔前坯料应镦粗以改善坯料的组织性能及减小冲孔的深度。

表 4-1 自由锻工序

工序	示意图		
辅助 工序	 压钳口	 倒棱	 压肩
基本 工序	 完全镦粗		 局部镦粗
	 拔长		 带芯轴拔长
	 实心冲子冲孔		 空心冲子冲孔
	 校正		 滚圆
精整 工序	 平整		



6. 锻件冷却

锻件从终锻温度冷至室温的过程叫锻件的冷却，它是锻造生产中的重要环节之一。锻件的冷却按照锻件的化学成分、截面尺寸、原材料质量，采用不同的冷却方法。若冷却不当，轻则锻件发生变形弯曲、表面硬度过高和不能切削加工，也可能延长生产周期；严重时锻件出现表面裂纹、白点，使锻件报废。锻后冷却对高合金钢和大型锻件尤为重要。

常用的锻件冷却方法，按其冷却速度由快到慢的顺序分为空冷、堆冷、坑冷（或箱冷）、灰冷（或砂冷）、炉冷、退火等6种。

1) 空冷。锻件锻后放在车间的地面上冷却，但不要放在潮湿地面或金属板上，还要防止过堂风，避免锻件局部冷却过快而产生裂纹、弯曲、变形等缺陷。

2) 堆冷。锻件锻后成堆放在静止的空气中冷却。

3) 坑冷（或箱冷）。锻件锻后放在地坑或箱子中冷却。

4) 灰冷（或砂冷）。锻件锻后放在炉渣、石灰或砂中冷却。所用的炉渣、石灰或砂必须干燥。一般锻件放入炉渣、石灰或砂的温度不低于 500°C ，锻件周围的炉渣、石灰或砂的厚度不得小于 80mm 。

5) 炉冷。锻件锻后放在炉中缓慢冷却。锻件入炉的温度一般在 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，最低不应低于 350°C 。炉子应事先升到 650°C 保温待料，因为此温度对扩氢比较有利。待锻件全部入炉后，再按冷却规范进行炉冷。一般出炉温度不宜高于 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。炉内要避免冷空气进入。

6) 退火。这是防止白点的冷却热处理工艺。

7. 锻后热处理

锻件的锻后热处理的目的是调整锻件硬度，以利于锻件切削加工；调整锻件内应力，避免在机械加工时变形；改善锻件内部组织，细化晶粒，为最终热处理作好组织准备；对于不再进行最终热处理的锻件，应保证达到规定的力学性能要求。由于锻造过程中锻件各部分变形程度、终锻温度和冷却速度不一致，锻件内部存在组织不均匀、残余应力和加工硬化等现象。为了消除上述现象，保证锻件质量，锻后应进行热处理。

锻件在机械加工前后，一般都要进行热处理。机械加工前的热处理称为锻件的锻后热处理，机械加工后的热处理称为最终热处理。通常锻件的锻后热处理是在锻压车间进行的。

锻件最常采用的热处理方法有退火、正火、调质等。

1) 完全退火。一般用于亚共析钢。将钢锻件加热到 A_{c3} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，经过一定时间的保温使之完全奥氏体化，然后随炉冷至 600°C ，出炉空冷，以获得平衡状态的组织。

2) 不完全退火（也称球化退火）。适用于过共析钢。将钢锻件加热到 A_{c1} 以



上 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，经过较长时间的保温，然后随炉缓冷至 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 取出空冷，以获得珠光体组织。

3) 等温退火。一般是用于亚共析钢、共析钢和过共析钢。将钢锻件加热到 A_{c_3} (亚共析钢) 或 A_{c_1} (过共析钢) 以上 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间后，快速冷却到 A_{c_1} 以下某一温度作较长时间的等温保温，使奥氏体较好地转变成珠光体，然后炉冷或空冷。等温退火可获得比完全退火更为均匀的组织，还可比完全退火缩短退火时间，提高生产率。

4) 预防白点退火。用于防止白点的专用热处理工艺。

5) 正火。将钢锻件加热到 A_{c_3} (亚共析钢) 或 A_{cm} (过共析钢) 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，有些高合金锻件加热到 A_{c_3} 或 A_{cm} 以上 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间后空冷。对于亚共析钢、共析钢和过共析钢，除了细化晶粒、消除内应力外，如还要求增加强度和韧性，或要消除网状碳化物，便应采用正火。

6) 调质。将钢锻件先淬火，然后进行高温回火的热处理工艺叫调质，常用于中碳钢和合金结构钢，以获得良好的力学性能。

思考与练习题

1. 常用模具毛坯下料的方法有哪些？
2. 模具毛坯锻造的目的？
3. 如何确定锻造毛坯的尺寸与质量？



第5章 模具钳工的基础加工

钳工主要分为普通钳工和工具钳工，模具钳工是工具钳工的一种。模具钳工是利用各种手工工具、电动工具，在虎钳、钻床等设备上来完成目前机械加工还不能替代的手工操作。模具钳工主要完成手工加工模具零件和将加工好的模具零件按图样装配、调试，最后制造出合格的模具产品这两项工作。

随着机械加工设备的数控化水平不断提高，机械不能做的将是更难、更复杂的工作，对钳工的技能要求越来越高。对钳工操作者的要求主要有以下几点。

- 1) 具有机械制图、识图、公差与技术测量的基本知识，熟练使用测量工具。
- 2) 熟悉模具材料的性能及热处理要求，掌握模具零件的技术要求和制造工艺。
- 3) 熟悉模具的类型与结构原理，掌握模具的装配工艺。
- 4) 了解试模过程中或生产过程中经常出现的问题的原因和模具的调整方法。

模具钳工的安全技术及操作要求如下。

- 1) 不得擅自使用不熟悉的设备和工具。
- 2) 使用手提式风动工具时，要求接头牢靠，风动砂轮应有完整的罩壳装置，并按规范选用砂轮。
- 3) 使用手提式电动工具时，插头必须完好，外壳接地，绝缘可靠。更换砂轮和钻头时必须切断电源。发生故障时应停止使用。
- 4) 禁止使用无柄的刮刀或锉刀及有缺陷的工具。
- 5) 錾削、磨削、装弹簧时不准对准他人，锤击时要注意不要伤及旁人。
- 6) 对于大型和畸形工件的支撑和装夹要注意其重心位置，以免坠落或倾覆伤人。
- 7) 清除切屑时要用刷子，不要用手去清除，更不要用嘴吹，以免造成不必要的伤害。
- 8) 严禁在起重机吊起的工件下进行操作或逗留。
- 9) 严禁使用 36V 以上电压电源的手提式移动照明工具。
- 10) 就地检修模具时，必须将机床断电后再进行操作。



5.1 划线

在工件上划出后续工序的界限称为划线。只需在一个平面上划线就能满足加工要求的，为平面划线；要同时在工件上几个不同方向的表面上划线才能满足加工要求的，为立体划线。划线是一件重要的工作，若划错线工件就要报废。尤其是在已经进行多道机械加工的光坯上划错线而造成废品，这种损失就更大。划线前一定要看清图样，要掌握各种划线工具和测量工具的使用方法；划线时要全神贯注，反复核对尺寸、划线位置，小心仔细，避免出差错。

1. 划线的作用

划线的作用主要有两个。

- 1) 确定各表面的加工余量，确定孔的位置，使机械加工有明确的标志。
- 2) 通过划线可以检查毛坯是否正确，毛坯误差小时，可以通过划线纠正补救；无法纠正补救的误差大的毛坯，也可通过划线及时发现，避免采用不合格的毛坯，以免浪费机械加工工时。

2. 划线工具及使用

常用的划线工具及使用见表 5-1。

表 5-1 常用的划线工具及使用

序号	工具名称	图 示	用途与使用
1	划线平台		划线平台用铸铁制成。平台面经过精磨或刮研等精加工，用来安放工件和划线工具，并在平台上面进行划线工作
2	划针		用 $\phi 3 \sim 4\text{mm}$ 高速钢或弹簧钢丝制成。划针长度 $200 \sim 300\text{mm}$，尖角 $15^\circ \sim 20^\circ$，并淬硬到 60HRC 左右。用于在工件上沿钢直尺、直尺、样板等进行划线。 划针的握法与用铅笔相同。左手紧压导向工具，划针尖紧靠导向工具的边缘，上部要向外倾斜约 $15^\circ \sim 20^\circ$，沿划针前进的方向约倾斜 $45^\circ \sim 75^\circ$。用划针划线要一次划成，不要重复地划同一条线



(续)

序号	工具名称	图 示	用途与使用
3	划线盘	1—划针 2—夹紧螺母 3—立柱 4—底座 5—锁紧螺钉 6—磁性开关 7—调节螺母	划针一端焊有高速钢针, 用于划线, 另一端弯成钩状, 用于对工件找正。划针盘用来划线或找正工件的位置。使用时划针基本处于水平状态, 伸出部分应尽量短些; 划针与工件的划线表面之间要倾斜约 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$; 不用时, 把划针竖直, 针尖要朝下, 或在针尖上套上一段塑料管, 以防针尖伤人
4	高度尺	1—钢尺 2—底座 3—锁紧螺钉	由尺架和钢直尺组成, 通过调整螺母可改变钢直尺的上下位置。配合划针一起使用, 以确定划针在平板上的高度尺寸
5	高度游标尺		它集划针、划针盘、卡尺于一体, 其精度为 0.02mm, 用于精密切线和测量高度使用时, 要注意保护划刀刃, 并严禁在粗糙的表面上划线。通常只用它划出短痕, 然后再用划针盘的针对准短痕后, 将线条引长
6	圆规	a) b) c)	圆规又叫划规, 用工具钢制成, 尖部焊有高速钢或硬质合金。主要用来划圆弧、量取尺寸、等分角度或线段等。 图 a 为钳工最常用的普通圆规; 图 b 为带有锁紧装置的普通圆规, 仅用于尺寸不大的毛坯表面划线; 图 c 为弹簧圆规, 只适合尺寸不大的较光滑的表面划线
7	游标划规		带有游标刻度, 游标划规可调整距离, 另一针可调整高低, 适用于大尺寸划线和在阶梯面上划线



(续)

序号	工具名称	图 示	用途与使用
8	角尺		90°角尺是划垂直线和平行线的导向工具，也可用来找正工件平面在划线平台上的垂直度
9	游标万能角度尺		用来划任意角度
10	样冲		样冲用工具钢制成，尖端成45°~60°角，并淬火硬化。样冲用来在已划好的线上打样冲眼。为固定所划的线条，使工件在搬运加工过程中即使线被擦掉或被擦模糊时，仍留有清晰的样冲眼的标记；用圆规划圆和定钻孔中心时，也要打样冲眼，便于圆规确定心脚立足和钻头尖对准圆心
11	V形铁		主要用来支撑圆形工件，以便找中心线，在圆形工件端面上划线等，通常V形铁都是两块一起使用，两块的长、宽、高及V形槽的各部分几何精度要求一致
12	方箱		方箱用铸铁制成，是一个空心的六面体，相邻平面互相垂直，用来夹持工件并能方便地翻转。 因为它六面垂直，这样可使夹持在方箱上的工件一次安装就能完成立体划线
13	角铁		用铸铁制成，两面加工成精度较高且互相垂直的平面，常与压板配合使用，用来夹持工件。 它有两个互相垂直的平面，也能一次安装完成立体划线





(续)

序号	工具名称	图 示	用途与使用
14	千斤顶		通常三个为一组，用来支撑笨重毛坯或形状不规则的划线工件，进行校验、找正，划线用千斤顶支撑工件时，要求三个千斤顶的支撑点离工件重心尽量远，工件较重的部位放两个千斤顶，较轻的部位放一个千斤顶，支撑点要选在不易发生滑移的地方，必要时用钢丝绳吊住某一部位或工件下面加垫铁支撑，以防万一滑倒伤人
15	斜楔垫铁和平行垫铁		用来支撑和垫平工件。斜楔找正比千斤顶方便，但只能作少量调节

5.2 銑削

用锤子打銑子对金属进行切削加工叫做銑削。在近代的金属切削加工中，只因某种原因不能或不便利用机床加工的工件和毛坯，或在某种情况下利用机床加工很麻烦，而用銑削反而方便的情况下，才用銑削的方法进行加工。

1. 銑削的作用

- 1) 用来凿掉毛坯或零件的飞边、毛刺等，及配合件凸出的错位、多余的金属等。
- 2) 分割板料，銑削油槽等。

2. 銑削工具及使用

常用的銑削工具及使用见表 5-2。

表 5-2 常用的銑削工具及使用

序号	工具名称	图 示	用途与使用
1	銑子		扁凿 a 用来凿去毛坯或零件上的飞边、毛刺以及的多余部分，也可用来切断较薄的金属板料。窄凿 b 用于凿槽及圆弧线板料的切割。油槽凿 c（又叫菱形凿）用来凿圆形油槽和 V 形油槽



(续)

序号	工具名称	图 示	用途与使用
2	锤子		在錾削的时候是借锤子的锤击力而使錾子切入金属的。它还是钳工装、拆零件时的重要工具。锤子一般分为硬锤子和软锤子两种。软锤子有铜锤、铝锤、木锤、硬橡皮锤等。硬锤子由碳钢淬硬制成，钳工所用的硬锤子有圆头和方头两种
3	台虎钳		中、小工件的錾削、锉削、锯割等工作，一般都在台虎钳上进行

5.3 锉削

用锉刀从工件上锉掉一层金属，这种加工方法叫做锉削。锉削是模具钳工的主要操作之一，锉削的效率不是很高。尽管如此，在现代工业生产中还是不可缺少的，如模具的型腔或样板的成形面等，在机械上不易加工，或机械加工反而麻烦、不经济，或能加工但达不到精度要求，必须用锉刀来加工。

锉刀用高碳工具钢 T13A、T12A 或 T13、T12 制成，经热处理淬硬，硬度为 62 ~ 67HRC。

锉削分粗锉削和精锉削，锉削后表面的光洁度主要决定于锉齿的粗细，工件表面的形状则由锉刀断面的形状和锉削时锉刀的运动形式决定。锉削时，要根据所要求的形状和加工精度，及锉削时留有的余量来选用各种不同的锉刀。

1. 锉削的作用

- 1) 用于模具零件的加工与制造。
- 2) 用于模具部件的配合加工、模具装配时的修整。

2. 锉削工具及使用

锉削工具及使用见表 5-3，锉刀的用途如图 5-1 所示。

表 5-3 锉削工具及使用

序号	工具名称	图 示	用途与使用
1	钳工锉		钳工锉分为平锉（齐头平锉和尖头平锉）、方锉、圆锉、半圆锉、三角锉 5 种



(续)

序号	工具名称	图 示	用途与使用
2	整形锉		整形锉是不同的形状组合成一组, 用于修整精密模具、小型工件上难以机械加工的部位
3	特种锉		特种锉有直的和弯的两种, 花样很多, 用于加工各种零件上的特殊表面

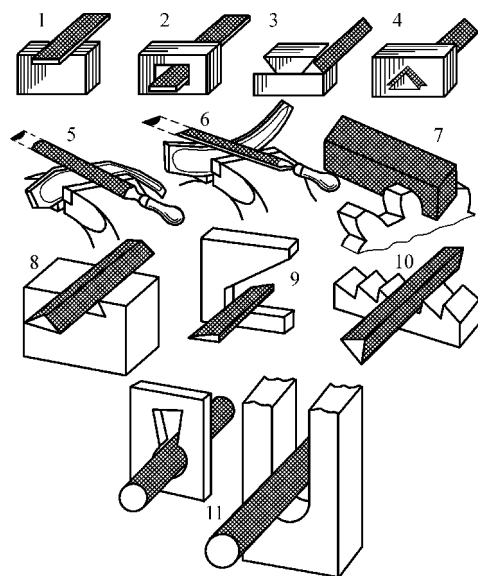


图 5-1 锉刀的使用

1、2—锉平面 3、4—锉燕尾和三角孔 5、6—锉曲面 7—锉楔角
8—锉内角 9—锉菱形 10—锉三角形 11—锉圆孔

5.4 钻孔、铰孔、铰孔和攻螺纹

模具零件上有很多不同规格和不同要求的孔, 其中一部分孔要在车床、铣床和刨床上加工, 另一部分则主要由钳工利用钻床来加工。因此, 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔属于模具钳工加工孔的基本操作, 应用十分广泛。



如图 5-2 所示,用钻头在实体材料上进行钻削加工称为钻孔;用钻头或扩孔钻扩大工件上原有的孔称为扩孔;用铰钻刮平孔的端面,将孔端铰成沉孔,以及各种形状的加工过程称为铰孔;用绞刀对孔进行提高孔径尺寸精度和表面质量的精加工称为绞孔;用丝锥在预制孔上制作螺纹称为攻螺纹。

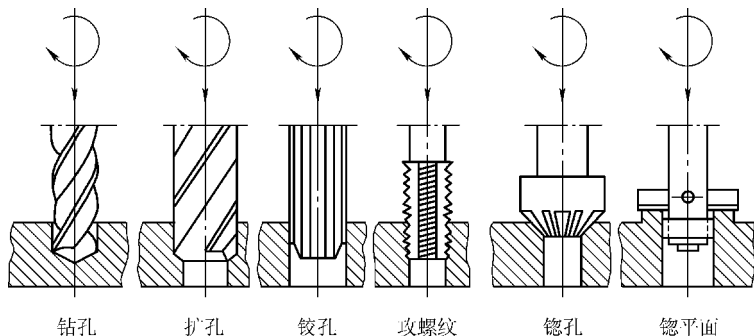


图 5-2 钻床上进行的主要加工

钳工常用孔加工设备有:台钻、立式钻床、摇臂钻床和手电钻等。

1. 加工孔的特点有以下几点

1) 孔加工刀具多为定尺寸刀具,如钻头、绞刀等。在加工过程中,刀具磨损造成的形状和尺寸的变化会直接影响被加工孔的精度。

2) 由于受被加工孔尺寸的限制,切削速度很难提高,影响加工生产率和加工表面质量,尤其是在对较小的孔进行精密加工时。

3) 刀具的结构受孔的直径和长度的限制,刚性较差。在加工时,由于受到轴向力的影响,容易产生弯曲变形和振动,孔的长径比(孔深度与直径之比)越大,刀具刚性对加工精度的影响就越大。

4) 孔加工时,刀具一般是在半封闭的空间内工作,对加工过程的观察、控制比较困难,切屑排除困难,切削液难以进入加工区域,散热条件不好。切削区热量集中,温度较高,故影响刀具的耐用度和钻削加工质量。

因此,解决冷却、排屑、导向、刚性问题是孔加工中保证加工质量的关键问题。

2. 钻孔工具

钻孔工具及使用见表 5-4。

3. 麻花钻

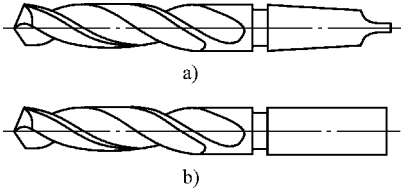
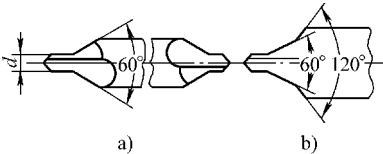
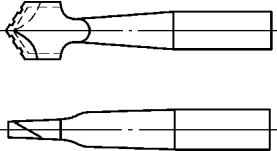
如图 5-3 所示为麻花钻的结构,它由工作部分、柄部和颈部所组成。

(1) 工作部分

麻花钻的工作部分分为切削部分和导向部分。



表 5-4 钻孔工具及使用

序号	工具名称	图 示	用途与使用
1	麻花钻		麻花钻（俗称钻头）有锥柄 a 和柱柄 b 两种，是最常用的钻孔工具。一般直径大于 13mm 的作成锥柄的，13mm 以下的作成柱柄的。制造材料上可分为高速钢麻花钻和硬质合金麻花钻。硬质合金麻花钻一般制成镶片焊接式，直径 5mm 以下的硬质合金麻花钻制成整体式
2	中心钻		中心钻有普通的 a 和带护锥 b 两种，用于制作中心孔，使用中心钻时，转速不能太低
3	扁钻		扁钻用碳素工具钢或高速钢制成，是一种结构简单的钻头。导向差，排屑不易，只有在没有麻花钻可用的特殊情况下才应用

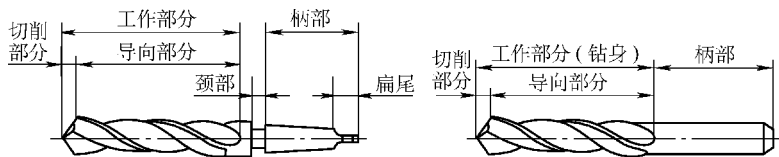


图 5-3 麻花钻的结构

1) 切削部分担负主要的切削工作。

2) 导向部分用于钻头在钻削过程中的导向，并作为切削部分的后备部分。

(2) 柄部

用于装夹钻头和传递动力。

(3) 颈部

颈部是柄部与工作部分的连接部分，并作为磨外径时砂轮退刀和打印标记处。小直径的钻头不做出颈部。

麻花钻的直径按标准尺寸系列和螺孔的底孔直径设计，螺旋角一般为 $25^{\circ} \sim 32^{\circ}$ ，标准麻花钻的顶角约为 118° 。



4. 工件的装夹

在钻床上进行孔加工时,工件的装夹方法及其所用的附件较多。小型工件通常可用台虎钳装夹,如图5-4a所示;大型工件可用压板螺栓直接安装在工作台上,如图5-4b所示;在圆轴或套筒上钻孔时,一般把工件安装在V形架上,再用压板螺栓压紧,如图5-4c所示;在成批和大量生产中,尤其在加工孔系时,为了保证孔及孔系的精度,提高生产率,广泛采用钻模来装夹工件,如图5-4d所示。

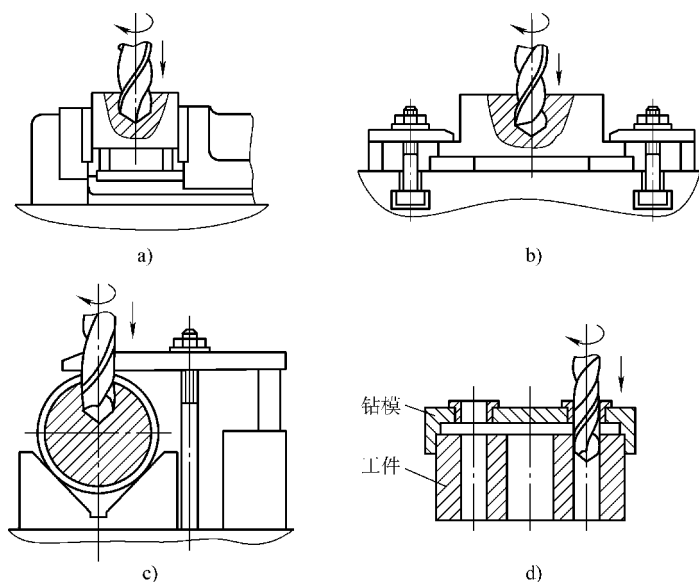


图5-4 钻孔时工件的装夹

a) 用台虎钳装夹 b) 用压板螺栓装夹 c) 用V形架装夹 d) 用钻模装夹

5. 钻孔方法

1) 按划线钻孔。先按图样划出孔的中心线,并在交点处打上较大的样冲眼,作为钻头尖的导入点。钻孔时,钻头对准样冲眼铤一个小窝,检查小窝与所划的圆孔中心线是否同心;如果略有偏斜,可移动工件纠正。如果偏斜较多或钻孔较大,可用样冲或尖錾在偏移的相反方向錾几条槽再试钻,直到试钻的窝位正确后才可正式钻孔。钻通孔时,在将要钻穿前,必须减小走刀量。钻孔深度达到直径3倍时,钻头必须经常退出排屑,并注意冷却,防止钻头折断或退火。

2) 在圆柱面上钻径向孔。钻孔前先在轴线或套筒类零件的圆柱面上和端面上划好线;在钻夹头内装入钻头或定位工具,使下部进入V形铁的槽内,用手





转动钻轴找正,使钻轴中心线位于V形槽中央,将V形铁紧固在钻台上;把工件安装到V形铁上,用角尺找正,使工件端面的中心线与钻床台面垂直,将工件夹紧;然后试钻,待位置正确后钻孔。

3) 在斜面上钻孔。在斜面上用普通钻头钻孔时,为防止钻头单边切削而造成孔偏或折断钻头,必须在钻孔前先镗出或铣出一个小平面,然后再用钻头钻孔。

4) 钻半圆孔。在工件上钻半圆孔时,要先用一块与工件材料相同的垫块,将它和工件合并在一起,夹紧在虎钳中,在接合面处打样冲眼,然后钻孔。

5) 组合件之间钻孔。在压入式模柄与上模座间钻骑缝销钉孔,装配模具时,加工两个件的防转销钉即为组合件之间钻孔。钻孔时钻头易向材质软的一侧偏斜,故钻孔前先用样冲偏于硬材料一边冲眼,钻孔开始阶段也将钻头往硬材料一边偏,以抵消因材质所不同引起的偏移。

6. 扩孔

扩孔与钻孔相比,精度较高,表面粗糙度较低,且可在一定程度上校正钻孔的轴线偏斜。扩孔使用麻花钻或扩孔钻进行。扩孔钻具有以下特点。

1) 刚性较好。由于扩孔的切深小、切屑少,扩孔钻的容屑槽浅而窄,钻心比较粗壮,增加了工作部分的刚性。

2) 导向性较好。扩孔钻有3~4个刀齿,导向作用相应增强。

3) 切削条件较好。扩孔钻无横刃,只有切削刀的外缘部分参加切削,切削轻快,可选用较大的进给量和切削速度,生产率较高;又因切屑少,排屑顺利,不易刮伤已加工表面。

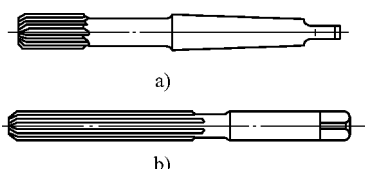
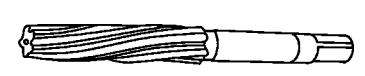
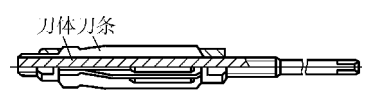
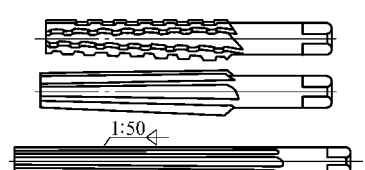
扩孔前的底孔先用0.5~0.7倍的钻头预钻,再用等于本工序孔径的扩孔钻扩孔,扩孔的切削速度为钻孔的1/2,进给量为钻孔的1.5~2倍。除了铸铁和青铜材料外,其他材料的工件扩孔时都要使用切削液冷却润滑。

7. 铰孔

铰孔是对中小直径的孔进行半精加工和精加工的一种孔加工方法,也可以用于磨孔或研孔前的预加工,如:模具零件中的销钉孔就是通过铰孔来达到精度要求的。所用工具为铰刀,铰刀的种类见表5-5。由于铰削的加工余量小,参与齿数较多,导向及刚性好,综合了切削和挤光作用,所以,铰削后的孔精度高,一般为:IT6~IT10,细铰甚至可达IT5,表面粗糙度 R_a 可达1.6~0.4 μm 。铰刀是定尺寸刀具,适合加工小直径孔,直径大于80mm的孔不适宜铰削。模具制造中常需要铰孔的情况是销钉孔,安装圆形凸模、型芯或顶杆等的孔,以及冲裁模刃口锥孔等。



表 5-5 铰刀的种类

铰刀的名称	图 示	说 明
整体圆柱铰刀		整体圆柱铰刀有手用和机用两种。机用铰刀如图 a 所示，一般用高速钢或硬质合金制造，多为锥柄，装在钻床或车床上进行铰孔；手用铰刀如图 b 所示，可用碳素工具钢制造，尾部为直柄，工作部分较长
螺旋槽手用铰刀		这种铰刀铰孔时，切削平稳，铰出的孔光滑，不会像普通铰刀那样产生纵向刀痕。比较适合铰有键槽的断续孔。铰刀的螺旋槽方向一般是左旋，以避免铰削时因铰刀的正向旋转而产生自动旋进的现象，左旋的切削刃容易使铰下的切屑被推出孔外
可调节手用铰刀		在刀体上有六条斜底槽，具有同样斜度的刀片嵌在槽里。利用前后两个螺母压紧刀片的两端。调节两端的螺母，可改变铰刀的直径，以适应加工不同孔径的需要。它适用于修配、单件生产以及在尺寸特殊情况下铰削通孔
整体圆锥铰刀		这种铰刀用于铰削圆锥孔。其切削部分锥度有 1:50、1:30、1:10 和莫氏锥度等几种

铰孔加工中一般机铰刀用于车床和钻床上进行铰孔；手铰刀则用绞杠进行铰孔，如图 5-5 所示。

在铸铁和未热处理的钢工件上铰孔时，使用普通高速钢机铰刀；在经过淬硬的工件上铰孔时，使用标准硬质合金铰刀或硬质合金无刃铰刀，也可将变形的孔用旧铰刀铰孔，然后用铸铁研磨棒研至正确尺寸；在两种硬度不同的材料上铰孔时，应从较硬的材料一面铰入；铰不通孔时，先用标准铰刀铰孔，然后用磨去切削部分的旧铰刀铰孔的底部。

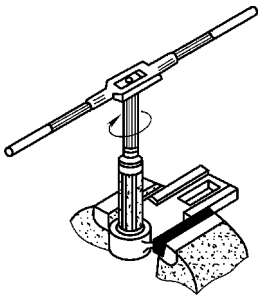


图 5-5 手工铰孔



铰孔时应注意以下几个问题。

1) 铰削余量要适中。余量过大, 会因切削热多而导致铰刀直径增大, 孔径扩大; 余量过小, 会留下底孔的刀痕, 使表面粗糙度达不到要求。粗铰余量一般为 $0.15\text{mm} \sim 0.35\text{mm}$, 精铰余量一般为 $0.01\text{mm} \sim 0.05\text{mm}$ 。

2) 铰削时采用较低的切削速度, 并且要使用切削液。在钢料上铰孔时, 一般用乳化液、硫化油或菜油润滑冷却。在铸铁上铰孔, 一般不加切削液, 如要求质量较高, 可采用煤油。在青铜或铝合金上铰孔, 可加菜油或煤油。

3) 为防止铰刀轴线与主轴轴线相互偏斜而引起的孔轴线歪斜、孔径扩大等现象, 铰刀与主轴之间应采用浮动连接。当采用浮动连接时, 铰削不能校正底孔轴线的偏斜, 孔的位置精度应由前道工序来保证。

4) 机用铰刀不可倒转, 以免崩刃。

8. 铤钻

在模具中沉头螺钉紧固应用十分广泛, 因此, 模具零件加工中沉孔加工的量较大, 这就用到了铤钻。常用的铤钻有圆柱形沉孔铤钻、锥形铤钻和端面铤钻等, 如图 5-6 所示。圆柱形沉孔铤钻和端面铤钻前端有导柱, 导柱直径与已有孔采用 H8/f7 间隙配合, 以保证定心和导向; 锥形铤钻锥角有 60° 、 75° 、 90° 、 120° 4 种。

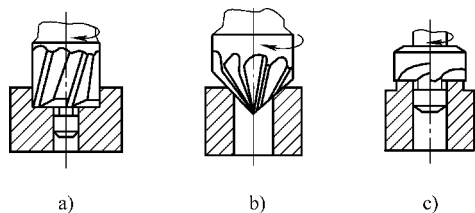


图 5-6 常用的铤钻

a) 圆柱形沉孔铤钻 b) 锥形铤钻 c) 端面铤钻

9. 攻螺纹

攻螺纹, 就是用丝锥在孔内切削出内螺纹。如图 5-7 所示为丝锥, 丝锥由工作部分和柄部组成, 工作部分又包含切削部分和校准部分。丝锥用碳素工具钢或高速钢制造, 并经淬火处理, 是标准刀具。

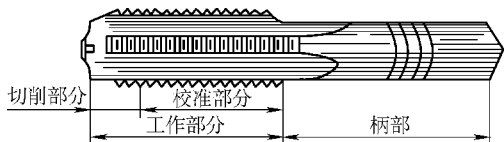


图 5-7 丝锥

丝锥可分为手用丝锥、机用丝锥和管子丝锥三种。手用和机用丝锥均有粗牙、细牙之分。为完成攻螺纹的辅助工具有攻螺纹扳手。

1) 手用丝锥。攻较小的通孔螺纹时, 可以用头攻丝锥一次攻成。当螺孔尺寸较大或是盲孔时, 为减轻攻螺纹时的切削力, 宜采用成组丝锥加工。手用丝锥通常由两把或三把组成一组。通常 M6 ~ M24 的丝锥为两把一组; M6 以下及 M24 以上为三把一组; 细牙丝锥均为两把一组。使用时, 顺序使用头攻、二攻和三攻。

2) 机用丝锥。装在机床上, 靠机床运动来攻螺纹。常用一把丝锥完成攻螺



纹。但当工件直径较大或加工硬度高且韧性好的材料或盲孔时，应采用成组丝锥依次加工。

3) 攻螺纹扳手也叫绞杠，手工攻螺纹时使用。又分为普通式（图 5-8a）和丁字式（图 5-8b）。

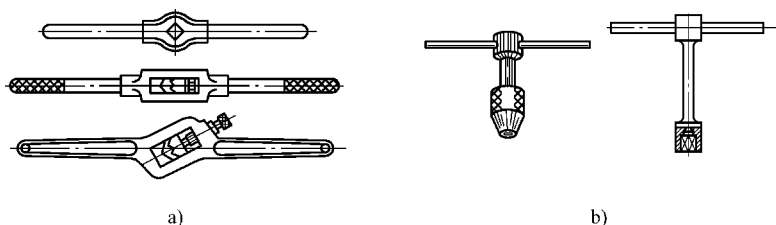


图 5-8 攻螺纹扳手

攻螺纹前首先要加工与之对应直径的螺纹底孔，如果螺纹底孔直径过小，攻螺纹时，丝锥对金属既有切削作用又有挤压作用，造成丝锥损坏和折断；直径过大，又会使攻出的螺纹不足，而成废品。盲孔攻螺纹时，除了螺纹底孔直径的要求外，深度也有一定的要求，由于丝锥切削刃部分攻不出完整的螺纹，所以，钻孔深度应超过所需的螺纹孔深度。钻孔深度是螺纹深度加上螺纹孔外径的 0.7 倍。其次，孔口用 90° 铰钻倒角，使倒角的最大直径和螺纹的公称直径相等。这样，丝锥容易切入，最后一道螺纹也不至于在丝锥穿出来时崩裂。接着选择合适的扳手和丝锥，先用头攻攻螺纹，粗攻出螺纹，操作时要尽量把丝锥放正，两手用力要轻而均匀，以适当的压力和扭力把丝锥切入孔内，当切入 1~2 圈时，再仔细观察和校正丝锥的位置。可用肉眼观察或用角尺检查丝锥的垂直度，一般在切入 3~4 圈时，丝锥已正确导入孔内，此时可不必再使用压力，只施加扭力攻螺纹即可，然后，继续用二攻或二攻、三攻丝锥修光螺纹。

10. 精密钻孔加工

当孔精度为微米级时，对较大孔可采用坐标镗床加工，较小孔则需要采用坐标磨床加工。没有精密设备时可采用研磨方法加工。

在坐标镗床上可以利用铰刀或镗刀进行精密孔的精加工，但当没有合适的铰刀或镗孔较困难时，可采用如图 5-9 所示的精孔钻进精加工。精孔钻是由麻花钻修磨而成的，加工时先用普通钻头钻孔，并留扩孔量 0.1~0.3mm。精钻时切削速度不能高，一般为 2~8mm/s，进给量 $f=0.1\sim0.2\text{mm/r}$ 。以菜籽油做润滑剂，钻

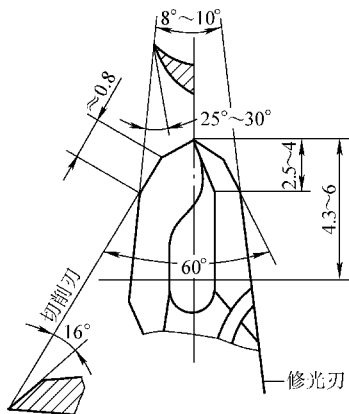


图 5-9 精孔钻的几何形状



头尺寸要选择在孔径尺寸公差范围内。只要钻头装夹正确,刃口角度对称,钻出的孔径与钻头尺寸基本相同,精度可达到 IT4 ~ IT6,表面粗糙度为 $R_a = 3.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。

11. 深孔钻加工

深孔加工是一种难度较大的技术,塑料模中的冷却水道孔、加热器孔及部分顶杆孔等都属于深孔。一般冷却水道孔的精度要求不高,但要防止偏斜;加热器孔为保证热传导效率,孔径及粗糙度有一定要求,表面粗糙度为 $R_a = 12.5 \sim 6.3 \mu\text{m}$;而顶杆孔则要求较高,孔径一般为 IT8 级精度。

(1) 深孔加工的特点

1) 孔深与孔径之比较大,一般 ≥ 10 ,钻杆细长,刚性差,工作时容易产生偏斜和振动,因此,孔的精度及表面质量难以控制。

2) 排屑通道长,排屑不畅,若断屑再不好,则可能由于切屑堵塞而导致钻头损坏,孔的加工质量也无法保证。

3) 钻头是在近似封闭的状况下工作,而且时间较长,热量多且不易散出,钻头极易磨损。

(2) 对深孔钻的要求

1) 断屑要好,排屑要通畅。要有平滑的排屑通道,借助于一定压力的切削液的作用促使切屑强制排出。

2) 良好的导向装置。除了钻头本身需要有良好的导向装置外,应采取工件回转、钻头只做直线进给运动的工艺方法来防止钻头的偏斜和振动。

3) 充分的冷却。切削液在深孔加工的同时起着冷却、润滑、排屑、减振与消声等作用,因此,深孔钻必须具有良好的切削液通道,以加快切削液的流动和冲刷切屑。

(3) 深孔加工常用的方法

1) 中小型模具的孔,常用普通钻头或加长钻头在立钻、摇臂钻床上加工,采用带有冷却孔的麻花钻则更好。加工时应注意及时排屑并进行冷却,进给量要小,防止孔偏斜。生产中还使用大螺旋角加长的麻花钻,该钻头可在铸铁件上加工孔深与孔径比不超过 30 ~ 40 的深孔,也可在钢件上加工较深的孔。

2) 中、大型模具的孔一般在摇臂钻床、镗床及深孔钻床上加工,较先进的方法是在加工中心上与其他孔一起加工。

3) 过长的低精度孔也可采用划线后从两面对钻的方法加工。

4) 对于直径小于 20mm 且长径比达 100:1 (甚至更大) 的孔,多采用枪钻加工。它可以一次加工全部孔深,大大简化了加工工艺,且加工精度较高。

如图 5-10 所示为枪钻的结构。枪钻为单面刃外排屑深孔钻,最早用于加工枪管,故称枪钻。枪钻的工作部分由高速钢或硬质合金与无缝钢管压制成形的



钻杆对焊而成。工作时工件旋转，钻头进给，同时高压切削液由钻杆尾部注入，冷却切削后沿钻杆凹槽将切屑冲刷出来。

枪钻切削部分的主要特点是仅在轴线一侧有切削刃，没有横刃。钻头偏离轴心线的距离 e ，内刃切出的孔有锥形凸台，有助于钻头的定心导向。合理配置内外刃偏角与钻头偏距，可控制外、内刃切削时产生恰当的径向合力 F ，与孔壁支撑反力平衡，维持枪钻钻头的平稳性，并使枪钻沿轴线方向前进，这是枪钻特有的性能。同时，枪钻切削时形成一个直径为 $2H$ 的芯柱，此芯柱也附加起定心导向的作用。

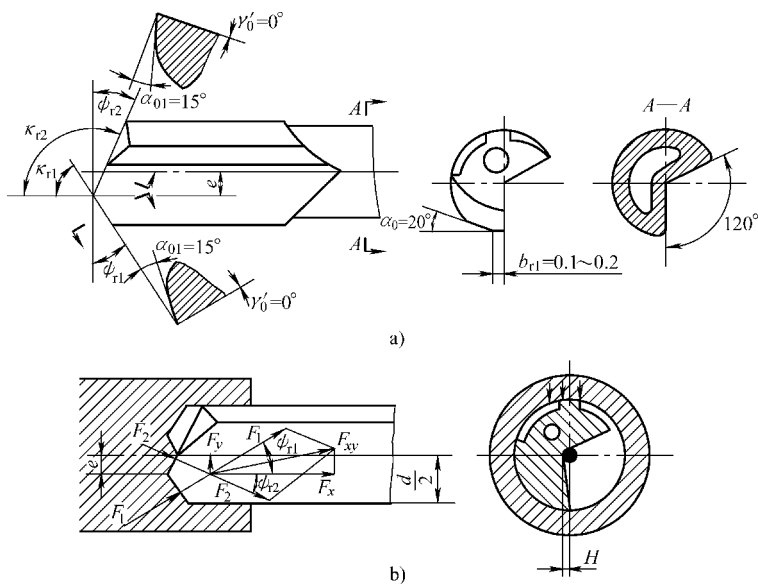


图 5-10 枪钻的结构

思考与练习题

1. 划线的作用是什么？
2. 刃磨凿子时应注意些什么？
3. 怎样锉削曲面？
4. 钻骑缝孔时应注意些什么？
5. 影响铰孔表面粗糙度的因素有哪些？



第6章 模具零件的机械加工

模具制造属机械加工的范畴，机械加工方法广泛用于制造模具零件。模具的机械加工是指根据模具设计图样中的模具构成、零件的结构要素和技术要求，制造完成一副完整模具的生产工艺过程。一般可分为：毛坯外形的加工、工作面的加工、模具零部件的加工、模具装配。模具零部件的加工包括模具零件外形面与工作面加工。所谓工作面是指模具中直接对工件作用的表面，如冷冲模的冲裁刃口、塑料模的内腔等。模具零件的工作面可分为外（凸）工作面及内（凹）工作面。外工作面可看作广义轴类，采用轴类零件的工艺方法加工；内工作面可分为型孔与型槽，型孔可看作广义通孔，型槽可看作广义盲孔，采用孔类零件的工艺方法加工。工作面的加工难度比普通轴类与孔类大的多，需采用各种专门的工艺方法与特种机床加工，占模具加工工作量的70%~80%。

机械切削加工的层次可分为：普通机床加工、仿形机床加工、坐标机床加工、数控机床加工等。模具零件的机械加工方法有以下几种情况：普通精度零件用通用机床加工，例如，车削、铣削、刨削、钻削、磨削等。这些加工方法对工人的技术水平要求较高，具有生产率低，模具制造周期长，成本高等特点，加工完成后要进行必要的钳工修配再装配。精度要求较高的模具零件用精密机床加工；形状复杂的空间曲面，采用数控机床加工；对特种零件可考虑其他加工法，如挤压成形、超塑成形加工、快速成形等。

用于模具加工的精密机床有坐标镗床、坐标磨床等。这些设备多用于加工固定板的凸模固定孔、模座上的导柱和导套孔、某些凸模和凹模的刃口轮廓等。

加工模具零件常用的数控机床有：二坐标数控铣床、加工中心、数控磨床等。由于数控加工成品率高、加工精度高、生产率高、节省工装、工程管理容易、对设计更改的适应性强、可以实现多机床管理等一系列优点，对实现机械加工自动化，使模具生产更加合理、省力，改变模具机械加工的传统方式具有十分重要的意义，数控机床加工发展很快，在一些工厂已占模具加工量的50%以上，这也是今后模具加工发展的方向。

6.1 普通机床加工

普通机床加工方法有：车削、铣削、刨削、钻削、磨削、插削等。这些加





工方法一般所加工形状较为简单,对回转面、平面的加工很实用,所以在板类、盘类零件的外形加工与模具成形面的加工中得到广泛使用。

普通机床加工具有对工人的技术水平要求较高、生产率低、制造周期长、成本高等特点。

6.1.1 车削加工

1. 车床的分类

模具中加工的零件有许多都是回转体,而且又大多数是在车床类机床上进行加工的。在生产中所使用的车床种类很多,常用的有以下几种。

1) 卧式车床。这类车床主要用来完成各种切削工作,也可以完成钻、镗等工序。卧式车床是车床中的主要类型,约占车床类机床总数的60%左右。它又可细分为:落地车床、马鞍车床等几种。

2) 转塔车床。这类车床具有一个多位置的刀架,可同时装上多把刀具以顺序进行切削,因而换刀方便,生产率也比卧式车床高。但调整机床需要较多时间,因此在单件、小批生产中使用受到限制,适用于成批生产。

3) 立式车床。这类车床的主轴是垂直的,主要用来加工重量较大,而长度比直径小的零件。

4) 多刀半自动车床。这类车床具有多个刀架,每个刀架又可装上多把刀具,以便同时进行加工。

5) 自动和半自动车床。这类车床在加工过程中是按自动的工作循环或半自动的工作循环(装卸工件由工人来完成)来进行工作的,按其主轴的数目,又可分为单轴的和多轴的两种。

6) 专门化车床。属于此类车床的有车轮车床、车轴车床、曲轴车床、凸轮轴车床、轧辊车床、钢锭车床、曲拐销车床、铲齿车床、轴颈车床、板牙铲齿车床等。

7) 其他车床。属于这类车床的有联合车床(可以进行车、镗、内圆磨、立铣、卧铣、钻孔等工作)、活塞环仿形车床等。

车床的种类很多,其中以卧式车床的通用性较好,应用最为广泛。

2. 车床的功用

在普通车床上可以进行各种不同的车削工作,一般可完成的主要工序如下。

1) 车外圆。这是车床中最有代表性的一种工序。工作时,通过工件与刀具间的相对运动来完成车削工作。

2) 车端面。这种工序是由工件的旋转和刀具作横向移动而实现的。

3) 切断和切槽。多用于切断零件或是把零件上一个表面与另一个表面分开。

4) 钻、镗孔。这是普通车床上一种常用的工序,有时在镗孔之前,需要先钻孔。





5) 切螺纹。这是普通车床上的一种特有的工序,工作时要求工件的旋转和刀具的纵向移动保持着严格的相对关系(工件一转刀具移动一个螺距),以组成一种复合的运动。在一般现代车床上,可以车削公制、模数、英制、径节螺纹,并且也可以车削各种不同断面的多头螺纹。

6) 车成型表面。这是一种较为复杂的工序。工作时,除了工件作旋转运动以外,刀具还必须在纵横两个方向内移动。这种成型表面也可以用成型车刀来加工,这时只要求工件旋转和刀具作横向移动就行了。

7) 车锥体。这种工序是成型表面加工的一种特例。

8) 靠模车削。在车床上安装靠模附件,便可根据各种不同形状的靠模来车出不同形状的成批同样的零件。应用靠模附件,特别是采用液压靠模装置,不但可以提高生产率和减轻工人的劳动,而且还可以降低对工人技术等级的要求,并保证零件的准确性。

3. 车削加工工艺范围

车削加工主要加工回转类零件的内外表面,如导柱、定位销等轴类零件和套类及盘类零件。精度可达到 IT5 ~ IT10,表面粗糙度 R_a 可达到 12.5 ~ 0.008 μm 。

4. 工件的定位方式

对轴类零件来说,一般采用轴两端中心孔作为定位基准。因为轴类零件的各外圆、锥孔、螺纹等表面的设计基准一般都是中心线,选择两端中心孔定位符合基准重合原则,加工时能达到较高的相互位置精度,且工件装夹方便。套类零件加工一般采用互为基准的原则,即加工内圆表面以外圆为基准,加工外圆表面以内圆为基准。其工件定位的具体方法如下。

(1) 用两中心孔定位

以两中心孔为基准装夹工件在车床的前、后顶尖上,用鸡心夹或拨盘带动工件转动。

用中心孔定位的优点是:加工过程不仅基准重合,而且基准统一,有利于保证各表面间较高的位置精度。

用中心孔定位的缺点如下。

1) 增加了加工中心孔的工序(或工步)。

2) 顶尖孔深度不准确时,不易保证轴向尺寸精度,为此可同时用中心孔及一个端面定位。

3) 需用鸡心夹等传递转矩,但不能在一次安装中加工完轴的全长。

(2) 用外圆柱表面定位

装夹较短的轴类零件常用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘定位夹紧;较长的轴类零件则要在另一端钻中心孔,利用后顶尖支撑,以提高工件刚性。

(3) 用两端孔定位



对于粗加工后的孔，用有齿的顶尖（菊花顶尖）装夹，如图 6-1 所示；当零件两端有锥孔或预先做出工艺锥孔，就可用锥套心轴或锥形堵头定位装夹，如图 6-2 所示。

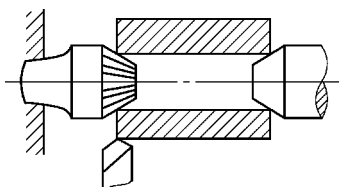


图 6-1 轴类零件的装夹

5. 模具零件车削加工应用

在模具零件加工中的主要应用如下。

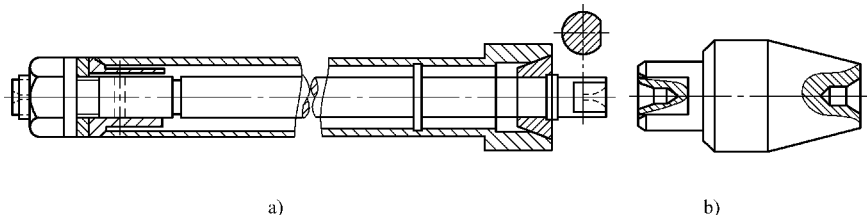


图 6-2 用两端孔定位装夹

a) 锥套心轴 b) 锥形堵头

1) 圆盘类、轴类零件的加工。圆盘类、轴类零件指模具的导柱、导套、顶杆、模柄等，通常这些零件的回转表面采用车削完成粗精加工，精度可达 IT6 ~ IT8，表面粗糙度 R_a 为 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ，对要求较高的工作面与配合面尚需磨削加工。

2) 局部圆弧面的加工。局部圆弧面的分模面在模具中比较常见，为保证模具准确对合，必须保证对合面圆弧半径尺寸精度。可在花盘上找正定位后加工，精度由百分表测量控制。有时也采用先加工一个完整圆盘，再用线切割等方法取出一个或几个模块的方法，如图 6-3 所示。

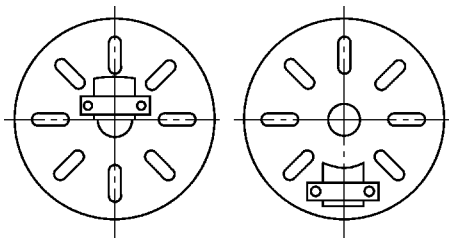


图 6-3 局部圆弧面的加工

3) 回转曲面的粗加工或半精加工。尺寸大的曲面可采用仿形加工法，如图 6-4a 所示；尺寸小的曲面可采用成形刀加工法，如图 6-4b 所示；对拼型腔在车床上加工时，为保证型腔尺寸准确对合，通常应预先将各镶件间的接合面磨平，两板用销钉定位，螺钉紧固组成一个整体后再进行车削，如图 6-4c 所示。

6.1.2 铣削加工

使用旋转的多刃刀具（铣刀）加工工件的过程叫做铣削。铣削是一种应用广泛，生产率较高的切削加工方法。

1. 铣床的分类

铣床的种类很多，根据用途可分为：卧式铣床、立式铣床、龙门铣床和万





能工具铣床等类型,其中最常用的有卧式铣床和立式铣床。

1) 卧式铣床。最大的特点是主轴和工作台面平行。为了适应铣螺旋槽等工作,有的卧式铣床工作台还可以在水平面内旋转一定角度,这就是万能卧式铣床。

2) 立式铣床。与卧式铣床的主要区别是它的主轴是直立的,与工作台成垂直位置。有的立式铣床主轴还能在垂直面上旋转一定角度。

2. 铣削加工

在铣床上使用不同类型的铣刀,配以附件分度头、回转台,可以加工平面、斜面、台阶面、特形面、V形槽、燕尾槽、螺旋

槽及各种键槽,还可以作切断、镗孔、铣削齿轮、铣削蜗轮等工作。如图 6-5 所示。

铣削在模具成形面加工中应用很广,常用于加工模块的平面、台阶、型腔等。铣削的加工精度可达 IT10,表面粗糙度 R_a 为 $1.6\mu\text{m}$;若选用高速、小用量铣削,则加工精度可达 IT8,表面粗糙度 R_a 为 $0.8\mu\text{m}$;要求更高时,铣削后再用成形磨削或电火花进行精加工。

3. 铣削过程的分类

根据铣刀的旋转方向与工件的送进方向的不同,铣削过程可分为以下几类。

(1) 顺铣

如图 6-6a 所示。即铣刀与工件在接触的地方,铣刀的旋转方向与工件的送进方向相同。

顺铣的主要特点如下。

1) 顺铣时,铣刀将工件压向工作台及导轨,从而减少了工作台与导轨间的间隙,同时也减少了切屑被铣刀刀齿辗入已加工表面的可能性,因此提高了加

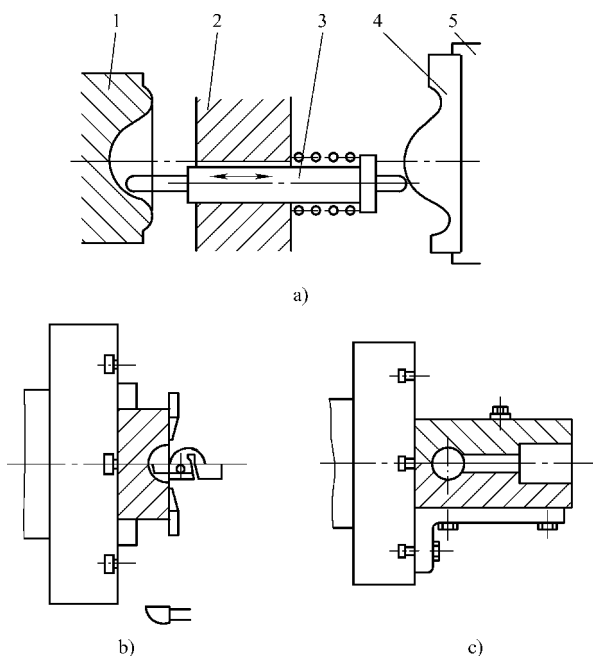


图 6-4 回转曲面的车削加工

a) 仿形加工法 b) 成形刀加工法

c) 对拼型腔在车床上加工

1—工件 2—板架 3—刀架

4—靠模 5—靠模支架

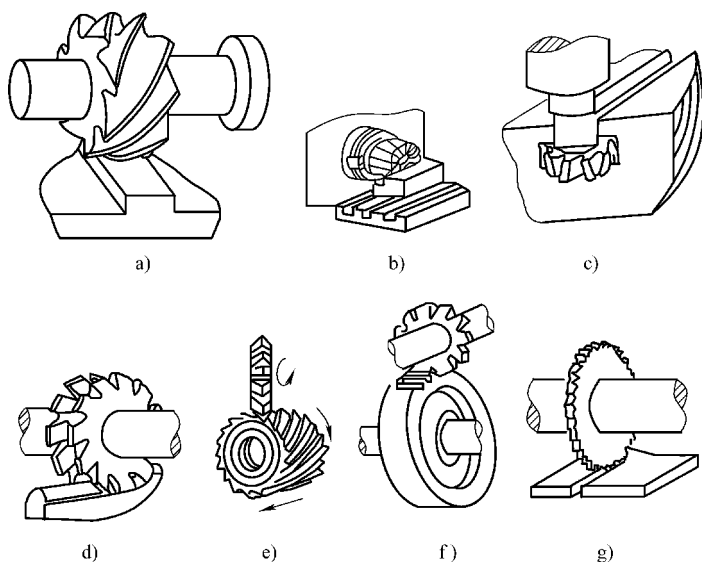


图 6-5 各种铣削方法

a) 铣平面 b) 铣台阶 c) 铣沟槽 d) 铣成形面 e) 铣螺旋槽 f) 铣齿轮 g) 切断

工表面的质量。

2) 顺铣时, 刀齿与工件接触后立即开始切削, 在工件表面没有硬皮时, 避免了刀齿挤压和滑行现象, 避免了刀齿与工件的强烈摩擦, 已加工表面的加工硬化程度大为减轻, 表面质量也较高。因此铣刀的寿命较逆铣时长, 当切削深度不大时效果尤为显著: 倘若工件表面有硬皮, 切削深度很大, 或工件硬度较高时, 由于刀齿的工作从最大的切削厚度开始, 使刀齿承受了最大的冲击载荷, 因此对铣刀寿命的影响很大, 在这种情况下不能采用顺铣。

3) 由于切削力水平分力的方向与进给方向一致, 因此可以使功率消耗减少一些。

4) 若机床进给机构中丝杠和螺母有间隙时, 则由于切削力与进给力方向相同, 当铣刀开始接触工件时, 在切削力作用下工作台往往要猛然向前窜动一段距离 (这个距离等于丝杠和螺母间的间隙), 而使铣刀受到冲击, 造成进刀不均匀, 工件表面出现深啃槽, 甚至会损坏铣刀。所以采用顺铣时, 机床必须有消除丝杠和螺母间隙的补偿装置。

(2) 逆铣

如图 6-6b 所示。即铣刀与工件接触的地方, 铣刀的旋转方向与工件的进给方向相反。

逆铣的主要特点如下。

1) 逆铣时, 铣刀有将工件及工作台向上稍微抬起的趋势, 加大了工作台与导轨间的间隙, 同时, 切屑有可能被铣刀辗入已加工表面。



2) 逆铣时刀齿在工件外皮下面工作, 且作用在刀齿上的载荷是逐渐增加的, 因此当工件表面有硬皮, 切削深度较大或工件硬度较大时宜采用逆铣。这样刀具的寿命要比顺铣高。但是若工件没有硬皮, 切削深度不大或工件硬度不大时, 由于刀齿后面与工件的加工硬化表面产生强烈的摩擦, 此时刀具的寿命就较顺铣时短。

3) 由于切削力水平分力的方向与进给方向相反, 因此可能使功率消耗大一些。

4) 由于切削力水平分力的方向与进给方向相反, 自动抵消了进给机构中丝杠和螺母工作面间的间隙。各种铣床都可以采用逆铣。

由此可知, 逆铣、顺铣各有不同特点, 但因逆铣时工作台不会窜动, 不会“打刀”, 所以在一般情况下逆铣较顺铣用得更多。而精加工时, 铣削力较小, 为了降低工件表面粗糙度, 可以较多的采用顺铣。

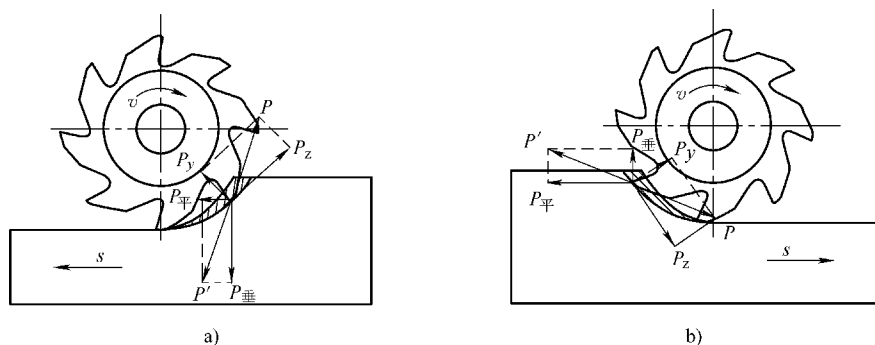


图 6-6 铣削时的垂直分力与水平分力

a) 顺铣 b) 逆铣

4. 模具零件铣削加工应用

1) 铣削成形面。在模具加工中铣削平面、斜面、沟槽、型腔等的方法如图 6-7 所示, 其中应用最多的是立式铣床。

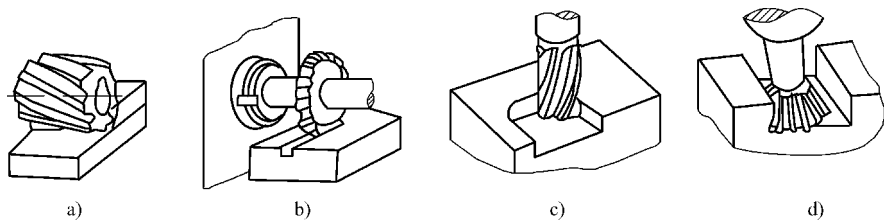


图 6-7 铣削加工示意

a) 铣平面 b) 铣槽 c) 铣型腔 d) 铣型槽



2) 加工各种带圆弧的型面与型槽。如图 6-8 所示, 将回转台安装在铣床的工作台上, 而工件则安装在回转台上, 这样可加工各种带圆弧的型面与型槽。安装工件时, 必须使被加工圆弧中心与回转台的中心重合, 利用回转台相对于主轴的运动实现圆弧进给。对于更复杂的型面, 则可利用回转台与铣床工作台的组合运动实现进给。

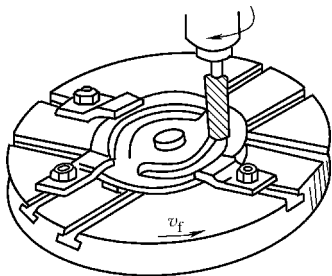


图 6-8 铣削圆弧槽示意

3) 加工具有孔间尺寸要求的孔。有些铣床可保证定位精度在 0.02mm 以内, 利用此功能可加工凹模、卸料板等板块上的孔系。

6.1.3 刨削和插削加工

刨削(插削)加工是以单刃刀具——刀具相对于工件作直线往复运动形式的主运动, 工件作间歇性移动进给的切削加工方法。

1. 加工机床分类

牛头刨床、龙门刨床是常用的刨削设备。插削所用的设备主要是插床。

2. 刨削(插削)加工

刨削加工是常用的一种加工方法, 主要用于模具零件外形的粗加工、半精加工, 它可以加工平面、斜面、垂直面、曲面、台阶面、燕尾槽、T 形槽、V 形槽、方孔、齿轮、齿条, 以及孔内表面等。

插削加工主要加工孔内键槽等。

牛头刨床加工中小型模具零部件, 龙门刨床主要加工大型模具零部件, 龙门刨床除了可以加工直平面以外, 还可以加工斜面。在加工斜面时, 水平进刀和垂直进刀可以同时进行。在精度高、刚性好的龙门刨床上也可以用宽刃刨刀作细刨以代替刮研。

3. 刨削加工工艺特点

1) 加工质量中等。一般来说, 刨削加工的切削速度低, 有冲击和振动现象, 加工质量一般, 但是, 刨床通用性好, 换刀方便, 可以在一次装夹中加工几个不同的表面, 用机床精度保证加工表面之间的位置精度。另外, 刨削大平面时无接刀痕, 表面质量较好, 用宽刃细刨的由口工方法, 可以达到相当高的精度和相当好的表面质量。

2) 生产率低。刨削时的直线往复运动, 不仅限制了切削速度的提高, 而且空行程又显著降低了切削效率。因此, 刨削加工生产率较低。

3) 加工成本较低。刨床结构简单, 调整方便。刨刀制造、刃磨容易, 因此, 刨削加工成本较低。





4. 模具零件刨削加工应用

刨削加工由于灵活简便，在模具加工中主要用于板块外形面、斜面及各种形状复杂的表面，刨削加工的精度可达 IT10，表面粗糙度 R_a 为 $1.6\mu\text{m}$ 。

(1) 平面的刨削

对于较小的工件，常用平口钳装夹，对于大而薄的工件，一般是直接安装在刨床工作台上，用压板压紧。对于较薄的工件，在刨削时还常采用撑板压紧，如图 6-9 所示。其优点是便于进刀和出刀，可避免工件变形，夹紧可靠。撑板如图 6-10 所示。

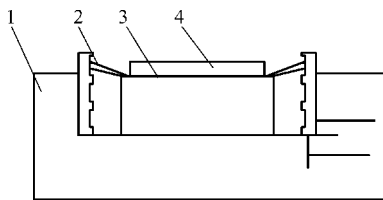


图 6-9 用撑板装夹

1—虎钳 2—撑板 3—垫板 4—工件

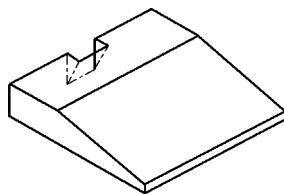


图 6-10 撑板

(2) 斜面的刨削

斜面刨削时，可在工件底部垫入斜垫块使之倾斜。斜垫块是预先制成的一批不同角度的垫块，使用时还可用两块以上不同角度的斜块组成斜垫块组。另外，刨削斜面还可以倾斜刀架，使滑枕移动方向与被加工斜面方向一致。刨削时采用手动进给将斜面刨出。

(3) 曲面的刨削

刨削曲面时，刀具没有一定的位置，它随曲面的形状作相应的变化，用合成动作加工出各类曲面。

曲面刨削有以下几种方法。

1) 按划线刨削法。这种方法最常用，特别适合单件生产，其加工简单，但要求具有一定的操作技术。用该法加工曲面表面粗糙，刨后应修光表面。

2) 成形刀具刨削法。用与曲面弧形相同的成形刨刀刨削曲面，加工后其表面粗糙度 R_a 可达 $6.3 \sim 3.2\mu\text{m}$ ，用于一定批量的生产。缺点是只能刨削小面积曲面。当曲面的面积较大时要分段刨削，生产效率低，且精度不高。

3) 机械装置刨削法。这种方法能得到较好的精度，加工质量稳定，适用于大批量生产。

如图 6-11 所示。为刨削成形面的例子，加工时要使用圆弧面刨削装置。转动手轮 1，蜗杆 2 带动蜗轮 3 旋转，使刀杆 4 转动，刨刀到蜗轮的转动中心的距离为圆弧半径。

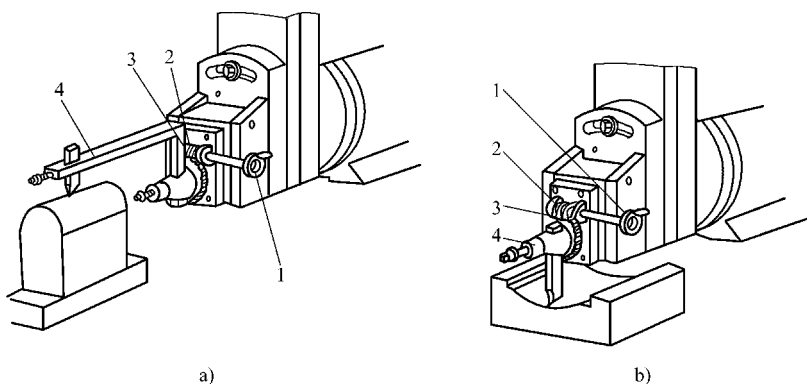


图 6-11 刨削加工示意图

a) 刨凸形面 b) 刨凹形面

1—手轮 2—蜗杆 3—蜗轮 4—刀杆

6.1.4 磨削加工

磨削加工是指用磨料磨具以较高的线速度对工件表面进行的加工。模具零件经过车、铣、刨等工序加工后，或对于淬硬钢件和高硬度特殊材料的精加工，为了提高模具零件的表面质量，一般都要进行磨削加工。

1. 磨床的种类

磨削加工所使用的设备为磨床，它是模具加工中不可缺少的设备之一，现代机械制造业中使用的磨床种类繁多。根据用途不同，磨床可分为外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、精密坐标磨床、工具磨床、螺纹磨床、凸轮磨床，曲轴磨床，轧辊磨床，拉刀磨床、球轴承外圈沟槽磨床，以及光学曲线磨床等。

在一般形状简单的常规模具零件制造中，主要使用的有外圆磨床、内圆磨床、平面磨床等。

2. 磨削加工的类型

为了磨削加工零件的各种表面，磨削加工的形式很多，有平面磨削（图 6-12a）、外圆磨削（图 6-12b）、内圆磨削（图 6-12c）、无心磨削、花键磨削、螺纹磨削、齿轮磨削、刀具刃磨、凸轮磨削、曲轴磨削等。

尽管磨削加工的形式很多，但以砂轮工作表面来区分，磨削加工可以分为周边磨削、端面磨削、成型磨削三大类。

磨削一般作为零件制造的半精加工和精加工手段，广泛地应用在机械制造和模具制造中，除可以常规加工外圆、内孔面、平面、成形表面、螺纹及齿轮廓形等各种表面外，在模具制造中，还可以磨削模具的型腔、型芯等成形件以及结构件。



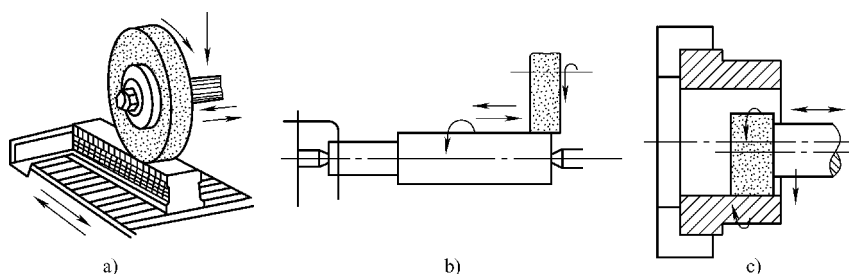


图 6-12 磨削方法

a) 平面磨削 b) 外圆磨削 c) 内圆磨削

3. 模具零件的常规磨削加工应用

(1) 平面磨削

模具零件经刨、铣及淬硬后，均需经过平面磨床磨削平面，以使其表面达到所规定的表面粗糙度等级。一般情况下，可达到 IT6 ~ IT5，表面粗糙度 R_a 值可达到 $1.25 \sim 0.32 \mu\text{m}$ 。

零件平面磨削方法分为圆周磨削法（如图 6-13a 所示）和端面磨削法（如图 6-13b 所示）两种，其磨削特点如下。

1) 圆周磨削法：

- ① 砂轮与零件的面积接触少，磨削时发热量小。
- ② 磨削区的散热、排屑条件好。
- ③ 可以获得较高的磨削精度及表面质量。

2) 端面磨削法：

- ① 主轴的伸出短、刚性好，故磨头变形小，可采用较大磨削量，生产率较高。
- ② 磨削面积较大。
- ③ 由于砂轮与零件接触面大，散热排屑条件会较差，加工精度较低。

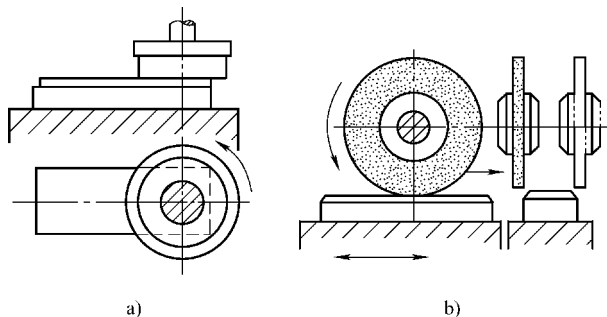


图 6-13 平面磨削方法

a) 圆周磨削法 b) 端面磨削法



(2) 外圆磨削

模具轴类零件的磨削可采用外圆磨床进行磨削。主要有外圆磨削、无心外圆磨削等方法。如图 6-14 所示。

外圆磨削加工能切除极薄、极细的切屑；修整误差的能力较强；加工精度高，一般可达 IT6 ~ IT8 级；表面粗糙度 R_a 可达 0.8 ~ 0.1 μm 。

外圆磨削可分为粗磨、精磨、细磨、超精密磨削和镜面磨削。在磨削时，要特别注意砂轮的选用、砂轮的修整和磨削用量的大小，并减少加工时的振动。当磨削材料硬度较高的零件时，应选择较软的砂轮，使磨削的磨粒及时脱落；当零件材料较软时，应选择较硬的砂轮。

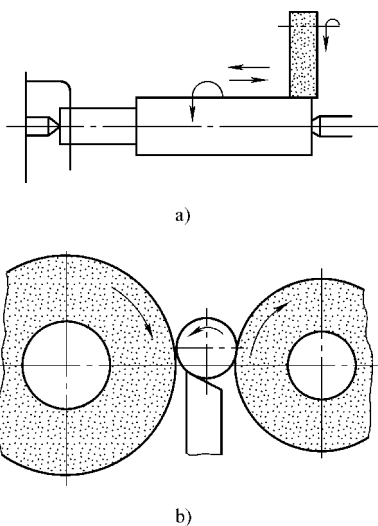


图 6-14 外圆磨削方法

a) 外圆磨削 b) 无心外圆磨削

为了提高磨削效率，在磨削时尽量要缩短磨削的辅助时间，如采用自动装卸零件，作到自动测量、数字显示、砂轮磨损自动修整及补偿等；另一方面，要改变切削用量和加大磨削面积，来提高磨削效率。

(3) 内圆磨削

零件的内圆磨削方法有三种：普通内圆磨床磨削法（图 6-15a）、行星磨削法（图 6-15b）、无心磨削法（图 6-15c），内圆磨削加工精度可以达到 IT7 ~ IT9，表面粗糙度 R_a 可达 0.16 ~ 0.32 μm 。其磨削特点如下。

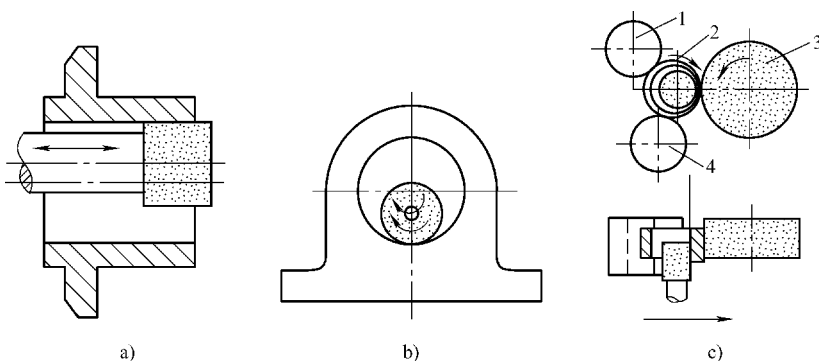


图 6-15 内圆磨削方法

a) 普通内圆磨床磨削法 b) 行星磨削法 c) 无心磨削法

1) 普通内圆磨床磨削法：





① 将零件夹紧在机床上做回转运动，砂轮也回转并作纵向往复运动和横向进给运动，接触工件进行磨削。

② 给一定的切削量，反复进行磨削至要求尺寸。

2) 行星磨削法：

① 在磨床上使工件固定不动，而砂轮通过自转并绕研磨孔的中心线作行星运动和轴向往复运动进行磨削，横向进给则通过加大砂轮行星运动的回转半径来实现。

② 主要应用于凹孔的加工。

3) 无心磨削法：

① 在磨削时，滚轮 1 将工件 2 压在滚轮 4 和导轮 3 上，并由导轮 3 带动工件 2 回转。导轮 3 和滚轮 1、4 全部安放在机床的滑板上，它可沿砂轮轴心线作纵向往复运动，进行工件的磨削。

② 主要应用于圆柱销孔简单零件磨削。

6.2 模具的仿形加工

仿形加工是以预先制成的靠模为依据，加工时在一定压力作用下，触头与靠模工作表面紧密接触，并沿其表面移动，通过仿形机构，使刀具作同步仿形动作，从而在零件毛坯上加工出与靠模相同型面的零件。仿形加工是对各种零件，特别是模具零件的型腔或型面进行切削加工的重要方法之一。随着现代工业产品向美观、舒适、微形等方向发展，工业产品表面的几何形状与要求也日趋精密复杂，20 世纪五六十年代时，数控机床还未普及，飞机、汽轮机、涡轮机叶片曲面加工的进给问题难以解决，仿形加工跳过了复杂曲面的数学建模过程，依靠仿形机构沿靠模或样板曲面行进获得机床进给的依据，为复杂曲面的加工找到了捷径，至今仍然在模具加工中得到应用。

常用的仿形加工有仿形车削、仿形铣削、仿形刨削和仿形磨削等。

6.2.1 仿形加工的控制方式及工作原理

实现仿形加工的方法有多种，根据靠模触头传递信息的形式和机床进给传动控制方式的不同，仿形机构的形式可以分为机械式、液压式、电控式、电液式和光电式等。工业上应用最多的是：机械式、液压式、电控式。

1. 机械式仿形

如图 6-16 所示为机械式仿形铣床的加工原理图。图 6-16a 所示仿形触头 5 始终与靠模 4 的工作表面紧密接触，并沿其工作表面作相对运动，仿形触头与刀具刚性连接，或通过缩放仪及杠杆等连接，这个运动通过信息传递装置 3 传递给铣刀 1，铣刀 1 对工件 2 进行加工，从而实现同步仿形加工。要注意的是对



于平面轮廓的仿形需要两个方向的进给， S_2 产生的进给，叫做随动进给运动。图 6-16b 所示对空间轮廓的仿形，则需要三个方向的进给运动的相互配合，其中 S_1 、 S_3 为主进给运动， S_2 为随动进给运动。这类机床多数用手动进给或手动与机动相配合进给等多种方式实现仿形。

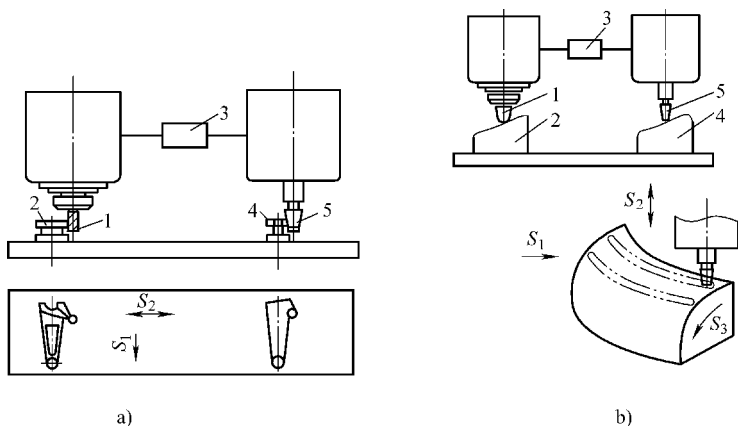


图 6-16 机械式仿形工作原理

a) 平面轮廓仿形 b) 立体仿形

1—铣刀 2—工件 3—信息传递装置 4—靠模 5—仿形触头

采用机械式仿形机床加工工件时，由于靠模与仿形触头之间有较大的作用力，又有相对运动，因而容易引起两构件工作面的磨损。而且在加工过程中，仿形触头以及起刚性连接的中间装置需要传递很大的力，会产生一定的弹性变形。所以机械式仿形加工的精度较低，不适宜加工精度要求高的零件。

2. 液压式仿形

如图 6-17 所示为液压式仿形车削加工示意图，液压式仿形是利用液压油作为介质来传递运动信息和动力的。靠模 4 固定在机床上，液压缸与液压系统安装在托板 6 上，托板又安装在机床的床鞍上，仿形触头 5 始终与靠模 4 的工作型面接触，且与液压系统相连接，活塞杆 7 又与车床中滑板相连。仿形车削加工时，车刀作纵向进给运动，仿形触头沿着靠模型面移动并产生横向运动而使液压系统工作，控制

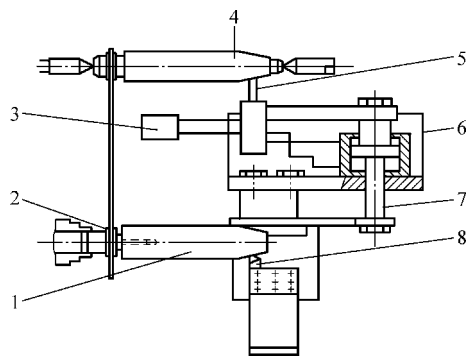


图 6-17 液压式仿形车削加工示意图

1—工件 2—链轮 3—液压系统 4—靠模
5—仿形触头 6—托板 7—活塞杆 8—车刀





液压缸的进出油以及活塞两边的压力差，推活塞杆移动使中滑板和车刀作相应的横向进给运动，完成仿形车削加工。

液压仿形具有结构简单，体积小而输出功率大，工作适应性强，动作灵敏度高等优点。且液压仿形装置没有传动间隙存在，因而其仿形精度要比机械式仿形精度高，一般在 $0.02 \sim 0.1\text{mm}$ 。仿形触头压力约为 $6 \sim 10\text{N}$ 。

3. 电控式仿形

电控式仿形加工是以电信号传递仿形信息，利用伺服系统带动刀具作仿形切削加工运动的。如图 6-18 所示为电控仿形车削加工示意图。它由靠模 4、仿形触头 5、电气控制系统 3 和信号放大系统 6 等部分组成。车削时，仿形触头 5 沿靠模 4 型面移动，产生仿形信号，经信号放大系统 6 放大后，传递给电气控制系统 3，再由电气控制信号控制机械传动带动车刀作仿形进给运动，实现仿形车削加工。

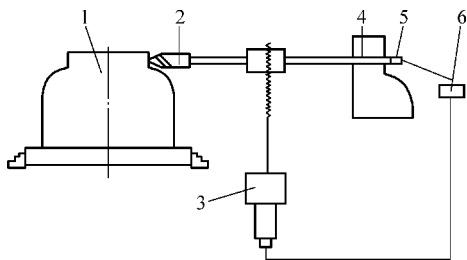


图 6-18 电控式仿形车削加工示意图

1—工件 2—车刀 3—电气控制系统 4—靠模
5—仿形触头 6—信号放大系统

电控式仿形的特点是：系统结构紧凑，传递信号快捷、准确、灵敏度高、仿形触头压力小（ $1 \sim 6\text{N}$ ）、易于实现远距离控制，并可用计算机与其构成

多工序连续控制的仿形加工系统。电控式仿形的仿形精度可达 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 。

对各种仿形方式在采样（接触）方式、触头作用力、加工误差、靠模材料比较见表 6-1。

表 6-1 各种仿形方式比较表

仿形方式	触头作用力/N	加工误差/mm	靠模材料
机械式	10 ~ 50	0.1	淬硬钢
液压式	6 ~ 10	0.02 ~ 0.1	金属样件及非淬火材料
电控式	1 ~ 6	0.01 ~ 0.03	任何固体材料

6.2.2 仿形加工工艺

1. 仿形加工的优缺点

1) 以样板、模型、靠模作为依据加工模具型面，跳过复杂曲面的数学建模问题，简化了复杂曲面的加工工艺。

2) 靠模、模型可用木材、石膏、树脂等易成形的材料制作，扩大了靠模的选取范围。



- 3) 仿形有误差, 加工过程中产生的热收缩、刀补问题较难处理。
- 4) 加工效率高, 为电火花的 40 ~ 50 倍 (常作为电火花加工前的粗加工)。

2. 仿形车削

仿形车削主要用于形状复杂的旋转曲面如凸轮、手柄、凸模、凹模型腔或型孔等的成型表面的加工。

仿形车削加工设备主要有两类, 一类是装有仿形装置的通用车床, 另一类是专用仿形车床。仿形车削是平面轮廓仿形, 需要两个方向的进给运动。一般仿形装置是使车刀在纵向进给的同时, 又使车刀按照预定的轨迹横向运动, 通过纵向与横向的运动合成, 完成复杂旋转曲面的内、外形面加工。根据结构与装置的不同, 可以完成仿形车削加工, 也可以完成端面仿形车削。

根据靠模样板在车床上的安装位置不同仿形车削又分为靠板靠模仿形, 机架靠模仿形和尾座靠模仿形。

仿形车削所用的靠模一般选用 3 ~ 5mm 厚的钢板或硬铝板制造, 其型面型槽须与被加工的旋转曲面的形状尺寸一致。有些与触头间作用压力小的靠模可以选用硬木、铝材或环氧树脂制造, 其型面的形状、尺寸与模具零件的形状、尺寸须一致。仿形车削一般用于精加工工序, 在仿形车削之前, 应先将毛坯粗车成形, 留较小的仿形车削余量 (一般不大于 2.5mm), 在仿形车削精加工之后, 需经抛光等加工。

3. 仿形铣削

仿形铣削主要用于加工非旋转体的复杂的成型表面的零件, 如凸轮、凸轮轴、螺旋桨叶片、锻模、冷冲模的成型或型腔表面等。仿形铣削可以在普通立式铣床上安装仿形装置来实现, 也可以在专用仿形铣床上进行。

(1) 普通立式铣床上的仿形铣削

在普通立式铣床上应用仿形装置进行平面轮廓仿形铣削, 方法极其简单。只需要将与工件成型表面形状相同或相似的靠模样板与工件一起固定在工作台上, 双手操纵铣床工作台的纵向和横向移动, 使滚轮始终与样板接触, 并沿着样板的型面作轮廓运动, 这样便可以加工出凹模型腔, 完成仿形铣削。

利用靠模样板加工时, 要注意铣刀的半径应小于型腔转角处的圆角半径, 这样才能加工出完整轮廓。

(2) 在专用仿形铣床上仿形铣削

在成批或大量生产中, 平面轮廓仿形铣削最好采用专用平面仿形铣床进行, 以满足成型表面加工精度和生产率的要求。常用的平面仿形铣床有双端面靠模铣床。在专用仿形铣床上加工工件时, 必须先做好和零件形状相同或相似的靠模样板或靠模。

对于形状复杂的需要三个方向进给运动的零件 (如凹模) 的型腔或型面的





加工,可以在立体仿形铣床上进行,当铣刀与工件进行横向、纵向及垂直三个方向的进给运动,便可以加工出立体成形表面。

(3) 仿形铣削的工作方式

仿形铣削因铣床不同,其铣削方式存在差异,但其切削运动路线有以下三种基本方式。

1) 水平分行。工作作水平移动,铣刀进行切削,切削到型腔端头,主轴箱在垂直方向上作进给运动,然后铣刀反向作水平进给,如图 6-19a 所示。

2) 垂直分行。主轴箱不断作垂直进给运动。当切削到型腔端头,工作台在水平方向作一横向进给,然后铣刀再作反向垂直进给,如图 6-19b 所示。

3) 沿轮廓铣削。铣削时,铣刀的垂直进给与工作台的水平横向进给同时受到协调控制。铣刀不需要作纵向进给,仿形触头沿着靠模样板的轮廓仿形,铣刀沿着工件的轮廓铣削,如图 6-19c 所示。

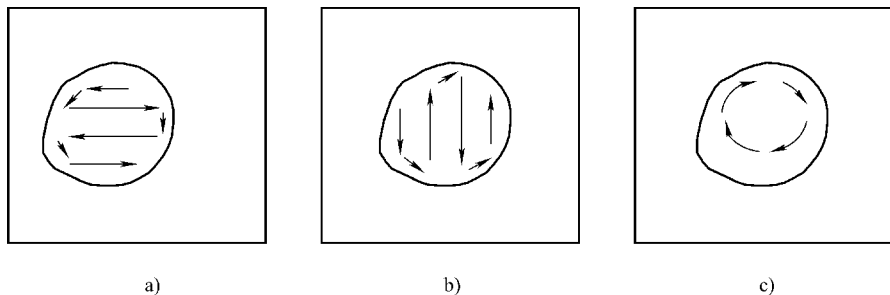


图 6-19 仿形铣削工作方式

a) 水平分行铣削 b) 垂直分行铣削 c) 沿轮廓铣削

(4) 仿形铣刀

仿形铣削是在普通立式铣床或立体仿形床上进行,仿形铣削所用铣刀也是类似于立铣刀的结构,但应根据加工表面形状来确定,其类型如图 6-20 所示。加工平面轮廓型槽,可选用端头为平面的圆柱立铣刀;加工立体型槽时,为得到工件全部曲面形状,应选用锥形球头铣刀,铣刀端头的圆弧半径必须小于工件的内圆弧最小半径,锥形铣刀的倾角应小于被加工表面的倾角。

4. 仿形刨削

仿形刨削是在仿形刨床上进行。仿形刨床又称刨模机、冲头刨床,用于加工由直线和圆弧组成的各种形状复杂的零件或凸模,其加工精度为 $\pm 0.2\text{mm}$,表面粗糙度 R_a 为 $1.6 \sim 0.4\mu\text{m}$ 。仿形刨削加工凸模或其他零件,其生产率较低。

仿形刨削前,零件或凸模的毛坯需要进行车削、铣削、刨削等预加工,然后在凸模的端面上划出凸模轮廓线,再到铣床上按线加工出凸模轮廓,留有

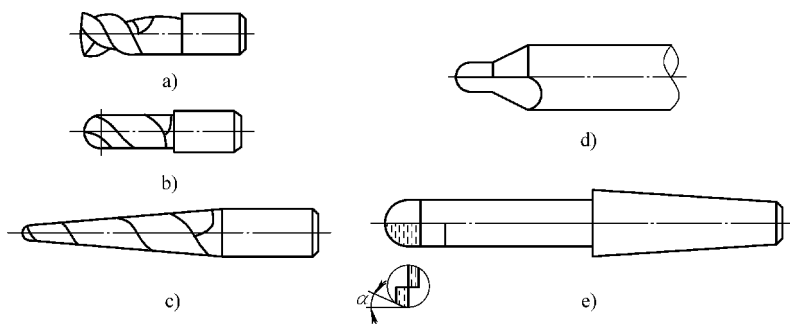


图 6-20 仿形铣刀的类型

- a) 圆柱立铣刀 b) 圆柱球头铣刀 c) 锥形球锥指铣刀
d) 小型锥指铣刀 e) 双刃硬质合金铣刀

0.2 ~ 0.3mm 的单面精加工的余量，最后用仿形刨床进行精加工。

仿形刨削的原理是在仿形刨床上，“仿形”精加工凸模是指工件与刀具间形成母线的相对运动关系，是根据工件划出的图线来进行调整的。加工时，利用刨刀的切削运动和凸模毛坯的纵向、横向送进和旋转，即可加工制造出各种复杂形状的凸模。加工圆弧时，必须使凸模上的圆弧中心与卡盘中心重合。找正的方法是用划线针指引着凸模端面上已划出的圆弧，用手摇动分度头手柄，使凸模转动，同时不断调整凸模的位置，直到圆弧上各点均与划线针针尖重合为止。如凸模上有几段不同心的圆弧时，则需要多次进行装夹和找正，分段进行加工。

仿形刨床上的刨刀除了作垂直向下的直线切削运动外，切削到达模具根部时，还能作摆动切削使凸模根部刨出一段圆弧，因此，采用仿形刨床加工凸模时，其根部应设计成圆弧状，凸模的固定部分则设计成圆形或者方形，这样可增加凸模的刚性，也便于制造。

在仿形刨床上安装插刀及专用刀杆，可以对直壁矩形孔或型腔进行加工。安装弹性划针可以在仿形刨床上对工件进行划线。

仿形刨削加工后的凸模，经过热处理后，还需要对其工作型面进行研磨和抛光。

6.2.3 雕刻加工工艺

雕刻加工是对零件、模具型腔表面或型面上的图案花纹、文字和数字的加工。雕刻加工是在雕刻机上进行的。雕刻加工属于机械仿形加工，机械雕刻机是一种应用广泛的仿形铣床，与仿形加工不同的是，仿形加工是在各种机床上对零件或模具的型腔或型面进行的加工，但雕刻加工不是直接作用式机械仿形加





工,而是通过缩放尺进行仿形的。雕刻机是用于加工微小精细的文字、数字、刻度,以及各种凹凸图案花纹的专用机床,它也可以用于小型模具型腔的加工(图6-21)。

雕刻机的种类很多,按其加工表面的类型可分为两种:一种主要是用于雕刻平面上文字、数字和图案的平面雕刻机;另一种是立体雕刻机,它除了可以进行平面雕刻外,还可以进行小型模具的三维立体形的雕刻。

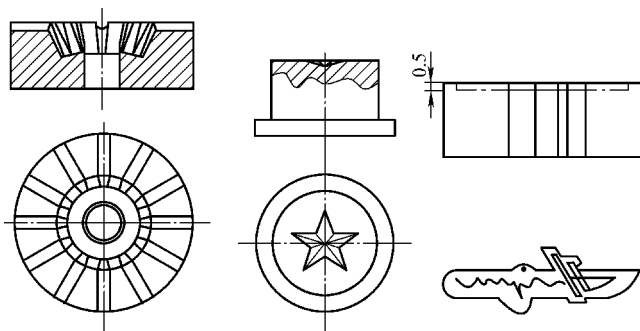


图 6-21 雕刻加工的实例

雕刻加工时,以手动或数控方式使仿形触头沿着靠模表面移动,通过缩放尺使刀具在工件表面上作仿形切削。缩放尺的比例是可调的,根据加工需要,可将靠模与工件尺寸的比例放大或缩小,缩放比为1或几分之一。靠模的放大率越大,雕刻的花纹越细致,精度越高。

缩放尺是雕刻机实现仿形加工的关键部件,其结构如图6-22所示,它是四根用铰链连接组成的活络连杆比例机构,调节连杆的长短就可得到不同的比例。雕刻加工时,靠模和模具按要求的相应位置分别安装在靠模工作台3和制件工作台5上,根据靠模的大小及尺寸与被雕刻工件尺寸的比例值调整缩放尺,然后手动操纵缩放尺,使仿形触头沿着靠模表面移动,则刻刀即可在工件表面上作仿形雕刻加工。制件工作台上装有回转工作台,用于带动工件旋转,并可进行分度。利用分度机构可以加工工件上圆周分布的文字、数字或沟槽等。

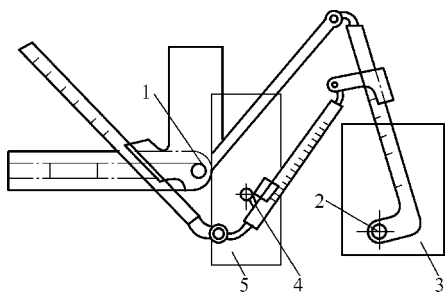


图 6-22 雕刻机的缩放尺结构

1—支点 2—触头中心 3—靠模工作台
4—刻刀中心 5—制件工作台

雕刻机的主轴大都采用带传动,由于所用雕刻刀直径小,为了使刀具获得较大的线速度,要求主轴高速旋转,一般其转速为4000~6000r/min。



仿形雕刻加工与其他仿形加工一样,要保证工件的表面加工质量,因此,对靠模、刻刀和仿形触头都有严格的要求。对于粗雕刻加工和半精雕刻加工最好使用热处理淬硬的仿形触头。仿形触头形状应与靠模表面的形状相适应,其端部尺寸应与靠模尺寸成比例。

雕刻用的靠模常用的制作材料是合成树脂或金属。由于靠模表面反复受到仿形触头端部的压力和摩擦作用,因而要求靠模制作材料有良好的耐压与耐磨性。如采用木材或石膏制造时,应在靠模表面覆盖一层金属或合成树脂。靠模制作可按1:1或放大几倍进行,也可以缩小,主要依据产品与加工要求而定。放大与缩小的效果不同。选择比例时,除要考虑几何形状的放大或缩小,更重要的是应考虑线条的粗细及靠模上凹凸不平处的放大效果。

雕刻所用的刻刀常用高速钢或硬质合金制造,为保证所刻出的花纹图案精致而平滑,刻刀刃口应尖细锋利。雕刻加工中,一般用单刃刻刀,且在加工过程中应及时进行刃磨。

6.3 模具的精密加工

随着制造业和科学技术的快速发展,模具零件中所使用的材料越来越广,模具零件的形状和结构越来越复杂,模具零件的加工难度越来越大,但对模具零件的加工精度和表面粗糙度的要求却是越来越高了,常用的传统加工方法已不能满足制造的需要,因此,便产生和发展了精密加工方法。

模具的精密加工(机械切削部分)主要采用坐标机床加工。坐标机床与普通机床的根本区别在于它们具有精密传动系统可作准确的移动与定位。有了坐标机床,可以加工模块上有精密位置要求的孔、型腔、甚至三维空间曲面。

6.3.1 坐标镗床加工

坐标镗床加工是在坐标镗床上,利用精密坐标测量装置,对零件的孔及孔系进行高精度(尺寸精度、几何精度与距离精度)切削加工,是一种高精度孔加工机床。

坐标镗床主要用于各类箱体、缸体和模具上的孔与孔系的精密加工。这类机床的零部件的制造与装配精度很高,刚性与抗振性良好,并且具有工作台、主轴箱等运动部件的精密坐标测量装置,能实现工件和刀具的精确定位。孔的尺寸精度可达IT6~IT7,表面粗糙度 R_a 可达 $0.8\mu\text{m}$,孔距精度可达 $0.005\sim 0.01\text{mm}$ 。坐标镗床还可用于镗孔、扩孔、铰孔等加工与划线、测量。

1. 机床的分类

坐标镗床按其布置形式不同,分为立式单柱、立式双柱和卧式等主要类型。





(1) 立式单柱坐标镗床

立式单柱坐标镗床是以床身为基础, 主轴固连于立柱上, 工作台安装在十字滑板上, 可相对于床身沿 x 、 y 两轴移动。主轴的旋转由电动机驱动, 通过主轴箱变速机构可实现多级转动, 可满足各种孔加工的需要。

(2) 立式双柱坐标镗床

如图 6-23 所示为立式双柱坐标镗床外形图。它由两个立柱 3 与 6, 顶梁 4 和床身 8 组成龙门框架, 横梁 2 装在两立柱上, 可上、下调整其位置, 主轴箱 5 装在横梁上, 工作台 1 直接支承在床身的导轨上。镗孔坐标位置由主轴箱沿横梁导轨移动和工作台沿床身导轨移动来确定。

立式双柱坐标镗床的主轴箱悬伸距离小, 另外床身和工作台之间层次少, 承载能力强。而且装在龙门框架上, 容易保证机床刚度, 因此, 一般为大、中型机床。由于主轴垂直于工作台面, 适用于加工水平尺寸大于高度尺寸的零件, 以及被加工孔的轴线垂直于工作台的扁平零件, 如钻模板、凹模, 样板等。

(3) 卧式坐标镗床

如图 6-24 所示为卧式坐标镗床外形图。主轴箱 5 可以沿立柱 4 上、下调整其位置, 主轴 3 是水平安装的, 回转工作台 2 通过上滑座 1、下滑座 7 与床身 6 相联系。镗孔位置由下滑座沿床身导轨移动和主轴箱的移动来确定。镗孔时的进给运动可由主轴的轴向移动来完成, 也可由上滑座沿着下滑座的移动来完成。

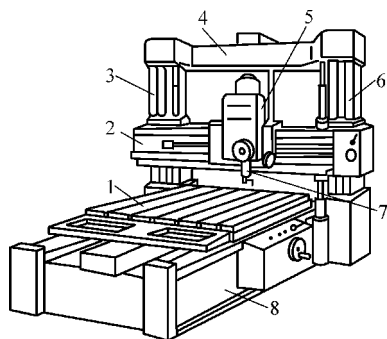


图 6-23 立式双柱坐标镗床

1—工作台 2—横梁 3、6—立柱 4—顶梁
5—主轴箱 7—主轴 8—床身

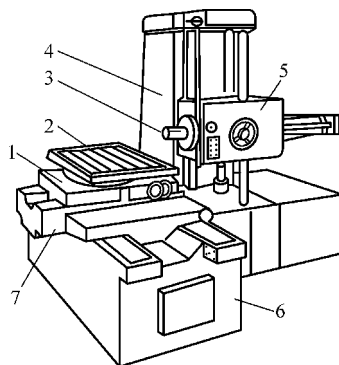


图 6-24 卧式坐标镗床

1—上滑座 2—回转工作台 3—主轴 4—立柱
5—主轴箱 6—床身 7—下滑座

该类坐标镗床工作台可精密分度, 能在一次安装中完成不同的多个面上的平面孔的加工, 且零件的高度不受限制, 安装方便, 机床具有良好的工艺性能。适用于箱体零件的中批量加工和复杂模具多表面和孔的加工。



2. 坐标镗孔的附件

坐标镗孔的主要附件有：可倾工作台、光学中心找正器，各种镗孔夹头等。

(1) 可倾工作台

如图 6-25 所示。可倾工作台由水平回转台 1、夹具体、水平回转副、垂直回转副等组成。工作时，工件安装在水平回转台上，通过转动回转手轮 3 可使水平回转台作水平回转，便于加工周向分布孔，转动倾斜手轮 2 可使转盘发生倾斜，便于加工斜面上的孔。

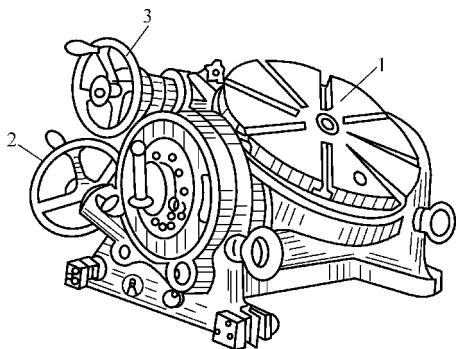


图 6-25 可倾工作台

1—水平回转台 2—倾斜手轮 3—回转手轮

(2) 光学中心找正器

如图 6-26 所示。光学中心找正器由锥尾和光学系统两部分组成，锥尾用于插入机床主轴锥孔，使光学中心找正器轴线与机床主轴轴线重合。光学系统由物镜、反光镜、目镜组成，使目镜中的视场恰为主轴下方的放大景象。为便于找正，在目镜镜片上划有一对相互垂直的细线（图 6-26b）。

(3) 镗孔夹头

镗孔夹头由锥尾、调节机构、刀夹组成（图 6-27），锥尾用于插入机床主轴锥孔，使夹头轴线与机床主轴轴线重合。旋转调节机构的旋钮可调节镗孔孔径，刀夹用于固定刀具。

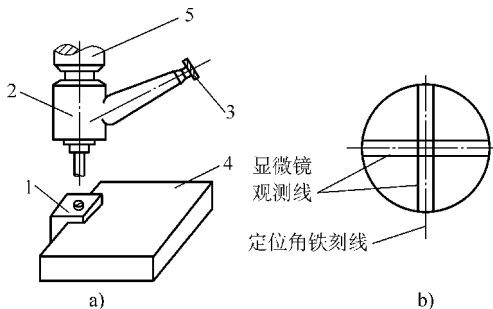


图 6-26 光学中心找正器

a) 光学中心找正器 b) 目镜上一对相互垂直的细线

1—定位角铁 2—光学中心测定器

3—目镜 4—工件 5—锥尾

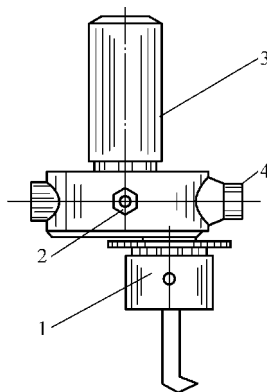


图 6-27 镗孔夹头

1—刀夹 2—紧固螺钉

3—锥尾 4—调节螺钉





3. 坐标镗床加工

坐标镗床工作时,是按照直角坐标法或极坐标法来进行孔系加工的。因此,工件加工前在机床上不但要定位,而且要将孔系间的各孔按照基准面转换为直角坐标或极坐标再进行加工。如图 6-28 所示工件,其定位与坐标转换的基本方法如下。

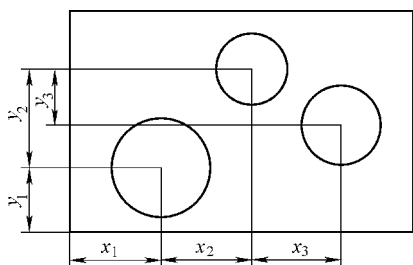


图 6-28 工件

1) 以工件上的划线或以外圆及内孔为定位基准,用定位角铁和光学中心找正器测定位置(图 6-26)。然后把工件正确地安装在工作台上。

2) 为方便工件在机床上的加工,把零件图上按设计要求标注的孔距尺寸换算成机床加工要求的直角坐标尺寸或极坐标尺寸。

在坐标镗床进行孔加工,其加工方法与被加工孔的孔径尺寸的大小、精度及孔距精度要求等有关。孔加工的主要方法有:钻孔、铰孔和镗孔等。

钻孔与铰孔是机械与模具零件上小孔常用的一种加工的方法。加工时,先将钻头或铰刀在钻夹具上固定,再将钻夹具固定在坐标镗床的主轴锥孔内。铰孔是钻孔、扩孔或半精镗孔之后,用来提高孔的几何形状精度和减小孔的表面粗糙度的精加工方法,适合于加工孔径不大于 20mm 的孔,铰孔的尺寸精度达 IT7,表面粗糙度 R_a 达 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$,但铰孔不能纠正孔的位置误差,因此,铰孔加工仅适用于孔距精度及位置精度要求不太高 ($0.03 \sim 0.05\text{mm}$) 的场合。

镗孔时,使用镗孔夹头和镗刀,镗孔夹头是坐标镗床的最重要的附件之一,其作用是按被镗孔的孔径的大小精确地调节镗刀刀尖与主轴轴线间的距离。常用的镗孔夹头的结构如图 6-27 所示。使用时,将镗孔夹头的锥尾 3 插入主轴的锥孔内,镗刀装在刀夹 1 内,旋转调节螺钉 4,可调整镗刀的径向位置,以镗削不同直径的孔。调整后用紧固螺钉 2 将刀夹锁紧。镗孔的加工余量小,镗孔精度高。

6.3.2 坐标磨床加工

坐标磨床是近代在坐标镗床的加工原理和结构的基础上发展起来的一种高精密切削机床。它按准确的坐标位置对工件进行加工,是精密模具加工的关键设备,广泛用于加工精密级进模、精密塑料模,以及镶拼结构模。

坐标磨床特别适于加工尺寸较大、形状复杂的多型腔整体模具;间隙要求很小的凸、凹模;带有一定斜度要求的冲模;高硬度材料的模具;镶块互换性好的镶拼模具,以及模具中的各类坐标孔。加工精度达 $5 \mu\text{m}$,表面粗糙度 R_a 可达 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。



对于精密模具,往往把坐标镗削加工作为孔加工的预加工,终加工则在坐标磨床上进行。主要用于1~200mm的淬火件,高硬度件的孔系或成形表面的磨削加工。

1. 坐标磨床分类

坐标磨床有立式和卧式两种,模具加工常用立式坐标磨床。

坐标磨床目前有手动和连续轨迹数控两种。前者以手动操作方式控制工作台的纵向(x 向)和横向(y 向)移动或旋转工作台的转动(A 轴)。后者用计算机控制,有三坐标和四坐标两种类型。三坐标连续轨迹磨床除 x 、 y 方向的控制外,还对新的坐标轴 C 进行控制。 C 坐标轴的功能是随着被磨削轮廓的变化,不断调整磨轮的磨削点。使其始终垂直于磨削轮廓的切线方向。四坐标连续轨迹磨床除了控制 x 、 y 和 c 轴外,还对旋转工作台(A 轴)进行控制,可磨削复杂的立体表面。

如图6-29所示为立式单柱坐标磨床,主轴箱12和砂轮10安装在立柱上,纵、横工作台上装有附带数显装置的精密坐标机构。

坐标磨床与普通立式磨床结构上的区别是:其工作台由一对相互垂直的精密丝杠螺母副驱动,定位精度可达0.001mm,且能数字显示。行星主轴一方面绕自身轴线作高速旋转运动,另一方面绕套筒轴线作周向进给运动;精密磨头(砂轮主轴)除了精度高、刚性好以外,还可以在4 000~80 000r/min范围内无级调速,并可安装插磨机构加工锥孔。

磨削时,工件固定不动,磨削机构能使磨头部分完成磨削过程的四个运动为砂轮高速旋转运动(切削运动)、行星运动(圆周进给运动)、轴向往复直线运动和径向进给运动(图6-30)。

砂轮的自转由高频电动机驱动,转速一般为4 000~8 000r/min,转速越高,加工的表面越光洁,若要达到更高的转速可用空气发动机驱动,转速可达250 000r/min。主轴的行星回转运动由电动机或电动机通过变速机构直接驱动。主轴转速一般为10~300r/min,并使高速磨头随之作行星运动。进给运动由主轴套筒的上下往复运动实现,而这一运动是由液压式或液压—气压式传动完成。

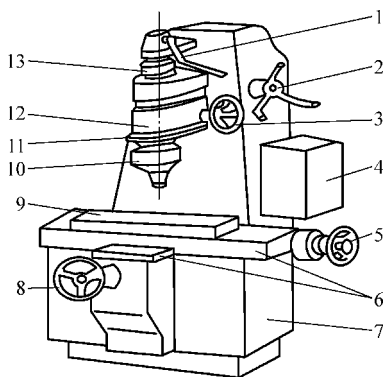


图6-29 立式单柱坐标磨床

- 1—离合器拉杆 2—主轴箱定位手轮 3—主轴定位手轮 4—控制箱 5—纵向进给手轮 6—纵、横工作台 7—床身 8—横向进给手轮 9—工作台 10—砂轮 11—磨削轮廓刻度圈 12—主轴箱 13—砂轮外进给刻度盘





其往复运动的次数可达 120 ~ 190 次/min。

2. 坐标磨床的加工

坐标磨床的工作台由坐标工作台和回转工作台组成。坐标工作台是一组高精度直角坐标系的导轨系统，导轨的直线性很高，相互垂直度误差一般不大于 $4\mu\text{m}$ ，并具有高精度的坐标测量系统。坐标工作台位于回转工作台之上，用以调节工件的圆弧中心与回转工作台的中心重合。磨削时，工件放在工作台上，可作 z 、 y 坐标移动和回转运动，以便进行成形轮廓和型孔的加工。

利用坐标磨床可磨削内孔、外圆、锥孔、坐标孔、阶梯孔、台阶面、键槽、方孔，以及直线与圆弧组成的曲线等。与坐标镗削加工一样，工件在磨削前必须先定位、找正。找正后，利用工作台的纵横向移动使机床主轴中心与工件圆弧中心重合，然后再进行磨削。

(1) 内孔磨削

内孔磨削是坐标磨床最基本的用途。孔径直径范围为 3 ~ 200mm，表面粗糙度 $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$ ，圆度误差不超过 $2\mu\text{m}$ ，直线度误差不超过 $2\mu\text{m}$ 。

磨削时，工件不动，砂轮作高速旋转运动和行星运动，孔径的调整通过增大行星运动的半径即径向进给运动来实现（图 6-31）。

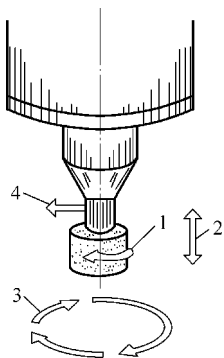


图 6-30 砂轮的运动

1—砂轮高速旋转运动 2—轴向往复运动
3—行星运动 4—径向进给运动

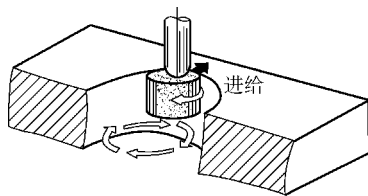


图 6-31 内孔磨削

磨削内孔时，砂轮直径与磨孔孔径有关系。磨削小孔时，采用金刚石或立方氮化硼喷镀砂轮，砂轮直径取孔径的 $3/4$ ，为确保砂轮的线速度，砂轮必须高速回转，且直径越小转速应越高。因此，需用高速风动磨头，其转速为 150 000 ~ 200 000 r/min。孔径小于 8mm 时砂轮直径适当增大，当孔径大于 20mm 时砂轮直径应适当减小。砂轮直径约为芯轴的 1.5 倍。芯轴直径过小，磨削表面会出现磨削波纹。坐标磨床上最小的磨孔直径可达 0.8mm。



砂轮的磨削速度与砂轮的磨料、工件材料等有关。普通磨料砂轮磨削碳素工具钢和合金工具钢时磨削速度约为 $25 \sim 35 \text{ m/s}$ ，立方氮化硼砂轮磨削碳素钢和合金钢时磨削速度约为 $20 \sim 30 \text{ m/s}$ ，金刚石砂轮磨削硬质合金时，磨削速度约为 $16 \sim 25 \text{ m/s}$ 。

砂轮的转速可以根据下式计算。

$$n = \frac{318.33 V_m}{D_m}$$

式中 V_m ——砂轮的磨削速度 (m/min)；

D_m ——砂轮的直径 (mm)；

n ——砂轮的转速 (r/min)。

(2) 外圆磨削

磨削外圆时，砂轮的运动与内孔磨削基本相同，但外圆直径的调整是通过缩小行星运动的半径来实现的 (图 6-32)。表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$ ，圆度误差不超过 $0.4 \mu\text{m}$ 。

(3) 锥孔磨削

坐标磨床的功能之一是加工锥孔。磨削时，先将砂轮修整成所需的角，利用磨锥孔的专门机构，使砂轮在轴向进给的同时，连续改变行星运动的半径进行磨削 (图 6-33)，随着砂轮轴向进给，行星运动半径逐渐增大。锥孔的锥角大小取决于两者变化的比值，一般锥角为 $0^\circ \sim 16^\circ$ 。

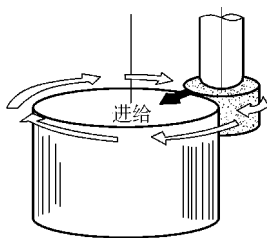


图 6-32 外圆磨削

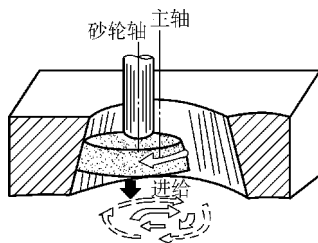


图 6-33 锥孔磨削

(4) 坐标孔磨削

利用坐标磨床磨削坐标孔是最常用的一种加工方法，坐标磨床也由此而得名。此外，还可磨削极坐标孔。磨削坐标孔时，利用坐标工作台的移动，便可加工出各种尺寸大小的坐标孔，其位置精度达 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 。因此，坐标磨床特别适用于用坐标镗床加工后因淬火而变形的坐标孔的修整加工。磨削极坐标孔时，有两种方法：一是分度法，利用回转工作台进行分度；二是坐标法，利用直角坐标进行计算。当零件的极坐标半径小、分度孔较多时，采用分度法加工精度高、经济、方便；而极坐标半径较大时，由于受旋转精度的影响，采用坐标法可获





得较高的加工精度。此外,在坐标磨床上,利用可倾工作台并通过坐标计算还可对零件上的空间平面、空间极坐标孔和各种斜孔进行磨削加工。

(5) 阶梯孔磨削

磨削阶梯孔时,应根据所要磨的孔的直径确定行星运动的半径,并使砂轮向下进给,用其底部的棱边进行磨削加工(图6-34)。

将砂轮底部端面修磨成 3° 左右的凹面,以提高磨削效率和方便排屑。磨削时,调整行星运动至所要求的外径或外形,砂轮作轴向进给运动,以砂轮端面及尖角进行磨削,砂轮直径与孔径的比值不宜过大,否则易形成凸面。磨台肩孔时,砂轮直径约为大孔半径与通孔半径之和;磨盲孔时,砂轮直径约为孔径的一半。

(6) 台阶直线磨削

砂轮仅作旋转运动不作行星运动,工件作直线移动(图6-35),适于平面轮廓的精密磨削加工。

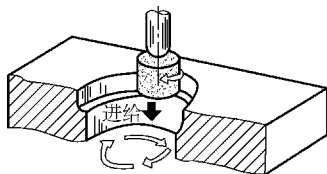


图 6-34 阶梯孔磨削

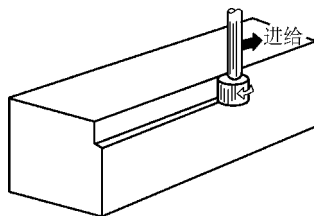


图 6-35 台阶直线磨削

(7) 键槽与方孔磨削

使用专门的磨槽机构和砂轮,可磨削键槽、带直角的型腔及方孔等,还适用于型槽及带清角的内、外型腔的磨削。该磨槽机构由砂轮轴驱动,其原理类似刨削时主运动的产生原理。磨削时,砂轮除作旋转运动外,还作上、下往复直线运动,工件作直线移动(图6-36)。

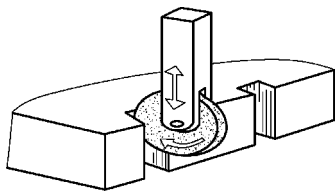


图 6-36 键槽与方孔磨削

(8) 曲线磨削

磨削直线与圆弧组成的曲线时,直线与圆弧间的正确位置尺寸,由坐标工作台移动的定位精度来保证。定位后,采用定点加工法磨削圆弧。所谓定点加工法,就是利用 x 、 y 坐标的移动使回转工作台中心与工件上的圆弧中心重合,通过改变行星运动的半径控制圆弧半径的尺寸。

将上述几种基本磨削方法综合使用,便可加工出各种形状复杂的型孔。例如:磨削如图6-37所示的凹模型孔,将工件安装在坐标工作台上,经找正和调



整机床,使工件上的轴心 O_1 与转台中心及机床主轴中心相重合,采用内孔磨削法磨出 O_1 的圆弧段,再用同样的调整方法使 O_2 与转台中心及机床的主轴中心相重合,磨出 O_2 的圆弧段,将回转工作台旋转 180° ,即可磨出 O_3 的圆弧段。磨削 O_4 、 O_5 、 O_6 、 O_7 圆弧段时,应使各段中心分别与转台中心及主轴中心相重合,采用外圆磨削法逐段进行,并将各段凸、凹圆弧平滑连接起来。

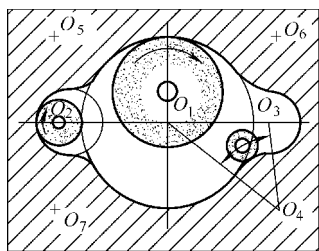


图 6-37 磨削凹模型孔

随着模具制造精度和自动化程度的提高,国内外研制了数控坐标磨床和连续轨迹数控坐标磨床。其主要特点是可进行高精度轮廓形状加工,并使凸、凹模间隙均匀。使用一套程序,可把凸模、凹模、卸料板等尺寸相差不大的零件加工出来,适应性好。此外,不受操作者熟练程度的影响,可进行连续地无人化加工。因此,生产率和自动化程度较高。

数控坐标磨床用于加工电子元件的连续模、照相机及手表零件的精冲模、刻痕模和工程塑料模等。例如,开启易拉罐的刻痕模就是利用连续轨迹数控坐标磨床加工出来的。该模的作用是在罐盖上冲压开启口的痕迹,以便拉动拉环时,拉环连同痕迹中间部分薄片一起被拉掉,罐盖沿痕迹开启。它的主要工作型面是一个异形型面,形状复杂(图 6-38)。对该模深度和刃口宽度的制造精度要求较高,各曲线间要平滑过渡。为此,将热处理后的刻痕模毛坯利用电火花机床成型加工,以形成符合要求的异形型面。再将其安装在连续轨迹数控坐标磨床上,以直径 3.28mm 的孔找正,用已编好的程序,采用立方氮化硼砂轮磨削。首先,用成形砂轮磨削异形型面的两个侧面,然后用平砂轮精磨刃口平面,直至其宽度和高度符合图样要求。

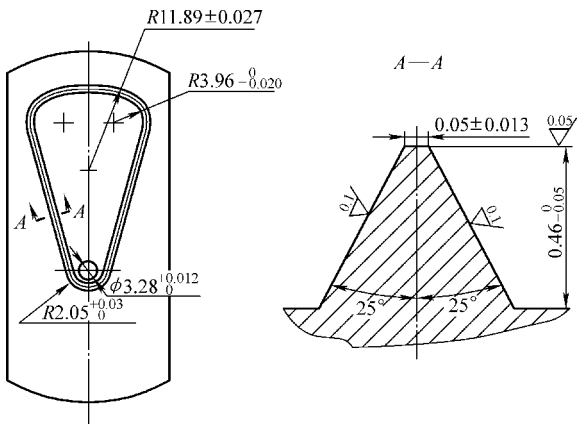


图 6-38 易拉罐拉环刻痕模的工作型面

3. 坐标尺寸换算

(1) 换算的目的

一般工件尺寸按设计要求标注,与坐标机床加工要求不相一致,为此加工前要将设计尺寸换算成加工尺寸。



(2) 基准选择

1) 矩形件粗加工选角侧为基准, 精加工选一对精密孔建立孔基准。

2) 圆盘件粗精加工均以孔为基准。

(3) 尺寸标注

按 ISO 标准标注, 如图 6-39 所示。

1) 尺寸值标在侧面。

2) 尺寸大小以坐标值为据。

3) 公差范围用小数点个数表达。

设计尺寸公差与坐标公差按以下原则换算:

$$\pm 0.1 \rightarrow 0.0 \quad \pm 0.01 \rightarrow 0.00 \quad \pm 0.001 \rightarrow 0.000$$

$$\text{如: } 30 \pm 0.1 \rightarrow 30.0 \quad 30 \pm 0.05 \rightarrow 30.00 \quad 30 \pm 0.01 \rightarrow 30.00$$

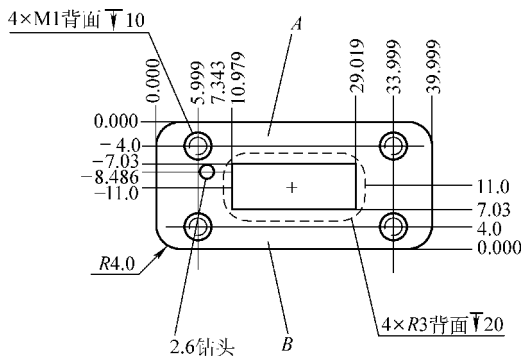


图 6-39 坐标尺寸标注

6.3.3 成形磨削

成形磨削是成形表面精加工的一种工法, 是在成形磨床或平面磨床上, 用成形砂轮或其他方法对模具成形表面进行磨削加工的方法, 它具有精度高、效率高等优点, 不仅适用于加工凸模, 也可加工镶拼式凹模及电加工用成形电极的工作型面。根据工厂的设备条件, 成形磨削可在普通平面磨床上采用专用夹具或成形砂轮进行, 也可在专用的成形磨床上进行。在模具的凸模、凹模等工作零件上的成形面技术要求很高时, 可采用成形磨削加工。成形磨削可加工淬硬件及硬质合金材料。

磨削中常碰见的成形表面多为直母线成形表面, 如样板、凸模、凹模拼块等。成形磨削就是把复杂的成形表面分解成若干个平面、圆柱面等简单的形状, 然后分段磨削, 并使其连接光滑、圆整, 达到图样要求。成形磨削具有高精度、高效率的优点, 成形磨削加工精度可达 IT5, 粗糙度 R_a 可达 $0.1 \mu\text{m}$ 。在模具制造中, 用成形磨削对淬硬后的凸模、凹模拼块进行精加工, 可以消除热处理变形对精度的影响, 提高模具制造精度, 同时, 可以减少钳工工作量, 提高生产效率。

1. 成形磨削的方法

成形磨削有两种方法, 成形砂轮磨削法和夹具磨削法。

(1) 成形砂轮磨削法



成形砂轮磨削法也称仿形法,就是在选择好砂轮的基础上,利用砂轮修整工具将砂轮修整成与工件型面完全吻合的相反型面,然后用此砂轮磨削工件,保证工件的尺寸与形状精度和表面粗糙度,获得所需要的形状与要求。此法一次所能磨削的表面宽度不能太大。如图 6-40a 所示。

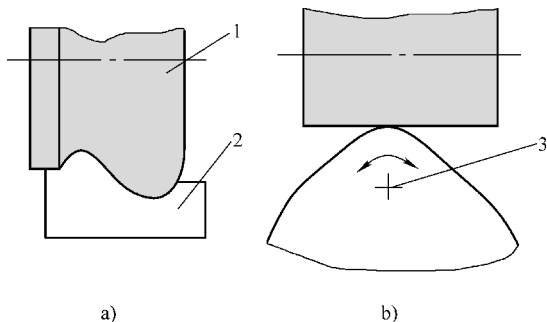


图 6-40 成形磨削的两种方法
a) 成形砂轮磨削法 b) 夹具磨削法
1—砂轮 2—工件 3—夹具回转中心

(2) 夹具磨削法

夹具磨削法也称展成法,将工件按一定的条件装夹在专用的夹具上,在加工过程中通过调整夹具的位置,改变工件的加工位置,从而获得所需的形状。如图 6-40b 所示。

上述两种磨削方法各有特点,但在目前的生产中,特别是模具制造中,一般以夹具磨削法为主,以成形砂轮磨削法为辅,两种方法结合使用。

2. 成形砂轮磨削法

用成形砂轮进行成形磨削,其首要任务是把砂轮修整成所需要的形状,并保证必要的精度。成形砂轮磨削法的难点与关键是砂轮的修整,成形砂轮修磨的主要方法有:砂轮角度的修整方法、砂轮圆弧的修整方法、砂轮非圆弧曲面的修整方法、成形刀挤压法、数控机床修整法和电镀法等。

(1) 砂轮角度的修整方法

修整砂轮角度的夹具是按正弦原理设计的。如图 6-41 所示为其结构简图,它主要由正弦规 1、正弦圆柱 2、体座 3、量块 4 以及滑块 5 和金刚刀 6 等组成。装有金刚刀的滑块可沿正弦规的导轨往复移动,正弦规可绕其中心轴转动,转动的角度用正弦圆柱与体座之间垫量块的方法来控制,这种工具可修整 $0^\circ \sim 100^\circ$ 之间各种角度的砂轮。

在磨削工件斜面时采用角度砂轮。角度砂轮是由平行砂轮修整而成的圆锥部分。修整时,砂轮由磨头带动旋转,角度修整器上的金刚刀相对于砂轮轴线倾斜一定的角度来回往复移动对砂轮修整,直至修整出所需锥面。

修整砂轮角度时,根据需要修整的角度 α ,按下列计算公式计算出应垫的量块值 H 。

当修整砂轮的角度为 $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ 时,利用体座上的平面垫量块,如图 6-41a 所示,应垫的量块值为

$$H = P - L \sin \alpha - d/2$$

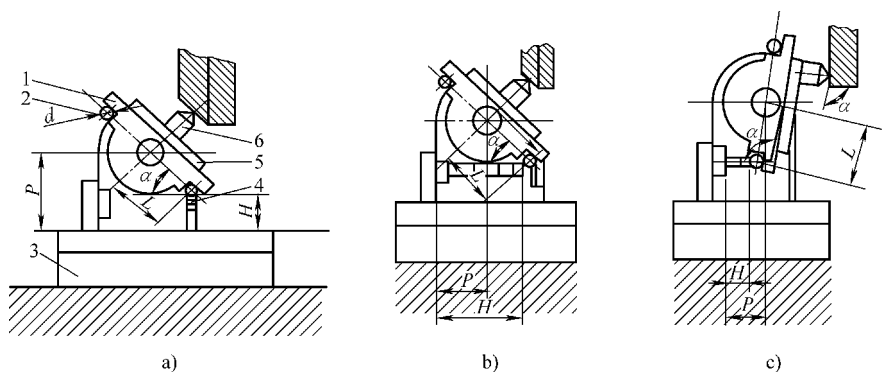


图 6-41 修整砂轮角度夹具结构简图及量块计算

a) $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ b) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ c) $90^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$

1—正弦规 2—正弦圆柱 3—体座 4—量块 5—滑块 6—金刚刀

式中 P ——工具的回转中心到垫板面的高度 (mm);

L ——正弦圆柱中心到工具回转中心的距离 (mm);

d ——正弦圆柱的直径 (mm);

H ——应垫的量块值 (mm)。

通常 $P = 65\text{mm}$, $L = 50\text{mm}$, $d = 20\text{mm}$, 所以应垫的量块值为 $H = 55 - 50\sin\alpha$ 。

当修整砂轮的角度为 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 时, 利用体座的侧面垫量块, 如图 6-41b 所示, 应垫的量块值为

$$H = P' + L\sin(90^\circ - \alpha) - d/2$$

式中 P' ——工具回转中心到体座侧面的距离 (mm)。

通常 $P' = 30\text{mm}$, 其他值同上, 此时, 应垫的量块值为 $H = 20 + 50\cos\alpha$ 。

当修整砂轮的角度为 $90^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$ 时, 同样是利用体座的侧面垫量块, 如图 6-41c 所示, 应垫量块值为

$$H = P' + L\sin(\alpha - 90^\circ) - d/2$$

根据以上各参数取值, 应垫的量块值为 $H = 20 - 50\sin(\alpha - 90^\circ)$ 。

以上所求为正弦规顺时针旋转在工具右边的正弦圆柱下面垫量块时的情况。当正弦规逆时针旋转 $0^\circ \sim 100^\circ$ 时, 应在工具左边的正弦圆柱下面垫量块, 也可得到相应的计算公式计算应垫的量块的值。

(2) 砂轮圆弧的修整方法

修整砂轮圆弧的工具有很多类型, 但其原理都相同, 如图 6-42 所示为使用较广的一种工具, 为卧式砂轮修整工具。它由金刚刀 1、摆杆 2、滑座 3、螺杆 4、刻度盘 5、主轴 6、手轮 7、挂块 8 和支架 9 等组成。金刚刀固定在摆杆上, 摆杆通过螺杆可在滑座上移动来调节金刚刀尖到主轴回转中心的距离。当手轮



转动时,滑座、摆杆和金刚刀等均绕主轴中心转动。主轴回转的角度用固定在支架上的刻度盘、挡块和角度标(未画出)来控制。

修整砂轮时,先根据所修砂轮的情况(凸形或凹形)及半径大小计算量块值,在底座平面与金刚刀尖之间垫量块可调节金刚刀尖至回转中心的距离,以保证砂轮圆弧半径值达到较高的精度。然后安装工具,并调整好金刚刀尖的位置,使金刚刀尖处于砂轮下面并通过砂轮主轴中心的垂直面(6-43c)。旋转手轮,使金刚刀绕工具的主轴中心来回摆动,则可修整出砂轮的圆弧。

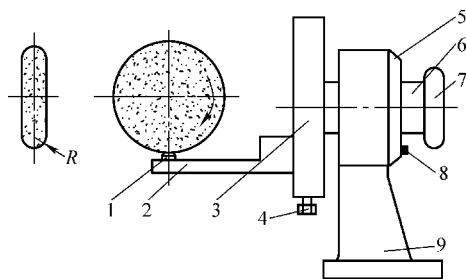


图 6-42 修整圆弧砂轮的工

1—金刚刀 2—摆杆 3—滑座 4—螺杆 5—刻度盘
6—主轴 7—手轮 8—挂块 9—支架

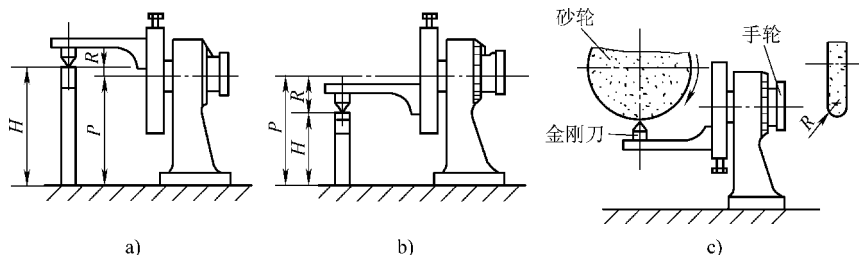


图 6-43 调整回转半径的垫量块方法

金刚刀尖到工具回转中心的距离就是砂轮圆弧半径的大小,此值需事先用垫量块的方法调整求解。如图 6-43 a 所示,当修整凸圆弧砂轮时,金刚刀尖高于工具中心,应垫的量块为

$$H = P + R$$

式中 P ——工具的中心高度 (mm);

R ——修整的砂轮的圆弧半径 (mm);

H ——应垫的量块值 (mm)。

如图 6-43b 所示,当修整凹圆弧砂轮时,金刚刀尖应低于工具中心,应垫的量块为 $H = P - R$ 。

(3) 砂轮非圆弧曲面的修整方法

当被磨削工件的表面形状复杂,且其轮廓线不是圆弧时,可用专门的靠模工具进行砂轮修整,如图 6-44 所示。金刚刀 1 固定在靠模工具 2 上,靠模样板 3 安装在支架上。靠模工具的下部有平面触头。使用时,手持靠模工具,使触头紧贴靠模样板并沿样板曲线移动,以此来修整出与所需曲面形状的砂轮。修整



时, 为保证修出的砂轮准确性高, 必须使金刚刀尖在通过砂轮主轴中心的水平面内运动。

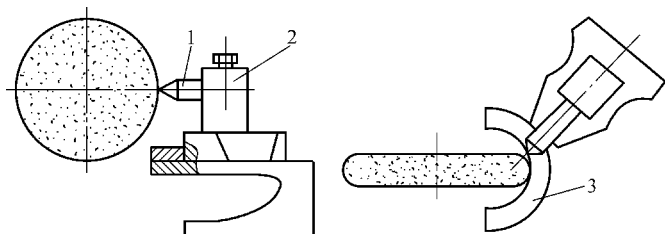


图 6-44 靠模工具砂轮修整

1—金刚刀 2—靠模工具 3—靠模样板

(4) 成形刀挤压法

利用车刀挤压慢速旋转的砂轮也可修整砂轮, 此法的关键是用电火花线切割机先加工出成形车刀, 然后再用车刀对慢速旋转的砂轮挤压, 即可修整出所需砂轮。

(5) 数控机床修整法

将砂轮安装在数控机床主轴上, 金刚刀固定在刀架(车床)或工作台(铣床)上, 利用数控指令使金刚刀相对于砂轮进给修整出成形砂轮。

(6) 电镀法

此法与金刚石锉刀的制造方法相同, 先加工钢的轮坯, 再用电镀法在轮坯表面镀一层金刚砂。这种方法比较简便, 但所得砂轮耐用度较低, 精度也不高。

3. 夹具磨削法

用于成形磨削的夹具主要有正弦精密平口钳、正弦磁力台、正弦分中夹具、万能夹具等。

(1) 正弦精密平口钳

正弦精密平口钳是按正弦原理设计的, 由带有精密平口钳的正弦规和底座组成, 如图 6-45 所示。工件装夹在平口钳中, 在正弦圆柱 6 与底座 1 的定位面之间垫入量块, 为使工件倾斜一定角度, 以磨削工件上的倾斜表面。最大倾斜角度为 45° 。该平口钳利用钳口夹持, 工件应具有较大的刚性。

应垫入的量块值可按下式计算。

$$H = L \sin \alpha$$

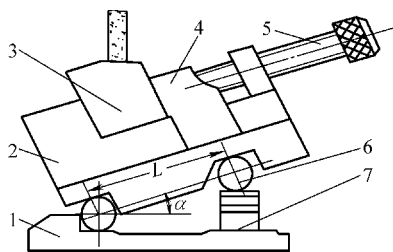


图 6-45 正弦精密平口钳

1—底座 2、4—钳口 3—工件 5—夹紧螺栓
6—正弦圆柱 7—量块组



式中 L ——正弦圆柱间的中心距 (mm);

α ——工件所需倾斜的角度 (mm);

H ——应垫入的量块值 (mm)。

(2) 正弦精密磁力台

如图 6-46 所示。与正弦精密平口钳一样都是按正弦原理设计的, 都具有正弦规机构, 都可用于加工平面或斜面, 在底座与正弦圆柱间垫量块组可使夹具体倾斜, 以带动工件倾斜指定的角度, 最大倾斜角度为 45° 。利用磁性吸合工件, 装夹方便迅速, 工件必须是能磁化的材料。适用于扁平工件的斜面磨削 (图 6-47)。

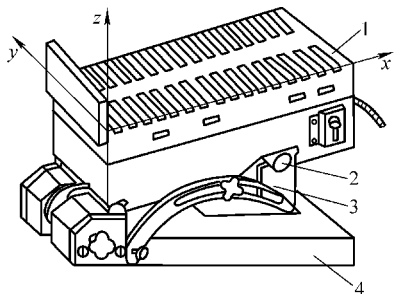


图 6-46 正弦精密磁力台

1—磁性平台 2—正弦圆柱
3—量块组 4—底座

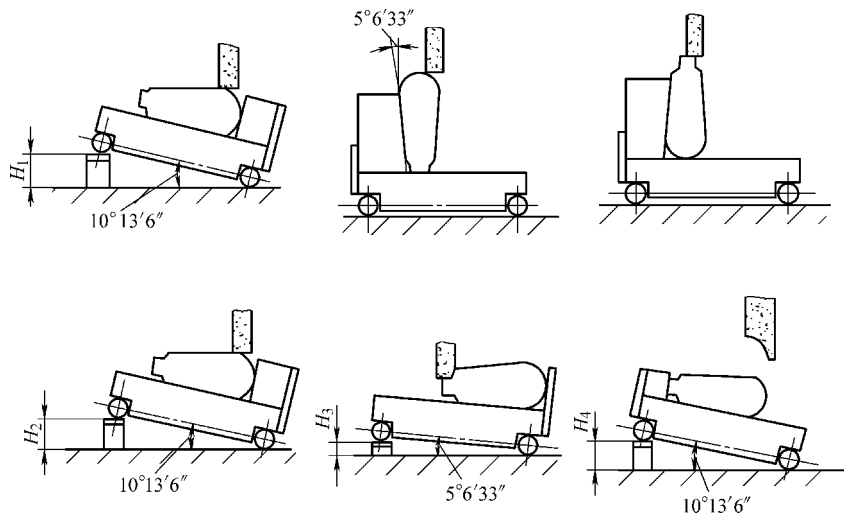


图 6-47 使用正弦精密磁力台磨削凸模

(3) 正弦分中夹具

正弦分中夹具主要用于加工具有一个回转中心的工件。如图 6-48 所示。正弦分中夹具主要由正弦头、尾架、底座三部分组成, 加工时工件装在两顶尖之间, 根据工件的长短可调节尾架的位置。转动安装在蜗杆 8 上的手轮 13, 可通过蜗杆副驱动前顶尖转动; 进而由鸡心夹头带动工件转动。利用正弦头右侧面的分度头, 可控制工件的回转角度, 要求一般精度时直接在分度盘上读取, 要求精度高时, 可在垫板与正弦圆柱间垫量块调节。

正弦分中夹具适于磨削同一个圆心的凸圆弧和多边形, 当与成形砂轮配合





使用, 还可磨削较复杂的成形表面。

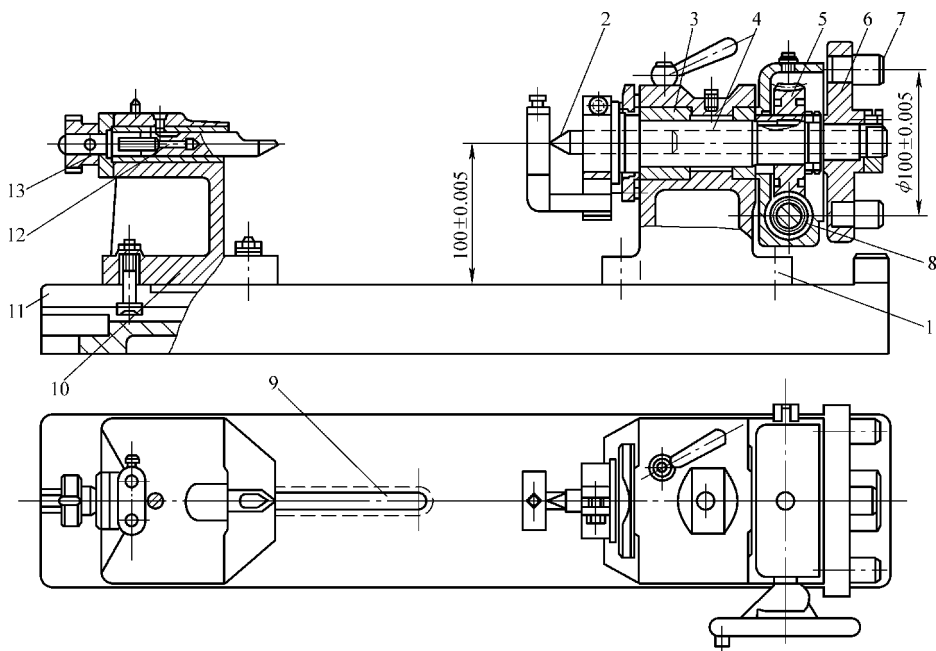


图 6-48 正弦分中夹具

- 1—支架 2—前顶尖 3—轴套 4—主轴 5—蜗轮 6—分度盘 7—正弦圆柱
8—蜗杆 9—定向键 10—尾架 11—底座 12—后顶尖 13—手轮

如图 6-49 所示, 垫入块规的计算公式如下。

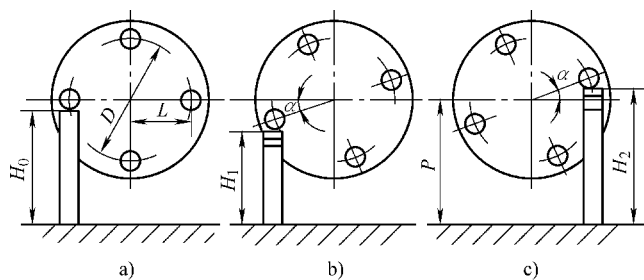


图 6-49 垫入块规的计算

- a) 夹具处于水平位置 b) 夹具低于水平位置 c) 夹具高于水平位置

$$H_1 = P - (D/2) \sin \alpha - d/2 = H_0 - (D/2) \sin \alpha$$

$$H_2 = P + (D/2) \sin \alpha - d/2 = H_0 - (D/2) \sin \alpha$$

式中 H_0 ——夹具处于水平位置时应垫入的量块值 (mm);



- P ——夹具中心高度 (mm);
 D ——正弦圆柱间的中心距 (mm);
 H_1 ——低于水平位置时应垫入的量块值 (mm);
 H_2 ——高于水平位置时应垫入的量块值 (mm);
 α ——回转角度值;
 d ——正弦圆柱直径 (mm)。

1) 工件在正弦分中夹具上的两种装夹方法。

① 心轴装夹法。工件带有内孔, 若该孔中心为外成形表面的回转中心时, 即孔的轴线正好与被磨削圆弧的轴线重合, 可在孔内装入心轴, 利用心轴两端的顶尖孔定位, 将工件支承在正弦分中夹具的两顶尖之间进行磨削, 夹具主轴回转时, 通过鸡心夹头和拨盘带动工件一起转动, 如图 6-50 所示。若工件上无内孔, 在技术要求允许的情况下, 可在工件上制作出一工艺孔, 用来安装心轴, 利用心轴两端中心孔将心轴和工件一起安装在分中夹具的两顶尖之间, 夹具主轴回转时通过鸡心夹头带动工件一起回转。

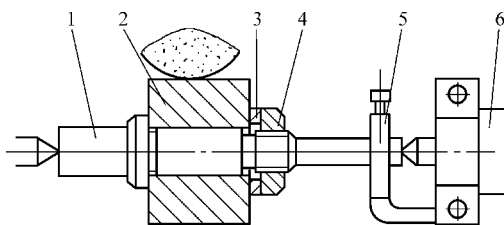


图 6-50 心轴装夹法

- 1—心轴 2—工件 3—垫圈 4—螺母
 5—鸡心夹头 6—夹具主轴

② 双顶尖装夹法。若工件上没有内孔, 同时又不允许在工件上作出用来穿心轴的工艺孔时, 可采用双顶尖装夹。工件上除带有一对主中心孔外, 还有一个副中心孔, 其作用是拨动工件, 因此, 它有一定的适应范围。如图 6-51 所示。采用双顶尖装夹时, 要求主、副顶尖与中心孔的锥度配合良好, 不能有轴向窜动; 要防止顶尖孔与顶尖配合过松, 须顶紧才能保证加工精度。主顶尖孔用来将工件正确定位, 副顶尖和副顶尖孔用来拨动工件转动, 副顶尖成弯曲状, 可以在叉形滑板的槽内上下移动, 用螺母 3 调节其伸出的长短并销紧。但副顶尖对工件的轴向推力不能过大, 否则会使工件产生歪扭, 影响加工精度。

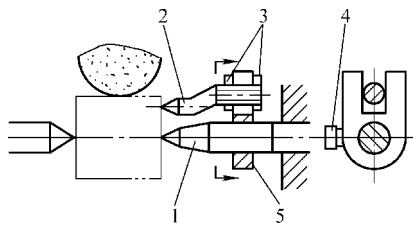


图 6-51 双顶尖装夹法

- 1—加长顶尖 2—副顶尖 3—螺母
 4—紧定螺钉 5—叉形滑板

2) 测量方法。用正弦分中夹具磨削工件时, 由于磨削圆弧和直线都是以夹具中心线为基准的, 所以被磨削表面的尺寸需用测量调整器、量块和百分表进



行比较测量。

如图 6-52 所示。测量调整器由三角架 1 和量块座 2 组成，量块座沿着三角架斜面上的 T 形槽移动，当移动到所需位置时，可用螺母锁紧。为保证测量精度，测量调整器的制造精确度很高，即要求量块在三角架的任意位置上 B 面平行于 C 面， A 面平行于 D 面。

测量时，首先要调整量块座的位置，使量块座 B 面能反映出夹具的中心高。为测量方便通常把量块座基准面 B 调整到比夹具中心低 50mm 处。调整方法如图 6-53 所示。采用比较测量法，在夹具的顶尖间装上一根直径为 d 的标准圆柱，并在量块座的 B 面上安放一组 $(50 + d/2)$ 的量块组和圆柱上读数相同。取下 $d/2$ 的量块组，则 50mm 量块的上表面就与夹具中心线等高。

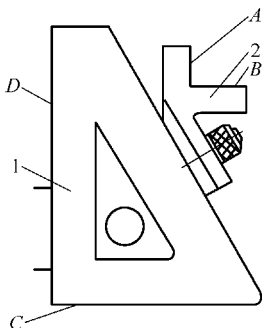


图 6-52 测量调整器

1—三角架 2—量块座

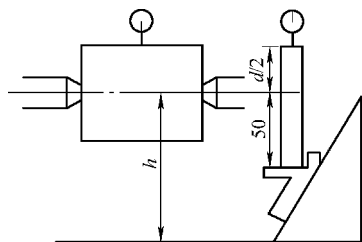


图 6-53 夹具中心高的测定与调整方法

当被测量表面高于夹具中心时，可在 50mm 的量块上加上一新量块组，使百分表在量块组上表面与被测量表面的读数相同，这组新量块的数值应为

$$H = h + s$$

式中 h ——夹具中心高度 (mm)；

s ——被测表面到夹具中心的距离 (mm)。

当被测量表面低于夹具中心时，应将 50mm 的量块取去，在 B 面上另安放一组新量块，新量块组的数值应为 $H = h - s$ 。

利用正弦分中夹具进行成形磨削前，工件外形应先粗加工，各面留磨量 0.2mm 左右，热处理淬硬后，磨两端面及工艺孔，然后利用正弦分中夹具在平面磨床上进行成形磨削。在加工时，被磨表面的尺寸是采用比较测量法测定的，测量依据为夹具中性线，用测量调整器、量块、百分表找到比较测量面，当被加工面与比较测量面等高时（即百分表读数一致时），加工也就完成了。

(4) 万能夹具

万能夹具是成形磨床的主要部件，也是平面磨床使用的成形磨削夹具，万



能夹具可加工具有多个回转中心的工件。工件定位以后随主轴来回旋转，磨出以该回转中心为轴线的圆弧面。与正弦分中夹具相比，结构上主要多了由一对相互垂直的精密丝杆螺母副组成的十字滑板部分，该部分可带动工件相对于夹具主轴沿 x 与 y 两方向移动，从而使工件上不同的回转中心分别与夹具主轴重合，磨出复杂曲面上各部分圆弧面。

如图 6-54 所示。万能夹具主要由工件装夹部分、回转部分、十字滑块和分度部分组成。

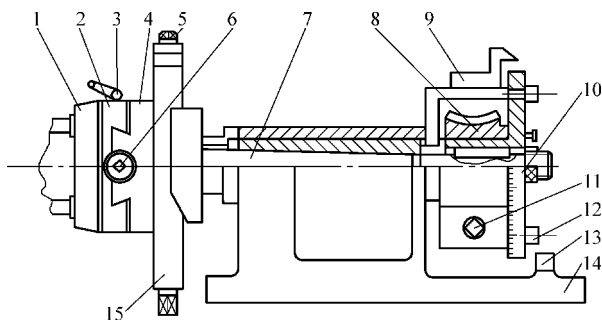


图 6-54 万能夹具

- 1—转盘 2—小滑板 3—手柄 4—中滑板 5、6—丝杆 7—主轴 8—蜗轮
9—游标 10—正弦分度盘 11—蜗杆 12—正弦圆柱 13—垫板
14—夹具体 15—滑板座

工件通过夹具或螺钉与转盘 1 相连接。工件旋转通过手轮转动蜗杆 11 带动蜗轮 8 使正弦分度盘 10 及主轴 7 转动来实现。回转的角度通过分度部分来控制。当工件回转角度精度要求不高时，可直接从游标 9 所指示的正弦分度盘 10 上的刻度上读出，其控制角度的精度为 $3'$ 。当精度要求高时，采用正弦分度盘上的正弦圆柱 12 和垫板 13 之间垫量块的方法控制夹具的回转角度，其精度为 $10'' \sim 30''$ 。应垫量块值的计算及分度部分的用法与正弦分中夹具相同。

万能夹具上工件的装夹方法通常有以下几种。

1) 用螺钉紧固工件。利用工件端面原有的螺钉孔或预留的工艺螺钉孔（直径为 $M8 \sim M10\text{mm}$ ），用螺钉和垫柱将工件紧固在转盘上，螺钉的数目视工件大小而定，一般 1~4 个。垫柱的数目与螺钉数相同，其长度应适当，要保证砂轮退出时不致碰伤夹具。另外，为保证工件安装精度，各垫柱的高度必须一致。用这种方法工件一次装夹便能磨出工件的整个轮廓，因此特别适用于磨削封闭轮廓的成形工件。如图 6-55 所示。

2) 用精密平口钳装夹。如图 6-56 所示，精密平口钳主要由底座、活动钳





口和传动螺杆组成。它与一般的台虎钳相似，但其制造精度较高。精密平口钳通过螺钉和垫柱安装在转盘上。工件装夹在平口钳上。这种方法装夹方便，但在一次装夹中只能磨削工件上的一部分表面。为了保证安装精度，工件上装夹与定位的面（A、B、C面）应事先经过磨削。

3) 用电磁吸盘装夹。将电磁吸盘装在转盘上，利用它来吸牢工件。这种方法装夹方便迅速，适于磨削扁平的工件。但在一次装夹中只能磨削工件上的一部分表面。如图6-57所示。

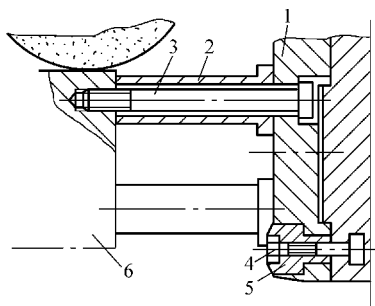


图 6-55 用螺钉紧固工件

1—转盘 2—垫柱 3—螺钉 4—滚花螺母
5—螺母 6—工件

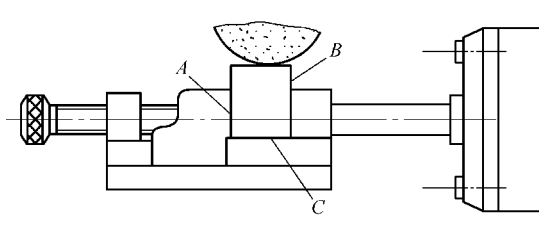


图 6-56 精密平口钳装夹

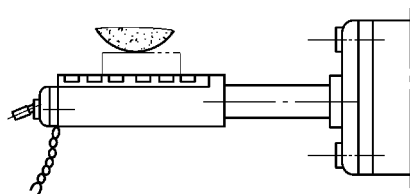


图 6-57 磁力平台装夹

4) 用磨回转体夹具装夹。磨回转体夹具如图 6-58 所示，需要磨削圆球面或圆锥面时，可用这种方法装夹。将此夹具安放在磁力平台上利用磁力将它吸牢（图 6-59）。磨削时，借助于磨回转体夹具的回转和万能夹具的回转，可以加工工件上的球面，若使磁力平台倾斜一定的角度，则可利用磨回转体夹具的回转来磨削工件的锥面。

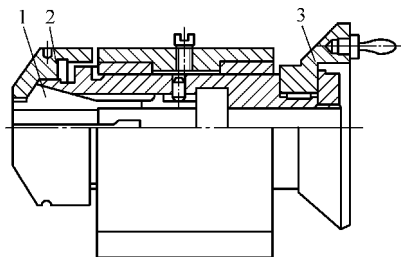


图 6-58 磨回转体夹具

1—弹簧夹头 2—螺母 3—手轮

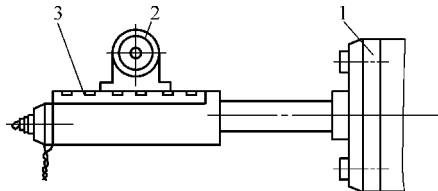


图 6-59 磨回转体夹具的装夹

1—转盘 2—磨回转体夹具 3—磁力平台



万能夹具用于磨削平面和圆弧面组成的各种形状复杂的工件。磨削平面或斜面时,需将被磨削的平面或斜面回转至水平或垂直位置,以使用砂轮的圆周或端面进行磨削。回转的角度用分度盘来控制。磨削圆弧时,调整十字滑板,使被磨削圆弧面的中心与夹具中心重合,磨削时通过手轮旋转蜗杆,使蜗轮带动工件回转。采用万能夹具成形磨削时,应用分段磨削。为使型面连接圆滑、符合技术要求,应有正确的磨削顺序。成形磨削前,首先确定水平和垂直两方向的基准面,并对基准面进行磨削。且以此基准面来相对移动中心位置,然后磨削与基准面直接有关的加工面、精度要求高的型面、大平面和平行于直角坐标的面,然后再磨削斜面。

4. 成形磨削工艺尺寸的换算

零件的尺寸都是按设计基准标注的,但在成形磨削时,工艺上需要的尺寸往往与零件的设计尺寸不一致,因此在成形磨削之前,必须将设计尺寸换算成所需要的工艺尺寸,并绘出成形磨削工序简图,以便于成形磨削加工。

成形磨削工艺尺寸换算的要求是根据磨削和测量的需要而定的。一般的过程如下。

(1) 确定磨削该工件的工艺中心

通常工件上有几段圆弧就有几个工艺中心。工艺中心应尽量少,因为工艺中心增加将增加万能夹具十字滑板的调整次数,从而增大加工误差。

(2) 确定工艺尺寸计算的坐标系

为便于计算,一般选择设计尺寸坐标系作为工艺尺寸坐标系,并选择主要工艺中心为坐标轴的原点。

(3) 进行工艺尺寸计算

根据成形磨削工艺要求,应计算下列工艺尺寸。

1) 各圆弧中心的坐标尺寸。

2) 各平面到相应工艺中心的垂直距离。

3) 各平面对坐标轴的倾斜角度。

4) 各圆弧的包角(又称回转角)。磨削圆弧时,如工件可自由回转而不致碰伤其他表面,可不必计算圆弧包角。

工艺尺寸换算时应将设计时的名义尺寸,一律换算成中间尺寸,以保证计算精度。换算时应采用几何、三角、代数等方法进行运算,一般数值均运算到小数点后六位,最终所得数值取小数点后两位或三位。角度值应精确到 $10''$ 。

例:在万能夹具上磨削如图6-60所示的凸模,经换算后的凸模工艺尺寸如图6-61所示。



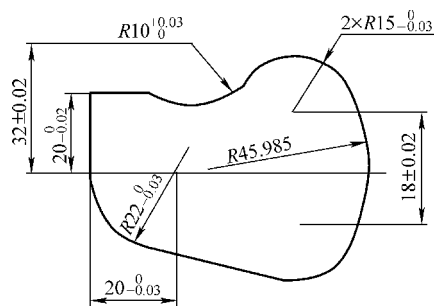


图 6-60 凸模设计尺寸图

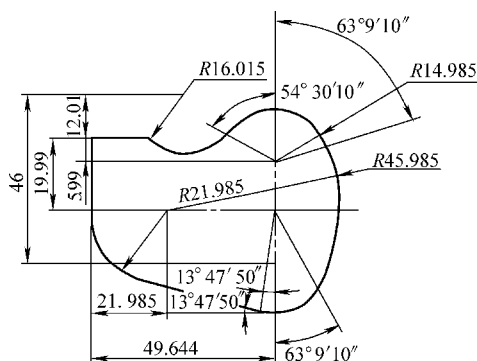


图 6-61 凸模换算后工艺尺寸图

5. 在光学曲线磨床上进行成形磨削

光学曲线磨床用于磨削平面、圆弧面和非圆弧形的复杂曲面，特别适合于单件或小批生产中各种复杂曲面的磨削。机床所使用的砂轮是薄片砂轮，厚度为 0.5~8mm，直径在 125mm 以内，磨削精度可达 $\pm 0.01\mu\text{m}$ 。

光学曲线磨床主要由床身、坐标工作台、砂轮架和光屏等组成。被磨削工件利用精密平口台虎钳等夹具固定在坐标工作台上，可以作纵向和横向运动，而且可以在一定范围内作升降运动。砂轮作旋转运动的同时，在砂轮架的垂直导轨上作往复直线运动，其行程可在 0~50mm 范围内进行调整。此外，砂轮架还可作纵向和横向送进运动，以及沿垂直轴转动和沿水平轴转动。

光学曲线磨床装备有光学装置。成形磨削前，根据被磨削工件的尺寸，在描图纸上按 20、25 和 50 倍的放大倍数绘制一张磨削部分形状图样（称为放大图）。磨削时，把放大图装在光屏上，利用磨床的光学投影放大系统把被加工工件和砂轮的阴影影像投放在光屏上，用手操纵磨头作纵向和横向运动，使砂轮的切削刃沿着工件外形磨削，直到工件影像的轮廓与放大图图线完全吻合，如图 6-62 所示。为保证加工精度在 0.01mm 范围内，放大图必须画得准确，线条粗细约为 0.1~0.2mm，图上线条的偏差应小于 0.5mm。

光屏的尺寸为 500mm×500mm，若放大倍数为 50 的话，在它上面只能看到工件上 10mm×10mm 的轮廓。因此第一次

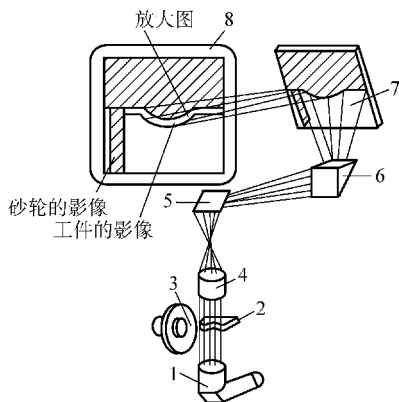


图 6-62 光学曲线磨床的工作原理

1—光源 2—工件 3—砂轮 4—物镜
5、6—三棱镜 7—平面镜 8—光屏



只能磨削 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的工件。如果工件的外形尺寸超过 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 时,就要采用分段磨削的方法。因此,放大图要按一定的基准分段绘制。如图 6-63a 所示的工件外形,将其分为三段,把每段曲线放大 50 倍后绘在一张图样上,如图 6-63b 所示,然后逐段磨出工件外形。

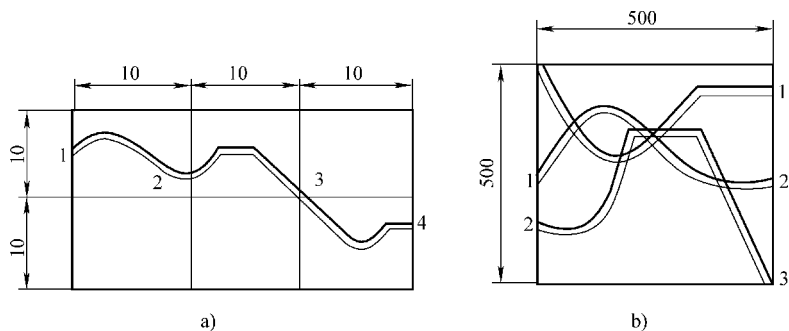


图 6-63 分段磨削

a) 工件外形 b) 放大图

为了提高加工效率,新型的数控自动光学曲线磨床,已对坐标工作台的纵向(x)和横向(y)进给实现数控。使用时,只需要按规定倍数绘制工件放大图,并安装在光屏上,再用手动进给手轮,将砂轮顶端对准放大图的形状变化点上后,即可按代码键,指定“快速进给、直线、圆弧(左右方向和 R 尺寸)”,以此自动输入砂轮的移动指令和 x 、 y 坐标点。以简单输入方式控制砂轮座纵向和横向进给两轴的数控运转。此外,也能进行一般的手动数据输入、子程序和各種插补等。

6. 在数控磨床上进行成形磨削

在成形磨床或平面磨床上利用夹具和成形砂轮磨削,以及在光学曲线磨床上的磨削,一般都是采用手动操作。因此,其加工精度在一定程度上依赖于工人的操作技巧。为了提高加工精度和便于采用电子计算机辅助设计与制造模具,使模具制造朝着高质量、高效率、低成本和自动化的方向发展,目前,已研制出数控成形磨床,而且在实际应用中收到了良好的效果。

数控成形磨床是以平面磨床为基体的,工作台作纵向往复直线运动 and 前、后(横向)进给,砂轮除了旋转运动外,还可作垂直进给运动。其特点是对于砂轮的垂直进给和工作台的横向运动采用了数控。所谓数控是指用数字指令来控制机器的动作。在加工工件时,首先根据其图纸编出算法,并按一定的格式编制加工程序,然后输入数控装置,使机器按预定的要求自动实现工件的加工。

在数控成形磨床上进行成形磨削的方法主要有如下三种:用成形砂轮磨削、仿形磨削、复合磨削。



(1) 用成形砂轮磨削

采用这种方法时,首先利用数控装置控制安装在工作台上的砂轮修整装置,使它与砂轮架作相对运动而得到所需的成形砂轮,如图 6-64a 所示,然后用此成形砂轮磨削工件。磨削时,工件作纵向往复直线运动,砂轮作垂直进给,如图 6-64b 所示。这种方法适用于加工面窄且批量大的工件。

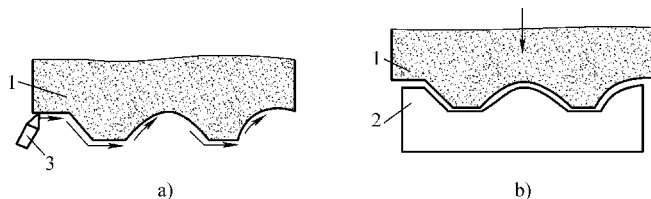


图 6-64 用成形砂轮磨削

a) 修整成形砂轮 b) 磨削工件

1—砂轮 2—工件 3—金刚刀

(2) 仿形磨削

利用数控装置把砂轮修整成圆形或 V 形,如图 6-65a 所示。然后由数控装置控制砂轮架的垂直进给和工作台的横向进给运动,使砂轮的切削刃沿着工件的轮廓进行仿形加工,如图 6-65b 所示。这种方法适用于加工面宽的工件。

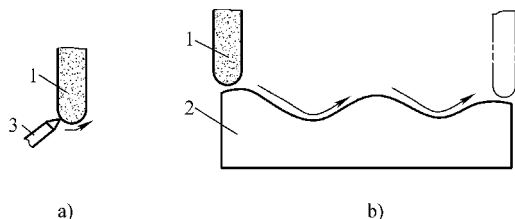


图 6-65 用仿形法磨削

a) 修整砂轮 b) 磨削工件

1—砂轮 2—工件 3—金刚刀

(3) 复合磨削

这种方法是把上述两种方法结合在一起,用来磨削具有多个相同型面(如齿条形和梳形等)的工件。磨削时先利用数控装置修整成形砂轮(只是工件形状的一部分),如图 6-66a 所示,然后用成形砂轮依次磨削工件,如图 6-66b 所示。

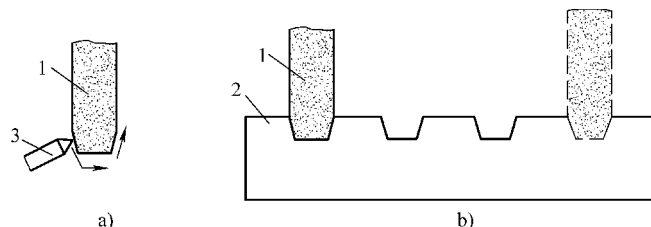


图 6-66 复合磨削

a) 修整成形砂轮 b) 磨削工件

1—砂轮 2—工件 3—金刚刀



思考与练习题

1. 应用普通车床所能完成的加工有哪些？
2. 什么是顺铣？什么是逆铣？各自的优缺点是什么？
3. 比较机械法、液压法、电控法这三种仿形方式的优缺点？
4. 坐标机床与普通机床的主要区别是什么？
5. 坐标镗床的特点是什么？坐标机床的附件分别起什么作用？
6. 何为成形磨削？其特点是什么？
7. 正弦精密平口钳与正弦精密磁力平台分别用于什么场合？
8. 万能夹具主要由哪几部分组成，它与正弦分中夹具有什么区别？
9. 刨刀刀杆为什么常做成弯头结构？



第7章 模具零件的数控加工

7.1 模具零件数控加工概述

数控加工是指在数控机床上进行零件切削加工的一种工艺方法。

数字控制 (Numerical Control) 是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法, 是一种自动控制技术。即用数字信息表示机床和刀具的运动参数, 并将这些数字信息送入计算机, 通过计算机控制机床, 使被加工零件和刀具之间产生符合要求的相对运动, 从而实现对零件的加工, 简称为数控 (NC)。

模具数控加工技术是一种特殊的和多用途及柔性的自动化技术, 是综合运用了微电子、计算机、自动控制、自动检测和精密机械等多学科的最新技术成果而发展起来的, 它的诞生和发展标志着模具制造业进入了一个数字化的新时代, 为了满足社会经济发展和科技发展的需要, 它正朝着高精度、高速度、高可靠性、多功能、智能化及开放性方向发展。

1) 高速度高精度化。速度和精度是数控加工的两个重要技术指标, 它直接关系到加工效率和产品质量。最新型号的 CNC 都使用 32 位甚至 64 位微处理器技术, 最小移动单位可达 $0.1\mu\text{m}$, 最大进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$, 高速主轴的转速可达 $40\,000 \sim 50\,000\text{r}/\text{min}$ 。

2) 智能化。智能化是体现数控加工运用高技术的重要标志, 它表现在运用自适应控制技术; 运用人机会话自动编程功能, 建立切削用量专家系统和示教系统; 运用自诊断功能; 运用模式识别技术。

3) 小型化。CNC 系统体积的小型化便于将机、电装置揉合为一体。新系统都采用三维安装方法, 采用新型 TFT 彩色液晶薄型显示器。

4) 提高可靠性。数控系统比较贵重, 用户期望发挥投资效益, 要求设备可靠, 特别是对要用在长时间无人操作环境下运行的数控系统, 可靠性成为人们最为关注的问题。

5) 具有更高的通信功能。为适应 FMC、FMS 以及进一步联网组成 CIMS 的要求, 一般的数控系统都具有 RS—232C 和 RS—422 高速串行接口, 高档的数控系统应具有 DNC 接口。现代数控机床为了适应自动化技术的进一步发展, 满足





工厂自动化规模越来越大的要求，满足不同厂家不同类型数控机床联网的需要，纷纷采用 MAP 工业控制网络。

6) 具有开放性。传统的数控系统是一种专用封闭式系统，各个厂家的产品之间以及与通用计算机之间不兼容，维修、升级困难，越来越难以满足市场对数控技术的要求。为此，提出了开放式数控系统的概念，国内外正在大力研究开发开放式数控系统，有些已进入实用阶段。

数控机床就是采用了数控技术的机床，或者说是装备了数控系统的机床。是用计算机控制的高效自动化机床，它综合应用了自动控制、计算机技术、精密测量和机床结构等方面的最新科技成就。数控机床一般由数控系统（计算机和接口电路）、驱动装置（伺服电路和伺服电动机）、主机（床身、立柱、主轴、进给机构等）和辅助装置（液压装置、气压装置、交换工作台、刀具及检测装置等）几部分组成。如图 7-1 所示。

数控机床的工作原理如下。

数控机床加工零件时，首先要根据加工零件的图样与工艺方案，按规定的代码和程序格式编写零件的加工程序单，这是数控机床的工作指令。通过控制介质将加工程序输入到

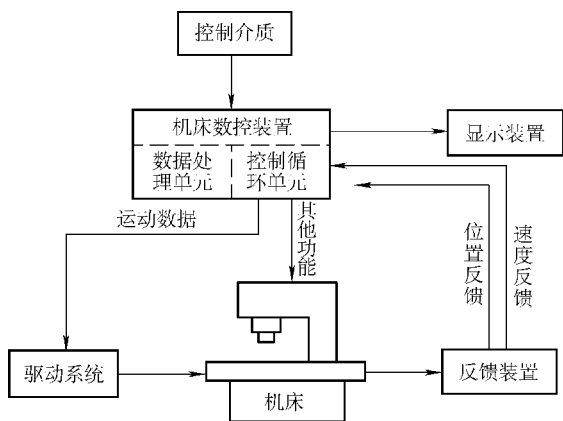


图 7-1 数控机床的组成

数控装置，由数控装置将其译码、寄存和运算之后，向机床各个被控量发出信号，控制机床主运动的变速、起停、进给运动及方向、速度和位移量，以及其他工作。如：刀具选择交换，工件夹紧松开和切削液的开、关等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而加工出符合要求的零件。

数控机床的种类较多。按机械运动的轨迹分类可分为：点位控制系统、直线控制系统和轮廓控制系统。按伺服系统的类型分类可分为：开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。按控制坐标轴数分类可分为：两坐标数控机床、三坐标数控机床和多坐标数控机床。按数控功能水平分类可分为：高档数控机床、中档数控机床和低档数控机床。

但从用户角度考虑，按机床加工方式或能完成的主要加工工序来分类更为合适。按照数控机床的加工方式，可以分成以下几类。

1) 金属切削类。属于此类的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗





床、数控磨床、数控齿轮加工机床和加工中心等。

2) 金属成形类。属于此类的有数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控旋压机等。

3) 特种加工类。属于此类的有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床及数控激光切割焊接机等。

4) 其他类。属于此类的有数控火焰切割机床、数控激光热处理机床、三坐标测量机等。

7.1.1 数控加工的特点及在模具加工中的应用

数控加工与普通加工方法的区别在于控制方式。在普通机床上进行加工时,机床动作的先后顺序和各运动部件的位移都是由人工直接控制。在数控机床上加工时,所有这些都由预先按规定形式编排并输入到数控机床控制系统的数控程序来控制。数控加工的主要工作内容与步骤如下。

1. 数控加工工艺设计

工艺设计是对工件进行数控加工的前期工艺准备工作,它必须在程序编制工作前完成,因为只有工艺设计方案确定以后,程序编制工作才有依据。工艺设计搞不好,往往要成倍增加工作量,而且这是造成数控加工差错的主要原因之一,所以编程人员一定要先作好工艺设计,再考虑编程。工艺设计内容主要如下所述。

- (1) 选择并决定零件的数控加工内容
- (2) 零件图纸的数控加工工艺性分析
- (3) 数控加工的工艺路线设计
- (4) 数控加工的工序设计
- (5) 数控加工专用技术文件的编写

专用技术文件的编写包括以下几项内容。

- 1) 对零件图形的数学处理。
- 2) 编写数控加工程序单。
- 3) 按程序单制作控制介质。
- 4) 程序的校验与修改。
- 5) 首件试切加工与现场问题处理。
- 6) 数控加工工艺技术文件的定形与归档。

实现数控加工的关键是数控编程。由于通过重新编程就能加工出不同的产品,因此它非常适合于多品种,小批量生产方式。

2. 数控加工的特点

- (1) 加工质量稳定、精度高



数控机床是精密机械和自动化技术的综合,所以机床的传动精度与机床的结构设计都考虑到要有很高的刚度和热稳定性,它的传动机构采用了减小误差的措施,并由数控装置进行补偿,所以数控机床有较高的加工精度。数控机床的定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.002\text{mm}$ 。而且数控机床的自动加工方式还可以避免人为的操作误差,使零件尺寸一致,质量稳定,加工零件形状愈复杂,这种特点就愈显著。

(2) 自动化程度高、生产效率高

数控加工是按事先编好的程序自动完成零件加工任务的,操作者除了安放控制介质及操作键盘、装卸零件、关键工序的中间测量,以及观察机床的运动情况外,不需要进行繁重的重复性手工操作,因此自动化程度很高,管理方便。同时,由于数控加工能有效减少加工零件所需的机动时间和辅助时间,因而加工生产率比普通机床高很多。

(3) 适应性强

当改变加工零件时,只需更换加工程序,就可改变加工工件的品种,这就为复杂结构的单件、小批量生产,以及试制新产品提供了极大的便利,特别是普通机床很难加工或无法加工的精密复杂型面。

(4) 有利于生产管理现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些都有利于使生产管理现代化,便于实现计算机辅助制造。

(5) 易形成网络控制

可以用一台主计算机通过网络控制多台数控机床,也可以在多台数控机床之间建立通信网络,因而有利于形成计算机辅助设计、生产管理和制造一体化的集成制造系统。

(6) 减轻劳动强度,改善劳动条件

操作者不需繁重而又重复的手工操作,劳动强度和紧张程度大大改善,另外工作环境整洁,劳动条件也相应改善。

(7) 技术复杂、成本高

数控加工不仅初始设备投入大(数控设备及计算机系统),对机床的维护和编程技术要求也高,而且复杂零件的编程工作量也很大,技术复杂,对技术人员综合水平要求很高,从而增加了它的生产成本。

3. 数控加工在模具加工的应用

从数控加工的一系列特点可以看出,数控加工有一般机械加工所不具备的许多优点,所以其应用范围也在不断地扩大。但目前它并不能完全代替普通机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控加工对于加工





多品种、中小批量，以及结构形状复杂、加工精度要求高，需要频繁改型的产品零件更具有选用价值，不适宜加工形状简单、技术要求低、毛坯余量过大和余量不均匀的零件。例如：面广量大的模具制造业正越来越多地倚重于数控加工技术。由于产品零件的外形设计越来越趋向于自然、美丽，所要求的模具型腔形状也就往往带有大量的自由曲面，传统的手工与普通机械设备加工制作已经无法满足需求，而具有三轴或多轴联动的数控机床却可以最大程度上解决这方面的难题，拓展了模具机械加工的范围，提高了加工精度，提高了加工效率，推进了模具制造业的发展。

7.1.2 数控加工程序编制的内容和步骤

数控加工程序的编制是指从零件图样到制成控制介质的过程。程序编制的过程如图 7-2 所示。其内容和基本步骤可分为以下几个阶段。

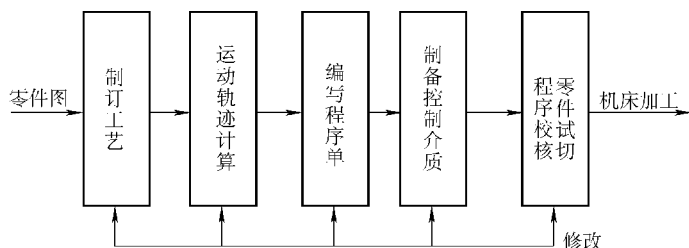


图 7-2 数控加工程序编制的基本步骤

1. 制定工艺阶段

选择适合数控加工的工件和合理的加工工艺是提高数控加工技术经济效果的首要因素。在制定零件加工工艺时，应根据图样对工件的形状、技术条件、毛坯及工艺方案等进行详细分析，从而确定加工方法、定位夹紧方法及工步顺序，并合理地选用机床设备、刀具及切削条件等。主要工作内容如下。

1) 分析被加工零件的图样，明确加工内容及技术要求，在此基础上确定加工方式、走刀路线和切削用量等。

2) 在对零件图样进行分析及确定出工艺参数的基础上，以实现零件图样上的尺寸精度、位置精度、表面粗糙度等技术要求为目标，制定出零件的定位、夹紧方案，确定对刀点的位置，编制零件的加工工艺过程。

3) 根据数控加工的特点和零件的具体要求，对刀具、夹具进行选用和设计。

2. 数字处理阶段

数字处理阶段包含运动轨迹计算、编写程序单等过程。

根据零件图样的几何尺寸、进给路径，以及坐标系，计算粗加工和精加工时的各个运动轨迹的坐标值，诸如运动轨迹的起点和终点、圆弧的圆心等坐标



尺寸；对非圆曲线，必须计算逼近线段的交点坐标值，并限制在允许误差范围以内。对圆形刀具，还要注意计算刀具中心运动轨迹的坐标。

数字处理阶段的主要工作是把零件图中给出的数据或给定的表达式转换成相应数控加工中所用的数据，为编制零件的加工程序做准备，编程人员可结合所使用的数控机床控制系统要求的数据格式，计算出所需的数据。数学处理计算的工作量大小，随着被加工零件的形状、加工内容、控制系统的功能及计算工具的不同有很大的差别。

对于直线、圆弧轮廓零件，若按零件轮廓进行编程时，则可借助于简单的计算工具计算出零件上相邻几何元素的交点和切点的坐标。若需要按刀具的中心轨迹编程时，则要按照刀具半径或某一给定值计算出刀具中心轨迹上的切点和交点坐标，这种计算比较复杂。但是，大多数数控机床都具有刀具半径补偿功能或刀具半径补偿功能。因此，一般情况下不需计算刀具中心的轨迹。

对于用数学方程式描述的非圆曲线（如指数曲线、椭圆、抛物线等）轮廓零件，由于其形状复杂，并且通常与控制系统的插补功能不一致，用数控机床进行加工时需进行复杂的数值计算。此时轮廓曲线只能用一段段直线或圆弧来逼近。当用直线或圆弧逼近时，要根据逼近误差小于给定的允许误差值的原则，计算出各个直线段或圆弧段长度。非圆曲线轮廓的数值计算通常要用计算机来完成。

列表曲线（曲线由一系列坐标点给出）和曲面零件进行编程时，数学处理十分困难。一般要用自动编程或计算机辅助编程系统来完成。

根据计算出的运动轨迹坐标值和已确定的加工顺序、刀号、切割参数以及辅助动作，按照数控装置规定使用的功能指令代码及程序格式，逐段编写加工程序单。在程序段之前加上程序的顺序号，在其后加上程序段结束符号。此外，还应附上必要的加工示意图、刀具布置图、机床调整卡、工序卡，以及必要说明（如零件名称与图号、零件程序号、机床型号以及日期等）。

3. 制备控制介质阶段

制备控制介质阶段包含制备控制介质、程序校核、修改、试切等过程。

程序单只是程序设计完成后的文字记录，还必须将程序单的内容制成软件等作为数控装置的输入信息。根据零件几何形状的复杂程度、程序的长短以及编程精度要求的不同，可采用不同的编程方法，主要有手工编程和计算机零件编程。程序单和所制备的控制介质必须经过校验和试切削才能正式使用。

这个阶段主要完成的工作内容如下。

1) 根据工艺处理和数学处理的结果，按所选数控机床要求的数据格式，编制出包含启动主轴、开停切削液、换刀等辅助功能的程序单。

2) 程序单经检查确认没有错误后，制备控制介质（如软件等），并输入数





控系统。简单程序也可直接通过键盘输入,新型数控机床还可以通过 RS232 接口或网络输入加工程序。

3) 对制作控制介质及数据传输的过程中可能出现的错误进行严格的检查,检查要逐条进行或进行空走刀检验。检验中,对平面零件可以笔代刀,用坐标纸代零件进行空运转画图,通过检查机床动作和运动轨迹的正确性来检验加工程序的正确性。在具有图形显示功能的数控机床上,可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对零件的切削过程检查程序。

4) 对于结构、形状复杂,原材料价格昂贵的零件或精加工的零件,可用仿真软件或铝、塑料或石蜡等易切削材料进行首件试切。通过检查试件,不仅可确认程序是否正确,还可检查加工精度是否符合要求,以便及时修改程序或采取尺寸补偿等措施。

7.1.3 数控机床的坐标系统及运动方向

为了便于编程时描述机床的运动,简化程序的编制方法及保证数据的互换性和加工程序的通用性,数控机床的坐标和运动方向均已标准化,统一规定数控机床坐标轴名称及其运动的正负方向,使所编程序对同类型机床有互换性,同时也使程序编制简便。目前,国际标准化组织已经统一了标准的坐标系。我国也已颁布了 JB/T 3051—1999《数控机床—坐标和运动方向的命名》标准。

1. 刀具相对于零件运动的原则

这一原则认为零件不运动,使编程人员能在不知道是刀具移动还是零件移动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

2. 标准坐标(机床坐标)系的规定

为了确定机床上的成形运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的方向和运动的距离,这就需要一个坐标系,这个坐标就称为机床坐标系(又称标准坐标系)。标准的机床坐标系采用右手笛卡儿直角坐标系。如图 7-3 所示。

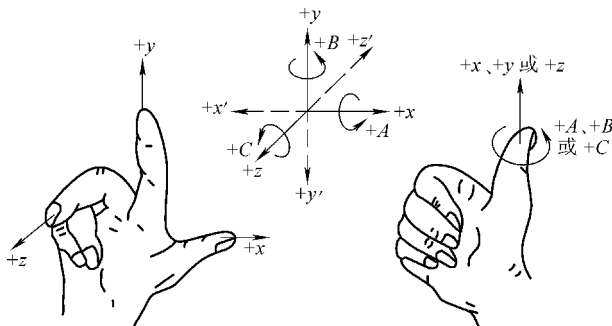


图 7-3 右手笛卡儿直角坐标系



图中规定了 x , y , z 3 个直角坐标轴的方向与机床的主要导轨相平行, A , B , C 3 个旋转坐标的方向由右手螺旋方法确定。

3. 机床坐标轴的确定及运动方向

确定机床坐标轴时,一般是先确定 z 轴,再确定 x 轴和 y 轴,同时规定运动方向。

在坐标命名或编程时,通常不论机床在加工中是刀具移动还是被加工工件移动,都一律假定被加工工件相对静止不动,而刀具在移动,并同时规定刀具远离工件的方向(即增大零件与刀具之间距离的方向)为坐标的正方向。

在坐标轴命名时,如果把刀具看作相对静止不动,工件运动,那么在坐标轴的符号上应加注标记“'”,如 x' 、 y' 、 z' 、 A' 、 B' 、 C' 等。其运动方向与不带“'”的方向正好相反。

(1) z 轴

z 坐标与主轴轴线平行,数控车床的主轴轴线为 z 轴,床尾方向为 z 的正方向。在钻镗加工中,钻入或镗入零件的方向是 z 的负方向。对于有主轴的机床,如卧式车床、立式升降台铣床等,则以主轴轴线方向作为 z 轴方向。对于没有主轴的机床,如龙门铣床等,则以与装夹工件的工作台面相垂直的直线作为 z 轴方向。如果机床有几根主轴,则选择其中一个与工作台面相垂直的主轴为主要主轴,并以它来确定 z 轴方向。同时标准规定,刀具远离工件的方向为 z 轴的正方向。

(2) x 轴

x 坐标是水平的(平行于零件装夹面),是刀具或零件定位平面内运动的主要坐标,一般位于与工件安装面相平行的水平面内。对于由主轴带动工件旋转的车床、磨床上,则在水平面选定垂直于工件旋转轴线的方向为 x 轴, x 的正方向是横向滑座主要刀架上刀具离开零件回转中心的方向;对于由主轴带动刀具旋转的机床,若主轴是水平的,如卧式升降台铣床等,由主要刀具主轴向工件看,选定主轴右侧方向为 x 正方向;若主轴是竖直的,如立式铣床、立式钻床等,由主要刀具主轴向立柱看,选定主轴右侧方向为 x 轴正方向;对于无主轴的机床,则选定主要切削方向为 x 轴正方向。对于桥式龙门机床,当由主轴向左侧立柱看时, x 运动的正方向指向右方。

(3) y 轴

y 轴方向可根据已选定的 z 、 x 轴按右手直角笛卡尔坐标系来确定。

(4) 附加坐标轴

如果机床除有 x 、 y 、 z 主要坐标轴以外,还有平行于它们的坐标轴,可分别指定为 U 、 V 、 W 。如果还有第三组运动,则分别指定为 P 、 Q 、 R 。

(5) 旋转运动





A 、 B 、 C 相应表示围绕 x 、 y 、 z 三轴轴线的旋转运动，其正方向分别按 x 、 y 、 z 轴右手螺旋法则判定。

(6) 主轴回转运动方向

主轴顺时针回转运动的方向是按右手螺旋进入工件的方向。

4. 数控机床的坐标数

数控机床的坐标数是指有几个运动采用了数字控制。如一台铣床，其 x 、 y 、 z 3 个方向的运动都能进行数字控制，则它就是一个 3 坐标数控铣床。有些机床的运动部件较多，在同一个坐标轴方向上会有 2 个或更多的运动是数控的，所以还有 4 坐标、5 坐标数控机床。不要把数控机床的坐标数与“2 坐标加工”、“3 坐标加工”相混淆。一台 3 坐标数控铣床，若控制系统只能控制任意 2 坐标联动，则只能实现 2 坐标加工，如图 7-4 所示。有时对于一些简单立体型面，也可采用这种机床加工，即某 2 个坐标联动，另一坐标进行周期进给，将立体型面转化为平面轮廓加工，这也叫“2.5 坐标加工”。若控制系统能控制 3 个坐标联动，则能实现 3 坐标加工，如图 7-5 所示。

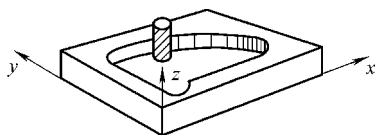


图 7-4 2 坐标加工

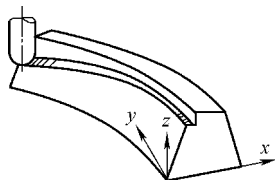


图 7-5 3 坐标加工

5. 机床原点与机床坐标系

标准坐标系原点 ($x=0$, $y=0$, $z=0$) 的位置是任意选择的， A 、 B 、 C 的运动原点 ($A=0$, $B=0$, $C=0$) 也是任意的。机床坐标系是机床上固有的坐标系，其原点在说明书中均有规定，一般利用机床机械结构的基准线来确定。例如，有的机床设有零位，这个零位就是机床坐标系的原点（也叫机床原点、机床零点）。这个机床零位在机床制造出来时就已确定，是机床上的一个固定点，由机床生产厂在设计机床时确定，原则上不能随意改变。以机床原点为坐标原点的坐标系就称为机床坐标系，机床原点是机床坐标系的原点，同时也是其他坐标系与坐标值的基准点。也就是说只有确定了机床坐标系，才能建立工件坐标系，才能进行其他操作。

6. 机床参考点

机床参考点是由机床制造厂人为定义的点，它与机床原点之间的坐标位置关系是固定的，并被存放在数控系统的相应机床数据存储器中，一般是不允许改变的，仅在特殊情况下可通过改变机床参考点的限位开关位置来改变，但同



时必须能准确测量出改变后的机床参考点相对机床原点的几何尺寸距离,并存放数控系统的相应机床数据存储器中,才能保证原设计的机床坐标系不被破坏。

机床参考点的作用就是每次数控机床启动时,执行机床返回参考点的操作,使数控系统的坐标系统与机床本身坐标系统相一致。换句话说当执行返回参考点操作后,显示器上将显示参考点与机床原点间的相关坐标值,该数值即被记忆在系统中并在系统中建立机床原点,作为系统内运算的基准点。

机床参考点的位置在每个轴上都是通过减速行程开关粗定位,然后由编码器零位电脉冲精定位的。当返回参考点的工作完成后,显示器即显示出机床参考点在机床坐标系中的坐标值,这表明机床坐标系已经建立。

7. 工件原点与工件坐标系

工件原点又称工件零点或编程零点,工件原点是为编制加工程序而定义的点,它可由编程人员根据需要来定义,一般选择工件图样上的设计基准作为工件原点,例如回转体零件的端面中心、非回转体零件的角边、对称图形的中心作为几何尺寸绝对值的基准。

这种在工件上以工件原点为坐标系原点建立的坐标系称为工件坐标系,其坐标轴及方向与机床坐标系一致。工件坐标系是编程人员在编程时使用的坐标系,目的是为了编程方便,编程尺寸按工件坐标系中的尺寸确定。除此之外,还可以用编制程序的方式来确定工件坐标系。

8. 起刀点与对刀点

起刀点是指刀具起始运动的刀位点,即程序开始执行时的刀位点。所谓刀位点即刀具的基准点,如圆柱铣刀底面中心、球头刀中心、车刀与镗刀的理论刀尖;当用夹具时常与工件零点有固定联系尺寸的圆柱销等进行对刀,此时用对刀点作为起刀点。

7.1.4 程序编制的方法及其选择

在数控技术发展的过程中,研制出了许多编程方法,每个国家和地区都有自己的编程软件和设备。概括来说编程的方法有两种,即手工编程和自动编程。

1. 手工编程

编制零件加工程序的各个步骤中,从零件图样分析、工艺处理、数学处理、书写程序单、制备介质到程序检验,均由人工完成,即完全用手工编制程序的过程,称为手工编程。

对于点位加工或几何形状不太复杂的零件,程序编制计算较简单,程序段不多,用手工编程即可实现。但对轮廓形状不是由简单的直线、圆弧组成的复杂零件,如由非圆曲线、列表曲线等组成的零件,特别是对于具有空间曲面的





零件,以及几何元素虽并不复杂,但程序量很大的零件,由于编制程序时计算繁琐,工作量大,容易出错,难校对等原因,采用手工编程难以完成。据统计,采用手工编程时,一个复杂零件的编程时间与机床加工时间的比例,平均约为30:1。因此,为了缩短生产周期,提高数控机床的利用率,有效地解决各种模具及复杂零件的加工问题,应采取自动编程的方法。

2. 自动编程

使用计算机进行数控机床程序的编制工作,由计算机自动地进行数值计算,编写零件加工程序单,自动输出打印并将加工程序制成控制介质,即数控机床编程工作的大部分或全部由计算机完成的过程,称为自动编程。

在自动编程过程中,编程人员只需根据零件图样上的数据和工艺要求,使用规定的数控语言编写出一个较简短的零件加工源程序,并将其输入到计算机或编程机中,由计算机或编程机自动处理,计算出刀具的运动轨迹,编出零件加工程序并自动地按照所用控制系统的程序格式制作控制介质。同时计算机可自动绘出零件图形和走刀轨迹,供编程人员及时检查和修改程序,并最终获得正确的零件加工程序。计算机自动编程代替程序编制人员完成了大量繁琐的数值计算工作,省去了书写程序单和制备控制介质的工作,可将编程效率提高几十倍甚至上百倍,同时解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题。

自动编程的输入方式有语言输入方式、图形输入方式和语音输入方式三种。

语言输入方式是指加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。现在全世界实际应用的数控语言系统有100多种,其中最主要的是美国的APT(automatical programmed tools)语言系统和德国的EXAPT(extended APT)语言系统。后者是德国在APT功能上扩充了工艺处理能力,可由计算机自动确定加工程序、刀具、进给速度、切削速度等工艺数据。我国也发展了几种数控语言系统,如SKC,ZCX,ZBC等系统,在推动我国自动编程系统的开发和应用方面发挥了良好的作用。

图形输入方式是指用图形输入设备(如数字化仪)或CAD系统将图形信息直接输入计算机并在显示器上显示,而后进行人与计算机的交互处理,最终得到加工程序及控制介质。图形输入方式是自动程序编制的发展方向,其输入的图形与零件图相符,不需要再用其他语言进行描述,且显示的图形直观,避免了用语言描述等中间环节出现的错误。另一方面用图形输入方式编制程序时,主要是输入零件图中的加工图形,此方法便于和计算机辅助设计相结合形成设计、制造一体化,这种集成制造系统是现代机械制造的发展趋势。

当用图形方式进行编程时,编程人员可用光笔和键盘在显示器上给出零件轮廓,发现错误后能及时修改。当绘制好零件的轮廓后,计算机按预储存的程



序进行计算，并将处理结果显示在显示器上，然后再用光笔沿着零件轮廓移动，标出刀具的加工轨迹。

当用数字化技术编制程序时，可以将有原始模型而无尺寸的零件，利用一台测量机将实际图形或模型尺寸测量出来，并由计算机（或数据处理装置）将所测得的数据进行处理，控制输出设备输出零件的加工程序和控制介质。此方法可用于编制2坐标、2.5坐标和3坐标零件的加工程序。数字化程序编制的缺点是加工程序长，被加工零件的精度依赖于模型精度和探棒与刀具形状尺寸的一致性。

语音输入方式又称语音编程。此方法是利用人的声音输入，采用语音识别器，将操作员发出的加工指令声音输入计算机，并将结果显示在显示器上，然后由计算机进一步处理生成零件的加工程序和制作控制介质。

7.1.5 常用数控标准

无论何种数控机床的加工，都是按照从外部输入的程序自动地对零件进行加工的。为了与数控机床的内部程序及自动编程使用的零件源程序相区别，把从外部输入的直接用于加工某个零件的程序称为数控加工程序，简称加工程序。加工程序是数控系统的应用软件，它是由一系列指令代码组成的。

在数控编程中，是用G指令代码、M指令代码及F、S、T等指令代码来描述加工工艺过程、数控系统的运动特征、数控机床的起动与停止、切削液的开关等辅助功能，以及给出进给速度、主轴转速等的。

必须注意，国际上广泛应用ISO标准制定的G代码和M代码与我国根据ISO标准制定的JB/T 3208—1999标准完全等效，但也有些国家或集团公司所制定的G代码和M代码的含义与此完全不同，操作时务必根据使用说明书进行编程。

1. 加工程序的基础

(1) 字符与代码

字符是一个关于信息交换的术语，它是用来表示数据的一些符号。在加工程序中使用的字符有字母、数字及小数点、符号（正负号）和功能字符（程序开始、结束等）。数控系统只接收二进制信息，人们把字符进行编码，使每个字符对应一个8位二进制数，这个编码常称为代码。目前国际上广泛使用的代码有两种标准，即国际标准化组织（ISO）标准和美国电子工业协会（EIA）标准，分别称为ISO代码和EIA代码。

1) EIA 代码。

EIA编码是美国电子工业协会（Electronic Industries Association）标准，共有50个字符（其中功能字11个），专门用于数控机床及其辅助设备。这种代码





的特点是每个代码的二进制数中 1 的个数都是奇数，它的第 5 位专门作补奇用。当代码中 1 的个数为偶数时，第 5 位为 1；当代码中 1 的个数为奇数时，第 5 位为 0。以此保证每个代码中 1 的个数为奇数，目的是为了读入时进行校验。

2) ISO 代码。

ISO 编码表的特点是每个代码中 1 的个数都是偶数，它的第 3 位专门作补偶用，以此保证每个代码中 1 的个数为偶数。

(2) 程序段与程序格式

1) 程序段。

程序段是数控加工程序的一个语句，用来指定机床完成某一个动作或功能。在书写、显示和打印时，一般每个程序段占一行，加工程序主体由若干个程序段组成。

2) 程序段格式。

程序段格式是指程序段中的字、字符和数据的安排形式。目前加工程序使用字地址可变的程序段格式，也称为字地址格式。程序段由若干个字组成，字首是一个英文字母，称为字的地址，字的功能类别由地址决定；上一程序段中已确定，本程序段又不必变化的那些字仍然有效，可以不再给出；每个字的长度不固定，各个程序段的长度和字的个数是可变的；在程序段中，字的排列顺序无严格要求。下面是某程序中的两个程序段：

```
N11G01X40.125Z50.458F0.4S250T0303
```

```
N12X35.5
```

第一段中 N11 是程序段号；G01 是准备功能，表示本段加工要走一条直线；X40.125 和 Z50.458 是本段加工的终点坐标值；F0.4 是进给量；S250 是主轴转速；T0303 是使用刀具的刀号和刀补号。N12 是程序段号，X35.5 为终点坐标。第二段中 N12 表示除了坐标 x 发生变化外，其他均不变，两个程序段的字数和字符个数相差很大。尽管各个字的排列顺序无要求，但实际编程时习惯上一般按 N，G，X，Y，Z，F，S，T，M 的顺序编写。

3) 常规加工程序的格式。

常规加工程序由开始符、程序名、程序主体和程序指令组成，程序的最后还有一个结束符。程序的开始符和结束符相同，在 ISO 代码中是 %，在 EIA 代码中是 ER。程序结束指令可用 M02（程序结束）或 M30（纸带结束），M02 与 M30 的共同点是停止主轴切削液和进给，并使系统复位。有的系统 M02 和 M30 指令没有区别，有的则有区别，区别是 M02 程序结束后光标停在程序结束处，M30 程序结束后光标自动返回程序开始处，按启动键可再次运行程序。

程序名位于程序主体之前、程序开始符后，它一般独占一行。程序名有两种形式：一种是以规定的英文字母（常用 O）打头，后边紧跟若干位数字组成，



不同的系统数字位数不同,常见的是2位和4位。另一种是可以用英文字母、数字和“—”混用,如F120—I20—I。

(3) 字与字的7种功能

字是程序字的简称,它是机床数字控制的专用数语。它的定义是一套有规定次序的字符(字符串)。一个字所含的字符数称为字长。加工程序中的字都是由一个字母后跟若干位十进制数组成的,这个字母称为地址符,地址符后边可加正负号。程序字按其功能不同可分7种类型。

1) 顺序号字。

顺序号字也叫程序段号,位于程序段之首,其地址符为N,后续标明顺序的数字(2~4位)。

2) 准备功能字。

准备功能字的地址符是G,后续标明功能的数字(通常为00~99)。随着数控机床功能的增加,2位数字已不够用,有些数控系统后跟3位数字,还有的系统使用几套G功能字,可用参数设定的方法确定一种G功能字。各公司的系统准备功能不尽相同。

3) 尺寸字。

尺寸字用来确定机床运动部件运动到达的坐标位置,表示暂停时间的指令也列入其中。地址符有3组:第1组是X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R,用来指定到达的直线坐标尺寸,有些地址(如X)还可用在G04后边指定暂停时间;第2组是A, B, C, D, E,用来指定到达的角度坐标;第3组是I, J, K,用来指定圆弧轮廓的圆心坐标。有的系统坐标尺寸既可使用公制,也可使用英制,此时也要用G功能指定,尺寸字中的数字一般支持小数点,数值直接表示坐标尺寸。有些旧的系统不支持小数点,数字表示脉冲当量数。

4) 进给功能字。

进给功能字用来指定运动部件的进给速度。进给一般分为每分钟进给或每转进给量,可用G94或G95功能来选定。进给功能地址符为F,后跟数字直接给出进给速度。在螺纹程序段中F也用来指定导程。

5) 主轴转速功能字。

主轴转速功能字用来规定主轴转速,单位为转每分钟。地址符为S,后跟数字直接给出主轴每分钟的转速(rpm),如S300为主轴每分钟转300转。有的以代码形式间接给定转速,这时后跟数字不是速度实际值,而是一个速度等级值。

6) 刀具功能字。

刀具功能字用来指定刀具号和刀补号。地址符为T,后跟数字有2位,4位,6位3种格式。2位比较常用,其前一位表示刀具号,后一位表示刀具长度补偿号,如T12表示用1号刀具2号刀补;4位数的前2位表示刀具号,后2位





表示刀具长度或半径补偿号,例如:T0203表示用2号刀具3号刀补;6位数字的前2位表示刀具号,中间2位表示刀具半径补偿号,后2位表示刀具长度补偿号,例如:T030507表示用3号刀具5号半径补偿7号长度刀补。

7) 辅助功能字。

辅助功能字用来指定数控机床辅助装置的接通或断开。其地址符为M,后跟1~3位数字,与G功能一样,各公司系统中的M功能不尽相同。

2. 数控程序的指令代码

(1) 准备功能G指令

它是由字母G和其后的2位数字组成,从G00至G99共有100种。该指令主要是命令数控机床进行何种运动,为控制系统的插补运算作好准备。所以,一般它们都位于程序段中坐标数字指令的前面。常用的G指令有以下几种。

G01——直线插补指令。使机床进行二坐标(或三坐标)联动的运动,在各个平面内切削出任意斜率的直线。

G02, G03——圆弧插补指令。G02为顺时针圆弧插补指令, G03为逆时针圆弧插补指令。使用圆弧插补指令之前必须应用平面选择指令,指定圆弧插补的平面。

G00——快速点定位指令。它命令刀具以定位控制方向从刀具所在点以最快的速度移动到下一个目标位置。它只是快速定位,而无运动轨迹要求。

G17, G18, G19——坐标平面选择指令。G17指定零件进行 xy 平面上的加工, G18和G19分别为 zx 和 yz 平面上的加工。这些指令在进行圆弧插补、刀具补偿时必须使用。

G40, G41, G42——刀具半径补偿指令。利用该指令之后,可以按零件轮廓尺寸编程,由数控装置自动地计算出刀具中心轨迹。其中:G41为左偏刀具半径补偿指令, G42为右偏刀具半径补偿指令, G40为刀具半径补偿撤销指令。

G90, G91——绝对坐标尺寸及增量坐标尺寸编程指令。其中:G90表示程序输入的坐标值按绝对坐标值取, G91表示程序段的坐标值按增量坐标值取。

(2) 辅助功能M指令

辅助功能M指令是由字母M和其后的2位数字组成,从M00至M99共100种。这些指令与数控系统的插补运算无关,主要是为了数控加工、机床操作而设定的工艺性指令及辅助功能。常用的辅助功能指令有以下几种。

M00——程序停止。完成该程序段的其他功能后,主轴、进给、切削液送进都停止。

M01——计划停止。该指令与M00类似。所不同的是,必须在操作面板上预先按下“任选停止”按钮,才能使程序停止,否则M01不起作用。当零件加工时间较长或在加工过程中需要停机检查、测量关键部位,以及交接班等情况



时使用该指令很方便。

M02——程序结束。当全部程序结束时使用该指令，它使主轴、进给、切削液送进停止，并使机床复位。

M03, M04, M05——分别命令主轴正转、反转和停转。

M06——换刀指令。常用于加工中心机床刀具库换刀前的准备动作。

M07, M08——分别命令 2 号切削液和 1 号切削液开（冷却泵起动）。

M09——切削液停。

M10, M11——运动部件的夹紧及松开。

M30——程序结束并倒带。该指令与 M02 类似。所不同的是，可使程序返回到开始状态，即使纸带倒回起始位置。

M98——子程序调用指令。

M99——子程序返回到主程序指令。

表 7-1 和表 7-2 为准备功能 G 指令和辅助功能 M 指令的含义。

表 7-1 准备功能 G 指令

代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能	代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能
G00	a		点定位	G10 ~ G16	#	#	不指定
G01	a		直线插补	G17	c		xy 平面选择
G02	a		顺时针方 向圆弧插补	G18	c		zx 平面选择
G03	a		逆时针方 向圆弧插补	G19	c		yz 平面选择
G04		*	暂停	G20 ~ G32	#	#	不指定
G05	#	#	不指定	G33	a		螺纹切削， 等螺距
G06	a		抛物线插补	G34	a		螺纹切削， 增螺距
G07	#	#	不指定	G35	a		螺纹切削， 减螺距
G08		*	加速	G36 ~ G39	#		永不指定
G09		*	减速	G40	d		刀具补偿/刀 具偏置注销





(续)

代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能	代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能
G41	d		刀具补偿 - 左	G58	f		直线偏移 xz
G42	d		刀具补偿 - 右	G59	f		直线偏移 y
G43	# (d)	#	刀具偏置 - 正	G60	h		准确定位 1 (精)
G44	# (d)	#	刀具偏置 - 负	G61	h		准确定位 2 (中)
G45	# (d)	#	刀具偏置 + / +	G62	h		快速定位 (粗)
G46	# (d)	#	刀具偏置 + / -	G63		#	攻螺纹
G47	# (d)	#	刀具偏置 - / -	G64 ~ G67	#	#	不指定
G48	# (d)	#	刀具偏置 - / +	G68	# (d)	#	刀具偏置, 内角
G49	# (d)	#	刀具偏置 0 / +	G69	# (d)	#	刀具偏置, 外角
G50	# (d)	#	刀具偏置 0 / -	G70 ~ G79	#	#	不指定
G51	# (d)	#	刀具偏置 + / 0	G80	e		固定循环 注销
G52	# (d)	#	刀具偏置 - / 0	G81 ~ G89	e		固定循环
G53	f		直线偏移, 注销	G90	j		绝对尺寸
G54	f		直线偏移 x	G91	j		增量尺寸
G55	f		直线偏移 y	G92		#	预置寄存
G56	f		直线偏移 z	G93	k		时间倒数, 进给率
G57	f		直线偏移 xy	G94	k		每分钟进给



(续)

代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能	代 码	功能保持到 被取消或被 同样字母表 示的程序指 令所代替	功 能 仅 在 所 出 现 的 程 序 段 内 有作用	功 能
G95	k		主 轴 每 转 进 给	G97	I		每 分 钟 转 数 (主 轴)
G96	I		恒 线 速 度	G98、G99	#	#	不 指 定

- 注：1. #号表示如选作特殊用途，必须在程序格式说明中说明。
2. 如在直线切削控制中没有刀具补偿，则 G43 到 G52 可指定作其他用途。
3. 在表中左栏括号中的字母 (d) 表示可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或代替，亦可被有括号的字母 (d) 所注销或代替。
4. G45 到 G52 的功能可用于机床上任意两个预定的坐标。
5. 控制机上没有 G53 到 G59 和 G63 功能时，可以指定作其他用途。
6. 表中的 a、c、f、d、e、j、k、I、h 表示可以被同类代码所注销或代替。

表 7-2 辅助功能 M 指令

代 码	功能开始时间		功能保持到 被注销或被 适当程序指 令代替	功能仅在所 出现的程序 段内有作用	功 能
	与程序段指 令运动同时 开始	在程序段指 令运动完成 后开始			
M00		√		√	程序停止
M01		√		√	计划停止
M02		√		√	程序结束
M03	√		√		主轴顺时针方向
M04	√		√		主轴逆时针方向
M05		√	√		主轴停止
M06	#	#		√	换刀
M07	√		√		2 号切削液开
M08	√		√		1 号切削液开
M09		√	√		切削液关
M10	#	#	√		夹紧
M11	#	#	√		松开
M12	#	#	#	#	不指定





(续)

代 码	功能开始时间		功能保持到 被注销或被 适当程序指 令代替	功能仅在所 出现的程序 段内有作用	功 能
	与程序段指 令运动同时 开始	在程序段指 令运动完成 后开始			
M13	√		√		主轴顺时针方向, 切削液开
M14	√		√		主轴逆时针方向, 切削液开
M15	√				正运动
M16	√				负运动
M17 ~ M18	#	#	#	#	不指定
M19		√	√		主轴定向停止
M20 ~ M29	#	#	#	#	永不指定
M30		√		√	纸带结束
M31	#	#		√	互锁旁路
M32 ~ M35	#	#	#	#	不指定
M36	√		#		进给范围 1
M37	√		#		进给范围 2
M38	√		#		主轴速度范围 1
M39	√		#		主轴速度范围 2
M40 ~ M45	#	#	#	#	如有需要作为齿轮换挡, 此外不指定
M46 ~ M47	#	#	#	#	不指定
M48		√	√		注销 M49
M49	√		#		进给率修正旁路
M50	√		#		3 号切削液开
M51	√		#		4 号切削液开
M52 ~ M54	#	#	#	#	不指定
M55	√		#		刀具直线位移, 位置 1
M56	√		#		刀具直线位移, 位置 2
M57 ~ M59	#	#	#	#	不指定
M60		√		√	更换工件
M61	√				工件直线位移, 位置 1
M62	√		√		工件直线位移, 位置 2



(续)

代 码	功能开始时间		功能保持到 被注销或被 适当程序指 令代替	功能仅在所 出现的程序 段内有作用	功 能
	与程序段指 令运动同时 开始	在程序段指 令运动完成 后开始			
M63 ~ M70	#	#	#	#	不指定
M71	√		√		工件角度位移, 位置 1
M72	√		√		工件角度位移, 位置 2
M73 ~ M89	#	#	#	#	不指定
M90 ~ M99	#	#	#	#	永不指定

注: 1. #号表不如选作特殊用途, 必须在程序说明中说明。
2. M90 ~ M99 可指定为特殊用途。

(3) 进给功能 F 指令

该指令用以指定切削进给速度, 其单位为 mm/min 或 mm/r。F 地址后跟的数值有直接指定法和代码指定法。现在一般都使用直接指定方式, 即 F 后的数字直接指定进给速度, 如: F120 即为进给量 120mm/min, F0.2 即为 0.2mm/r, 进给速度的数值按有关数控切削用量手册的数据或经验数据直接选用。

(4) 主轴转速功能 S 指令

该指令用以指定主轴转速, 其单位为 r/min。S 地址后跟的数值有直接指定法和代码指定法之分。现在数控机床的主轴都用高性能的伺服电动机驱动, 可以用直接法指定任何一种转速, 如: “S2000” 即为主轴转速 2000r/min。代码法用于异步电动机与齿轮传动的有级变速, 现已很少运用。

(5) 刀具功能 T 指令

该指令用以指定刀号及其补偿号。T 地址后跟的数字有 2 位 (如 T11) 和 4 位 (如 T0101) 之分。对于 4 位, 前 2 位为刀号, 后 2 位为刀补寄存器号。如 T0202, 第一个 02 为 2 号刀, 第二个 02 为从 02 号刀补寄存器取出事先存入的补偿数据进行刀具补偿。若后 2 位为 00, 则无补偿或注销补偿。编程时常取刀号与补偿号的数字相同 (T0101), 显得直观。

上述 T 指令中含有刀补号的方法多用于数控车床的编程。

(6) 坐标功能指令

坐标功能指令 (又称为尺寸功能指令) 用来设定机床各坐标之位移量。它一般使用 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C 等地址符为首, 在地址后紧跟着 “+” 或 “-” 及一串数字。该数字以系统脉冲当量为单位 (如 0.01mm/脉冲或以 mm 为单位), 数字前的正负号代表移动方向。

(7) 程序段号功能 N 指令



该指令用以指定程序段名,由 N 地址及其后的数字组成。其数字大小的顺序不表示加工或控制顺序,只是程序段的识别标记,用作程序段检索、人工查找或宏程序中的无条件转移。因此,在编程时,数字大小的排列可以不连续,也可颠倒,甚至可以部分或全部省略。但习惯上还是按顺序并以 5 的倍数编程,以备插入新的程序段。如“N10”表示第一条程序段,“N20”表示第二条程序段等。

7.2 数控加工的工艺处理

数控加工工艺与普通机加工工艺有相同之处,但也有差异。在普通机床上加工零件时,首先要对零件进行工艺分析,确定加工路线,选择切削用量、机床刀具及定位夹紧方法,然后编制出零件的工艺规程。在数控机床上加工零件时,也是对零件进行工艺分析,确定加工路线,选择切削用量、机床刀具及定位夹紧方法等,不同的是要在程序编制开始前,除对被加工零件进行工艺分析,拟定工艺方案外,还要进行一些工艺问题处理。然后把上述工艺因素用数控机床能够识别的代码和规定的指令信息来表示(即编制程序),然后输入到数控装置中,控制数控机床进行加工。虽然数控加工的程序设计与普通机床加工工艺规程中的工艺设计相似,但前者比后者严格、复杂,工艺处理问题各有特点。所以,数控加工工艺是程序编制的基础,是一项十分重要的工作。

7.2.1 数控加工工艺的基本特点和内容

一般来说,数控加工的工序内容多且复杂,尽量减少零件的装夹次数,便于保证精度(特别是位置精度),提高生产效率,充分发挥数控机床的优势。

1. 数控加工工艺的基本特点

从编程角度看,数控加工程序的编制要比普通机加工工艺规程复杂。就模具制造而言,在通用机床上加工的部分工艺内容,如工序内工步的安排、走刀路线、切削刀具和切削用量等,可以由操作工人来选择和决定。而在数控加工时,这些内容都是由程序控制执行,即程序要准确地反映出上述内容。所以,数控加工程序要有极高的正确性和合理性,不能有丝毫的差错,否则加工不出高质量的零件。针对这一特点,在编制加工程序时必须细心,同时在编程过程中应同操作人员配合好,以提高程序编制的质量。

2. 数控加工工艺的主要内容

在程序编制中,数控加工工艺的主要内容如下。

- 1) 选择适合在数控机床上加工的零件或工序内容。
- 2) 对零件进行数控加工工艺性分析。





3) 制定工艺路线,包括工序划分、加工顺序的安排、基准选择,以及与非数控加工工序的衔接等。

4) 设计数控加工工序,主要包括确定工步、选择刀具、定位与安装夹具、确定走刀路线、确定切削用量等。

5) 调整数控加工工序程序,如增加对刀和刀具补偿等。

6) 容差分配。

7) 数控机床上部分指令的处理。

7.2.2 数控加工的工艺分析

1. 零件分析

选择在数控机床上加工的零件时,要分析零件的加工工艺性,要考虑毛坯的材料和类型、零件尺寸大小、尺寸精度和表面粗糙度、零件轮廓形状的复杂程度、零件数量、热处理状态等,要分析零件适合的数控加工类型,完整加工此零件所涉及的毛坯材料及形状、刀具等一系列准备方案。

概括起来要从3方面充分考虑:即零件技术要求能否保证;对提高生产率是否有利;经济上是否合算。

2. 零件工艺性分析

从加工机床与零件生产批量的关系来说。一般当零件不太复杂,批量又较小时,宜采用通用机床;当生产批量很大时宜采用专用机床;在多品种、小批量生产的情况下,当零件复杂时使用数控机床能获得较高的经济效益。

某些模具设计的零件,用普通机加工可能难以加工,即所谓结构工艺性差。但采用数控机床加工,可轻而易举地实现。因而在分析零件的数控工艺性时,需要对结构工艺性进行严格评价。为充分发挥数控加工的优势,在零件设计时要充分考虑数控工艺性与设计的联系,曲面造形多,壁薄轻巧,结构复杂、在非敞开部位的斜槽等这样的结构设计可充分发挥数控车床的加工优势。

适合于数控加工零件的类型有以下几类。

1) 用通用机床加工时,要求设计制造复杂的专用夹具或需很长调整时间的零件。

2) 小批量生产(100件以下)的零件。

3) 轮廓形状复杂,加工精度高或必须用数学方法决定的复杂型面、曲面零件。

4) 要求精确复制(仿形)的零件。

5) 预备多次改型(设计修改)的零件。

6) 钻、扩、铰、镗、攻螺纹等工序联合进行的零件,如箱体类零件。





7) 价格高, 报废将造成巨大经济损失的零件。

8) 要求百分之百检验的零件。

对零件的某些细小部位, 要注意数控车削的走刀特点, 尽量让普通的刀具能一次走刀成型; 对复杂型面的零件, 其轮廓剖面由多段直线、斜线和圆弧组成, 要使刀具毫无干涉地完成整个型面的切削; 零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型或尺寸, 这样不仅可以减少换刀次数, 还可采用部分控制程序或专用程序以缩短程序长度。

确定零件的装夹方法和夹具争取一次装夹就能加工零件的所需加工表面。避免由于多次装夹导致产生加工误差。粗加工一般在普通机床上完成。

确保编程坐标系在毛坯上的位置映射正确, 保证所需加工零件形体在毛坯的范围内。

7.2.3 数控加工工艺规程的制定

1. 工序的划分

合理地划分零件加工工序使其在数控机床上加工工序相对集中, 即: 在一次装夹中应尽可能完成全部工序。这有利于数控加工的正常进行, 提高生产效率, 有利于充分发挥数控加工的优势。

常见的工序划分方法如下。

(1) 按所用的刀具划分工序

减少换刀次数可以减少空程时间和定位误差。因此, 可采用按刀具集中工序的方法, 即用同一把刀加工完成零件上加工要求相同的表面后, 再更换另一把刀来加工其他表面。

(2) 按粗、精加工划分工序

当零件形状、尺寸精度以及零件的刚度和变形等要求许可时, 可按粗、精加工分开的原则划分工序, 先进行粗加工, 后进行精加工。考虑到粗加工时零件变形的恢复需要一段时间, 最好粗加工后不要紧接着安排精加工。当数控机床的精度能满足零件的设计要求时, 可考虑粗、精加工采用多次走刀的方法一次完成。

(3) 按先面后孔的原则划分工序

在零件上既有面加工又有孔加工时, 要采用先加工面后加工孔的工序划分方法, 这样可以提高孔的加工精度。

(4) 按程序长短划分工序

复杂零件要加工的表面很多, 如果要加工全部表面, 可能造成程序长度过长, 导致计算机内存不足。因此, 在划分工序时要考虑加工程序的长度, 要使加工程序的长度与计算机剩余的内存相适应。



2. 零件定位、装夹方法和夹具的选择

在数控机床上被加工零件的定位和夹紧方法与在普通机床上一样，也要合理地选择定位基准和夹紧方案。在大多数情况下一般不进行数控加工机床夹具的实际设计，而是选用夹具。

数控加工对夹具主要有两方面要求：一是要保证夹具本身在机床上安装准确；二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。

7.2.4 数控加工路线的确定

确定加工路线就是确定刀具的运动轨迹和方向。在数控加工过程中，确定每道工序加工路线，妥善地安排加工路线，与零件的加工精度和表面粗糙度有直接相关，对提高加工质量和保证零件的技术要求是非常重要的。

加工路线不仅包括切削加工时的加工路线，还包括刀具到位、对刀、退刀和换刀等一系列过程的刀具运动路线。

确定加工路线是编程工作的重要内容。加工路线一经确定，则程序中各程序段的先后次序也就定下来了。编程时确定加工路线的原则主要有以下几个。

1. 使被加工零件获得良好的加工精度和表面质量

当加工外轮廓时，刀具切入工件时，应避免沿零件外廓的法向切入，应沿外廓曲线延长线的切向切入，以避免在切入处产生刀具的刻痕，保证零件轮廓曲线平滑过渡。同理，在切离工件时，也应避免在工件的轮廓处直接退刀，而要沿零件轮廓延长线的切向逐渐切离工件，如图 7-6 所示。

当加工内轮廓表面时，因内轮廓曲线不允许外延，刀具只能沿轮廓曲线的法向切入和切出，此时刀具的切入和切出点应尽量选在内轮廓曲线两几何元素的交点处。在轮廓加工过程中要避免进给停顿，否则会因切削力的突然变化而在停顿处的轮廓表面上留下刀痕，如图 7-7 所示。

为提高零件尺寸精度和表面粗糙度，当加工余量较大时，可采用多次进给切削的方法。

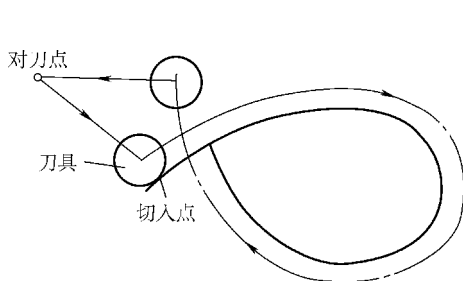


图 7-6 刀具的切入和切出过渡

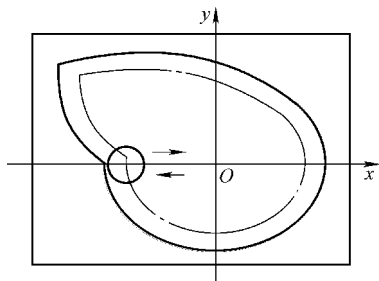


图 7-7 内轮廓加工刀具的切入和切出过渡



2. 使数值计算容易, 减少编程的工作量

如图 7-8a 所示, 按一般规律是先加工均布在同一圆周上的八个孔后, 再加工另一圆周上的孔。但对点位控制的数控机床来说, 这并不是最短的加工路线, 应按图 7-8b 所示的加工路线进行加工, 使各孔间路线的总和最小, 以节省加工时间。

3. 使加工路线最短, 减少程序段数, 节省内存, 减少空走刀时间

(1) 对刀点和换刀点的确定

数控机床中使用的刀具类型很多, 为了更准确地描述刀具运动, 首先引入刀位点的概念。

刀位点对于平头立铣刀来说是刀具的轴线与刀具底平面的交点; 对球头铣刀来说是球头部分的球心; 对车刀或镗刀来说是刀尖; 对钻头来说是钻尖。刀位点是描述刀具运动的基准。

对刀点是指在数控机床上加工零件时, 刀具相对零件运动的起始点。对刀点确定后, 刀具相对程序原点的位置就确定了。对刀点应选择在对刀方便、编程简单的地方。对刀时, 应使刀具刀位点重合。

换刀点是在为数控车床、数控钻镗床、加工中心等多刀加工的机床程序编制时设定的, 以实现加工中途换刀。换刀点的位置应根据工序内容和数控机床的要求而定, 为了防止换刀时刀具碰伤零件或夹具等, 换刀点常常设在被加工零件的外面, 并要远离零件。

对于采用增量编程坐标系统的数控机床, 对刀点可选择在零件孔的中心上、夹具上的专用对刀孔上或两垂直平面(定位基面)的交线(即工件零点)上, 但所选取的对刀点必须与零件定位基准有一定的坐标尺寸关系, 这样才能确定机床坐标系与工件坐标系的关系(图 7-9)。

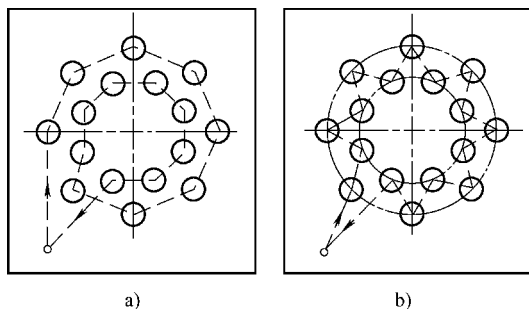


图 7-8 最短加工路线的选择

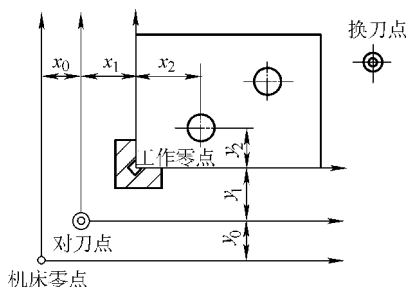


图 7-9 对刀点的设定和换刀点

对于采用绝对编程坐标系统的数控机床, 对刀点可选在机床坐标系的机床零点上或距机床零点有确定坐标尺寸的点上。因为数控装置可在指令控制下自



动返回参考点（即机床零点），无需人工对刀。但在安装零件时，工件坐标系与机床坐标系必须要有确定的尺寸关系。

为了提高零件的加工精度，对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上。对刀点找正的准确度直接影响零件的加工精度。

(2) 点位控制加工路线的确定

点位控制机床一般要求定位精度较高，定位过程尽可能快，而刀具相对零件的运动轨迹则是无关紧要的，因此，这类机床大都采用分级降速的方法接近目标位置，有时还采用单向趋近的方法接近目标位置。加工路线应力求最短，对点阵类零件，应保证各点间的运动路线的总和最短。如图 7-8 所示为例，按一般习惯应先加工一圈均布于圆上的 8 个孔，然后再加工另一圈，对于数控加工来说，它并不是最好的加工路线，按图 7-8b 所示的路线加工，可以节省近一半的空程时间。

对于点位控制的数控机床还要确定刀具加工时的轴向尺寸，也就是轴向加工路线的长度。这个长度由被加工零件的轴向尺寸要求来决定，并要考虑一些辅助尺寸。如图 7-10 所示的钻孔， z_d 为孔深； Δz 为引入间距，一般光面取 2mm，毛面取 5mm； z_p 为钻尖锥长， z_f 为轴向加工路线的长度。

$$z_f = z_d + \Delta z + z_p$$

上式中， z_f 就是程序中 z 向的坐标尺寸，应结合实际情况选择最佳值。在实际编程时， z_p 值既可以作为 z 向坐标的一部分，也可以作为刀具补偿值在刀具调整中预先输入系统。

(3) 轮廓控制加工路线的确定

在数控机床上安排走刀路线时，要安排好刀具切入和切出的加工路线，尽量避免交接处的重复加工，否则将出现明显的界限痕迹。用圆弧插补方式铣削圆弧时，刀具要沿切向切入和切出，且切入、切出段的长度要适当，以免取消刀具补偿时，刀具与零件表面碰撞。

对于加工余量较大或精度较高的薄壁件，可采用多次走刀的方法控制零件的变形误差。最后一次走刀的切除量一般控制在 0.2 ~ 0.5mm。

在数控车床上加工螺纹时，沿螺距方向的 z 向进给和零件（主轴）转角之间必须保持严格的几何关系。 z 向进给从停止状态达到指令进给量（mm/r）总要有个过渡过程，在过渡过程中不能保证几何关系要求。因此安排 z 向走刀路线时，应使车刀刀位点离待加工面（螺纹）有一引入距离 L_1 （ $L_1 = 2 \sim 5\text{mm}$ ，螺距大、精度高时取大值），保证刀具起动后进给量稳定时才开始切削螺纹，如图

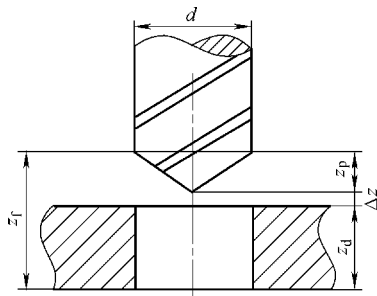


图 7-10 轴向加工路线长度的确定





7-11 所示。

铣削内圆弧时，也要遵守切向切入和切出的原则。最好安排从圆弧过渡到圆弧的加工路线，以提高内圆弧的加工精度和表面质量，如图 7-12 所示。

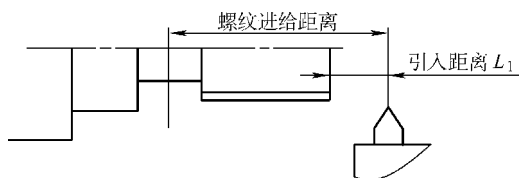


图 7-11 切削螺纹时的引入距离

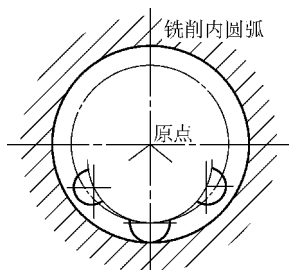


图 7-12 铣削内圆弧

思考与练习题

1. 数控加工有哪些优点？
2. 加工程序段中常用哪几种字，各个字的功能是什么？
3. 数控加工中的工序划分有哪些方法？
4. 数控加工中的点位加工的走刀路线如何确定？
5. 数控加工中的轮廓加工走刀路线如何确定？
6. 绝对坐标和相对坐标有什么区别？
7. 刀补指令有哪几种？
8. 平面轮廓加工的编程步骤有哪些？曲面轮廓加工的编程步骤有哪些？

第 8 章 模具的电火花加工

随着经济的发展,社会需求的增长,结构复杂和具有特殊工艺要求的模具也越来越多。随之而来高熔点、高硬度、高强度、高韧性的新模具材料不断涌现,传统的机械切削加工已不能满足要求。直接利用电能、电化学能、声能等特种加工工艺方法相继得到了快速的发展,如电火花、电解、超声波和化学加工等,到目前,已有了系列化的先进设备,被广泛地应用于模具制造的各个部门。

这种加工与机械加工有本质不同,它不要求工具材料比工件材料更硬,也不需要加工过程中施加明显的机械力,而是直接利用电能、化学能、光能和声能对工件进行加工,以达到一定的形状、尺寸和表面粗糙度要求。

8.1 模具电火花成型加工

电火花加工又称放电加工或电蚀加工,它包括电火花成型加工、电火花线切割加工、电火花内孔、外圆和成型磨削、电火花同步回转加工、电火花表面强化和刻字等工艺方法。在模具制造中常用的有电火花成型加工和电火花线切割加工,目前是模具成型表面重要的加工工艺方法。

电火花成型加工是指在一定介质中,通过工具电极和工件电极之间脉冲放电时的电腐蚀作用,对工件进行加工的一种工艺方法。它可以加工各种高熔点、高硬度、高强度、高纯度、高韧性的材料,并在生产中显示出很多优越性,因此得到了迅速发展和广泛应用。在模具制造中被用于型孔和型腔的加工。

8.1.1 电火花成型加工的设备

1943年由前苏联科学家研制出利用电容器反复充电、放电原理制造世界上第一台实用化的电火花加工装置。近年来,微电子器件、数控技术和计算机应用等技术得到了快速发展,因此,电火花成型加工机床的设备性能也相应有了很大的发展,且设备型号种类繁多。我国早期生产的电火花加工机床分为采用RC、RLC和电子管、闸流管等窄脉冲电源的电火花穿孔加工机床,命名为:D61系列(如D6125、D6135、D6140型等),采用长脉冲发电机电源的电火花成形加工机床,命名为:D55系列(如D5540、D5570型等)。从20世纪80年代开始,晶体管脉冲电源被大量采用,电火花加工机床既可用于穿孔加工,





又可用作成型加工。从1985年起，国家把电火花穿孔成型加工机床统称为电火花成型加工机床，并命名为 D71 系列，其型号表示方法如图 8-1 所示。

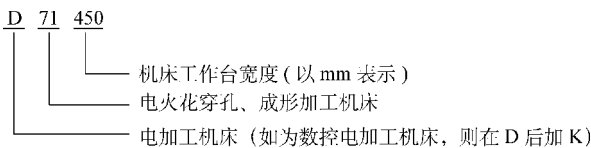


图 8-1 电火花成型加工机床型号表示方法

模具零件采用电火花成型加工，其主要设备是电火花成型加工机床。目前，常用的电火花成型加工机床的规格、型号很多，详见表 8-1 国产电火花成型加工机床的主要技术规格、表 8-2 国外电火花成型加工机床的主要技术规格。

表 8-1 国产电火花成型加工机床的主要技术规格

设备型号	D71350	D71450	D71540	D71650
工作台尺寸/mm	600×350	700×420	800×500	1 000×600
XYZ 行程/mm	350×250×180	450×350×200	500×400×250	650×550×250
电极板至台面最大距离/mm	560	660	800	900
油箱尺寸/mm×mm×mm	1 300×1 000×460	1 250×760×510	1 250×1 150×590	2 000×1 250×500
主轴承重/kg	50	70	120	250
工作台承重/kg	350	600	1 200	3 500
机床重量/kg	1 600	2 200	2 600	3 600

表 8-2 国外电火花成型加工机床的主要技术规格

国别	生产单位	型 号	xyz 行程/mm	工作台尺寸/mm×mm	工作台承重/kg	主轴承重/kg
日本	JAPAX	DX85	600×1 300×450	700×1 000	3 500	500
	SODICK	A4R	350×400×350	450×750	800	100
	三菱	M55	450×350×250	600×800	1 000	200
瑞士	AGIE	EMS3. 30	320×420×400	500×630	800	500
	AGIE	EMS4. 40	500×600×600	750×1 050	3 000	3 000
德国	DECKEL	DE-15C	280×380×300	450×580	700	150
	ELBOMAT	332	300×420×200	400×700	1 000	200

电火花成型加工设备主要由机床主体、脉冲电源、自动进给调节系统、工作液过滤循环系统，以及机床附件等部分组成，如图 8-2 所示。

1. 机床主体

机床主体包括主轴头、床身、立柱、工作台和工作液槽等部分，其中主轴头由进给系统、导向机构、电极夹具及其相应调节装置组成，它是电火花成型



机床的最关键部件。床身和立柱属基础部件，应具有足够的刚性，床身工作面与立柱导轨面之间应有一定的垂直度要求，还应保证机床工作精度能持久不变。工作台一般都可作纵向和横向移动，并带有坐标测量装置。目前常用的定位方法有靠刻度手轮来调整工件位置的，也有采用光学读数装置和磁尺数显装置来调节工件位置的。

2. 脉冲电源

脉冲电源也称为电脉冲发生器，其作用是输出具有足够能量的单向脉冲电流，即产生火花放电来蚀除金属。其性能直接影响加工速度、表面质量、加工稳定性，以及工具电极损耗等各项经济技术指标。因此要求脉冲电源参数（如：电流幅值、脉宽、脉冲间歇等）能在规定范围内可调，以满足粗、中、精、精微加工的需要，同时要求加工过程中稳定性要好、抗干扰能力强、操作方便。

3. 自动进给调节系统

电火花成型加工设备主要是靠自动进给调节系统来确保工件与电极之间在加工过程中始终保持一定的放电间隙，并且能自动补偿放电蚀除金属后间隙增大的部分。因此，要求自动进给调节系统，具有足够的稳定性、较高的灵敏度和快速反应能力。

自动进给调节系统的种类很多，例如：电动液压式、伺服电动机式、步进电动机式、力矩电动机式等，但其基本原理是相同的。

4. 工作液循环过滤系统

工作液循环过滤系统由油箱、电动机、泵、过滤器、工作液槽、油杯、管道、阀门、压力表等组成。其作用是排除电火花加工过程中不断产生的电蚀产物，提高电蚀过程的稳定性和加工速度，减小电极损耗，确保加工精度和表面质量。

过滤工作液的具体方法有自然沉淀法、静电过滤法、离心过滤法和介质过滤法等。其中介质过滤法较为常用，一般采用黄砂、木屑、过滤纸、活性炭等作过滤介质，效果好，速度快，但结构复杂。

5. 机床附件

(1) 平动头

平动头是电火花成型加工中较常用的附件，主要应用于型腔模在半精加工和精加工时精修侧面，提高仿形精度，保证加工稳定性，有利于极间排屑，防止短路和烧弧等。

如图 8-3 所示为单电极使用平动头加工时电极上各点的运动轨迹。电极轮

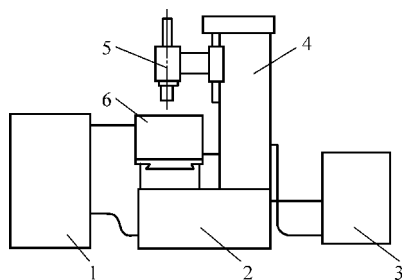


图 8-2 电火花成型加工机床示意图

1—脉冲电源 2—床身 3—工作液循环过滤系统 4—立柱 5—主轴头 6—油箱





廓线上的小圆是电极表面上点的运动轨迹，它的半径为电极作平面圆周运动的回转半径。该方法一次装夹定位便可达到 $\pm 0.05\text{mm}$ 的加工误差。缺点是难以获得高精度的型腔，特别是难以加工出清棱、清角的型腔。此外，电极在粗加工过程中容易引起表面龟裂，影响型腔的表面粗糙度。为了弥补这一缺点，可采用精度较高的重复定位夹具，将粗加工后的电极取下，经均匀修光后再重复定位装夹，用平动头来完成型腔的最终加工。

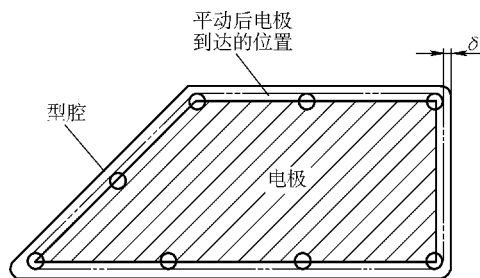


图 8-3 使用平动头加工时电极的运动轨迹

(2) 电极夹具

电极夹具的作用是把工具电极装夹固定在主轴上，并能调节电极的轴线与主轴轴线重合或平行。工具电极的装夹及其调节装置的形式很多，常用的有十字铰链式电极装夹调节装置和球面铰链式电极装夹调节装置。

如图 8-4 所示为十字铰链式电极夹具调节装置。工具电极装夹在标准夹套 1 内，用紧固螺钉 2 固定。电极夹装后，拧动四个调节螺钉 7 时，即可调节电极对工作台面的垂直度，一般与校正百分表配合使用。这种电极夹具调节装置结构简单，调节方便，但轴向尺寸长，刚性差，适合于精度不高的场合。

如图 8-5 所示为球面铰链式电极夹具调节装置。工具电极装夹在弹性夹头中，拧动四个调节螺钉 1 即可调节电极相对工作台面的垂直度，一般也与校正百分表配合使用。这种电极夹具调节装置结构紧凑，轴向尺寸短，结构简单，容易制造，调节方便，但其本身扭转刚性不足，调节力大，会引起电极随主轴扭转。

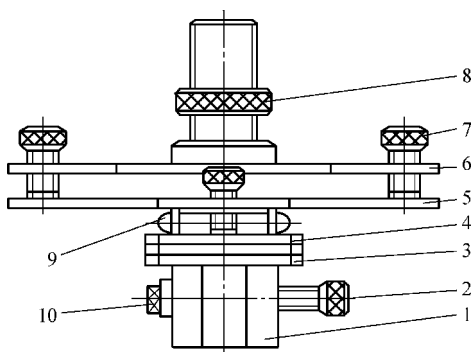


图 8-4 十字铰链式电极夹具调节装置

- 1—电极装夹标准套 2—紧固螺钉 3—绝缘板
4—下底板 5—十字板 6—上板 7—调节螺钉
8—紧固螺钉 9—圆柱销 10—导线固定螺钉

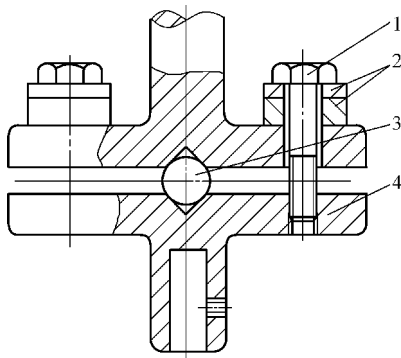


图 8-5 球面铰链式电极夹具调节装置

- 1—调节螺钉 2—球面垫圈 3—钢球
4—电极装夹套



此外,对于直径较小的电极可用标准钻孔夹头装夹,如图8-6所示;直径较大或整体式电极也可采用标准螺纹夹头装夹,如图8-7所示。

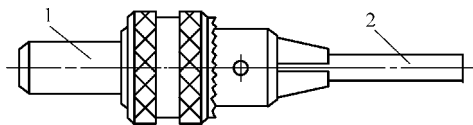


图8-6 标准钻夹头装夹图

1—钻夹头 2—电极

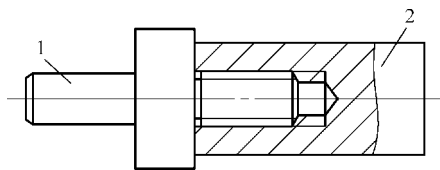


图8-7 标准螺纹夹头装夹图

1—标准螺纹夹头 2—电极

8.1.2 电火花成型加工的基本原理

电火花成型加工的原理是基于工具和工件(正、负电极)之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余的金属的,从而达到对工件的尺寸、形状及表面质量预定的加工要求。电火花成型加工是在液体介质中进行的,机床的自动进给调节装置使工件和工具电极之间保持适当的放电间隙,当工具电极和工件之间施加很强的脉冲电压(达到间隙中介质的击穿电压)时,会击穿介质绝缘强度的最低处,如图8-8所示。由于发生的放电区域很小,放电时间极短,所以能量高度集中,使放电区的温度瞬时高达 $10\,000\sim 12\,000^{\circ}\text{C}$,工件表面和工具电极表面的金属局部熔化,甚至汽化蒸发。局部熔化和汽化的金属在爆炸力的作用下被抛入工作液中,并被冷却为金属小颗粒,然后被工作液迅速冲离工作区,从而使工件表面形成一个微小的凹坑。一次放电后停留足够的脉冲间隔时间等待介质的绝缘强度恢复,准备下一次放电。如此反复使工件表面不断被蚀除,并在工件上复制出工具电极的形状,从而达到成型加工的目的。

电火花成型加工是不断放电蚀除金属的过程。虽然一次脉冲放电的时间很短,但它是电磁学、热力学和流体力学等综合作用的过程,是相当复杂的。综合起来,一次脉冲放电的过程可分为以下几个阶段。

1. 极间介质的电离、击穿及放电通道的形成

当脉冲电压施加于工具电极与工件之间时,两极之间立即形成一个电场。电场强度与电压成正比,与距离成反比,随着极间电压的升高或极间距离的减

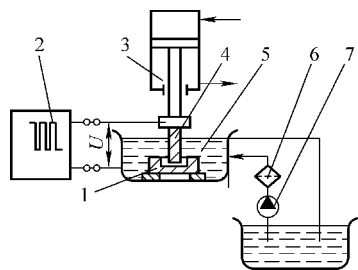


图8-8 电火花成型加工原理图

1—工件 2—脉冲电源 3—自动进给装置 4—工具电极 5—工作液 6—过滤器 7—泵





小,极间电场强度将随之增大。由于工具电极和工件的微观表面是凸凹不平的,极间距离又很小,因而极间电场强度很不均匀,两极间离得最近的突出点或尖端处的电场强度一般为最大。当电场强度增大到一定数量时,介质被击穿,放电间隙电阻从绝缘状态迅速降低到几分之一欧姆,间隙电流迅速上升到最大值。由于通道直径很小,所以通道中的电流密度很高。间隙电压则由击穿电压迅速下降到火花维持电压(一般约为20~30V),电流则由0上升到某一峰值。

2. 介质热分解,电极(工件)材料熔化、汽化热膨胀

极间介质一旦被电离、击穿,形成放电通道后,脉冲电源使通道间的电子高速奔向正极,正离子奔向负极。电能变成动能,动能通过碰撞又转变为热能。于是在通道内正极和负极表面分别形成瞬时热源,达到很高的温度。通道高温将工作液介质汽化,进而热裂分解。这些汽化后的工作液和金属蒸气瞬间体积猛增,在放电间隙内成为气泡,迅速热膨胀并具有爆炸的特性。观察电火花加工过程,可以看到放电间隙间冒出气泡,工作液逐渐变黑,并听到轻微而清脆的爆炸声。电火花加工主要靠热膨胀和局部微爆炸,使熔化、汽化了的电极(工件)材料被抛出蚀除。

3. 电极(工件)材料的抛出

通道和正负极表面放电点的瞬时高温使工作液汽化和金属材料熔化、汽化、热膨胀,产生很高的瞬时压力。通道中心的压力最高,使汽化了的气体不断向外膨胀,压力高处的熔融金属液体和蒸气就被排挤、抛出而进入工作液中。由于表面张力和内聚力的作用,使抛出的材料具有最小的表面积,冷凝时凝聚成细小的圆球颗粒。实际上,金属材料的蚀除问题过程比较复杂,目前,人们对这一复杂机理的认识还在不断深化中。

4. 极间介质的消电离

随着脉冲电压的结束,脉冲电流也迅速降为零,但此后仍应有一段间隔时间,使间隙介质消电离,即放电通道中的带电粒子复合为中性粒子,恢复本次放电通道处间隙介质的绝缘强度,以及降低电极表面温度等,以免下次总是重复在同一处发生击穿而导致电弧放电,从而保证在两极间最近处或电阻率最小处形成下一次击穿放电通道。

应当注意的是:

1) 工具电极与工件被加工表面之间在加工的过程中应始终保持一定的放电间隙,这一间隙依加工条件而定,通常约为几微米至几百微米。如果间隙过大,极间电压不能击穿极间介质,因而不会产生火花放电;如果间隙过小,很容易形成短路接触,同样也不能产生火花放电。为此,在电火花成型加工过程中必须具有工具电极的自动进给和调节装置。

2) 电火花放电为瞬时的脉冲性放电,并在放电延续一段时间后,停歇一段



时间（放电延续时间一般为 $10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ s}$ ）。这样才能使放电所产生的热量来不及传导扩散到其余部分，把每一次的放电点分别局限在很小的范围内；否则，像持续电弧放电那样，使放电点表面大量发热、熔化、烧伤，只能用于焊接或切割，而无法用作尺寸加工，故电火花成型加工必须采用脉冲电源。

3) 电火花放电在有一定绝缘性能的液体介质中进行，该液体介质又称工作液，例如煤油等。工作液必须具有较高的绝缘强度（ $10^3 \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ ），以利于产生脉冲性的火花放电。同时，液体介质还能把电火花加工过程中产生的金属小屑、碳黑等电蚀产物从放电间隙中悬浮排除出去，并且对工具电极和工件表面有较好的冷却作用。

4) 熔化和汽化了的金属在抛离电极表面时向四处飞溅，除绝大部分抛入工作液中并收缩成小颗粒外，还有一小部分飞溅、镀覆、吸附在对面的电极表面上。这种互相飞溅、镀覆以及吸附的现象，在某些条件下可以用来减少或补偿工具电极在加工过程中的损耗。

8.1.3 模具电火花成型加工的特点及应用范围

1. 电火花成型加工的特点

1) 采用电火花成型加工模具零件，由于电火花放电的电流密度很高，产生的高温足以熔化和汽化任何导电材料。因此，可以加工任何硬、脆、软、粘或高熔点金属材料，包括热处理后的钢制零件。这样利用电火花对零件加工成型后，可不受热处理后变形的影响，从而提高了模具的加工精度。电火花加工由于能使硬质合金零件成型，为制造硬质合金冲模、提高冲模的使用寿命及提高冲模的耐用度创造了方便条件。

2) 零件的加工由于不是靠刀具的机械方法去除，加工时无任何机械力作用，也无任何因素限制，因此可以用来加工小孔、窄槽及各种复杂形状的类型孔及型腔，以及利用一般加工方法难以加工的零件，给模具零件加工提供了方便。

3) 电脉冲参数可以任意调节，故在同一台机床上可对零件进行粗、中、精加工及连续加工，从而提高了工作效率。

4) 电火花加工是直接用电能加工，便于实现生产中的自动控制及加工自动化。

5) 采用电火花加工零件，操作方便。加工后的零件精度高，表面粗糙度 R_a 可达到 $1.25 \mu\text{m}$ 。因此，利用电火花加工后的零件，经钳工稍加修整后，即可以装配使用。

2. 电火花成型加工的工艺范围

1) 穿孔加工。加工冷冲模具的凹模、卸料板、固定板等各种型孔。

2) 型腔加工。加工压缩模、注射模、压铸模及锻模的型腔。





3) 强化金属表面。如凸模、凹模刃口表面经电火花强化后,可提高模具的耐用度。

4) 磨削平面及圆柱面。

8.1.4 电极的设计与制造

电火花成型加工的模具尺寸精度主要靠工具电极来保证,电极的设计与制造分穿孔加工电极和型腔加工电极,如图 8-9 所示。

1. 穿孔加工电极设计

电火花穿孔加工用于冲模的凹模加工,是很典型的电火花成型加工方法。凹模采用电火花穿孔加工具有以下优点:尤其对于型孔形状复杂的凹模,可不用镶拼结构,而采用整体结构,简化了模具结构,热处理变形少,这样既可节约模具设计和制造工时,又能提高凹模强度;容易获得均匀的配合间隙和所需的落料斜度,刃口平直耐磨,可以相应地提高冲件质量和模具的使用寿命。缺点:电极的损耗影响加工精度,难以达到小的表面粗糙度,要获得小的棱边和尖角也比较困难。

由如图 8-4 所示得出以下关系式。

$$L_2 = L_1 + 2\delta$$

式中 L_2 ——凹模孔口的尺寸 (mm);

L_1 ——工具电极相应的尺寸 (mm);

δ ——单面电火花放电间隙值 (mm),主要取决于机床精度和电参数。

当选择电规准恰当、加工稳定时, δ 的误差就很小。这样就可以加工出比较精确的凹模尺寸。

(1) 穿孔加工的工艺方法

常用的穿孔加工的工艺方法有:直接加工法、间接加工法、混合加工法。

1) 直接加工法。如图 8-10 所示,用适当加长的钢凸模直接作电极对凹模进行加工,加工后将凸模上作为电极的损耗部分切除,凸、凹模的配合间隙靠控制脉冲放电间隙直接保证。优点:不需另外加工电极,可以获得均匀的配合间隙,模具质量高,钳工工作量少。缺点:电加工性能差,电极加工速度低,在直流分量的作用下易磁化,使电蚀产物被吸附在电极放电间隙的磁场中,导致形成不稳定的二次放电。适用于加工形状复杂的凹模或多型腔凹模。

2) 间接加工法。如图 8-11 所示,把凸模和工具电极分别用机械加工方法

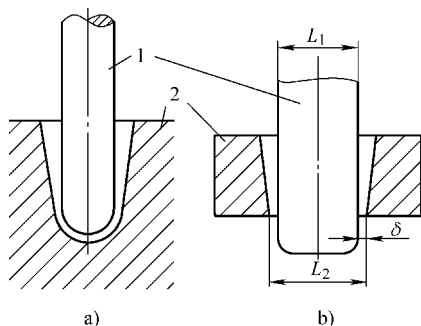


图 8-9 电火花成型加工

a) 型腔加工 b) 穿孔加工

1—电极 2—工件



制出，凸模留一定的修配余量，在电极“打”出凹模后，以凹模为基准件修配凸模，以保证凸、凹模的间隙。优点：可以自由选择电极材料。缺点：放电间隙范围受限制，间隙均匀性差。适于间隙值 $z < 0.01\text{mm}$ 或 $z > 0.1\text{mm}$ 的加工。

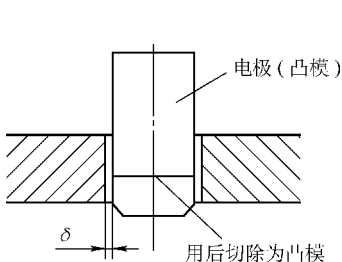


图 8-10 直接加工法

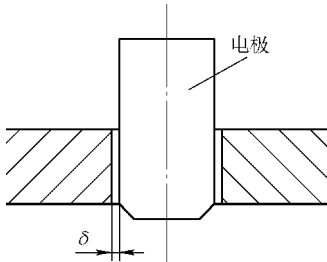


图 8-11 间接加工法

3) 混合加工法。如图 8-12 所示，把不同材料的电极和凸模通过锡焊或黏接起来，然后一起加工成型，最后将电极与凸模分开的方法。优点：可自由选择电极材料，间隙均匀，能达到直接配合法的工艺效果，提高了生产率。缺点：电极粘接困难。适用于凸模不易直接作电极的情况。

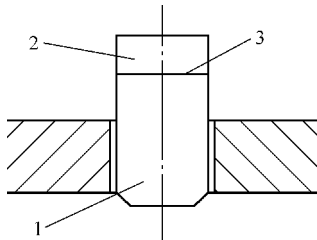


图 8-12 混合加工法
1—电极 2—凸模 3—粘接面

(2) 电极材料和结构形式

电火花成型加工中，电极材料要求具有良好的导电性和机械加工性，电极耗损要小，加工稳定性要好，加工速度要高，以及价格要适宜，来源要广等特点。常用电极材料的种类和性能见表 8-3。

表 8-3 常用电极材料的种类和性能

电 极 材 料	电火花加工性能		机械加工性能	说 明
	加工稳定性	电极损耗		
钢	较差	中等	好	选择电参数时应注意加工的稳定性，可以用凸模作电极
铸铁	一般	中等	好	—
石墨	尚好	较小	尚好	机械强度较差，易崩角
黄铜	好	大	尚好	电极损耗太大
纯铜	好	较小	较差	磨削困难
铜钨合金	好	小	尚好	价格贵，多用于深孔、直壁孔、硬质合金孔
银钨合金	好	小	尚好	价格昂贵，用于精密及有特殊要求的加工





电极的结构形式应根据型孔的大小与复杂程度、电极的结构工艺性等因素综合考虑确定。常用的电极结构形式有：整体式电极、组合式电极、镶拼式电极 3 种。

1) 整体式电极。如图 8-13a 所示，整体式电极是最常用的结构形式，用一块整块材料加工而成。对于体积小、易变形的电极，可在有效长度上部放大截面尺寸以提高刚度；对于体积大的电极，可在其上开一些孔以减轻重量，但孔不能开通，孔口应朝上。电极与主轴连接后，其重心应位于主轴中心线上，以减小机床的变形，否则会产生附加偏心力矩，使电极轴线偏斜，影响模具的加工精度。适合于结构简单的电极。

2) 组合式电极。如图 8-13b 所示，组合式电极是把多个电极组合在一起用于多型孔的凹模，一次穿孔可完成各型孔的加工。采用组合式电极加工，生产率高，各型孔的位置精度也较为准确，各型孔间的位置精度取决于各电极的位置精度。但对电极的定位有较高要求。

3) 镶拼式电极。如图 8-13c 所示，镶拼式电极一般在整体加工有困难时采用，电极不论采用何种结构都应有足够的刚度，以利于提高加工过程的稳定性。

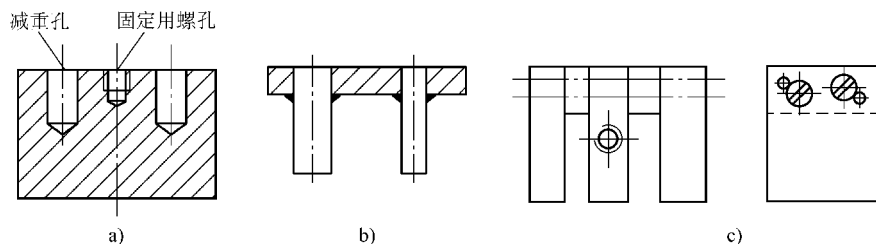


图 8-13 电极的结构形式

a) 整体式电极 b) 组合式电极 c) 镶拼式电极

(3) 电极设计

设计电极前应首先了解电火花加工机床的特性（包括主轴头的承载能力、工作台的尺寸及负荷）与电规准的加工工艺指标（包括加工速度、电极损耗、加工间隙）。然后再根据工件型孔要求，确定电极材料、结构形式、尺寸及技术要求等。

电极设计的技术要求如下。

1) 尺寸精度应不低于 IT7 级，公差一般小于型孔公差的 1/2，并按人体原则标注。

2) 各表面平行度在 100mm 长度上小于 0.01mm。

3) 表面粗糙度 $R_a < 1.25\mu\text{m}$ ，一般取等于型孔表面粗糙度值。

电极尺寸主要包括截面和长度尺寸。



截面尺寸为垂直于电极进给方向的电极横截面尺寸，比所加工的型孔均匀地小一个放电间隙。凸、凹模的尺寸公差往往只标注一个，另一个与之配作，以保证配合间隙。因此，电极截面尺寸的设计可分以下两种情况。

1) 按凹模尺寸和公差设计电极截面尺寸。如图 8-14 所示，因为穿孔加工所获得的凹模型孔和电极截面轮廓相差一个放电间隙，此时的放电间隙通常是指末档精规准加工凹模下口的单面放电间隙 δ 。为了保证刃口表面粗糙度（一般 $R_a = 0.8 \mu\text{m}$ ），最后须用精规准修正出，此时的单面放电间隙为 $0.01 \sim 0.03 \text{mm}$ 。根据凹模尺寸和放电间隙便可算出电极截面上相应的尺寸。

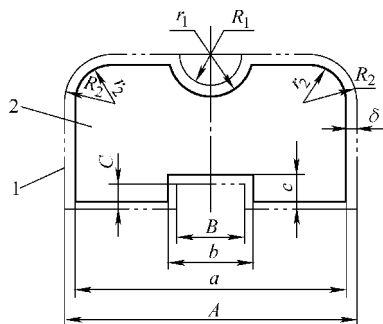


图 8-14 按凹模尺寸和公差设计
电极截面尺寸

1—型孔轮廓 2—电极横截面

对应的关系式为 $a = A - 2\delta$

$$b = B + 2\delta$$

$$c = C$$

$$r_1 = R_1 + \delta$$

$$r_2 = R_2 - \delta$$

式中 A 、 B 、 C 、 R_1 、 R_2 ——型孔基本尺寸 (mm)；

a 、 b 、 c 、 r_1 、 r_2 ——电极横截面基本尺寸 (mm)。

2) 按凸模尺寸和公差确定电极截面尺寸。根据凸、凹模配合间隙的不同有 3 种情况：一是凸、凹模的双面配合间隙等于双面放电间隙 ($z = \delta$) 时，电极与凸模截面尺寸完全相同；二是 $z > 2\delta$ 时，电极截面轮廓为凸模截面轮廓每边外偏 $1/2 (z - 2\delta)$ ；三是 $z < 2\delta$ 时，电极截面轮廓为凸模截面轮廓每边内偏 $1/2 (z - 2\delta)$ 。

电极长度取决于凹模结构形式、加工深度、型孔复杂程度、电极材料、电极使用次数、装夹形式及制造工艺等一系列因素。如图 8-15 所示是电极长度计算的示意图，其计算公式为

$$L = KH + H_1 + H_2 + (0.4 \sim 0.8)(n - 1) KH$$

式中 L ——电极长度；

H ——凹模有效深度（需要电火花加工的深度）；

H_1 ——凹模板底部挖空时电极需加长的部分；

H_2 ——夹持部分长度，一般取 $10 \sim 20 \text{mm}$ ；

n ——电极使用的次数；

K ——与电极材料、加工方式、型孔复杂程度等有关的系数。 K 值选用的经验数据为：纯铜 $2 \sim 2.5$ ；黄铜 $3 \sim 3.5$ ；石墨 $1.7 \sim 2$ ；铸铁 $2.5 \sim 3$ ；





钢3~3.5。电极材料损耗小、型孔简单、轮廓无尖角时, K 取小值, 反之取大值。

加工硬质合金时, 由于电极损耗较大, 电极还应适当加长, 但其总长度一般不超过 120mm。电极太长, 会带来成形加工及投影检验的困难, 难以达到所要求的精度。

如图 8-16 所示为经过改进的在生产中广泛应用的阶梯电极。它是将原有的电极适当增长, 增长部分的截面适当缩小, 呈阶梯形。 L_1 为原长度, L_2 为增加长度, L_2 取决于凹模的加工厚(深)度和电极长度损耗, 一般取 $L_2 = (15 \sim 2)H$ 。阶梯部分单边内缩量一般取 $a = 0.08 \sim 0.15\text{mm}$ 。这种阶梯电极利用增长部分进行粗加工, 精加工余量留很小, 主要是能够充分发挥粗加工生产率高、加工稳定性好、电极损耗小的特点。此外, 还有减少电规准转换次数、简化操作、容易保证模具质量等优点。

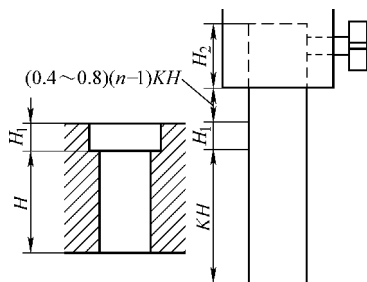


图 8-15 电极长度的计算

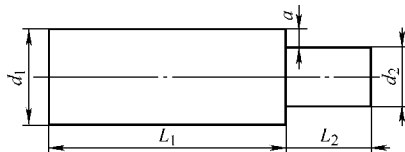


图 8-16 阶梯电极

2. 型腔加工电极设计

模具型腔用电火花成型加工与机械加工相比, 具有加工质量好、粗糙度小、生产周期短等特点。已成为模具型腔半精加工、精加工的一种重要手段。与穿孔加工相比较, 型腔有以下特点: 属于盲孔加工; 型腔复杂, 加工面积大, 金属蚀除量大; 工作液循环困难, 电蚀产物排除条件差; 电极损耗不能用增加电极长度和进给来补偿; 加工过程中要求电规准的调节范围也较大; 电极损耗不均匀, 影响加工精度。

(1) 型腔加工的方法

常用的型腔加工方法有单电极加工法、单电极平动法、多电极加工法、分解电极法等。

1) 单电极加工法。为了提高电火花加工效率, 型腔在电火花成型加工之前采用切削加工方法进行预加工, 在保证加工成形的条件下留适当的电火花加工余量, 一般型腔侧面余量单边留 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$, 底面余量 $0.2 \sim 0.7\text{mm}$ 。如果是多台阶复杂型腔则余量应适当减小。电加工余量应均匀, 否则将使电极损耗



不均匀,影响成型精度。在型腔淬火后用—个电极进行精加工。用于加工形状简单、精度要求不高的型腔。

2) 单电极平动法。是采用机床的平动头,用—个电极完成型腔的粗、中、精加工。加工时先采用低损耗、高生产效率的电规准对型腔进行粗加工,然后启动平动头作平面圆周运动。按照粗、中、精的顺序逐级转换电规准,并相应加大电极的平动量,直至将型腔加工完毕。

3) 多电极加工法。是用多个电极,依次更换加工同—个型腔。每个电极都要对型腔的整个被加工表面进行加工,但电规准各不相同。设计电极时必须根据各电极所用电规准的放电间隙来确定电极尺寸。每更换—个电极进行加工,都必须把被加工表面上由前—个电极加工所产生电蚀痕迹完全去除。尤其适用于加工尖角、窄缝多的型腔。其缺点是需要制造多个电极,并且对电极的制造精度要求很高,更换电极需要保证高的定位精度,—般只用于精密型腔的加工。

4) 分解电极法。是单电极平动法和多电极加工法的综合应用。它是根据型腔的几何形状把电极分成主副电极分别制造。先用主电极加工型腔的主体,后用副电极加工型腔的尖角、窄缝等。有利于提高电加工速度,保证加工质量,但主、副电极的安装精度要求高。

(2) 电极材料和结构形式

石墨重量轻,密度小,加工容易,但力学强度较差,不同质量石墨材料的电火花加工性能也有很大差异,在采用宽脉冲大电流加工时容易起弧烧伤。—般选用颗粒小而均匀、气孔率低、抗弯强度高和电阻率低的石墨材料。纯铜组织致密、韧性强,用来加工形状复杂、轮廓清晰、精度高和表面粗糙度小的型腔,如塑料成型模、压铸模等,但纯铜的切削加工性能差,价格较高,不适宜大中型电极。铜钨合金和银钨合金是较理想的型腔加工电极材料,但价格昂贵,只在特殊情况下采用。铸铁、黄铜、钢等,因其损耗大,加工速度低,均不适宜型腔的加工。

型腔电火花加工所用电极的结构形式,同型孔电极—样,可分为整体式、组合式和镶拼式。

(3) 电极设计

型腔电极尺寸与所加工型腔的大小与加工方式、放电间隙、电极损耗及是否平动等因素有关。当采用单电极平动加工方法时,其电极尺寸的计算方法如下。

1) 电极的水平尺寸。是指与机床主轴轴线相垂直的断面尺寸,如图 8-17 所示。考虑到平动头的偏心量可以调整,其计算公式如下。

$$a = A \pm kb$$

$$b = e + \delta_j - \gamma_j$$





式中 a ——电极水平方向尺寸；

A ——型腔的基本尺寸；

k ——与型腔尺寸标注有关的系数；

b ——电极单边缩量；

e ——平动量，一般取 $0.5 \sim 0.6\text{mm}$ ；

δ_j ——精加工最后一档规准的单边放电间隙。通常指粗糙度 $R_a < 0.8\mu\text{m}$ 时的值，一般为 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ ；

γ_j ——平动精加工时电极侧面单边损耗，一般不超过 0.1mm ，通常忽略不计。

式中“ $\pm$ ”号的选取原则：电极凹入部分的尺寸应放大，取“ $+$ ”号；电极凸出部分的尺寸（对应型腔凹入部分）应缩入，取“ $-$ ”号。

式中 k 的确定原则：当型腔尺寸以两加工表面为尺寸界线标注时，若蚀除方向相反，取 $k=2$ ，如图 8-17 中 A_1 ；若蚀除方向相同，取 $k=0$ ，如图 8-17 中 C 。当型腔尺寸以中心线或非加工面为基准标注时， $k=1$ ，如图 8-17 中 R_1 、 R_2 ；凡与型腔中心线之间的位置尺寸以及角度尺寸相对应的电极尺寸不缩不放时，取 $k=0$ 。

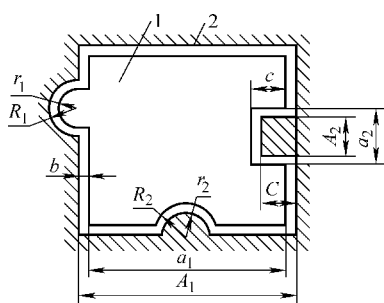


图 8-17 型腔电极水平尺寸缩放图
1—型腔电极 2—型腔

2) 电极的垂直尺寸是指电极与机床主轴轴线相平行的尺寸，如图 8-18 所示。型腔电极在垂直方向的有效工作尺寸 H_1 用下式确定。

$$H_1 = H_3 + C_1 H_3 + C_2 S - \delta_j$$

式中 H_3 ——型腔的垂直尺寸；

C_1 ——粗规准加工时电极端面的相对损耗率，其值一般小于 1% ， $C_1 H_3$ 只适用于未进行预加工的型腔；

C_2 ——中、精规准加工时电极端面的相对损耗率，其值一般为 $20\% \sim 25\%$ ；

S ——中、精规准加工时端面总的进给量，一般为 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ ；

δ_j ——最后一档精规准加工时端面的放电间隙，可忽略不计。

用上式计算型腔的电极垂直尺寸后，还应考虑电极重复使用造成的垂直尺寸损耗，以及加工结束时电极固定板与模具之间应有一定的距离。所以，型腔电极的垂直尺寸还应增加一个高度 H_2 。

型腔电极在垂直方向的总高度为

$$H = H_1 + H_2$$

3) 排气孔和冲油孔。由于型腔加工中一般都是盲孔加工，排气、排屑条件



差,影响加工状态的稳定和表面粗糙度。因此,可在电极上设置适当的排气孔和冲油孔来改善加工条件。一般排气孔设置在蚀除面积较大的位置和电极端部有凹入的位置,如图8-19所示。冲油孔要设置在难于排屑的位置,如拐角、窄缝等处,如图8-20所示。排气孔和冲油孔的直径为平动头偏心量的 $1/2$ (一般为 $1\sim 2\text{mm}$),过大会造成电蚀表面形成柱状凸台而不易清除。为了便于排气和排屑,可将排气孔和冲油孔上端孔径加大到 $5\sim 8\text{mm}$ 。各孔间的距离一般为 $20\sim 40\text{mm}$ 左右,对面积较大的多排孔要相互错开。根据具体情况,对排气孔和冲油孔的设置也可采用部分排气、部分冲油的方法。如果型腔有通孔或型腔下面有工艺孔,也可改为从下面抽油。对排气孔、冲油孔的设置以不产生气体和电蚀物的积存为原则。

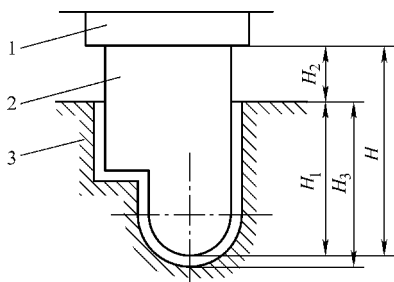


图8-18 型腔电极的垂直尺寸

1—电极固定板 2—型腔电极 3—工件

到 $5\sim 8\text{mm}$ 。各孔间的距离一般为 $20\sim 40\text{mm}$ 左右,对面积较大的多排孔要相互错开。根据具体情况,对排气孔和冲油孔的设置也可采用部分排气、部分冲油的方法。如果型腔有通孔或型腔下面有工艺孔,也可改为从下面抽油。对排气孔、冲油孔的设置以不产生气体和电蚀物的积存为原则。

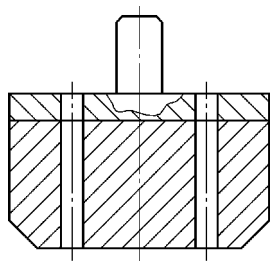


图8-19 电极排气孔的设置

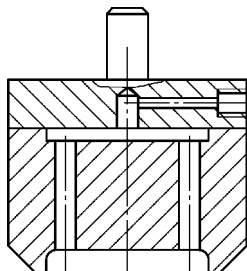


图8-20 电极冲油孔的设置

3. 电极制造

电极制造应根据电极类型、尺寸大小、电极材料和电极结构的复杂程度等进行考虑。穿孔加工用电极的垂直尺寸一般无严格要求,而水平尺寸要求较高,可用切削加工方法粗加工和精加工。对于纯铜、黄铜一类材料制作的电极,其最后加工可用刨削或由钳工精修来完成。也可采用电火花线切割加工来制作电极。

8.1.5 电加工规范的选择

1. 工件的准备

(1) 工件的预加工

为提高生产效率,节约电火花成型粗加工的时间,一般型腔在电火花加工前要用机械加工的方法去除大部分加工余量。留下的加工余量要均匀、合适,





否则会造成电极损耗不均匀,影响成形表面的加工精度和表面粗糙度。但对于形状复杂的成形表面预加工比较困难时,则直接进行电火花加工。

除成形表面预加工外,还应在工件表面画出成形表面的轮廓线和中心线,加工出基准面或画出基准线,以便于电极与工件的定位。

(2) 热处理

热处理工序可根据成型表面的具体要求和工件材料热处理后的变形大小进行安排。在电火花加工后安排淬火热处理,有利于钳工的修磨及抛研,得到较好的淬透性,但热处理变形不易消除。淬火热处理工序安排在预加工后,可以消除热处理变形,但电火花加工将蚀除一部分淬硬层。因此,对一些硬度、耐磨性要求较高,尺寸精度要求不严格的型腔,热处理可安排在电火花加工之后;对于硬度、耐磨性要求一般,而尺寸精度要求高的型腔,热处理安排在预加工后。此外,工件上的螺纹孔、定位销孔也要在热处理前加工出来,并在热处理时予以保护。

(3) 除锈、去磁

在电火花加工前,必须对工件进行除锈、去磁,以免在加工过程中造成工件吸附铁屑,引起拉弧烧伤,影响成形表面的加工质量。

2. 电加工规准的选择

影响加工工艺指标(生产率、表面粗糙度、间隙等)的电参数很多,这些电参数必须很好地配合才能达到预定的加工效果,否则,将使工艺指标降低,甚至使加工无法进行。

电规准可分为粗、中、精3种,其作用类似于切削加工中的粗、半精和精加工。

1) 粗规准主要用来进行粗加工,蚀除较多的金属,并为后续加工留下余量,一般采用一档到两档规准。对粗规准的要求有:生产率高(不低于 $50\text{mm}^3/\text{min}$),尽可能加大输出功率,充分发挥设备的潜力;表面粗糙度 R_a 宜小于 $10\mu\text{m}$,否则会增加精加工时间,从整体上降低生产率;电极损耗不应太大,否则不仅增加加工时间,还会使有尖角的型孔难以加工;放电间隙应尽可能小,其单面间隙不宜超过 0.1mm ,以减少后续精加工电极的蚀除量;加工过程稳定。为此,一般采用较大的电流峰值,较长的脉冲宽度,(型孔加工时 $20\sim 200\mu\text{s}$;型腔加工时 $>500\mu\text{s}$),较低的频率,负极性加工,以获得较大的单个脉冲能量。注意加工电流与加工面积之间的关系,一般用石墨电极加工钢的电流密度为 $3\sim 5\text{A}/\text{mm}$,用纯铜电极加工钢的电流密度可稍大一些。

2) 中规准是介于粗、精加工之间过渡性加工所采用的电规准,其作用是减少精加工余量,提高加工速度,稳定加工,为精加工做准备。要求在保持一定加工速度的条件下,电极损耗尽可能小。一般脉冲宽度采用 $6\sim 20\mu\text{s}$,用比粗加工小的



电流密度进行加工, 被加工表面粗糙度 $R_a = 10 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 。

3) 精规准所去除的余量一般不超过 $0.1 \sim 0.2 \text{mm}$ 。主要用于型腔精加工, 保证模具要求的间隙、表面粗糙度与斜度等质量指标, 达到最终加工要求。要求有: 在满足粗糙度 $R_a = 1.25 \sim 0.32 \mu\text{m}$ 要求的前提下, 有较大的放电间隙范围, 以加工不同配合间隙的模具; 加工凹模后的刃口斜度应满足要求 (在 10° 以内); 在保证表面粗糙度和配合间隙的前提下, 应尽可能提高生产率; 加工过程稳定。为此, 一般采用窄的脉冲宽度 $< 20 \mu\text{s}$ 和小的峰值电流 (一般在 $2 \sim 0.5 \text{A}$ 之间) 进行加工。具有较小的单个脉冲能量。

3. 电加工规准的转换

在实际生产中, 通常需要用几个规准来完成成形表面的加工。从一档规准转到另一档规准称为电规准的转换。电规准的选择与转换是否合理, 直接影响到加工效率和质量, 电规准的选择与转换规律可通过工艺试验和生产实践掌握。

一般电规准转换的档数, 应根据加工对象确定。开始加工时, 应选粗规准参数进行加工, 当型腔轮廓接近加工深度 (大约留 1mm 的余量) 时, 减小电规准, 依次转换成中、精规准各档参数加工, 直至达到所需的尺寸精度和表面粗糙度。

加工尺寸小、形状简单的浅型腔, 电规准转换档数可少些; 加工尺寸大、深度大、形状复杂的型腔, 电规准转换档数应多些。粗规准一般选择一档; 中规准和精规准选择 $2 \sim 4$ 档。型腔的侧面修光, 是靠调节电极的平动量来实现的。当采用单电极平动加工时, 在转换电规准的同时, 应相应调节电极的平动量。

8.1.6 工作介质的选择

电火花加工时, 工具和工件间的放电间隙必须浸泡在有一定绝缘性能的液体介质中, 此液体介质即谓工作介质 (也称工作液)。

在电火花加工过程中工作介质的作用是: 形成火花击穿放电通道, 并在放电结束后迅速恢复间隙的绝缘状态; 对放电通道产生压缩作用; 帮助电蚀产物的抛出和排除; 冷却工具和工件。因而工作液对电蚀量也有较大的影响。介电性能好、密度和黏度大的工作液有利于压缩放电通道, 提高放电的能量密度, 强化电蚀产物的抛出效果, 但黏度太大, 不利于电蚀产物的排出, 影响正常放电。目前电火花成形加工主要采用油类作为工作液。粗加工采用的脉冲能量大, 加工间隙也较大, 爆炸排屑抛出能力强, 常用介电性能好、黏度大的机油; 中、精加工放电间隙比较小, 排屑比较困难, 故一般均选用黏度小、流动性好、渗透性好的煤油。





8.2 模具电火花线切割加工

电火花线切割加工的原理和电火花成形加工的原理一样。不同的是电火花线切割加工采用的是线电极，利用机床工作台带动工件相对电极丝沿 x 、 y 方向的移动，完成平面形状的加工。为获得高的加工精度、小的表面粗糙度和高的生产效率，常采用脉冲宽度窄、电流峰值高的脉冲电源，进行正极性加工。

数控电火花线切割加工通过计算机的控制可以切割带有斜度的凹模型孔，也可以切割具有变截面几何形状的类型芯或型孔。

8.2.1 电火花线切割机床

如图 8-21 所示为电火花线切割机床简图，主要由床身、坐标工作台、运（储）丝机构、工作液循环系统、脉冲电源及数字程序控制系统等组成。

1. 线切割机床的型号

我国机床型号的编制是根据 GB/T 15375—2008《金属切削机床 型号编制方法》的规定进行的，机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，它表示机床的类别、特性和基本参数。

数控电火花线切割机型号 DK7725 的含义如下。

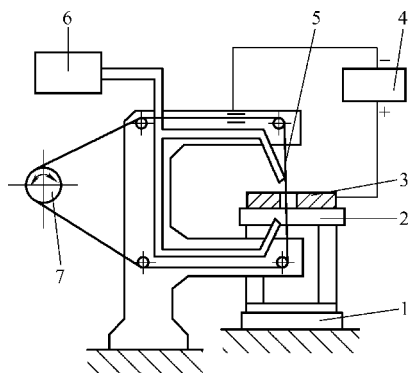
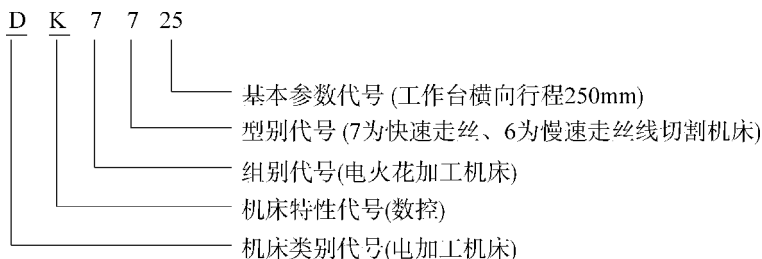


图 8-21 电火花线切割机床简图

- 1—床身 2—坐标工作台 3—工件
4—脉冲电源及数字程序控制系统
5—电极丝 6—工作液循环系统
7—运（储）丝机构



2. 主要技术参数

GB/T 7925—2005 表 8-4 为国家已颁布的《电火花线切割机（往复走丝型）参数》标准；表 8-5 为 DK77 系列数控电火花线切割机床的主要型号及技术参数。

表 8-4 电火花线切割机（往复走丝型）参数表（摘自 GB/T 7925—2005）（单位：mm）

Y 轴行程/mm	100		125		160		200		250		320		400		500		630		800		1 000		1 250	
X 轴行程/mm	125	160	160	200	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1 000	1 000	1 250	1 250	1 600	1 600	2 000
最大工件质量/kg	10		20		40		60		120		200		320		500		1 000		1 500		2 000		2 500	
Z 轴行程/mm	80、100、125、160、200、250、320、400、500、630、800、1 000																							
最大切割厚度 H/mm	50、60、80、100、120、140、160、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600、700、800、900、1 000																							
最大切割锥度/(°)	0°、3°、6°、9°、12°、15°、18°（18°以上按 6°一档间隔增加）																							

注：机床设计中，需要选用大于或小于表中规定的参数值时，应按 GB/T 321—1980 中 R'10 数系（公比为 1.25）向两端延伸。

表 8-5 DK77 系列数控电火花线切割机床的主要型号及技术参数

机 床 型 号	DK7716	DK7720	DK7725	DK7732	DK7740	DK7750	DK7763	DK77120
工作台行程/mm × mm	200 × 160	250 × 200	320 × 250	500 × 320	500 × 400	800 × 500	800 × 630	2000 × 1200
最大切割厚度/mm	100	200	140	300（可调）	400（可调）	300	150	500（可调）
加工精度/mm	0.01	0.012	0.012	0.015	0.02	0.02	0.02	0.025





3. 线切割机床的分类

1) 根据电极丝的运行速度,电火花线切割机床通常分为两大类:一类是高速走丝电火花线切割机床(WEDM—HS),一般走丝速度为 $8 \sim 10\text{m/s}$,俗称快走丝,是我国生产和使用的主要机种,也是我国独创的电火花线切割加工模式;另一类是低速走丝电火花线切割机床(WEDM—LS),一般走丝速度低于 0.2m/s ,俗称慢走丝,这是国外生产和使用的主要机种。

2) 按控制方式可分为:靠模仿形控制、光电跟踪控制、数字程序控制等。

3) 按加工尺寸范围可分为:大、中、小型,以及普通型与专用型等。

8.2.2 电火花线切割加工的原理和特点

1. 电火花线切割加工的原理

如图8-22所示。电火花线切割加工时,电极丝接脉冲电源的负极,工件接正极。每个电脉冲使电极丝和工件之间产生一次火花放电,在放电通道的中心温度瞬时可高于 $10\,000^{\circ}\text{C}$,使工件金属熔化,甚至有少量汽化。高温也使电极丝

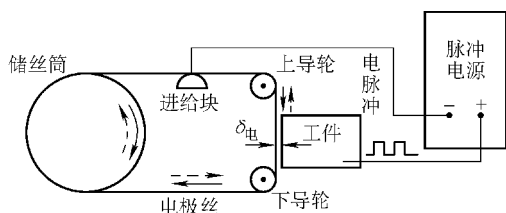


图8-22 电火花线切割加工原理

和工件之间的工作液部分发生汽化,汽化后的工作液和金属蒸气瞬间迅速热膨胀,并具有爆炸的特性。通过这种热膨胀和局部微爆炸抛出熔化和汽化的材料,实现对工件材料的电蚀切割加工。通常认为电极丝与工件之间的放电间隙 δ_e 在 0.01mm 左右,若电脉冲的电压高,放电间隙会稍大一些。

为了获得比较好的表面粗糙度和较高的尺寸精度,应选择好脉冲参数,并使工件和电极丝间的放电是火花放电,而非电弧放电。首要的是使电脉冲之间有足够的间隔时间,以便放电间隙中的介质消电离,使放电通道中的带电粒子复合为中性粒子,恢复放电间隙中介质的绝缘强度。一般脉冲间隔应大于脉冲宽度的4倍。

为保证电极丝不被烧断,须向放电间隙注入大量工作液充分冷却电极,同时,应使电极丝运动,以避免放电总在电极丝的局部位置。高速运动的电极丝有利于不断向放电间隙中带入新的工作液,同时也有利于把电蚀产物从间隙中带出去。

2. 电火花线切割加工的特点

1) 大大降低了成形工具电极的设计和制造费用,缩短了生产准备时间及模具加工周期。

2) 可以加工微细异形孔、窄缝和复杂形状的工件。



- 3) 损耗小, 对加工精度的影响, 可以忽略不计, 加工精度高。
- 4) 生产率高, 材料利用率也高。
- 5) 自动化程度高, 操作使用方便, 易于实现微机控制。
- 6) 可直接采用精加工或半精加工规准一次成形, 一般不需要中途换电规准。
- 7) 一般采用水质工作液, 能够避免发生火灾, 安全可靠。

8.2.3 加工规准的选择

放电痕所造成表面粗糙度、蚀除率、切缝宽度的大小和电极丝的损耗率等加工的工艺指标与脉冲电源的波形有关。在其他工艺条件大体相同的情况下, 脉冲电源的波形及参数对工艺效果的影响是相当大的。目前, 广泛应用的脉冲电源波形是矩形波。

一般情况下, 电火花线切割加工脉冲电源的单个脉冲放电能量较小, 除受工件加工表面粗糙度要求的限制外, 还受电极丝允许承载放电电流的限制。要想获得较好的表面粗糙度, 每次脉冲放电的能量不能太大。表面粗糙度要求不高时, 单个脉冲放电能量可以取大些, 以便得到较高的切割速度。在实际应用中, 脉冲宽度约为 $1 \sim 60\mu\text{s}$, 而脉冲频率约为 $10 \sim 100\text{kHz}$ 。脉冲宽度窄, 频率高, 有利于降低表面粗糙度, 提高切割速度。

1. 短路峰值电流的选择

当其他工艺条件不变时, 短路峰值电流大, 加工电流峰值就大, 单个脉冲能量也大, 所以放电痕大, 切割速度高, 表面粗糙度差, 电极丝损耗变大, 加工精度降低。

2. 脉冲宽度的选择

在一定工艺条件下, 增加脉冲宽度, 单个脉冲放电能量也增大, 则放电痕增大, 切割速度提高, 但表面粗糙度变差, 电极丝损耗变大。通常, 电火花线切割加工用于精加工和半精加工时, 单个脉冲放电能量应限制在一定范围内。当短路峰值电流选定后, 脉冲宽度要根据具体的加工要求来选定。精加工时脉冲宽度可在 $20\mu\text{s}$ 以下选择; 中加工时可在 $20 \sim 60\mu\text{s}$ 内选择。

3. 脉冲间隔的选择

一般脉冲间隔在 $10 \sim 250\mu\text{s}$ 范围内, 基本上能适应各种加工条件, 可进行稳定加工。

在单个脉冲放电能量确定的情况下, 脉冲间隔减小, 频率提高, 单位时间内放电次数增多, 平均加工电流增大, 故切割速度提高。脉冲间隔在一定的工艺条件下对切割速度影响较大, 对表面粗糙度影响较小。实际上, 脉冲间隔太小, 放电产物来不及排除, 放电间隙来不及充分消电离, 这将使加工变得不稳





定,易烧伤工件或断丝;脉冲间隔太大,会使切割速度明显降低,严重时不能连续进给,加工变得不稳定。

选择脉冲间隔和脉冲宽度与工件厚度有很大关系,工件厚,脉冲间隔要大,以保持加工的稳定性的。

4. 开路电压的选择

在一定的工艺条件下,随着开路电压峰值的提高,加工电流增大,切割速度提高,表面粗糙度值增大。因电压高使加工间隙变大,所以加工精度略有降低。但间隙大有利于电蚀产物的排除和消电离,可提高加工稳定性和脉冲利用率。

总之,在工艺条件大体相同的情况下,利用矩形波脉冲电源进行加工时,电参数对工艺指标的影响有如下规律。

- 1) 切割速度随着加工电流峰值、脉冲宽度、脉冲频率和开路电压的增大而提高,即切割速度随着加工平均电流的增加而提高。
- 2) 加工表面粗糙度值随着加工电流峰值、脉冲宽度及开路电压的减小而减小。
- 3) 加工间隙随着开路电压的提高而增大。
- 4) 表面粗糙度的改善有利于提高加工精度。
- 5) 在电流峰值一定的情况下,开路电压的增大有利于提高加工稳定性和脉冲利用率。

实践证明,改变矩形波脉冲电源的一项或几项电参数,对工艺指标的影响很大,须根据具体的加工对象和要求,全面考虑诸因素及其相互影响关系。选取合适的电参数,既要满足主要加工要求,又要注意提高各项加工指标。例如,加工精小模具或零件时,为满足尺寸精度高、表面粗糙度好的要求,选取较小的加工电流的峰值和较窄的脉冲宽度,这必然带来加工速度的降低。又如,加工中、大型模具和零件时,对尺寸精度和表面粗糙度要求低一些,故可选用加工电流峰值大、脉冲宽度宽些的电参数值,尽量获得较高的切割速度。此外,不管加工对象和要求如何,还须选择适当的脉冲间隔,以保证加工稳定进行,提高脉冲利用率。

8.2.4 工作介质的选择

工作介质对加工工艺指标的影响很大。快走丝电火花线切割机床使用的工作液是专用的乳化液,乳化液有多种,有的适于精加工,有的适于大厚度切割,也有的是在原来工作液中添加某些化学成分来提高其切割速度或增加防锈能力等。慢速走丝方式多采用油类(如煤油)。它们对工艺指标的影响各不相同,特别是对加工速度的影响较大,选择时应根据具体情况而定。但无论哪种工作介



质都应具有下列性能。

1) 良好绝缘性。火花放电必须在具有一定绝缘性能的液体介质中进行。普通自来水其电阻率仅为 $10^3 \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ ，绝缘性能较差，易产生电解作用而不能进行火花放电。但加入矿物油、皂化钾等制成乳化液，电阻率约为 $10^4 \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ，适合于电火花线切割加工；煤油的绝缘性能较高，其电阻率大于 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ ，同样电压下较难击穿放电，放电间隙偏小，生产率低，只在特殊精加工时才采用。

2) 较好的洗涤性能是指液体有较小的表面张力，对工件有较大的亲和附着能力，能渗透进入窄缝中，且有一定去除油污能力的性能。洗涤性能好，加工时排屑效果好，加工速度快，表面光亮清洁，缝中没有污垢。洗涤性能不好则相反，有时加工下来的料芯被污垢黏住，不易取下来，加工表面也不易清洗干净。

3) 好的冷却性能。在放电过程中，放电点局部、瞬时温度极高（大电流加工时更加突出）。为防止电极丝烧断和工件表面局部退火，必须充分冷却，要求工作介质具有较好的吸热、传热和散热性能。

4) 对环境和人体无污染与危害。在加工中工作介质不应产生有害气体，不应操作人员的皮肤、呼吸道产生刺激等，不应锈蚀工件、夹具和机床，不应污染环境。

工作介质应配制方便，使用寿命长、乳化充分，冲制后油水不分离，长时间储存也不应有沉淀或变质现象。

并不是越纯净的工作介质加工效果越好，因为纯净的工作介质不易形成放电通道。经过一段放电加工后，脏污程度还不大的工作介质中存在一些悬浮的放电产物，这时容易形成放电通道，有较好的加工效果。但工作介质太脏时，悬浮的加工屑太多，使间隙消电离变差，且容易发生二次放电，对放电加工不利，这时应及时更换工作介质。

8.2.5 工件的装夹与变形预防

电火花线切割加工机床的夹具比较简单，一般是在工作台上采用压板螺钉固定工件。为了适应各种形状工件加工的需要，还可使用磁性夹具、旋转夹具或分度夹具等。工件装夹的形式对加工精度有直接影响。

电火花线切割加工工件产生变形的形式有：切缝闭合变形、切缝张开变形、未淬火工件张口变形、淬火工件切割后开口变小、尖角处开裂、凹模中间部位宽度变小等。所以，加工时应注意以下问题。

1) 当从坯料外直接切入切割凸模时，因材料应力不平衡产生变形（如张口或闭口变形），以致影响工件的加工精度。所以在切割凸模时，应在坯料上钻出切割凸模起点的穿丝孔。当不便于在凸模外钻起点穿丝孔时，改变切割路线及夹压位置，也可减小或避免变形对切割工件尺寸精度的影响。若把切割路线中





所对应的夹压工件的位置设为最后一条程序,则在切割过程中产生的变形对凸模尺寸精度的影响可降低很多。

2) 对于面积较大的凹模,加工时需要切去较多的实体部分,即:切去了框内较大的体积,这样会使应力变化很大,容易产生变形甚至开裂。对于这种凹模,应在淬火前将中部镂空,给线切割留2~3mm的余量,可有效地减小切割时产生的应力。

3) 对整体淬火后线切割加工时易变形、开裂工件,热处理时在确保硬度的情况下,应尽可能使用较低的淬火温度和较缓慢的加热和冷却速度,以减小应力。线切割加工后可再进行180~200℃,4h的回火,以达到减小应力和稳定金相组织的目的。

4) 凹模的尖角处易产生应力集中,导致切割中开裂。因此,应在尖角处增设适当大小的工艺圆角,以缓和应力集中。这一点对大型凹模的加工尤为重要。

5) 有的工件在采取某些措施后仍有一些变形。为了满足工件的精度要求,可改变一次切割到尺寸的传统习惯,改为粗、精二次切割,使粗切后的变形量在精切时被修正,粗切后为精切留的余量约0.5mm左右。这种办法多用于形状复杂、易于产生变形的模具,或要求精度高、配合间隙小的模具。

思考与练习题

1. 简述电火花成型加工的基本原理。
2. 比较电火花加工与电弧放电的异同。
3. 型腔、型孔电极尺寸是由哪些因素决定的?
4. 电火花成型加工时如何合理选择电规准?
5. 电火花成型加工时如何合理选择电极材料?
6. 电火花成型加工时如何合理选择工作介质?
7. 简述电火花线切割加工的基本原理。
8. 影响线切割加工工艺指标的主要因素有哪些?

第9章 模具的其他制造技术

9.1 快速成型制造技术

快速成型制造技术（Rapid Prototyping, RP）也称为快速原型制造技术（Rapid Prototyping & Manufacturing, RP&M），是一种用材料逐层或逐点堆积出制件的制造方法。是借助计算机、激光、精密传动和数控等现代手段，将计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）集成于一体，根据计算机上构造的三维模型，能在很短时间内直接制造产品样品而无需传统的机械加工机床和模具的先进制造技术。是由 CAD 模型直接驱动的快速制造复杂形状三维物理实体的技术的总称。

随着经济的快速发展，全球市场一体化的形成，制造业的竞争十分激烈，产品的开发速度日益成为竞争的主要矛盾。在这种情况下，自主快速产品开发（快速设计和快速工模具）的能力（周期和成本）成为制造业全球竞争的实力基础，快速响应市场需求已成为制造业发展的重要走向。制造业在满足日益变化用户需求的同时，又要求制造技术有较强的灵活性，灵活性制造技术由于其在产品开发和单件小批量产品制作中显著的经济效益和时间效益，能够以小批量甚至单件生产而不增加产品的成本而受到广泛关注。因此，产品开发的速度和制造技术的柔性就变得十分关键。从技术发展角度看，计算机科学、CAD 技术、材料科学、激光技术的发展和普及为新的制造技术的产生奠定了基础。快速成型技术就是在这种社会背景下产生的。

该项技术诞生于 20 世纪 80 年代后期，被认为是近 20 年来制造领域的一个重大成果。它使设计师以直观方式体会设计的感受，感性而迅速地验证和检查所设计产品的结构和外形，可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件，从而可以对产品设计进行快速评估、修改及功能试验，使设计工作进入了一种全新的境界，改善了设计过程中的人机交流，缩短了产品开发的周期，加快了产品更新换代的速度，降低了企业投资新产品的风险。

9.1.1 快速成型技术的基本原理

1. 快速成型制造技术的基本原理

快速成型制造技术的基本原理是基于离散/堆积的增长方式分层成形原型或





制品过程。可以理解为离散和堆积两个步骤。离散过程是数字化过程,先进行模型设计,再对模型数据进行处理,按高度方向离散化,即用一系列平行于 $x-y$ 坐标面的平面截取经过 STL^①转换后的三维实体模型,获取各层的几何信息,用各层的层面几何信息来控制成形设备。堆积过程是实体化过程,即把二维实体逐层累积为三维实体。通过离散获得堆积的顺序、限制和方式,只有获得准确的层面几何数据,才能完成整个堆积工作。

快速成型加工的基本原理(图 9-1)是用 CAD 三维造型软件设计产品的三维曲面模型,或用实体反求方法采集得到有关原型或零件的几何形状、结构和材料的组合信息,从而获得目标原型的概念,并以此建立数字化模型,即零件的电子模型,根据具体工艺要求,将其按一定厚度分层切片,根据切片处理得到的截面轮廓信息,通过计算机控制激光束固化一层层的液态光敏树脂(或切割纸,或烧结粉末材料),或利用某种热源有选择性地喷射粘接剂或热熔材料,形成各个不同截面,每层截面轮廓成形之后,快速成型系统将下一层材料送至已成型的轮廓面上,然后进行新一层截面轮廓的成形,逐步叠加成三维产品,再经过必要的处理,使其在外观、强度和性能等方面达到设计要求。

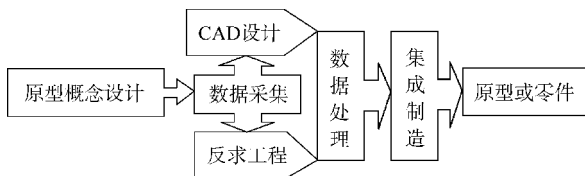


图 9-1 快速成型加工的基本原理

快速成型制造技术从广义上讲可以分成两类:材料累积和材料去除。但是,目前人们谈及的快速原型制造方法通常指的是累积式的成形方法。

快速成型技术不同于传统的在型腔内成型毛坯经切削加工后获得零件的方法,而是在计算机控制下,基于离散/堆积原理采用不同方法堆积材料最终完成零件的成型与制造的技术。从成形角度看,零件可视为“点”或“面”的叠加。从 CAD 电子模型中离散得到点、面的几何信息,再与成形工艺参数信息结合,控制材料有规律、精确地由点到面,由面到体地堆积零件。从制造角度看,它根据 CAD 造形生成零件三维几何信息,控制多维系统,通过激光束或其他方法将材料逐层堆积而形成原型或零件。

2. 快速成型加工的基本过程

快速成型的全过程可归纳为以下三个步骤,如图 9-2 所示。

① 由美国 3D 系统公司开发的 CAD 模型的 STL 格式被公认为目前的标准。它是用一系列的空间小平面(三角形面)来代表物体的表面。每个三角形都用一个法向(指向零件的内部或外部)和三个顶点来描述。这些三角形的顶点以及它们的法向数据汇聚在一起就形成了描述三维实体的 STL 格式。

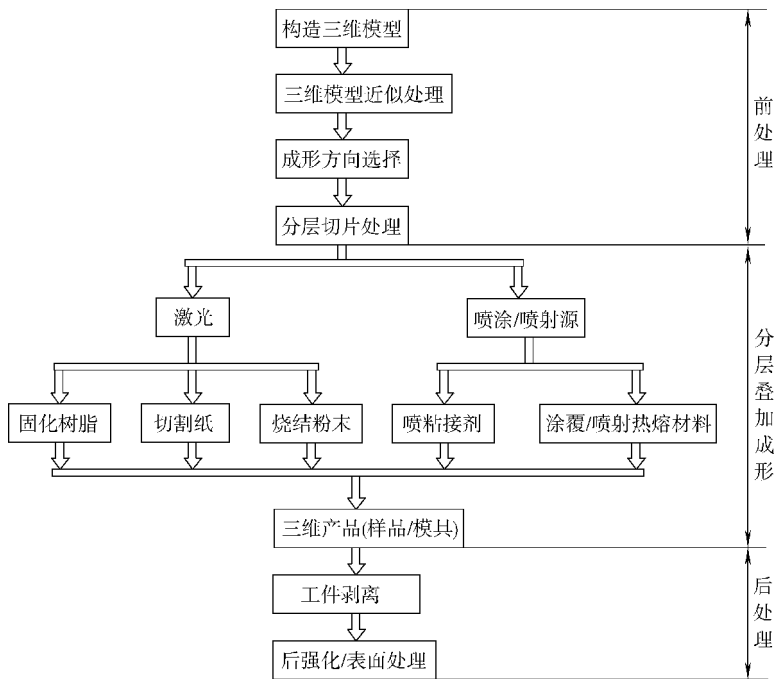


图 9-2 快速成型的全过程

1) 前处理。它包括工件三维模型的构造、三维模型的近似处理、快速成型方向的选择和三维模型的切片处理。

2) 分层叠加成型。它是快速成型的核心，包括模型截面轮廓的制作与截面轮廓的叠合。

3) 后处理。它包括原形零件的剥离、后固化、修补、打磨、抛光和表面强化处理等。

9.1.2 快速成型工艺方法的分类

1. 快速成型工艺方法的分类

快速成型工艺方法通常是依据原形使用的材料及其构建技术而进行分类的，如图 9-3 所示。

2. 主要的快速成型技术工艺方法

到目前为止，国内外已较为成熟的快速成型制造技术的具体工艺有很多种，按照采用材料及对材料处理方式的不同，可归纳为以下六大类方法。

(1) 立体印刷

立体印刷又称立体光刻、光造形、SLA 法，其原理如图 9-4 所示。液槽中盛满液态光固化树脂，它在一定剂量的紫外激光照射下就会在一定区域内固化。



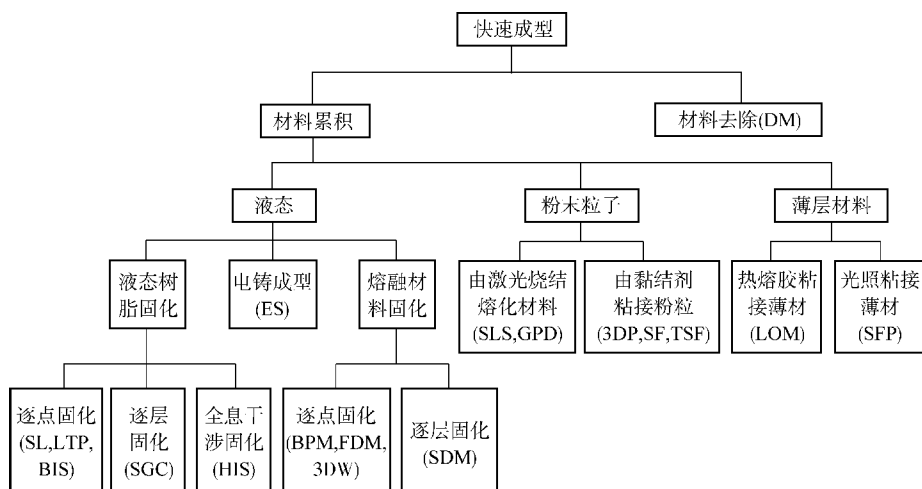


图 9-3 快速成型工艺方法的分类

成形开始时，工作平台在液面下，聚焦后的激光光点在液面上按计算机的指令逐点扫描，在同一层内则逐点固化。当一层扫描完成后被照射的地方就固化，未被照射的地方仍然是液态树脂。然后升降架带动平台再下降一层高度，上面又布满一层树脂，以便进行第二层扫描，新固化的一层牢固地粘在前一层上，如此重复直到三维零件制作完成。立体印刷目前已可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 左右的制作精度，较广泛地用来为产品和模型的 CAD 设计提供样件和试验模型。

SLA 方法是最早出现的一种 RP 工艺，目前是 RP&M 技术领域研究中最多、技术最为成熟的方法。

但这种方法有其自身的局限性，如需要支撑、树脂收缩导致精度下降、光固化树脂有一定的毒性而不符合绿色制造发展趋势等。

(2) 分层实体制造

分层实体制造又称 LOM 法，是根据零件分层几何信息切割箔材和纸等，将所获得的层片粘接成三维实体，其原理如图 9-5 所示。首先铺上一层箔材，然后用 CO_2 激光在计算机控制下切出本层轮廓，非零件部分全部切碎以便于去除。当本层完成后，再铺上一层箔材，用滚子碾压并加热，以固化黏结剂，使新铺上的一层牢固地粘接在已成形体上，再切割该层的轮廓，如此反复直到加工完毕。最后去除切碎部分以得到完整的零件。LOM 的关键技术是控制激光的光强

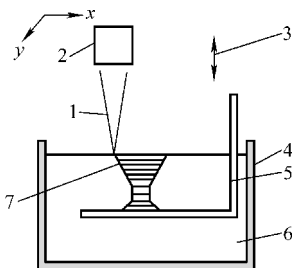


图 9-4 SLA 法原理

- 1—激光束 2—扫描镜
3—z 轴升降 4—树脂槽
5—托盘 6—光敏树脂
7—零件原形



和切割速度，使它们达到最佳配合，以便保证良好的切口质量和切割深度。

纸片层压式快速成型制造工艺就是以纸作为制造模具的原材料，它是连续地将背面涂有热溶性黏结剂的纸片逐层叠加，裁切后形成所需的立体模型，具有成本低、造形速度快的特点，适宜办公室环境使用。LOM 模具具有与木模同等水平的强度，可与木模一样进行钻削等机械加工，也可以进行刮腻子等修饰加工。

(3) 选择性激光烧结

选择性激光烧结又称 SLS 法，采用 CO_2 激光器，使用的材料为多种粉末材料，其原理如图 9-6 所示。先在工作台上铺上一层粉末，用激光束在计算机控制下有选择地进行烧结（零件的空心部分不烧结，仍为粉末材料），被烧结部分便固化在一起构成零件的实心部分。一层完成后再进行下一层，新一层与其上一层被牢牢地烧结在一起。全部烧结完成后，去除多余的粉末，便得到烧结成的零件。常采用的材料为尼龙、塑料、陶瓷和金属粉末。SLS 制作精度目前可达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 左右。该方法的优点是由于粉末具有自支撑作用，不需要另外支撑，另外材料广泛，不仅能生产塑料材料，还可以直接生产金属和陶瓷零件。

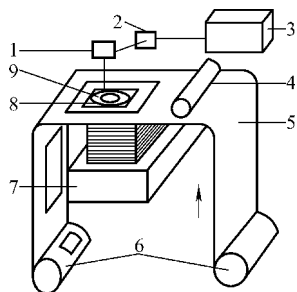


图 9-5 LOM 法原理

- 1—Py 扫描系统 2—光路系统
3—激光器 4—加热器 5—纸料
6—滚筒 7—工作平台 8—边角料
9—零件原形

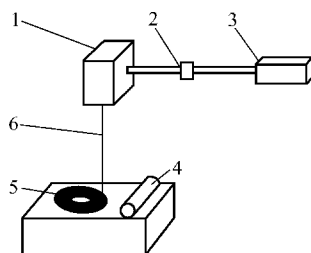


图 9-6 SLS 法原理

- 1—扫描镜 2—透镜 3—激光器
4—压平辊子 5—零件原形 6—激光束

(4) 熔融沉积成形

熔融沉积成形又称 FDM 法，是一种不使用激光器的加工方法，其原理如图 9-7 所示，技术关键在于喷头，喷头在计算机控制下作 $x-y$ 联动扫描以及 z 向运动，丝材在喷头中被加热并略高于其熔点。喷头在扫描运动中喷出熔融的材料，快速冷却形成一个加工层并与上一层牢牢连接在一起。这样层层扫描叠加便形成一个空间实体。FDM 工艺的关键是保护半流动成形材料刚好在凝固温度点，通常控制在比凝固温度高 1°C 左右。FDM 技术的最大优点是速度快，此外，整个 FDM 成型过程是在 $60 \sim 300^\circ\text{C}$ 下进行的，并且没有粉尘，也无有毒化学气





体、激光或液态聚合物的泄漏，适宜办公室环境使用。

FDM 制作生成的原形适合工业上各种各样的应用，如概念成形、原形开发、精铸蜡模和喷镀制模等。

(5) 三维打印

三维打印又称粉末材料选择性粘接、3D—P 法，其原理如图 9-8 所示。喷头在计算机的控制下，按照截面轮廓的信息，在铺好的一层粉末材料上，有选择性地喷射黏结剂，使部分粉末粘接，形成截面层。一层完成后，工作台下降一个层厚，铺粉，喷黏结剂，再进行后一层的粘接，如此循环形成三维产品。粘接得到的制件要置于加热炉中作进一步的固化或烧结，以提高粘接强度。

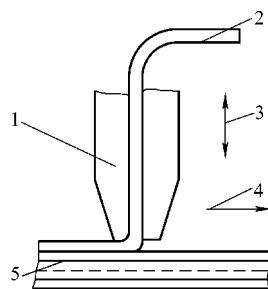


图 9-7 FDM 法原理

1—加热装置 2—丝材 3—z 向送丝
4—x—y 驱动 5—零件原形

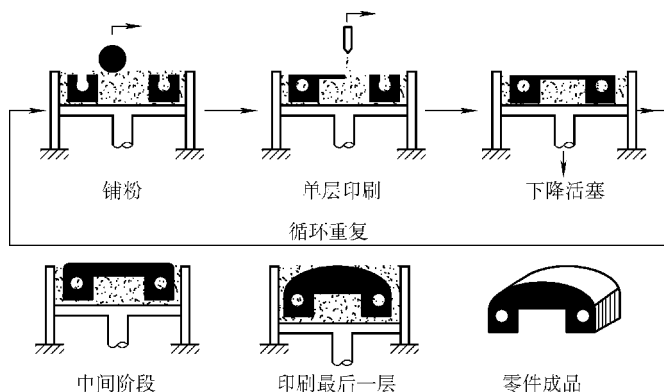


图 9-8 3D—P 法原理

(6) 固基光敏液相法

固基光敏液相法又称 SGC 法，其工艺原理如图 9-9 所示。一层的成形过程由五步来完成：添料；掩膜紫外光曝光；清除未固化的多余液体料；向空隙处填充蜡料；磨平。掩膜的制造采用了离子成像技术，因此同一底片可以重复使用。由于过程复杂，SGC 成形机是所有成形机中最庞大的一种。

SGC 工艺每层的曝光时间和原料量是恒定的，因此应尽量排满零件。由于多余的原料不能重复使用，若一次只加工一个零件会很浪费。由于蜡的添加，可省去设计支撑结构。逐层曝光比逐点曝光要快得多，但由于多步骤的影响，在加工速度上提高不很明显，只有在加工大零件时才能体现出优越性。

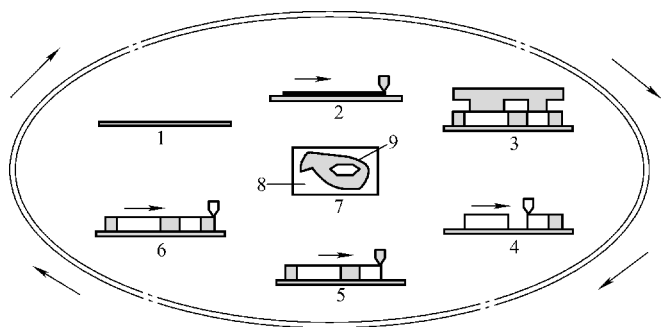


图 9-9 SGC 法原理

1—加工面 2—均匀施加光敏液材料 3—掩膜紫外光曝光
4—清除未固化原料 5—填蜡 6—磨平 7—成形件 8—蜡 9—零件

9.1.3 快速成型技术的应用特点

1. 快速成型技术的特点

1) 高度柔性。快速成型技术的最突出特点就是柔性好，它取消了专用工具，在计算机管理和控制下可以制造出任意复杂形状的零件，把可重编程、重组、连续改变的生产装备用信息方式集成到一个制造系统中。

2) 技术的高度集成。快速成型技术是计算机技术、数控技术、激光技术与材料技术的综合集成。在成形概念上，它以离散/堆积为指导，在控制上以计算机和数控为基础，以最大的柔性为目标。因此只有在计算机技术、数控技术高度发展的今天，才有可能诞生快速成型技术。

3) 设计制造一体化。快速成型技术的另一个显著特点就是 CAD/CAM 一体化。在传统的 CAD、CAM 技术中，由于成形思想的局限性，致使设计制造一体化很难实现。而对于快速成型技术来说，由于采用了离散堆积分层制造工艺，能够很好地将 CAD、CAM 结合起来。

4) 快速性。快速成型技术的一个重要特点就是其快速性。由于激光快速成型是建立在高度技术集成的基础之上，从 CAD 设计到原形的加工完成只需几小时至几十小时，比传统的成型方法速度要快得多，这一特点尤其适合于新产品的开发与管理。

5) 自由成形制造。快速成型技术的这一特点是基于自由成形制造的思想。自由的含义有两个方面：一是指根据零件的形状，不受任何专用工具（或模腔）的限制而自由成形；二是指不受零件任何复杂程度的限制。由于传统加工技术的复杂性和局限性，要达到零件的直接制造仍有很大距离。RP 技术大大简化了工艺规程、工装准备、装配等过程，很容易实现由产品模型驱动直接制造或称





自由制造。

6) 材料的广泛性。由于各种 RP 工艺的成形方式不同,因而材料的使用也各不相同,如金属、纸、塑料、光敏树脂、蜡、陶瓷,甚至纤维等材料在快速成形领域已有很好的应用。

2. 快速成型技术的应用特点

1) 设计者受益。采用快速原型技术之后,设计者在设计的最初阶段就能拿到实在的产品样品,在单个零件和装配部件的级别上,对产品设计进行校验和优化,并可在不同阶段快速地修改、重做样品,甚至作出试制用工模具及少量的产品。这将给设计者创造一个优良的设计环境,提供一个快捷、有力的物理模拟手段,无需多次反复思考、修改,即可尽快得到优化结果,从而能显著地缩短设计周期和降低成本。

2) 制造者受益。制造者在产品设计的最初阶段也能拿到实在的产品样品,甚至试制用的工模具及少量产品,这使得他们能及早地对产品设计提出意见,做好原材料、标准件、外协加工件、加工工艺和批量生产用工模具等的准备工作,最大限度地减少失误和返工,大大节省工时、降低成本和提高产品质量。

3) 推销者受益。推销者在产品设计的最初阶段也能拿到实在的产品样品甚至少量产品,这使得他们能据此及早、实在地向用户宣传和征求意见,以及进行比较准确的市场需求预测,而不是仅凭抽象的产品描述或图样、样本来推销。所以,快速成型技术的应用可以显著地降低新产品的销售风险和成本,大大缩短其投放市场的时间和提高竞争能力。

4) 用户受益。用户在产品设计的最初阶段,也能见到产品样品甚至少量产品,这使得用户能及早、深刻地认识产品,进行必要的测试,并及时提出意见,从而可以在尽可能短的时间内,以最合理的价格得到性能最符合要求的产品。

9.1.4 快速成型技术在模具中的应用

基于快速成型技术的快速模具制造方法一般分为直接法和间接法两大类。直接制模法是直接采用 RP 技术制作模具,在 RP 技术诸方法中能够直接制作金属模具的是选择性激光烧结法。用这种方法制造的钢铜合金注射模,寿命可达 5 万件以上。但此法在烧结过程中材料发生较大收缩且不易控制,故难以快速得到高精度的模具。由于快速成型技术受所使用材料的限制,并不能够完全替代最终的产品,在新产品功能检验、投放市场试运行以获得用户使用后的反馈信息,以及小批量生产等方面,仍需要由实际材料制造的产品,因此,基于快速成型技术的快速制造模具的方法多为间接制模法。即利用快速成型技术作母模来翻制模具并生产实际材料的产品。间接制模法是指利用 RP 原形间接地翻制模具。依据材质不同,间接制模法生产出来的模具一般分为软质模具 (Soft



Tooling)和硬质模具 (Hard Tooling) 两大类。

软质模具因其所使用的软质材料 (如硅橡胶、环氧树脂等) 有别于传统的钢质材料而得名, 由于其制造成本低和制作周期短, 因而在新产品开发过程中作为产品功能检测和投入市场试运行, 以及国防、航空等领域单件、小批量产品的生产方面受到高度重视, 尤其适合于批量小、品种多、改型快的现代制造模式。目前, 软质模具制造方法主要有硅橡胶浇注法、金属喷涂法、树脂浇注法等。

软质模具生产制品的数量一般为 50 ~ 5 000 件, 对于上万件乃至几十万件的产品, 仍然需要传统的钢质模具。硬质模具指的就是钢质模具, 利用快速成型技术制作钢质模具的主要方法有熔模铸造法、电火花加工法、陶瓷型精密铸造法等。

利用快速成型技术制作模具具有周期短、成本低等优点, 与传统机加工法制作模具的比较见表 9-1。

表 9-1 快速成型技术制作模具与传统机加工法制作模具的比较

制 模 方 法	制作成本/元	制作周期/周	模具寿命/件
硅橡胶浇注法	50	2	30
金属树脂浇注法	90	4 ~ 5	300
电弧热喷涂法	250	6 ~ 7	1 000
镍蒸发沉积法	300	6 ~ 7	5 000
传统机加工方法	600	16 ~ 18	250 000

1. 直接制造模具

利用快速成型技术可以直接制造金属模具、木模、树脂模及铸造用模。

(1) 利用 SLS 工艺制造金属模

1) 金属粉末大功率激光烧结成型技术。利用大功率激光 (1 000W 以上) 对金属粉末进行扫描烧结, 逐层叠加成型, 成形件经表面后处理 (打磨、精加工) 即完成模具制作, 制作的模具可作为压铸模、锻模使用。该方法与激光熔敷的工艺原理是一致的。也可以利用这种方法制作了高温合金零件; 或利用大功率激光逐层烧结熔化金属粉末, 利用等离子逐层对实体进行轮廓整形, 以得到表面精度较高的金属零件或模具。

2) 混合金属粉末激光烧结成型技术。成型粉末为两种金属粉末的混合物, 其中的一种熔点较低, 起黏结剂的作用。利用低功率激光快速成型机对混合粉末进行激光烧结即可直接制作金属模具, 用于批量较大的塑料零件和蜡模的生产。

3) 金属—树脂粉末激光烧结成型法。





① 金属暂时模制作。利用金属—树脂混合粉末，经激光烧结成形制作中空金属模具，然后灌注金属树脂，以强化内部结构，使之可以承受注射成形的压力、温度条件要求，最后得到金属暂时模。

② 金属永久模制作。在钢粉表面包裹聚酯的快速原型烧结材料，其金属粉末为不锈钢，经 SLS 工艺快速烧结成型后，直接成形的金属模具往往是低密度的多孔状结构，可将低熔点的金属（青铜）渗入后直接形成金属永久模。

（2）利用 LOM 工艺制造金属模

利用 LOM 工艺，采用金属箔作为成型材料，可以直接制造出铸造用模具，批量生产金属铸件。

（3）利用 LOM 工艺制造木模

采用特殊的纸质，利用 LOM 工艺可直接从模具的三维 CAD 模型制成纸质模具，坚如硬木，并可耐 200℃ 的高温，经过表面打磨处理后可用作低熔点合金的模具或样件试制用的注塑模，以及精密铸造用的蜡模成形模，还可代替砂型铸造用的木模。其特点是后续打磨处理耗时费力，导致模具制造周期增加，成本提高。

（4）利用 SLA 工艺制造树脂模

利用 SLA 工艺制造的树脂件强韧性较好，可作为小批量塑料零件的制造模具。这项技术已在实际生产中得到应用。采用特殊的高温下工作的光固化树脂，用 SLA 工艺直接成型模具，用于注塑成型工艺，其寿命可达 22 件。

（5）利用 SLS 工艺制造树脂模

利用 SLS 工艺，使用要求的材料制造的树脂模，可以作为吸塑模和型腔模使用，也可用于实际的注射成型。也可制造出中空模具，以金属树脂灌注之，以强化内部结构，并且在模具表面渗上一层树脂进行表面结构强化，即可承受注射成形的压力、温度（7.8MPa、176℃），从模具烧结成型至注射塑料产品只需花费 5~6 天的时间。

（6）直接制造铸造用模

1) 直接成型熔模铸造用蜡模或树脂消失模。利用 FDM 和 SLS 成型机，分别采用蜡丝或蜡粉，可以直接制造出合格的精铸用蜡模；利用 SLA、LOM、FDM、SLS 等工艺方法均可制造出消失性树脂模，再用传统的精铸工艺，进行涂壳、脱蜡、焙烧等，得到铸造型壳，用于精铸件的生产。对于树脂消失模，采用高温燃烧法，迅速将树脂分解脱去。

采用快速成型技术，可以对收缩造成的尺寸误差进行校正，如果铸件成品的尺寸超差，可以立即对 CAD 模型进行修改，再做出第二件树脂模。这种方法尤其适用于形状复杂的单件或小批量的铸件生产，如飞机发动机叶片、叶轮等特殊件。



2) 直接成型砂型铸造用木模。利用 SLA、LOM、FDM、SLS 等工艺方法成形的树脂原型可以代替木模,不仅大大缩短了制模时间,而且快速成型的原形水平远比木模要高,强度和尺寸稳定性也优于木模。特别是对于难以加工、需要多种组合的木模,用快速成型制造木模的优点就更为突出。

2. 间接制造模具

当零件批量较小(几十到几千件),或者是用于产品的试生产时,则可以用非钢铁材料制造成本相对较低的简易模具。此类模具一般先用快速成型技术制作零件原型,然后根据该原型翻制成硅橡胶模、金属树脂模和石膏模;或对快速成型技术制作的原型进行表面处理,用金属喷镀法或物理蒸发沉积法镀上一层低熔点合金或镍来制作模具。

(1) 硅橡胶模具

随着机械制造业的迅速发展,对模具的需求越来越大,复杂模具制造的费用不但高,而且周期长,硅橡胶模具的产生完全解决了这一难题。硅橡胶模具制造工艺是一种比较普及的快速模具制造方法。由于硅橡胶模具具有良好的柔性和弹性,能够制作结构复杂、花纹精细、无脱模斜度甚至具有倒脱模斜度,以及具有深凹槽类的零件,制作周期短,制件质量高,因而在单件、小批量样件快速制作中备受关注。

1) 硅橡胶模具材料及特点。

目前,模具硅橡胶材料已在国内外许多行业获得了广泛应用,硅橡胶具有良好的仿真性、强度和极低的收缩率。硅橡胶模具能经受重复使用和操作,能保持制件原型和批量生产产品的精密公差,并能直接制作出形状复杂的零件,免去铣削和打磨加工等工序,而且脱模十分容易,大大缩短产品的试制周期,同时模具修改也很方便。此外,由于硅橡胶模具具有很好的弹性,对凸凹部分浇注成型后也可直接取出,这是它的独特之处。硅橡胶的这些优点使它成为制模材料的佼佼者,一部分已进入机械制造领域并与金属模具相竞争。目前用硅橡胶制造的弹性模具已用于代替金属模具生产蜡模、石膏模、陶瓷模、塑料件,乃至低熔点合金如铅、锌以及铝合金零件,并在轻工、塑料、食品和仿古青铜器等行业的应用不断扩大,对产品的更新换代起到不可估量的作用。快速原型技术的产生,为硅橡胶模具广泛应用于机械产品的高精度快速制作提供了强有力的支持。

制模用硅橡胶为双组分液体硅橡胶,分为缩合型和加成型两类。

缩合型模具硅橡胶的主要组分包括:端基和部分侧基为羟基的聚硅氧烷(生胶)、填料、交联剂和硫化促进剂。缩合型模具硅橡胶的抗剪强度较低,在模具制造过程中易被撕破,因此很难适用于那些花纹深、形状复杂的模具。在用缩合型模具硅橡胶制造厚模具的过程中,由于缩合交联过程中产生的乙醇等





低分子物质难于完全排出,致使模具在受热时硅橡胶降解老化,从而显著影响其使用寿命;同时,由于乙醇等低分子物质的排出致使硅橡胶的体积收缩,而造成模具的尺寸小于相应的原形尺寸。因此,缩合型模具硅橡胶大多用作塑料与人造革生产中的高频压花模具或用于一些尺寸要求不精密的工艺品制造。

加成型模具硅橡胶的主要组分包括:端基和部分侧基为乙烯基的聚硅氧烷(生胶)、含氢硅油(交联剂)、铂触媒(催化剂)、白炭黑(填料)。一般采用加成硫化体系,加成型模具硅橡胶在硫化时不产生低分子化合物,因而具有极低的线收缩率,胶料可以深部固化,而且物理性能、力学性能和耐热老化性能优异,成为了模具胶中正在大力发展的品种。加成型模具硅橡胶适用于制造精密模具和铸造模具,而且模具制造工艺简单,不损伤原型,仿真性好。

2) 硅橡胶模具制造工艺。

由于成型零件的形状、尺寸不同,对硅橡胶模具的强度要求也不一样,因而制作方法也有所不同,主要有简便浇注法和真空浇注法两种。

利用快速成型技术制作硅橡胶模具的工艺流程如下。

① 原型表面处理。利用快速成型技术制作的原型在其叠层断面之间一般存在台阶纹或缝隙,需进行打磨和防渗透强化处理等,以提高原型的表面光滑程度和抗湿性与抗热性等。只有原型表面足够光滑,才能保证制作的硅橡胶模型腔的光洁度,进而确保翻制的产品具有较高的表面质量和便于从硅橡胶模中取出。

② 制作型框和固定原形。依据原型的几何尺寸和硅橡胶模使用要求设计浇注型框的形状和尺寸,型框的尺寸应适中。在固定原型之前,需确定分型面和浇口的位置。分型面和浇口位置的确定是十分重要的,它直接影响着浇注产品能否顺利脱模和产品浇注质量的好坏。当分型面和浇道选定并处理完毕后,便将原型固定于型框中。如图 9-10a 所示。

③ 硅橡胶计量、混合并真空脱泡。硅橡胶用量应根据所制作的型框尺寸和硅橡胶的密度准确计量。将计量好的硅橡胶添入适当比例的硬化剂,搅拌均匀后进行真空脱泡。脱泡时间应根据达到的真空度来掌握。

④ 硅橡胶浇注及固化。硅橡胶混合体真空脱泡后浇注到已固定好原型的型框中,如图 9-10b 所示。硅橡胶浇注后,为确保型腔充填完好,再次进行真空脱泡,如图 9-10c 所示。脱泡的目的是抽出浇注过程中掺入硅胶中的气体和封闭于原形空腔中的气体,此次脱泡的时间应比浇注前的脱泡时间适当加长。脱泡后,硅胶模可自行硬化或加温硬化,加温硬化可缩短硬化时间。

⑤ 拆除型框、刀剖开模并取出原型。当硅胶模硬化后,即可将型框拆除并去掉浇道棒等,如图 9-10d 所示。参照原型分型面的标记进行刀剖开模,如图 9-10e 所示,将原型取出,并对硅胶模的型腔进行必要清理,便可利用所制作的



硅橡胶模具在真空状态下进行树脂或塑料产品的制造,如图9-10f所示。

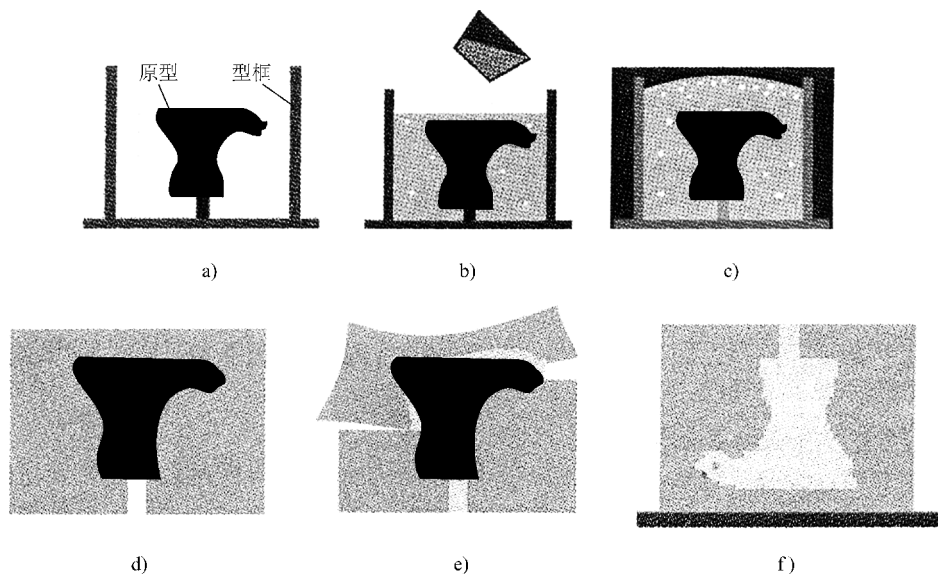


图9-10 硅橡胶快速模具制作工艺

(2) 金属喷涂模具

金属喷涂模具就是利用电弧喷涂制模工艺制造模具,是将两根带电的制模专用金属丝通过导管不断地向前输送,金属丝在喷枪前端相交形成电弧,金属丝经电弧熔化,在压缩空气的作用下,将熔化的金属雾化成金属微粒,并以一定的速度喷射到样模表面,一层一层地相互叠加堆积而形成高密度、高结合强度的金属喷涂层,即模具型腔的壳体(或实体)。这层壳体的内壁形状与样模表面完全吻合,从而形成了所需的模具型腔。喷涂形成的金属壳体与其他基体材料填充加固,结合成一体,再配以其他部件,即组成一副完整的模具。这种制模方法类似于电铸制模,但又不完全相似。它制模工艺简单,容易掌握,模具制作周期短,费用低,对比制作同一形状尺寸的钢模,制模周期和模具费用均可降低60%以上。电弧喷涂制模是一种典型的快速制模技术,具有制模工艺简单、制作周期短、模具成本低等显著特点,特别适用于小批量、多品种的生产使用。

1) 喷涂设备及材料。

① 电弧喷涂设备。电弧喷涂工作系统一般由喷涂电源、送丝机构、喷枪和压缩气体等组成。电弧喷涂所用的全套设备如图9-11所示。

② 喷涂制模材料。在满足低熔点、低收缩率的情况下,应尽可能具有较好的力学性能和较致密的涂层组织。选择电弧喷涂材料时,既要考虑所得到的涂



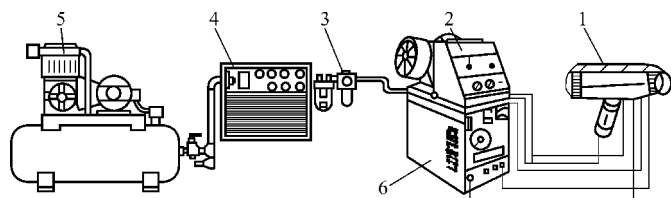


图 9-11 电弧喷涂设备系统简图

1—电弧喷涂枪 2—送丝机构 3—油水分离器
4—冷却装置 5—空气压缩机 6—电弧喷涂电源

层具有足够高的硬度，良好的抗压、抗弯等力学性能，可以在实际中应用；又要兼顾涂层材料的熔点不要太高，因为对于 Fe、Cu 等高性能、高熔点的材料，喷涂过程中，由于热收缩的作用，金属涂层与模型界面之间存在很大的切应力，一方面使模型发生塑性变形，影响电弧喷涂模具的精度，另一方面削弱金属涂层与模型表面的剪切强度，使金属涂层剥落。因此，电弧喷涂中常采用 Al、Zn 基丝材作为喷涂材料。Al、Zn 基丝材熔点比较低，喷涂时涂层温度不高，因而不会烧损塑料基体，另外，Al、Zn 基金属涂层韧性较好，喷涂过程中，由于热收缩产生的内应力，通过蠕变及产生微裂纹释放，以及模型表面回复收缩抵消，收缩应力大部分得以消除，特别是 Zn 涂层，内应力基本消除。同时，模型的收缩会使涂层微裂纹闭合，从而涂层不易变形、开裂，能够保证模具的尺寸精度，而且 Al、Zn 基丝材喷涂工艺性好，喷涂成的涂层组织细密，孔隙率低，涂层表面粗糙度低。

2) 喷涂快速制模工艺。

金属喷涂模具的基本结构可分为三部分，即金属喷涂层、背衬层和钢结构部分，如图 9-12 所示。金属喷涂层的厚度一般为 2~3mm，虽然具有一定的强度、硬度、表面粗糙度和良好的导热性能，并能非常精确地复制原型的形状，但由于其厚度较薄，无法单独承受成形压力，因此不能直接作为模具，还必须进行背衬补强。背衬层由背衬材料直接充填而成，厚度较大，黏附在喷涂层

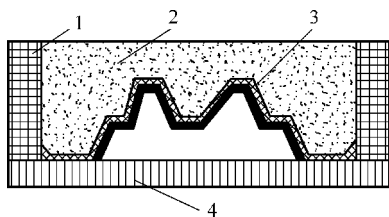


图 9-12 电弧喷涂模具结构

1—钢结构 2—背衬层
3—金属喷涂层 4—底板

下方，主要起支撑和增加强度的作用。钢结构主要包括模架、模框、镶嵌件等钢质构件。

金属喷涂制模的工序如下。

① 模型准备。模型可由许多材料制成，包括木材、塑料、石膏、橡胶等。模型准备中最重要的是涂抹脱模剂。脱模剂在制模中的作用有两个方面作用：



一方面,它对喷涂到基体上的金属颗粒有黏结作用,否则金属颗粒将不能牢固地吸附在模具表面而易脱落;另一方面,防止金属涂层对模型的过热烧损、变形、黏附,起到隔热、脱模的作用。将脱模剂均匀地涂在模型表面,并使其干燥成膜。

② 在模型上喷涂金属。待脱模剂干燥以后,采用最佳的喷涂参数在模型上喷涂金属叠层,喷涂时应保证使喷枪连续运动,防止涂层过热变形,涂层厚度一般可控制在 $2 \sim 3\text{mm}$ 。

③ 制作模具框架。如果模具在工作中要受到内压力或模具必须安装在成型机上工作,模具必须有骨架结构且制成的骨架应带有填料。模具框架制作应注意两个问题:第一,使模具框架材料与涂层材料,以及填料的热膨胀性能相匹配;第二,框架的外形尺寸及注射口的选择要根据具体的注塑机型号而定。

④ 浇注模具的填充材料。由于在塑料制品生产中,要求模具有良好的导热、散热能力,因此在选择浇注填充材料时,应使填充材料具有较高的热导率和较低的凝固收缩率,同时因为模具是在一定的温度和压力下工作,所以要求填充材料应具有较高的抗压强度和耐磨性能。一般选择的填充材料为环氧树脂与铝粉、铝颗粒等金属粉末的混合物。环氧树脂使浇注材料与喷涂壳体、模具框架有很高的结合强度,铝粉可以提高模具的导热性能。有时为提高模具的抗磨损性能还可在填料中加入铁粉。另外在浇注填充材料时可安放冷却管,以加强模具的散热性能。

⑤ 脱模、加工处理。如果在模型准备阶段做得比较合适,脱模不会很困难。脱模后要把残余在金属涂层表面的脱模剂清洗干净。然后再根据不同的需要,可以对模具进行抛光等后期制作。

9.2 电化学加工

如图9-13所示为电化学加工基本原理。在 NaCl 导电溶液中,分别插一铁片、一铜片,两者将出现电位差,形成所谓原电池。如果用导线把两金属片连接起来,就会有电流从导线中通过,并出现了铁的加速溶解。此时,导线和溶液中均有电流通过,这是由于两种金属材料的电位不同,导致自由电子在电场作用下按一定方向移动,并在金属片和溶液的界面上产生交换电子的反应,即所谓电化学反应。如果再按原电流方向加上一个直流电源,电流加大,铁的溶解也加快。

电解质溶液是靠溶液中正、负离子定向移动而导电的。正离子将移向阴极,并在阴极上得到电子进行还原反应,沉积在阴极上形成金属层,利用此阴极沉积法原理所开发的模具制造技术即所谓电镀、电铸成形、电刷镀等;而负离子





将移向阳极并在阳极表面失掉电子进行氧化反应，不断地将其表面金属一层一层蚀除掉，利用此阳极溶解法原理所开发的模具制造技术即所谓电解加工、电化学抛光、电解磨削等。生产实践中，也可以将电化学加工与其他加工方法相结合形成复合加工法而进行成形加工，如电解磨削、电解放电加工、电化学阳极机械加工等。

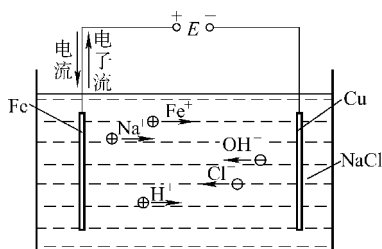


图 9-13 电化学加工基本原理

9.2.1 电解加工

目前，由于电解加工的机床、电源、电解液、自动控制系统、工具阴极的设计制造水平及加工工艺等不断进步，电解加工已发展成为比较成熟的特种加工方法，尤其是广泛应用于模具制造行业。例如型孔、型腔、型面和各种表面抛光等。此外，还可以复合进行电解车、电解铣、电解切割等加工。

1. 电解加工过程

电解加工是利用金属在电解液中产生阳极溶解现象的原理来去除工件材料的加工方法。加工时，工件接直流电源的正极，工具接直流电源的负极。工具电极向工件缓慢进给，并使两极之间保持较小的间隙（0.1~1mm），让具有一定压力（0.5~2MPa）的电解液高速从两极间隙流过，并把阳极工件上溶解下来的电解产物冲走。

2. 电解加工成形原理

如图 9-14 所示为电解加工成形原理。加工初始，工件的表面形状与作为电极的工具形状不同，工件上各点距工具表面的距离也不相同，各点电流密度不一样。距离较近的地方通过的电流密度较大，电解液的流速也较高，阳极溶解的速度较快。而距离较远的地方，电流密度小，且电解液的流速也较慢，阳极溶解速度就慢。由于工具相对工件不断进给，工件表面上各点就以不同的溶解速度进行溶解，使工件表面逐渐接近工具表面的形状，直至工件表面形成与阳极工作面基本相似的形状为止。

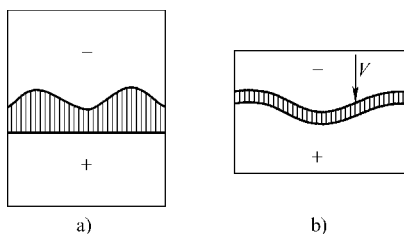


图 9-14 电解加工成形原理

a) 加工初始 b) 加工终了

3. 电解加工的特点

电解加工与其他加工方法相比有以下特点。

1) 表面质量好。加工过程中不存在宏观切削力，没有切削热的作用，所



以,加工表面无残余应力和飞边、毛刺、变质层等,可加工任何硬度、强度、韧性的金属材料。表面粗糙度 R_a 可达 $1.25 \sim 0.2 \mu\text{m}$, 平均加工精度为 $\pm 0.1 \text{mm}$, 电解微细加工钢件的精度可达 $\pm 10 \sim 70 \mu\text{m}$ 。

2) 生产率高。可一次进给,直接成形,无需粗、精加工分开,能一次成形出复杂的型腔、型孔等。一般进给速度可达 $0.3 \sim 15 \text{mm/min}$ 。

3) 工具电极损耗小。理论上不会损耗,可长期、反复使用。

4) 技术难度高。影响电解加工的因素很多,不易实现稳定加工和保证较高的加工精度,加工细的窄缝,小孔及小棱角,比较困难。一般圆角半径大于 0.2mm 。

5) 污染腐蚀。电解液对设备、工装有腐蚀作用,电解产物必须妥善处理。电解产物污染环境。

4. 电解液

电解液的作用:作为导电介质,传递电流;在电场作用下进行电化学反应,使阳极溶解能顺利而有控制地进行;将加工间隙内产生的电解产物及热量能及时带走,起到更新和冷却的作用。

电解液可分为中性盐溶液、酸性溶液和碱性溶液三大类。酸性电解液主要用在高精度、小间隙、细长孔,以及锗、钼、铌等难溶金属加工。碱性电解液仅用于加工钨、钼等金属材料,它对人体有所损害,且会生成难溶性阳极薄膜,影响阳极溶解。中性盐溶液腐蚀性小,使用时较安全,故应用最普遍。常用的有 NaCl 、 NaNO_3 、 NaCO_3 三种电解液。

5. 电解加工的应用

(1) 深孔加工

如图 9-15 所示为电解深孔加工。对于直径 0.8mm 以下,深度为直径的 50 倍以上的直径极小的深孔,一般采用电解液流束加工。电解液通过绝缘喷嘴高速喷出,形成电解液流束,当带负电的电解液高速喷射到工件时,工件上喷射点产生阳极溶解,并随着阴极的不断进给而加工出深小孔。

工具电极在零件内孔作轴向移动的同时再作旋转,可加工内孔膛线。

(2) 型孔加工

在模具制造中常会遇到四方、六方、椭圆、半圆、带棱角、阶梯、锥型等各种形状复杂、尺寸较小的通孔或不通孔型孔,用传统加工方法十分困难,甚至无法加工。采用电火花加工,加工

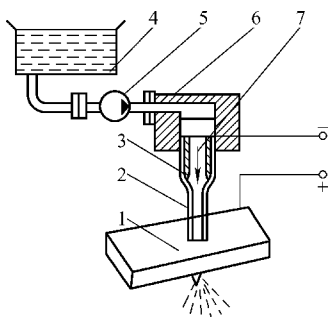


图 9-15 电解深孔加工

- 1—工件 2—绝缘管 3—阴极
4—电解液箱 5—高压液泵
6—进给装置 7—电解液





时间较长,电极损耗较大,采用电解加工则可以大大地提高加工质量、生产率和降低成本。电解加工一般带有微小的锥度,若不需要成形锥度,可将电极工具侧面绝缘。

(3) 型腔加工

对消耗量较大,精度要求不高的,诸如曲轴锻模等,采用仿形加工、电火花加工、数控加工等,生产周期长,成本高。这些问题可通过电解加工来解决。采用混气电解加工可大大简化阴极工具设计,且加工精度可以控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内。

电解加工还可用于工件上刻印文字或标记等,即所谓电解刻印,它具有经济、迅速的特点。

(4) 电解抛光

电解抛光(也叫电解修磨抛光)是一种表面电化学光整加工方法,是利用在电解液中进行阳极溶解现象而对工件表面进行腐蚀抛光的,用于改善工件的表面粗糙度和表面物理性能,而不适用于对工件进行形状和尺寸加工。

电解抛光时,阳极一方面发生溶解,另一方面生成薄薄的一层黏度高、电阻大的阳极粘膜,工件表面凹陷处粘膜较厚、电阻较大、溶解速度慢,而凸起处粘膜较薄,电阻较小,溶解速度快,因此,凸起处首先被溶解。经过一段时间后,高低不平的表面逐渐被蚀平,从而得到光洁平整的表面。

电解抛光速度不受材料硬度的影响,效率是普通手工研磨抛光的几倍。经过电解抛光后可使表面粗糙度 R_a 可达 $0.4 \sim 0.2\mu\text{m}$,尺寸精度和形状精度可控制在 0.01mm 之内。但电解抛光不能消除原表面的“粗波纹”,因此,电解抛光前零件表面应无波纹现象。该工艺方法简单,操作容易,而且设备简单,投资小。

常用的电解抛光方法有以下两种。

1) 整体电解抛光。

如图9-16所示为整体电解抛光。工具电极采用耐蚀性较好的不锈钢、铅或石墨等制成装于机床主轴夹头上,接电源的阴极,工具电极的上下运动由伺服机构控制。被抛光的工件放于工作台的电解液槽内,接电源的阳极,工作台上设有纵横拖板以调节工件和电极之间的相互位置,工具电极和型腔周边保持 $5 \sim 10\text{mm}$ 的电解间隙,电解液液面应超出工件上平面 $15 \sim 20\text{mm}$,电解液有恒温控制装置。加热电解液至工作温度,接通电源,调整电压符

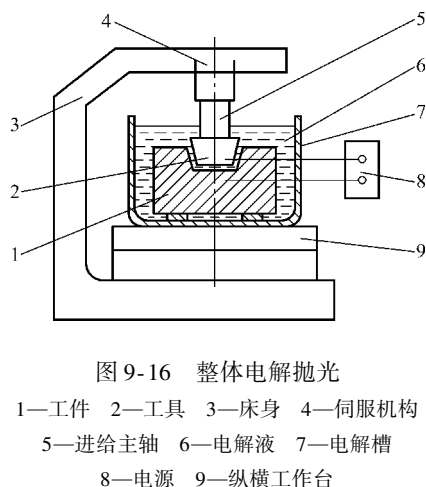


图9-16 整体电解抛光

1—工件 2—工具 3—床身 4—伺服机构
5—进给主轴 6—电解液 7—电解槽
8—电源 9—纵横工作台



合预定电流后即可开始抛光。抛光时为避免电解液温度过高,以及为排除电解气泡,应经常补充新的电解液并搅拌,或采用定时提升工具电极的方法达到搅拌电解液的目的。

2) 逐步电解抛光。

如图9-17所示为逐步电解抛光。直流脉冲电源3提供能源,电解槽7内的电解液由泵6经过过滤器向抛光区注入,积聚在抛光型腔工件11内的电解液和电解产物由电动吸引器9产生的负压吸回电解槽7中。电解抛光时,电动抛光器4高速旋转,抛光轮用于快速擦除电化学抛光时在工件表面产生的黑色薄膜,逐步完成电解抛光。

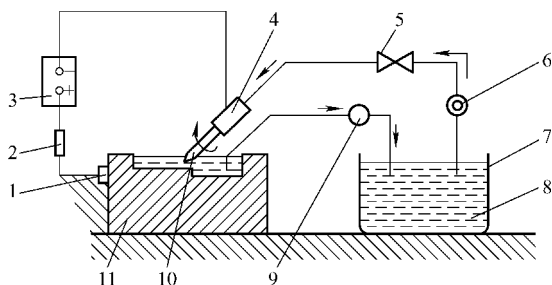


图9-17 逐步电解抛光

1—磁铁 2—可调电阻 3—直流脉冲电源 4—电动抛光器
5—阀门 6—泵 7—电解槽 8—电解液 9—电动吸引器
10—抛光轮 11—工件

9.2.2 电铸成型

1. 电铸成型原理

电铸成型是在母模表面上,通过电铸获得适当厚度的金属沉积层,然后将这层金属沉积层从母模上脱下来,形成所需型腔或型面的一种加工方法。其原理与金属电镀原理一致,但两者又有区别:电镀镀层要求薄且与基体结合要牢固,而电铸镀层要求厚且要便于与基体剥离。

按制件形状制成的具有一定尺寸及精度的母模,在电铸过程中作为阴极使用。

2. 电铸成型种类

根据电铸的材料不同,电铸可分为电铸镍、电铸铜和电铸铁三种。

(1) 电铸镍

电铸镍适用于小型拉深模和塑料模型腔,它成型清晰,复制性能好,具有较高的机械强度和硬度,表面粗糙度数值小,但是电铸时间长、价格昂贵。

常用的电铸镍电解液配方(蒸馏水1000mL):

配方1:硫酸镍245g,氯化镍45g,硼酸35g,十二烷基硫酸钠0.05g,糖精1.5g。该配方韧性好,不易开裂,加工方便。镀层硬度为25~30HRC,每星期可镀4mm厚。适于电铸形状简单的型腔。

配方2:硫酸镍160g,氯化铵25g,硼酸30g,苯二磺酸钠盐0.05g,糖



精 0.1g。该配方脆性大，不易机械加工。镀层硬度为 50HRC 以上，每星期可镀 5 ~ 6mm 厚，适于电铸工作压力不大、硬度要求较高、形状简单的型腔。

配方 3：硫酸镍 180g，氯化钠 20g，硫酸钠 50g，硫酸镁 20g，硼酸 30g，十二烷基硫酸钠 0.05g，糖精 0.2g。该配方机械性能与配方 1 相似，但适于制造形状复杂，工作压力大的型腔。

电解液中硫酸镍是金属镍离子的来源，在电解过程中离解出镍离子及硫酸根离子，镍离子在阳极放电形成电铸层；氯化铵、氯化镍、氯化钠等氯化物在电铸中起活化作用，能防止阳极钝化，但含量不宜过高，否则会使阳极溶解；硫酸钠、硫酸镁能增加镀液的导电性，使镀层均匀、致密；硼酸是缓冲剂，可使 pH 值稳定；十二烷基硫酸钠是润湿剂，使氢氧不易吸附，它能防止镀层针孔并可减小镀层的内应力，但必须控制用量，以防电铸质量恶化；糖精是软化剂，能减小电铸件的內应力；苯二磺酸钠盐是光亮剂，不宜过多，以免镀层变脆。

(2) 电铸铜

电铸铜适用于塑料模、玻璃模型腔及电铸镍壳加固层。它导电性能好，操作方便，价格便宜。但是机械强度及耐磨性低，不耐酸，易氧化。为了提高电铸铜的耐磨性，可以在其表面再镀镍，镀镍前还应酸洗。

常用的电铸镍电解液配方（蒸馏水 1 000mL）：

配方 1：硫酸铜 200 ~ 250g，硫酸 50 ~ 60g，102 均染剂 0.1 ~ 0.2mg，硫尿 0.01 ~ 0.061g，阿拉伯树脂 0.1g。

配方 2：硫酸铜 250 ~ 270g，硫酸 60 ~ 75g，酚磺酸 8mL。

配方 3：硫酸铜 200 ~ 250g，硫酸 50 ~ 75g，酒精 5mL，聚乙二醇 3 ~ 5g。

配方 4：硫酸铜 170 ~ 260g，硫酸 30 ~ 75g。

电解液中硫酸含量过高会使镀层脆化；硫酸铜含量偏差太大，使沉积速度降低，电铸层不易均匀；均染剂 102 可提高穿透力；硫尿、聚乙二醇、阿拉伯树脂都是光亮剂；酚磺酸则用以提高沉积速度。

(3) 电铸铁

电铸铁虽然成本低，但是质地松软，易腐蚀，操作时有气味，一般用于电铸镍壳加固层，修补磨损的机械零件。

3. 电铸成型的特点

电铸工艺除用来电铸模具型腔外，还可用于电铸电火花加工用的电极等。电铸成形有如下特点。

1) 电铸件与母模的尺寸误差小，尺寸精度可达数微米，表面粗糙度 R_a 可达 0.1 μm 。



- 2) 可以制造形状复杂、用机械加工难以成形甚至无法成形的工件。
- 3) 母模材料可以是金属，也可以是非金属，有时还可用制品零件直接作为母模。
- 4) 电铸件具有较好的机械强度，如：电铸镍的抗拉强度 $\sigma_b = 1\,400 \sim 1\,600\text{MPa}$ ，硬度为 $35 \sim 50\text{HRC}$ ，铸成后不需再进行热处理淬硬。
- 5) 电铸可获得高纯度的金属制品，如：电铸电火花加工用的铜电极，其纯度高，具有良好的导电性能，十分有利于电加工。
- 6) 电铸时金属沉积速度缓慢，制造周期长，如电铸镍一般需要1周左右。
- 7) 电铸层厚度较薄（一般为 $4 \sim 8\text{mm}$ ），不易均匀，具有较大的内应力，大型电铸件变形显著，且不能承受大的冲击载荷。

4. 电铸设备

电铸设备主要包括电铸槽、直流电源、恒温控制器、设备水位自控器及电子换向器等。根据加热方式的不同，电铸槽有内热式及外热式两种。如图9-18所示为内热式电铸槽，如图9-19所示为外热式电铸槽。

电铸槽材料的选择应以不与电解液作用引起腐蚀为原则。常用耐酸搪瓷或硬聚氯乙烯，也可用陶瓷。镀槽容积按生产需要而定。镀槽底部应装有阀门便于换液，在上面四周应装有挂置阳极或母模用的框架。

由于电铸时间很长，所以必须设置恒温控制设备。它包括加热器、水银导电温度计及恒温控制器。为改善电铸时尖端放电现象，可以定期改变阳极及母模的电流方向而采用电子换向器。为加大电流密度，提高生产率，应具有搅拌器及循环过滤系统。为便于观察加

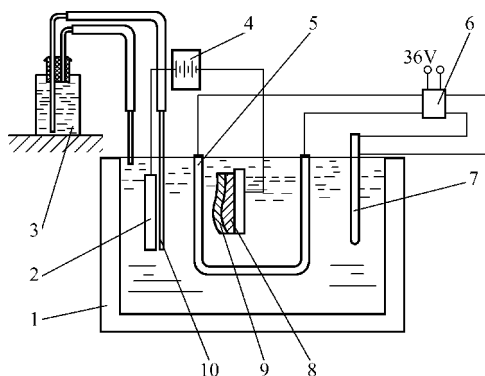


图9-18 内热式电铸槽

- 1—镀槽 2—阳极 3—蒸馏水瓶 4—电源
5—加热管 6—恒温装置 7—水银导电温度计
8—母模 9—电铸层 10—玻璃管

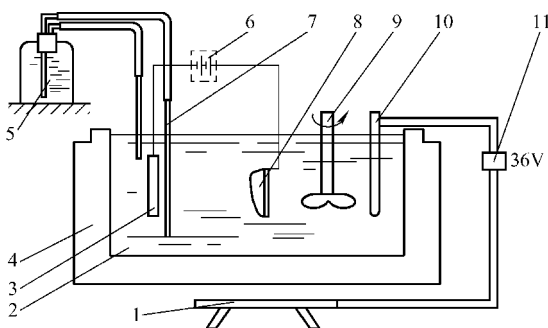


图9-19 外热式电铸槽

- 1—电炉 2—镀槽 3—阳极 4—水箱 5—蒸馏水瓶
6—直流电源 7—玻璃管 8—母模 9—搅拌器
10—温度计 11—温控器





工情况应采用特殊照明灯管等。

5. 电铸成型的加工工艺过程

(1) 母模的设计

母模的形状与所需型腔相反，母模设计时应掌握以下几个主要原则。

- 1) 确定母模尺寸时应考虑材料的收缩率，母模表面粗糙度 R_a 值可在 $0.01\mu\text{m}$ 左右。
- 2) 对于非熔型母模应带有 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的脱模斜度，同时需考虑脱模措施。
- 3) 承受电铸的部分应按制品需要加长 $3 \sim 5\text{mm}$ ，以备电铸后因端部粗糙而割除用。
- 4) 母模的轮廓在较深的底部处凹、凸不能相差太大，同时尽量避免尖角。

(2) 母模材料

母模材料有金属、非金属，应根据不同需要进行选择。母模材料及其优缺点可参见表 9-2。

表 9-2 母模材料及其优缺点

材 料			优 缺 点	用 途
金 属	永久型	无铬 低碳钢	成本低，制造精度高，寿命长，但脱模时型腔易拉毛，要有脱模斜度	适用于形状简单且脱模方便的情况
	可熔型	低熔点 合金	可铸造，材料可回用，溶解方便，型腔表面不会拉毛，但需要有浇注模，成本高	用于大量生产，母模不能完整取出
非 金 属	不可熔型	木材	成本低，易加工，但加工精度不高，需作防水处理	适用于大型或精度要求不高的母模
		石膏	成本低，成形良好，但加工精度不高，需作防水处理	适用于大型或精度要求不高的母模或反制阴模
		环氧 树脂	可浇注，表面粗糙度值小，尺寸精度稳定，但需要有浇注模，成本高	用于大量生产或大型母模
		聚氯 乙烯	可浇注，材料可回用，脱模方便，不会损坏型腔，但尺寸精度不高，电解液温度不能过高	适用于大量且无尺寸精度要求的制件生产
		有机 玻璃	加工性能好，表面粗糙度值小，脱模方便，尺寸精度高，但可能使用次数不高，电解液温度不能过高	适用于中小型及齿轴类的母模
	可熔型	石蜡	成本低，成形性良好，表面粗糙度值小，脱模时不会损坏型腔，但易损伤，加工时精度难以保证，电解液温度不能过高	适用于小型及尺寸精度要求不高的母模

(3) 工艺过程

电铸工艺过程因母模材料和电铸材料的不同而不完全一致。如图 9-20 所示为电铸工艺过程。

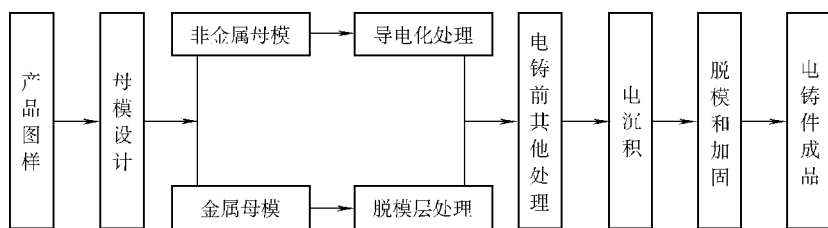


图 9-20 电铸工艺过程

(4) 电铸前处理

电铸前处理包括金属母模的镀脱模层处理、非金属母模的镀导电层处理、防水处理，以及引导线及绝缘包扎处理。

1) 镀脱模层。用金属制的母模需镀上一层厚度为 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 的硬铬，以便脱模。铬层表面不允许有气孔、麻点和脱铬现象。形状复杂的母模，由于镀铬的散射能力较差，可先镀镍再镀铬；深型腔可在母模表面先喷上一层聚乙烯醇感光剂，经曝光烘干后进行镀银处理，以解决脱模困难的问题；低熔点合金母模不需要镀脱模层，有时可考虑涂石墨。

2) 防水处理用石膏或木材制成的母模，在电铸前可用喷漆或浸漆的方法进行防水处理。石膏还可采用浸石蜡的方法进行防水处理。

3) 镀导电层处理。非金属母模不导电，不能直接电铸，要经过镀导电层处理。导电层处理可以是涂敷导电漆、真空涂膜或阴极溅射，而更常用的是采取化学镀银或化学镀铜处理。为了得到良好的导电层，一般母模需要经 2 次镀导电层处理，如有机玻璃母模镀银后可再镀铜。石膏母模则需进行 3 次镀银处理。

4) 引导线及绝缘包扎处理。母模经脱模处理及镀导电层后需进行引导线及绝缘包扎处理，其目的是使导电层能够在电沉积操作过程中良好地通电，并将非电铸表面予以隔离。

(5) 脱模

电铸成型后需要脱出母模，脱模的方法较多。金属母模脱模比较困难，可以用螺钉脱模，如图 9-21 所示。非金属母模（如有机玻璃）脱模时，加热软化后脱模比较方便。一般先加热到 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ，再冷却至 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 即可将母模取出。较浅的型腔甚至可以用开水加热后脱模，但是母模容易受热变形、损坏。

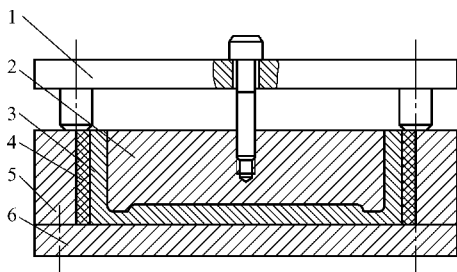


图 9-21 金属母模脱模

1—卸模架 2—母模 3—电铸型腔
4—黏结剂 5—模套 6—垫板



(6) 加固

电铸成型壁厚较薄,一般均需加固,加固方法可根据电铸件的形状、大小和技术要求而定。一般常用的加固方法有喷涂金属、无机黏结、铸铝、浇环氧树脂或低熔点合金。

喷涂金属一般在电铸件的外层进行,达到一定厚度后再将外形机加工成所需形状。无机黏结是用无机黏结剂将电铸件外形与配加工的钢套内型黏结在一起。黏结层厚度为0.2~0.3mm。铸铝一般用于在电铸件背后加固。环氧树脂或低熔点合金一般浇注在电铸电极的内壁,防止电加工时电极变形。

9.3 熔模铸造

熔模铸造(又称失蜡铸造)是用易熔材料制成精确的一次性模型,在模型上包覆若干耐火涂料制成型壳,熔去模型,高温焙烧完成制壳,然后,铸造出尺寸精度(IT10~IT14)和表面粗糙度($R_a = 1.6 \sim 12.5 \mu\text{m}$)要求较高的铸件,以此来作为毛坯加工模具,这对模具型腔的加工制造尤其具有意义。

熔模铸造的特点如下。

- 1) 毛坯尺寸精度高,表面光洁。
- 2) 减少毛坯切削加工量,能生产形状复杂的模具零件。
- 3) 材料几乎不受限制,有利于加工超高强度合金、耐热合金,以及难加工材料。
- 4) 适应各种批量的生产。

1. 熔模制造

熔模材料的基本要求如下。

- 1) 制备简便、得到容易,灰分少,易回收再利用,无公害。
- 2) 熔点在60~100℃范围内,模料的软化点不低于35~40℃;具有良好的流动性、成形性和稳定性。
- 3) 具有一定的强度和表面硬度。
- 4) 焊接性和涂挂性良好。

常用50%的石蜡和50%的硬脂酸均匀混合作为熔模材料。

一个熔模只能铸造生产一个毛坯,熔模的质量直接影响模具毛坯的质量,单件生产的熔模可采用快速成形方法获得,批量生产的熔模可采用压制成形获得。

对有些复杂的情况要进行焊接组合,焊接一般采用烙铁或电热刀手工操作。在组合前需清理与修整,组合后,对于要求高的零件需进行几何形状及尺寸的检验。



2. 熔模铸造的工艺过程

如图9-22所示为熔模铸造工艺过程。首先,用蜡料做成与铸件形状相同且相差一个金属收缩率的熔模,焊接组合相应的浇注系统;其次,在熔模上涂挂由作为耐火材料的石英粉和作为黏结剂的水玻璃等配制而成的涂料。然后,向其表面撒上一层硅砂,浸入硬化剂(一般为氯化氨水溶液)中硬化。这样反复几次涂挂涂料和硅砂并硬化,直到形成一定厚度的硬化壳;最后,将带有硬化壳的熔模放入85~95℃的热水中加热,使熔模材料从浇铸口中流出,形成铸型空壳,烘干并在850~900℃下高温焙烧获得无分型面的铸型,在型壳四周填砂后便可浇注,经凝固、冷却、落砂、清理而获得铸件。

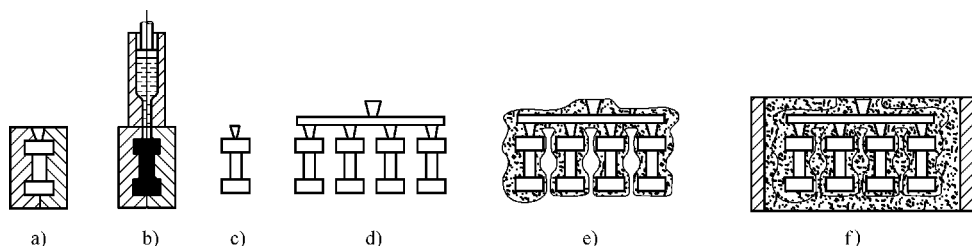


图9-22 熔模铸造工艺过程

a) 制压型 b) 注蜡模 c) 蜡模 d) 制成蜡模组 e) 壳型 f) 准备浇注

铸件清理及热处理后,进行加工外形、导柱孔、螺钉孔、水道等工序,再修光型腔即可进行装配。熔模铸造工序繁多,生产周期长,生产费用高,且熔模尺寸太大或太长易出现变形,由于受型壳的限制,一般铸件质量在25kg以下。

9.4 陶瓷型铸造成型

陶瓷型铸造成型是在一般砂型铸造基础上发展起来的一种精密铸造工艺。其方法是用陶瓷浆料作造型材料,灌浆成型,经喷烧和烘干后即完成了造型。然后,经合箱、浇注金属液铸成模具毛坯零件。可以制造形状复杂、表面带有花纹图案的塑料模、冲压模、锻模、压铸模等模具的型腔,尺寸精度为IT8~IT10级,表面粗糙度 R_a 可达 $1.0 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 。

1. 模具陶瓷型铸造的特点

- 1) 便于模具的复制,如铸造大批量用的热锻模效果较好。
- 2) 模具型腔一般不再进行切削加工,减少了大量模具型腔切削加工工时,降低了生产成本。
- 3) 使用寿命接近或超过机械加工的模具。
- 4) 节约了金属材料。模具报废后可重熔浇铸。





5) 生产周期短,一般有了母模后2~3天内即可铸出铸件。

6) 工艺设备简单。

2. 陶瓷型铸造成型的工艺过程

如图9-23所示为陶瓷型铸造成形的工艺过程。具体步骤如下。

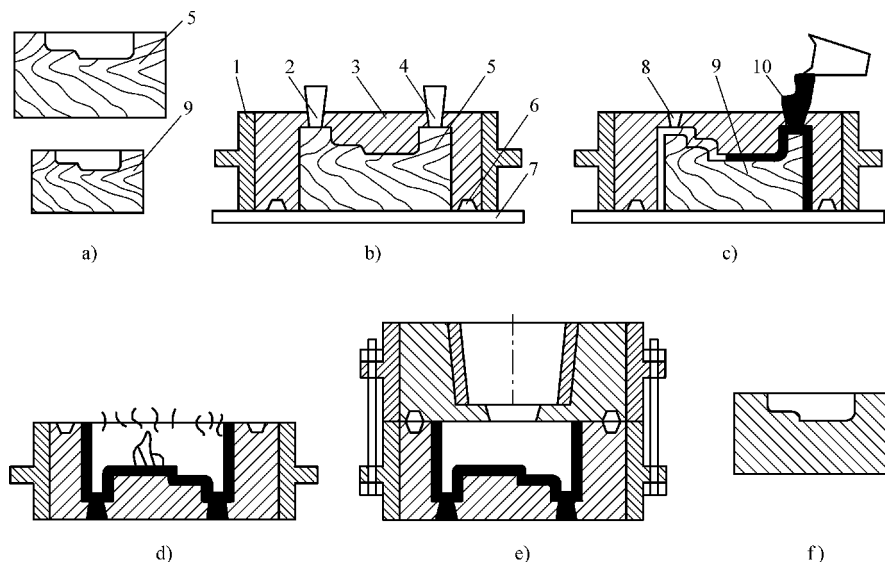


图9-23 陶瓷型铸造成型的工艺过程

- a) 造母模 b) 砂套造型 c) 灌浆 d) 起模喷烧 e) 烘干、合箱、浇注 f) 铸件
1—砂箱 2、4—排气孔木模 3—水玻璃砂 5—粗母模 6—定位销 7—平板
8—通气孔 9—精母模 10—陶瓷浆层

1) 需要两个母模,其作用完全不同。一个是灌浆用的精母模,另一个是制作砂套用的粗母模,精母模要求较高而粗母模的要求较低,精母模的表面粗糙度比模具小,粗母模比精母模尺寸大5~8mm,这个差值就是陶瓷层的厚度。也可以将精母模需灌浆的表面贴一层橡皮泥作为粗母模使用。

① 母模材料。制造母模的材料有金属、木材、塑料、石膏、环氧树脂等。可根据铸件的产量、形状、尺寸及精度、表面粗糙度要求等予以综合考虑、选择。金属母模的尺寸精度和表面质量高,适于长期保存,但是制造周期长,成本高,主要用于大量生产;木材制造的母模容易加工,但精度差,不宜长久保存,适于小批量生产;环氧树脂制造的母模表面粗糙度小,不易变形,强度适中,便于修整,在陶瓷型铸造中常被采用;采用快速成形技术制做母模,成形精度高且制造周期短,是当前大力推广的新技术。

② 母模设计。设计母模尺寸时主要考虑铸造金属收缩率的影响。陶瓷型浇注层的尺寸变化极微,可以忽略不计。铸铁件收缩率较小,一般在1%左右。铸



钢件收缩率则较大，并随铸件大小而增减。500kg 以上铸钢件收缩率为 2.1% ~ 2.4%；200kg 以下铸钢件的收缩率为 1.6% ~ 1.8%；介于二者之间的中等铸钢件收缩率为 1.8% ~ 2.1%。在决定母模外形尺寸时收缩率应取上限，决定母模内腔尺寸时收缩率取下限，以便留有修改的余量。

2) 用粗母模进行砂套造形，砂套的型砂一般为水玻璃砂，其方法和一般水玻璃砂造形方法相同。在砂套上应开设灌浆孔、排气孔并设置合适的冒口。

3) 砂套与精母模配合，形成均匀的间隙。

4) 配制陶瓷浆料。陶瓷浆料的配方见表 9-3。

表 9-3 陶瓷浆料配方

配方	100g 铝矾土中的 相应量/g		水解液 /mL	100mL 水解液中 氢氧化钙/g	100g 铝矾土中 双氧水/g	备注
	90 ~ 100 目	100 目				
1	20 ~ 40	80 ~ 60	35	0.4 ~ 0.6	0.30	用于中小件
2	40 ~ 60	60 ~ 40	35	1 ~ 0.2Ca (OH) + 1.0 ~ 2.0MgO	0.30	用于大件

陶瓷浆料由耐火材料、黏结剂、催化剂和透气剂等组成。

① 耐火材料。耐火度要与合金的浇注温度相适应；国内资源丰富、价格便宜；工艺性能好；具有适当的粒度；且应不与黏结剂起化学作用。

目前采用的耐火材料有铝矾土、刚玉粉、硅砂、金刚砂等，其中铝矾土是较理想的材料。铝矾土经烘烤、粉碎后筛分，其 Al_2O_3 的质量分数应大于 65%，氧化铁等低熔点杂质的质量分数应低于 2%，否则将会影响陶瓷型成形。刚玉粉的耐热性能良好，在 1 850℃ 以下不发生软化，但成本高，除铸钢件外一般不采用。

耐火材料的粒度直接影响陶瓷型的质量。一般而言，粗粒料可防止铸型裂纹，提高强度和透气性，但表面粗糙度较差。细粒料可以得到较好的表面粗糙度，但铸型强度和透气性差。

② 黏结剂。常用的黏结剂有：硅酸乙酯水解液，简称水解液。它是溶质（硅酸乙酯和水）在溶剂（酒精）中受催化剂（盐酸）的作用进行水解而得到的含硅酸胶体溶液。

③ 催化剂的主要作用是结胶成形。由于水解液与耐火材料混合而结胶成形的时间很长，所以应加入催化剂。常用催化剂有氢氧化钙和氧化镁（分析纯）。呈粉状的固体催化剂可直接按比例混入耐火材料中，液体催化剂与水解液混合后应立即与耐火材料混合。

水解液的结胶速度主要取决于酸碱度 pH 值。催化剂可以是碱性物质也可以是酸性物质，从生产安全上考虑，往往使溶液呈弱酸性而加入碱性催化剂。实



验证明, $\text{pH} < 1$ 或 $\text{pH} = 5 \sim 6$ 时, 是溶液结胶的最快区域。因此可以在溶液中加入适量的催化剂以改变溶液的 pH 值, 提高结胶速度。

④ 透气剂。加入透气剂是增加陶瓷型透气性的一种途径。透气剂有两种类型, 一种在喷烧烘干时能烧去而使陶瓷型形成细微空隙, 如松香、糖浆、糊精及酚醛树脂等; 另一种在分解时能放出气体而在陶瓷浆料中形成微小气孔, 如碳酸钡、双氧水等。实际生产中常用质量分数大于 29% 的分析纯双氧水。

⑤ 分离剂。分离剂用于防止水解液对母模的吸附而引起的黏模。木制母模可先涂石蜡、石蜡—石墨粉混合物, 然后再涂上一层上光蜡或地板蜡。金属母模往往先涂上一层凡士林油再涂上光蜡。母模上的这些涂料都是分离剂。

陶瓷浆料配制的次序为: 首先, 将耐火材料与催化剂均匀混合, 接着, 加入透气剂, 然后, 将水解液倒入灌浆容器内, 随后在搅拌状态下倒入粉料, 再搅拌, 注意排除气泡和结胶现象的出现。

所谓结胶期就是将粉料倒入水解液后搅拌到浆料停止流动的这段时间。它主要取决于溶液的 pH 值。结胶期的长短根据操作工艺要求决定, 中、小件控制在 $3 \sim 5\text{min}$, 大件则应控制在 $10 \sim 15\text{min}$ 为宜, 在保证粉料灌浆后不沉淀分层时即可停止搅拌, 开始灌浆。

5) 灌注陶瓷浆料。灌浆要适时。可以在灌浆时取小样试验以测定结胶时间, 作为大件灌浆时的参考。灌浆后可稍加震动, 务必使浆料中的气泡不致附着于母模表面。

6) 起模。陶瓷浆料灌浆后便开始结胶, 一般在结胶后 $5 \sim 15\text{min}$ 起模较好。起模过早, 强度低, 导致陶瓷型损坏; 起模过迟会出现陶瓷型收缩黏模。起模时应使母模平稳取出, 防止陶瓷型的破损。

7) 喷烧。起模后可立即或隔半分钟后用明火均匀地在整个陶瓷型表面加热, 对空气不易进入的地方可吹入空气助燃, 这个工艺称为喷烧。喷烧 1min 左右即可停止, 让其自行燃烧至熄灭。喷烧的目的是使陶瓷型中的溶剂迅速均匀地挥发掉, 形成均匀密布的网状显微裂纹, 避免产生收缩变形, 稳定陶瓷型尺寸。

8) 烘干。目的是使陶瓷型中残存的溶剂、水分和少量的有机物烧除。

9) 在陶瓷型造形工艺结束以后, 即可进行金属液的浇注, 其过程与一般铸造工艺相似。

10) 热处理、机加工。陶瓷型模具最好冷却到室温时再开箱, 这样可防止模具变形。模具清理后其外形应进行机械加工; 对钢制模具, 机械加工外形后再进行热处理及型腔抛光。



9.5 环氧树脂型腔模

在新产品试制或制品批量较小的情况下，为了快速制模，降低成本，可采用环氧树脂来制作中小型的注射模型腔，其寿命约为4 000~5 000次。

环氧树脂模具的结构如图9-24所示。环氧树脂只是用来制作型腔，其余部分仍为金属制成。由于环氧树脂的力学性能承受不了注射过程中的反复合模和注射压力，必须要有金属框架加强。环氧树脂模的制作工艺过程大致如图9-25所示。

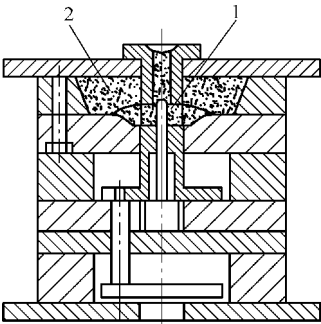


图9-24 环氧树脂模具的结构
1—塑料制件 2—环氧树脂型腔

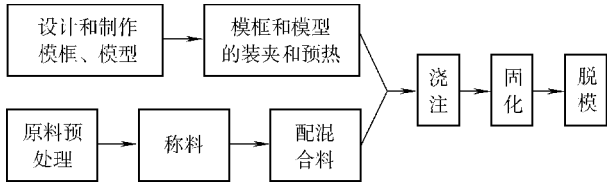


图9-25 环氧树脂模的制作工艺过程

环氧树脂混合料的配方种类很多，表9-4是常用的一种。

按配方称量好各种材料，然后按下列顺序配制：加入环氧树脂6207及顺丁烯二酸酐→加入甘油→加入环氧树脂634→加入铝粉搅拌均匀→抽真空至无气泡→取出浇注。

将浇注好的模具放入90℃的烘箱中保温3h，升温至120℃保温3h，再升温至180℃保温20h，然后缓慢冷却，就可开模取出模型。如需要可对环氧树脂型腔进行机加工修正。

表9-4 环氧树脂混合料的配方

材料名称	规格	质量比
环氧树脂6207	工业用	83
环氧树脂634	工业用	17
顺丁烯二酸酐	化学纯	48
金属铝粉	100/200目	220
甘油	工业用	5





9.6 冷挤压成型

冷挤压加工是在常温条件下,将淬硬的工艺凸模压入模坯,使坯料产生塑性变形,以获得与工艺凸模工作表面形状相同的内成型表面。它是利用金属塑性变形原理,实现模具型腔无切削加工的一种方法,适用于加工制造以有色金属、低碳钢、中碳钢、部分有一定塑性的工具钢、合金钢(如10、20、20Cr、T8A、T10A、3Cr2W8V等)为材料的塑料模型腔、压铸模型腔、锻模型腔和粉末冶金压模的型腔。适用于加工多型腔模具和有浮雕花纹及文字的型腔。对塑性差的材料只能挤压形状简单,深度浅的模具型腔。

1. 冷挤压的成型特点

1) 可以加工形状复杂的型腔,尤其适合于加工某些难于切削加工的形状复杂的型腔。

2) 挤压过程简单迅速,生产率高;一个工艺凸模可以多次使用。对于多型腔凸模采用这种方法,生产效率的提高更明显。

3) 挤压的模具型腔,其尺寸精度可达IT 7级或更高,表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$ 。

4) 冷挤压的型腔,材料纤维未被切断,金属组织更为紧密,型腔强度高、耐磨性高。

2. 冷挤压成型的方式

冷挤压成型的方式有闭式挤压和开式挤压两种。

1) 闭式挤压。如图9-26所示为闭式挤压,是将坯料放在冷挤压模套内进行挤压加工。在工艺凸模被压入坯料的过程中,工艺凸模和坯料约束在导向套与模套内进行挤压,除使工艺凸模获得良好的导向外,还能防止凸模断裂或坯料开裂飞出。由于坯料的变形受到模套的限制,金属只能朝着工艺凸模压入的相反方向产生塑性流动,迫使变形金属与工艺凸模紧密贴合,提高了型腔的成形精度。由于金属的塑性变形受到限制,所以需要的挤压力较大。

闭式挤压适用于精度要求较高、深度较大、坯料体积较小的型腔,如:注射模、压缩模、压铸模的型腔等。

2) 开式挤压。如图9-27所示为开式挤压,即在被挤压毛坯外面不加模套的方式。在挤压前,其准备工作比闭式挤压简单。被挤压金属的塑性流动,不

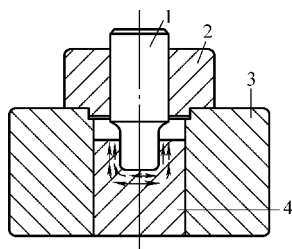


图9-26 闭式挤压

1—工艺凸模 2—导向套
3—冷挤压模套 4—坯料



但沿工艺凸模的轴线方向,也沿半径方向,因此,开式挤压只适用于形状简单的且加工精度要求不高的锻模型腔,并在模坯厚度和型腔深度之比较大的情况下使用。否则坯料将向外胀过大或产生很大翘曲,使型腔的精度降低,甚至使坯料开裂报废。

3. 挤压设备

由于型腔冷挤压所需的工作运动简单、行程短、挤压工具和坯料体积小、单位挤压力大、挤压速度低,所以冷挤压一般选用构造不太复杂的小型专用油压机作为挤压设备。要求油压机刚性好、活塞运动时导向准确,工作平稳,能方便地观察挤压情况和反映挤入深度。

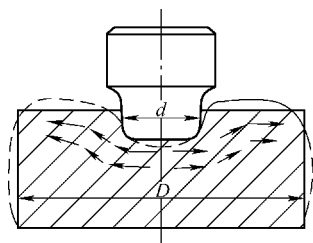


图 9-27 开式挤压

4. 冷挤压成型工艺过程

(1) 坯料准备

冷挤压加工时,坯料的性能、组织,以及坯料的形状、尺寸和表面粗糙度等对型腔的加工质量都有直接影响。为了便于进行冷挤压加工,模坯材料应具有低的硬度和高的塑性,型腔成型后其热处理变形应尽可能小。因此,坯料在冷挤压前必须进行热处理,以提高材料的塑性、降低强度以减小挤压时的变形抗力。低碳钢需退火处理到硬度为 100~160HBS,中碳钢需球化退火到 160~200HBS。同时,坯料的端面积与型腔在端面上投影面积之间的比值要足够大,以防止在冷挤压时坯料产生翘曲或开裂。

(2) 工作准备

检查冲头、坯料、模套质量,应作到表面应无伤痕、符合图样要求,检查油压机的设备状况。冲头、坯料的被挤压表面应去除油污,做润滑处理,这样可以防止冲头与坯料表面之间产生粘附,减少坯料破坏的可能性,提高冲头的使用寿命。

常用的润滑方法有两种:一种最简便的润滑方法,是将经过去油清洗的工艺凸模与坯料,在硫酸铜饱和溶液中浸渍 3~4s,并涂以凡士林或机油稀释的二硫化钼润滑剂;另一种较好的润滑方法,是将工艺凸模进行镀铜或镀锌处理,而将坯料进行除油清洗后,放入磷酸盐溶液中进行浸渍,使坯料表面产生一层不溶于水的金属磷酸盐薄膜,其厚度一般为 5~15 μm ,这层金属磷酸盐薄膜与基体金属结合十分牢固,能承受高温、高压,有多孔性组织,能储存润滑剂。挤压时再用机油稀释的二硫化钼作润滑,涂于工艺凸模和坯料表面,就可以保证高压下坯料与工艺凸模隔开。注意在涂润滑剂时,避免润滑剂在文字或花纹内堆积,以免影响图形或文字的清晰。

(3) 装模





将坯料放入模套内，装好导向圈及冲头，推入油压机活塞中心。

(4) 挤压

按挤压深度调整深度限制挡块；关好安全门，开动油压机加压；深度达到额定值后，自动停机。

(5) 卸模

在油压机内将坯料及冲头一起顶出模套，卸开坯料。

(6) 检查

按图样要求检查各尺寸；深度不够时，应退火后再重新挤压。

9.7 超塑成型

超塑成型是以超塑性金属为模具型腔坯料，在超塑性状态下，将工艺凸模压入坯料内部实现模具型腔成形加工的一种工艺方法。超塑性是指某些金属材料在一定条件下具有特别好的塑性，其延伸率可达 100% ~ 2 000% 现象。伸长率能超过 100% 的金属材料均称为超塑性金属。

超塑性金属有多种，常用于模具制造的有：ZnAl22、T8A、9SiCr 等。

1. 超塑性的类型

按实现超塑性的条件，超塑性主要分为细晶粒超塑性和相变超塑性两种类型。

1) 细晶粒超塑性。细晶粒超塑性具有 3 个条件，即具有等轴稳定的细晶组织；成形温度 $T \geq 0.5T_{\text{熔}}$ ，其中： $T_{\text{熔}}$ 为用热力学温度表示的熔点，且温度恒定；应变速度占在 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{s}^{-1}$ 的区间内。

2) 相变超塑性。要求金属具有相变或同素异构转变。在载荷作用下，在相变点附近反复加热冷却，循环一定次数后，结构上发生变化而进入超塑性状态。

2. 超塑成型的特点

1) 由于材料有大的塑性，加工过程中不会断裂，也不硬化，对获得形状复杂的型腔非常有利。

2) 尺寸精度与表面粗糙度随凸模的尺寸精度和表面粗糙度而定。

3) 适用于锻模、拉深模和气压成形模等。

3. 超塑成型的工艺过程

如图 9-28 所示为超塑成形的工艺过程。具体步骤内容如下。

(1) 加工前的准备

加工前的准备主要包括：坯料准备、凸模制造和套圈制造等。

1) 坯料准备。一般情况下，原材料在出厂前均已经过超塑性处理，所

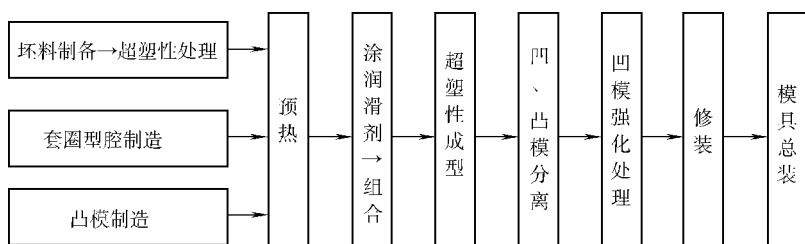


图 9-28 超塑成型的工艺过程

以，只需要选择适当的板料或棒料经切削加工为型腔坯料后，直接进行后续的超塑成型加工即可。若没有合适尺寸的毛坯材料，需自己加工并进行超塑性处理。

2) 凸模制造。凸模可以采用中碳钢、低碳钢、工具钢等材料制造，一般不需要热处理，且凸模的制造精度和表面粗糙度的要求均应比型腔高一级。在确定工艺凸模的尺寸时，要考虑模具材料及塑料制件的收缩率。

3) 套圈制造。套圈的作用就是在凸模压入毛坯时，使坯料的变形区域受到限制，使变形金属的塑性流动方向与工艺凸模的压入方向相反，变形金属与凸模表面紧密贴合，从而提高了型腔的成型精度。套圈的内部尺寸由型腔的外部形状尺寸决定，比坯料尺寸大 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ，套圈高度应略高于模坯高度，壁厚不小于 25mm ，内壁粗糙度 $R_a < 0.63\mu\text{m}$ ，并加工成 $1:50$ 的锥度，以保证易于脱模。套圈可采用普通结构钢制造，套圈的热处理硬度为 42HRC 以上。

(2) 预热

将坯料和凸模安装在油压机上，按规定的规范加热升温、预热，达到超塑的条件。

(3) 涂润滑剂

常用的润滑剂有：295 硅脂、201 甲基硅油、硬脂酸锌等。合理的润滑不仅能降低单位压力，还能使型腔获得理想的尺寸精度和表面粗糙度。

(4) 超塑成型

在预热的装置中通过施压，使凸模压入坯料完成成型。超塑性加工时须保持恒温。

(5) 卸模、热处理

卸模，进行热处理，以恢复合金的强度。

(6) 检验

按图样要求检验，完成其他加工，和其他模具零件装配。



思考与练习题

1. 快速成型技术在模具制造中的作用是什么？有哪些快速成形方法？
2. 用快速成型法制造零件模型有哪些步骤？
3. 哪些快速成型方法可以直接制造模具？
4. 电铸型腔的一般工艺过程如何？
5. 陶瓷型制模的工艺过程如何？
6. 熔模制造技术的工艺过程如何？影响制件精度的因素有哪些？
7. 成型零件批量不大，同时工期很短时，应选择什么制模方法？

第 10 章 模具的研磨与抛光

在模具制造过程中，形状加工后的平滑加工和镜面加工称为模具零件表面的研磨与抛光加工（简称模具的研磨与抛光）。

随着市场对工业产品的多样化、高档化、复杂化和短交货周期等条件的要求下，为适应各行业成型制件的加工需要，模具工作型面的精度和粗糙度要求越来越高，尤其是长寿命、高精度模具，其精度已经要求达到微米级，如何提高影响产品质量的模具质量与精度，是一项重要的任务。

模具成型表面的粗糙度对模具寿命和制造质量都有较大影响。磨削成型表面不可避免地要留下磨痕、裂纹和伤痕等缺陷，这些缺陷对于某些精密冲压模具影响较大，它们会造成模具刃口崩刃，尤其是硬质合金材料对此反应更为敏感。为消除这些缺陷，成型表面一部分可以采用超精密磨削达到设计要求，但异型和高精度的模具工作表面都需要进行研磨抛光加工，应在磨削后进行研磨抛光处理，它是模具制造过程中的最后一道工序，研磨抛光工作的好坏直接影响模具使用寿命、成型制品的表面光泽度、尺寸精度等，它是提高模具质量的重要工序。

各种中、小型冷冲压模和型腔模的工作型面采用电火花和线切割加工之后，成型表面形成一层薄薄的变质层，变质层上的许多缺陷也需要用研磨抛光来去除，以保证成型表面的精度和表面粗糙度。

研磨抛光加工一般依靠钳工手工加工来完成，传统方法是用锉刀、纱布、油石或电动软轴磨头等工具，所耗费的工时约占模具加工总工时的 30% 左右，既费工耗时，又难于保证质量，已成为模具生产的薄弱环节。随着现代制造技术的发展，采用了电解、超声波加工等技术，出现了电解抛光、超声波抛光，以及机械—超声波抛光等抛光新工艺，应用这些工艺，可以减轻劳动强度，提高抛光速度和质量。

10.1 研磨抛光的目、特点及分类

1. 研磨抛光的目的

- 1) 提高型腔模具的表面质量，以满足制件表面质量与精度要求。
- 2) 提高型腔模具浇口、流道的表面质量，以降低注射的流动阻力。



3) 使制件易于脱模。

4) 提高模具接合面精度,防止渗漏。提高模具尺寸精度及形状精度,相对地也提高了制件的精度。

5) 对产生反应性气体的材料进行模具成形时,可使得模具表面状态良好,具有防止被腐蚀的效果。

6) 在金属塑性成形加工中,防止出现沾粘和提高成形性能,并使模具工作零件型面与工件之间的摩擦和润滑状态良好。

7) 去除电加工时所形成的熔融再凝固层和微裂纹,以防止在生产过程中此层脱落而影响模具精度和使用寿命。

8) 减少了由于局部过载而产生的裂纹或脱落,提高了模具工作零件的表面强度和模具寿命。同时还可防止产生锈蚀。

2. 研磨抛光的特点

1) 尺寸精度高,加工热量少,表面变形和变质层很轻微,可获得稳定的高精度表面,尺寸精度可达 $0.025\mu\text{m}$ 。

2) 形状精度高。由于微量切削,研磨运动轨迹复杂,并且不受运动精度的影响,因此可获得较高的形状精度。球体圆度可达 $0.025\mu\text{m}$,圆柱体圆柱度可达 $0.1\mu\text{m}$ 。

3) 表面粗糙度低。在研磨过程中磨粒的运动轨迹不重复,有利于均匀磨掉被加工表面的突峰,从而降低表面粗糙度。表面粗糙度 R_a 值可达 $0.1\mu\text{m}$ 。

4) 表面耐磨性提高。由于研磨表面质量提高,使摩擦系数减小,又因有效接触表面积增大,故使耐磨性提高。

5) 抗疲劳强度提高。由于研磨表面存在着残余压应力,提高了零件表面的抗疲劳强度。

3. 研磨抛光的分类

(1) 按研磨抛光中的操作方式划分

1) 手工研磨抛光。主要靠操作者采用辅助工具进行研磨抛光。加工质量主要依赖操作者的技艺水平,劳动强度比较大,效率比较低。

2) 机械研磨抛光。主要依靠机械进行研磨抛光,如挤压研磨抛光、电化学研磨抛光等。机械研磨抛光质量不依赖操作者的个人技艺,工作效率比较高。

(2) 按磨料在研磨抛光过程中的运动轨迹划分

1) 游离磨料研磨抛光。在研磨抛光过程中,利用研磨抛光工具给游离状态的研磨抛光剂以一定压力,使磨料以不重复的轨迹运动进行微切削作用和微塑性挤压变形。

2) 固定磨料研磨抛光。研具本身含有磨料,在加工过程中,研具以一定压力接触被加工表面,磨料和工具的运动轨迹一致。



(3) 按研磨抛光的机理划分

- 1) 机械作用研磨抛光。以磨料对被加工表面进行微切削为主的研磨抛光。
- 2) 非机械作用研磨抛光。主要依靠电能、化学能等非机械能形式进行的研磨抛光。

(4) 按研磨抛光剂使用的条件划分

1) 湿研。将由磨料和研磨液组成的研磨抛光剂连续加注或涂敷于研具表面，磨料在研具和被加工表面之间滚动或滑动，形成对被加工表面的切削运动。这种方法的加工效率较高，加工表面的几何形状和尺寸精度不如干研，多用于粗研或半精研。

2) 干研。将磨料均匀地压嵌在研具表层中，施以一定压力进行研磨加工。可获得很高的加工精度和低的表面粗糙度，加工效率低，一般用于精研。

3) 半干研。类似湿研，使用糊状研磨膏，用于粗、精研均可。

10.2 研磨抛光的基本原理

1. 研磨的基本原理

研磨是使用研具、游离磨料对被加工表面进行微量加工的精密加工方法，将研具表面嵌入磨料或敷涂磨料并添加润滑剂，在一定的压力作用下，使研具与工件接触并做相对运动，通过磨料作用，从工件表面切去一层极薄的切屑，使工件具有精确的尺寸、准确的几何形状和较低的表面粗糙度，这种对工件表面进行的精密加工方法叫做研磨。

在研磨过程中，被加工表面发生复杂的物理、化学作用，其主要作用如下。

1) 微切削作用。在研具和被加工表面作相对运动时，磨料在压力作用下，对被加工表面进行微量切削。在不同加工条件下，微量切削的形式不同。当研具硬度较低、研磨压力较大时，磨粒可镶嵌到研具上产生刮削作用，这种方式有较高的研磨效率；当研具硬度较高时，磨粒不能镶嵌到研具上，磨粒在研具和被加工表面之间滚动，以其锐利的尖角进行微切削。在研磨脆性材料时，除滑动切削作用和滚动切削作用作用外，磨粒在压力作用下，使加工面产生裂纹，随着磨粒的运动，裂纹不断地扩大、交错，以致形成碎片，成为切屑脱离工件。

2) 挤压塑性变形。钝化的磨粒在研磨压力作用下挤压被加工表面的粗糙突峰，使突峰趋向平缓 and 光滑，被加工表面产生微挤压塑性变形。

3) 化学作用。在湿研磨时，所用的研磨剂内除了有磨粒外，还常加有油酸、硬脂酸等酸性物质，这些物质会使工件表面产生一层很软的氧化物薄膜，钢铁材料成膜时间只要 0.05s，氧化膜厚度约 2 ~ 7nm。凸点处的薄膜很容易被磨粒去除，露出的新鲜表面很快地继续被氧化，继续被去掉，如此循环，加速





了去除的过程,提高了研磨效率。

2. 抛光的基本原理

抛光是一种比研磨切削更微小的加工,其加工过程与研磨基本相同。研磨时研具较硬,其微切削作用和挤压塑性变形作用较强,在尺寸精度和表面粗糙度两方面都有明显的加工效果。抛光所用研具较软,其作用是进一步降低表面粗糙度,获得光滑表面,但不能改变表面的形状精度和位置精度,抛光加工后的表面粗糙度 R_a 值可达 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

在所有的机械加工痕迹都消除,获得洁净的金属表面以后,就可以开始抛光加工。通过抛光可以获得很高的表面质量,表面粗糙度 R_a 可达 $0.008\mu\text{m}$,并使加工面呈现光泽。由于抛光是工件的最后一道精加工工序,要使工件达到尺寸、形状、位置精度和表面粗糙度的要求,加工余量应适当。一般在 $0.005 \sim 0.05\text{mm}$ 范围内较为适宜,不能太大。可根据工件的尺寸精度而定,有时加工余量就留在工件的公差以内。

10.3 研磨工艺

1. 研磨运动轨迹

研磨时,研具与工件之间所作的相对运动,称为研磨运动。在研磨运动中,研具(或工件)上的某一点在工件(或研具)表面上所走过的路线,就是研磨运动的轨迹。研磨时选用不同的运动轨迹能使工件表面各处都受到均匀的研削,通过工件的被加工面与研具工作面作相密合的研磨运动,获得比较理想的研磨效果,保持研具的均匀磨损,提高研具的寿命。

研磨运动应满足以下几点。

1) 研磨运动应保证工件均匀地接触研具的全部表面。这样可使研具表面均匀受载、均匀磨损,且能长久地保持研具本身的表面精度。

2) 研磨运动应保证工件受到均匀研磨,即被研工件表面上每一点的研磨量均应相同。这对于保证工件的几何形状精度和尺寸均匀性来说是至为重要的。

3) 研磨运动应使运动轨迹不断有规律地改变方向,避免过早地出现重复。这样可使工件表面上的无数切削条痕能有规律地相互交错抵消,即越研越平滑,从而达到提高工件表面质量的目的。

4) 研磨运动应根据不同的研磨工艺要求,具体选取最佳运动速度。研磨细长的大尺寸工件时,需要选取低速研磨;而研磨小尺寸或低精度工件时,则可选中速或高速研磨,以提高生产效率。

5) 整个研磨运动自始至终应力求平稳,特别是研磨面积小而细长的工件,更要注意使运动方向的改变要缓慢,避免拐小弯,运动方向要尽量偏于工件的



长边方向并放慢运动速度。否则，会因运动的不平稳造成被研表面的不平，或掉边、掉角等质量弊病。

6) 在研磨运动中，研具与工件之间应处于弹性浮动状态，而不应是强制的限位状态。这样可以使工件与研具表面能够更好地接触，把研具表面的几何形状准确地传递给工件。

常用的手工研磨运动形式有直线、摆线、螺旋线和仿“8”字形等几种。

2. 研磨余量

(1) 研磨预加工余量的确定

工件在研磨前的预加工将直接影响到以后的研磨加工精度和研磨余量。如果研磨前的预加工精度很低，不但研磨工序消耗的工时多，而且研具的磨损也快，往往达不到研磨后预期的工艺效果。因此，为了保证研磨的精度和加工余量，工件在研磨前的预加工，应有足够的尺寸精度、几何形状精度和表面精度。

研磨前预加工的精度要求和余量的大小，要结合工件的材质、尺寸、最终精度、工艺条件，以及研磨效率等来确定。对面积大或形状复杂且精度要求高的工件，研磨余量应取较大值；预加工的质量高，研磨量取较小值。

(2) 研磨中研磨余量的确定

为了达到最终的精度要求，工件往往需要经过粗研、半精研、精研等多道研磨工序才能完成。而研磨工序之间的加工余量也应考虑研磨加工精度和研磨余量。余量小，下道工序研磨不出应有的效果，余量大，下道工序加工困难。表 10-1 是淬硬钢件双向平面研磨余量的实例。

表 10-1 淬硬钢件双向平面研磨余量

工 序 名 称		加工余量/mm	磨 料 粒 度	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
备料成形				3.2
淬火前粗磨		0.35 ~ 0.05	46#	0.8
淬火后精磨		0.05 ~ 0.01	60#	0.4
1 次	粗研	0.011 ~ 0.003	W5 ~ W7	0.1
2 次		0.004 ~ 0.001	W3.5	0.05
1 次	半精研	0.0015 ~ 0.0005	W2.5	0.025
2 次		0.0005 ~ 0.0003	W1.5	0.012
精研		达到最后公称尺寸	W1 ~ 1.5	0.008

3. 研磨的压力、速度和时间

(1) 研磨的压力

研磨过程中，工件与研具的接触面积由小到大，适当地调整研磨压力，可以获得较高的效率和较低的表面粗糙度。但是研磨的压力不能太大，若研具硬





度较高而研磨压力太大时,磨粒很快被压碎,使切削能力降低。特别是在干研磨时,当研具硬度较低而研磨压力过大时,磨粒会被大量嵌进研具表面,使切削能力大大增强,但因研磨动作加剧而导致工件和研具受热变形,直接影响到研磨质量和研具的寿命。反之,研磨的压力也不能太小,压力太小会使切削能力降低,同时生产效率也降低。在一定范围内,研磨压力与生产效率成正比。

研磨压力一般取 $0.01 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 。一般手工粗研磨的压力约为 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$;精研磨的压力约为 $0.01 \sim 0.05 \text{ MPa}$ 。对于机械研磨来说,因机床开始启动时摩擦力很大,研磨压力可调小些,在研磨过程中,可调到某一定值,研磨终了时,为获得高精度,研磨压力可再减小些。在所用压力范围内,工件表面粗糙度是随着研磨压力的降低而降低的。当研磨压力在 $0.04 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 范围内时,对降低工件表面粗糙度收效较为显著。一般对较薄的平面工件,允许的最大压力以 0.3 MPa 为好。

(2) 研磨的速度

在一定条件下,提高研磨速度可以提高研磨效率。但是,如果工件的加工精度要求很高,采用较高的研磨速度进行研磨则不能得到令人满意的效果。较高的研磨速度的缺点如下。

- 1) 将产生较高的热量,使精度降低。
- 2) 使研具表面较快地磨损,从而影响工件的几何形状和精度。
- 3) 对圆盘研磨来说,可使研磨盘外圈与内圈的速度差增加,因研磨量与研磨所走的路程成正比,所以经常是外圈的研磨量大于内圈的研磨量。

合理地选择研磨速度应考虑加工精度、工件的材质、硬度、研磨面积等,同时也要考虑研磨的加工方式等多方面因素。一般研磨速度应在 $10 \sim 150 \text{ m/min}$ 之间;对于精密研磨来说,其研磨速度应选择在 30 m/min 以下;一般手工粗研磨每分钟约往复 $40 \sim 60$ 次;精研磨每分钟约往复 $20 \sim 40$ 次。

(3) 研磨的时间

研磨时间和研磨速度这两个研磨要素是密切相关的,它们都同研磨中工件所走过的路程成正比。在研磨的初始阶段,因有工件的原始粗糙度及几何形状误差,工件与研具接触面积较小,使磨粒压下较深。随着研磨时间增加,磨粒压下渐浅,通过工件横截表面的磨粒增多,工件几何形状误差的消除和表面粗糙度的改善较快,而后工件与研具上的磨粒接触较多,此时磨粒压下深度较浅,各点切削厚度趋于均匀,则逐步缓慢下来。研磨时间再加长,超过一定的研磨时间之后,磨粒钝化得更细,压下更浅,切削能力也更低了,并逐渐趋向稳定,不仅加工精度趋向稳定不再提高,甚至会因过热变形而丧失精度,并使研磨效率降低。



对粗研磨来说,为获得较高的研磨效率,其研磨时间主要根据磨粒的切削快慢来决定。对精研磨来说,研磨时间在 $1\sim 3\text{min}$ 范围,对研磨效果的改变已变缓,超过 3min ,对研磨效果的提高没有显著变化。为提高研磨效率,缩短总的研磨时间,对每种粒度的磨料所对应的最佳研磨时间应严格控制。

4. 研磨的步骤

仅就研磨来讲,使工件表面呈镜面,并不是最后抛光一个工序所能加工出来的,而是要经过粗研磨、半精研磨、精研磨等多道工序的预加工。工件表面粗糙度数值要求得越低,抛光之前的预研磨工序也就越多,表面粗糙度数值的降低是循序渐进的。例如,进行一次粗研磨,可使工件表面呈暗光泽面,表面粗糙度 R_a 达 $0.1\mu\text{m}$;进行二次粗研磨,可使工件表面呈亮光泽面,表面粗糙度 R_a 达 $0.05\mu\text{m}$;进行一次半精研磨,可使工件表面呈镜状光泽面,表面粗糙度 R_a 达 $0.025\mu\text{m}$;进行二次半精研磨,可使工件表面呈雾状镜面,表面粗糙度 R_a 达 $0.012\mu\text{m}$;进行最终精研磨(抛光),可使工件表面呈镜面,表面粗糙度 R_a 达 $0.008\mu\text{m}$ 。

磨粒粗,切削能力强,研磨效率高,所获得的研磨表面质量低。磨粒细,切削能力弱,研磨效率低,所获得的研磨表面质量高。因此,为提高研磨效率,选择磨料粒度时,应从粗到细,分级研磨,最终研磨到工件所要求的表面粗糙度数值。

10.4 研磨抛光剂

研磨抛光剂是由磨料和研磨抛光液组成的均匀混合剂。

1. 磨料

磨料在研磨抛光加工中,起着对被加工工件表面进行微切削和微挤压的作用,对加工质量起着重要作用。

(1) 磨料的种类

磨料的种类很多,一般是按硬度来划分的。硬度最高的是金刚石,包括人造金刚石和天然金刚石两种;其次是碳化物类,如黑碳化硅、绿碳化硅、碳化硼和碳硅硼等;再次是硬度较高的刚玉类,如棕刚玉、白刚玉、单晶刚玉、铬刚玉、微晶刚玉、黑刚玉、锆刚玉和烧结刚玉等;硬度最低的是氧化物类(又称软质化学磨料),有氧化铬、氧化铁、氧化镁及氧化铈等。也可按天然磨料和人造磨料来分类。由于天然磨料存在着杂质多、磨料不均匀、售价高、优质磨料资源缺乏等限制,因此,目前几乎全部使用人造磨料。

可根据被加工材料的软硬程度和表面粗糙度,以及研磨抛光的质量要求等选择磨料的种类。常用磨料的种类及用途见表10-2。





表 10-2 常用磨料的种类及用途

系 列	磨 料 名 称	代号	颜 色	硬度和强度	用 途	
					工 件 材 料	应 用 范 围
金刚石系	人造金刚石	JR	灰色至黄白色	最硬	硬质合金、 光学玻璃	粗研磨
	天然金刚石	JT				精研磨
碳化物系	黑碳化硅	TH	黑色半透明	比刚玉硬，性脆 而锋利	铸铁、黄铜	
	绿碳化硅	TL	绿色半透明	较黑碳化硅硬 而脆	硬质合金	
	碳化硼	TP	灰黑色	比碳化硅硬而脆	硬质合金、 硬铬	
刚玉系	棕刚玉	GZ	棕褐色	比碳化物系稍软， 韧性好，能承受较 大压力	淬硬钢、铸铁	
	白刚玉	GB	白色	硬度比棕刚玉高， 而韧性稍低，切削 性能好		
	铬刚玉	GG	紫红色	韧性比白刚玉高		
	单晶刚玉	GD	透明，无色	多棱，硬度高， 强度高		
氧化物	氧化铬		深绿色	质软	淬硬钢、铸铁、 黄铜	极细的精研 磨（抛光）
	氧化铁		铁红色	比氧化铬软		
	氧化镁		白色	质软		
	氧化铈		土黄色	质软		

(2) 磨料的粒度

磨料的粒度是指磨料的颗粒尺寸。磨料可按其颗粒尺寸的大小分为磨粒、磨粉、微粉和超微粉四组。其中，磨粒和磨粉这两组磨料的粒度号数用每一英寸筛网长度上的网眼数目表示，其标志是在粒度号数的数字右上角加“#”符号。例如 240[#]，是指每一英寸筛网长度上有 240 个孔，粒度号的数值越大，表明磨粒越细小。而微粉和超微粉这两组磨料的粒度号数是以颗粒的实际尺寸来表示的，其标志是在颗粒尺寸数字的前面加一个字母“W”。有时也可将其折合成筛孔号。例如 W20 是表示磨料颗粒的实际尺寸在 20 ~ 14μm 之间，折合筛孔号为 500[#]。

在各种磨料的粒度中又有粗、中、细不同的颗粒。中粒是研磨粉中的基本



粒度，是决定磨料研磨能力的主要因素，在粒度组成中占有较大的比例。细粒在研磨中起很小的研削作用，粗粒除对研磨工件的质量不利外，而且还会降低研磨效率，应在粒度组成中尽量减少它们的数量。因此，从研磨的效率和工件的质量来说，都要求磨料的颗粒均匀。经过离心分选后的研磨粉其研磨能力将比分选前提高 20%。

磨料粒度主要依据研磨抛光前被加工表面的表面粗糙度，以及研磨抛光后的质量要求进行选择。粗加工选择大的粒度，精加工选择小的粒度。见表 10-3。

表 10-3 磨料粒度的选择

粒 度	能达到的表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	粒 度	能达到的表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
100 ~ 120	0.8	W28 ~ W14	0.2 ~ 0.10
120 ~ 320	0.8 ~ 0.20	< W14	≤ 0.10

(3) 磨料的硬度

磨料的硬度是指磨料表面抵抗局部外作用的能力，而磨具（如油石）的硬度则是粘结剂粘结的磨料在受外力时的牢固程度，它是磨料的基本特性之一。研磨的加工就是利用磨料与被研工件的硬度差来实现的，磨料的硬度越高，它的切削能力越强。

(4) 磨料的强度

磨料的强度是指磨粒本身的牢固程度。也就是当磨粒锋刃还相当尖锐时，能承受外加压力而不被破碎的能力。强度差的磨料，它的磨粒粉碎得快，切削能力低，使用寿命短。这就要求磨粒除了具有较高的硬度外，还应具有足够的强度，才能更好地进行研磨加工。

2. 研磨剂

研磨剂是磨料与润滑剂合成的一种混合剂。常用的研磨剂有液体和固体（或膏状）两大类。

(1) 液体研磨剂

液体研磨剂由研磨粉、硬脂酸、航空汽油、煤油等配制而成。其中，磨料主要起切削作用；硬脂酸溶于汽油中，可增加汽油的粘度，以降低磨料的沉淀速度，使磨粒更易均布，此外在研磨时，硬脂酸还有冷却润滑和促进氧化的作用；航空汽油主要起稀释作用，将磨粒聚团稀释开，以保证磨粒的切削性能；煤油主要起冷却润滑作用。

(2) 固体研磨剂

固体研磨剂是指研磨膏。常用的有抛光用研磨膏、研磨用研磨膏、研磨硬性材料（如硬质合金等）用研磨膏三大类。一般是选择多种无腐蚀性载体（如硬脂酸、硬脂、硬蜡、二乙醇胺、肥皂片、石蜡、凡士林、聚乙二醇硬脂酸脂、



雪花膏等) 加不同磨料来配制研磨膏。

10.5 研具

1. 研具材料

研具材料应具备如下技术条件: 组织结构细致均匀; 有很高的稳定性和耐磨性; 有很好的嵌存磨料的性能; 原则上工作面的硬度应比工件表面硬度稍低。但研具材料过软会使磨粒全部嵌入研具表面而使切削作用降低。

一般金属研具材料有: 灰铸铁、低碳钢、铜、黄铜、青铜、铅、锡、铅锡合金、铝、巴氏合金等。非金属研具主要使用木、竹、皮革、毛毡、玻璃、涤纶织物等材料。

灰铸铁中含有石墨, 所以耐磨性、润滑性及研磨效率都比较理想(特别是精研磨), 灰铸铁研具用于淬硬钢、硬质合金和铸铁材料的研磨; 低碳钢强度较高, 用于较小孔径的研磨; 黄铜和纯铜用于研磨余量较大的情况, 加工效率比较高, 但加工后表面光泽性差, 常用于粗研磨; 硬木、竹片、塑料和皮革等材料常用于窄缝、深槽及非规则几何形状的精研磨和抛光。

2. 研具

(1) 普通油石

普通油石一般用于粗研磨, 它由氧化铝或碳化硅等磨料和黏结剂压制烧结而成。使用时根据型腔形状磨成需要的形状, 并根据被加工表面的表面粗糙度和材料硬度选择硬度和粒度。当被加工零件材料较硬时, 应该选择较软的油石, 否则反之。当被加工零件表面粗糙度要求较高时, 油石要细一些, 组织要致密些。

(2) 研磨平板

研磨平板主要用于单一平面及中小镶件端面的研磨抛光, 如冲裁凹模端面、塑料模中的平面分型面等。研磨平板用灰铸铁材料, 并在平面上开设相交成 60° 或 90° , 宽 $1 \sim 3\text{mm}$, 距离为 $15 \sim 20\text{mm}$ 的槽, 研磨抛光时在研磨平板上放置微粉和抛光液。

(3) 研磨环

研磨环是用于车床或磨床上对外圆表面进行研磨的一种研具。研磨环有固定式和可调式两类, 固定式的研磨环的研磨内径不可调节, 而可调式的研磨环的研磨内径可以在一定范围内调节, 以适应研磨外圆尺寸的变化, 如图 10-1 所示。

(4) 研磨芯棒

固定式研磨芯棒的外径不可调节, 芯棒外圆表面带有螺旋槽, 以容纳研磨抛光剂。可调节芯棒如图 10-2 所示。



(5) 研磨抛光辅助工具

辅助工具有多种,如手持电动往复式研抛工具等,应根据被加工表面的形状特点进行选择。

1) 电动往复式。如图 10-3 所示,它的质量约 0.5kg,操作灵活方便。工作时手握研磨柄,动力从软轴传来,带动球头杆作直线往复运动,最大行程为 20mm,往复次数为 5 000 次/min。球头杆前端配 2 ~ 6mm 大小的圆形或矩形研磨环,可进入狭长沟槽研磨抛光。若将球头杆换成油石夹头、砂纸夹头或金刚石整形锉刀等,可进行较大尺寸平面或曲面的研磨抛光。

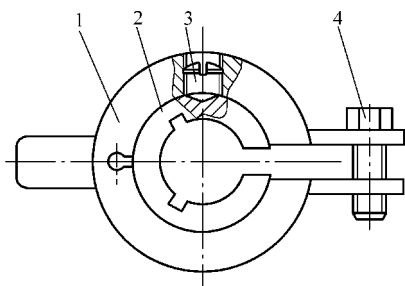


图 10-1 外圆研磨环

1—研磨套 2—研磨环
3—限位螺钉 4—调节螺钉

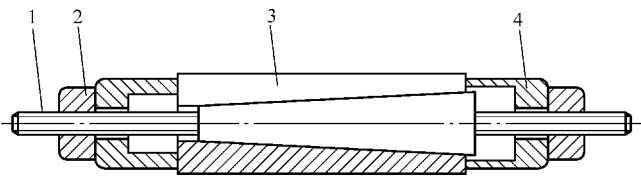


图 10-2 可调式内圆研磨芯棒

1—芯棒 2—螺母 3—研磨套 4—套

2) 电动直杆旋转式。手持电动直杆旋转式研磨抛光工具如图 10-4 所示,安装研磨抛光工具的夹头高速旋转实现研磨抛光。夹头上可以配置特形金刚石砂轮,研磨抛光不同曲率的凹弧面。还可配置 R4 ~ R12 的塑胶研磨抛光套或毛毡抛光轮,可以研磨抛光复杂形状的型腔或型孔。

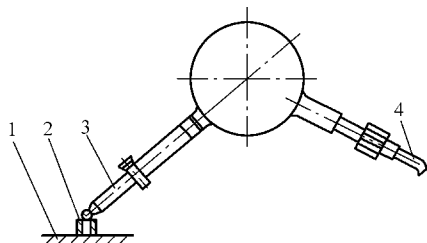


图 10-3 电动往复式研磨抛光工具

1—工件 2—研磨环 3—球头杆 4—软轴

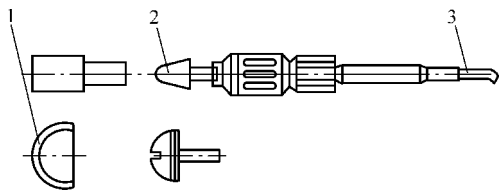


图 10-4 电动直杆旋转式研磨抛光工具

1—抛光套 2—砂轮 3—软轴



3) 电动弯头旋转式。手持电动弯头旋转式研磨抛光工具如图 10-5 所示, 它可以伸入型腔, 对有角度的拐槽、弯角部位进行研磨抛光加工。

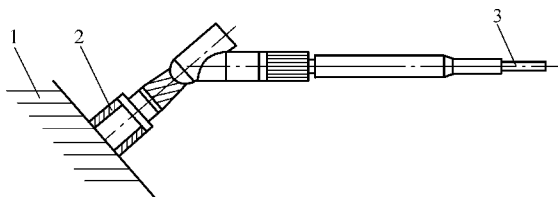


图 10-5 手持电动弯头旋转式研磨抛光工具

1—工件 2—研抛环 3—软轴

辅助研磨抛光工具可以提高研磨抛光效率和减轻劳动强度, 但是研磨抛光质量仍取决于操作者的技术水平。

3. 抛光工具

(1) 手工抛光工具

1) 平面用抛光器。如图 10-6 所示, 抛光器手柄的材料为硬木, 在抛光器的研磨面上, 用刀刻出大小适当的凹槽, 在离研磨面稍高的地方刻出用于缠绕布类制品的止动凹槽。

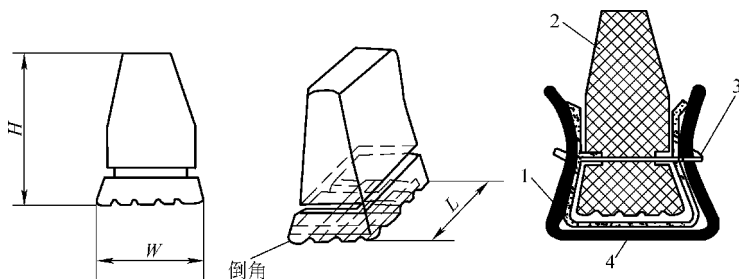


图 10-6 平面用抛光器

1—人造皮革 2—木质手柄 3—铁丝或铝丝 4—尼龙布

若使用粒度较粗的研磨剂进行研磨加工时, 只需将研磨膏涂在抛光器的研磨面上进行研磨加工即可。

若使用极细的超微粉 (如 W1) 进行抛光作业时, 可将人造皮革缠绕在研磨面上, 再把磨粒放在人造皮革上并以尼龙布缠绕, 用铁丝沿止动凹槽捆紧后进行抛光加工。

若使用更细的磨料进行抛光, 可把磨料放在经过尼龙布包扎的人造皮革上, 以粗料棉布或法兰绒再包扎后, 进行抛光加工。原则上是磨粒越细, 采用越柔



软的布包卷。每一种抛光器只能使用同种粒度的磨粒。各种抛光器不可混放在一起，应使用专用密封容器保管。

2) 球面用抛光器。如图 10-7 所示，球面削抛光器的制作方法与平面用抛光器基本相同。抛光凸形工件的研磨面，其曲率半径一定要比工件曲率半径大 3mm，抛光凹形工件的研磨面，其曲率半径比工件曲率半径小 3mm。

3) 自由曲面用抛光器。对于平面或球面的抛光作业，由于其研磨面和抛光器保持紧密接触的位置关系，故不在乎抛光器的大小。但是自由曲面是呈连续变化的，使用太大的抛光器时，容易损伤工件表面的形状。因此，对于自由曲面，应使用小型抛光器进行抛光，抛光器越小越容易模拟自由曲面的形状，如图 10-8 所示。

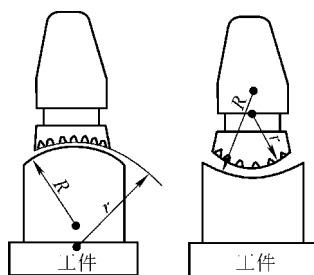


图 10-7 球面用抛光器

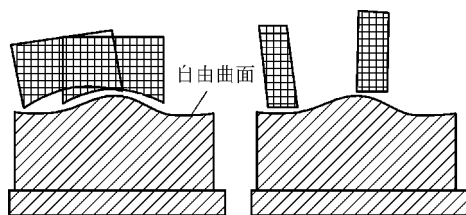


图 10-8 自由曲面用抛光器

a) 大型抛光器 b) 小型抛光器

(2) 电动抛光工具

由于模具工作零件型面的手工抛光工作量大。因此，在模具行业中正在逐步扩大应用电动抛光机以提高抛光效率和降低劳动强度。所使用的电动抛光工具即前面所述的研磨抛光辅助工具。

电动抛光机的结构在前面已经介绍过，下面介绍两种常用的抛光方法。

1) 加工面为平面或曲率半径较大的规则面时，采用手持角式旋转研抛头或手持直身式旋转研抛头，配用铜环，将抛光膏涂在工件上进行抛光加工。

2) 加工面为小曲面或复杂形状的型面时，采用手持往复式研抛头，配用铜环，将抛光膏涂在工件上进行抛光加工。

(3) 新型抛光磨削头

新型抛光磨削头是采用高分子弹性多孔性材料制成的一种新型磨削头，这种磨削头具有微孔海绵状结构，磨料均匀，弹性好，可以直接进行镜面加工。使用时磨削力均匀，产生热量少，不易堵塞，能获得平滑、光洁、均匀的表面。弹性磨料配方有多种，分别用于磨削各种材料。磨削头在使用前可用砂轮修整成各种需要的形状。





10.6 常用的研磨抛光方法

1. 手工研磨抛光

(1) 用油石研磨抛光

油石研磨主要是对型腔的平坦部位和槽的直线部分进行抛光。研磨抛光前应做好以下准备工作。

1) 选择适当种类的磨料、粒度、形状和硬度的油石。

2) 应根据研磨抛光面大小选择适当大小的油石,以使油石能纵横交叉运动。当油石形状与加工部位的形状不相吻合时,需用砂轮修整器对油石形状进行修整,图 10-9 所示是修整后用于加工狭小部位的油石。

当型面存在较大的加工痕迹时,油石粒度可以用 320[#]左右,按表 10-4 选用。硬的油石会加深痕迹。

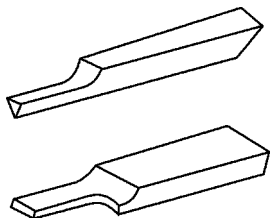


图 10-9 修整后的油石

表 10-4 油石的选用

油 石 粒 度	320 [#]	400 [#]	600 [#]	800 [#]
能达到的表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	1.6	1.0	0.40	0.32

研磨抛光过程中由于油石和工件紧密接触,油石的平面度将因磨损而变差,对磨损变钝的油石应及时在铁板上用磨料加以修整。

研磨抛光时需要使用研磨液,研磨液在研磨过程中起调和磨料的作用,使磨料分布均匀,也起润滑和冷却的作用,有时还起一定化学作用,加速研磨抛光过程。常用的研磨液是 L—AN 15 机械油。精研时可用 L—AN 15 机械油 1 份、煤油 3 份,透平油或锭子油少量,轻质矿物油或变压器油适量。

在加工过程中要经常用清洗油对油石和加工表面进行清洗,否则会因油石气孔堵塞而使加工速度下降。

(2) 用砂纸研磨抛光

研磨抛光用砂纸有氧化铝、碳化硅、金刚砂砂纸,根据不同的研磨抛光要求可采用不同粒度号数的砂纸。操作时手持砂纸,压在加工表面上作缓慢运动,以去除机械加工的切削痕迹,使表面粗糙度减小,这是一种常见的研磨抛光方法。研磨抛光时可用比研磨零件材料软的竹或硬木压在砂纸上进行。抛光过程中必须经常对抛光表面和砂纸进行清洗,并按照抛光的程度依次改变砂纸的粒度号数。研磨液可使用煤油、轻油。



(3) 用磨粒进行研磨抛光

用磨粒进行研磨是在工件和工具（研具）之间加入研磨剂，在一定压力下由工具和工件间的相对运动，驱动大量磨粒在加工表面上滚动或滑擦，切下微细的金属层而使加工表面的表面粗糙度减小。同时研磨剂中加入的硬脂酸或油酸与工件表面的氧化物薄膜产生化学作用，使被研磨表面软化，从而促进了研磨效率的提高。

研磨剂由磨料、研磨液（煤油或煤油与机油的混合液）及适量辅料（硬脂酸、油酸或工业甘油）配制而成。研磨钢时，粗加工用碳化硅或白刚玉，淬火后的精加工则使用氧化铬或金刚石粉作磨料。

(4) 用研磨膏研磨抛光

用竹棒、木棒作为研磨抛光工具沾上（涂上）研磨膏进行研磨。研磨膏在使用时要用煤油或汽油稀释。

2. 电动工具研磨抛光

主要用于模具研磨抛光的手持电动工具是电动抛光机。电动抛光机带有三种不同的研抛头，使用不同的研抛头，配上不同的磨削头，可以进行各种不同的研磨抛光工作。

(1) 往复式研抛头

往复式研抛头的一端与软轴连接，另一端可安装研具或锉刀、油石等。研抛头在软轴传动下可作频繁的往复运动，最大行程为 20mm，往复频率最高可达 5 000 次/min。研抛头工作端可按加工需要在 270°范围内调整。应用的研具主要以圆形或方形铜环、圆形或方形塑料环配上球头杆进行研磨抛光。卸下球头杆可安装金刚石锉刀、油石夹头或砂纸夹头。

(2) 直身式旋转研抛头

直身式研抛头在软轴传动下作高速旋转运动。可装夹 $\phi 2 \sim \phi 12\text{mm}$ 的特型金刚石砂轮进行复杂曲面的修磨。装上打光球用的轴套，用塑料研磨套可研抛圆弧部位。装上各种尺寸的羊毛毡抛光头可进行研磨抛光。

(3) 角式旋转研抛头

角式旋转研抛头呈角式，因此便于伸入型腔。应用的场合主要是与铜环配合使用于研磨抛光工序；与塑料环配合使用于抛光、研光工序；将尼龙纤维圆布、羊毛毡紧箍于布用塑料环上用于抛光。

10.7 其他研磨抛光技术

10.7.1 超声波抛光

人耳能听到的声波频率为 16 ~ 16 000Hz，频率低于 16Hz 的声波为次声波，





频率超过 16 000Hz 的声波为超声波。用于加工和抛光的超声波频率为 16 000 ~ 25 000Hz, 超声波和普通声波的区别是频率高、波长短、能量大、有较强的束射性, 传播过程中反射、折射、共振、损耗等现象显著。

超声波抛光是超声波加工的一种特殊应用, 超声波抛光是利用工具端面作超声频振动, 迫使磨料悬浮液对硬脆材料表面进行加工的一种方法。它对工件只进行微量尺寸加工, 加工后能提高表面精度。超声波抛光不但可减小工件表面粗糙度, 甚至可得到近似镜面的光亮度。

1. 超声波抛光基本原理

超声波抛光的作用是降低表面粗糙度, 其原理如图 10-10 所示。超声波抛光的主要作用是磨料在超声振动下的机械撞击和抛磨。抛光时, 抛光工具 4 和工件 6 之间加入由磨料和工作液组成的磨料悬浮液 5, 并使抛光工具对工件保持 3 ~ 5N 的静压力, 推动抛光工具以 10 ~ 30 次/min 的频率作平行于工件表面的往复运动, 换能器 2 通入 50Hz 的交流电, 产生 16 000Hz 以上的超声频纵向振动, 并借助变幅杆 3 把位移振幅放大到 0.05 ~ 0.1mm 左右, 驱使抛光工具端面作超声振动, 迫使工作液中的悬浮磨料以很大的速度和加速度不断地撞击、抛磨被加工表面, 使被加工表面的材料不断遭到破坏, 并粉碎成很细的微粒, 从材料上打击下来, 实现微切削作用。虽然每次打击下来的粉末很少, 但由于每秒钟打击次数多达 16 000 次以上, 所以仍能保持一定的加工效率。其次是工作液中的空化作用加速了超声波抛光和加工的效率。所谓空化作用是当产生正面冲击时, 促使工作液钻入被加工表面的微裂处, 加速了机械破坏作用。在高频振动的某一瞬间, 工作液又以很大的加速度离开工件表面, 工件表面的微细裂纹间隙形成负压和局部真空。同时在工作液内也形成很多微空腔, 当工具端面以很大的加速度接近工件表面时, 迫使空泡闭合, 引起极强的液压冲击波, 强化了加工过程。

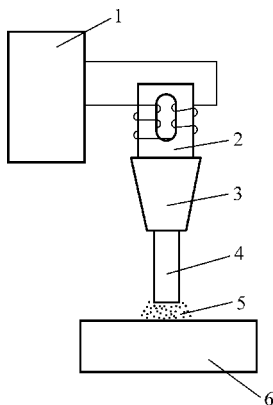


图 10-10 超声波抛光基本原理

1—超声发生器 2—换能器
3—变幅杆 4—抛光工具
5—磨料悬浮液 6—工件

2. 超声波抛光的特点

- 1) 适用于加工硬脆材料及不导电的非金属材料。
- 2) 抛光工具对工件的作用力和热影响小, 不会产生变形、烧伤和变质层, 表面的加工量非常微小, 加工精度可达 0.01 ~ 0.02mm, 表面粗糙度 R_a 可达 0.012 μm 。
- 3) 可以抛光薄壁、薄片、窄缝及低刚度零件。



4) 超声波抛光设备简单, 使用和维修方便, 操作容易, 效率高。

5) 由于抛光时工具头无旋转运动, 工具头可以用软材料做成复杂形状, 可以抛光复杂的型孔和型腔表面。

3. 超声波抛光设备

如图 10-11 所示为超声波抛光机的组成。超声波抛光机的功率大小和结构形状虽有所不同, 但其组成部分基本相同, 一般主要由超声波发生器、换能器和机械振动系统 3 部分组成。

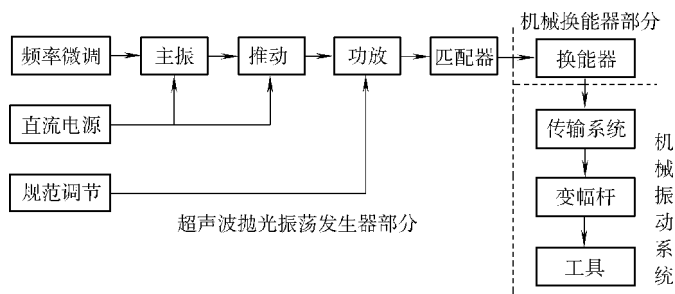


图 10-11 超声波抛光机的组成

(1) 超声波发生器

超声波发生器的作用是将 50Hz 的交流电转变成具有一定功率输出的超声波电振荡, 以提供工具端面往复振动和去除被加工材料的能量。基本要求: 输出功率和频率在一定范围内连续可调, 最好能具有对共振频率自动跟踪和自动微调的功能, 此外要求结构简单、工作可靠、价格便宜、体积小等。

(2) 机械振动换能器

换能器的作用是将超声波电振荡转换成机械振动。目前换能器有压电效应式和磁致伸缩效应式两种。

1) 压电效应式。石英晶体、钛酸钡、锆钛酸铅 (压电陶瓷) 等物质在受到机械压缩或拉伸变形时, 在它们两对面的介面上将产生一定的电荷, 形成一定的电势; 反之, 在它们的两介面上加以一定的电压, 则产生一定的机械变形, 这一现象称为压电效应。

石英晶体的伸缩量太小, 3 000V 电压才能产生 0.01 μm 以下的变形。钛酸钡的压电效应比石英晶体大 20~30 倍, 但效率和机械强度不如石英晶体。锆钛酸铅具有二者的优点, 一般可用作超声波清洗和小功率超声波抛光机的换能器。如图 10-12 所示为压电效应式换能器。将锆钛酸铅制成圆形薄片, 两面镀银, 经高压直流电进行极化处理, 一面为阳极, 一面为阴极。使用时将两片叠在一起, 阳极在中间, 阴极在两侧, 用螺钉夹紧。为了导电引线方便, 常用镍片夹在两压电陶瓷片阳极之间作为接线端片, 阳极必须与设备绝缘。





2) 磁致伸缩效应式。铁、钴、镍及其合金的长度能随着所处的磁场强度的变化而伸缩的现象称为磁致伸缩效应。其中：镍在磁场中的最大缩短量为其长度的0.004%，铁和钴则在磁场中伸长，当磁场消失后又恢复原有尺寸。

为减少高频涡流损耗，生产实际中常用纯镍片叠成封闭磁路的镍棒换能器，如图10-13所示。在两芯柱上同向绕以线圈，通入高频电流使之伸缩，与压电效应式相比，它有较强的机械强度和较大的输出功率，常用于中功率和大功率的超声波抛光机中。其缺点是镍片的涡流发热损失较大，能量转换效率较低，故加工过程中需用风或水冷却，否则随着温度升高，磁致伸缩效应变小甚至消失，也可能把线圈绕组沟的绝缘材料烧坏。

(3) 变幅杆

超声波抛光需0.01~0.02mm的振幅，压电效应式或磁致伸缩效应式所产生的变形量都很小，不能直接用来加工。因此，必须通过一个上粗下细的杆子将振幅加以放大，此杆称为变幅杆，也称为振荡扩大棒。

如图10-14所示为变幅杆，变幅杆的形式有圆锥形、指数形和阶梯形等。变幅杆之所以能扩大振幅，是由于通过它每一截面的振动能量是不变的，截面小的地方能量密度大。变幅杆大端与换能器的轴截面相连，所以连接面的截面大，而工作端截面小。因此，它可以将换能器的振幅扩大，满足超声加工的需要。

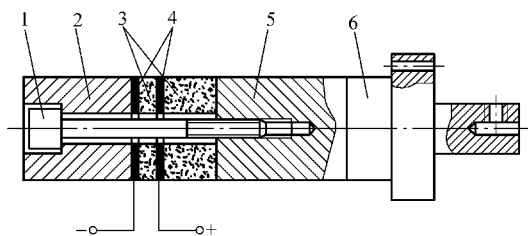


图 10-12 压电效应式换能器

1—压紧螺钉 2—主端块 3—压电陶瓷 4—导电镍片
5—下端块 6—变幅杆

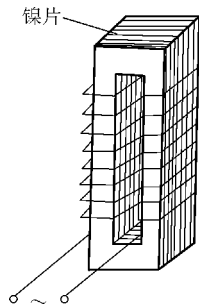


图 10-13 磁致伸缩效应式

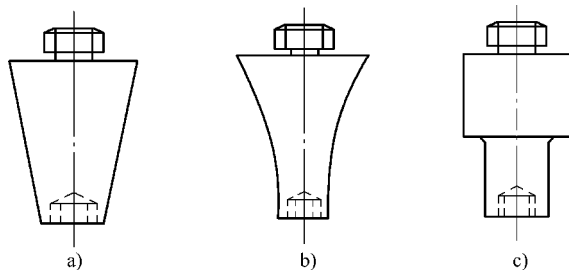


图 10-14 变幅杆

a) 锥形 b) 指数形 c) 阶梯形



为了减少超声振动在传递过程中的损耗和便于操作,抛光工具直接固定在变幅杆上,变幅杆和换能器设计成手持式工具杆的形式,并通过弹性软轴与超声波发生器相连接。工具和变幅杆之间采用机械或胶合方式相连接。超声波机械振动经变幅杆扩大振幅后传给工具,工具沿轴向振动。

超声波抛光工具分固定磨料抛光工具和游离磨料抛光工具,工具头的形状应该和模具抛光型腔的形状相适应。固定磨料式工具头有金刚石油石、电镀金刚石锉刀、刚玉油石等,这类磨料用于粗抛光。游离磨料式工具头采用硬木和竹片等材料,抛光时在抛光面涂以研磨粉和工作液的混合剂,用于精抛光。研磨粉是氧化铝、碳化硅等,工作液用煤油、汽油或水。

4. 超声波抛光工艺

(1) 抛光余量

模具成形表面经过电火花精加工之后,进行超声波抛光时的抛光余量一般控制在 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ 之内,特殊情况下抛光余量可小于或等于 0.15mm 。

(2) 抛光方式

欲使 $R_a = 1.25 \sim 2.5\mu\text{m}$ 的表面抛光后达到 $R_a = 0.63 \sim 0.08\mu\text{m}$,要经过逐级抛光才能达到。一般要经过粗抛、细抛和精抛几个阶段。粗抛光时采用固定磨料或采用 180° 左右的磨料进行抛光;细抛光时采用游离磨料方式,磨料粒度为 W40 左右;最后精抛光时采用 W5 ~ W3.5 的磨料进行干抛(不加工作液)。每次更换磨料时,都应该将工具头和抛光表面清洗干净。

5. 影响抛光效率的因素

(1) 工具的振幅和频率

超声波抛光的效率随着工具振动的频率和振幅的增大而提高,在分级抛光时可以在维持工具头压力的情况下,逐步提高工具头振动的频率和振幅。但是,随着频率和振幅的提高,使变幅杆和工具承受过大的交变应力,会导致变幅杆和工具的寿命降低。另外,随着频率和振幅的增大,使变幅杆和工具、换能器之间连接处的能量损耗增大。因此,一般振幅控制在 $0.01 \sim 0.1\text{mm}$,频率控制在 $16\,000 \sim 25\,000\text{Hz}$ 之间。此外,在加工时频率应调至共振频率,以取得最大振幅。

(2) 工具对工件的静压力

抛光时工具对工件的进给力也称静压力。随着工具头末端与工件抛光表面之间间隙的增大,磨料和工作液对抛光表面的压力降低,削弱了磨料对工件的撞击力和打击深度。当两者的间隙过小时,磨料和工作液不能顺利循环更新,降低了生产效率。因此,工具与工件之间应有一个合理的间隙和压力。

(3) 磨料的种类和粒度

磨料的种类应该根据被加工材料选择。加工硬质合金和淬火钢等高硬度材





料时应该选择碳化硼磨料；加工硬度不太高的硬脆材料时，可以选择碳化硅磨料。磨料粒度的选择和振幅有关，当振幅为 0.05mm 时，磨料粒度愈大加工效率愈高；当振幅小于 0.05mm 时，磨料粒度愈小加工效率愈高。

(4) 料液比

磨料工作液中磨料与工作液之间的体积比或质量比，称为料液比。料液比过大和过小都将使抛光效率降低，通常抛光用的料液比为 $0.5 \sim 1$ 左右。

6. 影响抛光表面质量的因素

超声波抛光的表面粗糙度和磨料的粒度、被加工材料性质、工具振幅等有关。磨料颗粒尺寸越小，工件材料硬度越高，超声振幅越小，则加工表面粗糙度改观得越大。另外，采用机油和煤油工作液比水工作液能获得更好的表面粗糙度。

10.7.2 挤压研磨抛光

挤压研磨抛光属于磨料流动加工，也称挤压研磨。它不仅能对零件表面进行光整加工，还可以去除零件内部通道上的毛刺。

1. 基本原理

挤压研磨抛光是将含有磨料的油泥状黏弹性高分子介质组成的黏弹性研磨抛光剂，用一定压力挤过被加工表面，通过磨料颗粒的刮削作用去除被加工表面的微观不平材料的工艺方法。磨料颗粒相当于“软砂轮”，在流动中紧贴零件加工表面的磨料，实施摩擦和切削作用，将“切屑”从被加工表面刮离，图10-15为挤压研磨抛光加工过程示意图。工件5安装在夹具4中，夹具和上、下磨料室相通，磨料室内充满黏弹性研磨抛光剂，由上、下活塞依次往复运动，对研磨抛光剂施加压力，使研磨抛光剂在一定压力作用下，反复从被加工表面滑擦通过，从而达到研磨抛光的目的。

2. 特点

1) 适用范围广。由于研磨抛光剂是一种半流体状态的弹黏性介质，它可以和任何复杂形状的被加工表面相吻合，所以适用于各种复杂表面的加工。同时它加工材料范围广，无论是高硬度模具材料，还是铸铁、铜、铅等材料，以及陶瓷、硬塑料等非金属材料都可以加工。

2) 抛光效果好。挤压研磨抛光后的尺寸精度、表面粗糙度和抛光前的原始

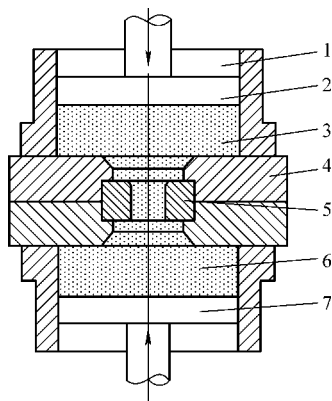


图 10-15 挤压研磨抛光的加工过程

1—上磨室 2—上活塞
3—研磨抛光剂 4—夹具 5—工件
6—下磨室 7—下活塞



状态有关。电火花线切割加工后的表面,经挤压研磨抛光后表面粗糙度可达 $R_a = 0.04 \sim 0.05 \mu\text{m}$, 尺寸精度可达 $0.01 \sim 0.0025 \text{ mm}$, 完全可以去除电火花加工后的表面质量缺陷。但是挤压研磨抛光属于均匀“切削”,它不能修正原始加工的形状误差。

3) 抛光效率高。挤压研磨抛光的加工余量一般为 $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$, 所需要的研磨抛光时间为几分钟至十几分钟,与手工研磨抛光相比,大大提高了生产率。

3. 黏弹性研磨抛光剂与设备

挤压研磨抛光需选用黏弹性研磨抛光剂,也称为黏性磨料。它由磨料和特殊的流动介质均匀混合而成,其性能优劣直接影响到抛光效果。

目前,国内外挤压研磨抛光机多为立式对置活塞式,通过两活塞的运动迫使研磨抛光剂作上下流动。挤压研磨抛光所用的夹具,除要完成定位和夹紧作用外,还应能容纳和引导研磨抛光剂通过零件需要研磨抛光的部位,并阻抗、干扰研磨抛光剂不流过不需要加工的部位。应该根据被加工零件的形状、尺寸和研磨抛光的需要对夹具进行设计,图 10-16 为常用夹具的工作示意图。

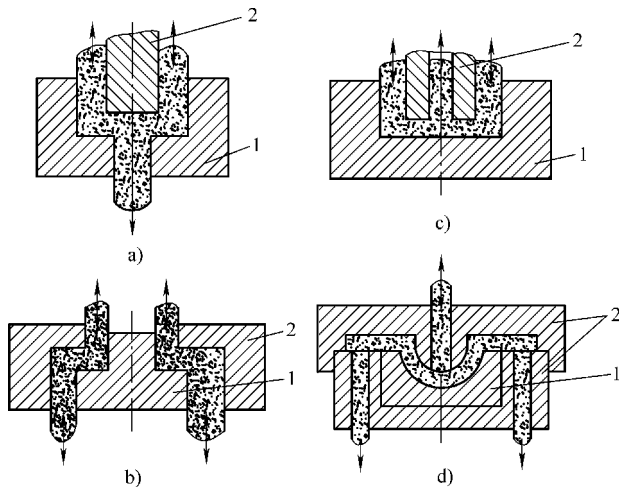


图 10-16 挤压研磨抛光常用夹具的工作示意图

a) 阶梯型孔 b) 凸模 c)、d) 型腔

1—模具 2—夹具

4. 工艺参数

挤压研磨抛光的工艺参数包括磨料的种类、粒度及磨料在研磨抛光剂中的含量,研磨抛光剂的黏度,挤压压力,研磨抛光剂的流动速度及流量四个方面。

磨料的种类、粒度及磨料含量可根据被加工零件的材料类型和加工要求选取。





研磨抛光剂的黏度根据加工要求选取,对于完全是研磨抛光性的加工,选取高黏度研磨抛光剂,如果有去毛刺和倒圆性质的研磨抛光,应选取中等黏度的研磨抛光剂。

挤压压力一般根据机床提供的范围选取,机床可提供的挤压压力在 700 ~ 20 000kPa 之间。一般先从低压力开始选取。

挤压研磨抛光剂的流量也在机床提供的范围内选取,一般机床的流量范围为 7 ~ 225L/min,机床磨料缸的容量为 0.1 ~ 3L,研磨抛光时可根据不同的加工要求选取。

例如:某硬质合金拉丝模进行挤压研磨抛光的工艺参数为:金刚石磨料,研磨抛光剂用高黏度研磨抛光剂,研磨抛光剂容积为 2 ~ 4L,研磨抛光剂温度为 43℃,挤压压力为 5 488kPa,冲程次数(单程)为 30 次,研磨抛光余量(单面)为 0.025 ~ 0.05mm,加工时间为 3.8min,表面粗糙度由 $R_a = 0.75\mu\text{m}$ 降低到 $R_a = 0.15\mu\text{m}$ 。

10.7.3 喷丸抛光

喷丸抛光是利用含有微细玻璃球的高速干燥气流对被抛光表面进行喷射,去除表面微量金属材料,降低表面粗糙度的方法。喷丸抛光与喷砂使用的磨料类型不同,喷丸抛光所用的玻璃球颗粒更细,喷射后的玻璃球不循环使用。喷丸抛光的加工装置如图 10-17 所示。

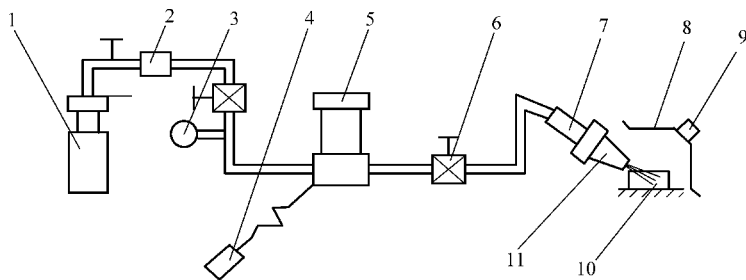


图 10-17 喷丸抛光加工装置

1—气瓶 2—过滤器 3—压力表 4—振动器 5—磨料混合室 6—控制阀 7—手柄
8—排气罩 9—收集器 10—工件 11—喷嘴

喷丸抛光在模具加工中主要用于去除电火花加工后成形表面的变质层。影响其加工速度的因素有磨料粒度、喷嘴直径、喷嘴到加工表面的距离、喷射速度和喷射角度。喷丸抛光的工艺参数如下。

- 1) 磨料。喷丸抛光所用的磨料为玻璃球,磨料颗粒尺寸为 10 ~ 150 μm 。
- 2) 载体。气体喷丸抛光的载体气体可用干燥空气、二氧化碳等,但不得用



氧气。气体流量为 28L/min 左右, 气体压力为 0.2 ~ 1.3MPa, 流速为 152 ~ 335m/s。

3) 喷嘴。喷嘴材料要求耐磨性好, 多采用硬质合金材料。

在加工非球面透镜塑料注射模成型表面时, 成型表面的粗糙度要求很低, 为实现高质量表面抛光和形状复杂表面的抛光, 研制出程序控制抛光机, 它适用于各种高精度复杂曲面的研磨抛光。

程序控制抛光机由计算机、数控系统、机械系统和附件等组成。这种抛光方式能有效地保证加工质量, 减轻人工研磨抛光的随意性, 同时降低了劳动强度和提高了生产效率。

加工前将被加工工件的材料状态、抛光前的表面质量和加工尺寸与研磨抛光后的表面质量要求等参数输入到计算机中, 由计算机自动设定各项工艺参数, 控制各种形状曲面的运动轨迹和加工压力。为保证加工的均匀性, 可改变抛光头的运动速度, 移动加工表面, 改变工作台的回转速度等。在加工前和加工过程中, 均可以采用人机对话修正加工工艺参数。

10.7.4 照相腐蚀

随着人们审美意识的加强, 越来越多的塑料制品表面装饰有凸凹文字、图案或花纹(皮革纹、橘皮纹等)。照相腐蚀广泛用于模具工作型面上的图形、文字和花纹的加工, 这是一种高质量、低成本、高效可靠的加工工艺, 是照相制版和化学腐蚀的结合。简单的图案、文字也可采用机械刻制或电火花加工法进行加工。

1. 特点

照相腐蚀作为模具成型面精饰加工的一种特殊工艺有以下特点。

- 1) 用照相腐蚀加工的图文精度高, 图案仿真性强, 腐蚀深度均匀。
- 2) 用照相腐蚀加工模具图文可在零件淬火、抛光后进行。
- 3) 可以在曲面上加工图文。
- 4) 可靠性高(图文加工是零件加工的最后道工序)。

2. 对模具成形零件的要求

1) 材料要求钢材除应具有强度高, 韧性好, 硬度高, 耐磨、耐腐蚀性好, 切削加工性能优良, 易抛光等优点外, 还应具有良好的图文蚀刻性能, 即钢质晶粒细小, 组织结构均匀。常用的 45 钢、T8、T10、P20、40Cr、CrWMn 等均具有良好的蚀刻性, 而 00Cr12, Cr12MoV 等材料的蚀刻性较差, 花纹装饰效果不太理想。另外, 在加工前应对钢材的偏析及各向异性作相应处理。

2) 脱模斜度。如果型腔侧壁要做图文, 则应有较大的脱模斜度。脱模斜度除根据塑件的材料、尺寸、精度来确定以外, 还须考虑图文深度对脱模斜度的





要求, 图文越深, 脱模斜度越大 (一般在 $1^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$ 之间), 当图文深度大于 $100\mu\text{m}$ 时, 脱模斜度应在 4° 以上。

3) 表面粗糙度。在高光洁的型腔表面上制作图文时, 涂感光胶和贴花纹版时会打滑, 不易粘牢, 但表面太粗糙时图文的效果也不好, 因此表面粗糙度要适当。如果是亚光细砂纹, 取表面粗糙度 $R_a = 0.4 \sim 0.8\mu\text{m}$; 细花纹或砂纹取 $R_a = 1.6\mu\text{m}$; 一般花纹取 $R_a = 3.2\mu\text{m}$ 。如果是粗花纹, 表面粗糙度还可适当增加。

4) 镶嵌块结构。如果图文面积很小, 可做成镶嵌块, 只对镶嵌块做照相腐蚀。这种方法工艺性好, 容易制作, 不会因为腐蚀的失败而报废模具成形零件, 且花纹磨损后镶嵌块更换方便。

思考与练习题

1. 简述研磨的加工原理。
2. 简述研磨时常用磨料的种类及用途。
3. 简述常用的研磨方法和工具有哪些?
4. 制定研磨工艺方案时应考虑哪些因素?
5. 影响研磨质量的因素有哪些? 分别是如何影响的?
6. 简述影响可抛光性的因素、抛光的工艺步骤和抛光中可能出现的缺陷及解决方法。
7. 简述超声波抛光工艺及特点。影响超声波抛光效率的因素有哪些?

第 11 章 模具典型零件的加工

11.1 导柱、导套的制造工艺过程

导柱和导套是典型的轴类和套类零件，模柄和顶杆也属此类零件。各类模具中应用的导柱、导套结构种类很多，它们在模具中主要起导向作用，为了保证良好的导向性，导柱和导套装配后应保证模架的活动部分运动平稳、无阻滞现象，从而保证凸模和凹模在工作时具有正确的相对位置。

1. 导柱、导套的结构特点及技术要求

导柱、导套是模具中的标准件，导柱、导套主要结构是表面为不同直径的同轴圆柱表面，材料的选择可根据导柱的结构尺寸和材料要求，直接选用适当尺寸的热轧圆钢为毛坯料，渗碳淬火后，再磨削而成。

导柱安装在下模座上，导套安装在上模座上，导柱与导套的配合间隙要求小于凸模、凹模之间的间隙。其技术要求如下。

1) 导套与上模座采用 H7/r6 过盈配合，导柱与下模座也采用 H7/r6 过盈配合，同时，满足相互之间的同轴度要求。

2) 必须保证导柱、导套配合表面的尺寸精度和形状精度，导柱、导套工作部分的圆度公差：直径 $d \leq 30\text{mm}$ 时，0.003mm；直径 d 为 30 ~ 60mm 时，0.005mm；直径 $d \geq 60\text{mm}$ 时，0.008mm。同时，还应保证导柱与导套配合面之间的同轴度要求。

3) 满足导柱与导套之间的配合精度要求，Ⅰ级精度模架的导柱和导套的配合精度为 H6/h5，Ⅱ级精度模架的导柱和导套的配合精度为 H7/h6。

对于要求无间隙导向、高精度、高寿命的薄材料制件的冲裁模、硬质合金模、精密冲裁模、高速冲模等，常采用导柱与导套之间装有钢球和保持圈的滚动导向模架。钢球直径一般为 3 ~ 5mm，钢球要经过严格挑选和选配，其直径误差小于 0.003mm，圆度误差应不大于 0.001 5mm。钢球保持圈的材料采用黄铜或硬铝制作，也可用塑料制作，其内、外壁应与导柱、导套各保持 0.35 ~ 0.50mm 的双向间隙。钢球保持圈上一般设有数十个台阶孔，将选好的钢球安装在台阶孔内，再将孔的四周铰开收口。导套、导柱和钢球之间采用 0.01 ~ 0.02mm 的过盈配合，钢球在保持圈内的排列与轴线成 $10^\circ \sim 20^\circ$ 的倾斜角度，钢球



在保持圈内滚动的轨迹互不重合,以减少磨损,导套、导柱的加工精度要求更高。

2. 导柱、导套的加工

在机械加工过程中,除保证导柱、导套配合表面的尺寸和形状精度外,还要保证各配合表面之间的同轴度要求。导柱与导套的配合表面是容易磨损的表面,应有一定的硬度要求,在精加工之前要妥善安排热处理工序,以达到要求的硬度。

导柱、导套的加工工艺过程为:备料(棒料)—粗加工(车削加工)—半精加工(车削加工)—热处理(渗碳、淬火)—精加工(磨削)—光整加工(研磨)。

导柱的心部要求韧性好,一般选用的材料为 20 低碳钢,下料长度应考虑车削时的装夹长度,外圆留 3~4mm 的切削余量。车削后的外圆应留 0.5mm 的磨削余量。渗碳层深度为 0.8~1.2mm,淬火后表面硬度为 50~55HRC。在外圆磨床或万能磨床上磨削外圆。磨削后应留研磨余量 0.01~0.015mm。进行研磨加工的目的是为了进一步提高导柱表面质量。为了消除热处理引起的导柱两端中心孔的变形等缺陷,导柱在热处理后应修正中心孔,以便在一次装夹中将导柱的两个外圆面磨出,以保证两圆柱面的同轴度。

导套要求与导柱配合面耐磨,一般选用的材料为 20 低碳钢,导套车削时,先车削内孔,并留有磨削余量 0.3~0.5mm,再以内孔为基准,车削外圆。渗碳层深度为 0.8~1.2mm,淬火后表面硬度为 50~55HRC。在内圆磨床上磨削内孔,并留有珩磨余量 0.01~0.015mm。为了提高内孔的表面质量,使导柱、导套的配合精度得到提高,导套磨削后还要进行珩磨。

导柱、导套加工工艺过程中的工序划分、工艺方法和设备选用是由生产类型,零件的形状、尺寸、结构及工厂设备的技术状况等条件决定的。不同的生产条件采用的设备及工序划分也不尽相同。

3. 导柱、导套的加工工艺过程

如图 11-1 所示为塑料注射模具滑动式导柱,材料为 T8A,热处理 50~55HRC,其加工工艺过程见表 11-1。

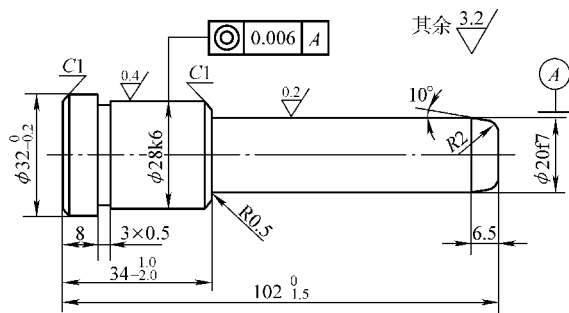


图 11-1 塑料注射模具滑动式导柱



表 11-1 塑料注射模具滑动式导柱加工工艺过程 (单位: mm)

工序号	工序名称	工序内容	设备	工序简图
10	下料	按图样尺寸 $\phi 35 \times 105$	锯床	
20	车端面, 打中心孔	车端面保持长度 103.5, 打中心孔。调头车端面至尺寸 102, 打中心孔	车床	
30	车外圆	粗车外圆柱面至尺寸 $\phi 20.4 \times 68$, $\phi 28.4 \times 26$, 并倒角。调头车外圆 $\phi 32$ 至尺寸并倒角。切槽 3×0.5 至尺寸	车床	
40	检验			
50	热处理	按热处理工艺对导柱进行处理, 保证表面热处理硬度 50 ~ 55HRC		
60	研中心孔	研中心孔, 调头研另一端中心孔	车床	
70	磨外圆	磨 $\phi 28k6$, $\phi 20f7$ 外圆柱面, 留研磨余量 0.1, 并磨 10° 角	磨床	
80	研磨	研磨外圆 $\phi 28k6$, $\phi 20f7$ 至尺寸, 抛光 R2 和 10° 角	磨床	
90	检验			

如图 11-2 所示为冲模导柱, 材料为 20 钢, 保证渗碳层深度 0.8 ~ 1.2mm, 表面硬度 50 ~ 55HRC, 其加工工艺过程见表 11-2。



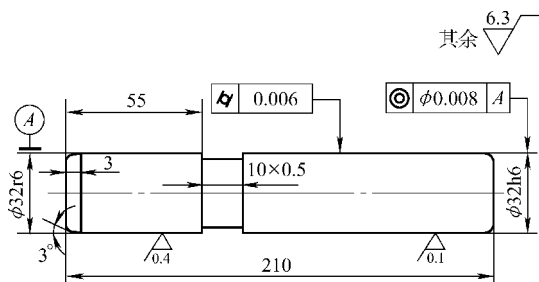


图 11-2 冲模导柱

表 11-2 冲模导柱加工工艺过程 (单位: mm)

工序号	工序名称	工序内容	设备	工序简图
10	下料	按图样尺寸 $\phi 35 \times 215$	锯床	
20	车端面, 钻中心孔	车端面保证长度 212.5, 钻中心孔; 调头车端面保证 210, 钻中心孔	车床	
30	车外圆	车外圆到 $\phi 32.4$; 切 10×0.5 槽到尺寸; 车端部; 调头车外圆到 $\phi 32.4$; 车另一端端部	车床	
40	检验			
50	热处理	渗碳、淬火, 保证渗碳层深度 0.8 ~ 1.2, 表面硬度 50 ~ 55HRC		
60	研中心孔	研两端中心孔	车床	
70	磨外圆	磨 $\phi 32h6$ 外圆留研磨余量 0.01; 调头磨 $\phi 32r6$ 外圆到尺寸	磨床	
80	研磨	研磨外圆 $\phi 32h6$ 达到要求, 抛光圆角等	磨床	
90	检验			



如图 11-3 所示为冲模导套，材料为 20 钢，保证渗碳层深度 0.8 ~ 1.2mm，表面硬度 50 ~ 55HRC，其加工工艺过程见表 11-3。

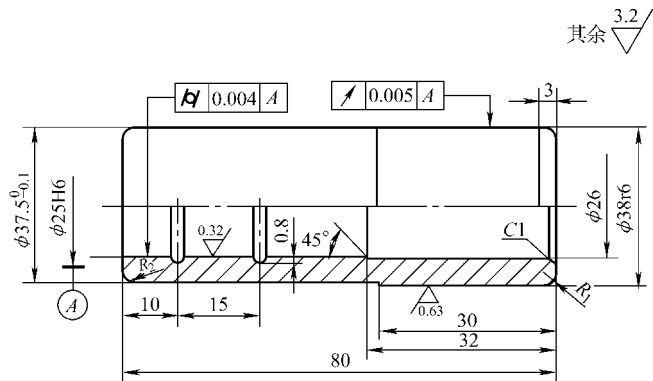


图 11-3 冲模导套

表 11-3 冲模导套加工工艺过程 (单位: mm)

工序号	工序名称	工序内容	设备	工序简图
10	下料	按图样尺寸 $\phi 42 \times 85$	锯床	
20	车外圆及内孔	车端面保证长度 82.5；钻 $\phi 25$ 内孔至 $\phi 23$ ；车 $\phi 38$ 外圆至 $\phi 38.4$ 并倒角；镗 $\phi 25$ 内孔至 $\phi 24.6$ ；加工油槽至尺寸；镗 $\phi 26$ 内孔至尺寸并倒角	车床	
30	车外圆倒角	车 $\phi 37.5$ 外圆至尺寸，车端面至尺寸	车床	
40	检验			
50	热处理	按热处理工艺进行，保证渗碳层深度为 0.8 ~ 1.2；硬度为 50 ~ 55HR		
60	磨削内、外圆	磨 $\phi 38$ 外圆达图样要求；磨内孔 $\phi 25$ 留研磨余量 0.01	磨床	





(续)

工序号	工序名称	工序内容	设备	工序简图
70	研磨内孔	研磨 $\phi 25$ 内孔达图样要求；研磨 $R2$ 圆弧	磨床	
80	检验			

4. 加工中的有关问题

(1) 定位

对于导柱各外圆表面的设计基准都是中心线，一般采用设计基准和工艺基准重合的两端中心孔定位，符合基准重合原则，能达到较高的相互位置精度，工件装夹方便。中心孔加工的形状精度对导柱的加工质量有着直接影响，特别是加工精度要求高的零件。因此，在车削和磨削之前需先加工中心孔，为后继工序提供可靠的定位基准。同时，保证中心孔与顶尖之间的良好配合也是非常重要的。导柱中心孔在热处理后需修正，以消除热处理变形和其他缺陷，使磨削外圆柱面时能获得精确定位，保证外圆柱面的形状和位置精度。具体方法为：工件以两中心孔为基准装夹在车床的前、后顶尖上，用鸡心夹或拨盘带动工件转动。

对于导套一般采用互为基准的原则，即加工内圆表面以外圆为基准，加工外圆表面以内圆为基准。具体方法为：对单件或小批量生产，工件热处理后可在万能外圆磨床上利用三爪自定心卡盘夹持磨外圆柱面，一次装夹后磨出相应的外圆和内孔，这样可以避免多次装夹而造成的误差，能保证内外圆柱配合表面的同轴度要求。对于大批量生产同一尺寸的导套，可先磨好内孔，再将导套套装在专用小锥度磨削心轴上。以心轴两端中心孔定位，使定位基准和设计基准重合。借助心轴和导套内表面之间的摩擦力带动工件旋转，磨削导套的外圆柱面，能获得较高的同轴度。这种方法操作简便、生产率高，但需制造专用高精度心轴。

(2) 中心孔

中心孔的钻削和修正一般是在车床、钻床或专用机床上按图样要求的中心定位孔的形式进行的。在车床上修正中心孔时，用三爪自定心卡盘夹持锥形砂轮，在被修正中心孔处加入少许煤油或润滑油，手持工件，利用车床尾座顶尖支撑，利用车床主轴的转动进行磨削。此方法效率高，质量较好，但砂轮易磨损，需经常修整。

如果用锥形铸铁研磨头代替锥形砂轮，加研磨剂进行研磨，可达到更高的精度。

如果用硬质合金梅花棱顶尖修正中心定位孔，是将梅花棱顶尖装入车床或



钻床的主轴孔内,利用机床尾座顶尖将工件压向梅花棱顶尖,通过硬质合金梅花棱顶尖的挤压作用,修正中心定位孔的几何误差。该修正工艺效率高,但质量稍差,一般用于大批量生产,且要求不高的顶尖孔的修正。

(3) 研磨

导柱的外圆、导套的内孔为配合表面,精度和表面粗糙度要求较高。最后需进行研磨以提高表面的精度和降低表面粗糙度,达到加工表面的质量、配合和设计要求。在普通车床上进行导柱研磨时,将导柱安装在车床上,由主轴带动旋转,在导柱表面均匀涂上研磨剂,然后套上研磨工具(外圆研磨环)并用手将其握住,作轴线方向的往复运动。研磨导套和研磨导柱类似,由主轴带动研磨工具(可调式内圆研磨心轴)旋转,手握在研具上的导套,作轴线方向的往复直线运动。通过调节研具上的调整螺钉和螺母,可以调整研磨套的直径,以控制研磨量的大小。

5. 模柄与顶杆的加工

常用模柄有压入式模柄、旋入式模柄、凸缘模柄、槽型模柄、浮动模柄等,顶杆虽然有各种形状,但最常用的形式和模柄一样是台阶轴形状,和导柱的加工工艺过程有些类似,此类零件一般采用中心孔作为半精加工和精加工的定位基准,最终加工采用精磨工艺,并靠磨端面保证端面圆跳动要求。

11.2 上、下模座的制造工艺过程

上、下模座属于板类零件,垫板、固定板、卸料板、推件板等均属此类零件,主要作用是把冲模的工作零件及辅助零件支撑和连接起来,其结构与尺寸已标准化。为了保证模座工作时沿导柱上下移动平稳,无阻滞现象,模座上下平面应保持平行。上下模座的导柱、导套安装孔的孔间距应保持一致,孔的轴心线与模座的上下平面要垂直。

1. 上、下模座的结构特点及技术要求

上模座通过模柄固定在压力机的滑块上,通过螺钉和销钉连接垫板、凸模固定板、凸模等零件,上模座与导套采用过盈配合或粘接方式连接。下模座主要是固定和安装凹模、凹模固定板和导柱等零件,并通过螺钉和压板固定在压力机的工作台面上。上、下模座在工作时应具有足够承受冲击载荷的性能,下模座还必须有良好的抗弯性能。这是由于在下模座上要加工出许多紧固螺钉孔、销钉孔、漏料孔等。一般用铸铁(HT200、QT400—18)或铸钢毛坯加工,也可用45钢或Q235—A,分别称为铸铁模座、钢板模座。铸件的气孔、砂眼、缩孔、裂纹等铸造缺陷必须得到严格控制,并进行时效处理,消除内应力,以便于后续机械加工。





上、下模座的技术要求如下。

- 1) 模座的上、下平面平行度必须符合规定的要求。
- 2) 表面粗糙度和精度等级应达到要求。
- 3) 模板上各孔的精度、垂直度和孔间距的应达到要求。上、下模座导柱、导套安装孔距应一致，导柱、导套安装孔的轴线与基准面的垂直度为 $0.01/100$ 。
- 4) 四周非安装面可按非加工表面处理。

2. 上、下模座的加工

上、下模座的加工主要是完成平面和孔系的加工。在加工过程中为了保证技术要求和加工方便，一般遵循“先面后孔”的原则。模座的毛坯经过刨削或铣削加工后，为了保证模座上、下表面的平行度和表面粗糙度及容易保证孔的垂直度要求，先对平面进行磨削加工，然后再进行孔的加工。

上、下模座的加工工艺过程为：铸坯—退火处理—刨削或铣削上、下平面—磨削上、下平面—钻导柱、导套孔—镗导柱、导套孔。

上、下模座的加工可采用不同的机械加工方法，其加工工艺方案不同，获得加工平面的精度也不同。具体方案要根据上、下模座的精度要求，结合工厂的生产条件等具体情况进行选择。

3. 上、下模座的加工工艺过程

如图 11-4 所示为冲模的上、下模座，其上模座加工工艺过程见表 11-4。

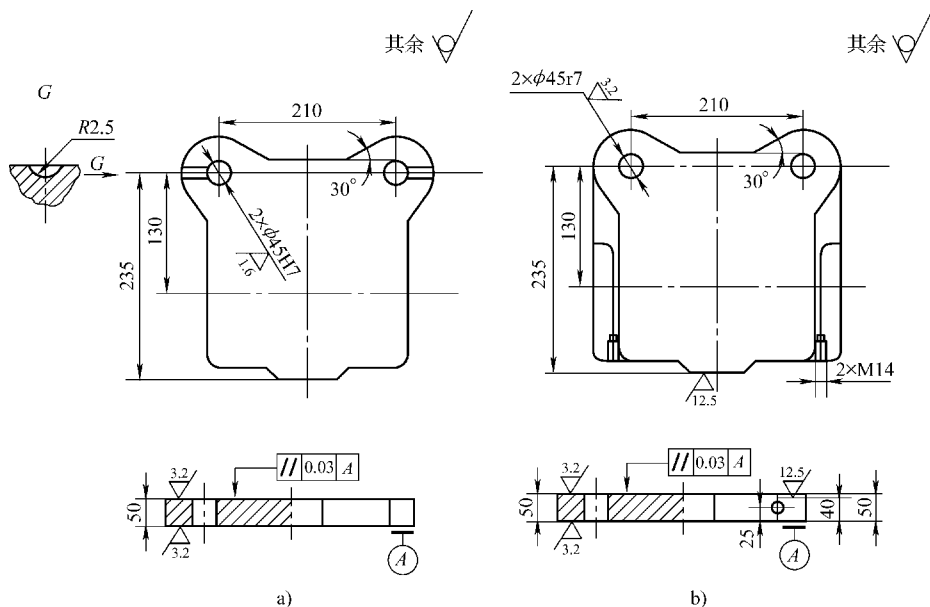


图 11-4 冲模的上、下模座

a) 上模座 b) 下模座



表 11-4 上模座加工工艺过程 (单位: mm)

工序号	工序名称	工序内容	设 备	工序简图
10	备料	铸造毛坯		
20	刨平面	刨上、下平面, 保证尺寸 50.8	牛头刨床	
30	磨平面	磨上、下平面, 保证尺寸 50	平面磨床	
40	钳工划线	划前部平面和导套孔中心线		
50	铣前部平面	按划线铣前部平面	立式铣床	
60	钻孔	按划线钻导套孔至 $\phi 43$	立式钻床	
70	镗孔	和下模座重叠, 一起镗孔至 $\phi 45H7$	镗床或立式铣床	
80	铣槽	按划线铣 R2.5 的圆弧槽	卧式铣床	
90	检验			





4. 孔系的加工

模具零件上单个圆孔的加工比较简单。当孔的精度要求较高时，在加工好毛坯外形后，孔径小于5mm的，先钻孔，然后铰孔，热处理后磨削顶面和底面，用砂布抛光型孔即可；孔径大于5mm，一般采用钻削和镗削方法对型孔进行粗加工，经淬火、回火热处理后，利用万能磨床或内圆磨床对型孔精加工，磨孔的精度可达IT5~IT6，孔表面粗糙度 R_a 可达0.8~0.2 μm 。但在模具零件中，如上下模座、凸模、凹模、固定板等由于制件的要求及相关零件的连接、固定的需要，常带有一系列圆孔，将这些孔称为孔系。

孔系加工时，不但要保证孔自身的尺寸、形状精度，还要保证孔与孔之间的孔距精度、孔与基准平面的距离精度，有的还要求保证各平行孔的轴线平行度，保证不同板上各同轴孔的轴线同轴度，保证孔的轴线与基准平面的平行度或垂直度等。加工这种孔系时，同样按照“先面后孔”的原则，一般是先加工好基准平面，然后再加工所有的孔。尤其是凹模型孔孔系加工比较困难，应根据工厂现有的加工设备，选择相应的方法。

(1) 单件孔系的加工

即同一个零件的孔系加工，常用方法如下。

1) 画线法。在加工过的工件表面上画出各孔的位置，并用中心冲在各孔的中心处冲出中心孔，然后在车床、钻床或镗床上按照画线逐个找正并进行孔加工。由于画线和找正都具有较大的误差，所以孔的位置精度较低，一般在0.25~0.5mm范围内，适用于相对精度要求不高的孔系加工。

2) 找正法。在普通镗床、铣床等通用机床上，借助一些辅助装置来找正各孔的正确位置，称为找正法。如图11-5所示，可用精密心轴和量块来找正孔的位置。将心轴分别插在机床主轴孔和已加工的孔内，用量块来找正主轴。校正时要用薄塞规测量量块与心轴之间的间隙，不能使心轴直接接触量块，以免心轴发生变形而影响加工精度。找正法加工的设备简单，但生产效率低，一般孔中心距精度可达0.15mm。

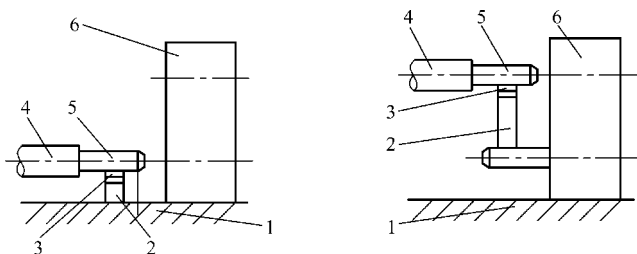


图 11-5 找正法

1—机床工作台 2—量块 3—塞规 4—机床主轴 5—心轴 6—工件



3) 通用机床坐标法是将被加工各孔之间的距离尺寸换算成互相垂直的坐标尺寸, 然后通过机床纵、横进给机构的移动确定孔的加工位置来进行加工的方法。在立铣床或镗床上利用坐标法加工, 孔的位置精度一般不超过 $0.06 \sim 0.08\text{mm}$ 。如果用百分表装置来控制机床工作台的纵、横移动, 则可以将孔的位置精度提高到 0.02mm 以内。

如图 11-6 所示为附加百分表在铣床上镗孔的方法。在立铣床的工作台上安装一个百分表, 用以控制纵向位移, 当要求工作台纵向移动 H 距离时, 在机床主轴上安装一根直径为 d 的检验棒, 用量块组装垫出检验棒的半径加上要移动的 H 距离的尺寸, 用百分表控制工作台在纵向准确移动 H 距离。横向移动也可同样控制。

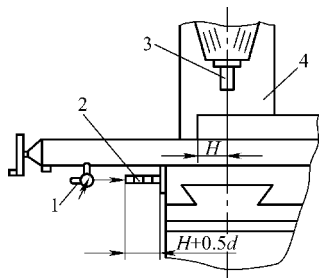


图 11-6 附加百分表在铣床上镗孔

1—百分表 2—量块组
3—检验棒 4—立铣床

4) 坐标镗床加工是通过坐标镗床靠精密的坐标测量来确定工作台、主轴的位移距离, 以实现工件和刀具的精确定位。专门用于镗削尺寸、形状和位置精度要求高的孔系的精密机床。孔位精度一般可达 $0.005 \sim 0.015\text{mm}$ 。由于凹模在热处理时易发生变形, 导致热处理之前镗好的孔位精度降低。当凹模孔的精度和孔位精度要求很高时, 经过坐标镗床加工的凹模在热处理之后, 还应在坐标磨床上精加工, 以保证型孔尺寸精度和孔系的位置精度。

采用坐标镗床加工时, 一般直径大于 20mm 的孔应先在其他机床上钻预孔, 小于 20mm 的孔可在坐标镗床上直接加工。加工孔系时, 为防止切削热影响孔距精度, 应先钻孔距较近的大孔, 然后铰钻小孔。孔径为 10mm 以下、孔距精度为 0.03mm 时可直接进行钻铰加工; 孔径大于 10mm 时应采用钻、扩、铰工序加工。当孔径及孔距公差较小时, 应采用钻、镗加工方法。

(2) 相关孔系的加工

在两个及其以上的模具相关零件配合加工中, 有的本身孔距精度要求并不高, 但相互之间的孔位要求必须高度一致; 有的不仅孔距精度要求高, 而且要求孔位一致。这些孔常用的加工方法如下。

1) 同镗 (合镗) 加工法。如图 11-7 所示, 就是将孔位要求一致的两个及其以上零件用夹钳或其他方法装夹固定在一起, 对同一孔位的孔同时进行加工, 如: 上、下模座或动、

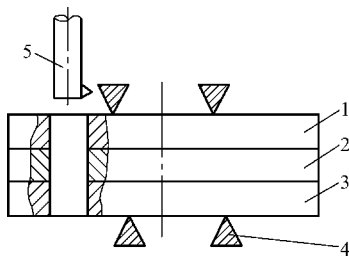


图 11-7 同镗 (合镗) 加工法
1、2、3—零件 4—夹钳 5—钻头



定模模座的导柱、导套孔；模座与固定板的销钉孔等可以采用同镗加工法。

2) 配镗加工法。即加工某一零件时，不按图样的尺寸和公差进行加工，而是按与之有对应孔位要求的热处理后的零件实际孔位来配做。模具零件许多都要进行热处理。热处理后零件会发生变形，使热处理前的孔位精度受到破坏，如上模与下模中各对应孔的中心会发生偏斜等，为了保证模具零件的使用性能，在这种情况下，可以采用配镗加工法。例如，将热处理后的凹模放到坐标镗床上实测出各孔的中心距，然后以此来加工未经热处理的凸模固定板上的各对应孔。通过这种方法可保证凹模和凸模固定板上各对应孔的同心度。

3) 坐标磨削法就是采用高精度坐标磨削的方法来消除淬火件的变形，保证孔距精度和孔径精度。主要是配镗加工法不能消除热处理对零件的影响，加工出的孔位绝对精度不高。为了保证各相关件孔距的一致性和孔径精度，可以采用坐标磨削法。

11.3 冲裁模凸模与凹模的制造工艺过程

凸、凹模是冲裁模的主要工作零件，是用来成形制件的关键部件，它们的质量直接影响着模具的使用寿命和制件质量。

1. 凸、凹模的结构特点及技术要求

如图 11-8 所示为冲压凸模结构的基本形式。图 11-8a 和图 11-8b 所示分别为圆形长凸模和圆形短凸模，主要用于圆形冲裁模。该零件的台阶尾部没有采用退刀槽结构，而 R 要用小圆弧转接，是基于加工和装配时强度和刚度的考虑，其余部分台阶也是圆弧转接，固定部分为 H7/m6 配合。图 11-8c 所示为圆形快换凸模的一种，不同直径之间以 60° 的圆锥形转接，固定部分为 H7/h6 配合。图 11-8d 和图 11-8e 所示凸模的固定部分均为圆锥面配合，图 11-8d 所示多用于冷挤压模具，图 11-8e 所示形式用于冲裁模，凸模更换方便。图 11-8f 所示凸模的截面形状多为近似简单几何形状，淬火之后磨削容易，固定部分的加粗有利于保证凸模的强度和刚度。图 11-8g 所示为直通式凸模，它便于电火花线切割和成形磨削加工，是复杂形状冲裁凸模的主要结构形式。图 11-8h ~ 图 11-8l 所示形式均采用紧固件方式与固定板相连。其中：图 11-8h 所示为凸缘凸模，在冲裁模、弯曲模、拉深模中普遍采用；图 11-8i 所示形式主要用于弯曲模；图 11-8j 所示形式用于大截面凸模，在凸模大端面直接作螺钉孔、销钉孔或销钉衬套孔；图 11-8k 所示形式用于复杂截面的拼块式凸模，各拼块之间以结构要素定位，螺钉固紧，拼块磨削要求高；图 11-8l 所示凸模为铸造结构，用于大型复杂拉深模。

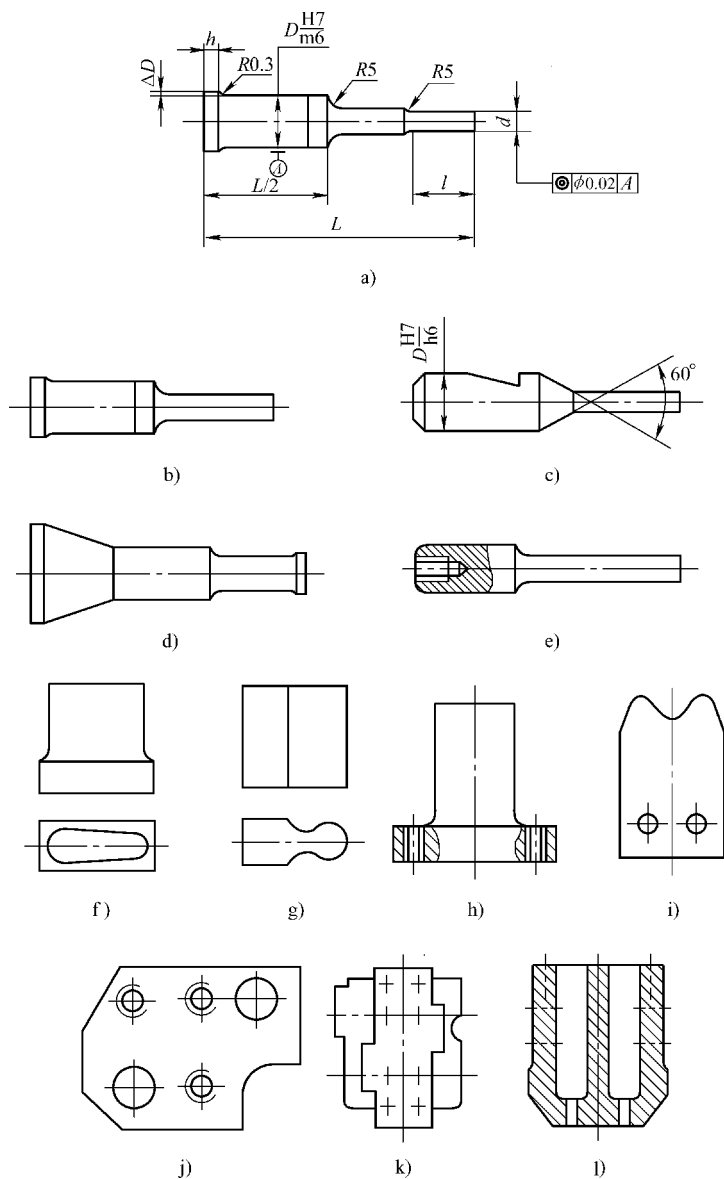


图 11-8 冲压凸模结构的基本形式

凹模的结构可以是整体式的，也可以是镶拼式的。

凸模和凹模都有与制件轮廓一样形状的锋利刃口，凸模和凹模之间存在一周很小的间隙，合理的凸、凹模刃口间隙能保证制件有较好的断面质量和较高的尺寸精度，并且还能降低冲裁力和延长模具使用寿命。模具刃口越锋利，冲裁件断面质量越好，加工精度越高，模具寿命越长，所选用模具凸、凹模的材





料要求越高。在冲裁时,坯料对凸模和凹模刃口产生很大的侧压力,导致凸模和凹模都与制件或废料发生摩擦、磨损。因此,凸、凹模的基本要求有:结构合理;尺寸精度、形位精度、表面质量要求高;刃口锋利;有足够的刚度和强度;有良好的耐磨性;有一定的疲劳强度。基于以上要求,凸、凹模所用材料一般选用高碳、高合金钢,常用的材料为 T8A, T10A, CrWMn, Cr12, W18Cr4V 和硬质合金等,一般要进行淬硬处理,硬度为 58~62HRC。

凸模从长度结构上可分为:固定部分和工作部分。固定部分的形状简单,尺寸精度要求不高;工作部分的尺寸精度和表面质量要求高。

凸模、凹模的技术要求如下。

1) 尺寸精度要达到图样设计要求,凸、凹模间隙要合理、均匀。

2) 凸模侧壁与凹模型孔内壁要求平行,或如图 11-9 所示稍有斜度。

3) 圆形凸模的工作部分对固定部分的同轴度误差小于工作部分公差的一半。凸模端面应与中心线垂直。

4) 对于连续模,凹模孔与固定板凸模安装孔、卸料板孔孔位应一致,各步步距应等于侧刃的长度。

5) 对于复合模,凸凹模的外轮廓和其内孔的相互位置应符合图样中所规定的要求。

6) 刃口要求锋利,刃口部分的表面粗糙度 R_a 为 $0.4\mu\text{m}$,固定部分的表面粗糙度 R_a 为 $0.8\mu\text{m}$,其余为 $6.3\mu\text{m}$ 。

7) 凹模工作部分硬度为 60~64HRC,凸模工作部分硬度为 58~62HRC,对于铆接的凸模,从工作部分到固定部分硬度逐渐降低,但最低不小于 38~40HRC。

2. 凸、凹模的加工

凸模的刃口轮廓和凹模的型孔是加工难度最大的部位,花费的劳动量最多。由于制件的千差万别,凸、凹模的形状和尺寸差别较大。按凸模和凹模型孔的断面形状,大致可以分为圆形和异形两类。

圆形凸模加工比较容易,一般可采用车削、铣削、磨削等进行粗加工和半精加工。经热处理后在外圆磨床上精加工,再经研磨、抛光即可达到设计要求。

圆形凹模型孔有以下两种情况。

1) 单型孔凹模。加工比较简单。一般采用钻、镗等加工方法进行粗加工和半精加工,热处理后在内圆磨床上精加工。

2) 多型孔凹模。属于孔系加工,除保证各型孔的尺寸精度及形状精度外,还要保证各型孔的位置精度。可参照本章中单件孔系的加工。

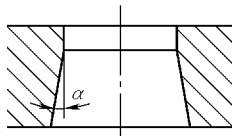
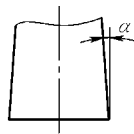


图 11-9 凸模与凹模的侧壁斜度



异形凸模、凹模在制造上要复杂得多，本节主要讨论异形凸模、凹模模具零件的加工。

3. 凸模的加工过程

凸模在加工过程中主要应注意：工作表面的加工精度、表面质量及热处理变形对加工精度的影响。由此，要注重热处理工序的安排和加工方法的选择。非圆形凸模常用的加工方法有：压印锉修、牛头刨床刨削、靠模刨削、仿形刨削、电火花线切割和成形磨削等。

(1) 压印锉修

压印锉修是模具钳工经常采用的一种方法，主要应用在缺少机械加工设备的厂家，以及试制性模具、模具凸模和型孔要求间隙很小甚至无间隙的冲裁模具的制造中。缺点是对工人的操作水平要求高，生产效率低，模具精度受热处理影响。因此，它逐渐被其他先进的模具加工方法所代替。

如图 11-10 所示为凸模压印锉修，压印前，根据非圆形凸模的形状和尺寸准备坯料，在车床上或刨床上预加工毛坯各表面，在端面上按刃口轮廓划线，在铣床上按划线粗加工凸模工作表面，并留有压印后的锉修单面余量 $0.15 \sim 0.25\text{mm}$ 。然后，将粗加工后的凸模毛坯垂直放置已淬硬的凹模型孔处，在凸模上面施加一定的压力，通过凹模型孔的挤压和切削作用，使凸模毛坯上多余的金属被挤出，并在凸模毛坯上留下凹模的印痕，钳工按照印痕锉去毛坯上多余的金属，然后再压印，再锉修，反复进行，直到凸模刃口尺寸达到图样要求为止。此时可加工出凸模未经热处理的无间隙冲裁模具。

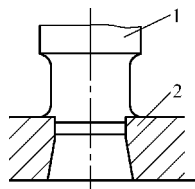


图 11-10 凸模压印锉修
1—凸模坯料
2—凹模型孔

在压印前，应准备用以找正垂直度和相对位置的工具，如角尺、精密方箱等。同时，根据压印型孔面积的大小选择合适的压印设备。较小的型孔压印可用手动螺旋式压机，较大的型孔则应用液压机。压印时，置凹模板和凸模于压机工作台的中心位置，用 90° 角尺找正凸模和凹模型孔板的垂直度，在凸模顶端的顶尖孔中放一个合适的滚珠，以保证压力均匀和垂直，为了减小压印表面的粗糙度值，可用油石将锋利的凹模刃口磨出 0.1mm 的圆角，以增强挤压作用。在凸模刃口及表面处涂以硫酸铜溶液，以减少压印时的摩擦。然后，启动压机慢慢压下。第一次压印深度不宜过大，一般控制在 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ，钳工在锉削时不能碰到压出的表面，锉削后留下的余量要均匀，以免再次压下时出现偏斜，以后各次压下深度可以增加至 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 。

当凸模要求热处理且要求有一定的间隙值时，应在压印结束之后，按照图样要求的间隙值锉小凸模，并留钳工研磨余量，热处理后，钳工研磨凸模工作表面，直到间隙合适。



如图 11-11 所示为凸模（一），主要技术要求：材料为 CrWMn，表面粗糙度为 $R_a=0.63\mu\text{m}$ ，硬度为 58 ~ 62HRC，与凹模双面配合间隙为 0.03mm。其压印锉修工艺过程见表 11-5。

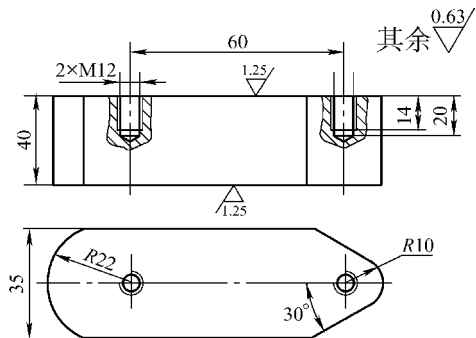


图 11-11 凸模（一）

表 11-5 凸模（一）的压印锉修工艺过程

工 序 号	工序名称	工 序 内 容	设 备
10	下料	采用热轧圆钢，按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	粗加工	铣削 6 个平面，留单面余量 0.4 ~ 0.5mm	铣床
50	磨削平面	磨削 6 个平面，保证垂直度，上、下平面留单面余量 0.2 ~ 0.3mm	平面磨床
60	钳工划线	划出凸模轮廓线及螺孔中心位置线	
70	粗加工	按划线铣削刃口形状，留单面余量 0.2mm	
80	钳工修整	修锉圆弧部分，使余量均匀一致	
90	压印锉修	用已经加工好的凹模进行压印后，进行钳工修锉凸模，沿刃口轮廓留热处理后的研磨余量	压机
100	螺孔加工	钻孔、攻螺纹	钻床
110	热处理	淬火、低温回火，保证硬度 58 ~ 62HRC	
120	磨削端面	磨削上、下平面，消除热处理变形以便于精修	平面磨床
130	研磨	研磨刃口侧面，保证配合间隙	
140	检验		



(2) 牛头刨床刨削

牛头刨床主要用于加工模具的外形平面和曲面，必要时也可加工内孔，适用于单件或小批量生产，具有较好的经济效益。尺寸精度可达 0.05mm，表面粗糙度 $R_a = 1.6\mu\text{m}$ 。刨削后需经热处理淬硬，一般都留有精加工余量。

如图 11-12 所示为凸模（二），主要技术要求：材料为 Cr12，表面粗糙度为 $R_a = 0.63\mu\text{m}$ ，硬度为 58 ~ 62HRC，与凹模双面配合间隙为 0.03mm。其刨削工艺过程见表 11-6。

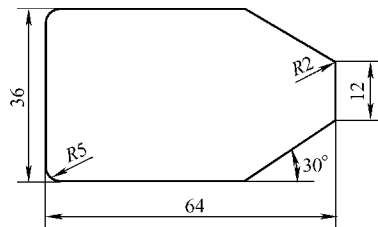


图 11-12 凸模（二）

表 11-6 凸模（二）的刨削工艺过程

工 序 号	工序名称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	刨削	用平口钳装夹，刨削坯料两平面，保证两平面的平行度，使厚度尺寸达尺寸要求，留余量 0.02mm	牛头刨床
50	刨削	刨削坯料两侧面及圆弧，保证圆弧与两平面圆滑过渡，并刨削两端面，使坯料宽度、高度达尺寸要求，留单边余量 0.02mm	牛头刨床
60	刨削	用专用工具装夹，刨削两斜面，留余量 0.02mm。用圆弧刨刀刨削圆弧，保证与两平面圆滑过渡	牛头刨床
70	热处理	按热处理工艺进行，淬火并进行低温回火，保证硬度达 58 ~ 62HRC	
80	研磨	研磨凸模侧面、刃口及圆弧 R，保证尺寸精度和表面粗糙度达到设计要求	
90	检验		

(3) 靠模刨削

大型曲面凸模，可在牛头刨床上用靠模进行刨削加工。刨削时将牛头刨床工作台的垂直丝杠和床身底座上的平行导轨拆除，换上靠模，用滚轮支撑在靠模上，并使其能沿靠模滚动。当工作台横向走刀和凸模平行移动时，滚轮沿靠模滚动，并带动工作台和凸模相对刀具作曲线运动，刨削出与靠模形状相反的类型面。该工艺只适用于大批量模具零件的加工。



(4) 仿形刨削

仿形刨削使用的设备为仿形刨床，主要用于刨削刃口轮廓由圆弧和直线组成的形状复杂的带有台肩的凸模和型腔冷挤冲头。由于生产效率低，对工人的操作水平要求高，且仿形刨削加工是在凸模热处理之前进行，加工后的热处理将引起凸模变形，因此，仿形刨削加工逐步被电火花加工、光学曲线磨床加工、坐标磨床加工等所代替。

在仿形刨削之前，毛坯各表面先在普通机床上加工，然后在端面上划出刃口轮廓线，按线铣削加工，留单边刨削余量 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ ，在仿形刨床上精加工，表面粗糙度可达 $R_a = 1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$ ，尺寸精度可达 $\pm 0.02\text{mm}$ ，并留研磨余量 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。然后，凸模进行热处理，最后，研磨和抛光工作表面，使凸模和凹模的间隙达到图样要求。

如图 11-13 所示为仿形刨削加工凸模，凸模 1 装夹在卡盘 3 上，使凸模的圆弧中心与卡盘的旋转中心重合，工作台上的卡盘旋转的角度由分度头 4 控制。通过机动或手动可使工作作纵向和横向进给运动，借助刨刀 2 的垂直向下运动以及工作台的纵向、横向进给和卡盘旋转进给，仿形刨削可以加工出各种形状复杂的凸模。刨刀除了能作垂直向下运动外，当刨削至凸模根部时，还能产生摆动，因而能刨削凸模根部的圆角。

(5) 电火花线切割

电火花线切割加工在模具加工中的应用很广，具有自动化程度高，生产周期短，可以加工淬硬坯料，可以同时加工出凸、凹模，模具质量好等特点。采用线切割加工的凸模其形状应该设计成直通形式，而且其长度尺寸不应超过线切割机床的加工范围。

如图 11-14 所示凸模（三），其电火花线切割加工工艺过程见表 11-7。

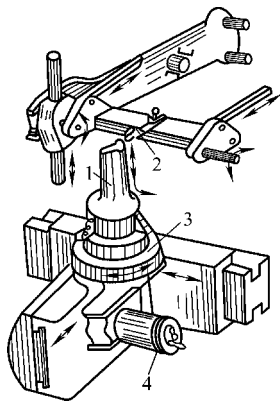


图 11-13 仿形刨削加工凸模

1—凸模 2—刨刀 3—卡盘 4—分度头

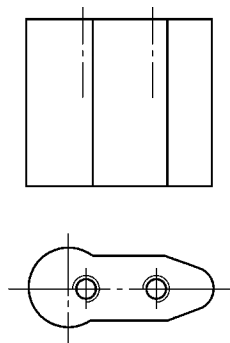


图 11-14 凸模（三）



表 11-7 凸模（三）的电火花线切割加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	铣削	铣削加工锻坯的 6 个面达到要求	铣床
50	加工螺钉孔	将固定凸模用的两个螺钉孔加工出来（钻孔、攻螺纹）	钻床
60	热处理	淬火、回火保证硬度要求达到 58 ~ 62HRC	
70	磨削	磨削上、下两平面，表面粗糙度 $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$	平面磨床
80	线切割加工	进行退磁处理，并按编制程序进行线切割凸模加工	线切割机床
90	研磨	钳工研磨凸模工作部分，使工作表面粗糙度降低	
100	检验		

（6）成形磨削

成形磨削加工凸模是在成形模床或平面磨床上进行的，是常用的一种最有效的加工方法。具有加工出的凸模尺寸精度高、质量好，磨削精度不受热处理的影响，并且生产效率高等特点。

需要成形磨削的凸模一般设计成直通形式。形状复杂的凸模轮廓一般由若干直线和圆弧组成，应用成形磨削加工，是将被磨削的凸模、型芯的轮廓划分成单一的直线段和圆弧段，然后按照一定的顺序逐段磨削，并使它们在衔接处平整光滑，符合设计要求。为此，由于成形磨削时的工艺基准不尽一致，需要进行工艺尺寸换算。为了简化工艺计算，应选择适当的直角坐标系。一般取工件的设计坐标系为工艺坐标系。同时，选择回转中心，依次调整回转中心与夹具中心重合。具体可参考第 6 章，应用时应根据工厂的实际条件选择磨床，有效利用各种工、夹具及成形砂轮。

如图 11-14 所示凸模（三），其成形磨削加工工艺过程见表 11-8。

表 11-8 凸模（三）的成形磨削加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	铣削	在铣床上加工锻坯的六个面	铣床





(续)

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
50	磨削	磨上、下两平面及基准面	平面磨床
60	加工螺纹孔	钳工划线，钻孔、攻螺纹	钻床
70	铣削	用铣床加工外形，并留磨削余量	铣床
80	热处理	淬火、回火，保证硬度要求达到 58 ~ 62HRC	
90	磨削	磨削上、下两平面，表面粗糙度 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$	平面磨床
100	成形磨削	按一定的磨削程序磨削凸模的外形	成形磨床
110	研磨	研磨，保证凸模外形和凹模配合间隙	
120	检验		

4. 凹模的加工过程

刀具的尺寸精度、刚性及磨损直接影响着凹模内孔的加工精度，同时，切削区在工件内部，排屑、散热条件差，加工精度和表面质量不容易控制。非圆形凹模常用的加工方法有：锉削、压印锉修、电火花线切割、电火花加工、镶拼凹模型孔加工等。

(1) 锉削

锉削是加工凹模型孔最原始的方法。首先，将凹模的外形应先加工出来，钳工按照凹模刃口轮廓线划线，然后，在钻床或铣床等设备上将凹模型孔内部的废料去除，留出单边 0.2 ~ 0.8mm 的加工余量，利用锉削方法精加工凹模型孔。锉削时，钳工先用粗锉锉出形状，最后用细锉精锉成形，并随时用加工好的凸模或样板配作检查。凹模刃口锉好之后，再锉出凹模孔的后角的大小。注意在锉削过程中，不要碰坏相邻已锉好的表面。

手工锉削的工作量大，效率低。可利用锉刀机来代替手工锉修。

(2) 压印锉修

和凸模压印锉修方法的基本原理一样，只是使用淬硬的加工好的凸模对留有一定压印余量的未淬硬的凹模毛坯进行压印。在缺乏专用模具加工设备的情况下，钳工常利用压印方法加工凹模型孔。此方法加工的凹模型孔尺寸精度高、表面粗糙度低并且简单，易于操作。

(3) 电火花线切割

当凹模形状复杂，带有尖角、窄缝时，一般的机械加工设备不能很好完成时，使用电火花线切割对凹模型孔进行加工具有加工精度高、质量好、方便快捷的特点，是常采用的一种精加工凹模型孔的方法。

电火花线切割加工凹模型孔可在热处理之后进行，线切割加工完成后，需





要钳工研磨型孔，以保证凸、凹模的间隙均匀。选择电火花机床，选择合理的工艺参数，安排好凹模的加工工艺路线是保证加工的重要措施，与凸模的电火花线切割加工所不同的是凹模型孔加工时经常需要穿丝加工。

如图 11-15 所示为凹模（一），材料为 Cr12MoV，其电火花线切割加工工艺过程见表 11-9。

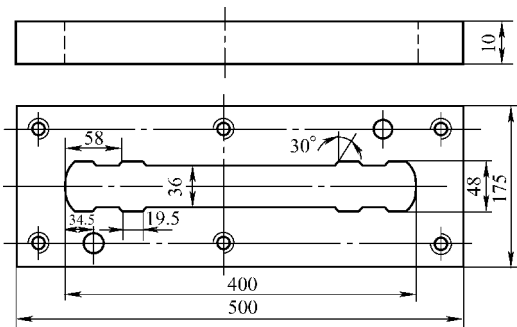


图 11-15 凹模（一）

表 11-9 凹模（一）的电火花线切割加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	铣削	铣削 6 个面成六面体	铣床
50	平面磨削	磨上、下两平面及侧面	平面磨床
60	钳工加工	钳工划线，并钻孔、铰孔加工销孔，钻孔、攻螺纹加工螺钉孔；划出凹模型孔轮廓及去除型孔内部废料的一系列孔位置	
70	去除型孔内部废料	在钻床上顺序钻孔，钻完后凿通整个轮廓，敲出型孔内部废料（切割路线较长，切割面积多，废料重量大，在切割过程中容易变形，并且线切割结束时中间的废料掉下来容易损坏电极丝等）	钻床
80	热处理	淬火、回火，保证硬度达到 58 ~ 62HRC	
90	平面磨削	磨上、下两平面及侧面	平面磨床
100	线切割加工	进行退磁处理，并按编制程序进行线切割凸模加工	线切割机床
110	热处理	将切割好的凹模进行稳定回火	
120	研磨	研磨销孔及凹模刃口，使其达到规定的技术要求	
130	检测		



(4) 电火花加工

电火花加工主要是对模具凹模型孔的穿孔加工，在热处理后进行，从而避免了热处理变形带来的不良影响。形状复杂的凹模型孔采用电火花加工时，具有生产周期短、生产效率高的特点。同时，电火花加工需要制作成形电极，生产成本较高。加工过程中，电极的损耗影响加工精度，难以达到较小的表面粗糙度。电火花加工比较适合周长比较长的型孔、多型孔、小孔和小异形孔的加工。例如：电动机定、转子硅钢片冲模的加工。

电规准的选择，电极的设计与制造参照第 8 章模具的电火花加工。

如图 11-16 所示为凹模（二），材料为 T10A，与凸模的配合间隙为单边 0.05 ~ 0.10mm，刃口表面粗糙度 $R_a = 0.8\mu\text{m}$ 。其电火花加工工艺过程见表 11-10。

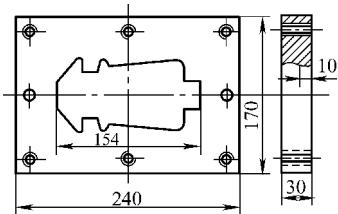


图 11-16 凹模（二）

表 11-10 凹模（二）的电火花加工工艺过程

工 序 号	工序名称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按所需直径和长度下料	锯床
20	锻造	将毛坯锻造成矩形	空气锤
30	热处理	进行退火处理	
40	铣削	铣削 6 个面成六面体	铣床
50	平面磨削	磨上、下两平面及侧面	平面磨床
60	钳工加工	钳工划线，并钻孔、铰孔加工销孔，钻孔、攻螺纹加工螺钉孔；划出凹模型孔轮廓及去除型孔内部废料的一系列孔位置	
70	去除型孔内部废料	在钻床上顺序钻孔，钻完后凿通整个轮廓，敲出型孔内部废料	钻床
80	热处理	淬火、回火，保证硬度达到 58 ~ 62HRC	
90	平面磨削	磨上、下两平面及侧面	平面磨床
100	退磁处理		
110	电火花加工	先用粗规准加工，然后，调整平动头的偏心量，再用精规准加工	电火花机床
120	研磨	研磨销孔及凹模刃口，使其达到规定的技术要求	
130	检测		



(5) 镶拼凹模型孔加工

对于形状复杂的凹模型孔内表面加工,通过分段镶拼的方式变为外表面加工,使加工变得容易;整体式凹模型孔刃口处的尖角部分淬火时易开裂,同时,加工困难,在尖角处拼接避免加工困难和应力集中;有些凸出或凹进部分容易磨损,为方便更换需要单独分成一段;有对称线的制件应沿对称线分段,各段的拼合线要相互错开,并要准确、严密配合,装配牢固。

一般镶拼凹模型孔的镶拼有拼接法和镶嵌法两种。拼接法是将型孔分成数段,对各段分别进行加工后拼接起来,如图 11-17 所示。镶嵌法是在型孔形状复杂或狭小细长的部分另做一个嵌件嵌入型孔体内,如图 11-18 所示。由于制件的形状多种多样,所以镶拼凹模型孔的形状也很多。

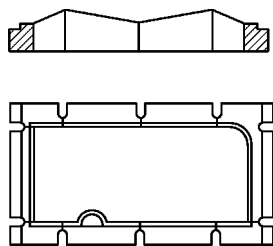


图 11-17 拼接型孔

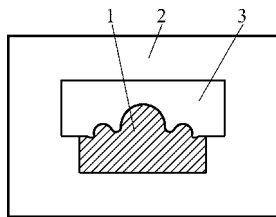


图 11-18 镶嵌型孔

1—制件 2—型孔体 3—镶体

如图 11-19 所示为定子槽型孔拼块,材料为合金钢,其制造工艺过程如下。

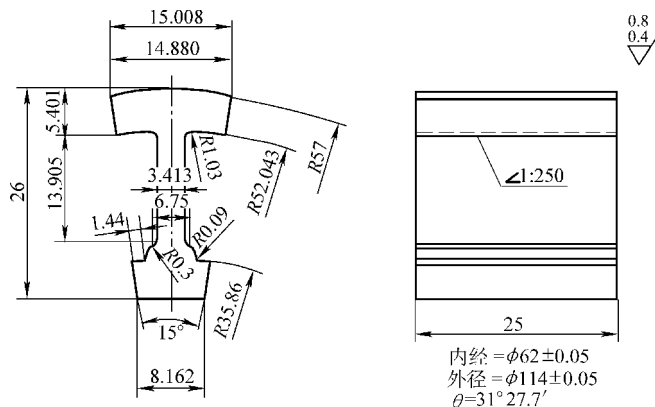


图 11-19 定子槽型孔拼块

1) 毛坯准备。下料、锻造。毛坯锻造成为 32mm × 32mm × 20mm 的长



方体。

2) 热处理。球化退火, 硬度达 $220 \sim 240\text{HBW}$ 。

3) 粗加工。按图样进行铣削 6 个面, 留单面余量 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

4) 检验。按图样和加工余量要求进行检验。

5) 热处理。淬火、回火, 保证硬度达到 $58 \sim 62\text{HRC}$ 。

6) 平面磨削。如图 11-20 所示, 首先, 以 A' 面为基准磨削 A 面; 其次, 将电磁吸盘倾斜 15° , 四周用辅助块固定, 对侧面进行粗加工; 然后, 以 A 面为基准磨削 A' 面, 保证高度一致; 接着, 将电磁吸盘倾斜 15° , 精磨 B 和 B' 面, 留修配余量 0.01mm ; 最后, 对所有拼块用游标万能角度尺定位, 同时磨削端面, 保证垂直度及总长 25mm 。

7) 磨削外径。如图 11-21 所示, 将拼块准确地固定在专用夹具上, 磨削拼块外径, 达到 $R57$ 和表面粗糙度要求。

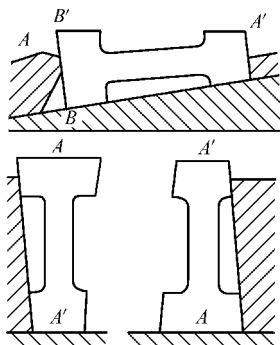


图 11-20 平面磨削

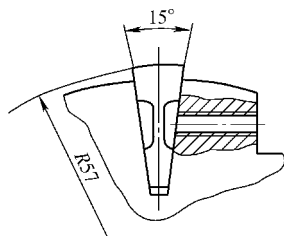


图 11-21 磨削外径

8) 细磨平面。如图 11-22 所示, 对各拼块的拼合面均匀地进行精细磨削, 要求配合可靠, 紧密地依次镶入内径为 $\phi 114\text{mm}$ 的环规中。

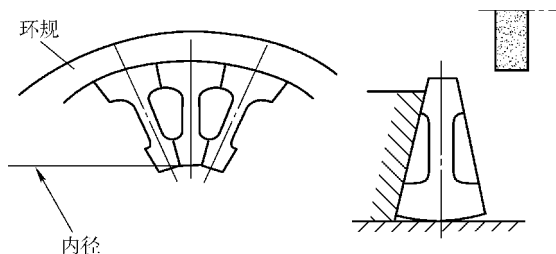


图 11-22 细磨平面

9) 磨削刃口。如图 11-23 所示, 将各拼块装夹在夹具上, 根据型孔刃口部位的放大图在光学曲线磨床上进行粗加工和精加工。



10) 端面磨削。将拼块压入型孔固定板孔径为 $\phi 114\text{mm}$ 内, 对刃口端面进行整体细磨。

11) 检验。用投影仪检验型孔, 测量拼块内径、外径、角度以及检验硬度等。

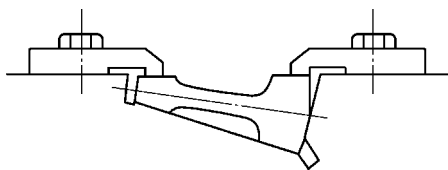


图 11-23 磨削刃口

如图 11-24 所示为等距槽型孔拼块, 材料合金钢, 修整砂轮圆弧后, 用平面磨床进行成型磨削的工艺如下。

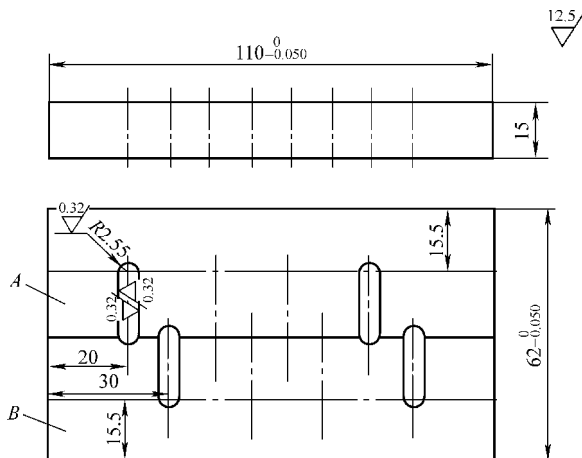


图 11-24 等距槽型孔拼块

- 1) 坯料准备。按图样要求下料、锻造、退火。
- 2) 粗加工。铣削 6 个面, 留单面余量 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。
- 3) 热处理。淬火、回火, 保证硬度达到 $58 \sim 62\text{HRC}$ 。
- 4) 磨削平面。用电磁吸盘及辅助固定块固定工件, 对两个拼块的 6 个平面进行粗磨、精磨, 达到尺寸要求, 并保证各平面相互间的垂直度及两个拼块尺寸一致。
- 5) 粗磨第 1 型槽。如图 11-25 所示, 将 A、B 拼块拼合在一起, 使两平面对合, 并用量块控制两拼块相差 10mm ; 将砂轮修整成 $R2.5\text{mm}$ 的半圆弧, 用量块控制砂轮中心距拼块端面为 20mm , 对第 1 型槽进行粗磨, 深度为 15.4mm 。如图 11-26a 所示。
- 6) 粗磨第 2 型槽。如图 11-26b 所示, 调整拼块位置, 用百分表接触 C 面并调整为零位, 在 C 面放 10mm 的量块。移动机床横拖板使百分表触头与量块侧面接触, 使百分表指示数值为零。位置调整准确后粗磨第 2 型槽, 其槽深度为 2.5mm 。

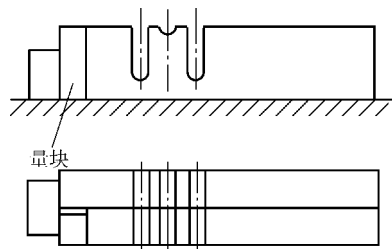


图 11-25 拼块装夹定位

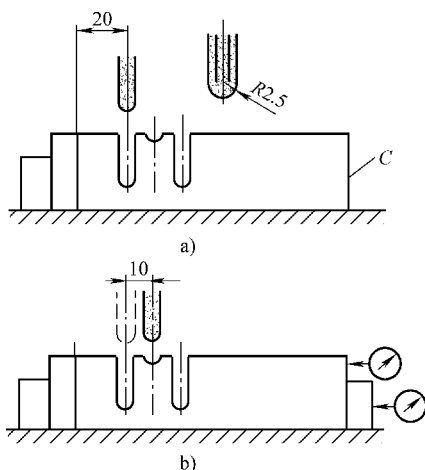


图 11-26 粗磨型槽

a) 粗磨第 1 型槽 b) 粗磨第 2 型槽

7) 磨削第 3 型槽至第 8 型槽。如前所述调整拼块位置, 粗磨第 3 型槽至第 8 型槽。

8) 精磨型槽。将砂轮修整为 $R2.54\text{mm}$ 的半圆弧, 按要求的深度对各槽进行精磨, 并达到表面粗糙度要求。

9) 检验。将两个拼块按相互位置拼合在一起, 检验型孔尺寸精度、表面粗糙度及硬度。

11.4 塑料模型芯与型腔的制造工艺过程

型芯与型腔是塑料模的主要工作零件, 是用来成型制件的关键部件, 它们的质量直接影响着模具的使用寿命和制件质量。

1. 型芯、型腔的结构特点及技术要求

如图 11-27 所示为塑料模型芯的基本结构形式。图 11-27a 所示为整体式, 结构简单, 但材料浪费比较严重, 粗加工的工作量比较大, 主要适用于形状比较简单、型芯长度不长、加工比较方便的情况; 图 11-27b 所示为台阶式, 需装入模板内, 台阶面承受开模力, 结构可靠, 在中型和小型塑料模中应用普遍; 图 11-27c 所示为型芯端面与模板间用圆柱销定位、螺钉连接, 它适用于较大截面和形状比较复杂的型芯; 图 11-27d 所示为拼块式, 它由多块型芯相拼合而成, 主要用于形状比较复杂、难以加工的情况, 通过分解使加工精度易于保证, 但在拼合后要保证尺寸精度, 避免积累误差; 图 11-27e 所示为组合式, 主要从加工工艺角度考虑, 在不影响型芯使用和强度的情况下, 便于制造加工; 图



11-27f所示为小直径型芯的基本结构形式。

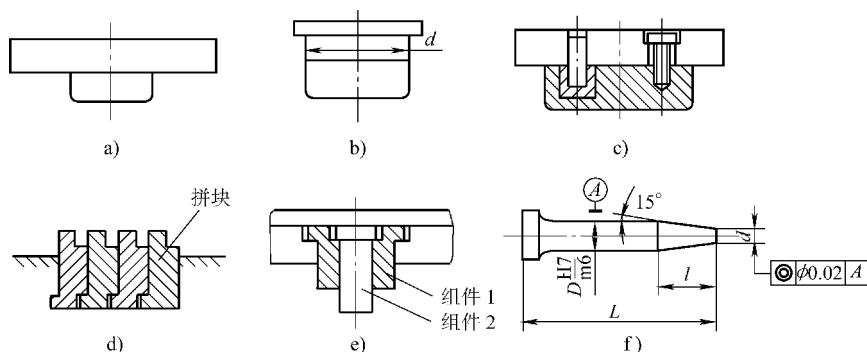


图 11-27 塑料模型芯的基本结构形式

型腔按其结构形式可分为整体式、镶拼式和组合式。型腔主要作用是成型制件的外形表面，其精度和表面质量要求较高，且属于盲孔型内表面加工，型腔的种类、形状、大小有很多种，比较复杂，有的表面还有花纹、图案、文字等。因此，制造工艺过程复杂，制造难度较大。

型芯与型腔的技术要求如下。

1) 表面粗糙度要求高。由于塑料流动性差，成型表面的粗糙度要求为 $R_a = 0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，所以，工作部分各表面都要进行研磨和抛光加工。

2) 位置精度要求高。塑料模凸模和型芯上的工作部分和固定部分在满足位置精度要求的同时，还要考虑同轴度要求，在零件加工工艺上要保证上述要求。

3) 有脱模斜度要求。塑料模型芯和型腔的成型部分都要有脱模斜度。

2. 型芯、型腔的加工

型芯的加工属于外表面的加工，型腔的加工属于内表面的加工，根据制件、模具寿命的要求，型芯与型腔的材料要求具有良好的抛光性、耐磨性、抗腐蚀性、可加工性，常用的材料有 45、40Cr、3Cr2Mo 等。

型芯的加工相对比较简单，可以通过车削、铣削、磨削、钳工修锉等加工方式获得，复杂的可以使用数控设备、加工中心、电火花加工机床等加工获得。

按型腔的形状大致可分为：回转曲面和非回转曲面。对于回转曲面的型腔，工艺过程比较简单，一般用车削、内圆磨削或坐标磨削进行加工制造。但非回转曲面型腔的加工制造就比较困难、复杂，加工的方法主要有以下几类。

1) 用机械切削加工配合钳工修整进行制造，该工艺不需要特殊的加工设备，采用通用机床切除型腔的大部分多余材料，再由钳工精加工修整。该加工方法劳动强度大，生产效率低，质量不易保证。在制造过程中应充分利用各种



设备的加工能力，尽可能减少钳工的工作量。

2) 应用仿形、电火花、超声波、电化学加工及化学加工等专用设备进行加工，可以大大提高生产效率，保证型腔的加工质量。但工艺准备周期长，在加工中工艺控制复杂，有的还会污染环境。

3) 采用数控加工或模具计算机辅助设计与制造（即模具 CAD/CAM）技术，可以加快模具的研制速度，缩短模具的生产准备时间，优化模具制造工艺和结构参数，提高模具的质量和寿命。这种方法是模具制造技术的发展方向。

3. 型芯的加工工艺过程

如图 11-28 所示为型芯（一），材料：MnCrWV，技术要求：硬度 45 ~ 50HRC，表面镀铬，表面粗糙度 $R_a = 0.015\mu\text{m}$ 。其加工工艺过程见表 11-11。

表 11-11 型芯（一）的加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按图样下料 $\phi 33\text{mm} \times 55\text{mm}$	
20	车削	车削各外表面，需精加工部分留双边余量 0.3 ~ 0.4mm，在零件的长度之外的两端做反顶尖	车床
30	热处理	淬火、回火，保证硬度 40 ~ 45HRC，弯曲变形 $\leq 0.1\text{mm}$	
40	研磨	研磨反顶尖	车床
50	外圆磨削	磨削 $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$ 的外圆表面	外圆磨床
60	研磨	研磨抛光 $R_a \leq 1.0\mu\text{m}$ 的外圆表面	车床
70	切除反顶尖	切去两端反顶尖	线切割
80	工具磨	磨扁 $2.7_{-0.10}^0\text{mm}$ 、 $4_{-0.10}^0\text{mm}$ 和端部 8mm	工具磨床
90	研磨	研磨抛光两扁处，模具配装、修整	
100	电镀	表面镀铬，抛光 $R_a = 0.015\mu\text{m}$	
110	检验		

在精加工磨削外圆时，对于细长轴类零件的装夹方式有三种：如图 11-29a 所示为反顶尖，适用于外圆直径较小、长度较大的细长杆类零件，工作部分直径小于 1.5mm 时，两端做成 60° 的锥形顶尖，零件加工完毕后，再切除反顶尖部分；如图 11-29b 所示为顶尖孔，两端顶尖孔按国标要求加工，适用于外圆直径较大的情况，工作部分直径大于 5mm 时，工作端的顶尖孔应根据零件使用情况决定是否加长，当零件不允许保留顶尖孔时，加工完毕后再切除附加长度和顶尖孔；如图 11-29c 所示为加长段在大端，加长部分直接由机床夹持，加工完成后切除，适用于细长比不太大的情况。

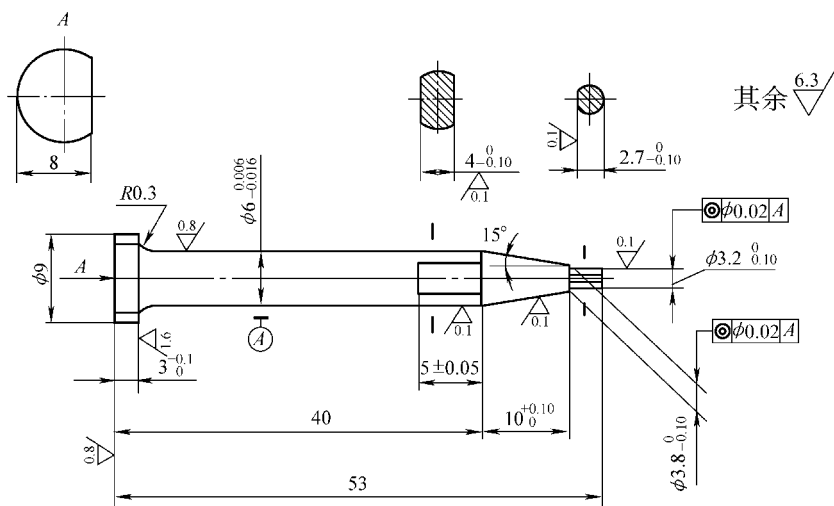


图 11-28 型芯 (一)

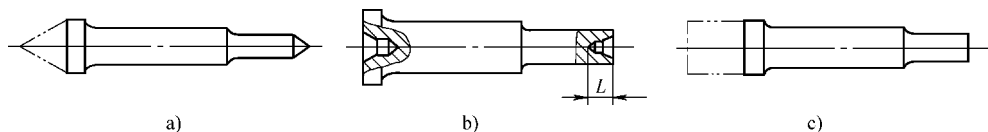


图 11-29 细长轴装夹方式

4. 型腔的加工工艺过程

(1) 回转曲面型腔的加工

对于回转曲面的型腔应用最普遍的加工方法是车削加工，其中可分为：采用普通刀具的卧式车床加工与数控车、铣加工，都是按预定的轨迹轮廓进行加工，卧式车床加工要求工艺的技术水平较高，数控车、铣加工更容易保证，具体参照第 7 章；采用特种刀具的加工；采用专用工具的加工。

1) 特种刀具加工。在回转曲面型腔车削加工中，一般圆柱、圆锥等内形表面使用普通内孔车刀加工，对于球面、半圆面或圆弧面，都采用样板车刀进行最后的成型加工。常用的样板车刀有车刀式样板刀、成型样板刀和弹簧式样板刀等。

① 车刀式样板刀。如图 11-30 所示为车刀式样板刀，根据型腔的曲面形状和尺寸制造样板，然后，依据样板在高速钢或硬质合金车刀的基础上磨制而成的。该刀具制造简单，使用方便，可磨制成各种形状，使用磨损后可重新刃磨多次。车削时先用其他刀具对型腔粗加工，切除多余金属并留有一定的

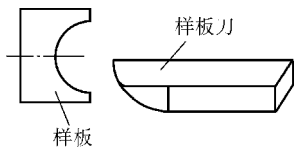


图 11-30 车刀式样板刀



加工余量,最后再用样板车刀进行精车成型。但要注意车刀式样板车不能有效地单独控制型腔的表面形状,必须配合样板校对型腔的形状。

② 成型样板刀。如图 11-31 所示为成型样板车刀。半圆形双刃口部分的形状完全和型腔加工曲面相同,而尾部为锥柄。成型样板刀可根据型腔曲面的半径大小制成单刃、双刃或多刃,在车削加工时不需要用样板校对型腔,能有效地控制型腔的形状。操作时将成型样板车刀安装在车床尾座的套筒内,利用尾座丝杠实现进给切削运动。但必须使尾座套筒的中心和车床主轴中心一致,否则会扭坏刀具或扩大型腔尺寸。

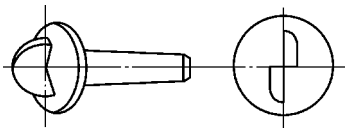


图 11-31 成型样板车刀

③ 弹簧式样板刀。如图 11-32 所示为弹簧式样板刀。就是将样板车刀安装在弹簧刀杆上,一般的样板车刀在车削过程中,因切削面积较大容易引起振动,造成车削表面粗糙度达不到要求,使用该车刀可有效地减小或消除车削过程中的振动,降低加工的表面粗糙度。

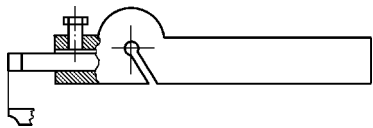


图 11-32 弹簧式样板刀

④ 型腔滚花刀。塑料瓶盖一般其外圆表面都有深浅和长短不等的突出条纹,这些条纹在模具上则为内形表面条纹,对这种内形表面条纹的加工也可以在车床上采用专用的刀具进行加工。

如图 11-33 所示为直线滚花刀,是将直线滚花刀用螺钉固定安装在所用的刀杆上。使用时将刀杆安装在刀架上,找正车床主轴水平中心,对正型腔滚花部位,先低速小吃刀试切,通过观察、调整刀架角度等直至条纹轴向深浅一致后再开始滚花。在滚花中应从内向外进刀并要润滑,每隔一定时间要清洗滚花刀,确保条纹清晰。

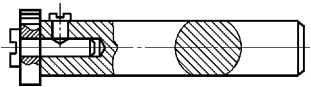


图 11-33 直线滚花刀

如图 11-34 所示为条纹拉刀。在型腔的条纹较深、较宽的情况下,滚花刀无法加工,应用条纹拉刀加工。加工时,将条纹拉刀安装在刀架上并找正中心位置。根据图样要求的条纹数量在型腔上均匀地分度划线,使刀尖对准其中一条划线摇动小滑板向前拉削。利用小滑板和中滑板的刻度分别控制条纹的长短和深浅,分几次拉削达到所要求的条纹长度和深度。加工一条条纹结束后转动车床卡盘,使刀尖对正另一条划线加工第 2 条条纹,依次加工出所有条纹。拉削刀杆要有一定的强度,以免引起条纹不清晰和表面粗糙度达不到要求。

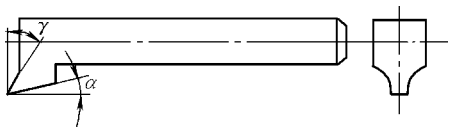


图 11-34 条纹拉刀

2) 专用工具加工。对加工数量较



多的回转曲面型腔，在保证质量的前提下，为提高生产效率，采用专用工具进行车削加工。

① 球面车削工具。如图 11-35 所示为球面车削工具，固定板 1 和调节板 3 分别固定在机床导轨和中滑板上，连杆 2 用销轴将固定板和调节板铰接在一起。当中滑板横向自动进刀时，在连杆的作用下床鞍作相应的纵向移动，连杆绕固定板销轴回转使刀尖做圆弧运动，车出凹球面，球面半径的大小由连杆调节。

② 曲面车削工具。如图 11-36 所示为曲面车削工具，也就是靠模车削。靠模安装在机床的导轨后面，靠模 1 上有曲线沟槽，槽的形状、尺寸与型腔型面的曲线形状、尺寸相同。在机床中滑板上安装连接板 3，滚子 2 安装在连接板端部，并正确地与靠模沟槽配合。车削时中滑板丝杆抽掉，床鞍纵向移动时中滑板和车刀随靠模作横向移动，车削出和曲线沟槽完全相同的型腔表面。

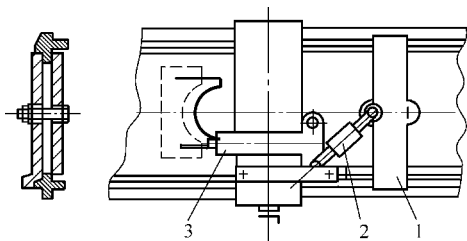


图 11-35 球面车削工具

1—固定板 2—连杆 3—调节板

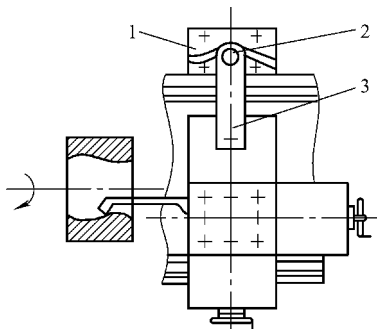


图 11-36 曲面车削工具

1—靠模 2—滚子 3—连接板

③ 盲孔内螺纹自动退刀工具。如图 11-37 所示为盲孔内螺纹自动退刀工具。使用时将螺纹自动退刀工具装在刀架上。扳动手柄 1 将滑块向左拉出，使销钉 10 进入滑块 2 的定位槽内，同时搬动手柄 3 使半圆轴 4 转动，将滑块 2 压住，并将半圆轴沿轴向推动使销钉 5 插入盖板 6 的孔内，调节刀头与半圆轴端部滚动轴承 11 的距离后，即可进行车削。当车削至接近要求的螺纹长度时，滚动轴承 11 撞在工件端面上，向后推动半圆轴。当销钉 5 被推出盖板 6 时，在弹簧 7 的作用下通过滚珠 8 将滑块 2 沿横向推动，使半圆轴的平面转为水平状态，此时销钉 10 和滑块 2 的定位槽脱开。在拉力弹簧 9 的作用下将滑块 2 拉回，使刀具退出型腔，完成一次车削的退刀。重复以上操作过程可以完成螺纹车削的自动退刀。

(2) 非回转曲面型腔的加工

非回转曲面型腔的加工目前应用最多的是数控铣、加工中心，效率高，生



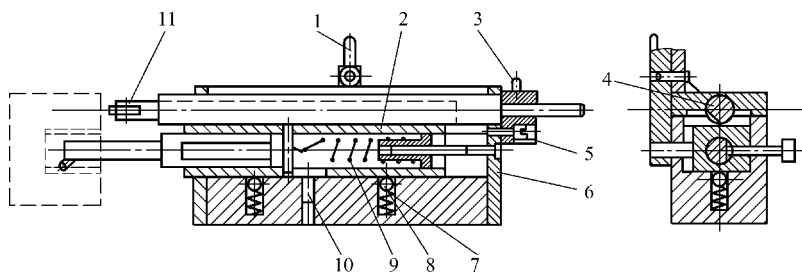


图 11-37 盲孔内螺纹自动退刀工具

1、3—手柄 2—滑块 4—半圆轴 5、10—销钉 6—盖板 7—弹簧
8—滚珠 9—拉力弹簧 11—滚动轴承

产周期短,质量好,详细可参照第7章。这里主要讲解通用铣床的加工。

在非回转曲面模具型腔的加工中,常用普通立式铣床、万能工具铣床和仿形铣床。立式铣床和万能工具铣床主要用于加工中小型模具非回转型腔曲面,一般仿形铣床主要用于加工大型非回转曲面的型腔。加工时,一般先按型腔划出的轮廓线进行加工,留有 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ 的余量。加工后的表面粗糙度 R_a 可达 $3.2 \sim 12.5\mu\text{m}$,精度可达IT8~IT10,最后经钳工修磨、抛光后达到型腔所要求的尺寸和表面粗糙度。

为加工各种特殊形状的型腔表面,必须备有各种不同形状和尺寸的指形铣刀。指形铣刀有单刃、双刃及多刃等。

1) 单刃指形铣刀是应用广泛、制造最为方便的一种。铣刀的几何参数是根据型腔和刀具的材料、强度、寿命及其他加工条件合理选择而确定的,以便获得较好的加工质量,提高生产率。如图11-38所示为常用的单刃指形铣刀。图11-38a用于平底、侧面为垂直平面工件的铣削;图11-38b用于半圆槽及侧面垂直、底面为圆弧工件的铣削;图11-38c用于平底斜侧面的铣削;图11-38d用于斜侧面、底面为圆弧槽工件的铣削;图11-38e用于凸圆弧面的铣削;图11-38f用于刻铣细小文字及花纹。

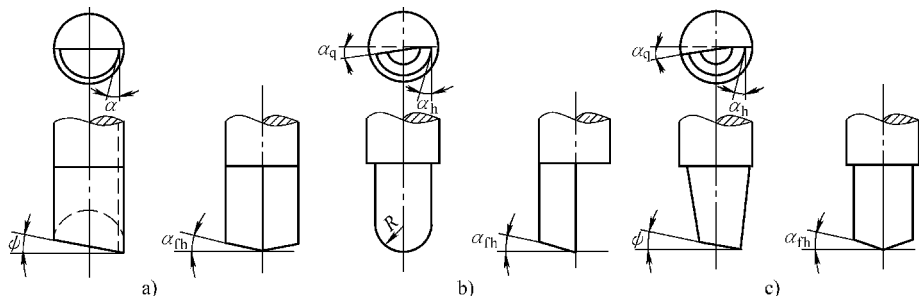


图 11-38 常用的单刃指形铣刀

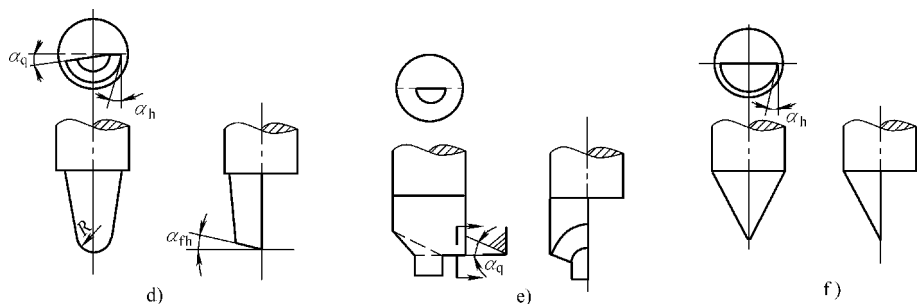


图 11-38 常用的单刃指形铣刀 (续)

2) 双刃指形铣刀。如图 11-39 所示为双刃指形铣刀。切削时刀具受力平衡, 能承受较大的切削用量, 可提高铣削效率和铣削精度。主要用于型腔中直线的凹凸型面和深槽的铣削。双刃指形铣刀为标准产品, 有锥柄和直柄两种。

3) 多刃指形铣刀。多刃指形铣刀铣削精度较高, 表面粗糙度较低, 但制造困难, 一般都采用标准产品。主要用于精铣沟槽的侧面或斜面。

(3) 仿形铣削

使用靠模或数控仿形铣, 采用圆柱球头铣刀加工模具型腔, 具有自动化程度较高, 生产效率高, 能加工出形状较复杂的型腔的特点, 但加工过程中切削刃为非连续切削, 容易产生振动。靠模的制造精度、仿形销的尺寸和形状误差、仿形仪的灵敏度

和准确度等均影响加工精度。加工表面残留的刀痕较明显, 表面粗糙度差, 加工后一般需要修整仿形铣留下的刀痕、凹角及狭窄的沟槽等部位, 需进行钳工修磨、抛光才能达到要求。主要用于高精度型腔面的粗加工, 或者精度要求不高、表面粗糙度要求较低型面的加工。

(4) 电加工

电火花加工时, 一般首先需要通过机械加工方式去除模具型腔内多余的金属, 留较少的余量再进行电火花电极加工, 电火花加工可以加工切削困难的小孔、窄缝或带有文字花纹的部位, 加工精度较高。但电火花加工后的表面呈粒状麻点, 需手工抛光或机械抛光, 由于表面为硬化层, 手工抛光较费时。

电火花线切割加工适合于加工镶拼结构的型腔, 线切割后的表面粗糙度若不能达到要求, 还需抛光型腔。

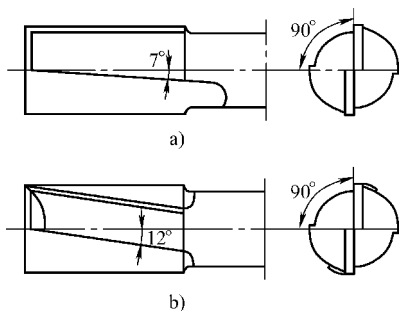


图 11-39 双刃指形铣刀

a) 直刃 b) 螺旋刃



11.5 锻模的制造工艺过程

锻模主要用于大批量锻件的生产。所使用的设备主要有：模锻锤、螺旋压力机、机械压力机、平锻机及其他高效锻压设备。由于受到模锻设备吨位的限制，锻件质量不能太大，一般在 150kg 以下。

1. 锻模的结构特点及技术要求

锻模一般由上、下模组成，型腔（也叫模膛）由上、下模合模后构成，上、下模型腔的加工精度及位置精度直接影响锻件的精度。对于锤锻模的紧固部分——燕尾的形状和尺寸，应与使用的设备相应尺寸一致。

以锤锻模为例，其技术要求如下。

1) 分模面、燕尾支撑面的平面度误差小于 0.02mm，平行度误差也要小，合模后上、下模燕尾支承面的平行度误差达到规定的要求。燕尾方向应与模具模块的纤维方向一致，燕尾高度应略低于相应设备的燕尾槽深度，燕尾的支撑面与分模面的平行度应小于模块最大尺寸的 0.05%，且符合安模空间规格要求。

2) 模膛的中心与设备的压力中心应相重合，对于圆形或近圆形锻件的锻模，模膛应设置在模具的中心，对于长轴类锻件要注意其轴线的方向应与模具模块的纤维方向一致。

3) 对于多模膛锻模其终锻模膛中心应与锻模中心重合；在设有预锻模膛时，应把预锻模膛和终锻模膛设在锻模中心两旁，并同在键槽中心线上，其偏移量要作适当控制，终锻与预锻模膛中心至锻模中线距离之比不应超过 1/2。

4) 纵向基准面与横向基准面间的垂直度公差为 0.03%，燕尾侧面与纵向基准面的平行度应达到规定的要求。

5) 键槽中心线至横向基准面距离的公差不大于 $\pm 0.2\text{mm}$ ；合模后，键槽中心线至横向基准面的距离，上、下模相差不大于 0.4mm。

6) 为防止锻模产生偏移，对于精度要求较高的锻模，可根据锻件尺寸形状及设备条件具体设置在适当位置上安置导销或锁扣对锻模上、下模导向。

2. 锻模的加工

由于锻模在工作时承受很大的冲击力，所以，对模具毛坯的锻造质量，对型腔部分的加工及表面质量要求很高。为了提高锻件的精度和模具的使用寿命，锻模材料要求具有较高的强度与足够的韧度相配合，较高的高温强度和抗氧化性能，良好的回火稳定性，较好的冷热疲劳性能，较高的淬透性，良好的冷热加工工艺性能等，常用的材料有：5CrMnMo、5CrNiMo 等。

锻模的加工主要是平面和型腔。平面加工精度容易达到，锻模型腔结构复杂，精度要求较高，是加工的重点。平面和型腔的加工精度、表面粗糙度、硬



度等应达到相应的要求。一般毛边槽仓部、起重孔及钳口槽等非工作表面，用一般机械加工即可；燕尾支撑面、分模面、预锻型槽等表面经过精铣、精刨或磨削；终锻型槽及毛边槽桥部最后还需抛光加工。

常用的锻模加工方法如下。

1) 模膛加工安排在热处理之前，加工容易，工序简单，但淬火后易变形，模膛部分需进行修整及抛光型面。适于中小型锻模加工。

2) 模膛加工安排在热处理之后，机械加工困难，需采用电加工成形。适用于淬火硬度低的大型锻模。

3. 锻模的加工工艺过程

如图 11-40 所示为连杆锻模，其加工工艺过程见表 11-12。

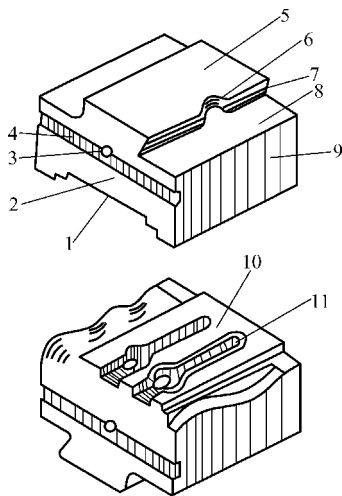


图 11-40 连杆锻模

- 1—分型面 2—横向基准面 3—起重孔
4、11—打印用的槽 5—燕尾支撑面 6—键槽
7—燕尾 8—燕尾肩部平面 9—纵向基准面
10—毛边槽

表 11-12 连杆锻模的加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	锻造毛坯	按设计尺寸锻造模块，并留加工余量	空气锤
20	热处理	按热处理要求退火	
30	粗加工	铣、磨模块，使相邻的各面相互垂直	铣床、平面磨床
40	钳工划线	对起重孔、分型面、燕尾、合模基准和作为工艺基准的检验面等进行划线	
50	钻孔	钻起重孔	钻床
60	机械加工	铣分型面、燕尾、合模基准面和工艺基准面等	铣床
70	钳工划线	在分型面上划出模膛的最大轮廓线并打样冲眼	
80	模膛加工	在铣床上按划线铣削	铣床
90	电火花加工	电火花加工并留有一定的余量	电火花机床
100	热处理	淬火、回火，达到规定的硬度要求	
110	模膛精加工	研磨和抛光表面，以达到规定的表面粗糙度要求	
120	检验		





11.6 压铸模的制造工艺过程

压铸模主要是用于在高温条件下进行工作的情况,是将液态的有色金属或钢铁材料注射到模具型腔内,然后凝固成合格的制件。所使用设备为压铸机。

1. 压铸模的结构特点及技术要求

压铸模与塑料模具的结构类似,结构设计上要避免金属对压铸模型壁或型芯的正面冲击,同时应有排气及冷却系统。压铸模由于是在高温条件下进行工作的,要求不仅在室温下达到一定的精度要求,在高温工作条件下也应保证各部分结构零件尺寸稳定、动作可靠。特别是与熔融合金接触的部位在充填时受到高压、高温与交变应力的作用,结构零件在位置上可能产生偏移以及配合状况发生变化,所产生的后果都会影响压铸生产的正常进行。

压铸模模具材料除了应具有塑料模具的特点外,还应具有较高的高温强度、硬度、抗氧化性、抗回火稳定性和冲击韧性,具有良好的导热性和抗疲劳性。常用的材料有 3Cr2W8V、5CrMnMo、4CrW2Si、4Cr5MoSiV 等。

目前,GB/T 8844—2003《压铸模技术条件》、GB/T 4678.1~19—2003《压铸模零件》、GB/T 4679—2003《压铸模零件技术条件》都对模具零件、装配技术要求、验收技术条件等作了详细规定,在加工制造压铸模时,一定要参照这些标准和结合用户要求进行。一般要求有:压铸模型腔或型芯的制造精度,取铸件尺寸公差的 $1/5 \sim 1/4$;分型面上,动、定模镶块平面应分别与动、定模板齐平,允许高出量 $\leq 0.05\text{mm}$;除排气槽外,动、定模合模后分型面应紧密贴合,其允许间隙值 $\leq 0.05\text{mm}$ 等。

2. 压铸模的加工

压铸模型芯的加工与塑料模具型芯的加工方法类似,型腔的加工基本上与锻模型腔加工方法相似。对小型和简单的压铸模,通常是直接在定模或动模板上加工出型腔,即整体式;对于形状复杂的大型模具,一般采用镶拼式,即把加工好的型腔镶块装入模板的型孔内。

压铸模加工的要求如下。

1) 凡与液态金属接触的表面不应有任何细小的裂缝、锐角、凹坑及表面不平的现象。

2) 压铸模工作部分的工作表面一般表面粗糙度要求较高。因此,在淬硬处理后,一定要进行抛光和研磨,以提高模具的使用寿命及制品表面质量。一般表面粗糙度值应达到 $R_a = 0.20 \sim 0.10\mu\text{m}$ 。表面粗糙度值越小,模具寿命越高。

3) 在加工时,必须先进行模具分型面的研配。在研配之前,应先行平面磨削加工,使之表面粗糙度值 R_a 达到 $1.60 \sim 0.80\mu\text{m}$ 以上。在研配时,应先行以



一个面为基准，再以此面与另一面配合研配，直至不存在间隙为止。

4) 工作部分及浇道口应在试模合格后淬硬。内浇口在试铸时逐渐修整后至合格为止。

5) 加工冷却水管道时，一定要避免在钻孔时破坏型腔及通过嵌件部位。

3. 压铸模的加工工艺过程

(1) 整体式模板

如图 11-41 所示的零件 16 为整体式模板，其加工工艺过程见表 11-13。

(2) 镶拼式模板的加工

镶拼结构的模具型腔加工比较便利，不合理的镶拼结构设计可能导致镶块与其连接件接合处不紧密或螺钉的松弛等，产生毛刺，制造时，必须保证其配合精度。如图 11-41 所示的镶块 11，其结构设计是合理的。

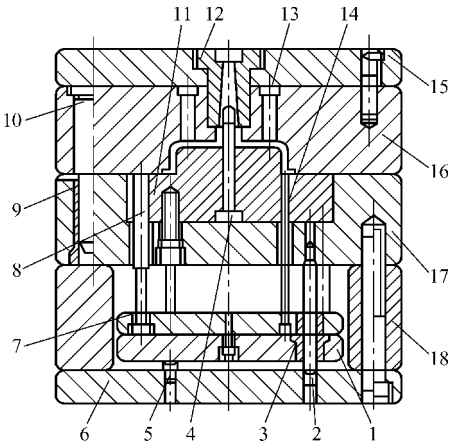


图 11-41 压铸模

1—垫板 2—推板导柱 3—推板导套 4—型芯 5—限位钉 6—动模座板 7—推杆固定板 8—复位杆 9—导套 10—导柱 11—镶块 12—浇口套 13—型芯套 14—推杆 15—定模座板 16—定模套板 17—动模套板 18—垫块

表 11-13 整体式模板的加工工艺过程

工 序 号	工 序 名 称	工 序 内 容	设 备
10	下料	按要求长度，在锯床下料	锯床
20	锻造	将圆形棒料锻成 6 面体并留有加工余量	空气锤
30	热处理	退火	
40	粗加工	铣削粗加工上、下两个平面，然后以这两个平面为基准，加工 4 个侧面，留 1mm 左右的精加工余量	铣床
50	热处理	调质处理，硬度要求为 35 ~ 40HRC	
60	磨平面	在平面磨床上，磨削上下两平面及互相垂直的两侧面	平面磨床
70	钳工划线	以垂直的两侧面为基准，划出型腔中心位置及其轮廓、型芯位置等	
80	镗削加工	用坐标镗床加工导柱孔、型芯孔或浇口套的安装孔	坐标镗床
90	型腔加工	在铣床上加工相应的型腔	铣床
100	研磨抛光	研磨抛光型腔	
110	检验		





思考与练习题

1. 为了保证上、下模座的孔位一致，应采取什么措施？
2. 导柱、导套所用材料是如何选用的？热处理的要求是什么？
3. 非圆形凸模的加工方法有哪几种？不同的加工方法各有什么特点？
4. 非圆形型孔的加工方法有哪些？如何选用这些加工方法？
5. 塑料模型腔的加工方法有哪些？各种加工方法的特点及适用范围是什么？
6. 对锻模模块的纤维方向有什么要求？
7. 压铸模具材料应具备哪些性能？常用于制造压铸模型腔、型芯的材料有哪些？

第12章 模具装配

模具装配是模具制造的最后环节,属单件小批量生产类型,具有工艺灵活,工序集中,以手工操作为主,对操作工人要求有一定的技术水平和经验的特点,主要的工作内容有:选择装配基准、组件装配、调试、修配、总装、研磨抛光、检验、试模等环节,其装配过程称为模具装配工艺过程。装配质量的好坏直接影响到制件质量、模具的使用、维修及模具寿命。

根据模具装配图样和技术要求,按照模具装配工艺规程,将符合图样技术条件的模具零部件按照一定工艺顺序进行配合、定位、连接与紧固,使之组装成符合要求的模具,称为模具装配。也就是说构成模具的所有零件,包括标准件、通用件及成形零件等符合技术要求是模具装配的基础。但是,并不是有了合格的零件,就一定能装配出符合设计要求的模具,合理的装配工艺及装配经验也很重要。

模具装配工艺规程是指导模具装配的技术文件,也是制定模具生产计划和进行生产技术准备的依据。模具装配工艺规程应根据模具种类和复杂程度以及各单位的生产组织形式和习惯做法等具体情况制定。模具装配工艺规程应包括模具零件和组件的装配顺序,装配基准的确定,装配工艺方法和技术要求,装配工序的划分以及关键工序的详细说明,必备的工具和设备,检验方法和验收条件等内容。

模具装配的重要问题就是如何根据装配精度要求来确定零件的制造公差,通过装配尺寸链的建立与分析,确定经济合理的装配工艺方法和零件的制造公差,从而达到装配精度要求。

12.1 模具的装配精度

模具的装配精度一般由设计人员根据产品零件的技术要求、生产批量等因素确定。在装配时,零件或相邻装配单元的配合与连接,均须按装配工艺确定的装配基准进行定位与固定,以保证它们之间的配合精度和位置精度,从而保证模具零件间的精密均匀配合,模具开合运动及其他辅助机构(如卸料、抽芯、送料等)运动的精确性,进而保证制件的精度和质量,保证模具的使用性能和寿命。



模具的装配精度可以概括为模架的装配精度、主要工作零件以及其他零件的装配精度。

依据冲模模架精度的标准 (JB/T 8071—2008) 对冲模模架的精度进行检查验收。

塑料注射模模架及零件的精度应按中小型模架技术条件 (GB/T 12556—2006) 及大型模架技术条件 (GB/T 12556—2006) 进行检查验收。

模具的装配精度包括以下几点。

1) 相关零件的位置精度。例如：动、定模之间及上、下模之间的位置精度；型腔、型孔与型芯之间的位置精度；定位销钉与孔的位置精度；定位和挡料装置的相对位置精度；卸料和顶料装置的相对位置精度等。

2) 相关零件的运动精度。包括直线运动精度，圆周运动精度及传动精度。例如：导柱和导套之间的配合精度；进料装置的送料精度；顶块和卸料装置的运动是否灵活可靠等。

3) 相关零件的配合精度。包括相互配合零件之间的间隙和过盈程度是否符合技术要求。

4) 相关零件的接触精度。例如：模具分型面的接触状态是否符合技术要求；弯曲模的上、下成形表面的吻合是否一致等。

合理的设计、合格的模具零部件、正确的装配工艺方法、有效的检测手段是保证模具精度的关键因素。

模具的装配精度要求，可以根据各种标准或有关资料予以确定。当缺乏成熟资料时，常采用类比法并结合生产经验而定。

12.1.1 冲模的装配精度要求

对于冲模而言，主要有凸、凹模间隙，上、下模座底面的平行度，导柱、导套配合精度等。主要体现在以下几个方面。

1. 制件精度和质量

进行冲模设计、选择冲模精度等级，以及确定凸、凹模成形零件的加工精度、选取模具标准零件的精度等级、控制模具装配精度和质量等的主要依据是制件精度和质量的要求。

2. 冲裁间隙及其均匀性

确定模具精度等级的重要因素是冲裁模中凸、凹模之间的间隙值及其均匀性，它与模具导向副中导柱、导套的运动配合精度有直接关系。冲裁间隙值 (Δ) 越小，间隙的均匀性要求越高，上、下模定向运动精度要求就越高，对导柱、导套的运动配合精度要求就越高。即导柱、导套的运动配合精度与凸、凹模之间的间隙值 (Δ) 及其均匀性成正比例。



导柱、导套运动配合的极限偏差 δ 凸、凹模之间的间隙值 (Δ) 的关系式:

$$\delta = k (\Delta \pm \Delta')$$

式中 Δ' ——间隙值 Δ 的许用变动量;

Δ ——单边冲裁间隙值; 常用经验公式为: $\Delta = (0.06 \sim 0.15) T$ (板厚);

k ——导柱外径与导柱、导套配合长度之比。

有关上述参数的取值参见相关标准。

例 12.1: 设制件料厚 $T = 0.35\text{mm}$, 间隙允许变动量 Δ' 取间隙值 Δ 的 30%, 导柱外径为 $d = 25\text{mm}$, 导柱与导套的配合长度 $L = 60\text{mm}$, 求导柱与导套的配合精度。

解: 依经验公式, 单边冲裁间隙值取: $\Delta = 0.35 \times 0.06 = 0.021$

间隙许用变动量: $\Delta' = 0.3 \times 0.021 = 0.0063$

$k = 25/60 = 0.416$

$\delta = 0.416 \times (0.021 \pm 0.0063) = 0^{+0.011}_{-0.007}$

由此可得: 极限偏差值为 0.018mm 。比值 k 与导柱、导套滑动配合的极限偏差, 与标准规定基本上相符。

3. 冲模凸、凹模装配精度要求

凸、凹模与固定板的配合一般为 H7/n6 或 H7/m6, 以保证其工作稳定性与可靠性。凸模在装配时, 其对上、下模座基准面的垂直度偏差须在凸、凹模间隙值的允许范围内。推荐的垂直度公差等级见表 12-1 (GB/T 14662—2006《冲模技术条件》)。

表 12-1 凸模垂直度公差等级

间隙值 Δ/mm	垂直度公差等级	
	单凸模	多凸模
薄料, 无间隙 (≤ 0.02)	5	6
$> 0.02 \sim 0.06$	6	7
> 0.06	7	8

4. 制件产量

确定模具结构形式、模具精度等级的另一重要因素是制件产量。这与模具寿命有直接关系, 为保证模具的使用性能和寿命, 适应冲件产量的要求, 一般高寿命模具的凸、凹模常采用拼合结构, 其拼合件应为完全互换性零件。因此这些拼合件的精度, 比一般模具的精度须高 1 个数量级。

12.1.2 塑料注射模的装配精度要求

对于塑料注射模而言, 主要有型腔、型芯之间的间隙, 动、定模座底面平





行度,导柱、导套与其固定板的垂直度,导柱与导套、顶杆与顶杆孔、卸料板与凸模的配合精度等。主要体现在以下几个方面。

1. 塑件精度与质量

塑件的精度和质量是进行塑料注射模设计,确定与控制模具设计、零件制造和模具装配精度与质量的主要依据。影响塑件尺寸精度与质量的主要因素为:塑件收缩率、模具型腔的设计精度及模具结构的合理性。因此,模具型腔和型芯的设计与制造公差,一般为塑件尺寸公差的 $1/3 \sim 1/5$,即 $\Delta' = \Delta/3 \sim \Delta/5$ 。

2. 制件产量

制件产量决定了模具结构形式、模具精度等级,也决定了标准模架的选择。根据 GB/T 12556—2006 标准,组合后的模架在水平自重条件下,其分型面的贴合同隙为:模板长 400mm 以下 $\leq 0.03\text{mm}$;模板长 400 ~ 630mm $\leq 0.04\text{mm}$;模板长 630 ~ 1 000mm $\leq 0.06\text{mm}$;模板长 1 000 ~ 2 000mm $\leq 0.08\text{mm}$ 。

12.2 装配尺寸链

1. 装配尺寸链

由于模具是由若干个零件、部件经装配而成。零件在制造过程中是有精度要求的,装配后会出现误差累积问题,影响和决定了模具的某项装配精度,直接影响整个模具的装配精度,影响制品的精度。为了保证模具和制品质量,首先在保证各个零部件单个质量的同时,还要保证这些零、部件之间的尺寸精度、位置精度及装配技术要求。要分析组成模具的相关零件的精度对装配精度的影响,无论是产品设计,还是装配工艺的制定以及解决装配质量问题等,都要应用装配尺寸链的原理。

在产品的装配关系中,由相关零件的尺寸(表面或轴线间的距离)或相互位置关系(同轴度、平行度、垂直度等)所组成的尺寸链,叫做装配尺寸链。装配尺寸链的基本定义、所用基本公式、计算方法,均与零件工艺尺寸链相类似。

装配尺寸链特征是封闭性,即组成尺寸链的有关尺寸按一定顺序首尾相接构成封闭图形,没有开口,如图 12-1b 所示。组成装配尺寸链的每一个尺寸称为装配尺寸链环,如图 12-1a 所示,共有 5 个尺寸链环 (A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4)。尺寸链环可分为封闭环和组成环两大类。封闭环是装配后自然得到的,它就是装配后的精度和技术要求,是通过将零件、部件等装配好以后才最后形成和保证的,是一个结果尺寸或位置关系,如图 12-1 所示 A_0 是装配后形成的,它就是技术条件规定的尺寸,因此,它是封闭环;组成环是构成封闭环的各个零件的相关尺寸,在装配关系中,与装配精度要求发生直接影响的那些零件、部件的



尺寸和位置关系,如图12-1所示 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 是组成环。组成环又分为增环和减环。在其他组成环尺寸不变的情况下,当某组成环尺寸增大,封闭环尺寸也随之增大时,则该组成环为增环,反之,当某组成环尺寸增大,封闭环尺寸随之减小时,则该组成环称为减环。由于各个组成环都有制造公差,所以封闭环的公差就是各个组成环的累积公差。因此,确定装配方法后,把装配精度要求作为装配尺寸链的封闭环,通过装配尺寸链的分析计算,就可以在设计阶段合理地确定各组成零件的尺寸公差和技术条件。只有零件按规定的公差加工,装配按预定的方法进行,才能有效而又经济地达到规定的装配精度要求。

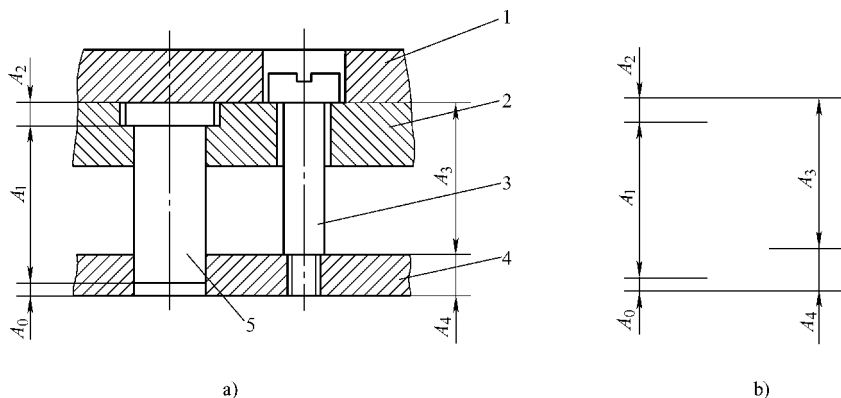


图 12-1 装配简图及装配尺寸链图

a) 装配简图 b) 装配尺寸链图

1—垫板 2—固定板 3—退料螺钉 4—弹压卸料板 5—凸模

应用装配尺寸链计算装配精度问题的步骤是:首先,正确无误地建立装配尺寸链;其次,作必要的分析计算,并确定装配方法;最后,确定经济而可行的零件制造公差。

2. 尺寸链的建立

建立和解算装配尺寸链时应注意下面几点。

1) 当某组成环属于标准件(如销钉等)时,其尺寸公差大小和分布位置在相应的标准中已有规定,属已知值。

2) 当某组成环为公共环时,其公差大小及公差带位置应根据精度要求最高的装配尺寸链来决定。

3) 其他组成环的公差大小与分布应视各环加工的难易程度予以确定:对于尺寸相近、加工方法相同的组成环,可按等公差值分配;对于尺寸大小不同、加工方法不一样的组成环,可按等精度(公差等级相同)分配;加工精度不易保证时可取较大的公差值等。





4) 一般公差带的分布可按入体原则确定, 并使组成环的尺寸公差符合国家公差与配合标准的规定。

5) 对于孔心距尺寸或某些长度尺寸, 可按对称偏差予以确定。

6) 在产品结构既定的条件下建立装配尺寸链时, 应遵循装配尺寸链组成的最短路线原则 (即环数最少), 即使每一个有关零件 (或组件) 仅以一个组成环来参入装配尺寸链中, 因而, 组成环的数目应等于有关零、部件的数目。

3. 尺寸链的分析计算

当装配尺寸链被确定后, 就可以进行具体的分析与计算工作。

如图 12-2 所示为塑料注射模中常用的斜楔锁紧结构的装配尺寸链。在空模合模后, 滑块 2 沿定模 1 内斜面滑行, 产生锁紧力, 使两个半圆滑块严密拼合。为此, 须在定模 1 内平面和滑块 2 分型面之间留有合理间隙。

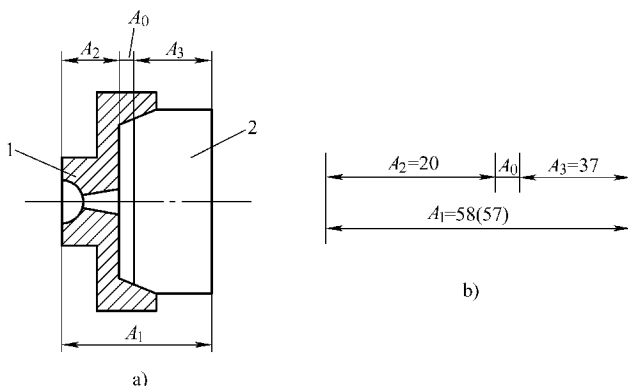


图 12-2 斜楔锁紧结构的装配尺寸链图

a) 装配简图 b) 装配尺寸链图

1—定模 2—滑块

1) 封闭环的确定。如图 12-2 所示的间隙 A_0 是在装配后形成的, 为尺寸链的封闭环。按技术要求, 间隙 A_0 的极限值为 $0.18 \sim 0.30\text{mm}$, 即: $A_0^{+0.30}_{+0.18}\text{mm}$ 。

2) 查明组成环。 $A_0 \sim A_3$ 4 个尺寸环依次相连组成封闭的装配尺寸链。 A_0 是封闭环, $A_1 \sim A_3$ 为组成环。绘出相应的尺寸链图, 如图 12-2b 所示, 并将各环的基本尺寸标于尺寸链图上。

由此可得尺寸链的关系方程式为: $A_0 = A_1 - (A_2 + A_3)$

其中: 在其他尺寸不变的情况下, 当 A_1 增大或减小时, A_0 亦相应增大或减小, 即 A_1 的变动导致 A_0 同向变动, 故 A_1 为增环。其传递系数 $\xi_1 = +1$ 。当 A_2 、 A_3 增大时, A_0 减小; 当 A_2 、 A_3 减小时, A_0 增大。故 A_2 、 A_3 为减环, 其传递系数 $\xi_2 = \xi_3 = -1$ 。

3) 校核组成环基本尺寸。将各组成环的基本尺寸代入尺寸链关系方程式



中，得： $A_0 = [58 - (20 + 37)] = 1\text{mm}$ 。但技术要求 $A_0 = 0$ ，若将 $A_1 - 1$ ，即 $(58 - 1) = 57\text{mm}$ ，则使封闭环基本尺寸符合要求。因此，各组成环基本尺寸确定为： $A_1 = 57\text{mm}$ ； $A_2 = 20\text{mm}$ ； $A_3 = 37\text{mm}$ 。

4) 公差计算。根据表 12-2 中的尺寸链计算公式可得：封闭环上极限偏差为 $ES_0 = 0.30\text{mm}$ ；封闭环下极限偏差为 $EI_0 = 0.18\text{mm}$ ；封闭环中间偏差为 $\Delta_0 = 1/2 (0.30 + 0.18) = 0.24\text{mm}$ ；封闭环公差为 $T_0 = (0.30 - 0.18) = 0.12\text{mm}$ 。

尺寸链各环的其他尺寸与公差均可按表 12-2 内的公式进行计算。

表 12-2 尺寸链计算公式

序 号	计 算 内 容		计 算 公 式
1	封闭环基本尺寸		$A_0 = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i$
2	封闭环中间偏差		$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n \xi_i \Delta_i$
3	封闭环公差	极值公差	$T_0 = \sum_{i=1}^n T_i$
		平均公差	$T_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 T_i^2}$
4	封闭环极限偏差		$ES_0 = \Delta_0 + \frac{1}{2} T_0$ $EI_0 = \Delta_0 - \frac{1}{2} T_0$
5	封闭环极限尺寸		$L_{i\max} = L_0 + ES_0$ $L_{i\min} = L_0 + EI_0$
6	组成环平均公差	极值公差	$T_{av} = \frac{T_0}{n}$
		平均公差	$T_{av} = \frac{T_0}{\sqrt{n}}$
7	组成环极限偏差		$ES_i = \Delta_i + \frac{1}{2} T_i$ $EI_i = \Delta_i - \frac{1}{2} T_i$
8	组成环极限尺寸		$L_{i\max} = L_i + ES_i$ $L_{i\min} = L_i + EI_i$

注：下角标“0”表示封闭环，“i”表示组成环的序号；“n”表示组成环的个数； Δ 表示偏差； T 表示公差； ξ 表示传递系数； ES 表示上偏差， EI 表示下偏差；下角标“av”表示平均。





12.3 模具装配的工艺过程及方法

1. 模具装配的工艺过程

模具的装配工艺过程如图 12-3 所示。其主要的工作步骤与内容如下。

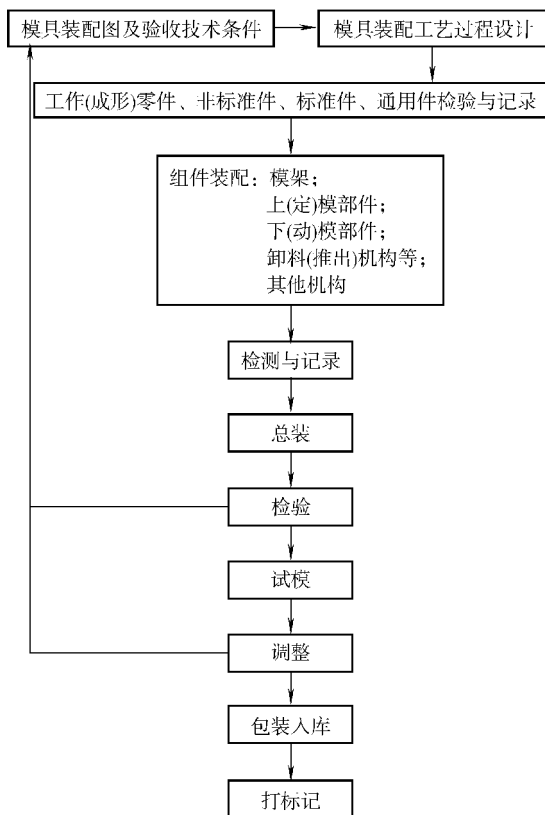


图 12-3 装配工艺过程图

1) 审查图样的完整性和正确性, 分析产品的生产纲领、结构工艺性能等, 明确各零、部件间的装配关系。

2) 审查装配技术要求和检查验收的方法, 掌握装配技术的关键问题, 制定相应的技术措施。

3) 结合具体的生产条件, 确定保证模具装配精度的方法和组织形式。

4) 划分装配单元, 划分装配工序, 合理安排装配顺序, 制定工序的操作规范。

5) 选择装配基准, 基准件的选择应有利于装配过程的检测、工序间的传递运输等作业。装配基准件应是产品的基体或主干零部件。应有较大的体积、足够的支承面, 以满足陆续装入零、部件时的稳定性要求。



6) 按顺序进行装配。

7) 试模、调整、检测, 模具装配完毕后, 应按相关的验收技术条件进行试模、调整、检测, 包括检测和试验的项目、方法、条件、所需的工艺装备以及对质量问题的分析和处理, 直至交付合格模具。

8) 包装入库, 打标记。

2. 确定装配顺序的原则

确定装配顺序时应注意如下原则。

1) 预处理工序在前。如零件的倒角、去毛刺、清洗、防锈、防腐处理等应安排在装配前。

2) 先下后上。使模具在装配过程中的重心处于最稳定的状态。

3) 先内后外。先装配产品内部的零部件, 使先装部分不妨碍后续的装配。

4) 先难后易。在开始装配时, 基准件上有较开阔的安装、调整 and 检测空间, 较难的装配的零部件应安排在先。

5) 可能损坏前面装配质量的工序应安排在先。

6) 及时安排检测工序。在完成对装配质量有较大影响的工序后, 应及时进行检测, 检测合格后方可进行后续工序的装配。

7) 使用相同设备、工艺装备及具有特殊环境的工序, 应集中安排, 这样可以减少模具在装配地的迂回。

8) 处于基准件同一方位的装配工序应尽可能集中连续安排。

3. 模具装配的工艺方法

模具生产属单件小批生产, 又具有成套性和装配精度高的特点, 模具装配的工艺方法主要有互换法、分组法、修配法和调整法等。互换法的实质就是通过控制零件制造加工误差来保证装配精度。按可互换程度又分为完全互换法和部分互换法。分组法是将模具各配合零件按实际测量尺寸进行分组, 在装配时按组进行互换装配, 使其达到装配精度的方法。修配法是在某零件上预留修配量, 装配时根据实际需要修整预修面来达到装配要求的方法。常用的修配方法有指定零件修配法和合并加工修配法两种。调整法的实质与修配法相同, 仅具体方法不同, 它是用一个可调整位置的零件来调整它在机器中的位置以达到装配精度, 或增加一个定尺寸零件(如垫片、垫圈、套筒等)以达到装配精度的一种方法。常用的调整装配法有可动调整法和固定调整法两种。

不同的装配方法对零件的加工精度、装配的技术水平要求不同, 生产效率也不相同, 因此, 在选择装配方法时, 应从产品装配的技术要求出发, 根据生产类型和实际生产条件合理进行选择。

(1) 互换法

1) 完全互换装配法。完全互换装配法是指装配时, 各配合零件不经修理和





调整,即可达到装配精度的要求。

要使装配零件达到完全互换,其装配精度要求和被装配零件的制造公差之间应满足以下条件,即

$$\delta_{\Delta} = \delta_1 + \delta_2 + \cdots + \delta_n$$

式中 δ_{Δ} ——装配允许的公差;

δ_1 、 δ_2 、 $\cdots$ 、 δ_n ——各有关零件的制造公差。

该法具有装配工作简单,质量稳定,易于流水作业,效率高,对装配工人技术要求低,模具维修方便等优点。但采用完全互换法进行装配时,如果装配的精度要求高,装配尺寸链的组成环较多,则易造成各组成环的公差很小,零件加工困难,同时对管理水平要求较高。因此,被广泛应用于大批量、尺寸组成环较少的模具零件的模具装配工作。

2) 部分互换法。部分互换装配法也叫概率法,是指装配时,各配合零件的制造公差将有部分不能达到完全互换装配的要求。这种方法的条件是各有关零件公差值平方之和的开方根小于或等于允许的装配误差,即

$$\delta_{\Delta} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \cdots + \delta_n^2}$$

与完全互换装配法相比,零件的公差可以放大些,克服了采用完全互换法计算出来的零件尺寸偏高、制造困难等缺点,使加工容易而经济,同时仍能保证装配精度。采用这种方法存在着超差的可能,但超差的机率很小,合格率为99.73%,只有少数零件不能互换。

(2) 分组法

在成批大量的模具生产中,当装配精度要求很高时,装配尺寸链中各组成环的公差很小,使零件的加工非常困难,有的可能使零件的加工精度难以达到。在这种情况下,可先将零件的制造公差扩大数倍以经济精度进行加工,使零件的加工制造容易。然后将加工出来的零件按扩大前的公差大小和扩大倍数进行分组,并以不同的颜色相区别,以便按组进行装配。在同一个装配组内,既能完成互换装配又能达到高的装配精度,适用于要求装配精度高的成批大量模具的装配。

(3) 修配法

1) 指定零件修配法。指定零件修配法是在装配尺寸链的组成环中,预先指定一个零件作为修配件,并预留一定的加工余量,装配时再对该零件进行切削加工,达到装配精度要求的加工方法。指定的零件应易于加工,而且在装配时它的尺寸变化不会影响其他尺寸链。

如图12-4所示为热固性塑料压缩模,装配后要求上下型芯在B面上,凹模的上下平面与上下固定板在A、C面上同时保持接触。为了保证零件的加工和装配简化,选择凹模为修配件。凹模的上下平面在加工时预留一定的修配余量,其大小可根据具体情况或经验确定。修配前应进行预装配,测出实际的修配余



量大小，然后拆开凹模按测出的修配余量修配，再重新装配以达到装配要求。

2) 合并加工修配法。合并加工修配法是将两个或两个以上的配合零件装配后，再进行机械加工，以达到装配精度要求的方法。零件组合后所得到的尺寸作为装配尺寸链中的一个组成环对待，从而使尺寸链的组成环数减少，公差扩大，更容易保证装配精度的要求。

如图 12-5 所示，当凸模和固定板组合后，要求凸模上端面和固定板的上平面为同一平面。采用合并修配法，在单独加工凸模和固定板时，对 A_1 和 A_2 尺寸并不严格控制，而是将两者组合在一起后，进行磨削上平面，以保证装配要求。

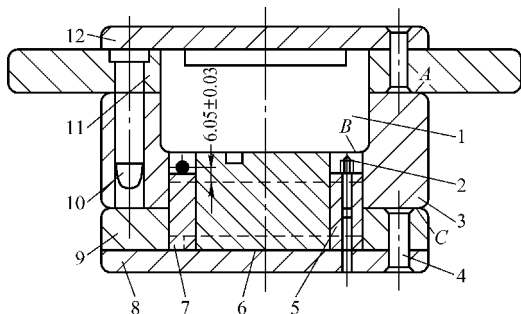


图 12-4 热固性塑料压缩模

- 1—上型芯 2—嵌件螺钉 3—凹模 4—铆钉
5、7—型芯拼块 6—下型芯 8、12—支承板
9、11—上、下固定板 10—导柱

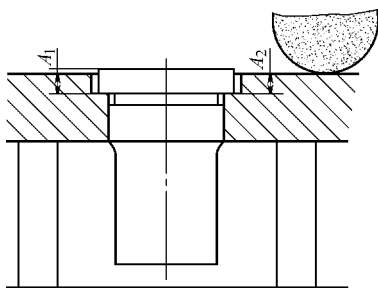


图 12-5 合并加工修配

修配装配法能够获得很高的装配精度，而零件的制造精度可以放宽。但在装配中增加了修配工作量，工时多且装配质量依赖于工人技术水平、生产率低。

修配法广泛应用于单件或小批量生产的模具装配工作。

(4) 调整法

1) 可动调整法。可动调整法是在装配时，用改变调整件的位置来达到装配要求的方法。

如图 12-6 所示为冷冲模上出件的弹性顶件装置，通过旋转螺母，压缩橡胶，使顶件力增大。

2) 固定调整法。固定调整法是在装配过程中选用合适的形状、尺寸调整件，达到装配要求的方法。

如图 12-7 所示为塑料注射模滑块型芯水平位置的调整，可通过更换调整垫的厚度或微量磨削调整垫的厚度达到装配精度的要求。调整垫可制成不同厚度，根据预装配时对间隙的测量结果，选择一个适当厚度的调整垫进行装配，以达到所要求的型芯位置。

调整装配法可以放宽零件的制造公差，但装配时与修配法一样费工费时，



并要求工人有较高的技术水平。

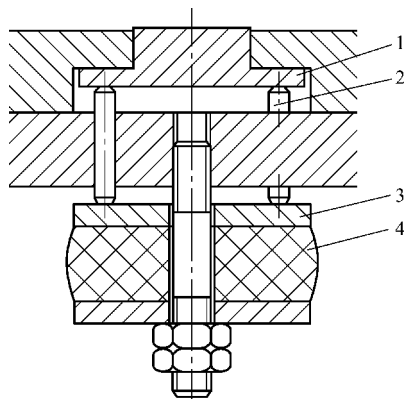


图 12-6 弹性顶件装置

1—顶料板 2—顶杆 3—垫板 4—橡皮

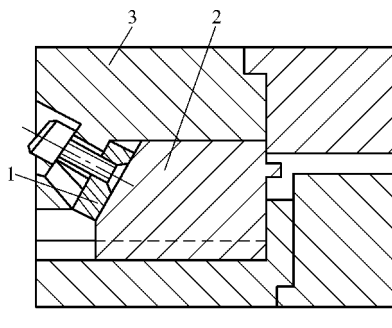


图 12-7 固定调整法

1—调整垫 2—滑块型芯 3—定模板

12.4 模具零件的固定方法

组成模具的各个零件、部件通过定位、固定连接构成了模具，因此，必须掌握模具零件的固定方法，根据模具结构设计的不同，常用的模具零件固定方法如下。

1. 紧固件法

紧固件法是利用紧固零件（螺钉、定位销等）将模具零件固定的方法，其特点是工艺简单、紧固方便。

如图 12-8 所示为螺钉—定位销紧固式，主要适用于大型截面成形零件的连接，圆柱定位销的最小配合长度 $H_2 \geq 2d_2$ ，对于螺钉拧入连接长度，钢件 $H_1 \geq d_1$ ，铸铁 $H_1 \geq 1.5d_1$ 。

如图 12-9 所示为螺钉吊装固定式，凸模定位部分与固定板配合孔采用基孔制配合（H7/m6 和 H7/n6），或采用小间隙配合（H7/h6），螺钉直径大小依卸料力的大小而定。

如图 12-10 所示为斜压块紧固式，它是将凹模（或固定零件）放入斜压块带有 10° 锥度的孔内，调整好位置，用螺栓压紧斜压块使凹模紧固。

2. 压入法

如图 12-11a 所示为压入法，压入法是过盈零件间常用的固定连接方法之一，定位配合部位采用 H7/m6、H7/n6 或 H7/r6 配合，适用于冲裁板厚 $t \leq 6\text{mm}$ 的冲裁凸模与各类模具零件。利用台阶结构限制轴向移动时，应注意台阶结构尺寸， $H > \Delta D$ ， $\Delta D \approx 1.5 \sim 2.5\text{mm}$ ， $H = 3 \sim 8\text{mm}$ 。

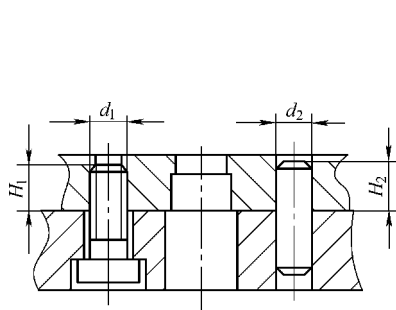
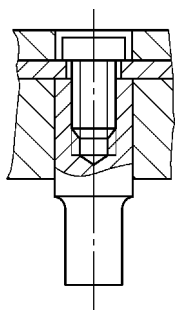
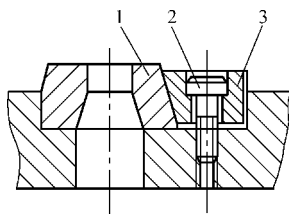


图 12-8 螺钉一定位销紧固式

图 12-9 螺钉吊装
固定式图 12-10 斜压块紧固式
1—凹模 2—螺钉
3—斜压板

它的优点是牢固可靠，拆装方便；缺点是对被压入的型孔尺寸精度和位置精度要求较高，固定部分应具有一定的厚度，加工成本高。

如图 12-11b 所示为压入装配过程图，将凸模固定板型孔台阶向上，放在两个等高垫铁上；将凸模工作端向下放入型孔对正，用压力机慢慢压入；要边压入边检查凸模垂直度，并注意过盈量、表面粗糙度、导入圆角和导入斜度；压入后凸模台阶端面与固定板型孔的台阶端面相接触，然后将凸模尾端磨平。

注意：在压入时结合面的过盈量、表面粗糙度应符合要求；其压入部分应设有引导部分（引导部分可采用小圆角或小锥度），以便压入顺利；压入时最好在手动压力机上进行，要将压入件置于压力机中心；压入少许时即应进行垂直度检查，压入至 3/4 时再作垂直度检查，即应边压边检查垂直度。首次压入量不要超过 3mm。

3. 铆接法

如图 12-12 所示。铆接法主要适用于冲裁板厚 $t \leq 2\text{mm}$ 的冲裁凸模和其他轴向拉力不太大的零件。凸模和固定板型孔配合部分保持 0.01 ~ 0.03mm 的过盈量，铆接端凸模硬度 $\leq 30\text{HRC}$ ，固定板型孔铆接端周边倒角 C0.5 ~ C1。

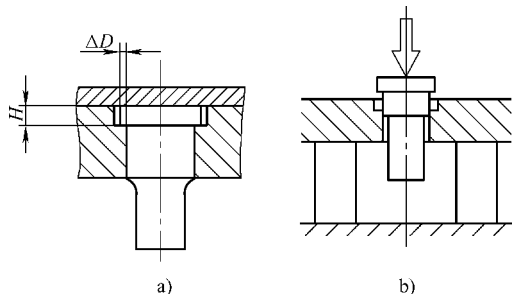


图 12-11 压入法

a) 压入法 b) 压入装配过程图

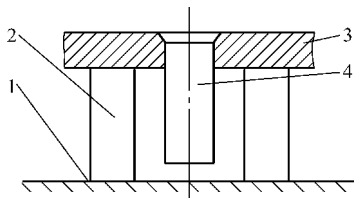


图 12-12 铆接法

1—平板 2—等高垫块
3—凸模固定板 4—凸模



4. 挤紧法

如图 12-13 所示, 箭头所示为挤紧方向, 主要适用于轴向拉力不大的零件, 挤紧法就是用凿子环绕凸模外圈对固定板型孔进行局部敲击, 使固定板的局部材料被挤向凸模而将其固定的方法。挤紧法操作简便, 但要求固定板型孔的加工较准确。一般步骤是: 将凸模通过凹模压入固定板型孔 (凸、凹模间隙要控制均匀); 挤紧; 检查凸、凹模间隙, 如不符合要求, 还需修挤。

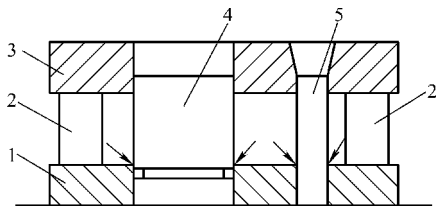


图 12-13 挤紧法

1—固定板 2—等高垫铁 3—凹模
4, 5—凸模

在固定板中挤紧多个凸模时, 应先挤紧装配最大的凸模, 这可使挤紧装配其余凸模时少受影响, 稳定性好。然后, 再挤紧装配离该凸模较远的凸模。

5. 热套法

如图 12-14 所示为热套法的三个例子, 热套法是应用金属材料热胀冷缩的物理特性对模具零件进行固定的方法。常用于固定凸模、凹模拼块及硬质合金模块。

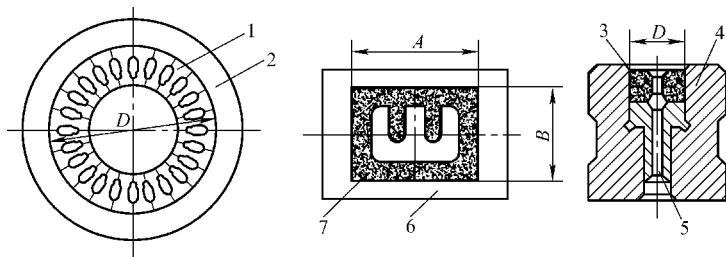


图 12-14 热套法

1—拼块 2, 4, 6—套圈 3, 7—硬质合金模块 5—支承座

固定时将其配合面擦净, 放入箱式电炉内加热后取出, 将凹模块放入固定板配合孔中, 冷却后固定板收缩即将凹模固定。固定后再在平面磨床上磨平并进行型孔精加工。当主要起连接固定作用时, 其配合过盈量要小些。当要求连接并有预应力时, 其配合过盈量要大些。过盈量控制在 $0.001D \sim 0.002D$ mm 的范围内。对于钢质拼块一般不预热, 只是将模套预热到 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 保持 1h, 即可热套。对于硬质合金模块应预热到 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$, 模套在 $400 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 预热后热套。

6. 钎焊法

如图 12-15 所示为钎焊法。主要用于硬质合金模, 由于硬质合金与钢的热



膨胀系数相差较大,焊后容易产生内应力而引起开裂,故应尽量避免采用。

焊前要在 $700^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ 进行预热,并清理钎焊面,再用火焰钎焊或高频钎焊,在 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 左右钎,钎缝为 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$,钎料为黄铜并加入脱水硼砂。焊后放入木炭中缓冷,最后在 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$,保温 $4 \sim 6\text{h}$ 去应力处理。

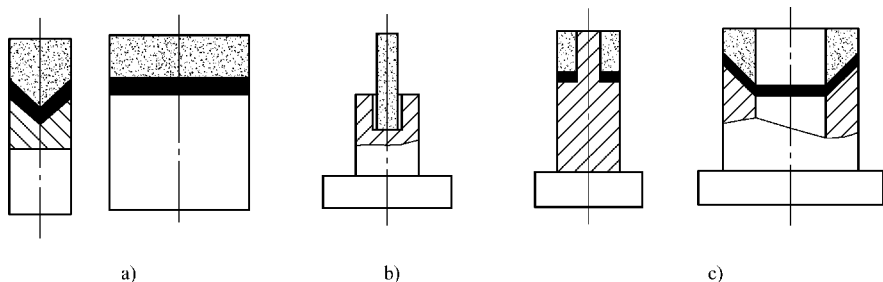


图 12-15 钎焊法

a) V 形钎焊 b) 埋入式钎焊 c) 环形钎焊

7. 低熔点合金法

如图 12-16 所示为低熔点合金法固定连接凸模的几种结构形式,低熔点合金法又称冷胀法。它是利用低熔点合金冷凝时体积膨胀的特性来紧固零件。低熔点合金法可以减少凸、凹模的位置精度和间隙均匀性的调整工作量,主要用于凸模、凹模、导柱和导套,以及浇注成卸料板型孔等。适用于多凸模、复杂小凸模和冲裁 $t \leq 2\text{mm}$ 钢板凸模的固定。尤其对于大而复杂的冷冲模装配,其效果尤为显著。

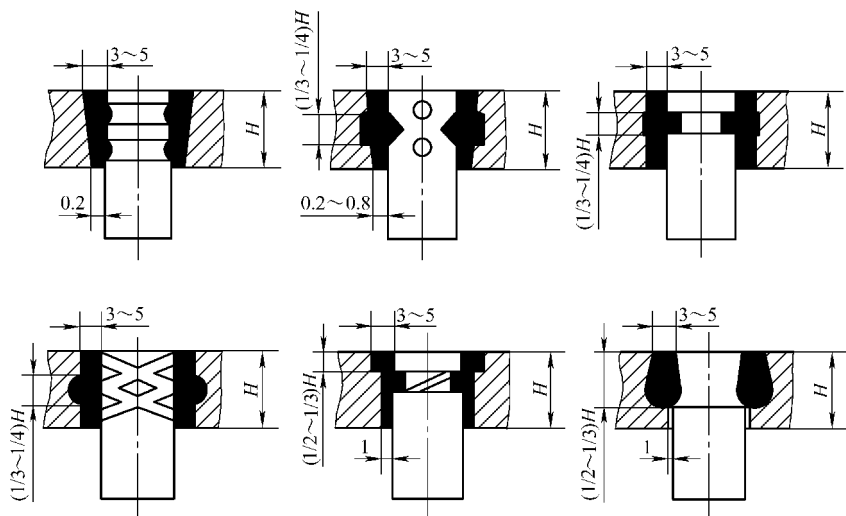


图 12-16 低熔点合金法固定连接凸模的几种结构形式





低熔点合金法的优点：工艺简单、操作方便，并可降低配合部位的加工精度，减少加工工时；有较高的连接强度；低熔点合金可以重复使用。合金收回熔化后再重复使用，一般可回用2~3次。回用次数较多时，应测定合金的成分比例，补足多次回收熔化而散失的合金元素。

低熔点合金法的缺点：浇注前相关零件要加热；模具易发生热变形；耗费贵重金属铋。

常用低熔点合金的配方及性能见表12-3。

表 12-3 常用低熔点合金的配方及性能

合金种类 配方种类	铋 (Sb)	铅 (Pb)	镉 (Cd)	铋 (Bi)	锡 (Sn)	合金熔点 /℃	抗拉强度 /MPa	抗压强度 /MPa	冷凝膨 胀值
配方 1	9	28.5	—	48	14.5	120	88.3	108	0.002
配方 2	5	35	—	45	15	100	—	—	—
配方 3	—	—	—	58	42	135	78.5	85.3	0.005
配方 4	1	—	—	57	42	135	75.5	93.2	—
配方 5	—	27	10	50	13	70	39.2	72.6	—

如图12-17所示为低熔点合金法的浇注示例，其工艺过程如下。

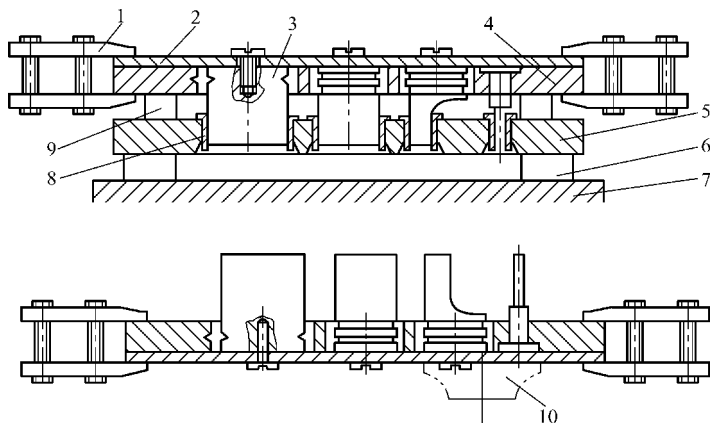


图 12-17 低熔点合金法的浇注示例

1—平行夹 2—垫板 3—凸模 4—固定板 5—凹模
6、9—等高垫块 7—平板 8—间隙垫铁 10—支板

1) 浇注前去除凸模3及固定板4浇注部分的油污，并涂以氯化锌溶液，均匀浸锡。

2) 以凹模5的孔定位安装凸模。若凸、凹模之间的间隙 $\leq 0.015\text{mm}$ ，可直



接将凸模放入凹模孔中对位；若凸、凹模之间的间隙 $\geq 0.015\text{mm}$ ，为保证间隙的均匀，可在凸模上镀铜或在凸、凹模间垫薄片。

3) 在凹模 5 与固定板 4 之间垫上等高垫铁 9，保证凸模进入凹模型口的深度为 $2 \sim 5\text{mm}$ 。放在电炉板上加热（或喷浇加热），其预热温度为 $100 \sim 120^\circ\text{C}$ 。

4) 在清洁的坩埚内加热熔合金，温度以 200°C 为宜，并用清洁铁棒搅拌，待温度降至 150°C 时开始浇注。

5) 在合金凝固前可用清洁的细铁丝在合金内轻微拖动，使气泡溢出，以增加强度。合金浇注完毕后应放置 $10 \sim 12\text{h}$ ，待冷却后方可动用。

8. 粘接法

(1) 环氧树脂粘接法

环氧树脂粘接法是将环氧树脂粘结剂浇入固定零件的间隙内，经固化后固定模具零件的方法。

环氧树脂是有机合成树脂的一种，当其硬化后对金属和非金属材料有很强的粘接力，连接强度高，化学稳定性好，收缩率小，能耐酸碱。粘接方法简单，粘接时不需附加力。环氧树脂粘接法常用于固定凸模、导柱和导套等。适用于固定冲载板厚 $t \leq 0.8\text{mm}$ 板料的凸模。其突出优点是：可简化型孔的加工，降低机械加工要求，节省工时，提高生产率，对于形状复杂及多孔冲模其优越性更加显著；能提高装配精度，容易获得均匀的冲裁间隙；用于浇注卸料板型孔时型孔质量高。但环氧树脂脆性大，硬度低，不耐高热，小面积上不能承受过高的压力，使用温度需低于 100°C 。

如图 12-18 所示为环氧树脂粘接法固定凸模的几种结构形式，其中：12-18a、b 适用于固定冲载板厚 $t \leq 0.8\text{mm}$ 的板料，图 12-18c 适用于固定冲载板厚 $t \geq 0.8\text{mm}$ 的板料。

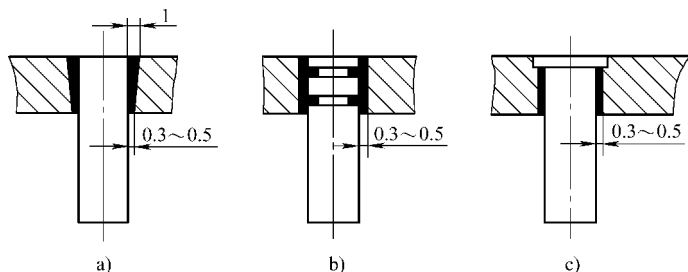


图 12-18 环氧树脂粘接法固定凸模的几种结构形式

环氧树脂粘结剂的配方见表 12-4。按照配方中的用量，先将环氧树脂和磷苯二甲酸二丁酯（增塑剂，无色液体）放于干净烧杯内搅拌均匀，然后放入氧化铝粉（填充剂，也可用石英粉、铁粉或水泥等）搅拌，过 $2 \sim 3\text{min}$ 后加入乙



二胺（固化剂，无色液体），迅速搅拌均匀在流动性最好状态下，立即浇入粘接缝隙中，经过4~6h后，环氧树脂便凝固硬化，12h后即可使用。为了使粘接牢固，粘接表面尽量粗糙些， $R_a \geq 6.3\mu\text{m}$ ，若通过磨削而粘接部分表面较光时，宜用硝酸等溶液将该部分腐蚀粗糙，以增加粘接强度，并控制好粘接缝隙的大小。

若需更换零件或重新粘接时，可将环氧树脂粘接部分局部加热（150℃左右）至环氧树脂稍微软化后，便可取出。

表 12-4 环氧树脂粘结剂配方

材料名称及牌号	配方 1（按质量比）	配方 2（按质量比）
环氧树脂 634 或 6101	100g	100g
磷苯二甲酸二丁酯	10 ~ 15g	10g
乙二胺	6 ~ 8g	10g
氧化铝粉（石英粉等）	40 ~ 50g	40g

（2）无机粘接法

无机粘接法是采用氢氧化铝的磷酸溶液与氧化铜粉混合为粘结剂，填充在被固定零件的间隙内，经化学反应固化，从而使零件固定的方法。

该方法具有工艺简单，不变形，粘接强度高，剪切强度可达 $(8 \sim 10) \times 10^7 \text{Pa}$ ，耐高温，能耐 600℃ 左右的温度的特点，但其韧性较低，不适宜承受较大的冲击载荷，不耐酸、碱腐蚀。常用于凸模与固定板、导柱、导套，硬质合金模块与钢料、电铸型腔与加固模套的粘接。

无机粘结剂的配方见表 12-5。其配制方法为先将与磷酸配量的 6~8g 的氢氧化铝与所需 100mL 磷酸中的 10mL 置于烧杯中，搅拌均匀成乳状，再倒入其余 90mL 磷酸边搅拌边加热至 100~120℃，调成无沉淀甘油状，取下冷却，即成为氢氧化铝磷酸溶液。在 1mL 氢氧化铝磷酸溶液中加入 5g 左右的氧化铜粉末，搅拌约 2~3min 直至呈棕黑色的胶体状，即成粘结剂。

粘接固化方法步骤：首先，用丙酮或甲苯等清洗粘接面上的油污、灰尘和锈迹等；将粘接件按装配要求进行定位固定。必要时利用专用夹具；然后，粘接固化，固化时间视具体情况而定。当磷酸密度小时，固化温度为 20℃，固化时间为 4~5h；当磷酸密度大时，在室温下保持 1~2h 后，再加热到 60~80℃，保温 3~8h 即完全固化。

表 12-5 无机粘结剂配方

材料名称及规格	配方 1（按质量比）	配方 2（按质量比）
氧化铜（CuO）0.071（200 目）~0.045mm（320 目）	3 ~ 3.5	适量
磷酸（ H_3PO_4 ）	1	100
氢氧化铝 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$	1	8



12.5 模具零件的间隙控制方法

在装配时冷冲模凸、凹模之间的间隙，以及塑料模等型腔和型芯之间形成的制件壁厚必须保证正确合理而又均匀。这与装配工艺的合理与否有关，也与模具有关零件的加工精度有关。装配时要依据图样要求，先选择其中某一主要工作零件（如凸模或凹模、或凸凹模等）作为装配基准件。以该件位置为基准，控制好间隙或壁厚值，再固定另一件的位置。

控制间隙均匀性常用的方法有以下几种。

1. 测量法

测量法是将凸模和凹模分别用螺钉固定在上、下模板的适当位置，通过导向装置，将凸模插入凹模内，用厚薄规（塞尺）检查凸、凹模之间的间隙是否均匀，根据测量结果进行校正，直至间隙均匀后再拧紧螺钉、配作销孔及打入销钉。

2. 垫片法

如图12-19所示为垫片法。将厚度均匀、其值等于间隙值的纸片、金属片或成形制件放在凹模刃口四周的位置，将等高垫块垫好，然后慢慢合模，使凸模进入凹模刃口内，观察凸、凹模的间隙状况，如果间隙不均匀，用敲击凸模固定板的方法调整间隙，直至均匀为止。然后拧紧上模座紧固螺钉，再次重复上述动作，直至调整到间隙均匀为止。最后将上模座与凸模固定板夹紧后同钻、同时铰定位销孔，然后打入圆柱销定位。

3. 透光法

如图12-20所示为透光法，透光法是将凸、凹模合模后，用灯光从底面照射，观察凸、凹模刃口四周的光隙大小，来判断冲裁间隙是否均匀。如果间隙不均匀，再进行调整、固定、定位。这种方法适合于薄料冲裁模。

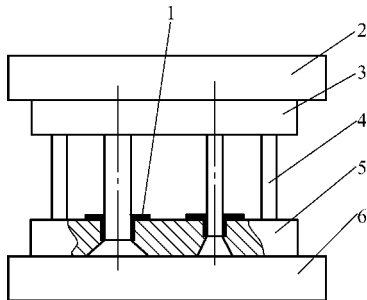


图 12-19 垫片法

1—垫片 2—上模座 3—凸模固定板
4—等高垫铁 5—凹模 6—下模座

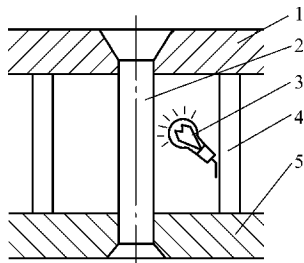


图 12-20 透光法

1—凹模 2—凸模 3—光源 4—垫铁
5—固定板





透光法是凭肉眼观察, 根据透过光线的强弱来判断间隙的大小和均匀性。有经验的操作者凭透光法来调整间隙可达到较高的均匀程度。如用模具间隙测量仪表检测和调整, 效果会更好。

4. 试切法

当凸、凹模之间的间隙小于 0.1mm 时, 可将其装配后试切纸或薄板。通过观察试切下制件四周毛刺的是否均匀一致来判断间隙的均匀程度, 并作适当的调整。

5. 镀金属法

对于形状复杂、凸模数量较多的冲裁模, 可以将凸模表面镀上一层金属来代替垫片, 如镀铜或锌。由于镀层均匀, 可提高装配间隙的均匀性。镀层厚度等于单边冲裁间隙值。然后按上述方式调整、固定、定位。镀层在装配后不必去除, 冲裁时可自行脱落。

6. 涂层法

与镀铜法相似, 仅在凸模工作段涂以厚度为单边间隙值的涂料 (如磁漆或氨基醇酸绝缘漆等) 来代替镀层。适用于小间隙冲裁模。

涂漆时应根据间隙大小选择不同粘度的漆, 或通过多次涂漆来控制其厚度, 涂漆后将凸模组件放入温度 100 ~ 120℃ 的烘箱内烘烤 0.5 ~ 1h, 直到漆层厚度等于冲裁间隙值, 并使其均匀一致。然后调整、固定、定位工作件。凸模上的漆装配时不必去除, 模具使用中会自行剥落。

7. 腐蚀法

腐蚀法是将凸模尺寸加工成与凹模型孔尺寸相同, 装配后再将凸模用酸腐蚀以达到间隙要求。常用于较复杂的冲裁模。注意腐蚀时间的长短及腐蚀后要及时清洗涂油防锈。

常用的腐蚀剂配方见表 12-6。

表 12-6 常用的腐蚀剂配方

	按质量比						
	硝酸	醋酸	水	蒸馏水	双氧水	草酸	硫酸
配方 1	20	30	50	—	—	—	—
配方 2	—	—	—	55	25	20	1 ~ 2

8. 工艺尺寸法

如图 12-21 所示为工艺尺寸法。主要适用于易加工的圆形凸模。

制造凸模时, 将凸模长度适当加长, 加长部位的截面尺寸按凹模孔的实测尺寸零间隙配合来加工, 装配时, 将凸模插入凹模, 然后装配调整、定位和固定。最后将加长部分磨去从而形成均匀的间隙。



9. 工艺定位器法

装配前,先加工一个专用的工艺定位器如图 12-22 所示,用工艺定位器来保证凸、凹模同轴,保证各处的冲裁间隙。要求 d_1 、 d_2 和 d_3 的尺寸分别按凸模、凹模以及凸凹模的实测尺寸,按配合间隙为零来配制, d_1 与冲孔凸模相滑配, d_2 与落料凹模相滑配, d_3 与冲孔凹模相滑配, d_1 、 d_2 和 d_3 尺寸要在一次装夹中加工出来,以保证它们的轴线同轴。该法主要用于复合模。也可用于塑料模等型腔模的壁厚控制。

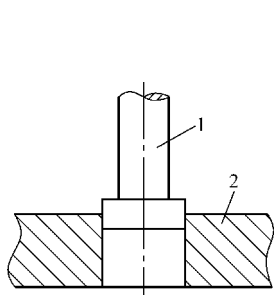


图 12-21 工艺尺寸法

1—凸模 2—凹模

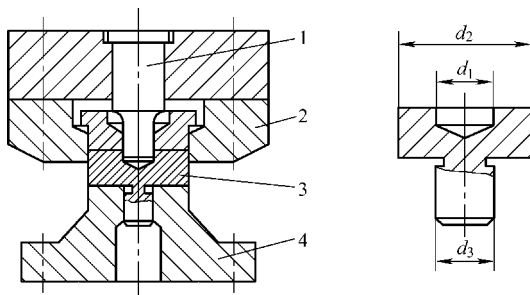


图 12-22 工艺定位器法

1—凸模 2—凹模 3—工艺定位器 4—凸凹模

12.6 模具零件的位置控制方法

模具零件的位置控制主要是指凸、凹模及型腔、型芯的位置控制,主要是为了保证级进模、复合模及多冲头简单模的凸、凹模相互位置的准确,除要尽量提高凹模及凸模固定板型孔的位置精度外,装配时还要注意以下几点。

1) 复合模常选凸凹模作为基准件,一般先装凸凹模部分,再装凹模、顶块以及凸模等零件,通过调整凸模和凹模来保证其相对位置的准确性。

2) 多冲头导板模常选导板作为基准件。装配时应将凸模穿过导板后装入凸模固定板,再装入上模座,然后再装凹模及下模座。

3) 级进模常选凹模作为基准件,先将拼块凹模装入下模座,再以凹模定位,将凸模装入固定板,然后再装入上模座。当然这时要对凸模固定板进行一定的钳修。

4) 型腔模常以其主要工作零件——型芯(凸模)、型腔(凹模)和镶块等作为装配的基准件,或以导柱、导套作为基准件,按其依赖关系进行装配。



12.7 模具连接件的调试与修整

模具零件的连接,如上下模座与凸凹模固定板的连接、卸料板与凹模的连接等,通常是以销钉定位、螺钉紧固的。

在传统工艺中,不同零件上相应的螺孔、螺纹过孔一般都采用配作的方法进行加工。随着加工手段的现代化,孔系加工的位置精度大大提高,完全可以满足装配要求,现今这些螺孔、螺钉过孔已较多采用分别加工的方法,这样可大幅度提高装配效率。但对于不同零件上的导柱、导套孔、定位销孔,若采用分别加工法则势必大大提高其位置精度要求,从而增加加工的难度,因而仍较多地采用配作的方法。应该注意的是,在装配过程中选定的基准件,可在用螺钉紧固后配钻铰销孔,并装入销钉定位。而非基准件应先用螺钉初步紧固,然后根据基准件找正,并进行切纸试冲,直至符合要求后方可紧固螺钉并配钻铰销孔,装入销钉。

另外,在模具的装配过程中,经常要对装配后的组件进行加工,从而保证模具的装配精度。例如冲模模柄与上模座组装后的同磨、凸模(型芯)与凸模(型芯)固定板组装后的磨削(图12-23)等。

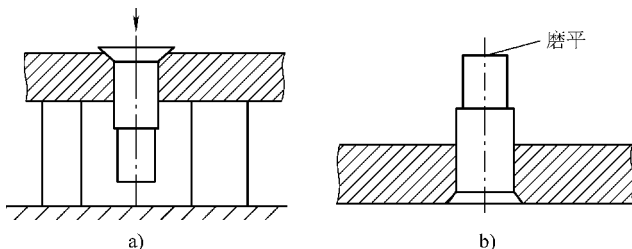


图 12-23 凸模的组装

a) 压入凸模后将其尾部磨平 b) 磨平凸模端面

塑料模装配中的各种修磨方法示例见表12-7。

表 12-7 塑料模装配中各种修磨方法示例

修磨要求	简图	修磨方法
消除型芯端面与加料室平面的间隙 Δ	The diagram shows a cross-section of a punch and die assembly. The punch is labeled with 'C' at its top shoulder and 'D' at its end face. The die cavity is labeled with 'A' at its top plane and 'B' at its side wall. A gap between the punch end face 'D' and the die cavity plane 'A' is indicated by a double-headed arrow and labeled with the Greek letter Delta (Δ).	(1) 修磨固定板平面A,修磨时需拆下型芯,多型芯时因各型芯高度不一,不能用此法; (2) 修磨型腔上平面B,不需拆卸零件,修磨方便。同样不能用于多型腔模具; (3) 修磨型芯台肩面C,装入模板后再修磨平面D,适用于多型腔模具



(续)

修磨要求	简图	修磨方法
消除型腔与型芯固定板的间隙 Δ	a) b) c)	(1) 修磨型芯工作面 A (图 a), 只适用于型芯工作面为平面; (2) 在型芯和固定板台肩内加入垫片 (图 b), 适用于小模具; (3) 在固定板上设垫块, 垫块厚度不小于 2mm, 因此需在型芯固定板上铣出凹坑 (图 c), 大型模具在设计时就考虑垫块, 以供修磨
修磨后浇口套须高出固定板 0.02mm		(1) A 面高出固定板平面 0.02mm, 由加工精度保证; (2) B 面高出固定板平面的修磨方法是将浇口套压入固定板后磨平, 然后拆去浇口套, 再将固定板磨去 0.02mm
埋入式型芯修磨后达到高度尺寸		(1) 当 A、B 面无凹凸形状时, 可根据高度尺寸修磨 A 面或 B 面; (2) 当 A、B 面有凹凸形状时, 修磨型芯底面使尺寸 a 减小, 在型芯底部垫薄片使尺寸 a 增大; (3) 对于这种模具结构, 在型芯加工时应高度方向加修正量; 固定板凹坑加工时, 深度应加工至下限尺寸
修磨型芯斜面, 合模后使之与型面贴合		小型芯斜面必须先磨成形, 但小型芯的总高度可略增加。小型芯装入后合模, 使小型芯与上型芯接触, 测量出修磨量 $h' - h$, 然后将小型芯斜面修磨





12.8 冲压模装配

如图 12-24 所示为级进模，其装配工艺示例见表 12-8。

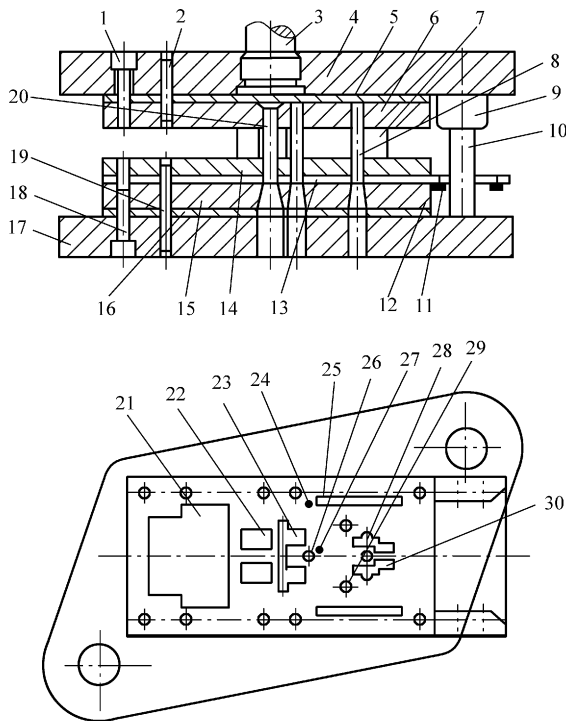


图 12-24 级进模示意图

1、11、18—螺钉 2、24、19—销钉 3—模柄 4—上模板 5、16—垫板 6—凸模固定板
7—侧刃凸模 8、20、22、23、26~30—冲孔凸模 9—导套 10—导柱 12—托料板
13—导料板 14—卸料板 15—凹模 17—下模板 21—落料凸模 25—挡块

表 12-8 级进模装配工艺

工 序 号	工 序	工 序 说 明
1	凸、凹模预配	1) 装配前检查各凸模以及凹模是否符合图样要求的尺寸精度、形状精度； 2) 将凸模与凹模孔相配，检查间隙是否均匀。不合适者应重新修磨或更换
2	凸模装入固定板	以凹模孔定位，将各凸模分别压入凸模固定板型孔中，并紧固



(续)

工 序 号	工 序	工 序 说 明
3	装配下模	1) 在下模板上划中心线, 按中心预装凹模、垫板、导料板、卸料板; 2) 在下模板、垫板、导料板、卸料板上, 用已加工好的凹模分别复印螺孔位置, 并分别钻孔、攻螺纹; 3) 将下模板、垫板、导料板、卸料板、凹模用螺钉紧固, 打入销钉
4	装配上模	1) 在已装好的下模上放等高垫铁, 将凸模与固定板组合通过卸料孔导向, 装入凹模; 2) 预装上模板, 划出与凸模固定板相应的螺孔、销孔位置, 并钻铰螺孔、销孔; 3) 用螺钉将固定板组合, 垫板、上模板连接在一起, 但不要拧紧; 4) 复查凸、凹模间隙并将其调整合适后紧固螺钉; 5) 切纸检查, 合适后打入销钉
5	装辅助零件	装配辅助零件
6	检验、试模	检验、试冲

12.9 塑料模装配

如图 12-25 所示为热塑性塑料注射模, 其装配工艺示例见表 12-9。

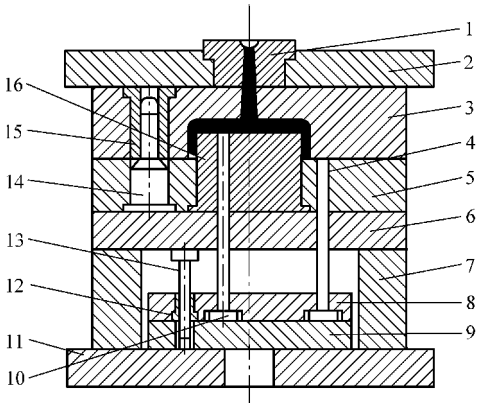


图 12-25 热塑性塑料注射模

- 1—浇口套 2—定模板 3—定模 4—复位杆 5—动模固定板 6—垫板 7—支撑板
8—推板 9—推板垫板 10—顶件杆 11—动模板 12—顶板导套 13—推板导柱
14—导柱 15—导套 16—动模型芯





表 12-9 热塑性塑料注射模装配工艺示例

工 序 号	工 序	工 序 说 明
1	精修定模	1) 定模经锻、刨后, 磨削 6 面。下、上平面留修磨余量; 2) 划线加工型腔。用铣床铣型腔或用电火花加工型腔。深度按 要求尺寸增加 0.2mm; 3) 用石油修整型腔表面
2	精修动模型芯及 动模固定板型孔	1) 按图样将预加工的动模型芯精修成型, 钻铰顶杆孔; 2) 按划线加工动模固定板型孔, 并与型芯配合加工
3	同铰导柱、导套孔	1) 将定模、动模板固定板叠合在一起, 使分型面紧密接触, 然后夹紧铰削导柱、导套孔; 2) 铰导套、导柱孔的台肩
4	复钻各螺孔、销 孔及推杆孔	1) 定模与定模板叠合在一起, 夹紧复钻螺孔、销孔; 2) 动模固定板、垫板、支撑板、动模板叠合夹紧, 复钻螺孔、 销孔
5	动模型芯压入动 模固定板	1) 将动模型芯压入固定板并配合紧密; 2) 装配后型芯外露部分要符合图样要求
6	压入导柱、导套	1) 将导套压入定模; 2) 将导柱压入动模固定板; 3) 检查导柱、导套配合的松紧程度
7	磨安装基面	1) 将定模上基面磨平; 2) 将动模固定板下基面磨平
8	复钻推板上的推 杆及顶杆孔	通过动模固定板及型芯, 复钻推板上的推杆及顶杆孔。卸下后 再复钻垫板各孔
9	将浇口套压入定 模板	用压力机将浇口套压入定模板
10	装配定模部分	定模板、定模复钻螺孔、销孔后, 拧入螺钉和敲入销钉紧固
11	装配动模	将动模固定板、垫板、支撑板、动模板复钻后拧入螺钉, 打入 销钉紧固
12	修正推杆、复位 杆、顶杆长度	将动模部分全部装配后, 使支承板底面和推板紧贴于动模板。 自型芯表面测出推杆、顶杆的长度, 进行修正
13	检验、试模	各部位装配完后进行检验、试模, 并检查制品, 验证模具质量 状况



思考与练习题

1. 模具装配法有哪几种？在模具厂或车间最常用的是哪一种装配法？
2. 模具装配与质量有什么关系？
3. 试述制定模具装配工艺规程的步骤。
4. 试述冲裁模具装配的主要技术要求及装配方法。
5. 试述塑料模具装配的主要技术要求及装配方法。



参考文献

- [1] 许发铤. 模具制造工艺与装备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 模具制造手册编写组. 模具制造手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [3] 郭铁良. 模具制造工艺学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [4] 甄瑞麟. 模具制造工艺学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 傅建军. 模具制造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 滕宏春. 模具制造工艺学 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002.
- [7] 邓明. 现代模具制造技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [8] 黄毅宏, 李明辉. 模具制造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [9] 孙风勤. 模具制造工艺与设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [10] 赵万生, 刘晋春. 实用电加工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [11] 李云程. 模具制造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [12] 金涤尘, 宋放之. 现代模具制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [13] 彭建声, 吴成明. 简明模具工实用技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [14] 李云程. 模具制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [15] 柳燕君, 杨善义. 模具制造技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [16] 胡石玉. 模具制造技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1997.
- [17] 彭建声. 简明模具工实用技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [18] 黄健求. 模具制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [19] 模具设计与制造技术教育丛书编委会. 模具制造工艺与装备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [20] 模具实用技术丛书编委会. 模具制造工艺装备及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [21] 刘守勇. 机械制造工艺与机床夹具 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.



- 突出实用 ●
- 内容全面 ●
- 技术先进 ●
- 锻炼技能 ●

ISBN 978-7-111-28284-6

策划：李万宇 / 封面设计：鞠杨

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
 电话服务 网络服务
 社服中心：(010)88361066 门户网：<http://www.cmpbook.com>
 销售一部：(010)88326294 教材网：<http://www.cmpedu.com>
 销售二部：(010)88379649
 读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 模具

ISBN 978-7-111-28284-6



定价：29.00元

9 787111 282846 >