

## 内 容 简 介

本书根据本课程的教学目标,以培养学生的实际操作能力为主线,以项目任务为形式,按照项目教学法进行设计,包括模具制造工艺基础、模具零件常规机械加工、模具零件特种加工和模具装配工艺四个项目。每个项目都以具体的工作任务为载体,将知识贯穿于项目的实施过程中,同时增加了拓展训练,扩大了知识的应用面,具有较强的实用性。

本书适合高职高专模具设计与制造专业学生使用,也可作为相关专业技术人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模具制造工艺编制/刘月英,李仲清,王文深主编. —  
北京:北京邮电大学出版社,2013.4(2019.1重印)

ISBN 978-7-5635-3455-5

I. ①模… II. ①刘… ②李… ③王… III. ①模具—  
制造—工艺—高等教育—教材 IV. ①TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 062915 号

---

书 名: 模具制造工艺编制

主 编: 刘月英 李仲清 王文深

责任编辑: 李路艳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市东兴印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 365 千字

版 次: 2013 年 4 月第 1 版 2019 年 1 月第 4 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-3455-5

定 价: 45.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

# 绪 论

## 一、我国模具制造技术的现状与发展

### 1. 我国模具制造技术的现状

在现代工业生产中,模具是重要的工艺装备之一。随着科学技术的发展,工业产品的品种和数量不断增加,产品的改型换代加快,对产品质量和外观不断提出新的要求,对模具质量的要求越来越高。模具设计与制造水平的高低直接影响着国民经济的发展。世界上工业发达的国家,其模具工业发展迅速,模具工业总产值超过机床工业的总产值,其发展速度也超过了机床、汽车、电子等工业,是国民经济的基础工业之一。模具技术,特别是制造精密、复杂、大型、长寿命模具的技术,已成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志之一。

近年来,我国的模具工业也有了较大发展,模具制造工艺和生产装备智能化程度越来越高,极大地提高了模具制造精度、质量和生产效率。数控铣床、数控坐标磨床、数控电火花加工机床、加工中心、光学曲线磨床等加工设备已在模具生产中广泛采用。模具的计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)也已在很多企业进行开发和应用。

目前,我国模具行业的生产厂家有数千个,职工有 50 万人,每年能生产数百万套模具。模具制造技术从过去只能制造简单模具已发展到可以制造大型、精密、复杂、长寿命的模具,但总体上还存在着制造的模具品种少、精度差、寿命短、生产周期长的弊端,很多精密、复杂、大型模具因为国内制造困难,不得不从国外进口。

为了尽快发展我国的模具工业,国家已经采取了很多具体措施,如给专业模具厂投入技术改造资金,将模具列为国家规划重点科技攻关项目,派有关工程技术人员出国考察,引进国外模具先进技术,指定有关的模具标准等。

### 2. 我国模具制造技术的发展趋势

当前,我国经济仍处于高速发展阶段,经济全球化发展趋势日趋明显,这为我国模具行业高速发展提供了良好的条件和机遇。一方面,国内模具市场将继续高速发展;另一方面,国际模具制造业逐渐向我国转移,跨国集团到我国进行模具采购的趋向也十分明显。放眼未来,我国不但会成为模具制造大国,而且将逐步向模具制造强国的行列迈进。

#### 1) 在模具设计制造中将全面推广 CAD/CAM/CAE 技术

CAD/CAM/CAE 技术是模具设计制造的发展方向。随着计算机软件的发展和进步,普及 CAD/CAM/CAE 技术的条件已基本成熟,各企业将加大 CAD/CAM 技术培训和技

服务的力度,进一步扩大 CAE 技术的应用范围。计算机和网络的发展正使 CAD/CAM/CAE 技术跨地区、跨企业、跨院所在整个行业中推广,实现技术资源的重新整合,使虚拟制造成为可能。

#### 2) 提高模具标准化程度

为了缩短模具制造周期,降低制造成本,模具标准化工作十分重要。目前,我国模具标准件使用覆盖率已经达到 30%,但发达国家一般能够达到 80%。为了促进模具工业的发展,必须加强模具标准化工作,走专业化协作生产的道路。

#### 3) 加强模具制造技术的高效、快速、精密化

随着模具制造技术的发展,许多新的加工技术、加工设备不断出现,模具制造手段越来越丰富,越来越先进。

快速原型制造(RPM)技术是数控技术之后的一种全新制造技术。利用 RPM 技术,可以根据零件的 CAD 模型快速自动完成复杂的三维实体(模型)制造,使模具从概念设计到制造完成的周期与成本大大降低,仅为传统加工方法的 1/4~1/3。

先进的高速铣削加工,主轴转速高达 40 000~160 000 r/min,快速进给速度达到 30~60 m/min,加速度可达一个重力加速度,换刀时间缩短到 1~2 s。高速切削技术与传统切削加工相比,具有加工效率高、温升高、热变形小等优点。高速铣削技术的敏捷化、智能化、集成化发展促进了模具加工技术的进步,特别适合于汽车、家电等行业大型型腔模具的制造。

电火花加工技术是用高速旋转的管状电极作二维或三维轮廓加工,无须制造复杂的成形电极。因此,电火花等特种加工技术在模具制造中也得到了广泛应用。

#### 4) 优质材料及先进表面处理技术将进一步得到重视

模具材料和热处理是影响模具寿命的主要因素,因此,选用优质钢材和应用相对应的表面处理技术来提高模具寿命就显得十分必要了。对于模具钢来说,除了要采用电渣重熔工艺,努力提高模具钢的纯净度、致密度、等向性和均匀性外,还要研制出具有更高性能或特殊性能的模具钢。如采用粉末冶金工艺制作的粉末高速钢等,其碳化物微细、组织均匀,没有材料方向性,因此,它具有韧性高、磨削工艺好、耐磨性高、长年使用尺寸稳定等优点,是一种很有发展前途的钢材,特别对形状复杂的冲压件及高速冲压的模具,其优越性更加突出。这种钢还适用于注射成型添加玻璃纤维或金属粉末的增强塑料模,如型腔、型芯、浇口等主要部件。

铝合金材料重量轻,切削性能好,导热和导电率高,焊接性能优良,用它作为模具材料可缩短制模周期和降低模具成本,且用于塑料模可有 10 万次以上寿命,因此,用铝合金进行高速切削来制作模具已在世界上得到较为广泛的使用,我国也已开始使用。预计今后将会得到较快发展。

此外,其他优质模具材料如硬质合金、陶瓷材料、复合材料等的扩大应用也十分重要。

模具热处理和表面处理是能否充分发挥模具钢材料性能的关键环节。模具热处理的发展方向是采用真空热处理。模具表面处理除完善普及常用表面处理方法,如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗矾外,还应发展设备昂贵、工艺先进的气相沉积(TiN、TiC 等)、等离子喷涂等

技术。

#### 5) 模具研磨、抛光将向自动化、智能化方向发展

模具表面的质量对模具使用寿命、制件外观质量等方面有较大的影响。日本已研制了数控研磨机,可实现三维曲面模具的自动化研磨、抛光。目前我国仍以手工研磨、抛光为主,不仅效率低,而且工人劳动强度大、质量不稳定,这些都制约了我国模具加工向更高层次发展。因此,模具研磨、抛光的自动化、智能化是其重要的发展趋势。

另外,由于模具型腔形状复杂,任何一种研磨、抛光方法都有一定局限性。应注意发展特种研磨、抛光方法,如挤压研磨、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光工艺与装备,以提高模具表面质量。

#### 6) 逆向制造工程制模技术的发展

以三坐标测量机和快速成型制造技术为代表的逆向制造技术是一种以复制为原理的制造技术,它具有重大的影响。这种制造技术特别适用于多品种、小批量、形状复杂的模具制造,对缩短模具制造周期,进而提高产品的市场竞争能力有着重要的意义。

## 二、模具制造生产的过程和特点

### 1. 模具制造生产的过程

模具的生产过程即是从接受客户产品图或样品和相关的技术资料、技术要求并与客户签订模具制造合同起,至试模合格交付商品模具和进行售后服务的全过程总称。

模具制造工艺过程是模具生产过程的重要组成部分,是将模具设计图样转变为具有一定使用功能和实用价值,即能连续生产出合格制品的商品模具的全过程。模具制造工艺过程如图 0-1 所示。首先根据制品零件图或实物进行工艺估算,然后进行模具设计、零件加工、装配调整、试模,直到生产出符合要求的制品。

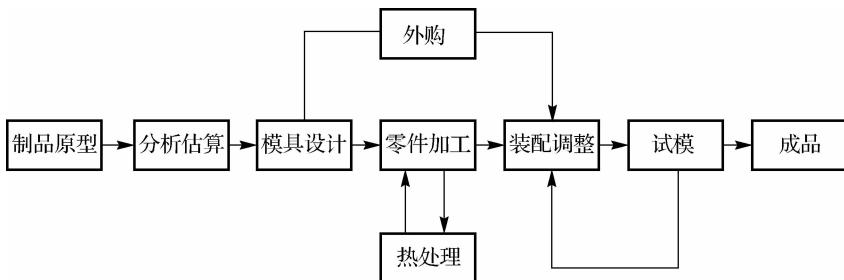


图 0-1 模具制造的工艺流程

#### 1) 分析估算

在接受模具制造的委托时,首先根据制品零件图或实物分析研究采用什么样的方案,确定模具套数、模具结构及加工方法,然后估算模具费用及交货期等。模具费用是指材料费、外购零件费、设计费、加工费、装配调整及试模费等。必要时还要估算各种加工方法所用的工具及其加工费等,最后得出模具制造价格。

## 2) 模具设计

模具设计包括装配图设计与零件图设计。在进行模具设计时,首先要尽量多地收集信息,并认真地加以研究,然后再进行模具设计。若不这样做,即使是设计出的模具性能优良,精度很高,也不能符合要求,所完成的设计并不是最佳设计。

## 3) 零件加工

每个需要加工的零件都必须按图样要求制订其加工工艺(填写工艺卡),然后分别进行粗加工、半精加工、热处理及精修抛光。

## 4) 装配调整

装配就是把加工好的零件组合在一起构成一副完整的模具。在这一过程中,仅仅把加工好的零件紧固,或是打入定位销等纯装配操作是极少见的,一般都是在装配调整过程中进行一定的人工整修或机械加工。

## 5) 试模

装配调整好的模具还需要安装在机器设备上上进行试模,以检查模具在运行过程中是否正常,所得到的制品形状尺寸等是否符合要求。如有不符合要求的则必须拆下来加以修正,以便再次试模,直到能完全正常运行并加工出合格的制品。

## 2. 模具制造生产技术的特点

冲压模、塑料模及其他模具都是专用的、最适于批量生产的、高技术含量的精密成型工艺装备。模具制造在机械制造中属于精密机械制造的范畴,具有以下特点。

(1) 模具成型尺寸的制造精度要求高。一般塑料模成型尺寸的精度为 $0.010\sim 0.100\text{ mm}$ ,精密模成型尺寸的精度为 $0.005\sim 0.010\text{ mm}$ ,有的模具成型尺寸的精度甚至可达 $0.001\sim 0.003\text{ mm}$ 。

在多工位级进精密模中,凹模镶件的重复定位精度可达 $0.002\sim 0.005\text{ mm}$ ,步距精度可达 $0.002\sim 0.005\text{ mm}$ 。

一般模具成型尺寸的制造公差是制品尺寸公差的 $1/5\sim 1/3$ ,而精密模成型尺寸的制造公差仅为制品尺寸公差的 $1/8\sim 1/6$ 。

(2) 模具各相关结构件之间的配合精度要求高。

(3) 成型件之间、成型件与结构件之间、结构件之间的相对位置精度要求高。

(4) 成型件的成型表面质量要求高,表面粗糙度可达 $Ra\ 0.4\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 。

(5) 成型件的制造难度大。塑料模的成型面是塑料制品各部分表面在一定的温度和压力下,在型腔和型芯上的复制。而型腔和型芯的各成型面,多呈二维平面、三维平面、斜面、曲面或曲面与平面、曲面与斜面、曲面与曲面的组合,交错、重叠等复杂异形的组合体。其不但复杂而且精细,表面质量要求高、尺寸精度要求高。因此,非一般的机械加工设备和常规的刀具、夹具、工具、量具所能完成,必须采用诸如数控车床、数控铣床、仿型铣和磨、成型磨、线切割、电火花成型、激光加工、超声波加工、电解研磨、珩磨等特种加工的配合,并辅之以相应的刀具、夹具、工具、量具。如专用样板、专用量规(均为非标准件),需专门设计和制造,方能满足制造工艺的要求,故其加工难度大。

为提高模具的使用寿命,模具的成型件和有相对运动的易磨损结构件,多选用优质钢材并进行相应的处理。如调质、预硬、淬火、回火、氧化涂覆以及渗碳、渗氮、碳氮共渗等,以消除内应力,提高耐磨性、耐腐蚀性、稳定性和综合机械性能,从而提高模具的使用寿命和使用精

度,降低制品成本。经处理后的钢材,除预硬易切钢外,其余钢材只能进行电加工和磨削加工,故增加了加工的难度。

(6)模具制造精度高、制造要求高、加工难度大,因此,对工人的技术水平以及检测工艺水平都有较高的要求。

(7)在模具的组装和总装工艺中常采用配制的加工方法,如配钻、铰、铣、镗、车、磨和研配等,以保证两配制零件形状和相互位置(同轴度、垂直度、平行度、平面度、对称度和密合度等)完全一致,提高装配精度。尤其在二次精定位中的两配合锥面,常采用研配工艺和涂红粉检验的方法,以保证两配合锥面的密合。导柱与导套为保证其良好的导向和定位功能,加工后也必须进行研配。如此,模具的整体质量才能得到可靠保证,制品的质量也才能得到有效保证。

(8)由于模具制造的工序繁杂,制造难度大,工艺流程长,致使模具制造周期长。但其制造周期又受合同的严格限制,必须按时完成,则增加了模具制造的难度。即在模具设计和制造的全过程中,不允许出现原则性失误。因此,促使模具生产企业必须严格、牢固地树立全员性的质量管理体系和质量保证体系,并以制度形式落实到各项工作中,使每副模具的每个零件,从设计到交货全过程的每一个环节中影响质量的每个因素,都处于严格和有效地控制之中。

(9)模具属于大批量生产的专用成型工装设备。一副设计合理、制造精良、用材恰当的塑料注射模,可连续生产30万~50万次不下机。多型腔模具甚至每年可生产上千万件制品,精密冲模的寿命可达10 000万~20 000万次。可见,在上述批量范围内的制品,有一副模具足矣。因此,模具制造大都属于单件生产,很难见到一件产品同时有几副模具的情况。唯有模具的标准件和通用件属于批量生产,由专业制造厂按国家标准生产、供货。

(10)模具,尤其是塑料模,其型腔的装配和抛光,目前绝大多数仍为手工操作,尤其是复杂的中、小型模具更是如此,尚难实现机械化、自动化。

### 三、模具制造的基本要求

在工业产品的生产中,应用模具的目的在于保证产品质量,提高生产率和降低成本。因此,除了正确进行模具设计,采用合理的模具结构外,还必须要有高质量的模具制造技术。制造模具时,不论采取哪一种方法都应该满足以下几个要求。

#### 1. 制造精度高

为了生产合格的产品和发挥模具的效能,制造出的模具必须具有较高的精度。模具的精度主要由制品精度要求和模具结构所决定,为了保证制品精度和质量,模具工作部分的精度通常要比制品精度高2~4级。模具结构对上、下模之间的配合有较高的要求,组成模具的零件都必须有足够的制造精度,否则模具将不可能生产合格的制品,甚至会导致模具无法正常使用。

#### 2. 使用寿命长

模具是比较昂贵的工艺装备,目前模具制造费用约占产品成本的10%~30%,其使用寿命将直接影响生产成本。因此,除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下,一般都要求其具有较长的使用寿命,尤其在大批量生产的情况下,模具的使用寿命更为重要。

### 3. 制造周期短

模具制造周期的长短主要决定于模具制造技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要,提高产品的竞争能力,必须在保证质量的前提下尽量缩短模具的制造周期。

### 4. 模具制造成本低

模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求以及加工方法有关。模具技术人员必须根据制品要求合理设计和制订加工工艺规程,努力降低模具制造成本。

必须指出,上述四个指标是互相关联、相互影响的。片面追求模具精度和使用寿命必将导致模具制造成本的增加,只顾缩短周期和降低模具制造成本而忽略模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。在模具的设计与制造时,应根据实际情况全面考虑,即应在保证产品质量的前提下,选择与生产量相适应的模具结构和制造方法,使模具制造成本降低到最小。如果想提高模具制造的综合指标,就应该认真研究现代模具制造理论,积极采用先进制造技术,以满足现代工业发展的需要。

## 四、本课程的性质、任务和要求

本课程是高职高专院校模具设计与制造专业的核心课程之一。通过本课程教学,并配合其他教学环节,学生可初步掌握工艺规程的制订方法,具有一定的分析、解决模具工业技术问题的能力,为进一步学习与从事模具专业的生产活动打下基础。

本课程涉及的知识面较广,是一门综合性、实践性较强的课程。金属材料及热处理、数控技术、机械制造工艺及设备等相关内容都将在本课程中得到综合应用。模具零件的工艺路线及所采用的工艺方法都与实际生产条件密切相关,在处理工艺技术问题时,一定要理论联系实际。对于同一个加工零件,在不同的生产条件下,可以用不同的工艺路线和工艺方法达到工件的技术要求。学习中应注意在生产过程中积累模具生产的有关知识与经验,以便能更好地处理生产中的有关技术问题。

本课程的任务是使学生掌握模具制造工艺的基本专业知识和常用的工艺方法,编制典型模具零件的加工工艺卡;掌握基础模具的装配工艺,编制模具装配工艺卡;了解和掌握先进模具制造技术;具有分析模具零件与机构工艺性的能力,提高模具设计的综合水平;具有较强的从事模具制造工艺操作、模具钳工装配和模具结构设计的能力。

现代工业生产的发展和材料成形新技术的应用对模具制造工艺的要求越来越高。模具制造不只是传统的一般机械加工,而是在其基础上广泛采用现代加工技术和现代管理模式。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零件与结构工艺性的能力。

由于模具制造工艺与技术发展迅速,同时本课程具有很强的实践性和综合性,涉及的知识面较广,因此在学习本课程时,除了重视其中必要的工艺原理与特点等理论学习外,还应密切关注模具制造的新发展,特别注意实践环节,尽可能多地参观相关的展会及模具制造企业。教师则应尽可能采用一体化教学的形式,以真实的模具零件加工、模具装配过程组织教学环节,认真进行现场教学和企业生产实践,以增加感性认识,培养学生的学习兴趣,再将兴趣提升为技能,培养学生的实际应用能力。

本项目从模具制造工艺规程的编制、模具零件的机械加工精度检测与分析、模具零件的机械加工表面质量分析三方面以任务形式引出,在相关理论知识基础上,结合工厂实践生产的案例,详细阐述了模具生产过程中所依据的重要工艺文件。

### 知识目标

掌握模具制造工艺规程的编制方法;

掌握获得加工精度的方法;

了解影响加工精度的主要因素。

### 技能目标

能够独立分析模具常用零件技术和结构;

能够合理地选择零件的毛坯及其加工工艺路线;

能够正确编制模具制造工艺规程;

能够对模具零件的精度和表面质量进行检测与分析。



## 任务一 模具制造工艺规程的编制

模具制造工艺规程的编制在模具制造工艺中有着十分重要的地位,长期的生产实践表明,要制订出一个良好的模具制造工艺规程,即要以较低的加工成本,在较短的时间内加工出较高质量的模具零件,必须具备一定的模具机械加工的基础知识。

### 任务描述

如图 1-1 所示为导柱零件,已知零件材料为 20 钢,淬火 58~62 HRC,表面渗碳 0.8~1.2 mm,试编制其工艺过程卡。

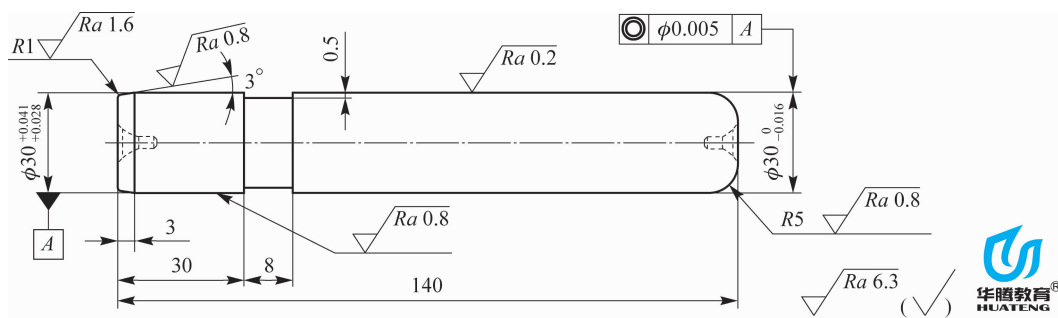


图 1-1 导柱零件

### 相关知识

#### 一、模具制造工艺规程概述

##### 1. 模具加工工艺流程的基本概念

模具加工工艺流程是规定模具加工工艺过程 and 操作方法等的工艺文件。模具生产工艺水平的高低及解决各种工艺问题的方法和手段都要通过模具加工工艺流程来体现。因此,模具加工工艺流程的设计是一项重要的工作,它要求设计者必须具备丰富的生产实践经验和扎实的机械制造工艺基础理论知识。

模具是机械产品,模具的机械加工类似于其他机械产品的机械加工,但同时又有其特殊性。模具一般是单件、小批量生产,模具标准件则是成批生产。成型零件的加工精度要求较高,所采取的加工方法往往不同于一般机械加工方法。因此,模具加工工艺流程具有与其他机械产品同样的普遍性,同时还有其特殊性。

##### 1) 工艺规程的作用

- (1) 工艺规程是指导生产的技术文件。
- (2) 工艺规程是生产组织和管理的依据。
- (3) 工艺规程是加工检验的依据。
- (4) 工艺规程是新建和扩建工厂(车间)的技术依据。

##### 2) 工艺规程制订的原则

工艺规程制订的原则是优质、高产和低成本,即在保证产品质量的前提下,争取最好的

经济效益。在具体制定时,还应注意以下问题。

(1)技术上的先进性。在制订工艺规程时,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,尽可能采取先进适用的工艺和工艺设备。

(2)经济上的合理性。在一定的生产条件下,可能会出现几种能够保证零件技术要求的工艺方案。此时,应通过成本核算或相互对比,选择经济上最合理的方案,使产品生产成本最低。

(3)良好的劳动条件及避免环境污染。在制订工艺规程时,要注意保证工人操作时有良好而安全的劳动条件。因此,在工艺方案上要尽量采取机械化或自动化措施,以减轻工人繁重的体力劳动。同时,要符合国家环境保护法的有关规定,避免环境污染。

产品质量、生产率和经济性这三个方面有时相互矛盾,因此,合理的工艺规程应该处理好这些矛盾,体现这三者的统一。

## 2. 模具的生产过程与工艺过程

### 1) 模具的生产过程

生产过程是指将原材料或半成品转变为成品的所有劳动过程。这里所指的成品可以是一副模具、一个部件,也可以是某种零件。机械加工工艺过程综合卡片见表 1-1。

表 1-1 机械加工工艺过程综合卡片

机械加工 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	准终	
更改 内容													
编制					校对				审核			会签	

### 2) 模具的工艺过程

工艺过程是指改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等,使其成为半成品或成品的过程。它是生产过程的一部分。工艺过程可分为毛坯制造、零件加工、热处理和装配等工艺过程。根据模具零件加工工艺的特点,模具零件加工工艺过程卡(简称工艺卡)在机械零件加工工序过程卡(见表 1-2)的基础上进行了一些调整和简化;模具零件加工工艺过程卡见表 1-3。

表 1-2 机械零件加工工序过程卡

机械零件加工工序过程卡		产品型号		零件图号		共 页		第 页	
		产品名称		零件名称					
		车间		工序号		工序名称		材料牌号	
		毛坯种类		毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数		每台件数	
		设备名称		设备型号		设备编号		同时加工件数	
		夹具编号		夹具名称		切削液			
		工位器具编号		工位器具名称		切削液			
工序号		工艺装备		进给量/ (mm/r)		进给次数/ 次		工时/min	
				切削速度/ (m/min)		切削深度/ mm		机动	
				主轴转速/ (r/min)		审核(日期)		辅助	
				校对(日期)		标准化(日期)			
				设计(日期)		会签(日期)			
标记		处数	更改文件号	签字	日期	处数	更改文件号	签字	日期



工序是指一个或一组工人在同一个工作地点,对一个或同时几个工件所完成的那一部分工艺过程。工序不仅是组成机械加工工艺过程的基本单元,也是组织生产、核算成本和进行检验的基本单元。工序的划分基本依据加工对象或加工地点是否变更、加工内容是否连续。工序的划分与生产批量、加工条件和零件结构特点有关。例如,如图 1-2 所示的有肩导柱,如果单件生产或生产的数量很少时,其机械加工工艺过程的工序划分见表 1-4。而当批量生产时,各工序内容可划分得更细,表 1-4 序号 3 中倒角和切槽都可在专用车床上进行,从而成为独立的工序。

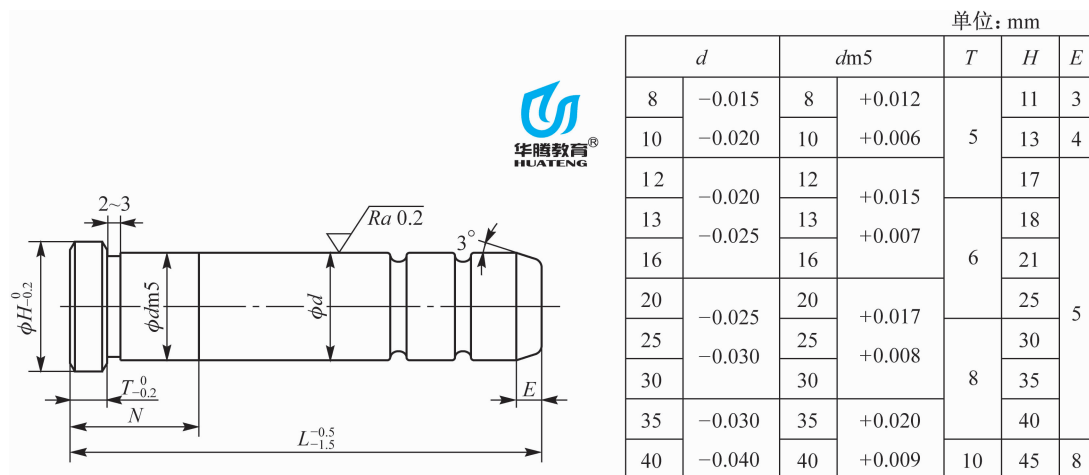


图 1-2 有肩导柱

表 1-4 有肩导柱机械加工工艺过程的工序划分

序 号	工 序	工序要求
1	锯	切割 $\phi H$ mm $\times$ $(L+4)$ mm 棒料
2	车	车端面至长度 $(L+2)$ mm, 钻中心孔; 调头车端面至长度 $L$ mm, 钻中心孔
3	车	车外圆 $\phi H$ mm $\times$ $T$ mm 至尺寸要求; 粗、精车外圆 $\phi d \times (L-T)$ mm, 留磨量、倒角、切槽等
4	热	热处理 55~60 HRC
5	车	研中心孔, 调头研另一中心孔
6	磨	磨 $\phi d$ mm $\times$ $(N-T)$ mm, $\phi d$ mm $\times$ $(L-N)$ mm 至各自的尺寸要求

工序可分为安装、工位、工步和走刀(行程)。

(1)安装。工件加工前,使其在机床或夹具中相对刀具占据正确位置并给予固定的过程,称为装夹。在工件的加工过程中,需要多次装夹工件,那么,每一次装夹所完成的那部分工艺过程称为安装。

(2)工位。为了完成一定的工序内容,一次装夹工件后,工件与夹具或设备的可动部分一起相对于刀具和设备的固定部分所占据的每一个位置称为工位。利用回转工作台对模板上圆周分布的孔系的加工,称为多工位加工。如图 1-3 所示为利用回转工作台在一次安装

中依次完成装卸工件(工位 1)、钻孔(工位 2)、扩孔(工位 3)、铰孔(工位 4)四个工位的连续加工。这样既可以减少安装次数,提高加工精度,并减轻工人的劳动强度,又可以使工位的加工与工件的装卸同时进行,提高劳动生产率。

(3)工步。对工序进一步划分称为工步。一道工序(一次安装或一个工位)中,加工若干个表面可能只需一把刀具,也可能只加工一个表面,但却要用若干把不同的刀具。在加工表面和加工刀具不变的情况下,需要连续完成的那一部分工序,称为一个工步。

如果上述两项中有一项改变,就成为另一工步。表 1-4 序号 3 中,包括车外圆、倒角、切槽等几个工步。

为简化工艺文件,对于那些连续进行的几个相同工步,通常可看作一个工步,如图 1-4 所示,在同一工序中,连续钻四个  $\phi 15$  mm 孔就可看作一个工步。

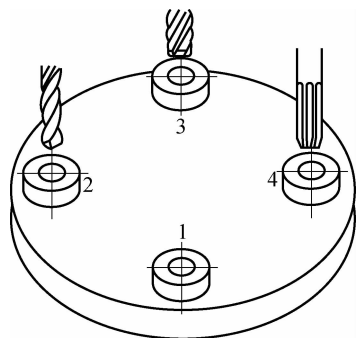


图 1-3 多工位加工

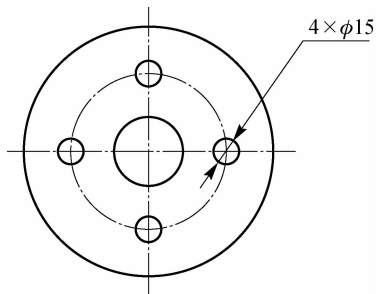


图 1-4 四孔一个工位

为了提高生产率,常将几个待加工表面用几把刀具同时加工,这种刀具合并起来的工步称为复合工步。图 1-5 所示的立轴转塔车床回转刀架一次转位完成的工位内容应属于一个工步,复合工步在工艺规程中也写为一个工步。

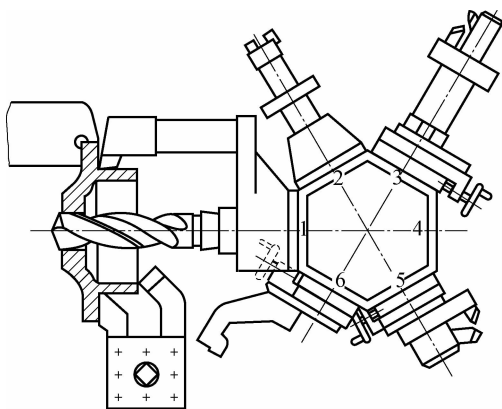


图 1-5 立轴转塔车床回转刀架上的复合工步

(4)走刀。在一个工步中,若需切去的金属层很厚,则可分为几次切削,而每进行一次切削就是一次走刀。一个工步可以包括一次或几次走刀。

## 二、模具零件的工艺分析

零件图是编制模具加工工艺规程最主要的原始资料。在编制时,应了解零件的功用、结构特点及与其他零件的关系,分析各项公差和技术要求的制订依据,从中找出主要技术要求和关键技术问题。

### 1. 模具零件的结构工艺性

模具零件的结构由于使用要求不同而具有各种形状和尺寸。但是,如果从形体上加以分析,各种模具零件都是由一些基本的表面和特形表面组成的。其基本表面有内、外圆柱面,圆锥表面和平面等;特形表面主要有螺旋面、渐开线齿形表面等。

在研究模具零件的结构特点时,首先要分析该模具零件是由哪些表面组成的,因为模具零件的表面形状是选择加工方法的基本因素。例如,外圆柱面一般是由车削和磨削加工出来的,内孔则多通过钻、扩、铰、镗和磨削等加工方法获得。除表面形状外,模具零件的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。

分析模具零件结构,不仅要注意模具零件各构成表面的形状、尺寸,还要注意这些表面的不同组合,因为正是这些不同的组合形成了模具零件结构上的特点。例如,以内、外圆柱面为主,既可以组成盘类零件,也可以构成套类零件。套类零件既可以是一般的轴套,也可以是形状复杂的薄壁轴套。显然上述不同结构特点的模具零件在工艺上存在较大的差异。机械制造中通常按照零件结构和工艺过程的相似性,将各种零件大致分为轴类零件、套类零件、盘类零件、叉架类零件以及箱体类零件等,以便使工艺典型化。模具零件中的模柄、导柱等零件和一般机械零件的轴类零件在结构或工艺上有许多相同或相似之处。整体结构的圆形凹模和一般机械零件的盘类零件相类似,但其上的型孔加工则比一般盘类零件要复杂得多,所以圆形凹模又具有不同于一般盘类零件的工艺特点。

模具零件的结构工艺性是指所设计的零件在能满足使用要求的前提下,制造的可行性和经济性。因此,在保证模具零件使用要求的前提下,其结构应能满足机械加工和电火花加工过程的工艺要求。这样有利于应用先进的、高效率的加工方法,从而降低生产成本,提高劳动生产率。

对模具零件结构工艺性的要求大致可分为以下几点。

(1)便于达到零件图上要求的加工质量。模具零件的结构应能保证在加工时用比较容易、工作量较小的方法来达到规定的质量要求。

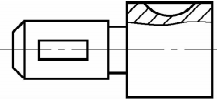
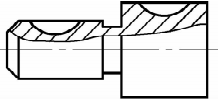
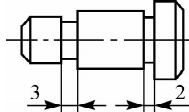
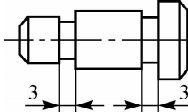


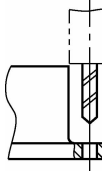
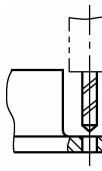
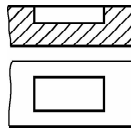
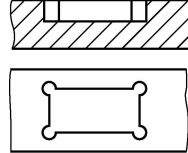
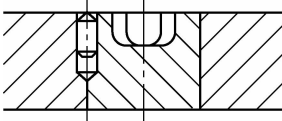
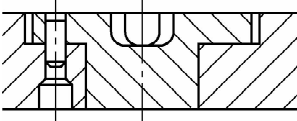
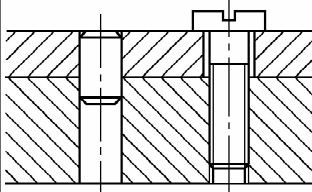
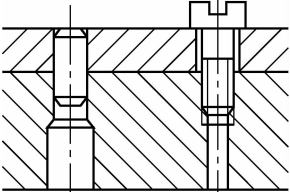
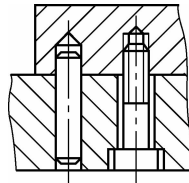
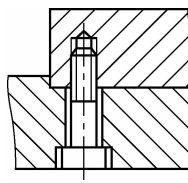
(2)便于采用高生产率的加工方法。如模具零件加工表面形状的分布应合理,模具零件的结构应标准化、规格化,模具零件应具有足够的刚度等。

(3)有利于减少模具零件的加工工作量。模具零件设计时应尽量减少加工表面,减少工作量以及减少刀具、电极、材料的消耗。

(4)有利于缩短辅助时间。如模具零件加工时便于定位和装夹,既可简化夹具结构,又可缩短辅助时间。

几种模具零件结构的工艺性对比见表 1-5。

表 1-5 几种模具零件结构的工艺性对比

序号	模具零件结构的工艺性不好	模具零件结构的工艺性好	说明
1			键槽的尺寸、方位相同,可在一次装夹中加工出全部键槽,提高生产率
2			退刀槽尺寸相同,可减少刀具种类,减少换刀时间
3			三个凸台表面在同一平面上,可在一次进给中加工完成
4			小孔与壁距离适当,便于引进刀具
5			方形凹坑的四角加工时无法清角
6			型腔淬硬后,骑缝销孔无法用钻—铰方法配作
7			销孔太深,增加铰孔工作量。螺孔没有必要过长
8			将型芯淬硬后安装在模板上,定位销孔无法用钻—铰方法配作,应改为浅凹定位,使加工更加容易

## 2. 模具零件的技术要求

模具零件的技术要求包括以下几个方面。

(1)加工表面的尺寸精度。



- (2) 主要加工表面的形状精度。
- (3) 主要加工表面间的相互位置精度。
- (4) 各加工表面的粗糙度, 以及表面质量方面的其他要求。
- (5) 热处理要求及其他要求。

根据模具零件的结构特点, 在认真分析了其主要加工表面的技术要求后, 对其加工工艺有一个初步的方案。首先根据模具零件主要加工表面的精度和表面质量的要求, 可初步确定为达到这些要求所需要的最终加工方法和相应的中间工序, 及粗加工工序所需要的加工方法。例如, 对于孔径不大且精度等级为 IT7 的内孔, 最终加工方法为精铰时, 在精铰孔之前, 通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工。

加工表面之间的相对位置要求包括加工表面之间的距离尺寸关系和相对位置精度。认真分析零件图上尺寸的标注及主要加工表面的位置精度, 即可初步确定各加工表面的加工顺序。

模具零件的热处理要求影响加工工艺方法和加工余量的选择, 而且对加工工艺路线的安排也有一定的影响。例如, 要求渗碳淬火的模具零件, 热处理后一般变形较大。对于模具零件上精度较高的表面, 工艺上要安排精加工工序(多为磨削加工), 而且要适当增大精加工工序的加工余量。

**例 1-1** 分析图 1-6 所示零件图及其技术要求。

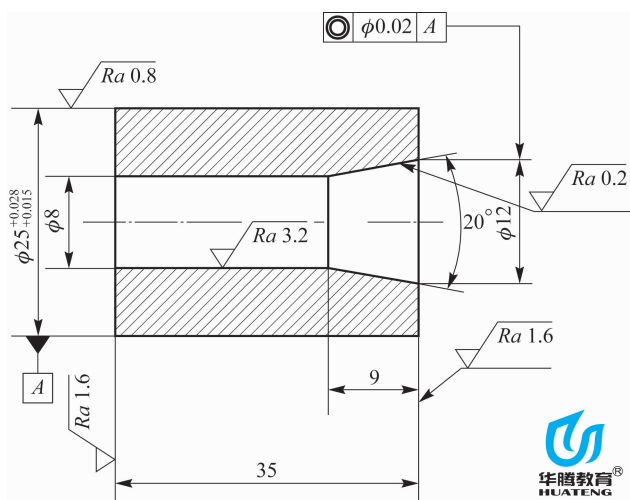


图 1-6 零件图

**分析:** 图 1-6 所示零件需加工的表面为:  $\phi 25$  mm 外圆柱面, 尺寸精度达到 IT6 级, 表面粗糙度  $Ra$  为  $0.8 \mu\text{m}$ ;  $\phi 8$  mm 内孔, 表面粗糙度  $Ra$  为  $3.2 \mu\text{m}$ ; 两端面, 表面粗糙度  $Ra$  为  $1.6 \mu\text{m}$ 。

通过对该零件技术要求的分析, 可以确定该零件的外圆需要磨削才能达到其尺寸精度和表面粗糙度要求, 加工时需要划分粗加工、半精加工和精加工阶段。锥孔的表面粗糙度要求需经研磨才能达到。

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, 应提出修改意见。但修改时必须征得设计人员的同意, 并经过一定的批准手续。

### 三、毛坯的选择

毛坯是根据模具零件所要求的形状、工艺尺寸等制成的供进一步加工用的生产对象。正确选择毛坯有重要的技术经济意义。因为它不仅影响毛坯制造工艺、设备及费用,而且对模具零件材料的利用率、劳动量消耗、加工成本等都有重大影响。

#### 1. 毛坯的种类及特点

模具零件常用毛坯的种类及其特点见表 1-6。

表 1-6 模具零件常用毛坯的种类及其特点

种 类	特 点
铸件	多用于形状复杂、尺寸较大的零件。其吸振性能好,但力学性能低。铸造方法有砂型铸造、离心铸造等,有手工造型和机器造型。模型有木模和金属模,木模手工造型用于单件小批生产或大型零件,生产效率低,精度低;金属模用于大批大量生产,生产效率高,精度高。离心铸造用于空心零件,压力铸造用于形状复杂、精度高、大量生产、尺寸小的有色金属零件
锻件	用于强度高、形状简单的零件(轴类和齿轮类)。用模锻和精密锻造,生产效率高,精度高。单件小批生产时用自由锻
冲压件	用于形状复杂、生产批量较大的板料毛坯。精度较高,但厚度不宜过大
型材	用于形状简单或尺寸不大的零件。材料为各种冷拉和热轧钢材
冷挤压件	用于形状简单、尺寸小和生产批量大的零件。如各种精度高的仪表件和航空发动机中的小零件
焊接件	用于尺寸较大、形状复杂的零件。多用型钢或锻件焊接而成,其制造成本低,但抗振性差,容易变形,尺寸误差大
工程塑料	用于形状复杂、尺寸精度高、力学性能要求不高的零件
粉末冶金	尺寸精度高,材料损失少,用于大批量生产、成本高的零件。不适用于结构复杂、薄壁、有锐边的零件

#### 2. 毛坯的选择原则

##### 1) 模具零件的材料及其力学性能

零件的材料大致确定了毛坯的种类。例如,材料为铸铁和青铜的零件应选择铸件毛坯;钢质零件形状不复杂,力学性能要求不太高时可选型材;重要的钢质零件,为保证其力学性能,应选择锻件毛坯。

##### 2) 模具零件的结构形状及外形尺寸

一般用途的阶梯轴,若各台阶直径相差不大,可直接选择圆棒料;若各台阶直径相差较大,则宜选择锻造件。

模具零件的外形尺寸对毛坯选择有较大的影响,大型模具零件可选择毛坯精度较低的砂型铸造和自由锻造的毛坯,中、小型零件可选择标准模锻毛坯。

##### 3) 模具零件的生产类型

大量生产的零件应选择精度和生产率都比较高的毛坯制造方法,如铸件采用金属模机器造型或精密铸造,锻件采用模锻,型材采用冷轧或冷拉,零件产量较小时应选择精度和生

产率较低的毛坯制造方法。

4) 现有生产条件

确定毛坯的种类及制造方法必须考虑具体的生产条件,如毛坯制造的工艺水平、设备状况以及对外协作的可能性等。

5) 充分考虑新工艺、新技术和新材料

随着机械制造技术的发展,毛坯制造方面的新工艺、新技术和新材料的应用也发展很快。如精铸、精锻、冷挤压、粉末冶金和工程塑料等在机械中的应用日益增加。采用这些方法大大减少了机械加工量,有时甚至可以不再进行机械加工就能达到加工要求,其经济效益非常显著。我们在选择毛坯时应给予充分考虑,在可能的条件下尽量采用。

### 3. 毛坯形状与尺寸的确定

1) 工艺搭子的设计

有些零件,由于结构的原因,加工时不易装夹稳定,为了装夹方便、迅速,可在毛坯上制出凸台,即所谓的工艺搭子。

2) 整体毛坯的采用

如磨床主轴部件中的三瓦轴承、发动机的连杆和车床的开合螺母等类零件。为保证零件的加工质量和加工时方便,常做成整体毛坯,到一定阶段后再切开。

3) 合件毛坯的采用

对于一些形状比较规则的小型零件,如 T 形键、扁螺母、小隔套等,应将多件合成一个毛坯,待加工到一定阶段后或者大多数表面加工完毕后,再加工成单件。如图 1-7 所示一坯多件的毛坯,毛坯长度  $L$  的表达式为

$$L = 20n + (n - 1)B \tag{1-1}$$

式中,  $L$  为毛坯长度(mm);  $n$  为切割模具零件的个数;  $B$  为切口宽度(mm)。

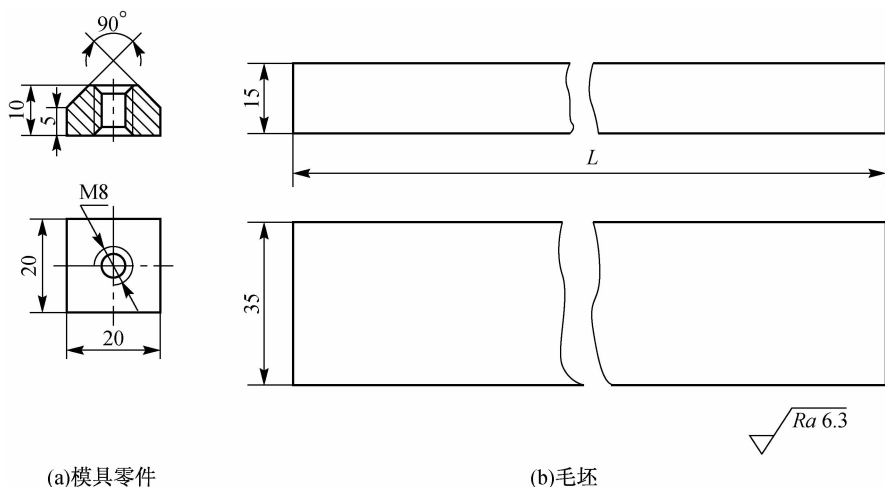


图 1-7 一坯多件的毛坯

在确定了毛坯种类、形状和尺寸后,还应绘制一张毛坯图,作为毛坯生产单位的产品图样。绘制毛坯图,是在零件图的基础上,在相应的加工表面上加上毛坯余量。但绘制时还要考虑毛坯的具体制造条件,如铸件上的孔、锻件上的孔和法兰等的最小铸出和锻出条件,铸

件和锻件表面的起模斜度(拔模斜度)和圆角,分型面和分模面的位置等。并用双点画线在毛坯图中表示出零件的表面,以区别加工表面和非加工表面。

#### 四、基准

在制订模具加工工艺规程时,正确地选择工件的定位基准有着十分重要的意义。定位基准选择得合理与否,不仅影响模具零件加工的位置精度,而且对模具零件各表面的加工顺序也有很大的影响。

##### 1. 基准的概念

模具零件由若干表面组成,各表面之间有一定的尺寸和相互位置要求。其表面间的相对位置要求包括两方面,即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)要求。研究零件加工表面间的相对位置关系离不开基准,不明确基准就无法确定零件加工表面的位置。基准是用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。如果要计算和测量某些点、线、面的位置和尺寸,基准就是计算和测量的起点依据。

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 1-8 所示的零件,其轴心线  $O-O'$  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,内孔表面  $D$  体现的轴心线  $O-O'$  是  $\phi 40h6$  外圆表面径向圆跳动和端面  $B$  的端面圆跳动的的设计基准。

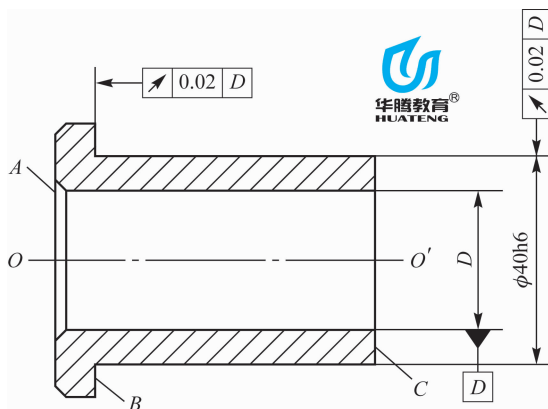


图 1-8 零件图示例

##### 2) 工艺基准

模具零件在加工和装配过程中所使用的基准称为工艺基准。工艺基准按其用途不同可分为工序基准、定位基准、测量基准和装配基准。

(1) 工序基准。在工序图上用来确定本道工序所加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准称为工序基准。工序图是一种工艺附图,加工表面用粗实线表示,其余表面用细实线绘制。如图 1-9 所示,外圆柱面的最低母线  $B$  为工序基准。模具生产属于小批量生产,除特殊情况外一般不绘制工序图。

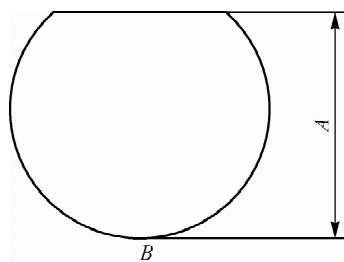


图 1-9 工序图

(2)定位基准。在加工时,为了保证工件相对于机床和刀具之间的正确位置所使用的基准称为定位基准。图 1-8 中,零件套在心轴上磨削  $\phi 40h6$  mm 外圆表面时,内孔即为定位基准。

(3)测量基准。零件检验时,用以测量已加工表面尺寸及其位置的基准称为测量基准。图 1-8 中,当以内孔为基准(套在检验心轴上)检验  $\phi 40h6$  mm 外圆表面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。

(4)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。图 1-8 中的  $\phi 40h6$  mm 外圆表面和端面  $B$  即为装配基准。

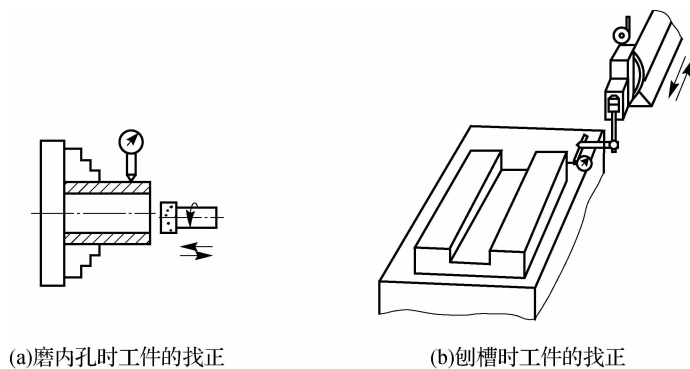
## 2. 工件的安装方式

工件安装的好坏是模具加工中的重要问题,它直接影响着加工精度,工件安装的快慢还影响生产率的高低。为了保证加工表面与其设计基准间的相对位置精度,工件安装时应使加工表面的设计基准相对机床占据一个正确的位置。图 1-8 中,为了保证  $\phi 40h6$  mm 外圆表面径向圆跳动的要求,工件安装时必须使其设计基准(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。安装方法可以归纳为直接找正法、划线找正法和采用夹具安装法等。

### 1) 直接找正法

采用直接找正法时,工件在机床上应占有的正确位置,该位置是通过一系列的尝试而获得的。具体的方法是将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,如图 1-10 所示。



(a)磨内孔时工件的找正

(b)刨槽时工件的找正

图 1-10 直接找正法

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。它的缺点是花费时间多、生产率低,且要凭经验操作,对工人技术水平要求高,因此,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,如果采用夹具,因其本身有制造误差,而难以达到要求,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,以达到工件的定位精度要求。

### 2) 划线找正法

划线找正法是在机床上用划针按毛坯或半成品件上所划的线来找正工件,使其获得正确位置的一种方法。显而易见,此法要多一道划线工序。划线本身有一定宽度,在划线时有划线误差,校正工件位置时还有观察误差。因此,该方法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,如图 1-11 所示。

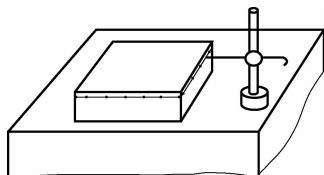


图 1-11 划线找正法示例

### 3) 采用夹具安装法

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,因此,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,在成批量生产中广泛应用。夹具在现代生产中已得到了广泛应用,如图 1-12 所示为用专用夹具安装工件。

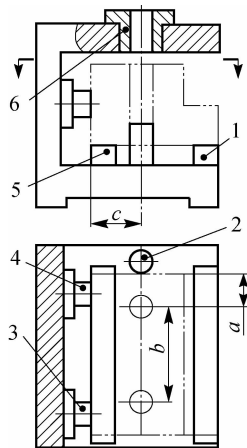


图 1-12 用专用夹具安装工件

1、5—支承板;2、3、4—支承销;6—钻套

## 3. 定位基准的选择

定位基准不仅影响工件的加工精度,而且同一个加工表面选用的定位基准不同,其工艺路线也可能不同,因此,选择工件的定位基准是十分重要的。机械加工的最初工序只能

用工件毛坯上未经加工的表面作为定位基准,这种定位基准称为粗基准。用已加工过的表面作为定位基准称为精基准。在制订模具加工工艺规程时,总是先考虑选择怎样的精基准定位把工件加工出来,再考虑选择怎样的粗基准定位把用作精基准的表面加工出来。

工件定位时,按照六点定位原理,要根据加工时对工件应限制的自由度个数来确定选用几个表面作为定位基准。如图 1-13 所示的支承块,为了获得尺寸  $h_1$ ,用铣刀加工顶面时,需要限制  $Z$  方向的移动自由度  $\vec{Z}$ 、 $X$  方向的旋转自由度  $\hat{X}$  和  $Y$  方向的旋转自由度  $\hat{Y}$ ,因此,选择  $G$  面定位即可。

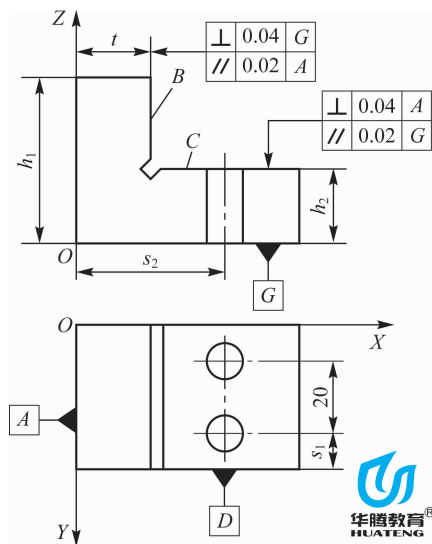


图 1-13 支承块

加工表面  $B$ 、 $C$  时,为了获得尺寸  $t$  和  $h_2$ ,并保证加工表面  $B$ 、 $C$  与  $A$  面、 $G$  面的垂直度和平行度满足要求,需要限制  $\vec{X}$ 、 $\vec{Z}$ 、 $\hat{X}$ 、 $\hat{Y}$  和  $\hat{Z}$  五个自由度,应选择  $A$  面、 $G$  面定位。

加工孔时,为保证孔的位置尺寸  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $20\text{ mm}$  及孔与  $G$  面的垂直度要求,必须限制工件六个自由度,故应选择  $A$  面、 $G$  面和  $D$  面定位。

如何正确地选择定位基准,在生产中已总结出一些规律。

#### 1) 粗基准的选择

粗基准选择得好坏,对以后各加工表面加工余量的分配,以及工件加工表面和非加工表面间的相对位置均有很大的影响。因此,必须重视粗基准的选择。粗基准的选择有两个出发点:一是保证各加工表面有足够的加工余量,二是保证非加工表面的尺寸和位置符合图样要求。

粗基准的选择原则如下。

(1) 具有非加工表面的工件,为保证加工表面与非加工表面间的相对位置,一般应选择非加工表面为粗基准。若工件有几个非加工表面,则粗基准应选位置精度要求较高的一个,以达到壁厚均匀、外形对称的要求。

如图 1-14 所示,零件外圆柱面为非加工表面,选择其作为粗基准加工孔和端面,加工后能保证孔与外圆柱面间的壁厚均匀。

(2)如果必须首先保证工件某重要表面的加工余量均匀,应选择该表面作为粗基准。如图 1-15 所示为冲压模模座粗基准的选择。此时应以下平面为粗基准,加工上平面与模座其他部位,这样可减少毛坯误差,使上、下平面基本平行,最后再以上平面为精基准加工下平面,这时下平面的加工余量就比较均匀,且较小。

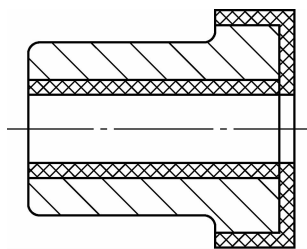


图 1-14 粗基准的选择

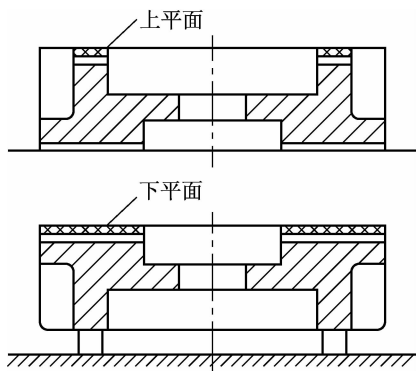


图 1-15 冲压模模座粗基准的选择

(3)具有较多加工表面的工件在选择粗基准时,应按下述原则合理分配各加工表面的加工余量。

①为保证各加工表面都有足够的加工余量,选择毛坯上加工余量最小的表面作为粗基准。

②若零件必须首先保证其重要表面加工余量均匀,则应选择该表面作为粗基准。

③若有几个不加工表面,则粗基准应选位置精度要求较高者。

(4)粗基准的表面应尽量平整,没有浇口、冒口或飞边及其他表面缺陷,以使工件定位可靠、夹紧方便。

(5)由于粗基准是毛坯表面比较粗糙,不能保证重复安装的位置精度,定位误差很大。因而,粗基准一般只使用一次。

## 2)精基准的选择

选择精基准时,主要应考虑减小定位误差和安装方便、准确。其选择原则如下。

(1)基准重合原则。选择加工表面的设计基准作为精基准,以避免因基准不重合引起基准不重合误差,容易保证加工精度。如图 1-16 所示,当加工表面 B、C 时,从基准重合的原则出发,应选择表面 A(设计基准)作为精基准。加工后,表面 B、C 相对表面 A 的平行度取决于机床的几何精度,尺寸精度误差则取决于机床—刀具—工件等工艺系统的一系列因素。

(2)基准统一原则。应选择多个表面加工时都能使用的定位基准作为精基准。这样便于保证各加工表面间的相对位置精度,避免基准变换所产生的误差,简化夹具的设计和制造工作。

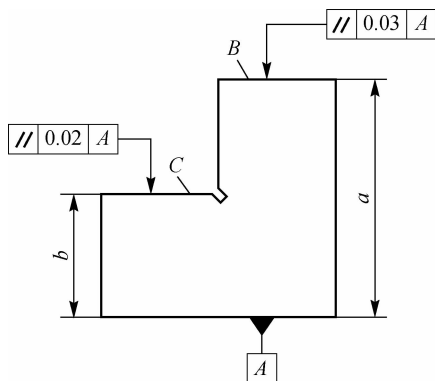


图 1-16 基准重合工件示例



例如,轴类零件的大多数工序都采用顶尖孔作为定位基准,齿轮的齿坯和齿形加工多采用齿轮的内孔及端面作为定位基准。

(3)自为精基准原则。当有些精加工或光整加工工序要求加工余量小而均匀时,应选择加工表面本身作为精基准,而该表面与其他表面之间的位置精度应用先行工序来保证。

例如,在导轨磨床上磨削导轨时,安装后应用百分表找正工件导轨表面本身,此时床脚仅起支承作用。此外,珩磨、铰孔及浮动镗孔等都是自为精基准的例子。

(4)互为精基准原则。当两个加工表面相互位置精度要求高,并且它们自身的尺寸与形状精度都要求很高时,可采用互为精基准原则。

### 3)辅助基准的应用

工件定位时,为了保证其加工表面的位置精度,多优先选择设计基准或装配基准作为定位基准,这些基准一般都是零件上的重要工作表面。但有些零件的加工,为了安装方便或易于实现基准统一,人为地制造一种定位基准,如图 1-17 所示,车床小刀架的工艺凸台 A 应和定位面 B 同时加工出来,以使定位稳定可靠。辅助基准在零件工作中并无用途,完全是为了工艺上的需要,加工完毕后如有必要可以去掉辅助基准。

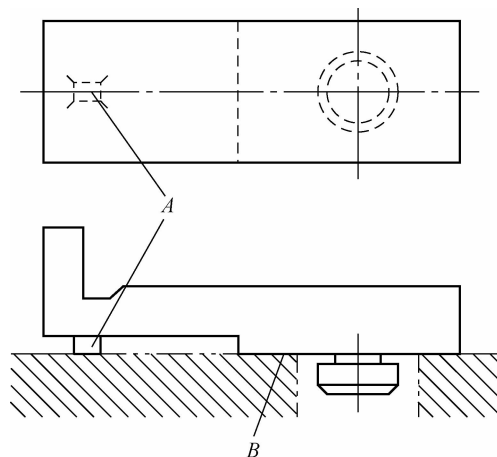


图 1-17 具有工艺凸台的车床小刀架

## 五、模具加工工艺流程的拟订

拟订模具加工工艺流程时,应该在充分调查研究的基础上提出多种方案进行分析比较。因为模具加工工艺流程不但影响加工的质量和生产效率,而且影响工人的劳动强度、设备投资、车间面积和生产成本等。

拟订模具加工工艺流程就是制订模具加工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模具加工工艺过程中的工序数目等。

除合理选择定位基准外,拟订模具加工工艺流程还要考虑表面加工方法的选择、加工阶段的划分、工序集中与工序分散和加工顺序的安排四个方面。

## 1. 表面加工方法的选择

明确了各加工表面的技术要求后,即可据此选择能保证该要求的最终加工方法,并确定需几个工步和各工步的加工方法。所选择的加工方法应满足零件的质量、加工经济性和生产效率的要求。同时还应考虑以下因素。

(1)首先要保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。例如,对于 IT7 精度的孔,一般不宜选择拉削和磨孔。而常选择镗孔或铰孔,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。例如,淬火钢应采用磨削加工,有色金属零件一般都采用高速镗或高速精密车削进行精加工。

(3)工件的结构形状和尺寸大小的影响。例如,回转工件可以用车削或磨削等方法加工孔,而模板上的孔,一般就不宜采用车削或磨削,而通常采用镗削或铰削加工。

(4)表面加工方法的选择,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,如内孔和平面可采用拉削加工取代普通的铣、刨和镗孔方法。

(5)为了能够正确的选择加工方法,还要考虑本厂、本车间现有设备情况及技术条件。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。

常见加工方法能达到的经济加工精度及经济表面粗糙度可查阅有关工艺手册。部分摘录见表 1-7~表 1-9。

表 1-7 外圆柱面的加工方法

序号	加工方法	经济加工精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT13~IT11	50~12.5	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车一半精车	IT10~IT8	6.3~3.2	
3	粗车一半精车一精车	IT8~IT7	3.2~1.6	
4	粗车一半精车一精车一滚压(或抛光)	IT8~IT7	0.2~0.025	
5	粗车一半精车一磨削	IT8~IT7	0.8~0.4	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车一半精车一粗磨一精磨	IT7~IT6	0.4~0.1	
7	粗车一半精车一粗磨一精磨一超精加工	IT5	0.1~0.012	
8	粗车一半精车一精车一精细车(金刚石车)	IT7~IT6	1.25~0.32	主要用于加工精度要求较高的有色金属
9	粗车一半精车一粗磨一精磨一研磨	IT6~IT5	0.16~0.08	适用于加工精度要求极高的外圆
10	粗车一半精车一粗磨一精磨一超精磨(或镜面磨)	IT5 以上	<0.025	

表 1-8 平面的加工方法

序 号	加工方法	经济加工精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT13~IT11	50~12.5	主要用于加工端面
2	粗车—半精车	IT10~IT8	6.3~3.2	
3	粗车—半精车—精车	IT8~IT7	1.6~0.8	
4	粗车—半精车—磨削	IT8~IT6	0.8~0.2	
5	粗刨(或粗铣)	IT13~IT11	25~6.3	一般不用于淬硬平面(端铣表面粗糙度 $Ra$ 值较小)
6	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)	IT10~IT8	6.3~1.6	
7	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—刮研	IT7~IT6	0.8~0.1	主要用于加工精度要求较高的不淬硬平面,批量较大时宜采用宽刃精刨方案
8	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—宽刃精刨	IT7	0.8~0.2	
9	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—磨削	IT7	0.8~0.2	主要用于加工精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—粗磨—精磨	IT7~IT6	0.4~0.025	
11	粗铣—拉	IT9~IT7	0.8~0.2	主要用于大量生产较小的平面(精度视拉刀精度而定)
12	粗铣—精铣—磨削—研磨	IT5 以上	0.1~0.006	主要用于加工高精度平面

表 1-9 孔的加工方法

序 号	加工方法	经济加工精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	钻	IT13~IT11	12.5	主要用于加工未淬硬钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径小于 15 mm
2	钻—铰	IT10~IT8	6.3~1.6	
3	钻—粗铰—精铰	IT8~IT7	1.6~0.8	
4	钻—扩	IT11~IT10	12.5~6.3	主要用于加工未淬硬钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径大于 20 mm
5	钻—扩—铰	IT9~IT8	3.2~1.6	
6	钻—扩—粗铰—精铰	IT7	1.6~0.8	
7	钻—扩—机铰—手铰	IT7~IT6	0.4~0.2	
8	钻—扩—拉	IT9~IT7	1.6~0.1	主要用于大批量生产(精度由拉刀的精度而定)

续表

序号	加工方法	经济加工精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
9	粗镗(扩)	IT13~IT11	12.5~6.3	除淬火钢外的各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)	IT10~IT9	3.2~1.6	
11	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)—精镗(铰)	IT8~IT7	1.6~0.8	
12	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)—精镗—浮动镗刀精镗	IT7~IT6	0.8~0.4	
13	粗镗(扩)—半精镗—磨孔	IT8~IT7	0.8~0.2	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
14	粗镗(扩)—半精镗—粗磨—精磨	IT7~IT6	0.2~0.1	
15	粗镗—半精镗—精镗—精细镗(金刚镗)	IT7~IT6	0.4~0.05	主要用于加工精度要求高的有色金属
16	钻(扩)—粗铰—精铰—珩磨,钻(扩)—拉—珩磨,粗镗—半精镗—精镗—珩磨	IT7~IT6	0.2~0.025	主要用于加工精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方法中的珩磨	IT6~IT5	0.1~0.006	

## 2. 加工阶段的划分

对于加工质量要求较高的模具零件,工艺过程应分阶段进行,这样才能保证模具零件的精度要求,充分利用人力资源和物力资源。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。粗加工阶段的主要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,在此阶段中应采取措施尽可能提高生产率。

(2)半精加工阶段。半精加工阶段的主要任务是使主要表面消除粗加工阶段留下的误差,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。精加工阶段的主要任务是去除半精加工阶段所留的加工余量,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(如精度等级为IT6及IT7,表面粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ )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。

模具加工工艺过程分阶段的主要原因有以下几点。

(1)保证加工质量。工件粗加工时切除的金属较多,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。在切削力和切削热的作用下,工件会发生较大的变形。如果不分阶段而进行连续粗、精加工,就无法避免上述原因所引起的加工误差。工艺过程分阶段后,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,以达到逐步提高零件的加工精度,降低零件的表面粗糙度,保证零件加工质量的目的。

(2)合理使用设备。模具加工工艺过程划分阶段后,粗加工可采用功率大、刚度高、精度

低的高效率机床加工,以提高生产效率;精加工可采用高精度机床加工,以确保零件的精度要求。这样既充分发挥了设备的各自特点,又做到了设备的合理使用。

(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。而半精加工后安排淬火,不仅容易满足模具零件的性能要求,而且淬火引起的变形也可通过精加工予以消除。

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,以免对该报废的模具零件继续进行精加工,而浪费工时和产生其他制造费用。

在拟订模具加工工艺路线时,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较好的零件,可不必划分加工阶段;对于一些刚性好的重型零件,由于装夹吊运很费工时,常不划分加工阶段,而在一次安装中完成表面的粗、精加工。

### 3. 工序集中与工序分散

对同一工件的同样加工内容,可以安排两种不同形式的工艺规程:一种是工序集中的工艺规程,另一种是工序分散的工艺规程。所谓工序集中,是使每个工序中包括尽可能多的工步内容,使总的工序数目减少,使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,使每道工序的工步减少,工艺路线增长。

#### 1) 工序集中的特点

- (1)有利于采用高生产率的专用设备和工艺装备,可大大提高劳动生产率。
- (2)减少了工序数目、缩短工艺路线。
- (3)减少了设备数量,减少了操作工人和生产面积。
- (4)减少了工件安装次数,保证了零件精度。
- (5)专用设备和工艺装备较复杂,生产准备工作和投资比较大,转换新产品比较困难。

#### 2) 工序分散的特点

- (1)设备与工艺装备比较简单,调整方便,生产工人便于掌握,容易适应产品的变换。
- (2)可以采用最合理的切削用量,减少机动时间。
- (3)设备数目较多,操作工人多,生产面积大。

拟订工艺路线时,工序集中与工序分散的程度,即工序数目的多少,要取决于生产规模和零件的结构特点及技术要求。小批量生产时,多将工序适当集中,使各通用机床完成更多的表面加工,以减少工序的数目。大批量时,即可采用多刀、多轴等高效机床将工序集中,也可将工序分散后组织流水生产。

另外,对于重型模具的大型零件,为了减少工件装卸和运输的劳动量,工序应适当集中;对于刚性差且精度高的精密零件,工序则适当分散。

### 4. 加工顺序的安排

#### 1) 机械加工顺序的安排

安排机械加工顺序时,应考虑以下几个原则。

- (1)先粗后精。当模具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。次要表面的精度要求不高,一般经粗、半精加工后即可完成。

(2)先主后次。模具零件上的装配基准面和主要表面等先安排加工。而键槽、紧固用的光孔和螺孔等,由于加工面小,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后(如半精加工后)进行加工,但应在最后精加工前进行加工。

(3)基准面先加工。每一加工阶段总是应先安排基准面加工。例如,轴类零件的加工中采用中心孔作为统一基准,因此,每个加工阶段开始总是先打中心孔,以其作为精基准,并使其具有足够的精度和表面粗糙度(常高于图样上的要求)。如果精基准面不止一个,则应按照基准面转换的次序和逐步提高精度的原则安排加工。例如,精密轴套类零件的外圆和内孔互为基准,应反复进行加工。

(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,因其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,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、调质和时效等。这类热处理的目的是改善模具零件加工性能,消除内应力,为最终热处理做组织准备。其工序位置多安排在粗加工前后。

(2)最终热处理。最终热处理包括各种淬火、回火、渗碳和氮化等。这类热处理的目的是提高模具零件材料的硬度和耐磨性。其工序位置多安排在精加工前后。

### 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着极为重要的作用。检验工序的安排应遵循以下原则。

- (1)粗加工全部结束后,精加工开始之前。
- (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)特种性能检验(磁力探伤、密封性检验等)前。
- (5)零件加工完毕,进入装配和成品库时。

## 六、确定加工余量与工序尺寸

### 1. 加工余量与工序尺寸的基本概念

零件在机械加工工艺过程中,各个加工表面本身的尺寸及各个加工表面相互之间的距离尺寸和位置关系,在每一道工序中是不相同的,它们随着工艺过程的进行而不断改变,一直到工艺过程结束,以达到图样上所规定的要求。在工艺过程中,某工序加工应达到的尺寸称为工序尺寸。

工艺路线拟订之后,在进一步安排各个工序的具体内容时,应正确地确定工序尺寸。工序尺寸的确定与工序加工余量有着密切的关系。加工余量是指加工过程中从加工表面切去的金属层厚度。加工余量可分为工序加工余量和总加工余量。

### 1) 工序加工余量

工序加工余量是指某一表面在一道工序中所切除的金属层厚度,它取决于同一表面相邻工序前后工序尺寸之差。工序加工余量分为单边加工余量和双边加工余量。如平面加工的工序加工余量属于单边加工余量,它等于实际切除的金属层厚度,如图 1-18 所示。

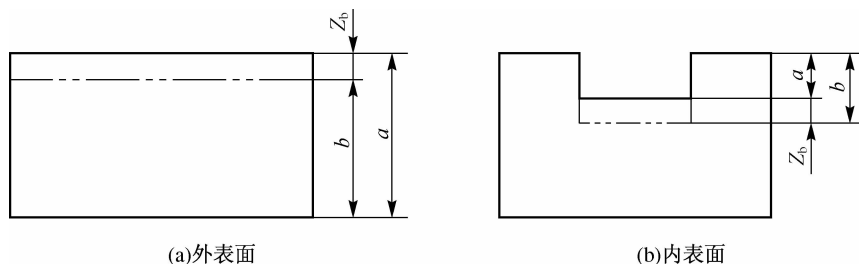


图 1-18 平面加工的加工余量

对于外表面,见图 1-18(a),有

$$Z_b = a - b$$

对于内表面,见图 1-18(b),有

$$Z_b = b - a$$

式中, $Z_b$  为本道工序的工序加工余量(mm); $a$  为上道工序的工序尺寸(mm); $b$  为本道工序的工序尺寸(mm)。

而对于轴和孔的回转面加工,其工序加工余量为双边加工余量,实际切除的金属层厚度为双边加工余量的一半,如图 1-19 所示。

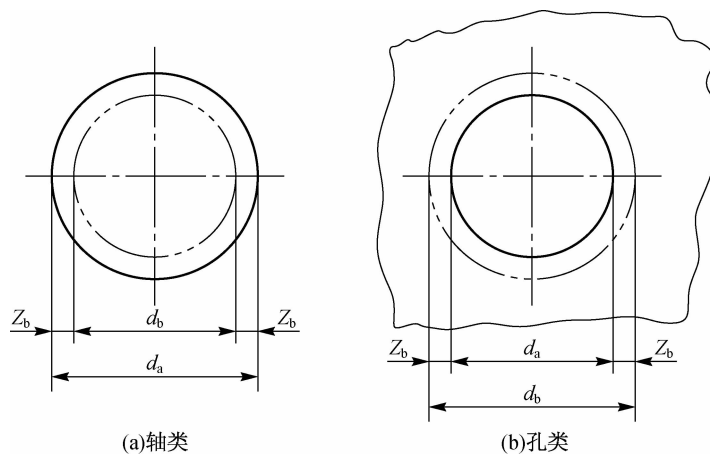


图 1-19 回转面的加工余量

对于轴类,见图 1-19(a),有

$$2Z_b = d_a - d_b$$

对于孔类,见图 1-19(b),有

$$2Z_b = d_b - d_a$$

式中, $Z_b$  为本道工序的工序加工余量(mm); $d_a$  为上道工序的工序尺寸(mm); $d_b$  为本道工序的工序尺寸(mm)。

## 2) 总加工余量

总加工余量(毛坯余量)是指毛坯尺寸与零件图设计尺寸之差,其值等于各工序加工余量的总和,即

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (1-2)$$

式中, $Z_0$  为总加工余量(mm); $Z_i$  为第*i* 道工序加工余量(mm); $n$  为总共加工的工序数。

由于工序尺寸都有公差,所以工序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的工序尺寸公差与上道工序的工序尺寸公差之和。因此,如图 1-20 所示,工序加工余量有标称余量(简称为余量  $Z_b$ )、最大余量  $Z_{\max}$  和最小余量  $Z_{\min}$  之分。

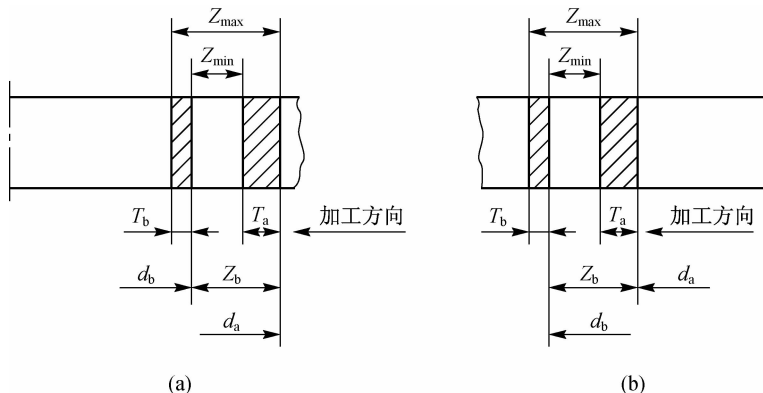


图 1-20 被包容件的工序加工余量和工序尺寸公差

工序加工余量公差可表示为

$$T_Z = T_b + T_a = Z_{\max} - Z_{\min} \quad (1-3)$$

式中, $T_Z$  为工序加工余量公差(mm); $T_b$  为本道工序的工序尺寸公差(mm); $T_a$  为上道工序的工序尺寸公差(mm); $Z_{\max}$  为最大余量(mm); $Z_{\min}$  为最小余量(mm)。

一般情况下,工序尺寸公差按“入体原则”标注,即被包容件的尺寸(轴的外径,实体的长、宽、高)的最大加工尺寸就是基本尺寸,上偏差为零;而包容件的尺寸(孔径、槽宽)的最小加工尺寸就是基本尺寸,下偏差为零。毛坯的尺寸公差按双向对称偏差形式标注。

## 2. 影响加工余量的因素

影响加工余量的因素包括以下几种。

(1) 上道工序的表面粗糙度  $Ra$  和表面缺陷层  $D_a$ 。为了保证加工质量,本道工序必须将上道工序留下的表面粗糙度,以及由于切削加工而在表面留下的一层组织已遭破坏的塑性变形层全部切除,如图 1-21(a)所示。

(2) 工件各表面相互位置的空间误差  $\rho_a$ 。工件有些形状误差和位置误差不包括在尺寸公差的范围,但这些误差又必须在本道工序的加工中纠正,即在本道工序的工序加工余量中必须包括它。如图 1-21(b)所示的轴类零件,由于上道工序轴线有直线度误差  $\omega$ ,本道工序的工序加工余量必须相应增加  $2\omega$ 。

(3) 本道工序的装夹误差  $e_b$ 。装夹误差包括定位误差、夹紧变形误差、夹具本身误差等,使工件在加工时位置发生偏移,本道工序的工序加工余量应考虑这些误差影响。如图 1-21(c)所



示,用三爪自动定心卡盘夹持工件外圆加工孔时,若工件轴线偏移机床主轴旋转轴线一个 $e$ 值,造成内孔切削余量不均匀,为使上道工序的各项误差和缺陷在本道工序内切除,应将孔的工序加工余量增大 $2e$ 。

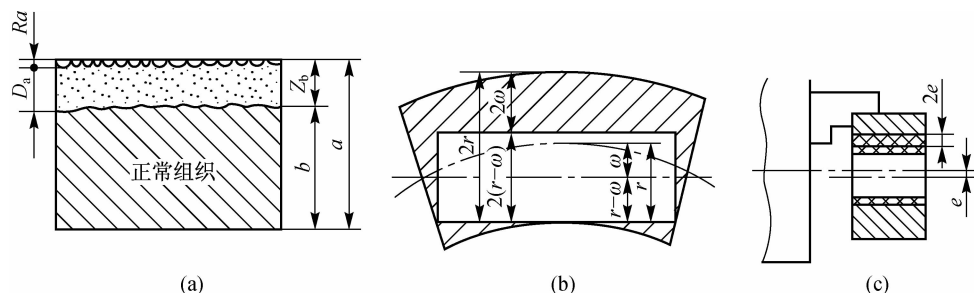


图 1-21 影响加工余量的因素

(4)上道工序的工序尺寸公差 $T_a$ 。由于有工序尺寸公差,上道工序的实际工序尺寸有可能出现最大极限尺寸或最小极限尺寸。为了使上道工序的实际工序尺寸在权限尺寸的情况下,本道工序应切除上道工序尺寸公差中包含的各种误差。

通过以上分析,可得到本道工序的工序加工余量的计算公式。

对于单边加工余量

$$Z_b \geq T_a + Ra + D_a + |\vec{\rho}_a + \vec{\epsilon}_b| \quad (1-4)$$

对于双边加工余量

$$Z_b \geq \frac{T_a}{2} + Ra + D_a + |\vec{\rho}_a + \vec{\epsilon}_b| \quad (1-5)$$

式中, $\rho_a$ 与 $\epsilon_b$ 是有方向的。它们的合成应为向量和,然后取绝对值。

### 3. 确定加工余量

加工余量的大小对零件的加工质量和生产率及经济性均有较大的影响。加工余量过大,将增加金属材料、动力、刀具和劳动量的消耗,使切削力增大而引起工件较大的变形;反之,加工余量过小,则不能保证零件的加工质量。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小加工余量。

#### 1) 分析计算法

分析计算法是依据一定的实验资料和计算公式,对影响加工余量的各项因素进行分析和综合计算来确定加工余量的方法。这种方法确定的加工余量比较合理,但需要积累比较全面的资料。

#### 2) 经验估计法

经验估计法是根据工艺人员的经验确定加工余量的方法,这种方法不够准确。为了防止加工余量不够而产生废品,所估计的加工余量一般偏大。此方法常用于单件、小批量生产。

#### 3) 查表修正法

查表修正法是通过查阅相关加工余量的手册来确定的,其应用比较广泛。在查表时应注意表中的数据是公称值。对称表面(如轴或孔)的加工余量是双边的,非对称表面的加工余量是单边的。

#### 4. 确定工序尺寸与工序尺寸公差

在零件的机械加工工艺过程中,各工序的工序尺寸及工序余量在不断地变化,其中一些工序尺寸在零件图上往往不标出或不存在,需要在制订工艺过程时予以确定。而这些不断变化的工序尺寸之间又存在着一定的联系,需要用工艺尺寸链原理去分析它们的内在联系,以掌握它们的变化规律,正确地计算出各工序的工序尺寸。

尺寸链是互相联系且按一定顺序排列的封闭尺寸组,而工艺尺寸链是在零件加工过程中的各有关工艺尺寸所形成的封闭尺寸组。工艺尺寸链的计算方法有两种:极值法和概率法。

生产上绝大部分加工面都是在基准重合的情况下进行加工的。因此,掌握基准重合情况下道工序尺寸与工序尺寸公差的确定过程非常重要,具体步骤如下。

(1)确定各加工工序余量。

(2)从终加工工序开始(即从设计尺寸开始)到第二道加工工序,依次加上每道加工工序余量,可分别得到各工序的基本尺寸(包括毛坯尺寸)。

(3)除终加工工序外,其他各加工工序按各自所采用加工方法的经济加工精度确定工序尺寸公差(终加工工序的公差按设计要求确定)。

(4)填写工序尺寸,并按“人体原则”标注工序尺寸公差。

**例 1-2** 某型芯的直径为 50 mm,其经济加工精度为 IT5,表面粗糙度为  $Ra\ 0.04\ \mu\text{m}$ ,现要求以高频淬火,且以毛坯为锻造件。其工艺路线为粗车—半精车—高频淬火—粗磨—精磨—研磨。试确定各工序的锻造毛坯的工序尺寸与锻造毛坯的工序尺寸公差。

**解** (1)通过查表法确定加工余量。由《机械加工工艺手册》查得:研磨余量为 0.01 mm,精磨余量为 0.1 mm,粗磨余量为 0.3 mm,半精车余量为 1.1 mm,粗车余量为 4.5 mm。从而得到总加工余量为 6.01 mm,圆整取总加工余量为 6 mm,相应地把粗车余量修正为 4.49 mm。

(2)计算各工序的基本尺寸。已知研磨后工序的基本尺寸为 50 mm(设计尺寸),则其他各工序的基本尺寸依次为

精磨:  $50\ \text{mm} + 0.01\ \text{mm} = 50.01\ \text{mm}$

粗磨:  $50.01\ \text{mm} + 0.1\ \text{mm} = 50.11\ \text{mm}$

半精车:  $50.11\ \text{mm} + 0.3\ \text{mm} = 50.41\ \text{mm}$

粗车:  $50.41\ \text{mm} + 1.1\ \text{mm} = 51.51\ \text{mm}$

毛坯:  $51.51\ \text{mm} + 4.49\ \text{mm} = 56\ \text{mm}$

(3)确定各工序的经济加工精度和表面粗糙度。由《机械加工工艺手册》查得:研磨后为 IT5、 $Ra\ 0.04\ \mu\text{m}$ (设计要求),精磨后为 IT6、 $Ra\ 0.16\ \mu\text{m}$ ,粗磨后为 IT8、 $Ra\ 1.25\ \mu\text{m}$ ,半精车后为 IT11、 $Ra\ 2.5\ \mu\text{m}$ ,粗车后为 IT13、 $Ra\ 16\ \mu\text{m}$ 。

(4)工序尺寸公差的确定与标注。根据上述经济加工精度查标准公差数值表,将查得的公差数值按“人体原则”标注工序尺寸公差。查《机械加工工艺手册》可得锻造毛坯的工序尺寸公差为  $\pm 2\ \text{mm}$ 。

### 七、设备与工艺装备的选择

在拟订工艺路线的过程中,对设备与工艺装备的选择也是很重要的。它对保证零件的

加工质量和提高生产率有着直接作用。

### 1. 机床的选择

在选择机床时,应注意以下几点。

(1)机床的加工范围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,做到机床合理使用。

(2)机床精度应与工序要求的加工精度相适应。对于高精度零件的加工,在缺乏精密设备时,可通过设备改造和利用夹具来加工。

(3)机床的生产率与加工零件的生产类型相适应。单件、小批量生产选择通用机床,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、精度状况、机床负荷的平衡状况,以及机床的分布排列情况等。

### 2. 夹具的选择

在单件、小批量生产中,应尽量选用通用夹具,如各种卡盘、台钳和回转台等。为提高生产率,应积极推广使用组合夹具。在大批量生产中,应采用高生产率的气、液传动的专用夹具。夹具的精度应与加工精度相适应。

### 3. 刀具的选择

刀具选择主要取决于工序所采用的加工方法、加工表面的尺寸、工件材料、所要求的精度和表面粗糙度、生产率及经济性等。在选择时一般应尽可能采用标准刀具,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。刀具的类型、规格及精度等级应符合加工要求。

### 4. 量具的选择

量具选择主要是根据生产类型和要求检验的精度来确定。在单件、小批量生产中,应采用通用量具和量仪,如游标卡尺与百分表等。在大批量生产中,应采用各种量规和一些高生产率的专用检具。量具的精度必须与加工精度相适应。

## 八、确定切削用量与时间定额

### 1. 确定切削用量

正确选择切削用量对保证加工质量、提高生产率等方面有重要意义。如在大批量生产中,特别是在流水线或自动线上必须合理地确定每一工序的切削用量。但在单件小批量生产的情况下,由于工件、毛坯状况、刀具、机床等因素变化较大,在工艺文件上一般不规定切削用量,而由操作者根据实际情况自行决定。

### 2. 确定时间定额

时间定额是指在一定的生产条件下,规定生产一件产品或完成一道工序所需消耗的时间,用符号  $t_t$  表示,单位为 h。

时间定额是安排生产计划、核算生产成本的重要依据,也是设计、扩建工厂或车间时计算设备和工人数量的依据。完成零件一道工序的时间定额称为单件时间。

### 1) 时间定额的组成

时间定额的组成包括以下几种。

(1) 基本时间  $t_m$ 。基本时间是直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材料性质等工艺过程所消耗的时间。对机械加工而言,它就是切除金属所耗费的时间(包括刀具切入、切出的时间)。时间定额中的基本时间可以根据切削用量和行程长度来计算。

(2) 辅助时间  $t_a$ 。辅助时间是为实现工艺过程所必须进行的各种辅助动作(如装卸工件、开停机床、选择和改变切削用量、测量工件等)所消耗的时间。

基本时间与辅助时间之和称为操作时间。它是直接用于制造产品或零部件所消耗的时间。

(3) 布置工作地时间  $t_s$ 。布置工作地时间是为使加工正常进行,工人照管工作地(如更换刀具、润滑机床、清理切削、收拾工具等)所消耗的时间。它以百分率  $\alpha$  表示,一般按操作时间的 2%~7% 计算。

(4) 休息与生理需要时间  $t_r$ 。休息与生理需要时间是工人在工作时间内为恢复体力和满足生理上的需要所消耗的时间。它以百分率  $\beta$  表示,一般按操作时间的 2%~4% 计算。

(5) 准备与终结时间  $t_c$ 。准备与终结时间是工人为了生产一批产品进行准备和结束工作(如熟悉工艺文件、领取毛坯、安置工装和归还工装、送交成品等)所消耗的时间。它对一批工件而言只消耗一次,如每批工件数(批量)记为  $n$ ,则分摊到每个工件上的准备与终结时间为  $t_c/n$ 。

单件或成批生产的单件时间定额的计算公式为

$$t_t = t_m + t_a + t_s + t_r + \frac{t_c}{n} \quad (1-6)$$

或

$$t_t = (t_m + t_a)(1 + \alpha + \beta) + \frac{t_c}{n} \quad (1-7)$$

在大批量生产中,由于工件数  $n$  的数值很大,即  $t_c/n \approx 0$ ,因而可忽略不计,则单件时间定额的计算公式为

$$t_t = (t_m + t_a)(1 + \alpha + \beta) \quad (1-8)$$

### 2) 确定时间定额的方法

科学合理的时间定额能调动工人的积极性,促进工人不断提高技术水平,从而达到提高产品质量和劳动生产率、降低生产成本的目的。常用的确定时间定额的方法如下。

(1) 由工时定额员、工艺人员和工人相结合,在总结过去经验的基础上,参考有关的资料估算确定。

(2) 以同类产品的时间定额为依据,进行对比分析后推算确定。

(3) 通过对实际操作时间的测定和分析确定。

需要注意的是,随着企业生产技术条件的改善和技术的发展,时间定额应定期进行修改,以保持其先进水平,使其起到不断促进生产发展的作用。模具生产属于单件、小批量生产,时间定额一般都用经验估计法来确定。

## 任务实施

图 1-1 所示导柱零件精度要求较高的地方分别为:左端外圆尺寸  $\phi 30_{\pm 0.028}^{+0.041}$  mm,该尺寸

与安装导柱的模板采用 H7/r6 的过盈配合,表面粗糙度为  $Ra\ 0.8\ \mu\text{m}$ ;右端外圆尺寸  $\phi 30_{-0.016}^0\ \text{mm}$ ,该尺寸与导套内孔采用 H7/h6 的间隙配合,表面粗糙度为  $Ra\ 0.2\ \mu\text{m}$ ,以左端尺寸  $\phi 30_{\pm 0.028}^{+0.041}\ \text{mm}$  为基准 A,右端尺寸  $\phi 30_{-0.016}^0\ \text{mm}$  需要与基准 A 保证同轴度误差  $0.005\ \text{mm}$ 。

根据导柱零件的结构特点与精度要求,导柱零件加工分别需要采用车削、外圆磨削、研磨等工艺。导柱零件的加工工艺过程卡见表 1-10。

表 1-10 导柱零件加工工艺过程卡

加工工艺过程卡		零件名称	导柱	材料	20 钢
		零件图号	DZ-01	数量	1
序号	工序名称	工序(工步)内容		工时	检验
1	备料	备 $\phi 40\ \text{mm} \times 150\ \text{mm}$ 的 20 钢圆棒料			
2	车	车端面,钻中心孔,车外圆至尺寸 $\phi 31\ \text{mm}$ ,车端面圆角			
		调头车端面,保证长度尺寸 $140\ \text{mm}$ ,钻中心孔,车外圆至尺寸 $\phi 31\ \text{mm}$ (接刀),车 $3^\circ$ 锥角、圆角,车退刀槽 $8\ \text{mm} \times 0.5\ \text{mm}$ 至图纸尺寸			
3	热处理	表面渗碳,渗碳层厚度达到 $1.2 \sim 2.0\ \text{mm}$ ,淬火至 $58 \sim 62\ \text{HRC}$			
4	钳工	研磨两端中心孔			
5	外圆磨	两顶尖装夹,磨 $\phi 30_{-0.016}^0\ \text{mm}$ 至尺寸,并留 $0.02\ \text{mm}$ 研磨余量;磨 $\phi 30_{\pm 0.028}^{+0.041}\ \text{mm}$ 至尺寸,并留 $0.02\ \text{mm}$ 研磨余量			
		修磨导柱两端的圆角、锥角			
6	研磨	研磨 $\phi 30_{-0.016}^0\ \text{mm}$ 至图纸尺寸,达到表面粗糙度 $Ra\ 0.2\ \mu\text{m}$			
		研磨 $\phi 30_{\pm 0.028}^{+0.041}\ \text{mm}$ 至图纸尺寸,达到表面粗糙度 $Ra\ 0.2\ \mu\text{m}$			



## 拓展训练

编制如图 1-22 所示导套零件的加工工艺过程卡,已知零件材料为 20 钢,淬火  $58 \sim 62\ \text{HRC}$ ,表面渗碳  $0.8 \sim 1.2\ \text{mm}$ 。

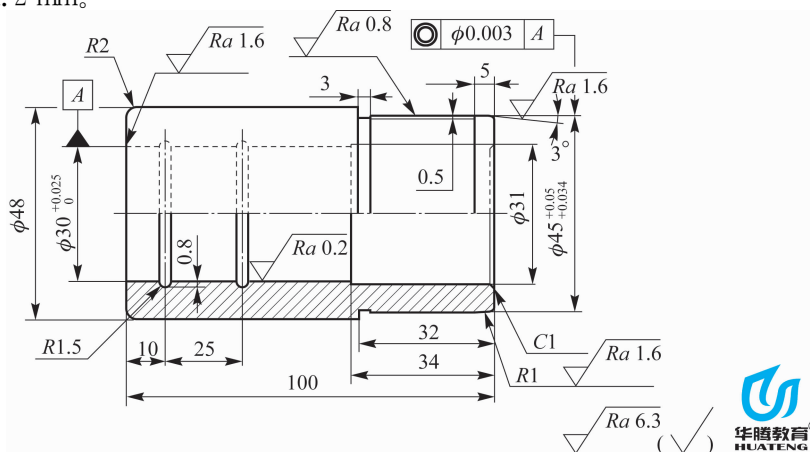


图 1-22 导套零件

## 任务二 模具零件的机械加工精度检测与分析

精度的概念与意识是模具设计人员必须建立的基本概念和意识。模具精度包括模具整体组合和零部件的位置与形状尺寸精度、配合精度、定位精度。例如,模具导向零件导柱、导套的尺寸及形位公差,冲模的冲裁间隙值及其均匀性,塑料注射模、压铸模的合模定位与导向精度等,均需由凸模和凹模的形状、位置精度、导向装置的位置与配合精度保证。因此,在模具设计时需进行严格的尺寸精度设计与计算。



### 任务描述

对如图 1-23 所示标准导柱进行精度检测。

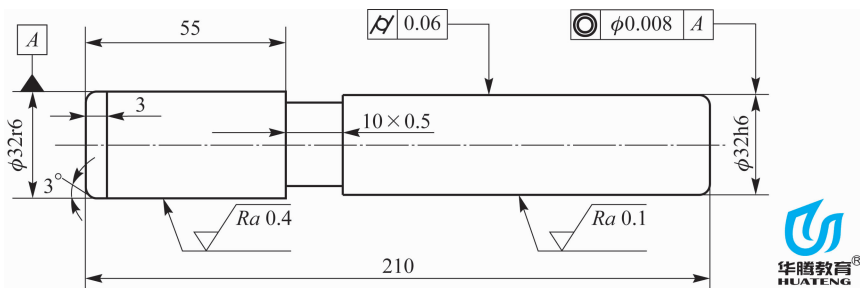


图 1-23 标准导柱



### 相关知识

#### 一、模具机械加工精度概述

模具的制造精度主要体现在模具零件的精度和相关部位的配合精度。模具零件的加工质量是保证模具所加工产品质量的基础。模具零件的机械加工质量包括模具零件的机械加工精度和加工表面质量两大方面。下面主要介绍模具零件的机械加工精度。

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数与理想几何参数的符合程度。其符合程度越高,加工精度就越高。在机械加工过程中,往往由于各种因素的影响,使得加工出的零件不可能与理想的要求完全一致。

模具零件的机械加工精度包含三方面的内容,即尺寸精度、形状精度和位置精度。这三者之间是有联系的。通常形状公差应限制在位置公差之内,而位置公差一般也应限制在尺寸公差之内。当尺寸精度要求高时,相应的形状精度、位置精度也应提高要求,但形状精度要求高时,相应的尺寸精度和位置精度有时不一定要求高,这要根据模具零件的功能要求来决定。

一般情况下,模具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,设计人员应根据模具零件的使用要求合理地规定其加工精度。

在机械加工中,模具零件的尺寸、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。工件和刀具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为原始误差。

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的制约。

## 二、影响模具机械加工精度的因素

### 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型运动或近似的刀刃轮廓进行加工而产生的误差。例如,在三坐标数控铣床上铣削复杂型面零件时,通常要用球头刀采用“行切法”加工。由于数控铣床一般只具有空间直线插补功能,因而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,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型运动是近似的。

又如滚齿用的齿轮滚刀,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轮廓误差;二是由于滚齿刀齿有限,实际上加工出的齿形是一条由微小折线段组成的曲线,和理论上的光滑渐开线有差异,从而产生加工原理误差。

采用近似的成型运动或近似的刀刃轮廓,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。

#### 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。由于调整不可能绝对准确,因而产生调整误差。

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

#### 3) 机床误差

引起机床误差的原因是机床的制造误差、安装误差和磨损。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机床导轨导向误差和机床主轴的回转误差。

#### 4) 夹具的制造误差与磨损

夹具的制造误差主要包括定位元件、刀具导向元件、分度机构、夹具体等的制造误差,夹具装配后各种元件工作面间的相对尺寸误差,以及夹具在使用过程中工作表面的磨损。

夹具的制造误差将直接影响工件加工表面的尺寸精度或位置精度。一般来说,夹具的制造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相应尺寸公差或位置公差的 $1/3\sim 1/2$ ,粗加工用夹具的尺寸公差一般可取工件相对尺寸公差或位置公差的 $1/10\sim 1/5$ 。

### 5) 刀具的制造误差与磨损

刀具的制造误差对加工精度的影响,根据刀具的种类、材料等不同而异。

(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)采用成型刀具(如成型车刀、成型铣刀、成形砂轮等)加工时,刀具的形状精度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轭曲线。因此,其刀刃的形状误差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),其制造精度与加工精度无直接影响,但这类刀具的耐用度较低,刀具容易磨损。

任何刀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(即误差敏感方向)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

切削加工时,工艺系统在切削力、夹紧力以及重力等作用下,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,以及切削成型运动所需要的正确几何关系发生变化,从而造成加工误差。

工艺系统的受力变形是加工中一项很重要的原始误差。事实上,它不仅严重地影响工件加工精度,而且还影响加工表面质量,限制加工生产率的提高。

工艺系统受力变形通常是弹性变形。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。工艺系统抵抗变形的能力用刚度来描述。所谓工艺系统刚度,是指工件加工表面切削力的法向分力与刀具相对工件在该力的方向上非进给位移的比值。

### 1) 工艺系统刚度对加工精度的影响

工艺系统刚度对加工精度的影响包括以下几点。

(1)切削力作用点的位置变化引起的形状误差。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)切削力大小的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,因而引起工件加工误差。

分析可知,当工件毛坯有形状误差或相互位置误差时,加工后仍然会有同类的加工误差出现。在成批量生产中用调整法加工一批工件时,如毛坯尺寸不一,那么加工后这批工件仍有尺寸不一的误差,这一现象称为误差复映。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)机床传动力和惯性力引起的加工误差。机床传动力和惯性力引起的加工误差,主要体现在以下几个方面。

①机床传动力引起的加工误差。机床传动力引起的加工误差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惯性力引起的加工误差。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,使工件几何轴线做摆动而引起加工误差。周期变化的惯性力还常引起工艺系统的强迫振动。因此,机械加工中若遇到这种情况,可采用对重平衡的方法来消除这种影响。

#### 2) 工艺系统受力变形对加工精度的影响

减小工艺系统受力变形是保证加工精度的有效途径之一。在生产实际中,常从三个方面采取措施来予以解决:一是提高工艺系统的刚度,二是减小载荷及其变化,三是减小工件残余应力引起的变形。

(1)提高工艺系统的刚度。要提高工艺系统的刚度应考虑以下几点。

- ①采用合理的结构设计。
- ②提高连接表面的接触刚度。
- ③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,就可以减小受力变形。

(3)减小工件残余应力引起的变形。残余应力也称内应力,是指在没有外力作用下或去除外力后工件内存留的应力。具有残余应力的工件处于一种不稳定的状态,工件将会不断地缓慢地翘曲变形,原有的加工精度会逐渐丧失。

残余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。促成这种变化的因素主要来自冷、热加工。

要减少残余应力,一般可采取下列措施。

①增加消除残余应力的热处理工序,如对铸件、锻件、焊接件进行退火或回火;零件淬火后进行回火;对精度要求较高的零件,如床身、丝杠、箱体、精密主轴等,在粗加工后进行时效处理。

②合理安排工艺过程,如粗、精加工不在同一工序中进行,使粗加工后有一定时间让残余应力重新分布,以减少对精加工的影响。

③改善零件结构,提高零件刚性,使零件壁厚均匀等,均可减少残余应力的产生。

### 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,一般也称为热变形。这种变形将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。另外,热变形还影响工艺系统的加工效率。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;降低切削用量,以减少切削热和摩擦热;粗加工后停机,待热量散发后再进行精加工;增加工序(使粗、精加工分开)等。

热总是由高温处向低温处传递的。热的传递方式有三种,即导热传热、对流传热和辐射传热。引起工艺系统热变形的热源可分为内部热源和外部热源两大类。内部热源主要是指切削热和摩擦热,它们产生于工艺系统内部,其热量主要以导热传热的方式传递。外部热源主要是指工艺系统外部的,以对流传热为主要方式的环境温度(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出热量。当机床、刀具和工件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。

工艺系统的热变形对加工精度的影响可分为以下几点。

(1)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,各部件的温度将逐渐升高。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。

(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,以及刀体小,热容量小,故仍会有很高的温升。

连续切削时,刀具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(10~20 min)便趋于热平衡状态。此后,热变形变化量将非常小。通常刀具总的热变形量可达0.03~0.05 mm。

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)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、刀具的热变形相对简单一些。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,而对工件和刀具来说,热源比较简单。因此,工件和刀具的热变形常可用解析法进行估算和分析。

### 三、提高模具机械加工精度的途径

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,要研究原始误差与加工误差之间的数据转换关系;最后,用各种测量手段测出加工误差,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加工误差的方法和措施,但从消除或减少加工误差的技术上看,可将它们分成加工误差预防技术和加工误差补偿技术两大类。

#### 1. 加工误差预防技术

加工误差预防技术是指减小原始误差或减少原始误差的影响,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,利用加工误差预防技术来提高加工精度所花费的成本将呈指数规律增长。

## 2. 加工误差补偿技术

加工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,使其与工艺系统原始误差相抵消,以减少或消除加工误差。从提高加工精度考虑,在现有工艺系统条件下,加工误差补偿技术是一种行之有效的方法,特别是借助计算机辅助技术,可达到很好的实际效果。

### 任务实施

#### 1. 测前准备

(1)阅读图纸。从图 1-23 可知,此零件为轴类零件,由圆柱面、倒角和退刀槽组成,对工作部分和固定部分有同轴度、工作部分的圆轴度有要求。

(2)分析工艺文件。导柱的加工工艺路线为下料—车端面钻中心孔—车外圆—检验—热处理—研中心孔—磨外圆—研磨—检验。

(3)合理选用量具,确定测量方法。当看清图纸和工艺文件后,下一步就是选取量具进行机械零件检测。测量导柱台阶轴直径时,应选用卡尺、千分尺、钢板尺等;测量导柱长度、倒角尺寸时,应选用卡尺、钢板尺、角度尺等。

#### 2. 检测

(1)合理选用测量基准。测量基准应尽量与设计基准、工艺基准重合。测量导柱同轴度、圆柱度时以中心孔为基准。

(2)表面测量。机械零件的破坏一般是从表层面开始的。产品的性能,尤其是它的可靠性和耐久性,在很大程度上取决于零件表面层的质量。研究机械加工表面质量的目的是为了掌握机械加工中各种工艺因素对加工表面质量影响的规律,以便运用这些规律来控制加工过程,最终达到改善表面质量、提高产品使用性能的目的。对机械零件检测完后,都要认真作记录,特别是半成品,对合格品、返修品、报废产品要分清,并做上标记,以免混淆不清。

(3)检测尺寸公差。测量时应尽量采用直接测量法,因为直接测量法比较简便,很直观,无须繁琐的计算,测量后,将测量结果填入表 1-11。

表 1-11 检测表

测量误差	测量结果	评 价
直径		
长度		
倒角		

(4)检测形位公差。形位公差包含形状公差和位置公差。测量形位公差时,应按国家标准或企业标准执行。

### 3. 测量误差分析

测量过程中,影响数据准确性的因素非常多。测量误差可以分为三类:随机误差、其他误差和系统误差。根据测量情况填写表 1-12。

表 1-12 测量误差分析法

误差种类	误差分析	评价
随机误差		
系统误差		
其他误差		

## 任务三 模具零件的机械加工表面质量分析

表面质量又称为表面完整性,它主要包含两个方面的内容,即表面的几何特征和表面层金属的物理力学性能。



### 任务描述

分析图 1-24 所示浇口套的表面质量。

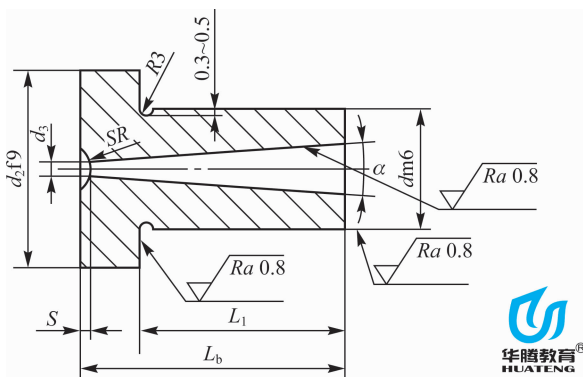


图 1-24 浇口套

### 相关知识

#### 一、模具零件加工表面质量对其使用性能的影响

##### 1. 模具零件加工表面质量对其耐磨性能的影响

模具零件的耐磨性能与摩擦副的材料、润滑条件和模具零件加工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,模具零件加工表面质量就起着决定性的作用。

当两个模具零件表面接触时,其表面凸峰顶部先接触,因此,其实际接触面积远远小于理论接触面积。模具零件加工表面越粗糙,实际接触面积越小,凸峰处单位面积压力越大,表面磨损越容易。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表面影响很大,但并不是表面粗糙度数值越小越耐磨。如图 1-25 所示,表面粗糙度  $Ra$  与初期磨损量  $\Delta_0$  之间存在一个最佳值。此值所对应的是模具零件最耐磨的表面粗糙度。在一定条件下,若模具零件加工表面粗糙度过大,则使得实际压强增大,凸峰间的挤裂、破碎和切断等作用加剧,磨损明显。在模具零件加工表面粗糙度过小的情况下,紧密接触的两个光滑表面间贮油能力差。一旦润滑条件恶化,两个光滑表面间的金属分子将产生较大亲合力,因黏合现象而使表面产生“咬焊”,导致磨损加剧。因此,模具零件摩擦表面粗糙度偏离最佳值太大(无论是过小,还是过大)是不利的。

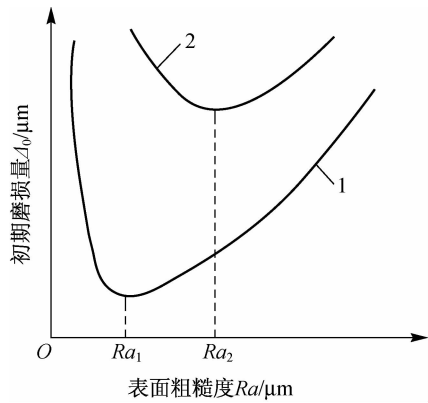


图 1-25 表面粗糙度与初期磨损量  
1—轻载荷; 2—重载荷

在不同的工作条件下,模具零件最耐磨的表面粗糙度是不同的。重载荷情况下模具零件最耐磨的表面粗糙度要比轻载荷情况下大。表面粗糙度的轮廓形状和表面加工纹理对模具零件的耐磨性也有影响,因为表面粗糙度的轮廓形状及表面加工纹理影响模具零件的实际接触面积与润滑情况。

表面层的加工硬化使模具零件的表面层硬度提高,从而使表面层处的弹性和塑性变形减小,磨损减少,使模具零件的耐磨性提高。但表面层硬化过度,会使模具零件的表面层金属变脆,磨损加剧,甚至出现剥落现象,所以模具零件的表面硬化层必须控制在一定范围内。

## 2. 模具零件加工表面质量对其疲劳强度的影响

模具零件在交变载荷的作用下,其加工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,造成模具零件的疲劳破坏。实验表明,减小表面粗糙度可使模具零件的疲劳强度有所提高。因此,对于一些重要模具零件加工表面,如连杆、曲轴等,应进行光整加工,以减小模具零件的表面粗糙度,提高其疲劳强度。

加工硬化对模具零件疲劳强度影响也很大。表面层的加工硬化可以在模具零件加工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,从而使模具零件疲劳强度提高。但模具零件加工表面层冷硬程度过大,反而易产生裂纹,故模具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模具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,提高模具零件的疲劳强度;当表面层为残余拉应力时,容易使模具零件加工表面产生裂纹而降低其疲劳强度。

### 3. 模具零件加工表面质量对其耐腐蚀性能的影响

模具零件的耐腐蚀性能在很大程度上取决于模具零件的表面粗糙度。模具零件加工表面越粗糙,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,减小模具零件加工表面粗糙度,可以提高模具零件的耐腐蚀性能。

表面层的残余应力对模具零件的耐腐蚀性能也有较大影响。模具零件表面层残余压应力使模具零件加工表面紧密,腐蚀性物质不易进入,可增强模具零件的耐腐蚀性;而模具零件表面层残余拉应力则会降低模具零件的耐腐蚀性。

### 4. 模具零件加工表面质量对其配合性质的影响

模具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,如果模具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,降低配合件间的连接强度,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。

总之,提高加工表面质量,对保证模具零件的使用性能、提高模具零件的寿命是很重要的。

## 二、影响模具零件加工表面质量的因素

### 1. 影响模具零件加工表面的几何特征的因素

模具零件加工表面的几何特征包括表面粗糙度、表面波度、表面加工纹理、伤痕等四个方面内容。其中,表面粗糙度是构成模具零件加工表面几何特征的基本单元。

#### 1) 切削加工后的表面粗糙度

国家标准《产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语 定义及表》GB/T 3505—2009 中规定,表面粗糙度优先采用轮廓算术平均偏差  $Ra$  的数值大小来表示。

切削加工后的表面粗糙度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  $r_c$ 、主偏角  $\kappa_r$ 、副偏角  $\kappa'_r$  及进给量  $f$  等。

切削加工后的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发生塑性变形的缘故。在实际切削时,选择低速宽刃精切和高速精切,可得到较小的表面粗糙度。

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也越大。为减小切削加工后的表面粗糙度,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。

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、黏附物或刻痕等。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

正像切削加工时表面粗糙度的形成过程一样,磨削加工后的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。

影响磨削加工后的表面粗糙度的因素有以下几点。

(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,磨削加工后的表面粗糙度越小。

(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,磨削比大,磨削区温度很高,工件表面层温度有时可达900℃,工件表面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,被磨工件表面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。影响磨削表面层金属塑性变形的因素,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. 影响表面层金属物理力学性能的因素

由于受到切削力和切削热的作用,表面层金属的物理力学性能会产生很大的变化,最主要的变化是表面层金属的冷作硬化、表面层金属的金相组织变化和表面层金属的残余应力。

### 1) 表面层金属的冷作硬化

(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,使晶粒间产生滑移,晶粒被拉长,这些都会使表面层金属的硬度增加,这种现象称为冷作硬化(或称为强化)。表面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,使金属的物理性质(如密度、导电性、导热性等)有所变化,且使金属处于高能位不稳定状态,在一定的条件下,金属的冷硬结构本能地向比较稳定的结构转化,这种现象称为弱化。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,机械加工后表面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包括表面层金属的显微硬度  $HM$ 、硬化层深度  $h$  和硬化程度  $N$ 。硬化程度表示已加工表面的表面层金属的显微硬度  $HM$  与金属材料基体的显微硬度  $HM_0$  之间的相对变化率,即

$$N = \frac{HM - HM_0}{HM_0} \times 100\% \quad (1-9)$$

(2)影响表面层金属冷作硬化的因素。金属切削加工时,影响表面层金属冷作硬化的因素可从以下四个方面来分析。

①切削力越大,塑性变形越大,冷作硬化程度越大,硬化层深度也越大。因此,增大进给量  $f$  和背吃刀量  $a_p$ ,减小刀具前角  $\gamma$ ,都会增大切削力,使表面层金属的冷作硬化程度增大。

②当变形速度很快(即切削速度很快)时,塑性变形可能跟不上速度的变化,这样塑性变

形将不充分,冷作硬化程度和硬化层深度都会减小。

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

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

(3)冷作硬化的测量方法。冷作硬化的测量主要是指对表面层金属的显微硬度  $HM$  和硬化层深度  $h$  的测量。

表面层金属的显微硬度  $HM$  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。当加工表面冷硬层很薄时,可在斜面上测量显微硬度。对于平面试件可按如图 1-26(a) 所示磨出斜面,然后逐点测量其显微硬度,并根据测量结果绘制出如图 1-26(b) 所示的图形。斜切角  $\alpha$  常取为  $30' \sim 2^{\circ}30'$ 。采用斜面测量法,不仅能测量显微硬度,还能较为准确地测出硬化层深度  $h$ 。由图 1-26(a) 可知  $h = l \sin \alpha + Rz$ 。

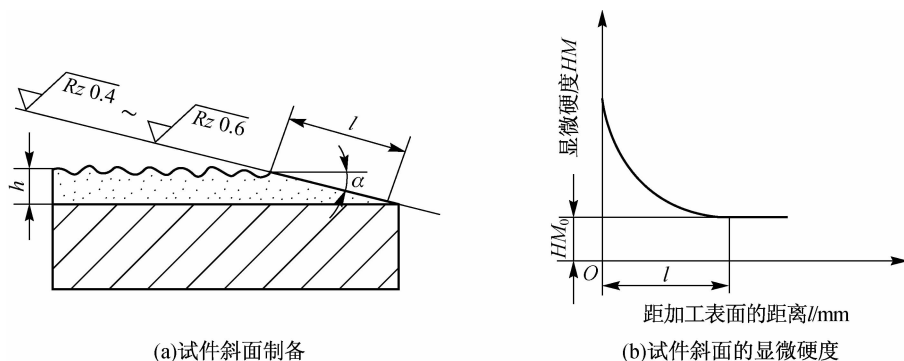


图 1-26 在斜面上测量显微硬度

## 2) 表面层金属的金相组织变化

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,不仅磨削比特别大,而且磨削速度也特别快,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%)将传给加工表面,使加工表面具有很高的温度。对于已淬火的钢件,很高的磨削温度会使表面层金属的金相组织产生变化,使表面层金属硬度下降,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,容易使加工表面产生金相组织变化的加工方法,在磨削加工中发生烧伤现象,会严重影响模具零件的使用性能。

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在一定程度上都对磨削烧伤有影响。因此,研究磨削烧伤问题可从切削时的温度入手,通常从以下三方面考虑。

(1)合理选择磨削用量。以平磨为例来分析磨削用量对磨削烧伤的影响。磨削深度对磨削温度影响极大,增大横向进给量对减轻磨削烧伤十分有利,但增大横向进给量会导致工件表面粗糙度增大,因此,可采用较宽的砂轮来弥补。增大工件的回转速度,可使磨削温度



升高,但工件的回转速度与磨削深度的影响相比小得多。从减轻磨削烧伤,同时尽可能保持较高的生产率考虑,在选择磨削用量时,应选择较快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)容易产生磨削烧伤现象,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,由于砂轮钝化后不易脱落,容易产生磨削烧伤,因而应选择较软的砂轮。选择具有一定弹性的结合剂(如橡胶结合剂、树脂结合剂),也有助于避免磨削烧伤现象的产生。此外,为了减少砂轮与工件之间的摩擦热,可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,防止工件磨削烧伤也有一定效果。

(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,能有效地防止磨削烧伤现象的产生。因为水的比热容和汽化热都很高,在室温条件下,1 mL 水变成 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的水蒸气至少能带走 $2\ 512\text{ J}$ 的热量,而在一般磨削用量下,磨削区热源每秒的发热量都在 $4\ 187\text{ J}$ 以下。据此推测,只要设法保证在每秒钟有 $2\text{ mL}$ 的冷却水进入磨削区,将有相当可观的热量被带走,就可以避免产生磨削烧伤。然而,目前常用的冷却方法的冷却效果很差,实际上没有多少磨削液能够真正进入磨削区。因此,须采取切实可行的措施,改善冷却条件,防止磨削烧伤现象产生。

内冷却是一种较为有效的冷却方法。如图 1-27 所示,经过严格过滤的冷却液通过中空主轴法兰套引入砂轮中心腔 3 内,由于离心力的作用,这些冷却液就会通过砂轮内部的孔隙向砂轮四周的边缘甩出,因此,冷却液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,操作工人劳动条件差,精磨加工时无法通过观察火花试磨对刀。

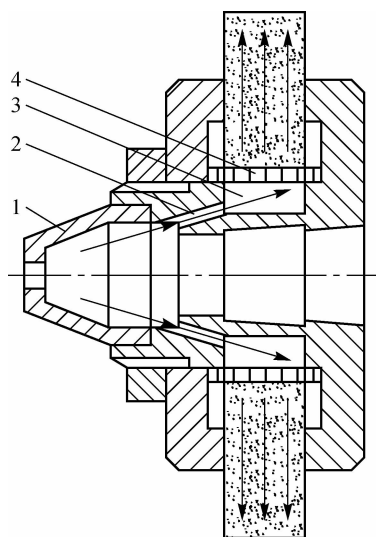


图 1-27 内冷却砂轮结构

1—锥形盖；2—切削液通孔；3—砂轮中心腔；4—有径向小孔的薄壁套

### 3) 表面层金属的残余应力

表面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,使表面层金属的体积增大。当刀具从加工表面上切除金属时,表面层金属的纤维被拉长,刀具后面与已加工表面的摩擦又增大了这种拉伸作用。刀具切削后,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金属的阻碍,就在表面层金属中产生压缩残余应力,在里层金属中产生拉伸残余应力。



## 任务实施

浇口套的表面质量是否合格包含以下几个方面。

### 1. 表面几何形状特征

#### 1) 表面粗糙度

图 1-24 中只有浇口套的下底面、内锥孔和  $L_1$  长度的轴面有粗糙度要求,所以我们对这三个面进行粗糙度的检测,这三个面在加工时采用车削后磨削的工艺,在检测时,采用样块比较法。零件要求表面粗糙度为  $Ra\ 0.8\ \mu\text{m}$ ,介于  $0.32\ \mu\text{m}$  到  $1.6\ \mu\text{m}$  之间,故采取放大镜对比法。注意尽量选用和浇口套材质相同的样块对比。

#### 2) 表面波度

使用扭簧表检测轴面和平面的波度。

#### 3) 表面加工纹理

用放大镜观察是否有因机加工造成的加工纹理。

#### 4) 伤痕

采用目测法和放大镜观察法观测浇口套表面是否有因加工和装夹造成的裂纹或划痕。

### 2. 表面层的物理和力学性能

#### 1) 表面层加工硬化(冷作硬化)

先粗加工毛坯,然后进行热处理(淬火+低温回火),在热处理结束后对浇口套上随机分布的 10 个点进行洛氏硬度检测,计算平均值后记录保存,精加工磨削至图纸要求尺寸精度后再对随机分布的 10 个点进行洛氏硬度检测,计算平均值,对比精加工前的平均值,根据数据相差的数值来具体判定是否有加工硬化的出现。

#### 2) 表面层金相组织改变

浇口套采用 T8A 材料,硬度要求达到洛氏硬度  $53\sim 57\ \text{HRC}$ ,需要进行热处理,采用淬火+中温回火的工序,热处理后理论应得到的组织为马氏体(片状)+细小碳化物颗粒。检测方法如下。

(1) 预磨。依次用 150#、320#、400#、600#、800#、1000# 砂纸进行打磨,每个型号的砂纸磨至表面的划痕方向基本相同时更换下一型号砂纸继续操作。

(2) 抛光。用 1:1 的氧化铝悬浮液进行待测工件表面抛光处理,直至肉眼观测无划痕。

(3) 清洗。用蒸馏水冲洗表面,然后用纯酒精喷去表面的蒸馏水,最后烘干。

(4) 腐蚀。用 4% 的硝酸溶液对待测工件表面进行腐蚀,直至表面颜色微黄,再用纯酒精喷洗,烘干。

(5) 观察。用  $500\times$  的金相显微镜观察待测表面,可观察到片状的回火马氏体及均匀分

布的细小碳化物颗粒。

(6) 评定。用钢的显微组织评定法(GB/T 13299—1991)或钢的显微组织检验法(GB/T 13298—1991)进行评定。

3) 表面层产生的残余应力

采用 X 射线应力测定方法(GB 7704—2008)对浇口套直角、直边和圆弧面连接处等容易在机加工和热处理出现残余应力的地方进行检测。

## 思考与练习

1. 什么是模具加工工艺流程? 模具加工工艺流程在生产中有何作用? 模具加工工艺流程的内容包括哪些?

2. 什么是工序、安装、工位、工步?

3. 什么是模具零件的结构工艺性?

4. 选择毛坯应该考虑哪些因素?

5. 何谓设计基准、工序基准、定位基准、测量基准、装配基准? 试举例说明。

6. 粗基准、精基准的选择原则有哪些?

7. 为什么要将工艺过程划分阶段进行? 什么情况下可以不必划分加工阶段?

8. 安排机械加工顺序时,应考虑哪些原则?

9. 如何确定加工余量?

10. 影响模具机械加工精度的因素有哪些? 如何提高模具机械加工精度?

11. 模具零件加工表面质量对其使用性能有什么影响?

12. 影响模具零件加工表面质量的因素有哪些?