



模具制造工艺学 习题与学习指导

Muju Zhizao Gongyixue
Xiti yu Xuexi Zhidao

◎主 编 何洪波 徐滨昕



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

模具制造工艺学习题 与学习指导

主 编 何洪波 徐滨昕
副主编 李海涛



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分为知识点加强训练以及自测题两个部分。知识点简明扼要,层次清晰,重点掌握部分辅以相关例题加深理解,更有大量练习帮助考生将所学知识灵活掌握,理论联系实际。

本书适用于广大机械模具类相关专业的学生。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模具制造工艺学习题与学习指导/何洪波,徐滨昕主编. —北京:北京理工大学出版社,2014.6

ISBN 978-7-5640-9364-8

I. ①模… II. ①何…②徐… III. ①模具-制造-生产工艺-高等学校-教学参考资料 IV. ①TG760.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第123450号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

·开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/11.75

字 数/238千字

版 次/2014年6月第1版第1次印刷

责任校对/陈玉梅

定 价/32.00元

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书总体分为两个层次：

1. 知识回顾+强化训练——将全部内容以简明扼要的方式有条理地进行归纳，并将知识分为“了解”、“识记”和“掌握”三个层次，其中★代表需要学生简单了解的内容，★★代表需要学生熟识记忆的内容，★★★则代表学生必须灵活掌握和实践应用的内容。待学生完全掌握各章节的学习内容后，配合强化训练巩固和加强对知识点的理解。

2. 自测题——编者通过多年研究而精心编制的模拟题作为学生进行自我验收的工具。

编者在编写过程中参阅了大量国内外同行的专著、教材、文献资料等，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和错误之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	(1)
【知识回顾】	(1)
【强化训练】	(5)
第二章 模具的机械加工	(7)
【知识回顾】	(7)
【强化训练】	(37)
第三章 模具的特种加工	(38)
【知识回顾】	(38)
【强化训练】	(80)
第四章 典型模具制造工艺	(83)
【知识回顾】	(83)
【强化训练】	(120)
自测题	(123)
附录1 强化训练答案	(144)
附录2 自测题答案及解析	(157)
参考文献	(180)

第一章

概 论

知识回顾

一、模具制造的基本要求与特点

★★1. 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等。为此，除了正确进行模具设计，采用合理的模具结构之外，还必须以先进的模具制造技术作为保证。制造模具时应满足如下几个基本要求：

(1) 制造精度高。为了生产合格的产品和发挥模具的效能，所设计、制造的模具必须具有较高的精度。

(2) 使用寿命长。模具是比较昂贵的工艺装备，除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下，一般都要求模具有较长的使用寿命。

(3) 制造周期短。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制造周期。

(4) 模具成本低。模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求及加工方法等有关。技术人员必须根据制品要求合理设计和制订其加工工艺。

综上所述，四个指标是相互关联、相互影响的。在设计与制造模具时，应在保证制品质量的前提下，选择与制品生产产量相适应的模具结构和制造方法，使模具成本降低到最低限度。

★★2. 模具制造的特点

因为模具制造难度较大，与一般机械制造相比，有许多特殊性。

(1) 制造质量要求高。模具制造不仅要求加工精度高，而且还要求加工表面质量要好。

一般来说,模具工作部分的制造公差应控制在 $\pm 0.01\text{ mm}$ 以内,有的甚至要求在微米级范围内;模具加工后的表面不仅不允许有任何缺陷,而且工作部分的表面粗糙度 Ra 都要求小于 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 。

(2) 形状复杂。模具的工作部分一般都是二维或三维的复杂曲面,而不是一般机械加工的简单几何体。

(3) 材料硬度高。模具实际上相当于一种机械加工工具,其硬度要求较高,一般都是用淬火工具钢或硬质合金等材料制成,若用传统的机械加工方法制造,往往十分困难。

(4) 单件生产。通常生产某一个制品只需要一两副模具,所以模具制造一般都是单件生产。每制造一副模具,都必须从设计开始,需要一个多月甚至几个月的时间才能完成,设计、制造周期都比较长。

二、模具制造的工艺路线

★★1. 模具制造的工艺路线的概念

制订机械加工工艺规程时,首先应拟定零件(或产品)交给哪个工艺路线。它是工艺设计的总体布局,其主要任务是选择零件表面的加工方法、确定加工顺序、划分工序。根据工艺路线,可以选择各工序的工艺基准、确定工序尺寸、设备、工装、切削用量和时间定额等。

模具制造的基本工艺路线如图1-1所示。

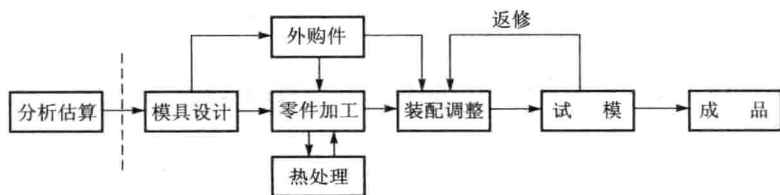


图1-1 模具制造的基本工艺路线

首先,根据制品零件图样或实物进行估算,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。

★★2. 模具制造的工艺路线的拟定

(1) 表面加工方法的选择。

选择零件表面加工方法应着重考虑以下几个问题。

① 被加工表面的精度和表面质量要求。一般采用加工方法的精度应保证达到零件图样所规定的精度和表面质量要求。

② 零件材料的性质及热处理要求。对于加工质量要求高的有色金属零件,一般采用精铣、精细铰或金刚镗进行加工,应避免用磨削加工,因为磨削有色金属易堵塞砂轮。经济

火后的钢质零件宜采用磨削加工和特种加工。

③ 生产率和经济性要求。在大批量生产时,应尽量采用高效率的先进加工方法和设备,以达到大幅度提高生产率的目的。但在批量不大的情况下,如果盲目采用高效率的先进加工方法和专用设备,会因投资增大、设备利用率不高,使产品成本增高。

(2) 工艺阶段的划分。

① 粗加工阶段:主要任务是切除加工表面上的大部分余量,使毛坯的形状和尺寸尽量接近成品。粗加工阶段的加工精度不高,切削用量、切削力都比较大,所以粗加工阶段主要应考虑如何提高劳动生产率。

② 半精加工阶段:为主要表面精加工做好必要的精度和余量准备,并完成一些次要表面的加工(如钻孔、攻螺纹、切槽等)。对于加工精度要求不高的表面或零件,经半精加工后即可达到其加工要求。

③ 精加工阶段:使精度要求高的表面达到规定的质量要求。要求的加工精度较高,各表面的加工余量和切削用量都比较小。

④ 光整加工阶段:主要任务是提高被加工表面的尺寸精度和减小表面粗糙度,并且纠正形状和位置的误差。

(3) 工序的划分。

在划分工序时可以采用工序集中或分散的原则。

工序集中的特点:

① 工件在一次装夹后,可以加工多个表面,能较好地保证表面之间的相互位置精度;可以减少装夹工件的次数和辅助时间;减少工件在机床之间的搬运次数,有利于缩短生产周期。

② 可以减少机床数量、操作工人,节省车间生产面积,简化生产计划和生产组织工作。

工序分散的特点:

① 机床设备及工作装夹比较简单,调整方便,生产工人易于掌握。

② 可以采用最合理的切削用量,减少机动时间。

③ 设备数量多,操作工人多,生产面积大。

单件小批生产多位工序集中,大批、大量生产则工具集中和分散二者兼有,需根据具体情况,通过技术经济分析来决定。

(4) 加工工序的安排。

① 切削加工工序的安排。安排加工工序应遵循的原则:

a. 当零件分阶段进行加工时一般应遵守“先粗后精”的加工工序,即先进行粗加工,再进行半精加工,最后进行精加工和光整加工。

b. 先加工基准表面,后加工其他表面。

c. 先加工主要表面后加工次要表面。

d. 先加工平面，后加工内孔。

② 热处理工序的安排。热处理工序在工艺路线中的安排主要取决于零件热处理的目的。

a. 为改善金属组织和加工性能的热处理工序，一般安排在粗加工前后；

b. 为提高零件硬度和耐磨性的热处理工序，一般安排在半精加工之后，精加工、光整加工之前；

c. 时效处理工序，时效处理的目的在于减小或消除工件内应力，一般在粗加工之后，精加工之前进行。对于高精度的零件，在加工过程中常进行多次时效处理。

③ 辅助工序安排。辅助工序主要包括检验、去毛刺、清洗、涂防锈油等，其中检验工序是主要的辅助工序。为了保证产品质量，及时去除废品，防止浪费工时并使责任分明，检验工序应安排在：

a. 零件粗加工或半精加工结束之后；

b. 重要工序加工前后；

c. 零件送外车间（如热处理）加工之前；

d. 零件全部加工结束之后；

e. 钳工去毛刺常安排在易产生毛刺的工序之后，检验及热处理工序之前。

★3. 将工艺过程划分成阶段的作用

(1) 保证产品质量。

(2) 合理使用设备。

(3) 便于热处理工序的安排。

(4) 便于发现毛坯缺陷和保护已加工表面。

三、模具的主要加工方法

★★1. 模具制造的主要加工方法

将金属材料加工成模具的方法，主要有机械加工、特种加工、塑性加工、铸造和焊接等。

★ (1) 机械加工。

机械加工（即传统的切削与磨削加工）是模具制造不可缺少的一种重要的加工方法。机械加工的特点是加工精度高、生产效率高。但加工复杂的形状时，加工速度慢，硬材料也难加工，材料利用率不高。

★★ (2) 特种加工。

特种加工是有别于传统机械加工方法的非传统加工方法，也称电加工。从广义上来说，特种加工是指那些不需要用比工件更硬的工具，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、声能、光能等来除去工件上的多余部分，以达到一定的形状、

尺寸和表面粗糙度要求的加工方法。包括电火花成形加工、电火花线切割加工、电解加工、电化学抛光、电解磨削、电铸、化学蚀刻、超声波加工、激光加工等。特种加工与工件的硬度无关,可以实现以柔克刚,并可加工各种形状复杂的零件。

★ (3) 塑性加工。

塑性加工主要指冷挤压制模法,即将淬火过的成形模强力压入未进行硬化处理的模坯中,使成形模的形状复印在被压的模坯上,制成所需要的模具。这种成形方法不需要型面精加工,制模速度快,可以制成各种型面复杂的模具。

★ (4) 铸造加工。

对于一些精度和使用寿命要求不高的模具,可以采用简单方便的铸造法快速成形。例如:锌基合金模具,用低熔点材料锌基合金铸造模具,也称快速制模法,其制模速度快,容易制成形状复杂的模具。但模具材质较软,耐热性差,所以模具寿命短,多用于试制和小批量生产的场合。

★ (5) 焊接加工。

焊接法制模是将加工好的模块焊接在一起,形成所需的模具。这种方法与整体加工相比,加工简单、尺寸大小不受限制,但精度难以保证,易残留热应变及内部应力,主要用于对精度要求不高的大型模具的制造。

★ (6) 数控加工。

数控加工是利用数控机床和数控技术完成模具零件的加工,根据零件图样及工艺要求等原始条件编制数控加工程序,输入数控系统,然后控制数控机床中刀具与工件的相对运动,以完成零件的加工。数控机床应用范围很广,在机械加工中有数控车加工、数控铣加工、数控钻加工、数控磨加工、加工中心加工;在塑性加工中有数控冲床加工、弯管机加工等;在特种成形中则有数控电火花加工、数控线切割加工、数控激光加工等。



强化训练

一、填空题

1. 在工业产品的生产中,应用模具的目的在于保证_____,提高_____和降低_____等。
2. 模具成本与模具结构的_____,_____,_____及_____等有关。
3. 当零件分阶段进行加工时一般应遵守_____的加工工序,即先进行_____,再进行_____,最后进行_____和_____。

二、问答题

1. 模具制造的特点有哪些?
2. 模具制造的基本工艺路线?

3. 特种加工的概念?
4. 特种加工方法包括哪几种?
5. 在工业产品的生产中,应用模具的目的是什么?

三、论述题

1. 模具的主要加工方法有哪些,每种加工方法的特点是什么?
2. 制造模具时,不论采用哪一种方法都应满足什么基本要求?

第二章

模具的机械加工

知识回顾

一、模具加工的一般机械加工方法

★★1. 一般机械加工的方法

一般机械加工的方法主要有：车削加工、铣削加工、刨削和插销加工、磨削加工等。

★2. 一般机械加工方法的加工工艺、加工对象和所能达到的经济加工精度

(1) 车削加工。

车削用于加工内外旋转表面、螺旋面、端面、钻孔、镗孔、铰孔及滚花等。工件大的加工通常经过粗车、半精车和精车等工序而达到要求。根据模具零件的精度要求，车削一般是外旋转表面加工的中间工序或最终工序。精车的尺寸精度可达 IT6 ~ IT8，表面粗糙度为 $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

(2) 铣削加工。

在模具零件的铣削加工中，应用最广的是立式铣床和万能工具铣床的立铣加工，主要加工对象是各种模具的型腔和型面，其加工精度可达 IT10，表面粗糙度为 $Ra1.6 \mu\text{m}$ 。若选用高速、小用量铣削，则工件精度可达 IT8，表面粗糙度为 $Ra0.8 \mu\text{m}$ 。铣削时，留 0.05 mm 的修光余量，经钳工修光即可得到所要求的型腔。当型腔或型面的精度要求高时，铣削加工仅作为中间工序，铣削后需用成形磨削或电火花加工等方法进行精加工。

(3) 刨削和插削加工。

① 刨削加工。刨削主要用于模具零件外形的加工。中小型零件广泛采用牛头刨床加工；而大型零件则需用龙门刨床。刨削加工的精度可达 IT10，表面粗糙度为 $Ra1.6 \mu\text{m}$ 。

② 插削加工。插床的结构与牛头刨床相似，不同之处在于插床的滑枕是沿垂直方向作

往复运动的。在模具制造中插床主要用于成形内孔的粗加工,有时也用于大工件的外形加工。插床加工时有冲击现象,宜采用较小的切削用量。因此,其生产率和加工表面粗糙度都不高,加工精度可达 IT10,表面粗糙度为 $Ra1.6\ \mu\text{m}$ 。

插床的加工方法主要有:根据划线形状,利用插床的纵横滑板和回转工作台插出工件的成形孔或外形,所加工的内孔一般都留有加工余量,供后续工序精加工用;用插床加工直壁外形及内孔;还可利用插床滑枕的倾斜,对带有斜度的内孔进行加工。

(4) 磨削加工。

为了达到模具的尺寸精度和表面粗糙度等要求,有许多模具零件必须经过磨削加工。例如:模具的型腔、型面,导柱的外圆,导套的内外圆表面以及模具零件之间的接触面等。在模具制造中,形状简单(如平面,内圆和外圆)的零件可使用一般磨削加工,而形状复杂的零件则需使用各种精密磨床进行成形磨削。一般磨削加工是在平面磨床、内圆磨床或外圆磨床上进行的,其磨削工艺如下:

① 平面磨削。用平面磨床加工模具零件时,要求分型面与模具的上下面平行,同时,还应保证分型面与有关的各平面之间的垂直度。加工时,工件通常装夹在电磁吸盘上,用砂轮的周面对工件进行磨削,两平面的平行度小于 $0.01:100$,加工精度可达 IT5 ~ IT6,表面粗糙度为 $Ra0.4 \sim 0.2\ \mu\text{m}$ 。

② 内圆磨削。在内圆磨床上磨孔的尺寸精度可达 IT6 ~ IT7 级,表面粗糙度为 $Ra0.8 \sim 0.2\ \mu\text{m}$ 。若采用高精度磨削工艺,尺寸精度可控制在 $0.005\ \text{mm}$ 之内,表面粗糙度为 $Ra0.1 \sim 0.025\ \mu\text{m}$ 。

③ 外圆磨削。外圆磨床主要用于各种零件的外圆加工,如圆形凸模、导柱和导套、顶杆等零件的外圆磨削。其加工方式是以高速旋转的砂轮对低速旋转的工件进行磨削,工件相对于砂轮作纵向往复运动。外圆磨削的尺寸精度可达 IT5 ~ IT6,表面粗糙度为 $Ra0.8 \sim 0.2\ \mu\text{m}$,若采用高光洁磨削工艺,表面粗糙度可达 $Ra0.025\ \mu\text{m}$ 。

★★★3. 一般机械加工在模具制造中的应用

在模具制造中车床主要用于加工凸模、凹模、导柱、导套、顶杆、型芯和模柄等零件。

(1) 在模具零件的铣削加工中,主要加工对象是各种模具的型腔和型面。

(2) 刨削主要用于模具零件外形的加工。

(3) 在模具制造中插床主要用于成形内孔的粗加工,有时也用于大工件的外形加工。

(4) 为了达到模具的尺寸精度和表面粗糙度等要求,有许多模具零件必须经过磨削加工。例如:模具的型腔、型面,导柱的外圆,导套的内外圆表面以及模具零件之间的接触面等。在模具制造中,形状简单(如平面,内圆和外圆)的零件可使用一般磨削加工,而形状复杂的零件则需使用各种精密磨床进行成形磨削。

外圆磨床主要用于各种零件的外圆加工,如圆形凸模、导柱和导套、顶杆等零件的外圆磨削。

二、模具的仿形加工

★★1. 仿形加工的概念

仿形加工以事先制成的靠模为依据,加工时触头对靠模表面施加一定的压力,并沿其表面移动,通过仿形机构,使刀具作同步仿形动作,从而在模具零件上加工出与靠模相同的型面。

★★2. 仿形加工的控制方式及工作原理

实现仿形加工的方法很多,根据触头传输信息的形式和机床进给传动控制方式的不同,可分为机械式、液压式、电控式、电液式和光电式等。

(1) 机械式仿形。

机械式仿形的触头与刀具之间刚性连接,或通过其他机构如缩放仪及杠杆等连接,以实现同步仿形加工。例如:图2-1为机械式仿形铣床的原理图,仿形触头5始终与靠模4的工作表面接触,并作相对运动,通过中间装置3把运动信息传递给铣刀1对工件2进行加工。平面轮廓仿形[图2-1(a)]时,需要两个方向的进给,其中 S_1 为主进给运动; S_2 随靠模的形状而不断改变,称为随动进给。立体仿形[图2-1(b)]时,需要三个方向的进给运动互相配合,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或手动与机动进给配合等多种方式实现仿形。

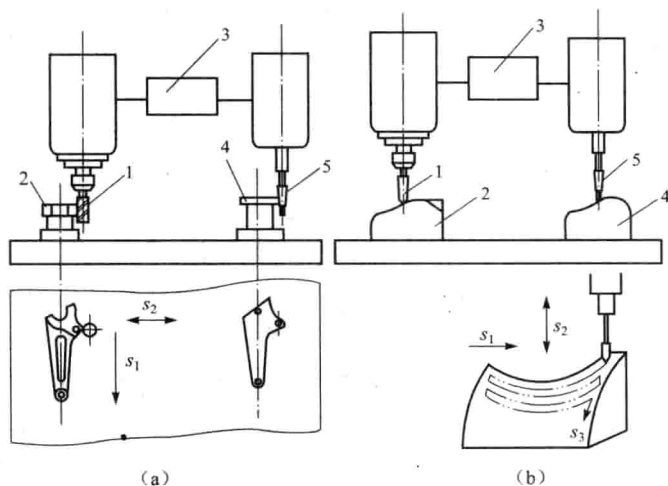


图 2-1 机械式仿形工作原理

(a) 平面轮廓仿形; (b) 立体仿形

采用机械式仿形机床加工时,由于靠模与仿形触头之间的压力较大(10~50 N),工作面容易磨损,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,

会引起一定的弹性变形,故其仿形加工精度较低(加工误差大于0.1 mm),不适宜加工精度要求高的模具。

(2) 液压式仿形。

液压式仿形是利用油液作为介质来传递信息和动力的。液压缸固定在铣床机架上,用活塞带动立铣头、铣刀和阀体一起上升或下降,而活塞的运动是由滑阀控制的。工件和靠模均固定在工作台上,仿形前,在弹簧的作用下将阀芯压向靠模。当工作台作纵向进给运动,使触头沿靠模表面上升时,阀芯上端的开隙方逐渐减小,压力油流过时,由于 δ 变小而产生节流作用,使油缸上腔油压降低,但下腔油压不变,因而使活塞带动刀具提升,产生仿形动作,同时,活塞带动阀体上升。但因滑阀的阀芯受到弹簧的压力作用并不上升。因此,阀芯上端的开隙逐渐增大,最后达到液压缸上下腔压力平衡为止,即 $p_1 A_1 = p_2 A_2$ ($A_2 > A_1$)。这就构成不断平衡而又不断上升的跟踪过程。若当靠模表面使触头下降时,仿形的情况与上述过程相反。

液压仿形具有结构简单、体积小而输出功率大和工作适应性强等优点。由于液压仿形装置没有传动间隙存在,故其仿形精度比机械仿形高,一般在0.02~0.1 mm。其仿形触头压力为6~10 N。

(3) 电控式仿形。

电控式仿形铣床是以电信号传递信息,利用伺服电动机带动铣刀作仿形运动的。例如:

XB4450 电气立体仿形铣床。该机床的工作台可沿机床床身作横向进给运动,工作台上装有支架,上下支架分别固定靠模和工件。主轴箱可沿横架上的水平导轨作纵向进给运动,亦可连同横架一起沿立柱上下作垂直进给运动。铣刀及靠模销均是安装在主轴箱上。利用三个方向进给运动的互相配合,便可加工工件的立体成形表面。

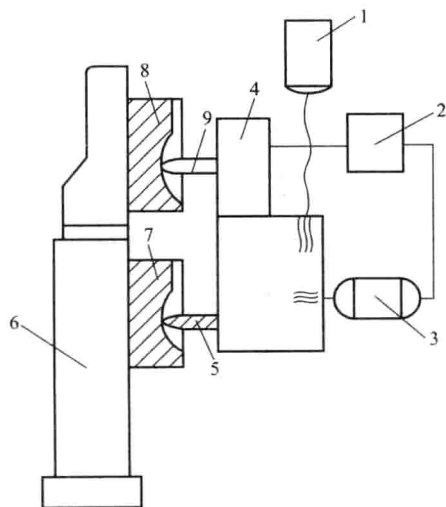


图 2-2 立体仿形铣床跟踪系统工作原理

- 1—始发运动电动机；2—放大器；3—随动运动电动机；4—随动机构；5—铣刀；6—支架；7—工件；8—靠模；9—仿形触头

图 2-2 是立体仿形铣床跟踪系统工作原理图。在加工过程中,仿形触头 9 沿着靠模 8 相对移动,而仿形触头始终是压向靠模表面与其保持接触的,这就会使触头产生轴向移动,从而发出信号。此信号经过传感器变成电信号,经随动系统放大后,用来控制随动运动电动机 3,由丝杠带动铣刀作与触头相应的运动。电控式仿形的铣刀与触头之间采用电伺服联动实现仿形加工,其结构紧凑,传递信号快。易于实现远距离控制,可用计算机与其构成多工序连续控制仿形加工系统。其仿形精度可达

0.01~0.03 mm, 仿形触头压力为1~6 N。

(4) 电液式仿形。

电液式仿形以电传感器传递信息, 利用液压作为动力进行仿形加工。仿形加工时, 电传感得到的电信号经电—液转换机构(电液伺服阀), 使液压执行机构(液压缸、液压马达)驱动工作作相应的伺服运动。为了得到较高的加工精度, 要求电液伺服阀的启动、换向、停止等动作灵敏、准确, 并具有较大的功率放大倍数。这种系统的仿形触头压力为1~6 N。

(5) 光电式仿形。

光电式仿形是利用光电传感器传递信息的。加工时, 不需要靠模, 只需图样, 由光电跟踪接受图样反射的光信号, 经光敏元件转换成电信号送往控制部分进行变换处理和放大后, 分别控制X、Y两方向的伺服电动机带动工作作仿形运动。由于图样平台、工作台、光电跟踪头和铣头都是刚性连接, 因此, 仿形铣削只能按图样与工件1:1进行, 而且对图样绘制精度要求较高。这种方法一般只用于平面轮廓仿形加工, 如冲裁模、凸轮、样板、靠模板等的加工。此外, 由于这种仿形铣削加工不如数控线切割加工方便, 因此其应用已逐渐减少。

★3. 仿形加工工艺及其特点

在仿形铣床上加工型腔的效率, 其粗加工效率为电火花加工的40~50倍, 尺寸精度可达0.05 mm, 表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 6.3 \mu m$ 。由于铣刀强度的限制, 不能加工出内清角和较深的窄槽等, 因此, 对于要求较高的模具来说, 仿形铣削一般只作为粗加工工序, 加工时留一定的余量, 供电火花加工作精加工用。仿形铣削之前, 必须先做好准备工作, 包括制作靠模、选择适当的仿形触头和铣刀等, 然后才着手进行仿形加工。

(1) 靠模。

靠模可分为平面靠模和立体靠模。平面靠模用于平面轮廓的仿形, 它指放大图、样板等。立体靠模用于三维复杂表面的仿形, 在模具型腔的加工中主要使用立体靠模。

靠模是仿形加工的依据。为了保证仿形加工精度, 除了要求靠模具有一定的尺寸精度外, 还应保证在使用中不产生变形和磨损。

平面轮廓仿形用的样板, 通常用0.5~1 mm厚的钢板或塑料板作为靠模材料, 由钳工按划线加工而成。对于精度要求高的样板, 可用电火花线切割机床或数控铣床加工。

立体靠模的制造工艺较为复杂。用于制作立体靠模的材料有如下几类:

① 非金属材料, 如木材、树脂混合石膏和合成树脂等。木材的材质要坚硬而且不易变形, 制成靠模后要涂漆或硬化树脂; 树脂混合石膏是在石膏中添加常温硬化性粉末树脂, 以增强耐压能力; 合成树脂有酚醛树脂、环氧树脂和聚脂树脂三种, 其密度轻、强度好、收缩性小、制作容易。合成树脂通常以玻璃纤维作增强材料, 用层压浇注法制作靠模。

② 黑色金属, 如钢、铸铁。主要用切削加工法制作靠模, 适合于大批量生产。

③ 有色金属, 如铜合金、铝合金、锌基合金和低熔点合金等。可用铸造法制作靠模。此外, 对于精密加工用的靠模, 常用电铸成形法或喷镀法, 即先用石膏、蜂蜡、木材、树脂

等材料制成原模型, 然后在原模型上电铸成形或喷镀 1~3 mm 厚的铜、锌、铝等制成靠模外壳, 再用石膏、水泥等材料填充于壳内, 以增加其强度。

(2) 仿形触头。

仿形铣削时, 为使触头沿靠模表面顺利地运动, 要求触头的头部与靠模表面形状相适应。触头的倾斜角 α 应小于靠模工作面上的最小斜角 β , 仿形触头头部半径应小于靠模工作面上的最小半径 r (图 2-3)。此外, 仿形触头的形状还应与铣刀形状相适应, 其直径差别见图 2-4。

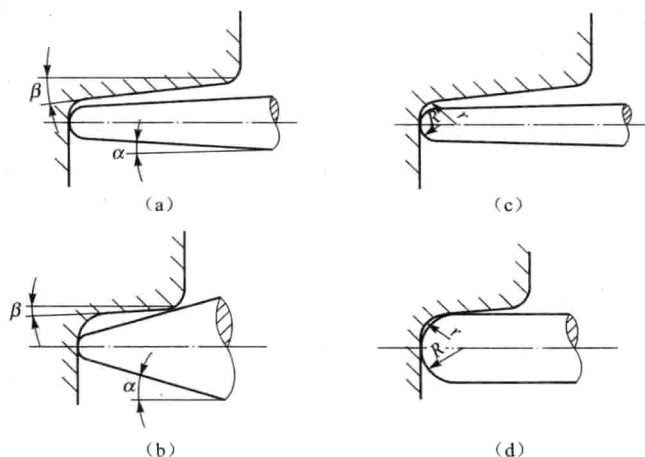


图 2-3 仿形触头选择示意图

(a) $\alpha < \beta$, 正确; (b) $\alpha > \beta$, 不正确;

(c) $R < r$, 正确; (d) $R > r$, 不正确

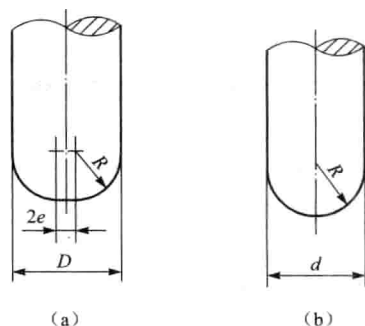


图 2-4 触头与铣刀的关系

(a) 触头 $R > Rc$; (b) 铣刀

仿形触头与铣刀理论上应具有相同的尺寸, 但实际加工中考虑到机构惯性的影响, 仿形触头尺寸应稍大于铣刀尺寸, 其直径 D 可按下式确定

$$D = d + 2(\alpha + e) \quad (2-1)$$

式中 d ——铣刀直径 (mm);

α ——型腔加工后需留的钳工修正量;

e ——由于触头偏移的修正量。

在仿形铣床上触头一般容易发生偏移, 偏移的大小取决于仿形触头构造、触头长度、仿形速度和模具型腔的形状等。 e 值的大小必须在机床上经过实测才能确定, 并在修正后才进行仿形加工。精仿时, 一般取 $e = 0.06 \sim 0.1$ mm。

常用的仿形触头有如下三种: 圆柱形触头, 以圆柱面为仿形基准面, 用于平面轮廓和型腔底部清根的仿形; 球头形触头, 以球头为仿形基准, 用于三维型腔的表面加工, 可保证在任何方向上触头与靠模曲面都成法向接触; 锥形球头触头, 以球头为仿形基准, 用于曲率半