

模具制造技术培训读本

模具制造基础

杨立平 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书与模具生产实际操作紧密结合,突出模具应用与制造相关的基础知识,着重介绍模具的制造工艺,制造过程中的工装夹具,相应的材料与热处理知识及公差与技术测量基本知识。书中简化难点,突出重点,使之成为学习模具知识的“支撑点”,为读者深入学习模具设计与制造、进一步提高技能奠定坚实的基础。在编写过程中着力追求新工艺、新技术、新产品、新材料及新动态,增强内容的先进性和指导性。

本书可供模具制造领域的工程技术人员和一线工人阅读,也可供职业院校模具专业的学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造基础/杨立平主编. —北京:化学工业出版社,2007.1
(模具制造技术培训读本)

ISBN 978-7-5025-9909-6

I. 模… II. 杨… III. 模具-制造-技术培训-教材 IV. TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 005607 号

责任编辑:张兴辉 刘丽宏
责任校对:吴 静

文字编辑:项 激
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张10½ 字数201千字 2007年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪,科学技术以迅猛的速度向前发展,从而推动了社会的进步和经济的繁荣。根据世界范围的社会科学经济发展趋势预计,在新的世纪,我国将成为全球最大的加工制造工厂或加工制造基地。模具工业是现代加工制造业一个重要的组成部分,对今后国民经济和社会的发展将起到越来越重要的作用。有人说:“模具是一切工业之母,其制造技术是工业生产的核心技术”。国际生产技术协会预测在 21 世纪,机械零部件中 60%的粗加工,80%的精加工要由模具来完成。采用模具生产零件具有效率高、质量好、节能降耗、生产成本低等一系列优点。

目前我国出现从事模具技术人员短缺,模具设计与制造技术人才已经成为“紧缺人才”。要解决这一问题,模具技能型人才的培训是关键。《模具制造技术培训读本》(简称《读本》)就是为满足模具领域工程技术人员和一线工人以及部分高职院校模具专业人员培训的需要,邀请具有丰富教学和培训经验的专家编写的。《读本》按照模具行业从业人员的职业特点,本着以综合素质为基础,以能力为本的原则,以企业需求为基本依据,以就业为导向,适应企业技术发展,从生产实践角度精选内容,系统介绍模具设计与制造的相关知识和技能,帮助读者学习掌握模具加工的核心技术,为模具行业培养复合型、复合型人才做贡献。《读本》共 7 册,包括《模具制造基础》、《模具识图与制图》、《塑料成型工艺与注塑模具》、《冲压工艺及模具》、《模具加工与装配》、《塑料模具设计与制造过程仿真》、《冲压模具设计与制造过程仿真》。

本书是《模具制造基础》分册,全书具有如下特点。

1. 与实际操作紧密结合,突出模具应用与制造相关的基础知识,着重介绍模具的制造工艺,制造过程中的工装夹具,相应的材料与热处理知识及公差与技术测量基本知识。

2. 力求反映模具制造领域的新工艺、新技术、新产品、新材料及新动态,努力使其成为一部内容先进、具有很强指导意义的书籍。

3. 简化难点,突出重点,使之成为学习模具知识的“支撑点”,为深入学习模具设计与制造、进一步提高技能奠定坚实的基础。

本书由北京二轻工业学校杨立平主编,陈超、张强、于辉、孟献军、张冬颖参编。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 模具制造技术概述	1
1.1 模具的种类与用途	1
1.2 模具的结构与功能	2
1.3 模具生产制造过程的特点与要求	7
第 2 章 模具材料	10
2.1 模具材料的性能要求	10
2.2 常用冷作模具钢的性能与牌号	13
2.3 常用热作模具钢的性能与牌号	16
2.4 塑料模具钢的性能与牌号	18
第 3 章 模具热处理	21
3.1 模具热处理基本常识	21
3.2 冷作模具钢的热处理工艺规范	24
3.3 热作模具钢的热处理工艺规范	31
3.4 塑料模具钢的热处理工艺规范	41
3.5 其它模具材料钢常用的热处理工艺	48
3.6 模具表面处理工艺	51
第 4 章 模具制造工艺	70
4.1 模具制造工艺规程	70
4.2 模具典型零件的加工	100
第 5 章 模具制造加工原理及工装夹具	115
5.1 模具制造加工原理	115
5.2 工装夹具	122
第 6 章 公差与精度测量技术	147
6.1 公差与表面粗糙度知识	147
6.2 测量与工具应用	151
参考文献	164

第 1 章 模具制造技术概述

现代生产技术对模具的要求越来越高，模具在国民经济中的地位不可取代。模具在各行各业所占的比重相当大，以零件总数所占的百分比看，机电产品零件占 70% 左右；汽车和拖拉机零件约占 65%；运载工具、钟表、家电、各种器皿和装饰则占 95% 以上。

1.1 模具的种类与用途

模具的分类方法很多，根据不同的要求和应用特点可有如下分类方法。

(1) 为便于模具的选材，通常情况是按工作条件进行分类。

① 冷作模具：包括冲模、冷镦模、冷挤压模、冷拉模、拉丝模、滚丝模及剪切模等。

② 热作模具：包括锻模、热挤压模、热冲裁模及压铸模等。

③ 成形模具：包括塑料模、橡胶模、陶瓷模、玻璃模及粉末冶金模等。

(2) 按模具结构形式分类：单工序模、复式冲模等。

(3) 按使用对象分类：汽车覆盖件模具、电机模具等。

(4) 按加工材料性质分类：金属制品用模具、非金属制品模具等。

(5) 按工艺性质分类：拉深模、粉末冶金模及锻模等。

模具的分类与用途见表 1-1。

表 1-1 模具的分类与用途

序号	模具类型	模具品种	成形加工性质与用途
1	冲压模具	冲裁模(无、少废料冲裁,整修深孔冲裁精冲模),弯曲模具,拉深模具,单工序模(冲裁、弯曲、拉深、成形等),复合冲模,级进冲模,汽车覆盖件冲模,组合冲模,电极硅钢片冲模等	板材冲压成形。用于生活日用品的制造,汽车、飞机、船舶等的生产制造
2	塑料成形模具	压塑模具,挤塑模具,注射模具(立式、卧式、角式注射模具),热固性塑料注射模具,挤出成形模具(管材、薄膜扁平机头等),发泡成形模具,低发泡注射成形用模具,吹塑成形模具等	塑料制品成形加工工艺(热固性和热塑性模塑料)用于生产电冰箱外壳和塑料配件、电灯开关和插头;家庭生活日用品的制造等
3	压铸模	热压室压铸机用压铸模,立式冷压室压铸机用压铸模,卧式冷压室压铸机用压铸模,全立式压铸机用压铸模,有色金属(锌、铝、铜合金)压铸模,黑色金属压铸模	有色金属与黑色金属压力铸造成形工艺
4	锻造成形模具	模锻锤和大型压力机用锻模,螺旋压力机用锻模,平锻机锻模,滚锻模等;各种紧固件冷镦模,挤压模具;拉丝模具;液态锻造用模具等	金属零件成形,采用锻压、挤压等体积成形工艺方法

续表

序号	模具类型	模具品种	成形加工性质与用途
5	铸造用金属模具	各种金属零件铸造时采用的金属模型	金属浇注成形工艺
6	粉末冶金模具	成形模:包括手动和机动模(实体单、双向压制和浮体浮动压模等) 整形模:包括手动和机动模(径向、带外台阶套类和带球面件整形模等;无台阶实体件、轴套通过式、带外台阶与带外球面轴套全整形自动模等)	粉末制品压坯的压制成形工艺。主要用于铜基、铁基粉末制品(机械零件、电器零件、电触头;磁性零件、工具材料制品、易热零件及核燃料材料)
7	玻璃制品用模具	吹-吹法成形瓶罐模具,压-吹法成形瓶罐模具,玻璃器皿用模具等	玻璃制品成形工艺
8	橡胶制品成形模具	橡胶制品的压胶模、挤胶模、注射模,橡胶轮胎模、O形密封圈橡胶模等	橡胶压制成形工艺
9	陶瓷模具	各种陶瓷器皿等制品用的成形金属模具	陶瓷制品成形工艺
10	经济模具(简易模具)	低熔点合金成形模具,薄板冲模,叠层冲模,硅橡胶模,环氧树脂模,陶瓷精铸模,叠层型腔塑料模,快速电铸成形模等	使用于多品种少批量工业产品用模具

1.2 模具的结构与功能

模具种类很多,其用途也各不相同,但就结构而言通常由相同的几部分组成,按照国家标准和相关术语,下面对结构和功能进行分析。

(1) 模具的基本结构 常用的模具主要是冷冲模和塑料模,冷冲模主要由支承

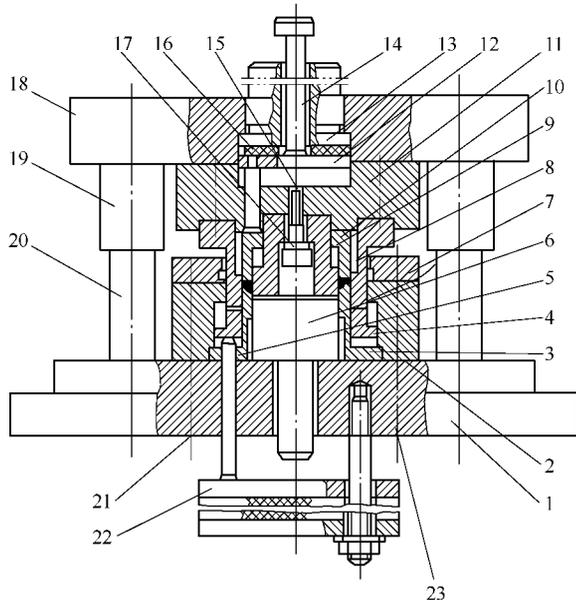


图 1-1 冷冲模

1—下模座; 2—凹模; 3,8,9—凸模; 4,6,10—顶件块; 5—托杆; 7—卸料板; 11—固定板;
12—推板; 13—模柄; 14—拉杆; 15—内六角螺钉; 16,17—垫圈; 18—上模座;
19—导套; 20—导柱; 21,23—圆柱销; 22—弹顶器

与固定、工作、导向、定位、卸料和压料等零件组成，其结构如图 1-1 所示。塑料模主要由推出、支承与固定、导向、定位与限位等零件组成，其结构如图 1-2 所示。

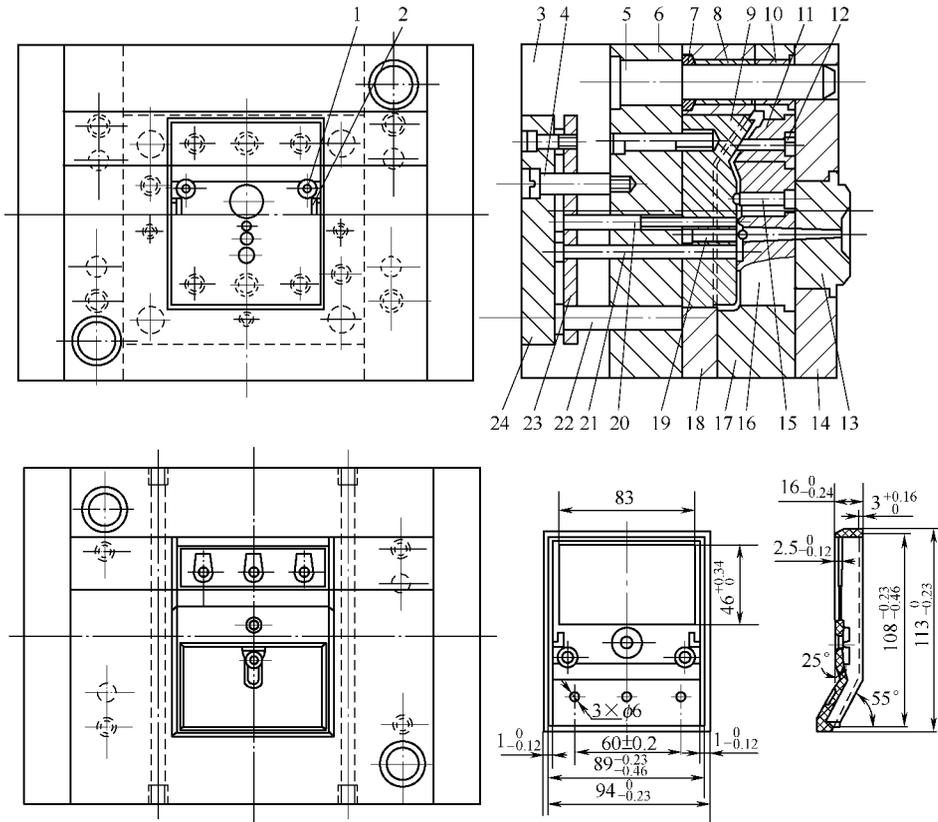


图 1-2 塑料模

1—嵌件螺杆；2—矩形推杆；3—模脚；4—限位螺钉；5—导柱；6—支承板；7—销套；8、10—导套；
9、12、15—型芯；11、16—镶块；13—浇口套；14—定模座板；17—定模；18—卸料板；19—拉杆；
20、21—顶杆；22—复位杆；23—顶杆固定板；24—顶板

(2) 模具各零件的功能 冷冲模中各种零件分类与功能见表 1-2，塑料模中各种零件分类与功能见表 1-3。

此外，塑料模的模架在国外均以标准化。它是设计和制造注射模的基础部件，基本型模架中的 A₁ 型模架（大型模架 A 型），适用于立式与卧式注射机上；A₂ 型模架（大型模架 B 型），适用于立式与卧式注射机上，用于直浇道，采用斜导柱侧面抽芯、单型腔成形，其分型面可在合模上，也可设置斜滑块垂直分型，脱模式机构的注射模；A₃、A₄ 型模架（大型模架派生型 P₁、P₂ 型），模架中 A₃ 型的定模采用两块模板，动模采用一块模板，它们之间设置一块推件板，

连接推出机构，用于推出塑件；A₄型模架的定模和动模均采用两块模板，在定、动模板之间，也设置一块推件板以推出塑件。两种模架均适用于立式与卧式注射机上，主要用于薄壁壳体形塑件，且要求脱模力大及塑件表面不允许留有顶出痕迹的塑件注射成形的模具。

表 1-2 冷冲模零件分类与功能

零件类型	零件名称	功能与用途
支承与固定零件	带柄圆形上模座	用无导向系统的单工序冲模，以支承和固定凸模等零件
	带柄矩形上模座	
	钢板模座	用于各种冲模的上、下模座，以支承固定凸模、凹模、导向零件的通用模座
	模座	适用铸铁浇注成的通用模座，功能和用途与钢板模座相同
	A型下模座	适用于中小型冲模，以支承和固定凹模、导向零件等的通用铸铁模座
	B型下模座	适用于中型冲模，为通用铸钢模座
	C型下模座	适用于大型冲模，为通用铸钢模座
	弯曲模下模座	适用于小型弯曲模，以支承和固定其凹模及辅助零件
	矩形凹模板	适用于中小型凹模坯料
	矩形模板	适用于中小型冲模及其它类模具通用模板
	矩形垫板	适用于中小型冲模凸模垫板
	圆形模板	适用于中小型冲模的凸模固定板、卸料板、空心垫板、凹模框等的圆形板件
	圆形垫板	适用于中小型冲模凸模圆形垫板
	单凸模固定板、单凸模垫板、A型偏装单凸模固定板、A型偏装单凸模垫板、B型偏装单凸模固定板、B型偏装单凸模垫板	均为互相配套使用来固定单凸模和单凸模头部垫板。适用于不同结构冲模，为安装凸模用的通用零件
	压入式模柄、旋入式模柄、凸缘模柄、槽形模柄、通用模柄、浮动模柄、推入式活动模柄	均为适用于冲模和机床安装、固定上模座用的通用零件，可根据模具的结构、性能及机床的情况选用
	圆形凹模	制作冲模凹模的零件
工作零件	A型圆凸模	适用于冲制 $\phi 1.1 \sim 30.2\text{mm}$ 的孔和落料
	B型圆凸模	适用于冲制 $\phi 3.0 \sim 30.2\text{mm}$ 的孔和落料
	快换圆凸模	适用于冲制 $\phi 5.0 \sim 29.0\text{mm}$ 的孔和落料
	圆凹模	均适用于冲制料厚小于或等于 2.0mm 、 $\phi 1.0 \sim 28.0\text{mm}$ 的孔和落料
	带肩圆凹模	

续表

零件类型	零件名称	功能与用途
导向零件	A 型小导柱	适用于小型冲模($\phi 10 \sim 20\text{mm}$)导向,其形式可根据模具结构选用
	B 型小导柱	
	可卸导柱	适用于导柱需拆卸以刃磨凹模的冲模,适用的尺寸范围: $\phi 16 \sim 60\text{mm}$
	压圈固定导柱	适用于大型冲模导向,适用的尺寸范围: $\phi 60 \sim 120\text{mm}$
	压圈固定导套	与压圈固定导柱配套使用
	压圈	与压圈固定导柱和压圈固定导套配套使用
定位零件	A 型导正销	用于保证冲压工步或工序正确位置的精确定位零件,可以和挡料销、导料板等零件配合使用,以保证工件上的孔与外形的相对位置尺寸,消除送料的步距误差(A、B 型用于 $\phi 10 \sim 12\text{mm}$ 以下的孔;C 型用于 $\phi 4 \sim 12\text{mm}$ 的孔;D 型用于 $\phi 10 \sim 12\text{mm}$ 的孔)
	B 型导正销	
	C 型导正销	
	D 型导正销	
	侧刃	用于在冲压过程中限定送料步距的通用功能零件。A、B、C 三种形式,可根据工位和工件精度、模具结构形式等正确选用
	A 型侧刃挡块	
	B 型侧刃挡块	
	C 型侧刃挡块	
	导料板	导料板的长度,应大于凹模长度,即使其伸出凹模以外 10mm 以上,其伸出部分的底部设承料板,对进入模具之前的条料或卷料起支承作用
	承料板	
	始用挡料	用于保证条(卷)料毛坯送进距离的定位零件或装置,可根据模具结构形式、工件尺寸、精度、形状及工艺要求等正确选用
	弹簧芯柱	
	弹簧侧压装置	其中:弹簧侧压装置适用于原料冲压送料($0.3 \sim 1.0\text{mm}$)。功能是将条料压向导料一侧,以消除条料和导料板间的间隙
	侧压簧片	
	弹簧弹顶挡料装置	弹簧弹顶挡料装置、扭簧弹顶挡料装置、橡胶弹顶挡料装置常用在弹压卸料板的复合模或落料模上,在冲压过程中随上模下行,压下挡料销,上模上行时,挡料销弹出
	扭簧弹顶挡料装置	
	橡胶弹顶挡料装置	
	回带式挡料装置	
	回带式挡料装置	回带式挡料装置适用于冲压料宽 $6 \sim 20\text{mm}$ 、厚度大于 0.8mm 的一般工件冲模;弹簧弹顶装置和固定挡料销一般装在凹模上,适用于带固定卸料板及弹压卸料板的冲模
	钢球弹顶装置	
弹簧弹顶装置	适用于冲模在冲压过程中,支承凸模、凹模或刃口受到的侧向力的键	
固定挡料销		
止退键	在冲压过程中,用于限制冲压行程和深度的通用零件	
限位柱		
支承圈		
铰链式支承装置		

零件类型	零件名称	功能与用途
卸料和压料零件	带肩推杆	适用于装在推出或顶出装在上模或下模上的凹模中的工件废料的通用卸料零件。顶板还具有在冲压过程中,以反作用力压料和保护凸模的功能
	带螺纹推杆	
	顶杆	
	顶板	
	圆柱头卸料螺钉	这些是组成卸料板的主要零件,起卸料作用;弹性卸料板兼有压料和卸料的功能,用于冲制 0.8mm 以下的薄料和要求冲制工件平整的冲模。可根据卸料结构、尺寸和工艺要求正确选用
	圆柱头内角卸料螺钉	
	卸料螺钉加长套	
	调节垫圈	
	聚氨酯弹性体	主要用于料厚、用卸料板卸废料困难时或冲制大型和筒形工件切边,可将废料用切刀分割几块而卸出模外
	圆废料切刀	
方废料切刀		

表 1-3 塑料模零件分类与功能

零件类型	零件名称	功能与用途
推出零件	推杆	直杆式推杆,可制成拉杆或直接用作回程杆,也可作为推管的芯杆使用
	推板	用于支承推出复位(杆)零件,传递机床推出力。也可用作推杆固定板和热固性塑料压胶模、挤胶模和金属压铸模中的推板
	垫块	用途取决于推(顶)件的距离,主要用于调节模具的高度
支承与固定零件	模板	主要用于塑料注射模具中的各种板类零件(不包括推板和垫块),可根据不同模具的结构选用
	支承柱	在支承板较薄的情况下,可增强支承板的功能。在支承板与动模固定板之间或注射的动模板之间,合理布置支承柱,以分担注射时支承板所承受的压力,改善其受力情况,增强模具刚性。也可减小支承板的厚度以减小其质量
导向零件	带头导柱	与导套配合使用,使模具在开模和闭模时有正确的走向。使定模和动模处于相对的正确位置,同时承受由于在塑料注射时,注射机运动误差所引起的侧压力,以保证塑件的精度
	有肩导柱	
	直导套	主要用于厚模板中,可缩短模板的镗孔深度,在浮动模板中使用较多
	带头导套	其作用与有肩导柱相同,定位肩可对安装在导套后面的模板进行定位

零件类型	零件名称	功能与用途
定位与限位零件	定位钉	用于支承推出机构,并用于调节推出距离
	圆锥定位件	用于动模与定模之间需要精确定位的场合。对同轴度要求高的塑件且型腔分别设在动模和定模上时,也需要其进行精密定位,同时具有增强模具刚度的效果

派生型模架中 $P_1 \sim P_4$ 型 (大型模架 P_3 、 P_4) 是由基本型 $A_1 \sim A_4$ 型对应派生而出的, 结构形式上的不同在于去掉了原来定模板上的固定螺钉, 使定模部分增加了一个分型面。多用于点进料形式的注射模, 其功能和用途与 $A_1 \sim A_4$ 型相同; P_5 型模架由两块模板组合而成, 适用于直接浇口简单、具有整体型腔结构的注射模; $P_6 \sim P_9$ 型模架中, P_6 与 P_7 、 P_8 与 P_9 是相互对应的结构, P_7 和 P_9 相对于 P_6 、 P_8 只去掉了定模座板上的固定螺钉。它们均适用于复杂结构的注射模。

1.3 模具生产制造过程的特点与要求

目前模具生产的特点是, 努力研究新模具制造的工艺和新模具的开发, 冷冲压模具出现了除一般成形方法以外的冷、热及温挤压成形, 液压成形, 强力旋压成形, 超塑性成形, 爆炸成形及精密冲裁和高速冲压等加工技术。

模具生产体现出多品种, 小批量; 生产周期短, 任务急; 涉及领域广, 尺寸差异大等特征。

型腔模采用自动开合模和自动顶出机构, 实现全自动生产的同时, 还可以保证制品能自动从模具上脱落。另外, 对一些特殊制品也开发出各种特殊结构的模具, 如: 注射模采用热流道结构, 气体辅助注射模中空吹塑模成形技术采用多层共挤挤出机头。

在材料上越来越多地使用专用材料, 使模具的寿命、质量及生产率大大提高, 成本明显降低。在普通冲压设备上, 一般每分钟可冲压几十个冲件, 如果在高速冲压设备上并配合先进的模具则可达到几百甚至上千个制件。

为缩短模具生产周期, 模具生产已经减少了钳工等的手工操作, 特别是复杂曲面型腔的手工加工, 采用了数控镗床、数控仿形铣床、精密磨床、加工中心及数控电火花和电火花线切割机床等来加工。对于多品种小批量生产使用的模具, 也广泛采用快速制模技术。

在生产管理上进行专门化和标准化生产，包括模板、导柱等通用零件的标准化、商品化。

模具的设计与管理采用 CAD/CAE/CAM 系统技术。采用 CAD 技术，模具设计可集中于方案构思和结构优化创造性工作；CAE 技术可以分析预测模具结构设计中相关参数的正确性；CAM 技术则使各种数控机床成为模具加工的主要设备，模具型腔的几何数据，可以直接转换为数控机床刀具的运动轨迹，形成 NC 代码，使型腔和型芯的加工精度和效率大大提高。

模具生产技术主要有以下三方面的要求。

其一，扩大标准化程度，组织批量生产，以改善单件生产状态。组成模具的零部件大部分属于一般性机械，可通用。成形工作零件，如凸、凹模及相配套的成形零件都已标准化，可组织专业化生产。

其二，各类零件有各自的精度要求，由于工作部分零件是根据产品零件的形状、尺寸精度等技术要求设计的，因此，其工作部分的零件精度必须高于制件1~2个以上精度等级，并且达到产品零件的形状和力学、物理性能及使用性能等技术要求。模具中的其它零部件也必须相应地提高设计和制造的技术要求。

其三，应采用高性能模具材料，为提高模具性能充分发挥高效率生产的特点。其工作部分零件须采用高性能合金钢制造，并相应地采用良好的强韧化及表面强化热处理工艺，以保证和充分发挥材料潜力，提高其使用寿命和性能。模具中的其它零部件，特别是在工作过程中有相对运动而产生摩擦的零件（导柱、导套、滑块及卸料板），均需提高制造与使用性能，可采用优质合金钢。

模具在生产过程中，装配是重要环节之一。装配质量直接影响制件的质量，装配必须按照基本程序进行。

模具装配的组织形式取决于生产批量，通常分为固定式和移动式两种形式。

固定式装配是指在固定的工作地点将零件装配成部件或模具，固定式装配又分为集中装配和分散装配两种形式。

移动式装配是指每一装配工序都按一定时间完成，装配后的部件或模具经传送工具输送到下一个工序。根据传送工具的运动情况，移动式装配又分为断续移动式 and 连续移动式两种形式。

目前常采用的装配方法有以下几种。

① 互换装配法：通过控制零件加工制造误差来保证装配精度。它可分为完全互换装配法和部分互换装配法。

② 修配装配法：装配时修去指定零件的预留修配量，使之达到装配精度的

要求。此方法广泛适用于单件小批量生产的模具装配，常用的修配方法有指定零件修配法和合并加工修配法。

③ 调整装配法：用改变模具中可调整零件相对位置或变化一组固定尺寸零件（垫片或垫圈），来达到装配精度要求。该种方法的实质与修配装配相同，常用的调整装配有可动调整法和固定调整法。

第 2 章 模具材料

2.1 模具材料的性能要求

模具材料品种很多，通常按模具钢种类进行分类，其中模具钢分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢、玻璃模具钢和压铸模具钢。其它模具材料包括：铸铁、有色金属及合金、硬质合金、钢结硬质合金及非金属材料。模具材料性能指标直接影响模具产品的质量、成本、使用寿命等，因此对模具材料的性能有较高的要求。

2.1.1 模具材料的主要性能指标

模具性能指标主要包括以下几项。

(1) 硬度和热硬性 对于任何材料都有一定的硬度，它是衡量材料软硬程度的性能指标。成形用模具材料应具有足够的硬度，以确保使用性能和使用寿命。通常情况下，冷作模具的硬度在 52~60HRC 范围内，热作模具的硬度一般在 40~52HRC 范围内。

硬度反映的是一种综合的力学性能，其值可以间接地反映零部件的强度、塑性、韧性、抗疲劳强度及耐磨性等力学性能指标。所以，图样标注的硬度就反映了模具材料的各种性能要求。

热硬性是指模具在受热或高温条件下，能够保持高硬度的能力。大多数热作模具和一些冷作模具应具有一定的热硬性，否则无法满足模具的工作要求。

模具用钢的化学成分、热处理工艺或表面热处理工艺，决定了其硬度和热硬性指标，因此，采用各种处理工艺可以改善材料本身的性能要求。

(2) 耐磨性 由于模具特有的工作性质，要求工作表面要有足够的耐磨性，从而避免模具工作面磨损。对于模具来讲，其耐磨性是衡量模具使用寿命的重要指标。

模具的磨损多种多样，形式复杂。常见的有磨粒磨损、黏着磨损、氧化磨损及疲劳磨损等。磨损形式与材料本身有关，如冷作模具材料的主要磨损形式是磨粒磨损和黏着磨损；热作模具的磨损形式主要是氧化磨损。

影响磨损性能的因素各不相同，一般情况下，其影响因素主要是硬度和内部

组织。冲击载荷较小时，耐磨性与硬度成正比关系；当冲击载荷较大时，在临界点以下，表面硬度越高耐磨性越好，当超过临界点时，则硬度越高耐磨性反而降低。

从钢内部组织本身分析，铁素体的耐磨性最差，马氏体的耐磨性较好，下贝氏体的耐磨性最好。另外，对耐磨性有明显影响因素的还有碳化物的性质、数量和分布状态等。

(3) 强度 材料的强度是指抗变形、抗断裂、抗疲劳的能力。

抗疲劳能力是指在承受交变载荷状态下，材料的抵抗疲劳破坏的能力。根据不同的应用场合，又分为疲劳强度和小能量多冲抗力。对于热作模具多数是在急冷急热条件下工作，必然发生不同程度的冷热疲劳。因此，还应把抗冷热疲劳强度作为热作模具的一项重要指标。

抗变形能力是评价冷作模具材料和热作模具材料的，评价冷作模具材料抗变形能力的条件是在常温下测试它的屈服点 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ ；评价热作模具材料抗变形能力的指标是，高温屈服点。当模具的工作应力超过模具材料的相应屈服点时，模具就会产生过量塑性变形而失效。

反映冷作模具材料的抗断裂性能的指标是室温下的抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 和抗弯强度 σ_{bb} 等。反映热作模具材料的抗疲劳性能的指标除了抗拉强度等外，还包括断裂韧度（即反映裂纹扩展的抗力指标），因为大多数热作模具的断裂属于表面热疲劳裂纹扩展所造成的断裂。

影响强度的主要因素有：材料的化学成分、冶金质量、晶粒大小、组织类型，碳化物的形状、数量、大小及分布。

(4) 韧性 韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗产生裂纹的一种特性，反映了模具的抗脆断能力。该指标一般用冲击韧度 α_K 进行评价。冷作模具材料因多在高硬度状态下使用，在此状态下 α_K 值很小，很难相互比较，因而常根据静弯曲挠度的大小来比较其韧性的高低。工作时承受巨大冲击载荷的模具，须把冲击韧度作为一项重要的性能指标。影响韧性的因素同强度的影响因素一样。

2.1.2 模具材料的要求

模具使用寿命和材料的性能有关，模具失效（模具工作部分发生严重磨损或损坏而不能用一般修复方法使其重新工作的现象）形式主要有：断裂、过量变形、表面损伤和冷热疲劳。冷热疲劳主要出现于热作模具，其它三种失效形式在冷、热作模具上均可能出现。

根据模具材料性能指标和失效形式，工程上对模具用材有如下的基本要求。

(1) 具有足够的强度和耐磨性 模具在工作过程中，始终承受着制件与模具内表面的摩擦。为提高使用寿命，用于制作模具的材料必须具有极强的耐磨性；

不论是塑料模还是冷冲模，工作过程中都受到冲击，特别是冷冲模，因此用于制造模具的材料应具有很高的强度。

(2) 具有良好的加工工艺性 制造模具所选材料，应能适应各种加工工艺性能的要求。

① 锻造工艺的影响。锻造在很大程度上影响模具的质量和使用寿命，通过合理的锻造工艺，在得到所需形状的模具毛坯的同时，还可以改善材料组织与性能，如可焊合气孔、疏松、微裂等，提高了材料的致密度；改变原材料中的流线方向，使模具中的流线分布合理；消除碳化物的偏析，使大块碳化物破碎并均匀分布。

但如果锻造工艺不合理或操作不当，不但不会有上述效果，还会出现锻造裂纹、过热和过烧缺陷，使锻件成为废品。过热的锻件需经正火或退火处理，但如果退火不充分，仍保留粗大晶粒，模具在使用过程中易出现早期断裂。另外，如果模具中流线分布不合理也会降低抗断裂能力。

② 机械加工的影响。在切削加工过程中，一定要保证模具工作表面粗糙度值的要求，模具工作表面留有加工刀具的痕迹，就可能形成疲劳裂纹源。

模具在淬火、回火后一般都要进行磨削加工，该工序属于精加工，其目的是获得较低的粗糙度值。

③ 电加工的影响。模具制造常用的电加工方法是电火花线切割、电火花成形加工等，主要用于孔和型腔等的加工。加工时火花放电处的瞬时高温可达10000℃以上，高温使金属快速熔化，同时又快速凝固使表面形成高硬度的白亮层，即电烧层。熔化层的厚度应控制在10μm以下，以减少不利影响，高硬层还可提高表面的耐磨性。

(3) 合理选择模具材料 选择模具用材料应综合考虑，不能一味追求某一项指标，不仅要考虑制件的性质、尺寸和精度要求，模具类别、结构和型腔的复杂程度，还要考虑模具的生产批量，质量、寿命要求和被选用材料的性能特点，表2-1是依据批量选材的实例。从表中可看出，同是冲裁软钢薄板，但由于生产批量不同，冲裁模的选材有很大差异，体现出了合理选材的要求。

表 2-1 薄钢板冲裁模具材料选用要求

制件材料	生产批量/件						
	<100	<1000	<1000	<10万	<50万	<100万	>100万
软态低碳钢板 (厚度<1mm)	—	冲头:50 钢 凹模:锌合金	T10A	T10A 9Mn2V	MnCrWV	Cr12MoV	硬质合金 YG15、YG20、GT35
普通级低碳钢板 (厚度<1mm)	锌合金	普通铸铁	普通铸铁	合金铸铁	—	Cr12MoV Cr6WV	—

(4) 合理确定模具工作硬度 模具的工作硬度是模具制造中技术要求最重要

的指标，其原因是硬度与材料的其它力学性能指标密切相关。通常情况下，模具的早期失效大多数是由于硬度过高而断裂，少数是由于硬度过低而变形或磨损。因此，在一定条件下存在着模具工作硬度的最佳值。

(5) 模具材料的冶金质量要求 模具钢的冶金质量对模具的失效形式和使用寿命有很大影响。其内部非金属夹杂物自身的强度和塑性很低，极易形成裂纹源，从而引起模具早期断裂。若钢中碳化物数量过多，且形状、尺寸及分布不理想，则严重降低钢的韧性和抗断裂能力，致使模具产生崩块、折断、劈裂等。中心疏松与白点，会降低钢材抗压强度，易发生模具工作面凹陷和淬火开裂。

根据上述分析可知，在选择材料时要严格按照材料的技术条件和标准进行，以减少钢中的夹杂物。

(6) 热处理要求 在模具结构、材料和使用条件不变的情况下，保证热处理的质量，采用最佳的热处理工艺和表面强化处理技术是充分发挥模具材料潜力、提高模具使用寿命的关键。如果热处理工艺不合理或操作不当而引起热处理缺陷，则会严重损害模具的使用性能，并导致模具的早期失效。因此，模具材料的热处理必须规范，应严格按照工艺要求执行操作。

2.2 常用冷作模具钢的性能与牌号

在模具制造中，目前应用最多的冷作模具材料是冷作模具钢和硬质合金。制造模具的材料特性、热处理方法或工艺等是模具制造的重要环节。根据制造和使用要求合理地选择冷作模具材料则更重要。

2.2.1 冷作模具钢的性能要求

冷作模具主要包括：冲裁模、冷镦模、冷挤压模、拉拔模及成形模。各种模具的性能要求有所不同。

(1) 冲裁模具钢性能的要求 冲裁模是用于各种板料的冲切成形，其功能可分为落料模、冲孔模和切边模等。冲裁模的工作部位是刃口，工作时刃口部位受到弯曲和剪切力的作用，同时也承受着冲击力的作用。由于上述原因，致使板料与刃口部位产生强烈的摩擦。

冲裁模的正常失效形式主要是磨损，经过一段时间的使用，刃口会逐渐变得圆钝。当磨损到一定程度，冲裁件则产生毛刺而影响制件质量。为保证产品质量，生产中常用磨削的方法恢复刃口的锋利度。经过数次磨削，模具凸模变短，凹模变薄最终而无法使用。

基于上述分析，冲裁模具用钢的主要性能要求应满足高硬度和高耐磨性；应具有足够的抗压和抗弯强度，同时应具有适当的韧性。由于被冲板料的厚度不

同，其性能要求也有所差异。以冲制板厚小于或等于 1.5mm 为主的薄板冲裁模，其性能要求是高耐磨和高精度；对于以冲制板厚大于 1.5mm 为主的厚板冲裁模，其性能要求除需要高耐磨性外，还必须具有良好的强韧性。

模具的性能要求还和模具本身的功能有关，不同的功能有不同的性能要求，表 2-2 列出了不同功能下，冲裁模的硬度要求。

表 2-2 冲裁模中凸、凹模的硬度 (HRC) 要求

名称	单式、复式硅钢片冲模	级进式硅钢片冲模	薄钢板冲模	厚钢板冲模	修边模	剪刀	直径小于 5mm 的小冲头
凸模	58~62	56~60	58~60	56~58	50~55	52~56	54~58
凹模	58~62	57~61	58~60	56~58	50~55	—	—

(2) 冷镦模具钢性能的要求 冷镦模具主要用于制造紧固件、滚动轴承、滚子链条及汽车零件等，其工作过程是使金属棒料在模具型腔内冷变形成形。冷镦模具的工作条件较差，工作过程中的冲击力很大，凸模承受的最大压应力可达 2500MPa，冲击频率高。凹模的型腔表面和凸模的工作表面在工作过程中，还承受着剧烈的冲击性摩擦，这种摩擦可产生 300℃左右的高温。

冷镦模的主要失效形式是：凸、凹模工作表面的磨损擦伤，凸模折断，凹模开裂，凸模镦粗而凹模模口胀大和棱角堆塌等。

鉴于冷镦模的工作条件恶劣，首先要求其要有足够的硬度，通常情况下，凸模的硬度为 60~62HRC，凹模为 58~60HRC。其次应有很高的抗压强度和很好的韧性。特别是冷镦凹模，需要有良好强韧性配合，因此整个截面不能渗透，硬化层深度应控制在 1.5~4mm。若硬化层深度过深，容易出现碎裂和崩块；过浅则模腔易磨损、拉毛及粘模，导致制件的精度下降。

(3) 冷拔模具与成形模具钢性能的要求 拉深模、胀形模、弯曲模和拔管模都属于此类模具，该类模具的作用是使板材或棒材延伸并压制成所要求的形状。

工作时受载较轻，但模具表面受到的摩擦较为强烈。其中凹模主要受到径向张力的作用，凸模主要受到轴向压缩力和摩擦力的作用。

成形模具的主要失效形式是磨损，而拉拔模除了严重磨损外，还会产生胶合现象，产生该现象的原因是在温度和压力作用下，模腔局部表面可与坯料发生焊合，使小块坯料附在模腔表面形成坚硬的小瘤，它们将使制品表面产生划痕和擦伤。

拉拔模的性能要求主要是具有较高的耐磨性，凸模硬度一般要求是 58~62HRC，凹模硬度要求是 62~64HRC，并且还要求具有良好的抗咬合性。成形模具的耐磨性要求比较低，通常凸模硬度为 54~58HRC，凹模硬度为 56~60HRC，但要求韧性较高。

2.2.2 冷作模具钢的牌号

冷作模具钢的类型可按化学成分、性能及应用进行分类，常用冷作模具钢的牌号与应用见表 2-3。

表 2-3 冷作模具钢的牌号与应用

牌 号	应 用
T7A T8A T12A T10A 8MnSi Cr2 9Cr2 Cr06 GCr15 CrW5	低淬透性冷作模具钢 适宜制造尺寸小,形状简单,受载轻且批量小的冷作模具。T7A 适合制作易脆断的小型模具或承受冲击载荷较大的模具;T10A 适合制作高耐磨小冲击的模具;T8A 适合制作小型拉拔、拉深、挤压模具;T12A 适合制作高硬度、高耐磨性、韧性要求不高的切边模具;GCr15 的综合性能优于上述碳素工具钢,它适用于精度要求较高小尺寸落料模具、冷挤压模具、搓丝板和成形模具等
CrWMn 9Mn2V 9CrWMn 9Mn2 MnCrWV SiMnMo	低变形冷作模具钢 CrWMn 主要用于制造要求变形小、形状复杂的轻载冲裁(板的厚度小于或等于 2mm)、轻载拉深、弯曲、翻边模具等;9Mn2V 广泛用于冲件厚度小于 4mm 的冲裁模具及尺寸较小的弯曲模具、落料模具等
Cr12 Cr12MoV Cr12Mo1V1 Cr5Mo1V Cr4W2MoV Cr12Mn2SiWMoV Cr6WV Cr6W3Mo2.5V2.5	高耐磨微变形冷作模具钢 Cr12 应用最广,但由于脆性大、易断裂,因此适合于制造冲击负荷小、耐磨性要求高的冲切薄硬钢板的冲裁模具;Cr12MoV 和 Cr12Mo1V1 的脆断倾向小,综合性能优于 Cr12,因此广泛用于制造大截面、形状复杂的重载冷作模具,如切边模具、落料模具、滚边模具、拉丝模具等。Cr12Mo1V1 钢模具的寿命比 Cr12MoV 钢的模具寿命更长。Cr12Mo1V1 钢的冲裁模具、滚丝模具的寿命是 Cr12MoV 钢的 5~6 倍
W18Cr4V W6Mo5Cr4V2 W12Mo3Cr4V3N	高强度高耐磨冷作模具钢 这种钢主要用于制造重负荷冲头,诸如冷挤压黑色金属的凸模,冷镦冲头,中厚钢板冲孔冲头(直径范围:10~25mm);直径小于 5~6mm 的小凸模,以及用于冲裁奥氏体钢、弹簧钢、高强度钢板的中、小型凸模和粉末冶压模等。W6Mo5Cr4V2 钢的综合性能优于 W18Cr4V 钢,因此,应用更广泛,制作重载冲头的使用效果更好
6W6Mo5Cr4V(6W6) 65Cr4W3Mo2VNb (65Nb) 7Cr7Mo2V2Si(LD) 7CrSiMnMoV(CH-1) 6CrNiSiMnMoV(GD) 8Cr2MnWMoVS	高强韧性冷作模具钢 6W6Mo5Cr4V(6W6)钢主要用于取代高速钢或 Cr12 型钢,制作易于脆断或开裂的冷挤压凸模具或冷镦模具,寿命可提高 2~10 倍。用于大规格的圆钢下料剪刀,可提高寿命数十倍;65Cr4W3Mo2VNb(65Nb)钢适用于制作形状复杂的有色金属挤压模具、冷冲模具、冷剪模具及挤压力小于 2500MPa 的黑色金属挤压模具,也可用于轴承、标准件行业冷镦模具等,且可获得很高的使用寿命;7Cr7Mo2V2Si(LD)钢与其它类钢相比有更好的综合性能,因此适合于制造冷挤压、冷墩、冲压和弯曲等冷作模具,如轴承滚子冷墩、标准件冷镦凸模等,其寿命比高铬钢和高速钢提高几倍到几十倍;6CrNiSiMnMoV(GD)钢可以替代 CrWMn、Cr12、GCr15、9Mn2V、6CrW2Si、9SiCr 等钢制作各种类型的易崩刃、易断裂的冷作模具,如:冷挤、冷弯、冷镦模,精密塑料模具,温挤压模具等。尤其适用于制作各种异形、细长薄片冷冲凸模、形状复杂的大型薄壁凸凹模、中厚板冲裁修剪刀片模具等;7CrSiMnMoV(CH-1)钢具有良好的综合力学性能,一般可取代 T10A、9Mn2V、Cr12MoV 等钢制作各种类型冷作模具,如:薄板冲孔模、整形模、切边模、弯曲模、拉深模、冷镦模等不易开裂、崩刃的模具

牌 号	应 用
9Cr6W3Mo2V2(GM) Cr8MoWV3Si(ER5)	<p>高韧性、高耐磨冷作模具钢</p> <p>9Cr6W3Mo2V2(GM)钢在高速冲床多工位级进模、滚丝模、切边模、拉深模等方面应用效果较好,其寿命比 65Nb 和 Cr12MoV 钢高 2~6 倍以上,在标准件、电器仪表和电机行业都广泛应用;Cr8MoWV3Si(ER5)钢在锻造、热处理、机加工、电加工等方面无特殊要求,材料成本适中,韧性好、耐磨性好,因此适宜制作大型、重载冷镦模、精密冲模等。也可制作大尺寸轴承滚子冷镦模,其寿命超过日本产品寿命</p>
9Cr18 Cr18MoV Cr14Mo Cr14Mo4 1Cr18Ni9Ti 5Cr21Mn9Ni4W 7Mn15Cr2Al3V2WMo	<p>特殊用途冷作模具</p> <p>9Cr18 钢主要用于制造耐蚀塑料模具;7Mn15Cr2Al3V2WMo 属无磁模具钢,主要用于制造磁性材料的成形及无磁轴承和其它在强磁场中不产生磁感应的结构零件的成形。可用来制造在 700~800℃ 下工作的热作模具</p>

注: 括号内为该钢的代号。

除表 2-3 所列的牌号以外,还有抗冲击冷作模具钢,具体牌号为: 4CrW2Si、5CrW2Si、6CrW2Si、9CrSi、60Si2Mn、5CrMnMo、5CrNiMo、5SiMnMoV 等。另外硬质合金也是常用的模具材料,它包括金属陶瓷硬质合金,其牌号有 YG8、YG15、YG20、YG25 等,这种钢材主要用于制作多工位级进模、大直径拉深凹模的镶块;钢结硬质合金,其牌号有 GT35、TLMW50、DT 等,用该种合金制作模具时,一般都采用组合连接的方法。粉末冶金件不可能压制得很大,且为节省材料,一般情况下,在模具工作部位镶装或用其它办法连接 DT 合金,其余部位采用一般钢材。常用的连接方法有镶套、焊接、粘接和机械连接等。

DT 合金的性能优越,越来越多地用来制作冷镦模具、冷挤压模具、拉深模具等,使用效果良好。

2.3 常用热作模具钢的性能与牌号

热作模具主要用于热变形加工和压力铸造的模具,热作模具可分为热锻模、热挤压模、压铸模和热冲裁模具等。热作模具在工作中既有力的作用又有温度的作用,使得模具的工作条件差,失效形式复杂,性能要求高。

2.3.1 热作模具钢的性能要求

热作模具主要包括锤锻模具、热挤压模具、压铸模具、热冲切模具。

(1) 锤锻模具 热锻模具分为锤锻模具、压力机锻模具、热墩模具和高速锻模具等，最具代表性的是锤锻模具。

锤锻模具工作时受到很大的压力和冲击载荷的作用，而且冲击频率很高，模具型腔表面受到高温金属的不断加热，可使模具升温到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，局部温度达到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。因此，锻完一个零件毛坯之后，必须用水或油冷却模具，从而对模具产生急冷急热的作用。另外，坯料对模具型腔还会产生强烈摩擦。

对锤锻模具的性能要求是，具有较高强度和良好的韧性；具有良好的耐磨性和耐冷热疲劳性；由于模具尺寸比较大，应具有很高的淬透性。

(2) 热挤压模具 热挤压模具的工作条件较差，同时承受压缩力和弯曲力，脱模时还承受一定的拉应力；还受到冲击载荷的作用；模具与高热金属接触时间较长，使其受热温度比锤锻模具温度更高，尤其是挤压钢件和难熔金属时，工作温度高达 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ 。

由于热挤压模具的尺寸一般比锤锻模具尺寸小，所以热挤压模具的性能要求是，要有较高的热稳定性；有良好的抗冷热疲劳强度；有较高的耐高温强度和足够的韧性。

(3) 压铸模具 压铸模具工作时与高温的液态金属接触，受热时间长且受热温度比热锻模具高，同时承受着 $20\sim 120\text{MPa}$ 的压力。整个工作过程受到反复加热和冷却的作用及金属液流的高速冲刷。因此，压铸模具的失效形式有：热疲劳开裂、热磨损和热熔蚀。

根据上述分析，得出对压铸模具的性能要求：有较高的耐热性和良好的高温力学性能；具有优良的耐冷热疲劳性和较高的热导率；具有良好的抗氧化性和耐腐蚀性；具有较高的淬透性。

(4) 热冲切模具 热冲切模具由切边凹模和凸模组成，在切边时凸模无刃口，只起传力作用，由凹模切除飞边、连皮。

由于是切边凹模完成剪切过程，因而凹模刃口与毛坯相摩擦，同时受到一定的冲击载荷。另外，刃口还受到高热而升温。所以失效形式是刃口磨损、崩刃、卷边等。

热冲切模具的主要性能要求是：具有较高的耐磨性，较高的硬度和热硬性；为避免崩刃，应具有一定的韧性；应具有良好的工艺性。

2.3.2 热作模具钢的牌号

热作模具钢按照工作温度、性能和用途进行分类，其牌号与应用见表 2-4。

表 2-4 热作模具钢的牌号与应用

牌 号	类 别 与 应 用
5CrMnMo 5CrNiMo 4CrMnSiMoV 5Cr2NiMoVSi 5SiMnMoV	按用途分类称锤锻模具用钢;按性能分类称高韧性热作模具钢;按工作温度分类称低耐热模具钢 5CrNiMo 钢具有良好的综合力学性能和淬透性。适合于制造形状复杂、冲击负荷较大,要求强度高和韧性好的中、大型锤锻模具;5CrMnMo 钢与 5CrNiMo 钢比较,其硬度和强度基本相同,但在相同硬度时,冲击韧度低于 5CrNiMo 钢。其次淬透性、耐热疲劳性也较差,因此该钢适合于制造受力较小的中、小型锤锻模具;4CrMnSiMoV 钢可用于制造小型锤锻模具,也可用于制造大、中型锤锻模具;5Cr2NiMoVSi 钢主要用于制造各类压力机模具和 3t 以上的锤锻模具;而 45Cr2NiMoVSi 钢适合于制造各类锤锻模具,特别是 10t 以下的大截面锤锻模具
4Cr5MoSiV 4Cr5MoSiV1 4Cr5W2SiV	按用途分类称热锻模具、热挤压模具钢;按性能分类称高热强热作模具钢;按工作温度分类称中耐热模具钢 本类型钢通用性强,广泛被用于铝型材挤压模具,汽车、拖拉机、五金工具等行业的机锻模具、辊锻模具,轴承行业的挤压模具及碾压辊压铸模具等
3Cr2W8V 3Cr3Mo3W2V 4Cr3Mo3SiV 5Cr4W5Mo2V 5Cr4Mo3SiMnVAI	按用途分类称热锻模具、热挤压模具钢;按性能分类称高热强热作模具钢;按工作温度分类称高耐热模具钢 3Cr2W8V 钢在压铸模具中应用较多;3Cr3Mo3W2V 钢适合于制造高温、高负荷、急热急冷水冷条件下工作的压力机和轴承环热锻凹模,高强度和高热强钢零件的精锻模具,热挤压模具,铝和铜合金的压铸模具等
4Cr5MoSiV1 4Cr5W2VSi	按用途分类称压铸模具钢;按性能分类称高热强热作模具钢;按工作温度分类称中耐热模具钢 适合于制造在高温下长时间受热、不受急冷急热、动负荷较小的压铸模具
8Cr3 7Cr3	按用途分类称为热冲裁模具钢;按性能分类称为高耐磨热作模具钢;按工作温度分类称为低耐热模具钢 所有的热作模具钢均能用于制作热冲裁模具

2.4 塑料模具钢的性能与牌号

2.4.1 塑料模具钢的性能要求

塑料模具主要分为两类,热固性塑料压缩模具的工作温度一般为 160~250℃,工作时模腔承受的压力为 160~200MPa,有些可达到 600MPa 左右,工作中型腔易磨损,并承受一定的冲击负荷和腐蚀作用;热塑性塑料注射模具的工作温度在 150℃以下,所承受的工作压力和磨损比压缩模具要小。

塑料模具的主要失效形式是磨损、腐蚀、变形及断裂。因此对塑料模具用钢

的性能有如下要求。

(1) 具有较高的耐热性能 塑料件高速成形温度在 $200\sim 350^{\circ}\text{C}$ 之间, 如果塑料流动性不好, 成形速度又快, 会使模具部分成形表面温度在极短时间内超过 400°C 。为保证模具在使用时的尺寸稳定性, 模具材料应具有较高的耐热性能、热导率和较低的线胀系数。

(2) 具有足够的强度和硬度 塑料注射成形压力很大, 需要模具材料有较高的强度和硬度, 以保证模具正常工作而不产生变形。

(3) 具有良好的耐磨性能 在塑料中添加玻璃纤维等无机材料时, 会加重模具的磨损。因此需要较高的耐磨性, 才能保证模具具有足够长的寿命。

(4) 具有良好的耐蚀性能 含氟和氯的塑料在成形过程中会放出腐蚀性气体, 使模具产生锈蚀, 加重磨损而损坏。故要求模具材料应具有良好的耐蚀性。

(5) 具有良好的加工性能 由于塑料模具型腔的几何形状都比较复杂, 并且其表面质量要求也较高。难以加工的部位较多, 所以模具材料应具有良好的切削加工性能。

模具材料在电加工过程中有时会出现一般机械加工不会出现的问题, 如有些模具材料电火花加工后表面会留下 $5\sim 10\mu\text{m}$ 深的沟纹, 使加工表面的表面粗糙度变大; 有些材料线切割加工时会出现炸裂, 产生较深的硬化层, 增加抛光的难度。因此模具材料还必须有良好的电加工性能。

(6) 具有良好的镜面抛光性能 通常情况下塑料模具型腔的表面粗糙度 R_a 值为 $0.16\sim 0.08\mu\text{m}$, 表面粗糙度低于 $0.4\mu\text{m}$ 时可呈镜面光泽。特别是用于透明塑料制品的模具, 对模具材料的镜面抛光性能要求更高。镜面抛光性能不好的材料, 在抛光时会形成针眼、空洞和斑痕等缺陷。模具的镜面抛光性能主要取决于模具材料的纯洁度、硬度和显微组织等因素。硬度高、晶粒细有利于镜面抛光; 硬脆的非金属夹杂物、宏观和微观组织的不均匀性, 会降低镜面抛光性能。因此镜面抛光性能好的模具钢大多是超洁净钢。

(7) 具有良好的花纹图案光蚀性能 很多塑料制品要求设置各种花纹、图案, 因此模具材料必须具有较好的花纹图案光蚀性能。为确保该性能, 同样要求材质纯洁, 组织细而均匀, 否则会影响光蚀或腐蚀后的效果。

2.4.2 塑料模具钢的牌号

我国尚未形成独立的塑料模具钢系列, 实际生产当中, 用来制造塑料模具的钢材还广泛应用传统的常用钢。为满足现代模具钢材的使用性能要求, 近年研制出新型塑料模具钢。按照钢材特性和使用时热处理状态分类, 塑料模具钢的牌号与应用见表 2-5。

表 2-5 塑料模具钢的牌号与应用

牌 号	应 用
20 20Cr 20Mn 12CrNi3A 20CrNiMo DT1 DT2 0Cr4NiMoV	渗碳型 主要用于冷挤压成形的形状复杂的浅型腔塑料模具和大、中型切削加工成形的塑料模具
T7A T8A T10A 5CrNiMo 9SiCr 9CrWMn GCr15 3Cr2W8V Cr12MoV 45Cr2NiMoVSi 6CrNiSiMnMoV	淬硬型 T7A、T8A、T10A 钢适合于制造尺寸不大,受力较小且形状简单及防变形要求不高的塑料模具;9SiCr、GCr15 钢主要用于制造尺寸较大、形状复杂和精度较高的塑料模具;Cr12MoV 钢适合制造耐磨性要求高的大型、复杂和精密的塑料模具
3CrMo Y20CrNi3AlMnMo 5NiSCa Y55CrNiMnMoV 4Cr5MoSiV 8Cr2MnWMoVS	预硬型 3CrMo 钢主要用于中、小型或大型的复杂、精密塑料模具;5NiSCa 钢可用于制作型腔复杂、精密度高的大、中、小型注射模具、橡胶模具和胶木模具等;8Cr2MnWMoVS 钢适合于制造各种类型的塑料模具、胶木模具、陶土、瓷料模具及印刷线路板冲孔模具
18Ni140 18Ni170 18Ni210 10Ni3MnCuAl 18Ni9Co 06Ni16MoVTiAl 25CrNi3MoAl	时效硬化型 18Ni140、18Ni170、18Ni210 钢适合于高精度、超镜面、型腔复杂、大截面、大批生产的塑料模具;25CrNi3MoAl 钢适合于制造各种塑料模具;06Ni16MoVTiAl 钢适合于制造精密度较高又必须淬硬的精密塑料模具
3Cr13 2Cr13 Cr16Ni4Cu3Nb 1Cr18Ni9 3Cr17Mo 0Cr17Ni4Cu4Nb	耐腐蚀型 Cr16Ni4Cu3Nb 钢适合于制造高耐磨、高精度和耐蚀性要求好的含氟、氯等塑料树脂成形模具;0Cr17Ni4Cu4Nb 钢主要适用于高硬度和耐蚀性的塑料模具

第 3 章 模具热处理

3.1 模具热处理基本常识

模具在工作过程中，其受力、受热及各种变化较为复杂，因此对材料的各种性能要求也有所不同，根据模具材料不同的性能要求，应通过不同的处理方法来满足。钢材的热处理可分为普通热处理和表面热处理，其中普通热处理包括：退火、正火、淬火、回火；表面热处理包括：化学热处理和表面淬火。化学热处理可分为渗碳、氮化及氰化；表面淬火可分为火焰加热和感应加热。

3.1.1 退火热处理

退火是将工件加热到临界温度（固态金属开始发生相变的温度）以上某一温度，经保温一段时间后，随炉缓慢冷却至 500℃ 以下，然后在空气中冷却的一种热处理工艺。退火的目的是降低钢的硬度，改善切削性能，细化晶粒，减少组织的不均匀性。同时可消除内应力，稳定工件尺寸，减小工件的变形与开裂。

3.1.2 正火热处理

正火是将工件加热到临界温度以上的某一温度值，保温一段时间后，从炉中取出在空气中自然冷却的一种热处理工艺。正火的目的与退火类似，主要区别在于冷却速度比退火快，同样的工件正火后的强度、硬度比退火后要高。

低碳钢件正火可适当提高其硬度，改善切削加工性能。对于性能要求不高的零件，正火可作为最终热处理。一些高碳钢件可利用正火来消除网状渗碳体，为以后的热处理做好组织准备。

3.1.3 淬火热处理

淬火是将工件加热到临界温度以上某一温度，保持一定时间后，在水、盐水或油中急剧冷却的一种热处理工艺。淬火的目的是提高钢的硬度和耐磨性。

淬火工艺有两个概念，应注意区别，其一是淬硬性，即经淬火后能达到的最高硬度，主要取决于钢中的含碳量；其二是淬透性，即在淬火时获得淬硬层深度的能力，淬硬层越深，其淬透性越好。淬透性取决于钢的化学成分和淬火冷却方

法，如加入锰、铬、镍、硅等合金元素可提高钢的淬透性。淬硬性和淬透性对钢的力学性能影响很大，因此钢的淬硬性和淬透性是合理选材和确定热处理工艺的两项重要指标。

由于钢在淬火时的冷却速度快，工件会产生较大的内应力，很容易引起工件的变形和开裂。所以淬火后的工件一般不能直接使用，必须及时回火。

3.1.4 回火热处理

回火是把淬火后的工件重新加热到临界温度以下的某一温度，保温后再以适当冷却速度冷却到室温的热处理工艺。

回火的目的是：稳定组织和尺寸，降低脆性，消除内应力；调整硬度，提高韧性，获得优良的力学性能和使用性能。

回火总是在淬火后进行的，通常是热处理的最后工序，淬火钢回火的性能与回火的加热温度有关，强度和硬度一般随回火温度的升高而降低，塑性、韧性则随回火温度的升高而提高。根据回火温度的不同，回火可分为低温回火、中温回火及高温回火三种类型。

(1) 低温回火 低温回火的加热温度在 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 范围内，低温回火的目的是为降低淬火内应力和脆性并保持高硬度。用于处理要求硬度高、耐磨性好的零件，如各种刀具、量具、模具及滚动轴承等。为提高精密零件与量具尺寸的稳定性，可在 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以下进行长时间（可达数十小时）的低温回火，这种处理方法被称为时效处理或尺寸稳定化处理。

(2) 中温回火 中温回火的加热温度在 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围内，通过中温回火可显著减小淬火应力，提高淬火件的弹性和强度。一般用于处理各种弹簧、发条及锻模等。

(3) 高温回火 高温回火的加热温度在 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 范围内，通过高温回火可以消除淬火应力，使零件获得优良的综合性能。一般把淬火后再进行高温回火的热处理称为调质，调质广泛用于处理各种重要且受力复杂的中碳钢零件，如曲轴、丝杠、齿轮及轴等，也可作为某些精密零件，如量具和模具等的预备热处理。

3.1.5 表面淬火处理

表面淬火是利用快速加热的方法将工件表面迅速升温至淬火温度，待热量传至心部之前立即给予冷却使得表面得以淬硬，以获得高硬度和耐磨性，而心部仍保持原来组织结构，使其具有良好的塑性和韧性。这种热处理工艺适用于要求外硬内韧的机械零件，如凸轮、齿轮、曲轴、花键轴等。零件表面淬火前需进行正火或调质处理，表面淬火后进行低温回火。

表面淬火按表面加热方式的不同可分为感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火及电接触加热表面淬火等。由于感应加热速度快，生产效率高且产品质量好，容易实现机械化和自动化生产，所以该方法得到广泛应用，但设备费用昂贵，主要用于大批量生产。

根据感应电流频率不同，感应加热表面淬火又分为高频、中频和工频淬火。

3.1.6 化学热处理

化学热处理是将钢件放在某种化学介质中，通过加热和保温使介质中的一种或几种元素渗入钢的表层，以改变表层的化学成分、组织及性能的热处理工艺。

化学热处理一般都以渗入的元素加以命名，表面渗层的性能取决于渗入元素与基体金属所形成合金的性质及渗层的组织结构。常见的化学热处理有：渗碳、氮化、氰化、渗金属（渗铬、渗铝等）和多元共渗等。其中渗碳、氮化、氰化处理用于提高工件表层的硬度与耐磨性；渗铬、渗铝能使工件表层获得某些特殊的物理化学性能，如抗氧化性能、耐高温性能及耐蚀性等。

化学热处理基本分为三个阶段：介质受热分解出渗入元素的活性原子；活性原子被钢件表面吸收，形成固溶体或化合物；钢件表层渗入元素的浓度增高并向内扩散，形成一定厚度的渗层。

化学热处理与表面淬火的区别是：表面淬火只是通过改变钢的表层组织来改变钢的性能，化学热处理则能同时改变钢的表层成分和组织，可更有效地提高表层性能并赋予新的性能。这对提高产品质量，满足某些特殊要求（耐酸、碱度），发挥材料潜力，节约贵重金属具有重要意义。因此化学热处理已成为发展最快的热处理工艺。常用热处理名称及代号见表 3-1。

表 3-1 常用热处理名称及代号

热处理名称		热处理代号示例	说 明
退火		Th	—
正火		Z	—
淬火		C48	淬火回火 45~50HRC
调质		T235	调质至 220~250HBS
表面淬火	火焰淬火	H54	火焰淬火后，回火至 52~58HRC
	高频淬火	G52	高频淬火后回火至 50~55HRC
渗碳淬火		∅0.5-C59	渗碳层深 0.5mm；淬火硬度 56~62HRC
氮化		D0.3-900	氮化层深 0.3mm
氰化		Q59	—

3.2 冷作模具钢的热处理工艺规范

热处理方法的确定取决于材料，选材时首先从制作模具寿命长短考虑。同时也要考虑材料的工艺性和经济性；其次要综合考虑模具结构，工作条件，制品的形状、尺寸、加工精度、材质及生产批量等因素。正确地选择材料后必须配合合理的热处理工艺，方可确保模具的使用寿命和性能要求。

3.2.1 冲裁模具的热处理工艺

冲裁模具所用的材料一般分为薄板冲裁模具、厚板冲裁模具两类。

(1) 冲裁模具材料的选择依据 制品厚度小于或等于 1.5mm 时，称薄板冲裁模具，由于冲裁模具的主要失效形式是磨损，所以选材的依据是制品生产批量、尺寸和复杂程度。通常情况下对于生产量少于 1000 件、尺寸小、形状简单的薄板冲裁模具，一般选择 T8A 和 T10A 等品种的钢；对于生产量在 $10^3 \sim 10^5$ 件范围内的中小批量且形状复杂、尺寸又较大的冲裁模具，则选择 9Mn2V、9CrWMn 等品种的钢；对于生产批量大于 10^6 件、尺寸大且形状复杂的模具，可选用 Cr12MoV、Cr12Mo1V1、Cr4W2MoV、ER5、GM 等品种的钢；对于负荷较大的易磨损小冲头，选用 W6Mo5Cr4V2、W18Cr4V、GD、GM 等品种的钢；特大生产批量时，可选用 GM、ER5、YG15、YG20、DT 等品种的钢。

厚板冲裁模具承受的负荷大，刃口更容易磨损，凸模更易崩刃和折断。所以在选材时着重考虑的是强韧性和高耐磨性。

当小批量生产时，选用 T8A、9SiCr、5CrW2Si 等品种的钢；大批量生产时，主要选用 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 钢制作凸模，Cr12MoV 或 Cr12Mo1V1 钢制作凹模。为提高耐磨性也可选用 LD、65Nb、012Al、GD、CH-1 等类型的钢。

(2) 冲裁模具材料的热处理 根据冲裁模具的失效形式、工作条件、材料性能等要求的不同，其热处理有着不同的工艺规范。

① 薄板冲裁模具热处理。薄板冲裁模具主要要求是尺寸精度和耐磨性，热处理工艺应保证其变形小、不开裂及高硬度等指标，一般采用双液淬火、低温淬火、分级淬火和碱浴淬火等方法，下面介绍几种典型薄板冲裁模具的热处理工艺要求。

a. 碳素工具钢。主要包括 T7A、T8A、T10A。若采用双液淬火工艺，T7A 钢的淬火温度应为 $780 \sim 820^\circ\text{C}$ ，预冷时间是 $1 \sim 2\text{s}/\text{mm}$ ，水淬规程是用质量分数

为 5%~10% 的 NaCl 水溶液，以 1s/mm 速度冷却；油冷规程是用温度为 100~120℃ 的热油进行冷却。当硬度值为 60~62HRC 时，回火温度控制为 140~160℃；当硬度值为 58~61HRC 时，回火温度控制为 160~180℃；当硬度值为 54~58 HRC 时，回火温度控制为 210~240℃。

T8A 钢的淬火温度应为 760~800℃，预冷时间是 1~2s/mm，水淬规程是用质量分数为 5%~10% 的 NaCl 水溶液，以 1s/mm 速度冷却，油冷规程是用温度为 100~120℃ 的热油进行冷却。当硬度值为 60~62HRC 时，回火温度控制为 150~170℃；当硬度值为 58~61HRC 时，回火温度控制为 180~220℃；当硬度值为 54~58 HRC 时，回火温度控制为 220~260℃。

T10A 钢的淬火温度应在 770~810℃，预冷时间是 1~2s/mm，水淬规程是用质量分数为 5%~10% 的 NaCl 水溶液，以 1s/mm 速度冷却，油冷规程是用温度为 100~120℃ 的热油进行冷却。当硬度值为 60~62HRC 时，回火温度控制为 160~180℃；当硬度值为 58~61HRC 时，回火温度控制为 200~220℃；当硬度值为 54~58 HRC 时，回火温度控制为 240~270℃。

若采用碱浴淬火工艺，T10A 钢的淬火温度为 830℃，预冷采用 170℃ 碱浴冷却 1min 后再油冷，硬度可达 63~64HRC。

若采用碱水-硝酸盐复合淬火工艺，T8A 钢淬火温度为 780~800℃，在质量分数为 10% 的 NaOH 水溶液中冷却 8s，170℃ 硝酸盐中保温 7min，硬度可达 59~62HRC（刃口部分）。

b. 低变形冷作模具钢。主要包括：9Mn2V、CrWMn、9CrWMn、MnCrWV 等品种的钢。

若采用低温淬火工艺，CrWMn、MnCrWV 钢的淬火温度为 790~810℃；9Mn2V 钢的淬火温度为 750~770℃。

若采用恒温预冷工艺，CrWMn 钢的加热温度为 820℃，然后转入 700~720℃ 的炉中保温 30min 后进行油冷却，其硬度值可达 59~63HRC，回火温度为 160~180℃。

若采用快速加热分级淬火工艺，CrWMn 钢要用 980℃ 温度快速加热后，立即投入到 100℃ 的热油中冷却 30min，然后再进行空气冷却。回火温度为 400℃，硬度值为 55~58HRC。

若采用热油等温淬火，9Mn2V 钢的加热温度为 790~800℃，之后在 130~140℃ 的热油等温冷却 30min，再经 160~170℃ 回火 2h。

若采用冷油-硝酸盐复合淬火，CrWMn 钢首先在 650℃ 温度下预热，800℃ 加热预冷后入油冷却 13s，然后在 180℃ 硝酸盐中等温冷却 30min，回火温度为 200℃。

若采用硝酸盐淬火，有三种工艺，其一是马氏体分级淬火，在硝酸盐中的加热温

度为 140~180℃；其二是马氏体等温淬火，在硝酸盐中的加热温度为 140~160℃；其三是贝氏体等温淬火，在硝酸盐中的加热温度为 200~260℃。

c. Cr12、Cr12MoV 钢。一般采用贝氏体等温淬火、热浴分级淬火等方法，可以减少开裂和变形，Cr12 钢的处理工艺是：980℃加热，200~240℃分级 10min 后油冷却 20min，再通过 180~200℃的回火，处理后的硬度可达 61~64HRC；或 980℃加热，260℃等温 4h，再通过 220~240℃的回火，处理后的硬度可达 61~64HRC。

Cr12MoV 钢的处理工艺共四种：1000℃加热，280℃分级，400℃回火；1000℃加热，280℃分级，550℃回火；1000℃加热，280℃等温 4h，400℃回火；980℃加热，260℃等温 2h，200℃回火。

② 厚板冲裁模具热处理。由于厚板冲裁模具受载较大，常产生崩刃和折断。为提高模具的使用寿命，关键是热处理工艺要保证获得较高的强韧性。在此前提下，尽量提高模具的耐磨性，一般采用的强韧化处理有低温淬火、分级淬火及等温淬火。

a. 低温淬火是适当地降低传统淬火温度的一种热处理方法。碳素工具钢、合金工具钢及高速工具钢，都可以不同程度地提高韧性和抗疲劳强度，降低模具脆断、脆裂的倾向性。下面介绍常用冷作模具钢低温淬火、低温回火强韧化处理的工艺要求。

CrWMn 钢的低温淬火、低温回火的工艺是：800~810℃加热，150℃热油中冷却 10min，210℃回火 1 次，持续 1h，硬度可达 58~60HRC。

Cr12 钢的低温淬火、低温回火的工艺是：850℃预热，930~950℃加热保温后油冷却，320~360℃回火 2 次，每次 1.5h，硬度可达 52~56HRC。

Cr12MoV 钢的低温淬火、低温回火的工艺是：980~1000℃加热保温后油冷却，400℃回火，其硬度可达 56~59HRC。

W18Cr4V 钢的低温淬火、低温回火的工艺是：1200℃加热保温后油冷却，600℃回火 2 次，每次 1 h，其硬度可达 59~61HRC。

W6Mo5Cr4V2 钢的低温淬火、低温回火的工艺是：1160℃加热保温后油冷却，300℃回火，其硬度值为 59~61HRC。

b. 分级淬火和等温淬火可减少模具的变形和开裂，还可提高冷作模具强韧化程度。常用冷作模具钢的分级淬火和等温淬火的工艺规程见表 3-2。

c. 细化处理包括细化奥氏体和细化碳化物。其处理方法是多次地重复加热淬火，如 Cr12MoV 钢细化处理的工艺过程为：1150℃加热后进行油淬火→650℃回火→1000℃加热后进行油淬火→650℃回火→1030℃加热油淬→170℃等温 30min→空冷→170℃回火。经细化处理后可提高强韧性和耐磨性。

表 3-2 冷作模具钢的分级淬火和等温淬火的工艺规程

牌 号	分级淬火或等温淬火工艺	处理后的硬度(HRC)
60Si2Mn	870℃加热保温后油冷却,再加热到 790℃保温后,以 40℃/h 速度冷却至 680℃保温后,炉冷却至 550℃出炉空冷。然后加热至 870℃保温后,250℃等温 1h	55~57
9CrSi	850℃加热保温后,再加热到 790℃保温后,240~250℃等温 25min,空冷	56~60
	850℃加热保温后,再加热到 790℃保温后,240~250℃等温 25min,空冷,200~250℃回火	
	850℃加热保温后,210℃等温,250℃回火 2 次	
CrWMn	820~840℃加热,240℃等温 1h,空冷	57~58
CrWMn	830~840℃加热,240℃等温 1h 空冷,250℃回火 1h	57~58
	810~820℃加热,240℃等温 1h 空冷,250℃回火 1h	54~56
Cr12	980℃加热,200~240℃分级 10min 后油冷 20min,180~200℃回火	61~64
	980℃加热,260℃等温 4h,180~200℃回火	
Cr12MoV	1000℃加热,280℃分级,400℃回火	57~59
	1000℃加热,280℃分级,550℃回火	54~56
	980℃加热,260℃等温 2h,200℃回火	55~57
W18Cr4V	1250~1270℃加热,240~260℃等温 3h,560℃回火 3 次,每次 1h	62~64
Cr4W2MoV	1000℃加热,260℃等温 1h,220℃回火 3 次	56~58
	1020℃加热,260℃等温 1h,520℃回火 2h,220℃回火 2h	58~59

3.2.2 冷锻模具的热处理工艺

按受载情况,冷锻模具可分为轻载和重载两种类型。

(1) 冷锻模具材料的选择依据 轻载主要用于生产形状简单、变形量小、变形速度低的冷锻件。轻载冷锻模具主要选用 T10A、60Si2Mn、GCr15、9SiCr 和 Cr12MoV 等材料。

重载冷锻模具用于生产变形量大、形状复杂的冷锻件,材料的选择与生产批量有关。生产量小于 10 万件时,可选用 Cr12MoV、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 及新型材料,如 6W6、65Nb、012Al、LD、CH-1 等材料;大批量生产可选用 YG15、YG20 和 DT 等硬质合金,硬质合金一般制成镶块,镶块外附有模套。模套的材料可用合金钢或合金工具钢制成,常用的材料为:5CrMnMo、5CrNiMo、40Cr、60Si2Mn 等。

(2) 冷锻模具材料的热处理 冷锻模具的主要失效形式是开裂或折断,因此必须保证模具具有足够的高强韧性。这也是热处理的关键所在。

冷锻模具的淬硬层一般控制在 1.5~4mm 之间,如果淬硬层过薄则模具易产生凹陷或急剧磨损;若淬硬层过厚则造成韧性不足。为达到硬化层厚度的要求,一般采用如下的热处理工艺。

① 喷水淬火。该方法适合于 T10A 材料制成的冷锻模具,喷水淬火与整体淬火相比,其韧性高、硬度均匀,硬化层沿模具型腔轮廓分布,模具寿命可提高 2~3 倍。

② 强韧化处理。强韧化处理就是低淬低回、中淬中回及等温淬火等方法。不同钢材的强韧化处理的方法也不相同,具体工艺可参考相应钢号的热处理。

③ 多次回火。冷锻模具的回火保温应在 2h 以上,并进行多次回火,以便消除淬火内应力,进一步提高抗脆断、脆裂的能力。

④ 表面处理。常用的工艺有氮碳共渗、渗硼、硼硫复合渗、气相沉积 TiN 等。

3.2.3 冷挤压模具的热处理工艺

(1) 冷挤压模具材料的选材依据 在选择材料时首先应考虑承载能力是否满足模具高强韧性的要求;其次是考虑挤压件的生产批量对模具材料的耐磨性要求;除此之外,还应考虑材料的抗回火软化能力是否能承受挤压过程中所产生的热负荷等因素。

冷挤压模具的材料可选择碳素工具钢、低合金工具钢、Cr12 型钢、高速钢及新型冷作模具钢,选材时应注意以下几点要求。

① 碳素工具钢和低合金工具钢淬透性、强韧性和耐磨性较差,工作过程中易出现折断、弯曲和磨损。因此,该材料一般用作挤压力小且批量不大的正挤压模具。

② 正挤压模具普遍采用 Cr12 型号的钢,但由于韧性低,碳化物偏析严重,脆断倾向大,因此正逐步被新型材料所取代;高速钢同样存在与 Cr12 型号钢相同的缺点,但为保持其优势,生产中常用低温淬火的方法来提高钢的抗断裂能力。高速钢适合于制作承受高挤压负荷的反挤压凸模。

③ 新型冷作模具钢(降碳高速钢、基体钢等)用于冷挤压模具效果十分显著,但如果制件的生产批量很大则耐磨性就显得较差。

④ 大批量生产用的冷挤压模具应采用硬质合金,常用的是钢结硬质合金,一般用作冷挤压凹模。

(2) 冷挤压模具材料的热处理 在对冷挤压模具材料进行热处理时,应满足以下工艺要求。

① 有些对断裂或胀裂、回火稳定性和耐磨性要求不高的冷挤压模具,可采用常规工艺的下限温度淬火,以得到细小的马氏体,然后再经回火就可得到高的

强韧性。

② 高碳高合金钢的冷挤压模具，淬火后残余奥氏体较多，一般采用较长时间或多次回火，以控制和稳定残余奥氏体的数量，消除内应力提高韧性且稳定尺寸。

③ 若以脆性破坏为主，韧性不足的冷挤压模具一般采用等温淬火、分级淬火、低温淬火、低温回火等强韧化处理工艺，同时应充分回火。

④ 冷挤压模具在使用了一段时间后，经常将模具的成形部位再进行退火，其目的是消除由于挤压载荷交变作用引起的内应力和疲劳，该过程称为中间去应力退火。

⑤ 为获得较高的表面硬度，可对冷挤压模具采用表面渗氮、氮碳共渗、镀硬铬和渗硼等处理工艺。

3.2.4 冷拉深模具的热处理工艺

(1) 冷拉深模具材料的选材依据 冷拉深模具需要具有良好的耐磨性和抗黏附性，因此在选择模具材料时，主要考虑拉深件的板料厚度、复杂程度、变形量、尺寸大小和生产批量对耐磨性和抗黏附性的要求。

通常情况下，小批量生产的轻载模具，可选用 T8A、T10A、CrWMn、9CrWMn 等材料；对于大中型模具，由于材料费用所占比例较大，所以在满足模具使用性能要求的前提下，尽量采用价格低廉的材料，如球墨铸铁等；对于大批生产用的模具或模具上磨损严重的部位，可采用镶嵌模块的方式，即在合金铸铁模套中镶嵌性能较好的合金钢或硬质合金。

(2) 冷拉深模具的热处理 冷拉深模具的热处理应注意以下几点。

① 应避免模具表面产生硬化层或脱碳，氧化、脱碳会造成模具淬火后硬度不足或出现软点。当表面硬度低于 500HV 时，模具表面就会出现拉毛现象。同时还应防止磨削引起的二次回火而降低表面硬度。

② 表面处理可以有效提高拉深模具的耐磨性和抗黏附能力，因此常对模具进行渗氮、渗硼、镀硬铬、渗钒等处理。

下面介绍几种典型材料的热处理工艺。

Cr12 钢制螺母拉深凸凹模经 980℃ 淬火，200℃ 回火后，其使用寿命为 1000~2000 件；经 TD 法（渗钒）及淬火、回火后，其寿命可提高到 10000 件。

Cr12MoV 钢的热处理工艺如下。

方案 1：1030℃ 淬火→200℃ 分级淬火 5~8min→160~180℃ 回火 3h，硬度为 62~64HRC。

方案 2：1050~1080℃ 油淬→500℃ 回火 3 次，每次 2h→450~480℃ 离子渗氮。

QT500-7 钢的热处理工艺：600~650℃ 预热→890℃ ±10℃ 淬入盐水中冷至 550℃→入油冷至 250℃→入 180~220℃ 油中进行分级淬火→160~180℃ 回火 5~7h。

7CrSiMnMoV 钢的热处理工艺：890℃油淬→200℃回火 2h，硬度可达 60~62HRC。

3.2.5 冷作模具用钢材与热处理工艺实例

冷作模具热处理工艺与所选择的材料有关，传统的热处理工艺通过改进后可提高其使用寿命。

冲头一般用 W18Cr4V 钢材，传统的处理工艺：1260℃淬火→560℃回火 3 次，硬度可达 63~65HRC，寿命在 2000 件以下，主要失效形式为脆断；若改用 W9Mo3Cr4V 钢材，热处理工艺是：1180~1190℃淬火→550~560℃回火 2 次，硬度可达 58~60HRC，寿命可达 1.6 万件。

手表零件冷冲模具一般用 CrWMn 钢材，通常采用常规热处理工艺，主要失效形式为脆断，改进后的热处理工艺：670~790℃之间循环加热淬火→180~200℃回火。寿命比采用传统热处理工艺提高 3~4 倍。

轴承保持架冷冲模具一般用 GCr15 钢材，传统热处理工艺：球化退火→840℃淬火→150~160℃回火，失效形式主要为脆断，寿命可达 2000 件。改进后的热处理工艺：1040~1050℃正火→820℃4 次循环加热淬火→150~160℃回火，主要失效形式为疲劳断裂，寿命可达 1.4 万件。

冷冲压冲头一般用 Cr12 钢材，传统的热处理工艺：球化退火→980℃淬火→280℃回火，主要失效形式是脆断、掉块、崩刃，寿命可达 7000~8000 件。改进后的热处理工艺：调质→980℃淬火→280℃回火，将球化退火改为调质处理后，其寿命可增至 10 万件。

高速工具钢锯条冷冲模具常用材料为 W9Mo3Cr4V，传统的热处理工艺是：球化退火→1100℃淬火→200℃回火，其硬度可达 63~64HRC。主要失效形式是断裂，寿命可达 3 万~5 万件。改进后的热处理工艺是：锻后余热球化退火→1200℃淬火→350℃和 550℃回火 2 次，其硬度可达 61HRC，寿命可达 27 万件。

冷挤压凸模常用的材料有：W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、Cr12MoV，一般采用常规热处理，其寿命可达 300~500 件，主要失效形式为脆断。若改用基体钢，用常规热处理工艺，寿命可达 5000 件。

冷冲模具常用的材料是 Cr12，传统热处理工艺是：960℃淬火→200℃回火，硬度可达 60~62HRC，主要失效形式是断裂，寿命可达 4000~5000 件。若改用 W18Cr4V 材料，其热处理工艺为：1180℃淬火→580℃回火 2 次，硬度可达 60~62HRC，其寿命可达 10 万件以上。

十字槽冷冲模具常用材料为 T10A，一般采用常规热处理工艺，硬度可达 58~60HRC，主要失效形式为折断，寿命为 6000~7000 件。如果改用 9CrSi 钢，其热处理工艺是：900℃加热→270℃等温淬火，硬度可达 57~59HRC，寿命可

达3万件以上。

冷锻模具常用的材料有Cr12MoV和9CrSi。Cr12MoV材料传统热处理工艺是：980℃淬火→低温回火，硬度可达64~67HRC。主要失效形式为崩裂，寿命在5000~9000件之间。改进后的热处理工艺是：1030℃淬火→200℃回火，硬度可达62HRC，寿命在1.5万~4万件之间。9CrSi的热处理工艺是：870℃淬火→低温回火，硬度可达62~65HRC。主要失效形式是崩裂，寿命为2000~4000件。改进后的热处理工艺是淬火和回火各2次，主要失效形式是磨损和崩裂，寿命可达6000~17000件。

精密冷冲凹模，常采用Cr12，通常采用常规热处理工艺，主要失效形式是淬火变形大、崩刃及软塌；如果改用8Cr2MnWMoVS，则应进行调质和气体氮碳共渗。

冷冲槽钢切断刀片常用Cr12材料，采用常规热处理，寿命在2000~3000件之间。若改用7CrSiMnMoV钢，其热处理工艺是：900℃淬火→低温回火，硬度在59~62HRC之间，寿命为5000~6000件。

丝杠轧丝模常用的材料是Cr12MoV，采用常规热处理工艺，寿命在200~300件，主要失效形式是脆性开裂。改进后的热处理工艺是：高温调质→1020℃淬火→400℃回火，寿命可达2000件。

冲孔一般用W18Cr4V材料，采用常规热处理工艺，寿命为10000件左右，主要失效形式是断裂和磨损。若改用W9Mo3Cr4V钢，其热处理工艺是：1120~1200℃真空淬火→深冷处理→540~580℃回火2次，寿命可达10万件以上，主要失效形式是磨损。

精密冷冲模具常用的材料是Cr12MoV，通常采用常规热处理工艺，寿命为10万件，失效形式为断裂。若改用GM钢，其热处理工艺是：1120℃淬火→540℃回火2次，硬度可达到64~66HRC，寿命为300万次。

切边模常用9CrSi材料，常规热处理工艺，硬度可达58~60HRC，寿命为6000件，失效形式是崩刃或烧口。若改用GD钢，其热处理工艺是：900℃淬火→180℃回火，硬度可达62HRC，寿命为5万件，失效形式为崩刃。

3.3 热作模具钢的热处理工艺规范

热作模具钢的热处理工艺，与模具工作中的受力、受热、冷却、生产批量等因素有关。

3.3.1 热锻模具的热处理工艺

(1) 热锻模具材料的选择依据 我国热锻模具常用的材料有：5CrNiMo、

5CrMnMo、4CrMnSiMoV；尚未纳入标准的材料有：3Cr2MoWVNi、5Cr2NiMoVSi 及 45Cr2NiMoVSi 钢；机械压力机模块用钢为 4Cr5MoSiV1、4Cr5MoSiV、4Cr3W2VSi、3Cr3Mo3W2V、5Cr4W5Mo2V 钢。还有 4Cr3Mo3W4VNB、2Cr3Mo3VNB、2Cr3Mo2NiVSi。

(2) 热锻模具材料的热处理 热锻模具材料的热处理工艺包括：退火、淬火、回火、强韧化处理等。

① 退火。锻后模块内部存在较大的内应力和组织不均匀性，为解决此问题采用退火处理即可。

对于 5CrNiMo 材料，其退火工艺是：780~800℃加热→保温 4~6h→随炉缓冷至 500℃→出炉空冷。

5CrMnMo 材料，其退火工艺是：850~870℃加热→保温 4~6h→随炉缓冷至 500℃→出炉空冷。

4CrMnSiMoV 材料，其退火工艺是：840~860℃加热→保温 2~4h→炉冷至 700~720℃，等温 4~6h→再随炉冷至 500℃以下→出炉空冷。

45Cr2NiMoVSi 材料，其退火工艺是：850~870℃加热→保温 3~4h→随炉缓冷至 500℃→出炉空冷。

由于含铬、镍的锤锻模具钢易产生纵向银白色斑点，横向断口发生裂纹的缺陷即“白点”，一般在常规退火之后再进行一次防白点的退火，其退火温度要比常规退火温度低 200℃左右，但保温时间比常规退火长得多，通常为 20~60h。锤锻模因磨损造成尺寸超差的可进行翻新，为便于加工需翻新的锻模应进行软化处理。其工艺为高温回火或常规退火，一般采用常规退火，个别几何结构应注意保护（如燕尾等），以防氧化、脱碳。模块保温时的各项指标与冷却方式见表 3-3。

表 3-3 模块保温时的各项指标与冷却方式

锻模尺寸(正立方体边长)/mm	250	300	350	400	450	500
600~650℃预热时间/h	2	3	4	5	6	7
升温方式	随炉缓慢升温					
保温温度/℃	830~850	830~850	830~850	840~860	840~860	840~860
保温时间/h	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10
冷却方式	随炉冷却(50℃/h)至 500℃以下出炉空冷					

② 淬火与回火。由于尺寸的原因，锻模通常采用箱式电阻炉加热，为防止模具表面氧化和脱碳，必须将模面向下放入装有铸铁屑和木炭等保护剂的铁盘中，然后用黄泥或耐火泥密封，燕尾部分也采用保护剂及黄泥封盖加以保护，模具装箱保护如图 3-1 所示。

对于大型或复杂的锻模淬火加热时，一般需经 1 次预热，其温度为 550~

600℃。锻模的淬火温度取决于必须保证获得较高的冲击韧度；淬火加热保温时间的确定，是以温度达到规定值（通过对仪表断电的控制）或观察模具的加热颜色与炉内颜色一致时开始计算。一般箱式电阻炉加热系数为 2~3min/mm，盐浴炉加热系数为 1min/mm。

锻模的淬火可采用多种冷却方式，包括油淬、分级淬火或等温淬火。最常用的是油淬，锻模在入油之前需在空气中预冷（减少淬火变形）。大模块的预冷时间为 5~8min，小模块为 3~5min。油淬的冷却介质是锭子油，油温控制在 50~80℃ 之间，为保持油温及冷却均匀，一般安装循环冷却装置及用压缩空气对油进行搅拌。淬火时必须防止由于过大的应力而出现断裂，所以特别要控制锻模的出油温度（一般为 150~200℃）。判断出油温度的方法是，表面油渍只冒青烟而不着火时即可。也可根据在油中停留时间来控制，一般小型锻模为 15~20min，中型锻模为 25~45min，大型锻模为 50~70min。模具出油后要尽快回火，不允许冷却到室温后再回火，以免出现开裂。

锻模回火主要是指模腔和燕尾两部分，由于燕尾直接与锤头接触，因此其硬度不应高于锤头。由于燕尾的根部易引起应力集中，因而硬度也不宜过高，一般燕尾的硬度应低于模腔的硬度。

通常锻模的回火温度，应根据硬度要求来确定。表 3-4 列出了锻模用钢回火温度与硬度的关系。

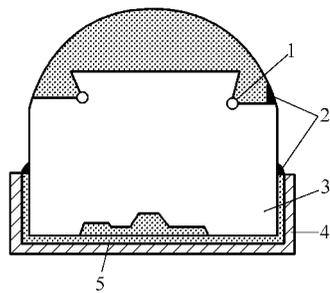


图 3-1 模具装箱保护示意
1—石棉绳；2—耐火泥；3—模具；
4—铁盘；5—保护剂

表 3-4 锻模用钢回火温度与硬度的关系

钢牌号	回火温度/℃	回火硬度(HRC)	钢牌号	回火温度/℃	回火硬度(HRC)
5CrMnMo	490~510	47~44	5CrMnMoSiV	520~580	49~44
	520~540	42~38		580~630	44~41
	560~580	37~34		610~650	42~38
4SiMnMoV	560~590	47~42		620~660	40~37
	590~620	42~37	5CrNiW	520~540	45~41
630~660	37~32	530~550		43~49	
5SiMnMoV	490~510	46~40		590~610	37~33
	600~620	39~35		670~690	30~25
5CrNiTi	475~485	45~41	5Cr2NiMoV	500	50.5
	485~510	43~39		550	49.5
	600~620	37~33		600	48.7
6SiMnMoV	490~510	46~40		650	43.0
	600~620	39~35			

锻模一般为二次回火，每次为 2h。其中第二次回火温度应低于第一次回火温度，为防止第二类回火脆性，回火后应采用油冷且在 100℃ 将其自油液中取出。

燕尾可采用单独加热回火和自行回火的方法，单独加热回火是在保证模腔达到硬度要求后，再用专用电炉或盐浴炉来对燕尾部分单独进行回火加热。自行回火的方法是：将淬火加热后的锻模整体淬入油中一段时间后把燕尾提出油面停留一段时间，依靠其本身的热量使温度回升，反复操作 3~5 次即可。

③ 强韧化处理。该处理方法是为提高热锻模的使用寿命而开发出的处理措施，主要有以下处理方法。

a. 高温淬火。对于 5CrNiMo 和 5CrMnMo 钢按常规加热淬火后，获得片状马氏体和板条状马氏体的混合组织。将淬火温度分别提高到 900~950℃，获得的是以板条状马氏体为主的淬火组织，使模具具有高强韧性和断裂韧性，显著提高模具使用寿命。

b. 等温淬火。模锻采用等温淬火工艺，可获得下贝氏体组织，使模具具有较高的强韧性并使寿命大大提高。如 5CrNiMo 钢法兰盘模具，经普通淬火模具寿命为 8500 件，经等温淬火后模具寿命为 13000 件。

c. 化学热处理。热锻模经渗硼或氮、碳、硼三元共渗处理可以提高模腔的耐磨性和抗粘模性，从而提高了模具寿命。如 5CrMnMo 钢制刮板运输机连环锤锻模，经常规热处理后模具寿命为 400~1200 件，采用固体渗硼-淬火工艺，模具寿命可达 2500~4000 件。

5CrMnMo 钢锤锻模，采用三元共渗及热处理工艺，模具寿命从普通的 3000~4000 件提高到 6000~8000 件。具体处理工艺见图 3-2。

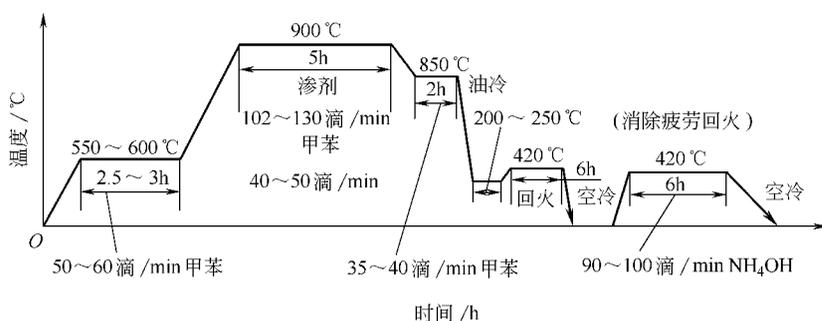


图 3-2 5CrMnMo 钢锤锻模三元共渗及热处理工艺图

3.3.2 热挤压模具的热处理工艺

(1) 热挤压模具材料的选择依据 热挤压模具常用的材料有：3Cr2W8V、

4Cr5MoSiV1、3Cr3Mo3W2V、5Cr4Mo3SiMnVA1、5Cr4W5Mo2V、4Cr5MoSiV、4Cr3Mo3W4VTiNb、3Cr3Mo3VNb 钢等。另外，还有奥氏体耐热钢、镍基高温合金、硬质合金等。选用材料时，主要考虑被挤压金属种类及挤压温度等因素，其次还应考虑挤压比、挤压速度和润滑条件对模具使用寿命的影响。

(2) 热挤压模具材料的热处理 热挤压模具传统的热处理工艺包括：预备热处理、淬火和回火处理。近些年新型热处理工艺也正在广泛被应用。

① 预备热处理。预备热处理包括退火、高温调质、锻后正火。

热挤压模具的退火工艺确定主要在于正确地选择退火温度，确保充分的保温时间并以合适的冷却速度进行冷却。为确保良好的耐磨性，在淬火后需保留一定数量的碳化物。由于碳化物形状对钢的韧性有很大影响，因此还应注意退火后的碳化物形状。通常情况下希望获得圆而细小的碳化物。下面介绍常见热挤压模具钢材退火工艺。

3Cr2W8V 材料的退火工艺：840~880℃ 冷却至 720~740℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 241HBS 以下。

5Cr4W5Mo2V(RM2) 材料的退火工艺：加热 850℃，750℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 179~212HBS。

4Cr3Mo3W4VTiNb(GR) 材料的退火工艺：加热 850℃，750℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 170~200HBS。

3Cr3Mo3W2V(HM1) 材料的退火工艺：加热 870℃，730℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 197~229HBS。

4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiV1 材料的退火工艺：860~890℃，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 223HBS 以下。

4Cr5W2SiV 材料的退火工艺：860~880℃，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 229HBS 以下。

3Cr3Mo3VNb 材料的退火工艺：710~940℃，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 187HBS 以下。

6Cr4Mo3Ni2WV(CG2) 材料的退火工艺：加热 810℃，650℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 220HBS。

5Cr4Mo3SiMnVA1(O12Al) 材料的退火工艺：加热 860℃，720℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉。

5Cr4W2Mo2VSi 材料的退火工艺：加热 290℃，790℃ 等温，炉冷至 500℃ 出炉。退火后的硬度为 229HBS 以下。

4Cr3Mo2NiVNb 材料的退火工艺：850~860℃，炉冷至 500℃ 出炉，退火后的硬度为 190~220HBS。

热挤压模具的高温调质工艺主要是为替代球化退火，可使碳化物均匀分布，

且形状圆而细小，不仅改善了钢的性能而且还缩短了预处理周期。调质热处理的淬火加热温度可根据不同的钢种而定，如 3Cr3Mo3W2V 钢为 1200℃，比常规淬火温度偏高。高温回火温度一般为 700~750℃。

锻后正火一般是为锻后出现明显沿晶网状或链状碳化物的模坯，需正火予以消除后然后再进行球化退火，因该种碳化物仅靠退火是难以消除的。

② 淬火和回火热处理。热挤压模具钢的淬火温度，主要考虑获得细小的奥氏体和具有较高冲击韧度；其次还要考虑模具的工作条件、结构形状和失效的影响。部分常见热挤压模具钢的淬火温度见表 3-5。

表 3-5 热挤压模具钢的淬火温度推荐值

钢 牌 号	淬火加热温度/℃	淬火介质	淬火后硬度(HRC)
3Cr2W8V	1050~1100	油	50
5Cr4W5Mo2V(RM2)	1130~1140	油	60
4Cr3Mo3W4VTiNb(GR)	1160~1200	油	56~57
3Cr3Mo3W2V(HM1)	1030~1090	油	52~55
4Cr5MoSiV	1000~1050	油、空	56~58
4Cr5MoSiV1	1000~1050	油、空	53~57
3Cr3Mo3VNb	1060~1090	油	47~48
6Cr4Mo3Ni2WV(CG2)	1100~1140	油	60
5Cr4Mo3SiMnVAl(012Al)	1090~1120	油	60
4Cr5W2SiV	1060~1080	油、空	56~58
5Cr4W2Mo2VSi	1100~1140	油	54~56
4Cr3Mo2NiVNb	1130	油	54

淬火保温时间的选择应主要考虑能完成组织转变，使碳及合金元素充分固溶，以保证获得较高的回火抗力及热硬性。

由于热挤压模具用钢属于高合金钢，其淬透性好，因此淬火冷却可采用油冷。对变形要求小的模具还可采用热油淬火、等温淬火或分级淬火。

回火温度主要根据模具的硬度要求进行选择，硬度要求又与模具的具体工作条件和失效形式有关。如在挤压铝合金时，模具的热负荷不很大，可选择较高的硬度，一般在 48~50HRC 范围内，以提高耐磨性、抗压塌、抗冲蚀的性能；在热挤压铜合金时，由于模具的工作温度较高，可选择较低的硬度，通常在 43~48HRC 范围内，以提高耐热疲劳抗力并减少开裂。回火温度的选择原则是在不影响模具抗脆断及热疲劳能力的前提下，尽可能提高模具的硬度。

热挤压模具回火的次数一般为 2 次，每次不应低于 2h。通常第二次回火温度略低于第一次回火温度。但对于 3Cr2W8V 钢，在实际应用中发现先经低温回

火再经高温回火，其冲击韧度比直接高温回火要高出 2 倍，其寿命也相应提高。

③ 热挤压模具的热处理新工艺。针对具体的材料品种，可选择新的处理工艺。

3Cr2W8V 钢可选择高温淬火，处理后可以提高钢的热疲劳抗力，延迟热裂纹萌生时间，降低裂纹扩散速度，从而大幅度提高模具使用寿命。如用 3Cr2W8V 材料制成轴承套圈热挤压凹模，挤压速度为 20~30 件/min，经 1050℃ 淬火的常规处理，模具寿命为 2000 件；若改用 1150℃ 高温淬火和 660~680℃ 高温回火处理后，寿命可达 6000 件。

若对该种钢制成的模具采用感应加热淬火，寿命会进一步提高。其工艺是：先将模具整体调质到硬度为 40~45HRC，使模具基体具有高韧性，再对模具型腔磨损最严重的表面部位进行感应加热淬火。

热挤压模具常用的化学热处理方法有：渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗金属及多元共渗等工艺。经处理后，可使模具获得高的表面硬度、耐磨性及耐热疲劳性，使模具的寿命大大提高。当然，选择什么样的化学处理工艺，也必须根据模具的具体情况和要求而定。

3.3.3 压铸模具的热处理工艺

(1) 压铸模具材料的选择依据 压铸模具常用的材料有：锌合金、铝或镁合金、铜合金和钢铁四大类，这些材料的熔点、压铸温度、模具工作温度和硬度等要求各不相同。由于压铸金属的压铸温度越高，压铸模的磨损和损坏就越快。因此，在选择压铸模材料时，首先就要根据压铸金属的种类及压铸温度的高低来决定；其次还要考虑生产批量大小和压铸件的形状、重量及精度要求。

常用于锌合金压铸模具的材料有：合金结构钢（40Cr、30MnSi、40CrMo 等）、模具钢（5CrNiMo、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiV1、3Cr2W8V、CrWMn）等。合金结构钢制压铸模寿命为 20 万~30 万次，模具钢可达 100 万次。

铝合金压铸模具钢有：4Cr5MoSiV1（H13）、4Cr5MoSiV（H11）、3Cr2W8V 及新钢种类 4Cr5Mo2MnSiV1（Y10）、3Cr3Mo3W2V（HM3）钢等。其中 H13、H11、Y10、HM3 钢使用效果较好，制造出的模具寿命也高于 3Cr2W8V 制造出的模具寿命。

铜合金压铸模具钢有 3Cr2W8V、3Cr3Mo3W2V（HM1）及新钢种 4Cr3Mo2MnVNb（Y4）钢，其中 3Cr2W8V 钢用量最大，但使用效果不如 HM1 和 Y4 钢。

黑色金属压铸模具常用的材料也是 3Cr2W8V 钢，但因该钢热疲劳抗力差，使用寿命低，目前国内外趋向使用高熔点钼基合金及钨基合金制造黑色金属压铸模，其中 TZM 及 ANViloy1150 两种合金普遍被采用。

(2) 压铸模具材料的热处理 压铸模具材料的热处理方法有：预备热处理、淬火和回火、表面热处理等。

① 预备热处理。预备热处理包括：去应力退火和球化退火。

a. 由于压铸模型腔复杂，在粗加工和半精加工时会产生较大的内应力。为了减小淬火变形，在粗加工之后应进行去应力退火即稳定处理。处理工艺是：加热 $650\sim 680^{\circ}\text{C}$ ，保温 $3\sim 5\text{h}$ 。保温结束后，型腔简单的模具可直接出炉，在静止空气中均匀冷却。而对于形状复杂的压铸模具需炉冷至 400°C 出炉空冷。经电火花加工的模具型腔，表面会产生具有脆性的变质层，很容易引起裂纹。消除变质层的办法是采用研磨或抛光，同时进行消除内应力的退火处理。

b. 球化退火的目的是改善切削加工性能，获得均匀、弥散的碳化物以改善钢的强韧性。由于调质处理的效果优于球化退火，因此，强韧性要求高的压铸模具，常常用调质代替球化退火。

压铸模的退火还可采用快速匀细球化退火工艺。该工艺是在高出传统退火工艺加热温度很多的情况下短时间加热且快速冷却，以获得少而细的剩余碳化物，然后再第二次加热到适当温度，保温后随炉缓冷以便获得均匀、细小的球化组织。快速匀细球化退火工艺如图 3-3 所示。该工艺的特点是：碳化物颗粒匀细，硬度低，易于切削加工，且退火周期可缩短 $1/3$ 以上，提高了生产效率。

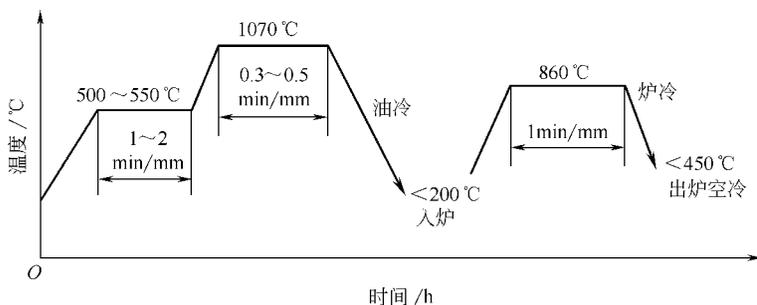


图 3-3 快速匀细球化退火工艺图

② 淬火和回火。一般该工艺包括：淬火预热、淬火温度、淬火冷却、回火等。

a. 压铸模具用钢多为高合金钢，因其导热性差，淬火加热常采取预热处理过程。预热次数的多少取决于钢的成分和对模具的防变形要求。对于防变形要求不高的模具，在不产生开裂的前提下，预热次数可少一些。但对于防变形要求较高的模具必须多次预热，对于 $400\sim 650^{\circ}\text{C}$ 较低温度的预热，一般在空气炉中进行；对于 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 较高温度的预热，应采用盐浴炉，预热时间按 $1\text{min}/\text{mm}$ 进行计算。

b. 典型压铸模用钢，其高的淬火温度有利于提高钢的高温强度和冷热疲劳抗力，但会引起晶粒长大使韧性和塑性下降，从而导致严重开裂。因此，当压铸件的韧性要求较高时可采用较低的淬火温度，而要求较高的高温强度时则应采用较高的淬火温度。

为获得良好的高温性能，保证碳化物充分溶解，压铸模的淬火保温时间都比较大，一般在盐浴炉中加热，保温系数为 $0.8 \sim 1.0 \text{min/mm}$ 。

c. 对于形状简单、防变形要求不高的压铸模一般采用油冷；而形状复杂、防变形要求高的压铸模则采用分级淬火。为防止变形和开裂，无论采用什么冷却方式，都不允许冷却到室温，一般冷却到 $150 \sim 180^\circ\text{C}$ 均热一定时间后立即回火，均热时间可按 0.6min/mm 计算。

d. 压铸模必须充分回火，通常回火 3 次，第一次回火温度选在二次硬化的温度范围，第二次回火温度的选择应使模具达到所要求的硬度，第三次回火温度要低于第二次 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ ，回火后均采用油冷或空冷，回火时间不少于 2h，图 3-4 表示出了某种钢制作的压铸模的热处理工艺。

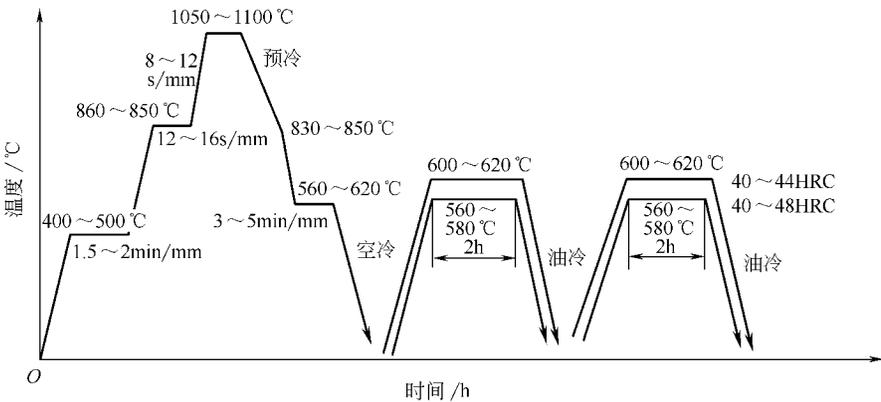


图 3-4 压铸模热处理工艺

③ 表面热处理。为防止熔融金属粘模、侵蚀并提高压铸模成形部分的耐蚀性和耐磨性，压铸模常采用表面强化处理。其方法有：氮化、氮碳共渗、渗铬、渗铝、渗硼等。3Cr2W8V 钢制成的压铸模，T8 钢小型铸件，常规热处理后，模具的寿命仅为百余件。而经表面渗铝后由于提高了模具的抗氧化性能，模具寿命提高到可压铸千余件。

3.3.4 热作模具热处理综合应用

下面介绍几种典型模具用材、热处理工艺、寿命及失效形式。

热冲头一般用材是 3Cr2W8V，传统热处理工艺是： $1050 \sim 1100^\circ\text{C}$ 淬火 →

630℃回火2次，硬度可达45~47HRC。寿命为200~350件，失效形式为软化变形和开裂。改造后的热处理工艺：1275℃加热→300~320℃等温淬火，硬度可达46~48HRC。寿命为1500~2200件且不开裂。

热挤压模具通常也用3Cr2W8V钢，传统热处理工艺：1050℃淬火→620℃回火2次，硬度可达45~48HRC。寿命为1200件，失效形式为早期开裂。改造后的热处理工艺：1200℃淬火→680℃回火2次，硬度可达40~45HRC。寿命为3300件，失效形式为变形和开裂。

热挤压冲头的用材为3Cr2W8V钢，传统热处理工艺：1050℃淬火→620℃回火。寿命为200件，失效形式为开裂。若改用4Cr3Mo2NiVNb钢，其处理工艺是：1150℃淬火→620℃回火2次，硬度可达39~42HRC，寿命为650~700件。

对于精锻圆锥齿轮模，用材料也为3Cr2W8V钢，若采用常规热处理工艺，寿命低易开裂。改进热处理工艺：1150℃和1050℃2次加热淬火，600℃回火2次，硬度可达45~48HRC，寿命为500件。

用3Cr2W8V钢制成的粗锻圆锥齿轮模，若采用常规热处理，其寿命为2000件，失效形式是齿形堆塌。改进热处理工艺：1150℃加热→400℃等温淬火→660℃回火2次→渗氮。硬度可达39~42HRC，寿命为5000件以上。

对于半轴摆模所用材料是3Cr2W8V钢，传统工艺是：1075℃淬火→600℃回火3次，硬度为49~51HRC，寿命为1200件，失效形式为开裂。改造后的热处理工艺：900℃淬火→600℃回火2次，硬度可达44~46HRC。寿命为4000件以上。

锤锻模常用的材料为5CrMnMo钢，传统工艺是：860~880℃淬火→燕尾油淬空冷→480℃回火，硬度为44~47HRC，寿命为2500件，失效形式为燕尾开裂。改造后的热处理工艺：880℃加热→450℃等温淬火→480℃回火。寿命为4000~10000件且燕尾不再开裂。

齿轮毛坯半精锻模常用的材料是5CrMnMo钢，传统工艺是：840℃淬火→500℃回火，硬度为44~47HRC。寿命为414件，失效形式为热疲劳。若改用H13钢，寿命为1780件，主要失效形式是热磨损。

精锻齿轮模具常用的材料是4CrMoSiV，用传统的热处理工艺其硬度可达48HRC，寿命715~1700件（半轴）和2530~2400件（行星）。若改用5Cr4W5Mo2V钢（半轴），其热处理工艺是：1140℃淬火→600~610℃回火2次，硬度可达49HRC。若改用3Cr3Mo3W2V钢（行星），其热处理工艺是：1120℃淬火→550℃回火2次，硬度可达48HRC。寿命分别为1449~3427件（半轴）和5349~5475件（行星）。

25.4mm铜闸阀常用的材料是3Cr2W8V钢，传统热处理工艺是：1050~

1100℃淬火→600~620℃回火2次，硬度为44HRC，寿命为3500件。若改用Y4钢，处理工艺是：1100℃淬火→620℃回火2次，硬度为48HRC，寿命为10350件。

3.4 塑料模具钢的热处理工艺规范

由于塑料模具形状和结构较为复杂，制造成本高，为保证模具的使用寿命，必须合理选择制造材料和热处理方法。

3.4.1 塑料模具的选材依据

塑料模具的选材分为成形件的选材和塑料模具辅助零件的选材。

(1) 塑料模具成形件的选材 选择塑料模具成形件的材料应考虑以下几方面的问题。

① 塑料制品的种类与要求。塑料制品种类不同其塑料模具的工作条件也不相同，ABS、聚氯乙烯和聚四氟乙烯等塑料成形时，在一定成形温度下会分解产生腐蚀性气体，这些气体对塑料模具将产生腐蚀作用。因此这类塑料模具成形件常选用耐蚀塑料模具钢，如PCR、AFC-77、18Ni及4Cr13等材料。如果选用普通材料制作模具时，则需镀铬或进行其它耐腐蚀的表面处理。

以玻璃纤维作添加剂的热塑性塑料制品的注射模或热固性塑料制品的压缩模，要求有较高的硬度、耐磨性、抗压强度和韧性，以防止模具型腔面过早磨损或受高压而局部变形。因此该类塑料模具成形件多选用淬硬型塑料模具钢，如T10A、9Mn2V、CrWMn、Cr12MoV等材料。若选用低、中碳钢，则应进行渗碳淬火处理。

高速成形的塑料制品，模具表面的温度短时间内就会超过400℃。为保证塑料模具的使用精度并防止塑料制件脱模后由于温度过高而发生变形，模具材料必须具有良好的热导率。因此，可选用铍青铜或高强度铝合金制造。

对透明塑料成形模具的要求是：材料应具有良好的镜面抛光性和高耐磨性，且材料中的非金属夹杂物和气孔应很少，显微组织也要很均匀。此时应选用能获得高硬度的超纯净钢。经验证明，多数时效硬化性模具钢，如PMS、06Ni、PCR等都具有良好的镜面抛光性。而预硬化性钢P20系列、8Cr2S、5NiSCa等钢，镜面抛光性也较好，也可选用。对于表面有装饰花纹的塑料制品，要求模具材料具有良好的装饰加工性。

② 塑件的生产规模。当塑件为小批量生产时，对模具的耐磨性和使用寿命要求不太高，可考虑选用铝合金、锌合金、碳素钢及合金结构钢等制造；对于大批量生产的塑件成形模具，应根据工作条件和对模具质量的要求进行选材，通常

情况下选用高级优质塑料模具钢。生产批量与选材的关系见表 3-6。

表 3-6 生产批量与选材的关系

塑件生产批量/万件	选用材料的牌号	塑件生产批量/万件	选用材料的牌号
10~20	45,55,40Cr	120	SM2,PMS
30	P20,5NiSCa,8Cr2S	150	PCR,LD,65Nb
60	P20,5NiSCa,SM1	>200	65Nb,06NiTi2Cr,06NiCrMoVTiAl, 012Al(渗氮)、25CrNiMoAl(渗氮)
80	8Cr2S,P20		

③ 模具的加工方法。塑料模具的加工方法较多，一般的塑料模具都可通过冷挤压成形、超塑性成形、铸造成形、切削加工成形和电加工成形等方法制作。因此，应尽可能选择具有与模具成形加工方法相适应并具有较好的加工工艺性能的模具材料。由于大多数塑料模具都需经过切削加工而成形，因此模具材料的切削加工往往是最重要的加工工艺性。

④ 尺寸与精度要求。对于大型高精度注射成形模具，当生产批量大时可选用预硬化钢制造，如 3Cr2Mo、8Cr2S、4Cr5MoSiV、P4410、SM1、PMS 钢等。由于模具加工成形后不再进行热处理，所以可以保证模具具有较高的精度。

⑤ 制造难度与交货期限。由于塑料模具形状复杂，型腔加工困难，因此必须选用加工性能好且热处理变形小的模具材料。一般塑料制件越大，型腔的切削加工量也越大。当然切削用量越大其切削力也越大。因此对于大制件的塑料模具最好选用易切削钢。当塑料制件较小时，模具型腔体积小，则切削用量与切削力都较小。所以小型模具可选用预硬化型模具钢制造。

由于目前模具制造周期越来越短，采用铸造尤其是精密铸造方法制造塑料模具是缩短制造周期的有效方法。因此应选择特别适用于精铸成形的铝合金或锌合金，对于钢制塑料模具，若选用易切削预硬化钢，也可有效缩短模具制造周期。

(2) 塑料模具辅助零件的材料选择 由于塑料模具辅助零件的抛光性、耐腐蚀性等要求均较低，因此可选用常用的普通塑料模具钢，经过科学合理的热处理，其使用性能完全可以达到使用要求。

导向柱与导向套等零件，其主要性能要求是，表面耐磨而心部有较好的韧性，常选用 20、20Cr、20CrMnTi 等钢材，通过渗碳、淬火回火热处理达到使用要求。

对于型芯、型腔件等部件，要求有较高的强度、耐磨性、耐腐蚀性，同时要求淬火后的变形要小，常采用的材料是 3Cr2W8V、35CrMo、T7A、T8A、T10A、45、40Cr、40VB、40MnB 及球墨铸铁。

主流道衬套部件的性能要求是表面耐磨、耐蚀，还应具有一定的热硬性，常用的材料是：20、T8A、T10A、9Mn2V、CrWMn、9SiCr、Cr12、3Cr2W8V、

35CrMo 等材料。

顶杆、拉料杆、复位杆在性能上要求具有一定强度和耐磨性，常用的材料是 T7A、T8A、45 钢等。

各种模板、顶出板、固定板支架等要求具有较好的综合性能，常用的材料是 45、40MnB、40MnVB、球墨铸铁等钢材。

3.4.2 塑料模具的热处理

由于塑料模具与其它模具在很多方面有所不同，对塑料模具要求也较高。

(1) 热处理的基本要求

① 工作硬度适中，强度应足够。根据塑料模具的工作条件，热处理后的模具应获得适中的硬度且具有足够的韧性。

对于形状简单加工无机填料的塑料，工作硬度为 56~60HRC；形状简单的小型高寿命塑料模具，工作硬度为 54~58HRC；形状复杂、精度高、要求淬火微变形的塑料模具，工作硬度为 45~50HRC；软质塑料注射模具，工作硬度为 280~320HBS；一般压铸模具、高强度热塑性塑料注射模，工作硬度为 52~56HRC。

② 淬火后模具的变形应尽量小。为达到塑料模具精度要求，热处理后模具的变形必须非常小。淬火时应首先考虑防止模具型腔发生翘曲变形，因此对变形量有一定限制，具体变量与材料和模具尺寸有关。

当模具尺寸在 260~400mm 时，碳钢制成的模具允许变形为：+0.2、-0.3；低合金工具钢制成的模具允许变形为：+0.15、-0.2；优质渗碳钢制成的模具允许变形为：+0.15、-0.08。

当模具尺寸在 110~250mm 时，碳钢制成的模具允许变形为：+0.15、-0.20；低合金工具钢制成的模具允许变形为：+0.10、-0.15；优质渗碳钢制成的模具允许变形为：+0.10、-0.05。

当模具尺寸小于或等于 110mm 时，碳钢制成的模具允许变形为： ± 0.10 ；低合金工具钢制成的模具允许变形为： ± 0.06 ；优质渗碳钢制成的模具允许变形为： ± 0.04 。

③ 表面无缺陷且易抛光。由于塑料模具型腔表面的表面粗糙度值要求较低，在热处理过程中应特别注意保护型腔表面，避免出现热淬火留下的氧化皮痕迹，表面受侵蚀、脱碳或增碳等，否则将给下一步抛光工序造成困难或无法抛光。

④ 有较高强度要求。由于热固性塑料模具受载大，且受热时间长，受压成周期性变化，因此模具在热处理后，必须保证具有足够的抗压塌和抗褶皱的能力，即保证强度要求。

(2) 塑料模具的热处理工艺 热处理方法应根据材料的不同而采取相应的热处理方法。

① 渗碳钢塑料模具的热处理。为使塑料模具成形件或其它摩擦件有较高的硬度、耐磨性及韧性且在工作过程中不致脆断。所以应选用渗碳钢制造，处理时必须将渗碳、淬火和低温回火作为最终热处理。

渗碳应严格按照处理工艺规范进行，压制含硬质填料的塑料时，模具的渗碳层厚度要求为 1.3~1.5mm；压制软性塑料时，其渗层厚度为 0.8~1.2mm；带尖角、薄边等模具，渗层厚度为 0.2~0.6mm。渗碳层的含碳量以 0.7%~1.0% 为宜，渗层组织中应避免出现粗大的未熔碳化物、网状碳化物、过量的残余奥氏体等。

渗碳工艺以采用分级渗碳工艺为宜，具体工艺是：900~920℃保温 1~1.5h 进行高温快速渗碳，而在 820~840℃保温 2~3h 渗碳以增加渗碳层厚度。

对于碳素渗碳钢模具，分级渗碳后需重新加热淬火；对于优质碳素钢模具，分级渗碳后可直接空冷淬火，但应注意此工艺会使型腔表面氧化，应在通入压缩氮气的“冷井”中空冷，以保护表面防止氧化。

对于低碳钢和工业纯铁冷挤压成形的小型精密模具，单用渗碳淬火处理硬度和耐磨性往往是不够的，还应用中温碳、氮共渗后直接淬入温度为 100~120℃ 的热油中冷却，这样会使硬度提高，变形减小。

② 淬硬钢塑料模具的热处理。本类钢材热处理应注意两点：其一，形状比较复杂的模具，在粗加工后就进行热处理时，必须保证热处理后的变形尽量小，特别是精密模具的变形应小于 0.05%；其二，注意保护型腔面的表面光洁，力求通过热处理使金属内部组织达到均匀。为保证上述要求，热处理时应采取适当的工艺措施。

a. 淬火加热应在保护气氛炉中或在严格脱氧后的盐浴炉中加热，由于模具多为单件生产，若采用普通箱式电阻炉加热，应在模腔面上涂加保护剂。

b. 在淬火加热时，为减小应力必须控制加热速度。特别是对于合金元素含量多、传热速度较慢的高合金钢和形状复杂、断面厚度变化比较大的模具零件，一般要经过 2~3 级的预热。

c. 在淬火冷却时，为减小热应力，在淬硬的前提下应尽量缓冷，如对合金工具钢多采用热浴等温淬火或预冷等温淬火等。

d. 淬火后应及时回火，回火温度一定要高于模具的工作温度，同时应避免可能出现回火脆性的温度区间。回火时间应足够长，以免因回火不充分使模具出现堆塌变形，回火时间应视模具材料和断面尺寸而定，通常应在 40~60min 范围内。常用淬硬钢塑料模具的推荐淬火加热温度及淬火介质的选择见表 3-7。

表 3-7 常用淬硬钢塑料模具的推荐淬火加热温度及淬火介质的选择

钢 牌 号	预热温度/℃	加热温度/℃	恒温预冷温度/℃	冷却介质	硬度(HRC)
T7A	未入盐浴加热 前均在箱式炉中 经过 250~300℃ 烘烤 1~1.5h;	780~800 淬火	730~750	—	—
		810~830 淬碱			
40Cr	若用箱式炉加热 淬火,则加热温 度普遍应提高 10~20℃	820~860	760~780	—	—
T10A		760~780 淬火	730~750	—	—
		800~820 淬碱			
Cr2、GCr15		820~840	730~750	—	—
9Mn2V		780~800	730~750	—	—
9CrWMn、MnCrWV		800~820	730~750	—	—
5CrNiMo	840~860	730~750	—	—	
5CrW2Si	860~880	860~880	—	—	
Cr12MoV	800~820	960~980	830~850	—	—
Cr12MoV、Cr6WV	—	—	—	二元硝酸盐、冷气	56~60
45Cr2Ni-MoVSi	—	—	—	二元硝酸盐、冷气	56~60
合金结构钢	—	—	—	中温碱浴、热油	52~56
合金工具钢	—	—	—	二元硝酸盐、冷气	52~56
碳素工具钢	—	—	—	三元硝酸盐	45~50
	—	—	—	低温碱浴	52~56

③ 预硬钢塑料模具的热处理。预硬钢是指供货状态，一般不需热处理可直接加工使用。但有时需要对所供应的材料进行改锻，改锻后的毛坯必须进行热处理。预硬钢的预先热处理通常采用球化退火，其目的是消除锻造应力，获得均匀的球状珠光体组织，以降低硬度提高塑性，改善模具的切削加工性能或冷挤压成形性能。下面介绍几种典型预硬钢材的热处理工艺过程。

a. 3Cr2Mo 钢的退火工艺：760~790℃加热保温→小于 8℃/h 缓冷，其硬度可达 183~217HBS；预硬处理工艺：加热温度 830~840℃，采用油冷或 160~180℃硝酸盐分级，回火温度为 580~650℃，预硬硬度为 28~36HRC。

b. 5NiSCa 钢的退火工艺：760~780℃加热保温 2~4h→炉冷至 680~700℃等温 4~6h→炉冷至 500℃出炉，其硬度不高于 229HBS；预硬处理工艺：加热温度 880~930℃，采用油冷，回火温度为 550~680℃，预硬硬度为 30~45HRC。

c. 8Cr2MnWMoVS 钢的退火工艺：790~810℃加热保温 2h→炉冷至 700℃等温 4~6h→炉冷至 550℃出炉空冷，其硬度不高于 229HBS；预硬处理工艺：加热温度 860~900℃，采用油冷或空冷，回火温度为 550~620℃，预硬硬度为

42~48HRC。

d. P4410 钢的退火工艺：750~780℃加热保温→650~700℃等温 2~4h→炉冷至 500℃出炉空冷，其硬度不高于 255HBS；预硬处理工艺：加热温度 830~860℃，采用油冷或硝酸盐分级，回火温度为 550~650℃，预硬硬度为 35~41HRC。

e. SM1 钢的退火工艺：800℃加热 2h→炉冷至 600℃等温 3~4h→炉冷至 550℃出炉空冷，其硬度不高于 200HBS；预硬处理工艺：加热温度 830~850℃，采用油冷，回火温度为 620~660℃，预硬硬度为 36~42HRC。

④ 时效硬化钢塑料模具的热处理。该种钢热处理分两个基本工序，其一是固溶处理，即钢加热到高温，使各种合金元素溶入到奥氏体中，完成奥氏体化后淬火获得马氏体组织；其二是进行时效处理，利用时效强化达到最后要求的力学性能。

固溶处理一般在盐浴炉、箱式炉中进行，加热系数分别为 1min/mm、2~5min/mm，淬火采用油冷，淬透性好的钢种也可空冷。如果锻造模坯时能准确控制终锻，锻造后可直接进行固溶淬火。

时效处理最好在真空炉中进行，若在箱式炉中进行，为防模腔表面氧化，炉内需要接通保护气氛或用氧化铝粉、石墨粉、铸铁屑，在装箱条件下进行时效。装箱保护加热要适当延长保温时间，否则难以达到时效效果。下面介绍常见时效硬化塑料模具钢的热处理工艺规范。

a. 06Ni6CrMoVTiAl 钢固溶处理工艺：800~850℃油冷；时效处理工艺：510~530℃保温 6~8h，时效硬度为 43~48HRC。

b. PMS 钢固溶处理工艺：800~850℃空淬；时效处理工艺：510~530℃保温 3~5h，时效硬度为 41~43HRC。

c. 25CrNi3MoAl 钢固溶处理工艺：880℃水淬或空冷；时效处理工艺：520~540℃保温 6~8h，时效硬度为 39~42HRC。

d. SM2 钢固溶处理工艺：900℃保温 2h→油冷→700℃等温 2h；时效处理工艺：510℃保温 10h，时效硬度为 39~40HRC。

e. PCR 钢固溶处理工艺：1050℃固溶空冷；时效处理工艺：460~480℃保温 4h，时效硬度为 42~44HRC。

⑤ 塑料模具表面处理工艺。对塑料模具进行表面处理的目的是，提高表面的耐磨性和耐蚀性。常用的方法如下。

a. 镀铬是最常用的表面处理方法，镀铬层在大气中具有强烈的钝化能力，可长久保持金属光泽，在多种酸性介质中均不会发生化学反应。镀层硬度一般可达 1000HV，因此具有很强的耐磨性。镀层还具有很高的耐热性，在空气中加热到 500℃时其外观和硬度仍无明显变化。

b. 渗氮也是模具常用的表面处理方法，其特点是处理温度低，模具变形小

且渗层硬度高。含有铬、钼、铝、钒等合金元素的钢种比碳钢有更好的渗氮性能，用作塑料模具时可大大提高耐磨性。

c. 其它表面处理方法有：碳氮共渗，化学镀镍，离子镀氮化钛、氮化钛或碳氮化钛，等离子化学气相沉积（PCVD）法沉积硬质膜或超硬膜等。

3.4.3 塑料模具热处理实例

(1) PMS 钢制磁带内盒模具热处理 盒式录音磁带内盒模具常用的材料有瑞典 718 钢或日本的 NAK55 钢，当选用 PMS 镜面塑料模具钢制造时，其成形加工性能和镜面抛光性能等完全能满足各种精密塑料模具的特殊要求，而且镜面性能和模具寿命高于 NAK55 钢，热处理工艺包括以下内容。

① 锻造工艺。锻造时加热温度为 $1130 \sim 1160^{\circ}\text{C}$ ，始锻温度为 $1100 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，终锻温度为 850°C ，锻后灰冷。

② 固溶处理。用箱式电阻炉加热，具体工艺：加热温度为 $840 \sim 860^{\circ}\text{C}$ ，保温时间可按 $2.5\text{min}/\text{mm}$ 计算。固溶后空冷，硬度可达 $30 \sim 35\text{HRC}$ 。

③ 时效处理。零件在加工成形后进行时效处理，其基本工艺过程是：时效温度为 $490 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，保温时间为 6h，时效硬度为 $38 \sim 45\text{HRC}$ ，其变形率小于 0.05% 。

时效处理后经人工研磨抛光，表面粗糙度 R_a 值可达 $0.025 \sim 0.012\mu\text{m}$ ，光亮度比 45 钢有明显提高，且抛光时间缩短近 $1/2$ ，模具寿命比进口模具提高 1 倍以上。

(2) 12CrNi3A 钢制对开胶木模具的热处理 该模具热处理工艺是采用 910°C 恒温渗碳，保温后随炉（气体渗碳）或随箱（固体渗碳）降温到 $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ ，取出悬挂或架空摆放，用风扇冷却至室温。对于模膛抛光性要求高的也可悬挂于通有压缩氨气的冷井中冷却。风冷淬火后在 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 回火 $2 \sim 4\text{h}$ ，处理后硬度为 $53 \sim 56\text{HRC}$ ，变形较小，对合面间隙小于 0.05mm 。该种模具最终热处理工艺见图 3-5。

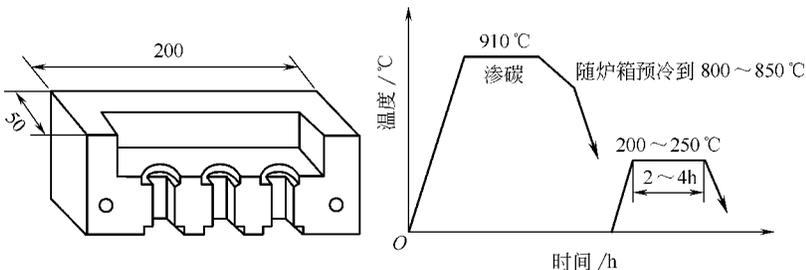


图 3-5 钢制对开胶木模具最终热处理

(3) WH111 电位器外壳凹模的热处理 电位器外壳凹模用冷挤压法成形, 采用 DT1 和 DT2 工业纯铁经渗碳淬回火使用时, 因基体强度低, 在实际使用时表层产生塌陷或剥落使其寿命很低。且淬火时还会出现型腔变形大、尺寸精度不能达到使用要求的问题。若采用 LJ 钢制造, 经加热至 930℃, 保温 6h 的固体渗碳, 然后冷至 850~870℃油淬, 再经 220℃回火, 保温 2h 的处理, 可获得满意的使用效果。

3.5 其它模具材料钢常用的热处理工艺

在实际生产中, 除金属制件的模具外还有诸如玻璃、陶瓷等制件的模具。该种模具的结构一般都比较复杂且工作条件较差, 因此制造要求高。合理地选择制造模具的材料, 是保证模具制造质量、提高模具使用寿命及产品质量的基本条件。

3.5.1 玻璃模具材料的热处理

(1) 玻璃模具材料的选用 模具的质量直接影响到玻璃制品的外观和生产成本, 质量高超的玻璃模具具有很好的抗氧化能力及热导率, 耐冷热疲劳强度和耐磨性也很好。线胀系数小, 易切削且价格低廉。

玻璃模具的使用寿命与模具本身的材质、结构、加工质量、料滴的成分、玻璃熔化温度、制品的形状、尺寸公差等因素有关。

我国的玻璃制品企业中, 普遍使用普通灰铸铁, 使用寿命为 7.5 万~12 万次/模。国外玻璃成形所用材料主要为耐热铸铁、合金钢或合金工具钢, 经表面处理, 其模具寿命高达 40 万~50 万次, 国内模具寿命与之差距很大。

近几年, 我国许多单位研制出了各种新型玻璃制品的模具材料, 使模具寿命普遍提高, 下面介绍显像管玻壳和玻璃瓶成形模具材料。

① 显像管玻壳模具材料。显像管玻壳模具的质量和使用寿命直接影响玻壳和显像管的质量、寿命和生产成本。

显像管玻壳模具的工作条件: 玻壳材料中含有多种物质, 有些会对模具产生严重的腐蚀作用; 工作温度高, 模具表面温度可达 600~700℃; 模具冷热交替频繁, 显像管成形脱模后, 应对模具吹风冷却, 使温度迅速降至 420~430℃。因此模具始终在急冷急热状态下工作。

玻壳模具材料的性能要求: 具有较好的耐冷、耐热疲劳和耐热冲击能力; 具有较好的抗高温氧化和耐蚀能力; 具有较低的线胀系数; 具有良好的热导率, 易于散热, 减少粘模以易于脱模; 具有较好的铸造、切削、磨削等加工性能。

常用的玻壳模具材料: 国内常用的材料有不锈钢, 主要包括 1Cr18Ni9Ti、1Cr13、3Cr13、4Cr13、4Cr13Ni、Cr25Ni20Si2 等, 其中最常用的是 4Cr13Ni;

热作模具钢，主要包括 3Cr2W8V、3Cr3Mo3Co3V 等钢。

② 玻璃瓶成形模具材料。当采用 HT200 材料时其模具的失效形式是氧化、倒棱及变形。为提高模具的使用寿命，近几年又开发出新型铸铁以替代 HT200 材料，包括：低锡铸铁、铜铬铸铁、中硅稀土、低锡蠕铁及低铝蠕铁等。

(2) 玻璃制品模具材料的热处理工艺 玻璃模具实际制造中包括铸造工艺、热处理工艺及表面处理工艺。

① 铸造工艺。铸造时应使工作表面朝下放置，以防止在工作表面附近出现砂眼和气孔。合理设计冒口以利于补缩。造型时要用面砂以保证模具质量。为保持冷却速度的相对一致，可在型砂中放置冷铁，浇注温度一般在 1500℃ 左右。

② 热处理工艺。铸造后应立即在 700℃ 回火 2 次，回火后硬度为 24HRC。也可将铸造模具进行 1000℃ 淬火后，再进行 700℃ 回火 2 次，回火后硬度为 25HRC。

③ 表面处理工艺。为提高玻璃制品的质量和模具寿命，可在模具型腔中镀铬。镀层硬度为 800~1200HV，耐磨性好且镀层光亮。镀层与模具表面结合力强，可用于玻璃模具的表面防护层，以改善其表面性能。镀层厚度可达 0.01~0.02mm，经镀铬处理后的模具，可再生产一级品玻壳。

(3) 玻璃制品模具表面的热处理 实际生产中，若玻璃料的温度控制不稳定或合模时调整不当，很容易出现夹料、卡料等现象，使模具的合缝线易倒棱。使制品表面出现合缝线印迹而影响表面质量。因此应当沿模具的合缝线进行表面强化处理。常用的方法是喷焊合金粉末和高频感应加热淬火表面强化。

① 玻璃模具热喷焊表面强化处理。热喷焊的最新工艺是采用合金粉末的氧-乙炔火焰喷焊技术。喷焊的材料是 NiCr-12 自熔合金粉末，喷焊设备采用 SYE-E 火焰喷枪，该工艺的特点是：喷焊设备简单，成本低廉，操作方便；喷焊层对被焊金属的适应性强，被焊金属不熔化，喷焊层几乎不受被焊金属化学成分的影响；喷焊层与被焊金属之间的结合强度高。

玻璃模具的氧-乙炔喷焊工艺如下。

a. 确定喷焊位置。喷焊位置应是模具最易受损的部位，易损位置与材料有关，如 3Cr2W8V 钢制玻璃镜片模具的损坏特点是外圆周围面。由于高温氧化和拉伤，合模口边缘压塌而使模具报废，因此只对圆柱面进行喷焊，其它部位可不进行表面处理。模具的具体喷焊位置如图 3-6 所示。

b. 确定喷焊层厚度。因喷焊层与被焊金属之间的结构强度高，所以喷焊层厚度可在 0.2~3mm 范围内选择。

c. 喷焊层材料的确定。国内选用较多的是 NiCr-12 自熔合金粉末材料，其熔点是

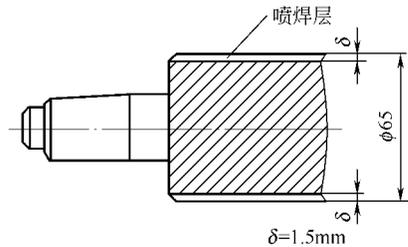


图 3-6 喷焊位置示意图

1070℃，喷焊层的硬度为 42HRC。喷焊层热硬性好，抗氧化能力强，具有良好的喷焊工艺。

d. 模具材料的确定。玻璃模具采用热喷焊处理时，应采用 QT420-15 稀土球墨铸铁材料较为理想。

e. 喷焊处理程序的确定。基本的处理程序是：清除表面污物→预热处理（200~250℃）→喷敷处理→重熔处理→冷却处理→机械加工。

清理的目的是清除模具表面的油污与氧化物，增强喷焊层与基体的结合强度；重熔是重要的工序，是将喷涂层加热到合金的熔点范围使其熔融，并与模具基体金属冶金反应形成合金层。

② 玻璃模具高频感应加热表面淬火强化处理。高频感应加热表面淬火强化处理是利用电磁感应原理对模具表面进行快速加热，然后利用模具本身热传导或喷水冷却的方法进行表面淬火。

高频感应加热表面淬火强化处理基本工艺：感应加热时所用感应圈（矩形铜管）的几何形状是沿成形模具的合缝线仿形制成的。常用的工作频率为 20~30kHz，其有效淬硬厚度为 0.5~2mm。

玻璃模具沿合缝线表面淬火强化后，减少了合模面的变形，进一步提高材质的热导率。

高强度的合缝线硬度，良好的加工性能，延长了一次上机的连续使用寿命。

高频感应加热表面淬火强化的特点：感应加热速度快，淬火加热的温度高；模具的强韧性好，既有表面所需的高硬度、耐磨性和抗疲劳强度，而心部仍保持较好的韧性；模具表面质量好，没有氧化和脱碳现象且变形小。

3.5.2 陶瓷模具材料的热处理

(1) 陶瓷模具材料的选用 陶瓷模具用于各种陶瓷、耐火材料制品及磨料模具的压制成形。模具质量直接影响制品的外观和生产成本。模具选材的主要依据是模具的工作条件、形状的复杂程度、尺寸大小及精度等因素。

陶瓷模具使用的材料很广泛，石膏、金属、非金属材料及复合材料等都可用于制造模具。但使用较多的是碳素工具钢、低合金工具钢、高碳高铬钢高速工具钢及硬质合金。一般形状简单的小型陶瓷模具可选用 T10A、T12A 钢；形状复杂、尺寸精度要求高的小型陶瓷模具可选用 CrWMn、Cr12MoV、5CrNiMo、Cr12 钢等；形状简单的中、大型陶瓷模具可选用 CrWMn、9Mn2V、GCr15、9CrSi、5CrNiMo 钢等；形状复杂、耐磨性要求极高的陶瓷模具，可选用 YG15、YG20、GW50、DT 合金等钢。目前最常用的是陶瓷墙地砖粉末成形模具，下面重点介绍陶瓷墙地砖粉末成形模具的选材。

根据陶瓷墙地砖粉末成形模具的工作特点与对材料性能的要求，实际生产中

常选用的材料包括：T10A、T12A、CrWMn、5CrNiMo、9CrSi、9MnV、GCr15、Cr12、Cr12MoV、W18CCr4V、YG15、YG20、YE50 等。综合上述各种材料的特性，以及国内外模具材料情况，墙地砖自动压铸型腔部分应优先采用 Cr12MoV 材料。

(2) Cr12MoV 钢模具的热处理工艺 Cr12MoV 钢模具在制造工程中，首先按常规锻造工艺进行三次镦粗拔长。锻造后应进行退火处理（使硬度为 255HBS）以利于加工。

模具的加工过程包括：车削、铣削、磨削及抛光处理等。特别应重视磨削加工，因为：其一，砂轮本身不可太硬，一般采用单晶刚玉砂轮进行磨削；其二，进刀量不能过大，通常控制在 0.005~0.001mm 范围内；其三，应充分冷却。注意到上述三点就可避免在磨削中烧伤模具表面而产生磨削裂纹。磨削后应在 150~160℃ 的油中低温回火以便消除内应力。

该种模具在实际生产中可采用 2 种淬火和回火的处理工艺（在盐浴炉中的处理），如图 3-7 所示。选择何种处理工艺主要取决于模具的使用要求，当模具要求变形小韧性高时，可用低温淬火和低温回火，当淬透性、热硬性要求较高时，可选择高温淬火和高温回火。

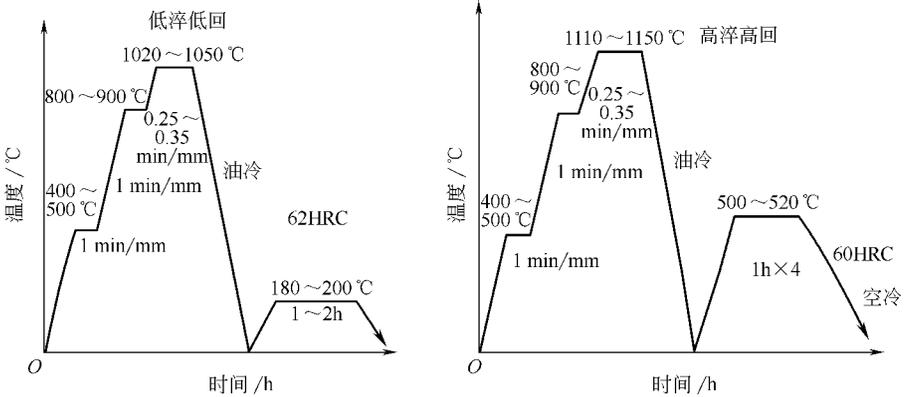


图 3-7 Cr12MoV 钢高、低温淬火与回火的处理工艺图

陶瓷墙地砖粉末成形模具的主要失效形式是磨损，因此为提高使用寿命，应对工作表面进行强化处理。实际生产中常用的方法是气体氮碳共渗，处理后的表面硬度可达 900HV，模具表面的耐磨性得以显著提高。

3.6 模具表面处理工艺

对于模具而言，其工作部位主要是内表面。因而，内表面的质量将直接影响到制件的质量。根据实际使用统计，模具失效 80% 以上为表面损伤，其形式是：

磨损、疲劳及腐蚀等。

模具表面处理的目的是提高表面硬度，改善表层化学成分和组织。通过表面处理可以提高耐磨性、耐蚀性、抗黏附性、抗疲劳性等。

模具表面处理方法很多，具体方法可分为三类。其一是“不改变表面化学成分的方法”，该方法包括：表面淬火，激光表面强化处理，加工硬化，电子束表面处理等；其二是“改变表面化学成分的方法”，该方法包括：渗氮、渗碳、碳氮共渗、渗硼和离子注入等；其三是“表面形成覆层的方法”，该方法包括：电镀、化学镀、气相沉积、TD处理方法、热喷涂涂覆和热浸镀等。前两种方法称为“化学热处理”而后一种称为“表面覆盖技术”。

3.6.1 改变表面化学成分的表面处理

化学热处理是将金属或合金工件置于一定的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入工件表面并向内扩散，以改变其化学成分、内部组织和性能的热处理工艺。

(1) 渗氮、渗碳、渗硫、渗硼处理

① 渗碳。模具在渗碳介质中加热，使钢的表面渗入碳元素的热处理过程称为渗碳。渗碳表面硬度、耐磨性和疲劳强度都得以提高，但心部仍有一定的强度和韧性。渗层的含碳量为 0.85%~1.05%，经淬火后硬度可达到 60~62HRC。

渗碳工艺可分为固体渗碳、液体渗碳、气体渗碳、离子渗碳和真空渗碳等方法。现以固体和气体渗碳说明该处理工艺过程。

固体渗碳采用的渗碳剂是木炭加催化剂（碳酸钡或碳酸钠），其比例是 9:1；气体渗碳采用煤油或丙酮。加热温度一般为 900~950℃，常用的温度范围是 920~930℃。但对于高合金钢，渗碳温度应控制在 1000~1150℃ 范围内。保温时间取决于渗碳层厚度和渗碳温度，通常情况下保温时间可按 0.10~0.15mm/h 估算；气体渗碳保温时间可按 0.15~0.17mm/h 估算。合金钢渗碳后可直接淬火，但碳素钢和高温渗碳，应采用一次加热淬火以细化奥氏体晶粒。

② 渗氮（氮化）。渗氮是在一定温度下（ A_{c1} 以下），使活性氮原子渗入到模具工作表面并向内扩散，形成氮化物层的工艺过程。

渗氮可获得较高的表面硬度（1000~1200HV）和耐磨性，并能保持到 600℃ 左右而无明显下降；具有较好的抗疲劳强度和耐蚀性；渗氮处理的温度较低且不再进行其它热处理，所以工件变形小，适合于精密模具的表面强化处理；渗氮层厚度小于 0.7mm，脆性较大，因此只适合于含铬、钼等合金钢。

目前主要应用的渗氮方法是气体渗氮和离子渗氮两种。

气体渗氮是将已经除油净化了的模具零件置于通有氨气的井式渗氮炉内，加

热至渗氮温度后保温，氨在加热温度下将分解出活性氮原子，被工件表面吸收而形成固溶体和氮化物。

渗氮工艺分为一段、二段和三段渗氮法。其中一段渗氮法是在 480~530℃ 的温度范围内，长时间保温的渗氮过程；二段渗氮法是先采用较低的温度，通常为 490~530℃ 渗氮一段时间，然后提高渗氮温度（提高到 530~560℃），再渗氮一段时间。二段渗氮是目前生产中普遍采用的方法，与一段渗氮法相比其优点是渗氮速度快，渗氮层脆性小，缺点是渗层硬度低。

三段渗氮法是指在三个不同的温度段，分别进行渗氮的处理过程。第一阶段的渗氮温度在 490~520℃ 范围内；第二阶段的渗氮温度在 560~600℃ 范围内；第三阶段的渗氮温度在 520~540℃ 范围内。此方法具有较高的渗氮层硬度和较短的渗氮周期，但渗氮层组织比较粗大。

渗氮保温时间较长，具体时间则取决于对渗层厚度的要求和渗氮温度的高低，一般为 10~30h。若采用二段渗氮法时，可按 0.01~0.012mm/h 计算。

下面介绍几种典型材料制成的模具的渗氮工艺规范。

30CrMnSiA 钢采用一段表面处理法，渗氮温度为 500℃ ± 5℃，保温时间为 25~30h，氨分解率为 20%~30%，渗氮层厚度为 0.2~0.3mm，表面硬度大于 58HRC。

Cr12MoV 钢采用二段处理法，第一阶段的渗氮温度为 480℃，第二阶段的渗氮温度为 530℃。第一阶段的保温时间是 18h，第二阶段的保温时间是 25h。第一阶段氨的分解率为 14%~27%，第二阶段氨的分解率为 36%~60%。渗氮层厚度小于或等于 0.2mm，表面硬度为 720~860HV。

40Cr 钢若采用一段法，渗氮温度为 490℃，保温时间为 24h，氨的分解率为 15%~35%，渗氮层厚度为 0.2~0.3mm，表面硬度大于或等于 600HV。若采用二段法，第一阶段的渗氮温度是 480℃ ± 10℃，保温时间为 20h，氨的分解率为 20%~30%，渗氮层厚度为 0.3~0.5mm，表面硬度大于或等于 600HV。第二阶段的渗氮温度为 500℃ ± 10℃，保温时间是 15~20h，氨的分解率为 50%~60%，其它则和第一阶段相同。

4Cr5MoV1Si(H13) 钢，采用一段处理法，其渗氮温度为 530~550℃，保温时间为 12h，氨的分解率为 30%~60%，渗氮层厚度为 0.15~0.2mm，表面硬度为 760~800HV。

离子渗氮是辉光离子渗氮的简称，该方法是将被渗氮的工件放在密闭的真空容器，在内加热到 350~570℃，真空度为 2.6Pa，充入一定比例的氮、氢混合气体或氨气，其气压在 70Pa 左右。其工作原理如图 3-8 所示，工件作为阴极，在真空容器内相对一定的距离设置阳极，在两极加以 400~1000V 直流电压，使之产生辉光放电，根据渗氮温度的不同电流密度一般为 0.5~3mA/cm²，在高压电

场作用下气体介质发生电离而产生高能离子，并以极高的速度轰击工作表面，使氮离子转换为氮原子而渗入工作表面，然后经过扩散形成渗氮层。由于氮气电离发生浅紫色辉光，因此称为辉光离子渗氮。

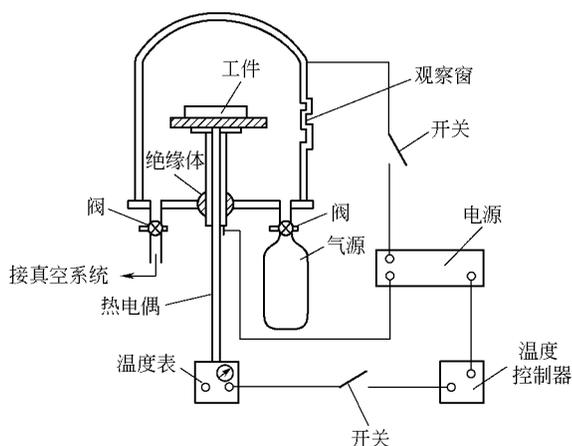


图 3-8 离子渗氮原理图

与气体渗氮相比较，离子渗氮层的韧性和抗疲劳强度显著提高，且渗氮速度快，获得同样厚度渗层只需气体渗氮时间的 $1/4 \sim 1/2$ ；对材料的适应性强，各种钢材、铸铁和有色金属都能进行离子渗氮。常用模具钢的离子渗氮工艺见表 3-8。

表 3-8 常用模具钢的离子渗氮工艺

模具名称	模具用材	离子渗氮工艺	模具名称	模具用材	离子渗氮工艺
冲头	W18Cr4V	500~520℃, 6h	冷挤压模	W6Mo5Cr4V2	500~520℃, 2h
铝压铸模	3Cr2W8V	500~520℃, 6h	压延模	Cr12MoV	500~520℃, 6h
热锻模	5CrMnMo	480~500℃, 6h			

③ 渗硫。拉深模具、挤压模具等常在干摩擦条件下工作，因此要求模具工作表面具有较小的摩擦因数。渗硫可在钢铁材料表面生成很薄的 FeS 薄膜，以降低摩擦因数而提高抗咬合性能。

常用的渗硫方法是“低温电解渗硫”，具体处理工艺是，首先对模具表面进行除污除油处理，然后将其放入装有盐浴电解液的坩锅中，盐浴电解液配方为 $KSCN75\% + NaSCN25\%$ ，盐浴电解液温度一般控制在 $180 \sim 190^\circ\text{C}$ 范围为宜。零件与电源负极相接，坩锅与电源正极相接。工作电压为 $0.8 \sim 4\text{V}$ ，保温时间是 $10 \sim 30\text{min}$ 。经处理后钢件表面可获得 $0.006 \sim 0.08\text{mm}$ 厚的渗硫层。

渗硫后的模具材料，表面硬度可达 $70 \sim 100\text{HV}$ ，渗层具有良好的耐磨性和

抗咬合能力。例如，Cr12 钢制成的 M8 螺母模具，经固体渗硼处理后寿命为 25000~30000 次；在渗硼的基础上进行离子渗硫处理，其寿命可达 100000 次，且克服了粘模现象。

④ 渗硼。渗硼是将工件置于含硼的介质中，经过加热与保温使硼元素渗入工件表面，形成 FeB 和 Fe₂B 化合层的工艺过程。渗硼后的模具具有硬度高 (1290~2300HV)，耐磨性好，耐热、热硬性及耐蚀性高等特点。在 600℃ 高温下材料表层可不发生氧化，该温度以下可正常工作；在 600~800℃ 工作时硬度不降低。但渗硼层的脆性大，工件在承受强大的冲击载荷时，很容易发生渗层剥落与开裂。

渗硼方法有固体渗硼、液体渗硼和气体渗硼等，应用较多的是固体和液体渗硼法。

固体渗硼剂各种物质的组成比例：硼铁合金占 20%~30%，Al₂O₃ 占 60%~70%，KBF₄ 占 5%，NH₄CO₃ 占 5%；处理温度为 900~1000℃，保温时间为 1~5h，此工艺质量稳定，操作方便。

液体渗硼分为盐浴渗硼和电解盐浴渗硼两种方式，盐浴渗硼所用的渗硼剂主要由硼砂加脱氧剂组成。渗硼温度为 900~1000℃，渗硼时间为 2~6h，可获得 0.04~1.2mm 的渗层；电解盐浴渗硼，以浸在熔融硼砂中的工件作阴极，石墨坩埚作阳极，电流密度为 0.15~0.2A/cm²，处理温度为 930~950℃，时间为 2~6h，渗层厚为 0.15~0.35mm。电解渗硼速度快，渗层深，易调节，但盐浴黏稠性大，工件清洗困难，坩埚寿命短。

工件渗硼后，应进行淬回火处理。处理时基体发生相变，而硼化层不发生相变，因此渗层易开裂。故要尽量使用缓和的淬火介质并及时回火。

渗硼适用于各种成分的钢，它用于多种冷作、热作模具。但由于渗硼温度高，零件变形大，因此限制了其在高精度模具上的应用，模具各种零件渗硼前后效果比较见表 3-9。

表 3-9 模具各种零件渗硼前后效果比较

模具种类与零件用材	渗硼方法	加工工件	渗硼效果
冲模, Cr12MoV	粉末渗硼	冰箱材料	渗硼前 2000 件;后 20000 件
滚丝, GCr15	粉末渗硼	铁钉	寿命可提高 12 倍
压制, GrWMn	盐浴电解渗硼	硬磁材料	渗硼前 5~6 次;后 20 万~30 万次
冷挤, W12Mo3Cr4V3N	真空粉末渗硼	螺母	渗硼前 1~2 次;后 30 万次
挤出, 4Cr5MoSiV1	盐浴电解渗硼	铝型材	寿命可提高 2.5~4.5 倍
热锻, 5CrMnMo	粉末渗硼	连接环	渗硼前 1000 件;后 4000 件
冷镦, Cr12MoV	粉末渗硼	六角螺母	寿命可提高几十倍
冷冲, GD 钢	粉末渗硼	螺母	渗硼前 0.3 万~0.5 万件;后 4 万~6 万件
热挤, 4Cr3Mo3W2V	粉末渗硼	通用件	寿命可提高 5~10 倍

(2) 多元共渗及复合渗处理 多元共渗是将工件表层渗入多于一种元素的化学热处理工艺，实际生产中应用较多的多元共渗有：碳氮共渗、氮碳共渗、硼硫复合渗、硫氮碳共渗等。

① 碳氮共渗。在一定温度下，向工件表层同时渗入碳和氮，并以渗碳为主的化学热处理工艺称为碳氮共渗。根据共渗介质的不同，可分为固体法、气体法和液体法，实际生产中常用的是气体碳氮共渗法。

气体碳氮共渗的特点是：共渗层力学性能兼顾了渗碳层和渗氮层的优点；工件变形小；共渗速度明显大于单独渗氮或单独渗碳的速度。

气体碳氮共渗所用的气体实际是渗氮和渗碳用的混合气体，目前国内常用的方法是在井式气体渗碳炉中滴入煤油，使其分解出渗碳气体，同时向炉中通入渗氮所需的氨气。

共渗温度随钢的类型而定，一般在 $820\sim 870^{\circ}\text{C}$ 范围内选择，碳氮共渗时间在温度一定时，主要取决于所要求的渗层厚度。通常情况下，在 850°C 共渗，渗层厚度为 $0.4\sim 0.5\text{mm}$ 时，共渗时间为 $2\sim 3\text{h}$ ；如果渗层厚度为 $0.6\sim 0.7\text{mm}$ 时，共渗时间为 $4\sim 5\text{h}$ ；渗层厚度为 $0.8\sim 1.0\text{mm}$ 时，共渗时间为 $8\sim 10\text{h}$ 。

碳氮共渗层中碳的含量为 $0.7\%\sim 1.0\%$ ，氮的含量为 $0.15\%\sim 0.5\%$ 。由于碳氮共渗温度比渗碳温度低，共渗后可直接淬火，之后再低温回火。

碳氮共渗适合于基体具有良好韧性，而表面硬度高、耐磨性要求好的模具零件。塑料模具、陶瓷模具中的凸模型芯和凹模等型腔部位零件及冲裁模具的凸模和凹模等零件，其中有些适合于采用碳氮共渗处理。如 45 钢制切边模具，经 820°C 碳氮共渗 4h，淬火且 180°C 回火，其表面硬度可达 970HV，使用寿命可达 16000 件，与 Cr12MoV 钢制的同样模具经类似处理后的使用寿命相同。

② 氮碳共渗。该种工艺是向钢件表面同时渗入氮和碳，并以渗氮为主的化学热处理。由于处理后的渗层脆性小，硬度较渗氮层低，故又称为软氮化。氮碳共渗方法主要有液体法和气体法 2 种，实际生产中常常应用的是气体氮碳共渗法。

气体氮碳共渗的特点是，处理温度低，处理时间短且工件变形小；不受材料种类限制，碳钢、低合金钢、工具钢、铸铁及铁基粉末冶金材料等均可采用此方法处理；处理后表面硬度高（ $800\sim 1100\text{HV}$ ）、强度高，耐磨性、耐疲劳性、抗咬合性、耐磨性及耐蚀性均较好；渗层脆性小，不易脱落，但因渗层薄而不适合重载工作零件。

气体氮碳共渗的工艺是：共渗温度为 $530\sim 570^{\circ}\text{C}$ ，共渗时间为 $1\sim 6\text{h}$ 。

气体氮碳共渗的介质包括以下几种：甲酰胺加尿素（占 $20\%\sim 30\%$ ），50% 的三乙醇胺及 50% 酒精的混合液（采用滴注式共渗），氨气加酒精，100% 尿素等。

确定氮碳共渗温度时，必须考虑工件最终整体热处理的回火温度，例如，高速钢及高铬工具钢的氮碳共渗温度应比回火温度低 5~10℃，最高也与之相同。典型模具气体氮碳共渗工艺与寿命见表 3-10。

表 3-10 典型模具气体氮碳共渗工艺与寿命

模具与用材	氮碳共渗工艺	寿命比较
冷轧花键轧辊, W18Cr4V	甲酰胺, 560℃, 1h	共渗前 200~300 件; 后 1600~2300 件
冷挤压凸模, 6W6Mo5Cr4V	甲酰胺, 560℃, 1.5h	共渗前 1050 件; 后 1 万~2 万件
梭子冷挤压凸模, W18Cr4V	甲酰胺, 560℃, 1.5h	共渗前 1800 件; 后 2.6 万~3 万件
六角螺栓冷墩模, Cr12MoV	尿素气体氮碳共渗	共渗前 2000~3000 件; 后 0.8 万~1 万件
电池壳冷挤压凸模, W18Cr4V	尿素气体氮碳共渗, 560℃, 1h	共渗前 >2 万件; 后 6 万~8 万件
气门口铜热压模, 3Cr2W8V	尿素气体氮碳共渗	共渗前 1 万件; 后 2 万~2.6 万件
六角扳手热锻模, 3Cr2W8V	尿素气体氮碳共渗	共渗前 5000 件; 后 1.5 万件

③ 硼硫复合渗。在高硬度渗硼层（渗硼处理后）的基础上再覆盖一层减摩性、润滑性良好的渗硫层的处理工艺称为硼硫复合渗。

硼硫复合渗的渗硫工艺是低温液体渗硫，在渗硼、淬火、回火和清洗除油后进行，渗硫采用的介质中，硫占 96%，二硫化铜占 4%；熔点为 115℃。在此介质中经 180~200℃，保温 6h 后，渗硫层的厚度约为 5~8μm。

模具经硼硫复合渗后，抗黏着磨损能力和抗擦伤能力明显提高。且消除了渗硼后的内应力，减小了其脆性，使模具寿命进一步提高。

④ 硫氮碳共渗。硫氮碳共渗是将工件置于含有活性 S、N、C 原子介质中，在 500~600℃中保温一定时间，使工件表面同时渗入该三种元素的化学热处理工艺。经过三元共渗的工件表层可获得硫化物的薄表层，氮碳化合物的次表层和扩散层。

硫氮碳共渗层具有很好的减摩、抗咬合、耐疲劳性和耐蚀性能，可广泛用于有色金属挤压模、压铸模、塑料成形模及高精度冷作模具等。常用的三元共渗工艺方法是熔盐法和离子法。

三元共渗处理后的模具具有的特性与材料本身有关。例如，3Cr2W8V 钢制铝型材热挤压模具经常规热处理后，表面硬度为 48~52HRC，热挤压 30~40 个铝锭后，表面将出现磨损、拉毛等现象，若将模具在辉光离子氮化炉中进行离子硫氮碳三元共渗处理，可显著提高其工作寿命。

三元共渗工艺通常采用的是二段法，气源是氨气、酒精、二硫化碳混合气体，共渗温度为 520~540℃。第一阶段仅通入氨气渗氮 2~3h，第二阶段再通入酒精、二硫化碳混合气体进行三元共渗 1h。共渗后表层硬度为 300~400HV，氮碳化合物层硬度为 900HV，可挤压铝锭 300 个以上，且磨损减轻，经修复并

重新共渗后可继续使用。

(3) TD法渗钒、渗铌、渗铬 用熔盐浸镀法、电解法及粉末法进行扩散表面硬化处理的技术称为TD处理法。在实际生产当中应用最多的是熔盐浸镀法在模具表面镀覆VC、NbC、Cr-C等碳化物覆层。TD法渗钒、渗铌、渗铬名称便由此而来。

① 处理的基本方法。将含量为70%~90%的硼砂放入耐热钢坩埚中熔融后，欲镀覆某种碳化物，可向硼砂中相应地添加能形成该种碳化物的物质。如镀覆VC薄膜，则在硼砂浴中加入Fe-V合金粉末或 V_2O_5 金属氧化物粉末；镀覆NbC、Cr-C则在硼浴中加入Fe-Nb、 Nb_2O_5 、Fe-Cr、 Cr_2O_3 合金粉末或金属氧化物粉末。

若用金属氧化物，还需在盐浴中添加Al、Ca、Ti、Fe-Ti、Fe-Al等物质，以保持盐浴的活性，还原出金属活性原子。

TD处理分为直接加热和间接加热两种形式，与普通外热式盐浴炉的结构基本相同。所用坩埚必须是不锈钢制造，使用的加热设备如图3-9所示。

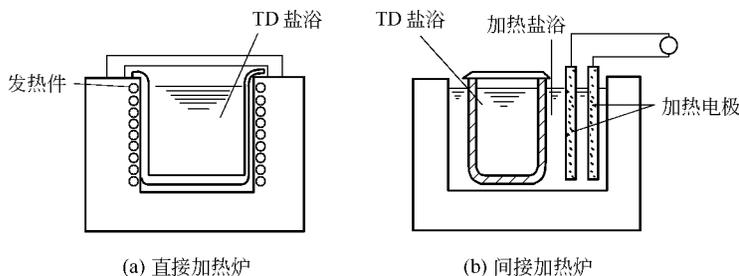


图 3-9 TD处理设备示意图

② 基本特性。与其它在表面形成高硬度的工艺相比，TD处理工艺设备简单，操作方便且成本低。形成的碳化物覆盖层均匀，与模具形状和复杂程度无关；处理后表面粗糙度不会下降。

熔盐浸镀的金属碳化物层具有极高的硬度，如VC的硬度约为3000HV，NbC的硬度约为2500HV，在800℃下也能保持硬度在800HV以上，并且摩擦因数较小，因此耐磨性明显高于渗氮、渗硼、镀铬等单一表面处理，与硬质合金的耐磨性相当甚至更好。碳化物的热稳定性高，抗热黏结和抗咬合性能优良，还具有良好的耐蚀性，可抵抗Al、Zn合金液的浸蚀，铬的碳化物还具有优越的抗氧化性能。经盐浴浸镀法处理得到的碳化物层并不降低材料的韧性且具有良好的抗剥离性。

③ 基本应用。TD法处理在模具中有如下应用。

a. 盐浴渗钒。在中高碳钢或合金钢模具表面被覆钒碳化物层的过程称为盐

浴渗钒。其目的是提高模具的耐磨性、抗黏着性能。渗钒在高温坩埚电阻炉中进行，渗钒盐浴成分为： $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （脱水）85%， V_2O_5 粉（或钒特铁粉）5%，Al粉5%；也可采用10%的钒铁粉+90% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （脱水）。

模具渗钒温度为850~1200℃，渗钒时间为2~6h，渗钒碳化物层厚为4~16 μm 。模具渗钒后可进行空冷、油冷或水冷。

盐浴渗钒可以用于冲裁模具、弯曲模具、挤压模具、拉深模具、切边模具、冷镦模具、制管模具、粉末冶金模具等各种冷作模具，使用寿命与渗氮处理的模具相比可提高几倍甚至几十倍。

b. 盐浴渗钒。模具在硼砂盐浴中渗钒后，表面可获得高硬度。如GCr15钢为2900~3500HV，45钢为2100~2600HV，Cr12MoV钢为3200~3500HV。模具渗钒的目的是提高模具的抗磨损、抗咬合、抗氧化和抗热疲劳性能。

硼砂盐浴各种物质的成分是：Nb粉7%~10%， $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （脱水）90%~93%，或者 Nb_2O_5 粉10%，Al粉9%， $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （脱水）81%。

渗钒温度一般控制在900~1050℃范围内，当低于800℃时硼砂黏稠，渗速太慢；而高于1100℃时，坩埚寿命低，模具的晶粒组织易粗大，影响模具基体的强韧性。

渗钒保温时间是根据材料的不同和对渗层要求而定的，一般为4~10h。渗钒工艺主要用于冲模、弯曲模具、成形模具、拔管模具、粉末冶金成形模具等，渗钒可使模具寿命提高几倍甚至几十倍。如Cr12钢制冷冲模具渗钒后，其使用寿命比常规处理提高5~10倍以上。

c. 盐浴渗铬。中高碳钢或中高碳合金钢模具渗碳后，表面可形成厚度为0.01~0.04mm的铬碳化物层，硬度为1300~1800HV，具有良好的耐蚀性、耐磨性、耐热疲劳性和抗氧化性。盐浴成分是： Cr_2O_3 粉10%~12%，Al粉3%~5%， $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 85%~90%。盐浴渗铬温度为950~1050℃，保温时间为4~6h。

渗铬适用于锤锻模具、压铸模具、塑料模具、拉深模具等冷、热作模具。如用H13钢制造铝型材热挤压模具，经盐浴渗铬后，在表面形成5~6 μm 的碳化铬层，与渗氮后相比模具寿命可提高50%以上，铝型材的表面粗糙度也较渗氮低。再如T8A钢制罩壳拉深模具，经常规处理后，每拉深100~200件需修模1次，总寿命为1500件。经渗铬处理后，可拉深1000件以上，总寿命可达10000万件。

3.6.2 涂镀处理技术

(1) 电镀电刷化学镀

① 电镀。电镀的原理是，使用电化学方法在金属或非金属制品表面沉积金属或合金层。电镀时，将被镀的模具工作零件和直流电源的阴极相连，要镀覆的

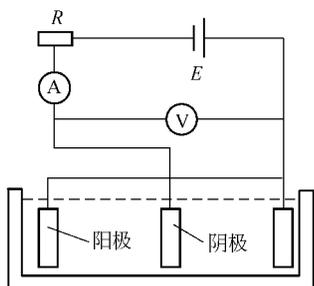


图 3-10 电镀原理示意图

金属（镀铬除外）和直流电源的阳极相连，并放在盛有电镀液的镀槽中。当电源与镀槽接通时，在阴极上沉积欲镀的金属层。电镀原理如图 3-10 所示。

电镀工艺包括三个部分，其中之一就是镀前表面处理，该工序主要是清洗模具表面的油污并进行弱浸蚀处理，以消除工件表面轻微的氧化膜，提高镀层与基体金属的结合力。镀前处理必须严格进行操作，否则难以形成高质量的电镀层。镀后处理包括冷、热水洗、干燥等过程。

模具应用较多的是镀硬铬方法，镀层硬度可达 900~1200HV，耐磨性、耐腐蚀性好，镀层光亮不黏附。镀层厚度一般控制在 0.03~0.30mm 范围内，若镀层过厚，当模具承受强压或冲压时，镀层易剥落，效果反而不好。

镀硬铬的效果很好，如塑料果筐锌基合金注射模具，未镀铬时，模具生产产品 10000 件则表面会出现严重划伤。如果在其表面进行镀硬铬处理，则在生产几十万件表面也无明显划伤。一般钢制模具经镀硬铬处理后，其寿命可提高 3~5 倍。

目前合金电镀、复合电镀、电镀非晶态合金等技术得到了广泛的应用，合金电镀是在一个镀槽中，同时沉积含有 2 种或 2 种以上的金属元素的镀层；复合电镀则是将金属与悬浮在电镀液中的固体微粒，同时沉积到工件表面形成复合镀层。如把金刚石粉和金属一起镀到工件表面，可获得极耐磨的复合镀层，通过复合电镀还可以得到耐腐蚀性镀层、自润滑镀层和耐热性镀层等，这些电镀方法在模具中也广为应用。

② 电刷镀。电刷镀是依靠一个与阳极接触的垫或刷提供电镀所需要的电解液的电镀方法，电刷镀与电镀原理相同，只是具体施镀方式不同，属于电镀的一种特殊方式，由于无镀槽，故又称为无槽镀或涂镀。电刷镀设备与原理如图 3-11 所示。

与电镀相比，电刷镀的特点是镀层质量和性能更加优越，沉积速度快，镀层结合牢固，工艺简单，在现场容易操作且不受模具形状大小的限制。

电刷镀主要应用于模具工作表面的修复、强化及改善。如防海水腐蚀的继电器外壳，用厚度为 0.8mm 的锌白铜带材经拉深加工制造，拉深模具寿命为 10 万件，以黏着磨损失效为主。当出现磨损后，用电刷镀技术在凸模镀钻恢复尺寸，再在凹模上部刷镀 0.005~0.01mm 的钢镀层，则模具的抗黏着磨损能力明显提高，工作寿命可达 50 万件。

③ 化学镀。化学镀是将工件置于镀液中，镀液中的金属离子通过获得由镀液中的化学反应而产生的电子，在工件表面上还原沉积而形成镀层。

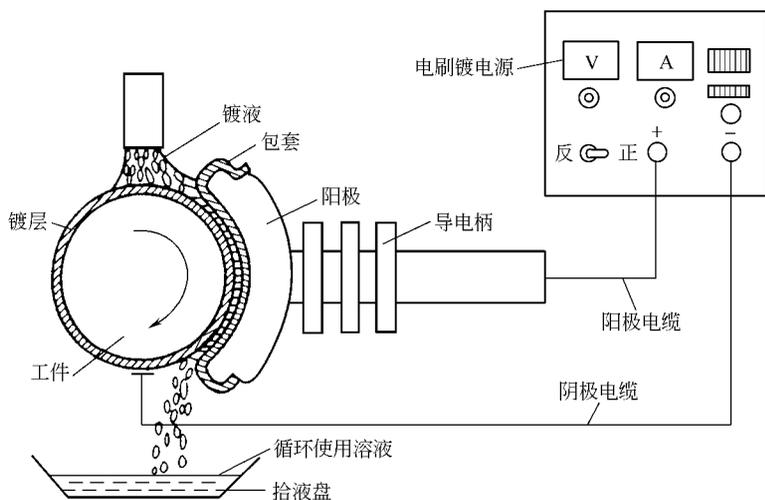


图 3-11 电刷镀设备与原理图

化学镀可以获得单一金属镀层、合金镀层、复合镀层和非晶态镀层。与电镀和电刷镀相比，化学镀均镀性强，仿形性好（在形状复杂的表面上产生均匀厚度的镀层）；沉积厚度可控制，镀层致密，与基体结合性好；设备简单，操作方便。对于形状复杂的模具，采用化学镀还可以避免常规热处理引起的变形。

化学镀在多种模具上得到应用，例如 Cr12MoV 钢制拉深模具，经化学镀 Ni-P 处理后，镀层硬度为 60~64HRC，表面具有优良的耐磨性和较低的摩擦因数，使用寿命从 2 万次提高到 9 万次。处理时使用的酸性镀液各种物质成分的比例是：氯化镍为 28g/L，乙酸钠为 5g/L，次磷酸钠为 10g/L，柠檬酸钠为 12g/L。镀液温度为 85℃，pH 值为 5.5，沉积时间为 6h，镀后进行 380~400℃、2~3h 的时效处理。

(2) 气相沉积 气相沉积，是利用气相中发生的物理变化和化学反应，在模具或工件表面形成具有特殊性能的金属或化合物涂层的技术。按照气相沉积过程的原理，气相沉积可分为化学气相沉积（CVD）和物理气相沉积（PVD）两类。气相沉积层元素主要有 TiC、TiN、Ti（C、N）。

TiC、TiN 涂层的特点是：涂层具有很高的硬度（TiC 涂层的硬度为 2980~3800HV，TiN 涂层的硬度为 2500~3000HV），低的摩擦因数和自润滑性能，耐磨性能良好；涂层具有很高的熔点，TiC 涂层的熔点为 3800℃，TiN 涂层的熔点为 2930℃，化学稳定性好，难以与其它金属反应；涂层具有较强的耐蚀能力，可抵抗硫酸、盐酸、氯化钠水溶液的浸蚀；涂层在高温下也具有有良好的抗大气氧化能力，TiN 涂层约 500℃，TiC 涂层约 400℃。

① 化学气相沉积。化学气相沉积是将低温下气化的金属化合物，与加热到

高温的工件接触，在工件表面与碳氢化合物和氢气进行气相反应而生成金属或化合物沉积层的过程。其原理如图 3-12 所示。

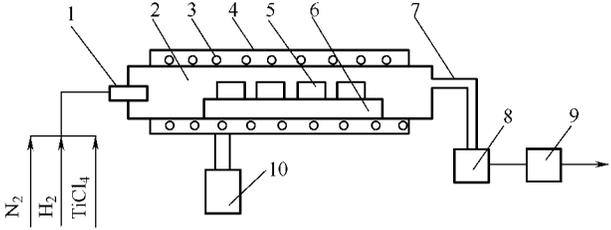


图 3-12 化学气相沉积示意图

- 1—进气系统；2—反应室；3—电炉丝；4—加热炉体；5—模具；6—模具夹具；7—排气管；
8—机械泵；9—废气处理系统；10—加热炉电源及测温仪

如果在模具表面沉积 TiC 或 TiN，可将经过一定预处理的模具 5 放入处理设备的反应室 2 中，反应室用机械泵 8 抽成真空，由电炉丝 3 加热至 900~1200℃，另将 TiCl₄ 低温加热气化，并与 H₂、CH₄ 以一定的流量比混合，通过进气系统 1 进入反应室，在高热的模具表面发生化学反应，生成 TiC 或 TiN 牢固地沉积在模具表面。所产生的废气被抽走，经与废气处理系统 9 中的废气中和后排除。一般让沉积层以 1~2μm/h 的速度增长，直到 2~10μm 为止。厚度为 10μm 以下的 TiC 或 TiN 沉积层内应力小，与基体的结合力强。

由于化学气相沉积处理温度较高，因此只适用于硬质合金、高速钢、高碳高铬钢、不锈钢和耐热钢等材料铸造的模具，且沉积处理后还要进行淬火回火，多次加热至高温，很易引起模具变形。

为减小模具变形，降低处理温度，目前采用了化学结合力较弱的有机金属化合物作为反应气体，可实现中温（700~900℃）沉积 Ti(C、N) 涂层；采用等离子体化学气相沉积（PCVD），可将沉积温度降至 500~600℃，更适合于模具零件的表面处理。采用化学气相沉积技术处理与未处理表面的效果比较见表 3-11。

表 3-11 化学气相沉积 TiC、TiN、Ti(C、N)

沉积层种类	模具名称与材料	沉积前平均寿命	沉积后平均寿命
TiN	模圈, Cr12	150~200 次	1100~1900 次
TiN	M10 六方上冲模, Cr12MoV	2.5~10 ⁴ 次	10 ⁵ 次
TiN	M6 切边模, 9CrSi	(2~3)×10 ⁴ 次	7×10 ⁴ 次
Ti(C,N)	自行车碗下模, Cr12	5×10 ⁴ 次	3×10 ⁵ 次
Ti(C,N)	锯片轧辊, Cr12MoV	3 个月	21 个月
Ti(C,N)	冲孔模具, Cr12	3 天	15 天
TiC	搓丝模, Cr12MoV1	5×10 ⁵ 次	2×10 ⁶ 次

② 物理气相沉积。将金属、合金或化合物放在真空室中蒸发或溅射，使这些气相原子或分子在一定条件下沉积在工件表面上的过程称为物理气相沉积。目前常用的有三种方法：蒸镀、溅射及离子镀，其中离子镀应用最为广泛。

a. 蒸镀。一般在 $1.33 \times 10^{-3} \sim 1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 的压力下加热蒸发物质，蒸发原子或分子直接达到工件表面形成沉积层。低熔点材料采用电阻蒸发源，高熔点材料则需采用能量密度高的电子束或激光来作蒸发源。

蒸镀装置通常由真空室、排气系统、蒸发源加热系统等几部分组成。向真空室内通入反应性气体则可进行反应性蒸镀。如用电子枪蒸发钛金属时，通入少量甲烷和乙炔，可在工件上沉积 TiC 涂层。

蒸镀的缺点是镀层较疏松且与基体结合力差，耐磨性也较差，镀层有方向性。

b. 溅射。以正离子轰击工件，同时，沉积材料制作的阴极靶会溅射出原子或分子，这些原子或分子通过气相会沉积到工件表面形成涂层。工作时，在真空室内通入压力为 $1.32 \sim 2.66 \text{ Pa}$ 的氩气作为工作气体，将阴极靶接几百至几千伏的负高压。在电场作用下，氩气电离后产生的氩离子轰击阴极靶面，溅出的靶材原子或分子，以一定的速度落在工件表面，产生沉积并使工件受热。溅射时工件的温度可达 500°C 左右。

溅射的靶材可以是任何类型的导电材料，包括各种金属和金属化合物，如碳化物、氯化物和氧化物等。由于溅射出的材料原子或分子具有较高的动能，因而形成的沉积层与基体有较好的结合强度。溅射涂层均匀但沉积速度慢，因此，不适宜沉积 $10\mu\text{m}$ 以上厚度的涂层。

c. 离子镀。离子镀的基本原理是借助于惰性气体的辉光放电使金属或合金蒸气离子化，离子经电场加速而沉积在带负电荷的工件上。处理工艺常采用的惰性气体是氩气，其压力为 $133 \times 10^{-2} \sim 133 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 。在工件（基板）上加 $500 \sim 2000 \text{ V}$ 负压，使蒸发源与工件之间产生辉光放电，在工件周围形成等离子区。当蒸发的镀膜材料原子在通过辉光区（等离子区）时，一小部分发生电离并在电场作用下飞向工件。离子镀基本原理如图 3-13 所示。

由于离子是以几千电子伏的能量射到工件（模具）表面，此力足以使涂层打入基体约几纳米的深度，从而大大提

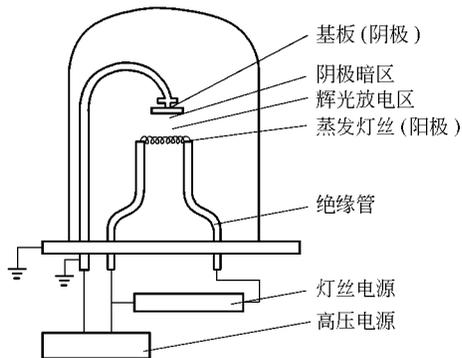


图 3-13 离子镀基本原理

高涂层的结合力。而未经电离的蒸发材料原子，直接在工件上沉积成膜。惰性气体离子与镀膜材料离子在基板表面上发生的溅射，还可以清除工件表面的污物，从而改善镀层与基体的结合强度。

为提高金属蒸气原子的离子化程度，目前发展了一系列的离子镀的新设备和方法，如高频离子镀、空心阴极放电离子镀、活化性蒸发离子镀、低压等离子镀等。其中空心阴极离子镀（HCD）在模具中的应用最多。

空心阴极离子镀的中空阴极等离子电子枪能够发射出 $20\sim 70\text{V}$ 、 $20\sim 200\text{A}$ 的高密度电子束射向蒸发源，可使辉光放电过渡为弧光放电，并使金属离子生成率大为提高。模具上带有 $-20\sim -200\text{V}$ 的负偏压，可使金属离子加速飞向模具表面，当通入反应性气体时，就能在模具表面形成相应的金属化合物沉积层。空心阴极离子镀原理如图 3-14 所示。

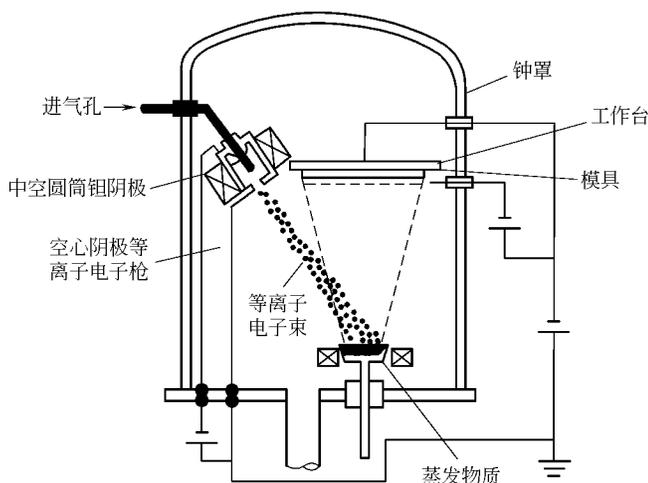


图 3-14 空心阴极离子镀原理

与化学气相沉积相比，物理气相沉积的优点是，处理温度低、沉积速度快，生产率高且无污染；可以在各种材料表面沉积致密、光滑、高精度的 TiC、TiN 镀层，在模具生产中获得了广泛的应用。例如，Cr12MoV 钢制油开关指形触头精冲模，经物理气相沉积 TiN 后，表面硬度为 $2500\sim 3000\text{HV}$ ，摩擦因数小，抗黏着和抗咬合性得到了很好的改善。处理前模具使用 1 万~3 万次后即要刃磨，处理后，使用 10 万次也不需要刃磨且尺寸无变化，仍然可以使用。

(3) 涂覆处理技术 涂覆是将涂料通过各种不同的方法涂布于材料表面的技术，主要分为电火花表面涂覆和热喷涂两种类型。

① 电火花表面涂覆。利用火花放电作用，把作为电极的导电材料，熔渗进

工件表层，形成合金化的表面涂镀层的过程，称为电火花表面涂覆（电火花涂覆）。电火花涂覆设备主要由脉冲电源、振动器和电极等组成，涂覆过程如图 3-15 所示。电火花涂覆工作时，电极上下振动，当电极与工件表面刚接触时，因接触不紧密，接触点瞬时形成火花放电，电流密度可达 $10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ ，在放电区产生 $5000 \sim 10000^\circ\text{C}$ 高温，使该区的局部材料和工件上熔化了的材料挤压在一起，如图 3-15(c) 所示，此时，由于接触电阻也明显减小，接触部分不再发热。同时由于周围空气和工件本身的散热作用，使熔融的材料被迅速冷却而凝固。接着电极上行，冷凝的材料脱离电极而黏结在工件上，形成工件表面的涂覆点，如图 3-15(d) 所示。随着电极位置的移动，涂覆点将相互重叠和融合，从而使电极材料在工件表面形成合金层或渗层。

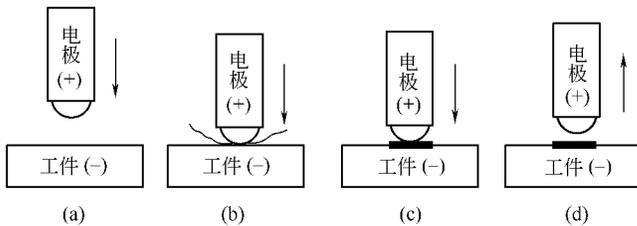


图 3-15 电火花涂覆电极状态图

电火花表面涂覆所用的设备结构简单，操作方便，所获得的涂覆层与基体的结合非常牢固，不会发生脱落。涂覆层的性能取决于基体和电极材料而与电参数无关。所用的电极材料主要包括： TiC 、 WC 、 ZrC 、 NbC 、 Cr_3C_2 、硬质合金等。由这些形成的合金涂覆层可获得高的硬度和良好的热硬性、耐磨性、耐疲劳性、耐蚀性等。如 $3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$ 钢用 $\text{YG}8$ 作电极的电火花涂覆处理后，在各类酸、碱中的耐蚀性提高 $4 \sim 15$ 倍。

② 热喷涂。该项处理是利用热源将涂层材料加热熔化或软化，再以高速气流将其雾化成极细的颗粒，喷射到工件表面形成涂层，常用的喷涂热源有气体火焰和等离子弧，气体火焰喷涂温度在 3000°C 以下，而等离子弧喷涂温度高达 16000°C ，喷涂材料可用金属或合金粉末。

由于涂层与工件基体是一种机械结合，为提高涂层的结合强度，喷涂表面必须清洁、粗糙，有时还需预热。因此，喷涂前工件需进行预处理（清洗、喷砂等），喷涂处理后，为满足工件表面的尺寸精度和表面粗糙度要求，一般还要求机械精加工、化学处理和热处理。

热喷涂可以用于改善模具表面的耐磨性、耐热性、耐蚀性和有润滑条件的减摩性等。如加工高熔点金属的热挤压模具，当挤压温度在 1320°C 以上时只能进行一次作业。喷涂 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 的氧化铝后，挤压温度可达

1650℃；喷涂氧化锆涂层，热挤压温度可达 2370℃，模具的工作寿命可延长 5~10 倍。

Cr12MoV 钢制汽车风扇带轮模具，由于磨损快，一副模具只能生产 4000~5000 个零件。采用 102 铁合金粉末，进行离子热喷涂后，耐磨性增强，模具使用寿命提高 10 倍以上，且生产出的零件表面光洁，几乎无拉毛现象出现。

3.6.3 其它表面处理技术介绍

除上面介绍的常用表面处理技术外，还有诸如表面非晶化处理、激光表面处理、电子束表面处理及离子注入表面处理等。

(1) 表面非晶化处理 非晶态是指构成物质的原子或分子呈无规则排列的一种结构状态。非晶态材料比相应的晶态材料具有更优异的力学性能、物理性能及化学性能。如具有超高强度、硬度，优良的韧性、抗疲劳性能和耐磨性，极好的耐蚀性，高磁导率、低磁损等性能。

制造非晶态材料的方法很多，如熔体急冷法、离子注入法、激光表面非晶化、电子束表面非晶化、电镀和化学镀法等。但用于模具表面非晶态处理的方法主要有：电刷镀、化学镀和激光表面非晶化处理。

采用电刷镀的方法刷镀 Co-Ni-P 合金，可以获得非晶态镀层。其刷镀液成分不同于一般晶态刷镀液，主要区别在于钴离子浓度较低，并加入含铈添加剂。该镀层在常温和较高温度下均具有较高硬度和耐磨性。

化学镀 Ni-P 合金，可以获得非晶态镀层，镀液一般采用镍盐加次磷酸盐还原剂，pH 值控制较低，以使镀层中磷的含量大于 10%，镀层就可形成非晶态组织。该镀层比一般合金镀层强度、硬度都要高，摩擦因数小，具有优异的耐蚀性。

激光加热金属表面至熔融状态后，以大于 10⁶℃/s 的冷却速度激冷至晶化温度以下时，可以获得非晶态组织，使金属表层在保持良好韧性的情况下具有较高的强度和耐磨性及优异的耐蚀性和电学性能。

非晶化表面处理在模具上的应用效果非常明显，如 3Cr2W8V 钢制连杆盖模具，经非晶态刷镀 Co-Ni-P 合金后，寿命可提高 50%；采用化学镀对 T10A 钢冷冲头镀覆非晶态 Ni-P 镀层，使冲头寿命提高了 4 倍多。

(2) 激光表面处理 激光表面强化是指一定功率密度激光束，以一定的扫描速度照射到待处理模具零件或工具的表面，在很短时间内使被处理表面由于吸收激光的能量而产生高温，当激光束移开时，被处理的表面由自身传导而迅速冷却，从而形成具有一定强化性能的表面层，以提高模具使用寿命。

利用激光进行表面处理有多种工艺，如激光非晶化处理、激光表面淬火、激光合金化、激光涂覆等。

激光表面淬火是利用激光照射事先经过黑化处理的工件表面，使表面薄膜层快速加热到高温（低于熔点温度），光束移开后，通过工件自身冷却即可实现表面淬火硬化。与感应加热表面淬火相比，受热及冷却区域极小，因此变形小，残余应力也小，且无氧化、脱碳现象，淬火组织细化，力学性能好。

激光合金化是采用激光，把基体材料表层和专门涂覆在其表面上的合金化材料，一起熔化后迅速凝固，从而改变工件表层化学成分和组织，使之具有特殊性能的表面处理的过程。

激光涂覆是把欲涂覆的合金材料预制在将要处理的工件表面上，然后用激光熔化，当激光束消失后，预制的合金迅速凝固并形成和基体金属牢固结合的涂覆层。利用此法，可以在工件表面涂覆陶瓷。

激光表面处理可以改善模具表面的多种功能，是延长模具寿命的有效途径之一。如轴承保持架冲孔用冲孔凹模，使用寿命较短，失效形式为崩刃或刃边磨损。若将冲孔凹模硬度适当降低并用激光进行表面淬火后，则比常规淬火后强度大有提高，韧性也得到改善，不产生裂纹、起皮，寿命比原来提高了2倍。

(3) 电子束表面处理 电子束是一束集中的高速电子，与波一样，具备其所有的特性。当照射到金属表面时，与金属表层电子发生碰撞，从而使被处理的金属表层温度迅速升高。

电子束处理原理如图 3-16 所示。将钨丝作为发射电子的电子源，在阴极与阳极之间产生最高电压为 60kV 的直流高压，调节电压的大小可以改变加速电子的速度；高速的电子流通过磁性聚焦线圈，可将电子束聚焦成各种不同尺寸的束流；被聚焦的束流在低真空室中轰击零件表面而实现加热，并可防止工件熔化过程中的氧化现象。

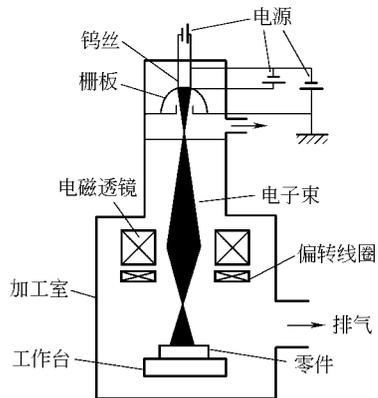


图 3-16 电子束处理原理示意图

工业上常用的电子束处理方法包括电子束表面淬火、电子束表面合金化、电子束表面重熔等。

① 电子束表面淬火。该方法是利用高能量密度的电子束轰击金属工件表面，在很短时间内使金属表面加热到相变温度，然后依靠工件自身冷却而实现淬火。由于加热时间短，冷却速度快，因此可获得超细晶粒组织，使得金属表层的强韧性、耐磨性显著提高。

② 电子束表面合金化处理。将合金粉末加热熔化，涂覆到金属表面的处理

方法，称为电子束表面合金化处理。根据需要，选择不同的合金粉末，可使金属表面获得高耐磨性、耐蚀性或耐热性能。

③ 电子束表面重熔处理。利用电子束将工件表面局部加热熔化，并快速凝固而获得细小的晶粒组织或非晶态组织的处理过程称为电子束表面重熔。该处理的目的是提高模具的表面强度、耐磨性和热稳定性。例如高速钢冲孔模的端部刃口经电子束重熔处理后，可获得深 1mm 而硬度为 66~67HRC 的表面层。该层晶粒细小，碳化物极细，且分布均匀，具有强度和韧性的最佳配合。

与激光表面处理相比，电子束表面处理的热效率高，投资少，处理周期很短。加热深度较大，工件表面不需进行黑化处理，所以电子束表面处理在模具上的应用将会越来越多。

(4) 离子注入表面处理 离子注入是将某种元素的原子电离成离子，并使其在几十至几百千伏的电压下进行加速，获得较高速度后射入放在真空靶室中的材料表层。材料经离子注入后，其表面的物理性能、化学性能及力学性能会发生显著变化。离子注入装置如图 3-17 所示。

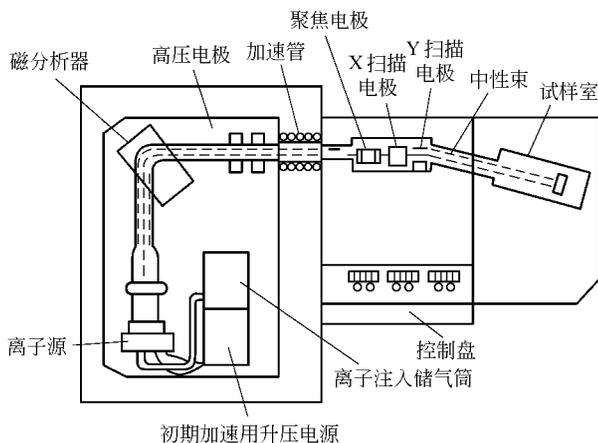


图 3-17 离子注入装置示意图

将需要注入元素的原子，在加速器的离子中电离成离子，离子在几万伏高压下被引出进入磁分析仪进行筛选，获得所需要的高纯度离子。提纯后的离子束再用加速系统加速到所需能量，通过扫描机强行打入置于靶室中的工件表面，整个注入系统处于 $1.33 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 的真空度中，以保证离子束在规定的路线前进时不与其他元素的原子发生碰撞。

高能离子注入工件后，造成类似固溶强化的效果，显著提高工件表面硬度、耐磨性和抗疲劳性等。如果注入氮、硼等元素的离子，它们会在金属的表层形成

氮化物、硼化物等，起到弥散强化和提高耐蚀性的作用。

离子注入层与基体之间没有明确的分界面，因此不会产生剥落。处理后的工件表面无变形，无氧化，可以保持原有的尺寸精度和表面粗糙度，因而非常适合于精密模具的表面处理。

离子注入处理后的模具寿命等均得到提高，如 W6Mo5Cr4V2 钢制螺母孔冲头经氮离子注入处理后，其使用寿命从原来的 1.6 万件提高到 3.9 万件；YG8 硬质合金拉丝模经氮离子注入处理后，模具寿命可提高 2 倍以上。

第 4 章 模具制造工艺

模具制造过程包括设计、工艺的制订和制造等环节。其中模具的制造工艺对模具质量和产品质量有着重要的意义，模具的机械加工过程有生产过程和工艺过程之分。

机械产品（模具）的生产过程是指将原材料转变为成品（模具）的全过程。它包括：生产技术准备、毛坯制造、机械加工、热处理、装配、测试检验及涂装等过程。上述过程中凡被加工对象的尺寸、形状或性能产生一定变化的均称为直接生产过程。

在生产过程中改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程，称为机械加工工艺过程。

把零件装配成机器（这里特指“模具”）并达到装配要求的过程称为装配工艺过程。

4.1 模具制造工艺规程

模具制造工艺规程是规定零件机械加工工艺过程和操作方法等的工艺文件。模具加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成，而工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

4.1.1 模具加工工艺的组成

(1) 工序 一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程称为工序。

区分工序的主要依据，是设备或工作地是否变动和完成的那一部分工艺内容是否连续。零件加工设备变动后即构成了另一个工序。如图 4-1 所示的阶梯小轴，如果零件为单件小批生产时，其加工工艺及工序划分见表 4-1，当中批生产时，其工序划分见表 4-2。

工序不仅是制订工艺过程的基本单元，也是制订时间定额、配备工人、安排作业计划和进行质量检验的基本单元。

(2) 工步与走刀 在一个工序内，往往需要采用不同的工具对不同的表面进行加工。为便于分析和描述工序内容，工序还可以进一步划分工步。加工表面或

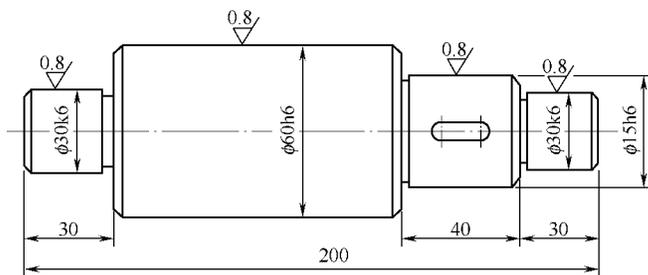


图 4-1 阶梯轴

装配时的连接表面和加工或装配工具不变的条件下所完成的那一部分工艺过程，称为工步。一个工序可以包括几个工步，也可以只有一个工步。如表 4-2 工序 2 中包括车外圆和车槽等工步，而工序 3 中只有铣键槽一个工步。

表 4-1 阶梯轴加工工艺过程（单件小批生产）

工序号	工序内容	所用设备
1	车端面, 钻中心孔, 车全部外圆, 车槽并倒角	车床
2	铣键槽、去毛刺	铣床
3	磨外圆	外圆磨床

表 4-2 阶梯轴加工工艺过程（中批生产）

工序号	工序内容	所用设备	工序号	工序内容	所用设备
1	铣端面、钻中心孔	铣端面钻中心孔机床	3	铣键槽	铣床
			4	去毛刺	钳工台
2	车外圆, 车槽、倒角	车床	5	磨外圆	外圆磨床

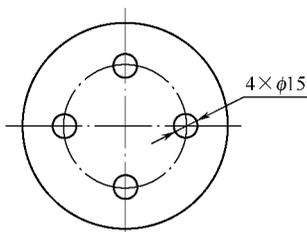


图 4-2 四个相同表面的加工工步

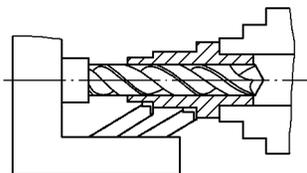


图 4-3 复合工步

构成工步的任何一个因素（加工表面、刀具等）改变后，一般即为另一个工步。但对于那些在一次安装中连续进行的若干相同工步，如图 4-2 所示零件上 4 个 $\phi 15\text{mm}$ 孔的钻削加工，可写成一个工步——钻“ $4 \times \phi 15$ ”孔。

有时为提高生产效率,用几把刀具同时加工几个表面的工步,称为复合工步,如图 4-3 所示。在工艺文件上复合工步应视为一个工步。

在一个工步内,若被加工表面需要切去的金属层很厚,需要分几次切削则每进行一次切削就是一次走刀。

(3) 安装与工位 工件在加工之前,在机床或夹具上先占据一正确位置(定位),然后再予以夹紧的过程称为装夹。工件

或装配单元经一次装夹后所完成的那一部分工序内容称为安装。在一个工序中,工件可能只需 1 次安装,也可能只需 2 次安装。如表 4-2 工序 3,一次安装就可以铣出键槽。而工序 2 中,为车出全部外圆则最少需 2 次安装。工件加工中应尽量减少安装的次数,因为多一次安装就多造成一次安装误差,而且还增加了辅助时间。

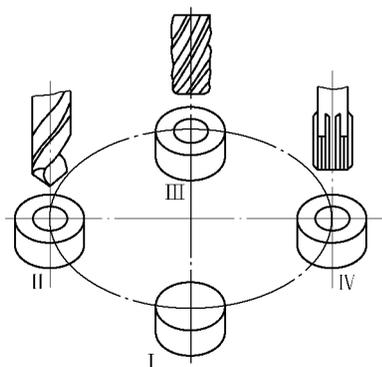


图 4-4 多位加工

I—装卸工件; II—钻孔;
III—扩孔; IV—铰孔

为完成一定的工序内容,一次装夹工件后,工件或装配单元与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的

每一个位置称为工位。为减少工件安装次数,在大批量时,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位置进行加工。此时,工件在机床上占据的每一个加工位置均称为工位。图 4-4 所示为一种用回转工作台在一次安装中顺序完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四个工位加工的实例。

4.1.2 生产类型与工艺特点

(1) 生产纲领 将在计划期内应当生产的产品数量和进度计划称为生产纲领(N)。生产纲领的大小,对生产组织和零件加工工艺过程的制订起着重要的作用,其决定了各工序所需专业化和自动化的程度,决定了所应选用的工艺方法和工艺装备。

(2) 生产类型与工艺特点 企业或车间、工段、班组、工作地等生产专业化程度的分类称为生产类型,通常分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。

① 单件生产。单件生产的特点是生产产品品种繁多,每种产品仅制造一个或少数几个,而且很少再重复生产。模具是典型的单件生产,很多重型机械产品和新产品试制等也属于此类型生产。

② 成批生产。成批生产是成批地生产相同的零件,生产成周期性重复。如机床制造、机车制造等均属于成批生产。

一次投入或产出的同一产品或零件的数量称为批量。根据产品的特征和批量大小，成批生产可分为小批生产、中批生产和大批生产。

③ 大量生产。大量生产的基本特点是产品的产量大但品种少，大多数工作地长期重复地进行某一种零件的某一工序的加工。如一台重型龙门铣床比一台台钻要大而且复杂得多，每年生产 20 台台钻只能属于单件生产，而生产同样数量的龙门铣则属于小批量生产了。

生产纲领与生产类型的关系见表 4-3。

表 4-3 生产纲领与生产类型的关系

生产类型	零件的年生产纲领 N/n		
	重型零件	中型零件	轻型零件
单件生产	<5	<10	<100
小批生产	5~100	10~200	100~500
中批生产	100~300	200~500	500~5000
大批生产	300~1000	500~5000	500~50000
大量生产	>1000	>5000	>50000

注：表中字母“n”为零件的数量单位符号（件）。

从表 4-3 中可看出，不同生产类型零件的加工工艺有很大的不同，产量大、产品固定时，有条件采用各种高生产率的专用机床和专用夹具，以提高劳动生产率并降低成本。但在产量小、产品品种多时，一般采用通用机床和通用夹具，但生产效率低下。若采用数控机床加工时，生产率将有显著提高。

当产品的生产类型确定后，就可确定相应的生产组织形式。生产组织形式一般分为自动线生产、流水线生产和机群式生产三种。大量生产采用自动线；成批生产采用流水线；单件小批生产采用机群式的生产组织形式。

4.1.3 加工工艺流程

机械加工工艺规程包括工件（模具）加工的工艺路线、各工序的具体加工内容所用设备与工艺装备、检验项目与方法、切削用量和时间定额等。

(1) 机械加工工艺规程的作用

① 工艺规程是指导生产的主要技术文件，是指挥现场生产的依据。对于大批、大量生产，工艺规程应比较详尽。对于单件小批生产工艺规程就可简单些。但无论生产规模大与小都必须有工艺规程，否则生产调度、技术准备、关键技术研究、器材配置等无法安排，使生产陷入混乱。同时，工艺规程也是处理生产问题的依据，如质量问题，可按照工艺规程来明确各生产单位的责任。按照工艺规程进行生产，可以保证产品质量，获得较高的生产率和经济效果。

但工艺规程并不是固定不变的，它可以根据生产实际情况进行修改，但必须有严格的审批手续。

② 工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据，由工艺规程所涉及的内容可看出，在生产组织和管理中，产品投产前原材料及毛坯的供应、通用工艺装备的准备、机械负荷的调整、专用工艺装备的设计和制造、作业计划的编排、劳动力的组织及生产成本的核算等，都是以工艺规程为依据的。

③ 工艺规程是新建或扩建工厂或车间的基本资料，在新建或扩建工厂时，只有依据工艺规程才能确定生产所需要的机床和其它设备的种类、数量和规格；车间的面积；机床的布置；生产工人的工种、技术等级及数量；辅助部门的安排。

工艺规程是生产工人和技术人员在生产过程中的实践总结，在实施工艺过程中，还必须不断总结积累经验使其不断改进和完善。

(2) 工艺文件的基本格式 将工艺规程的内容，填入一定格式的卡片，即成为生产准备和施工依据的工艺文件，常用的工艺文件格式有以下几种。

① 机械加工工艺过程卡。工艺过程卡是以工序为单位，简要地列出了整个零件加工所经过的工艺路线（包括毛坯制造、机械加工及热处理等）。它是制订其它工艺文件的基础，也是生产技术准备、编排作业计划和组织生产的依据。

由于该卡片中各工序的说明不够具体，故一般不能直接指导工人操作，而多在生产管理方面使用。但是，在单件小批生产中，由于通常不编制其它详细的工艺文件，而是以该卡指导生产。机械加工工艺过程卡的格式见表 4-4。

② 机械加工工艺卡。机械加工工艺卡是以工序为单位，详细说明整个工艺过程的工艺文件。它用于指导工人生产和帮助车间管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的一种主要技术文件，广泛用于成批生产的零件和小批生产中的重要零件。工艺卡内容包括：零件材料、重量、毛坯种类、工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求及采用的设备和工艺装备等，机械加工工艺卡格式见表 4-5。

③ 机械加工工序卡。该卡是根据工艺卡为每一道工序而制订的，详细地说明了整个零件各个工序的加工要求，是用于具体指导工人操作的工艺文件。在工序卡上，需要画出工序图，注明该工序每一工步内容、工艺参数、操作要求及所用设备和工艺装备。用于大批大量生产的零件。机械加工工序卡格式见表 4-6。

4.1.4 工艺规程制订的原则、步骤和原始资料

(1) 工艺规程制订的基本原则 在保证产品质量的前提下，争取最好的经济效益，即应高产、优质、成本低。在具体制订时应注意如下问题。

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水平，通过必要的工艺试验，积极采用适用的先进工艺和工艺装备。

② 经济上的合理性。在一定条件下，可能会出现几种能够保证零件技术要求的工艺方案。此时应通过核算或相互对比，选择经济上最合理的方案，使产品的能源、材料消耗和生产成本最低。

③ 具有良好的劳动条件。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，在工艺方案上要注意采取机械化或自动化措施，以减轻工人繁杂的体力劳动。

(2) 制订工艺规程的原始资料 制订工艺规程时需要很多原始资料，原始资料是制订工艺文件的科学依据，必须备齐所有原始资料方可制订出合理可行的工艺文件。原始资料包括如下内容。

① 产品（模具）的全套装配图纸和零件工作图纸。

② 产品（模具）验收的质量标准。

③ 产品（模具）生产纲领（年产量）。

④ 毛坯资料。毛坯资料包括各种制造方法的技术经济特征；各种型材的品种规格；毛坯图形等。在无毛坯情况下，需要实地了解毛坯的形状、尺寸及力学性能。

⑤ 现场的生产条件。为了使制订的工艺规程切实可行，一定要考虑现场的生产条件。如了解毛坯的生产能力及技术水平、加工设备和工艺装备的规格及性能、工人技术水平及专用设备与工艺装备的制造能力等。

⑥ 国内外工艺技术发展的情况。要经常研究国内外有关工艺技术资料，积极引进适用的先进工艺技术，不断提高工艺水平，以获得最大的经济效益。

⑦ 有关的工艺手册及图册。

(3) 制订工艺规程的步骤 制订零件（模具）机械加工工艺规程的步骤如下。

① 计算生产纲领（年产量），确定生产类型。

② 分析零件图及产品装配图，对零件进行工艺分析。

③ 选择毛坯。

④ 拟订工艺路线，主要工作内容：选择定位基准，确定各表面的加工方法，安排加工顺序，确定工序分散与集中的程度，安排热处理及检验等辅助工序。

⑤ 确定各工序的加工余量，计算工序尺寸及公差。

⑥ 确定各工序所用的设备、刀具、夹具、量具和辅助工具。

⑦ 确定切削用量及时间定额。

⑧ 确定各主要工序的技术要求及检验方法。

⑨ 填写工艺文件。

4.1.5 分析工艺规程制订中的具体内容

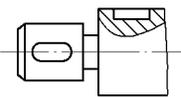
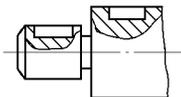
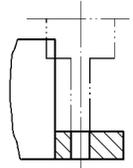
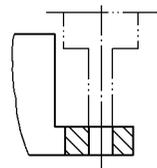
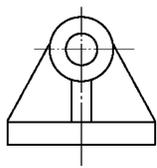
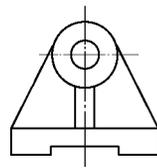
以上对工艺规程制订的原则、步骤等进行了概述，但在实际制订文件时需对具体内容进行分析。如对零件（模具）图、结构等的工艺性分析；毛坯的选择；零件的定位及工装夹具、刀具等选择；工艺路线的拟订等。

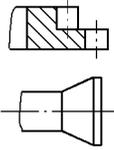
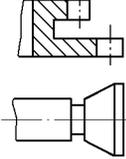
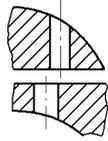
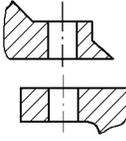
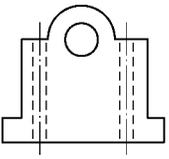
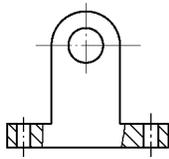
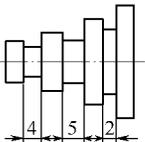
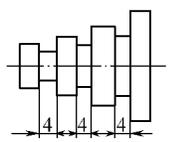
(1) 分析研究产品（模具）零件和装配图 对零件和装配图进行分析，是为在拟订工艺规程时采取必要的措施保证主要的技术要求和关键性技术环节。对此，应首先熟悉产品（模具）的具体用途、性能及工作条件，明确该零件在产品中的位置和作用；了解并研究各项技术条件制订的依据。

分析零件图的具体内容包括：检查零件图视图、尺寸、公差和技术要求等是否齐全，了解零件的各项技术要求；分析零件图所规定的加工要求是否合理，零件的选材是否恰当，热处理要求是否合理。

(2) 零件结构的工艺性分析 各种模具零件（包括其它机械零件）的结构虽然差异较大，但都由一些典型的表面和特形表面所组成。在分析零件结构时，应根据组成该零件各种表面的尺寸、精度、组合情况，选择适当的加工方法和加工路线。零件的结构工艺性对其工艺过程的影响很大，使用性能相同而结构不同的两个零件，它们的加工方法与制造成本可能会有很大差别。良好的结构工艺性，是指所设计的零件在保证产品（模具）性能的前提下，根据已确定的生产规模，能采用生产效率高且成本低的方法来制造。为便于分析，表 4-7 列举了一些典型表面结构的优、劣。

表 4-7 零件典型表面结构优、劣比较

序号	工艺性不合理的表面结构(A)	工艺性合理的表面结构(B)	说 明
1			键槽的尺寸、方位相同，可一次装卡全部加工，以提高生产率
2			结构 A 加工时不便引进刀具
3			结构 B 的底面接触面积小，加工量小，稳定性好

序号	工艺性不合理的表面结构(A)	工艺性合理的表面结构(B)	说 明
4			结构 B 有退刀槽,保证了加工的可能性,减少了刀具的磨损
5			加工结构 A 上的孔时,钻头容易引偏
6			结构 B 避免了深孔加工,节约了零件材料
7			结构 B 凹槽尺寸相同,可减少刀具种类,减少换刀时间

(3) 毛坯的选择 选择毛坯的实质是选定毛坯的种类和制造方法,了解毛坯制造误差及可能产生的缺陷。正确选择毛坯具有十分重要的技术经济意义。因毛坯的种类及其不同的制造方法对零件的质量、加工方法、材料的利用率、机械加工劳动量和制造成本等都有很大影响。

① 模具零件常用毛坯的种类。和其它机械零件一样,模具零件常用的毛坯类型主要包括型材、铸件、锻件、焊接件及其它种类等。

常用的型材有圆形、方形、六角形和特殊断面形状等。型材分热轧和冷拉两种,热轧型材尺寸范围大但精度低,用于一般零件;冷拉型材尺寸范围小但精度高,多用于制造精度要求高的中小零件,模具制造常常使用冷拉型材。

形状复杂的毛坯宜采用铸造方法制造。铸件毛坯的制造方法有砂型铸造、金属型铸造、精密铸造、压力铸造及离心铸造等方法。

锻件毛坯的优点是金属纤维组织的连续性和均匀性较好,制造出的零件强度高。它适用于对强度有一定要求、形状简单的零件。锻件分自由锻、模锻和精锻等。

焊接毛坯的优点是制造简便，生产周期短且省材。缺点是抗振性能差，变形大，需经时效处理后才可进行加工。

除上述材料外，毛坯还经常用到冲压、粉末冶金、冷挤及塑料压制等方法制造。

② 毛坯的选择原则。制订工艺规程时，选择毛坯应考虑以下原则。

a. 材料与力学性能。零件材料一经选定则毛坯种类基本确定。如选择了铸铁和青铜材料则应采用铸件毛坯；形状不复杂且力学性能要求不高时可选择钢制材料；重要的钢制零件应选择锻件毛坯以保证力学性能。

b. 零件的结构形状与外形尺寸。形状复杂的毛坯，一般用铸造方法制造；中小型零件可选用先进的铸造方法；大型零件可用砂型铸造。尺寸大的零件一般选择自由锻；中小型零件可选择模锻。

c. 生产类型。大量生产的零件应选择精度和生产率比较高的毛坯制造方法，用于毛坯制造的昂贵费用可由材料消耗的减少和机械加工费用的降低加以补偿。如铸件采用金属模机器造型或精密铸造；锻件采用模锻、精锻等。

d. 现有条件与新技术。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、设备状况及对外协作的可能性等。同时，应充分考虑利用新技术、新工艺，如精铸、精锻、冷挤压、粉末冶金和工程塑料等，这些方法可大大减少加工量，甚至可以不进行机加工，经济效益非常显著。

(4) 定位与定位基准的选择 制订零件加工工艺过程时，正确选择定位基准对保证加工表面的尺寸精度和相互位置精度要求及合理安排加工顺序都有着重要影响，定位基准不同，则工艺规程也随之不同。

① 基准概念与分类。零件上用以确定其它点、线、面的位置所依据的点、线、面，称为基准。根据功用的不同基准分为设计基准和工艺基准两类，前者用于产品（模具）零件的设计图上，后者用于机械制造的工艺过程中。

a. 设计基准。在零件图上用以确定其它点、线、面位置的基准称为设计基准。如图 4-5 所示。图 4-5(a) 为一个钻套，轴线 $O-O$ 是各外圆表面及内孔的设计基准；端面 A 是端面 B 、 C 的设计基准；内孔表面 D 的轴心线是 $\phi 40h6$ 外圆表面的径向跳动和端面 B 端面跳动的设计基准。同样，图 4-5(b) 中的 F 面是 C 面及 E 面尺寸的设计基准，也是两孔垂直度和 C 面平行度的设计基准； A 面为 B 面尺寸及平行度的设计基准。作为设计基准的点、线、面在工件上不一定具体存在，如表面的几何中线、对称线、对称表面等。

b. 工艺基准。工件在工艺过程中所使用的基准称为工艺基准。按用途分为工序基准、定位基准、测量基准和装配基准。

在工序图上，用于标注本工序被加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准称为工序基准，所标注的加工面位置尺寸称为工序尺寸。如图 4-6(a) 所示， A

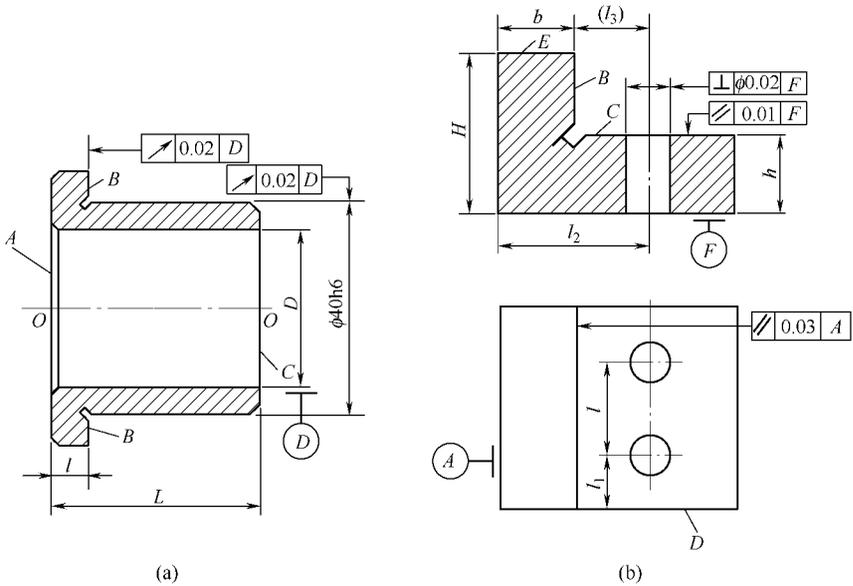


图 4-5 基准分析示例

为加工表面， B 面至 A 面的距离 h 为工序尺寸，位置度要求为 A 面对 B 面的平行度。所以，母线 B 为本工序的工序基准。有时确定一个表面就需要数个工序基准，如图 4-6(b) 所示， ϕE 孔为加工表面，要求其中心线与 A 面垂直，并与 B 面及 C 面保持距离 L_1 、 L_2 ，因此面 A 、 B 、 C 均为本工序的工序基准。

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。如将图 4-5(a) 中零件的内孔套在芯轴上加工 $\phi 40h6$ 外圆时，内孔则为定位基准。加工一个表面时，往往需要数个定位基准同时使用。如图 4-6(b) 中零件，加工 ϕE 孔时，为保证孔对 A 面的垂直度，要用 A 面作定位基准，为保证 L_1 、 L_2 的距离尺寸，要用 B 、 C 面作为定位基准。

定位基准除了是工件的实际表面外，也可是表面的几何中心、对称线或对称

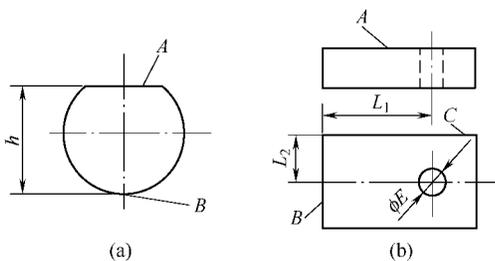


图 4-6 工序基准与工序尺寸

面，但必须由相应的实际表面来体现。如内孔或外圆的中心线由内孔表面或外圆表面来体现。而 V 形架的对称面用其两斜面来体现，这些面统称为定位基准面。

零件检验时，用于测量已加工表面尺寸及位置的基准称为测量基准。如图 4-6(a) 中，检验 h 尺寸时

则以 B 面为测量基准；图 4-5(a) 中，以内孔套在检验芯轴上去检验 $\phi 40h6$ 外圆的径向跳动和端面 B 的端面跳动时则内孔为测量基准。

装配时用以确定零件或部件在机器中的位置所用的基准称为装配基准。如图 4-5(a) 中的钻套， $\phi 40h6$ 外圆及端面 B 为装配基准；图 4-5(b) 中的支承块，底面 F 为装配基准。

② 工件定位及定位方法。加工前确定工件在机床或夹具中的正确位置称为定位。实际生产中关于定位的概念应注意以下几点：其一，工件的定位应该有一个实在的元件来限定它的位置，如将工件直接装在机床的工作台上，它的上下位置就由工作台限定，工作台就是一个实在的元件，但其它方向则无定位，如果在工作台上装上两个相互垂直的定位板，则工件前后左右方向都有了定位，如图 4-7 所示；其二，定位应该有一定的定位精度要求，如果定位精度低则只能是粗定位，而高的定位精度则要求定位面有较高的精度及小的表面粗糙度；其三，定位精度的概念通常是指一批零件的限定位置的分布范围。对于某一个零件来说，它的定位精度是某一个数值，而对于另一个零件，它的定位精度可能是另一个数值，对于一批零件，它的定位精度是一个误差的分布带。

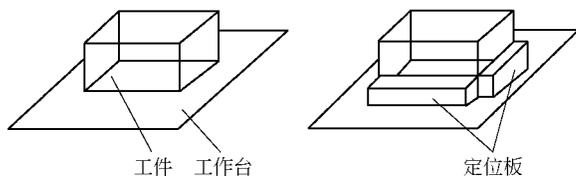


图 4-7 定位元件对工件进行定位

工件的定位要求是：其一，为保证加工表面与其设计基准间的相对位置精度（同轴度、平行度、垂直度等），工件定位时，应使加工表面的设计基准相对于机床占据一正确位置。如图 4-5(a) 中，为保证加工外圆表面 $\phi 40h6$ 的径向跳动要求，工件定位时必须使其设计基准（内孔轴线 $O-O$ ）与机床主轴的回转轴心线 O_1-O_1 重合，如图 4-8(a) 所示。对于图 4-5(b)，为保证加工面 B 与设计基准 A 的平行度要求，工件定位时必须使设计基准 A 与机床工作台的纵向直线运动方向相平行，如图 4-8(b) 所示。加工孔时为保证孔与设计基准（底面 F ）的垂直度要求，工件定位时必须使设计基准 F 面与机床主轴轴心线垂直，如图 4-8(c) 所示。其二，为保证加工表面与设计基准间的距离尺寸精度，当采用调整法进行加工时，位于机床夹具上的工件，相对刀具必须有一个正确的位置。

表面间距离尺寸精度的获得一般有两种方法，即试切法和调整法。

试切法是通过试切→测量加工尺寸→调整刀具位置→试切的反复过程来获得

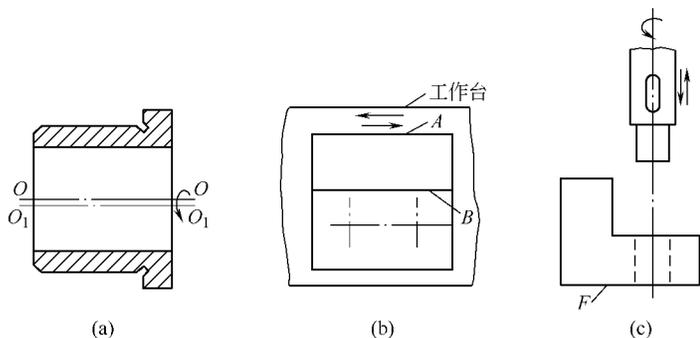


图 4-8 工件定位的正确位置

尺寸精度的。由于这种方法是在加工过程中，通过多次试切才能获得尺寸精度，所以加工前工件相对于刀具的位置可不必确定。该方法适合于小批量生产。

调整法是一种加工前按规定尺寸调整好刀具与工件相对位置及进给行程，从而保证在加工时自动获得所需尺寸的加工方法。该方法生产率高，适合于大批量生产。

工件在机床上的定位方法有三种。

a. 直接找正法。找正法是用百分表、划针或目测在机床上直接找正工件，使其获得正确位置的一种方法。如在磨床上磨削一个与外圆表面有同轴度要求的内孔时，加工前将工件装在四爪单动卡盘上，用百分表直接找正外圆表面，即可获得工件的正确位置，如图 4-9(a) 所示。又如在牛头刨床上加工一个同工件底面及侧面有平行度要求的槽时，用百分表找正工件的右侧面，即可使工件获得正确位置，如图 4-9(b) 所示。槽与工件底面的平行度，由机床的几何精度保证。直接找正法用于单件小批或位置精度要求特别高的工件。

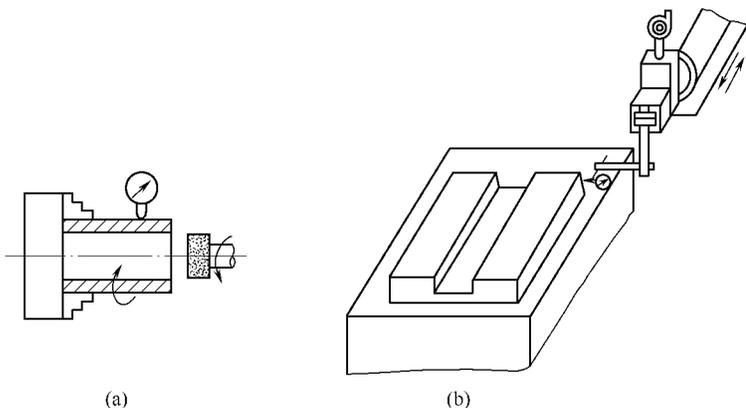


图 4-9 直接找正法

b. 划线找正法。该方法是在机床上用划针按毛坯或半成品上所划的线找正工件，使其获得正确位置的，如图 4-10 所示。由于受到划线精度及找正精度的限制，此法多用于生产批量较小、毛坯精度较低及大型零件等不便于使用夹具的粗加工。

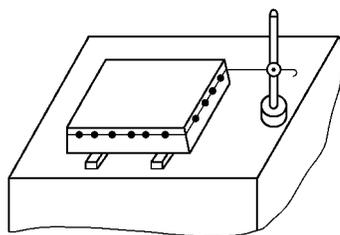


图 4-10 划线找正法

c. 夹具定位。它是用夹具上的定位元件使工件获得正确位置的。采用夹具定位使工件定位迅速方便，定位精度也较高，广泛用于成批和大量生产。

③ 工件定位的基本原理。零件在空间位置的自由度，可用直角坐标系表示。沿 x 、 y 、 z 轴 3 个方向移动共有 6 个自由度，即沿 3 个轴的移动与围绕 3 个轴的转动，如图 4-11(a) 所示。要使工件在空间处于相对固定不变的位置，就必须限制其整个 6 方向的自由度，限制方法如图 4-11(b) 所示。用相当于 6 个支承点的定位元件与工件的定位基面接触来限制。具体限制的自由度为：

在 xOy 平面内，用 3 个支承点限制了沿 z 轴方向的移动，沿 x 、 y 两轴的转动 3 个自由度；

在 yOz 平面内，用 2 个支承点限制了沿 x 轴的移动及沿 z 轴的转动 2 个自由度；

在 xOz 平面内，用 1 个支承点限制了沿 y 轴的移动 1 个自由度。

上述用 6 个支承点限制工件的 6 个自由度的方法被称为六点定位原理。

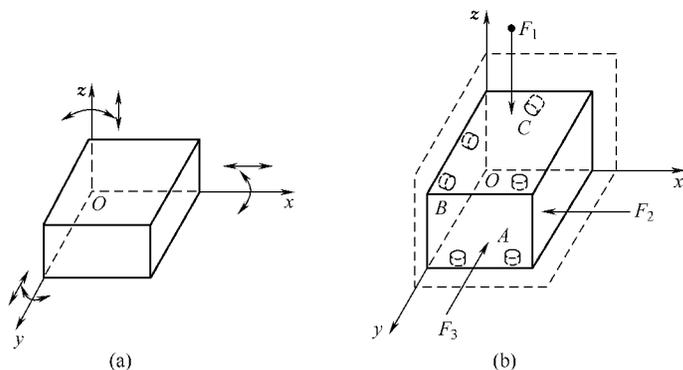


图 4-11 工件六点定位

需要注意的是定位与夹紧是两个不同的概念，定位是使工件在机床或夹具中占据一正确位置，而夹紧是使工件的这一正确位置在加工过程中保持不变，夹紧是不能替代定位的。认为工件被夹紧了其自由度也就会被限制了，是错误的。

④ 定位基准的选择。定位基准分为粗基准和精基准，在加工起始工序中，

只能用毛坯上未经加工的表面作定位基准，则该表面称为粗基准。利用已经加工过的表面作为定位基准则称为精基准。

a. 粗基准的选择。选择粗基准时主要考虑两个问题，一是合理分配各加工面的加工余量；二是保证加工面与非加工面之间的相互位置关系。粗基准的选择原则是：

第一，对于同时具有加工表面与不加工表面的工件，为确保不加工表面与加工表面的位置要求，应选择加工表面作粗基准，如图 4-12(a) 所示。如果零件上有多个不加工表面，则应以其中与加工面相互位置要求较高的表面作粗基准，如图 4-12(b) 所示，该零件有三个不加工表面，若表面 4 与表面 2 所组成的壁厚均匀度要求较高时，则应选择表面 2 作为粗基准来加工台阶孔。

第二，对于具有较多加工表面的工件，选择粗基准时，应考虑合理地分配各表面的加工余量，在加工余量的分配上应注意保证各加工表面都有足够余量，为此应选择毛坯余量最小的表面作粗基准，如图 4-12(c) 所示的阶梯轴，应选择 $\phi 55\text{mm}$ 的外圆表面作粗基准。对于工件上的某些重要表面，为了尽可能使其加工余量均匀，则应选择重要表面作粗基准。

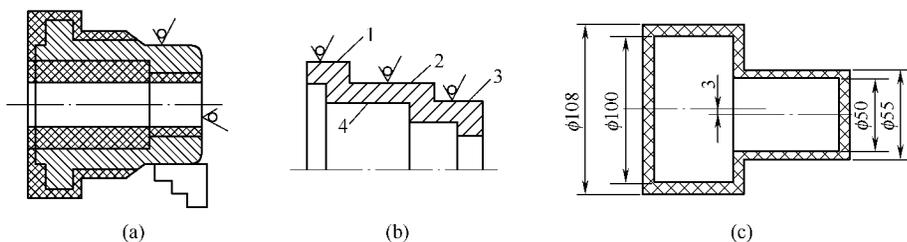


图 4-12 粗基准的选择

1~4—表面

第三，粗基准应避免重复使用，在同一尺寸方向上，粗基准通常只允许使用一次，以免产生较大的定位误差。

第四，选作粗基准的表面应平整，没有浇口、冒口或飞边等缺陷，以保证定位的可靠性。

b. 精基准的选择。精基准的选择应从保证零件加工精度出发，同时考虑装夹方便，夹具结构简单，选择时应遵循以下原则。

第一，“基准重合”原则。为了较容易地获得加工表面对其设计基准的相对位置精度要求，应选择加工表面的设计基准为定位基准，该原则称为“基准重合”原则。如图 4-13 所示，当工件表面间的尺寸按图 (a) 标注时，B 面和 C 面的加工，根据基准重合的原则，应选择设计基准 A 为定位基准。加工后，B 面、C 面相对于 A 面的平行度取决于机床的集合精度；尺寸精度 T_a 和 T_b 则取决于

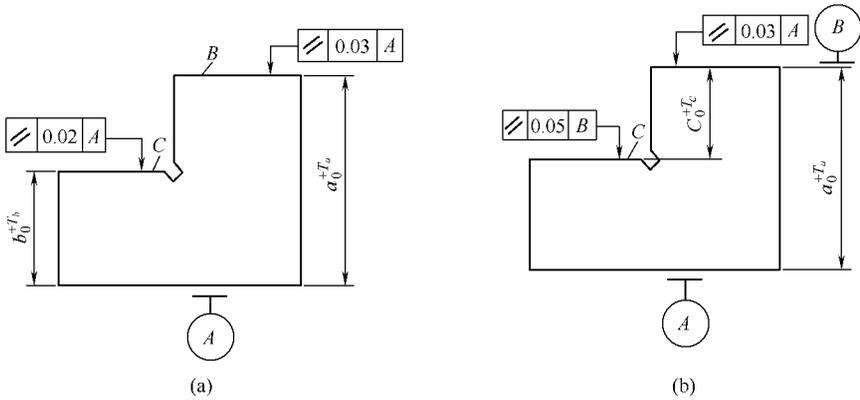


图 4-13 零件尺寸的两标注

机床-刀具-工件的一系列工艺因素。

按调整法加工 B 面和 C 面时，虽然刀具相对定位基准面 A 的位置是按照工序尺寸 a 和 b 预先调定的，而且在一批零件的加工过程中是保持不变的，但是由于工艺系统中一系列因素的影响，一批零件加工后的尺寸 a 和 b 仍然会产生误差 Δ_a 和 Δ_b ，该种误差被称为加工误差。在基准重合的情况下，只要该误差不大于 a 和 b 的尺寸公差 ($\Delta_a \leq T_a$, $\Delta_b \leq T_b$)，加工出的零件就不会报废。

当零件表面间的尺寸按图 4-13(b) 标注时，如果仍选择 A 面作为定位基准，并按照调整法分别加工 B 面和 C 面。对于 B 面则符合“基准重合”的原则；对于 C 面则定位基准与设计基准不重合。

第二，“基准统一”原则。当工件以某一组精基准定位可以比较方便地加工其它各表面时，应尽可能在多数工序中采用此组精基准定位，这就是“基准统一”原则。如轴类零件的大多数工序都以顶尖孔为定位基准。采用“基准统一”原则可减少工装设计及制造的费用，提高生产率且可以避免基准转换所造成的误差。

第三，“自为基准”原则。当精加工或光整加工工序要求余量尽可能小且均匀时，应选择加工表面本身作为定位基准，这就是“自为基准”原则。如磨削床身的导轨面时，就是导轨面本身作为定位基准，如图 4-14 所示。此外，用浮动铰刀铰孔，圆拉刀拉孔，无心磨床磨外圆表面等，均属于以加工表面本身作为定位基准。

第四，“互为基准”原则。为了获得均匀的加工余量或较高的位置精度，可采用互为基准、反复加工的原则。如加工精密齿轮时，先以

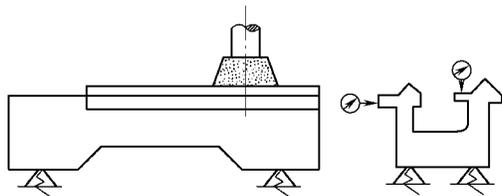


图 4-14 机床导轨面自为基准

内孔定位切出齿面，齿面淬硬后需进行磨齿。因齿面的淬硬层较薄，所以要求磨齿余量小而均匀。此时应先以齿面为基准磨削内孔，再以内孔为基准磨齿面，从而保证余量的均匀，且孔与齿面又能得到较高的相互位置精度。

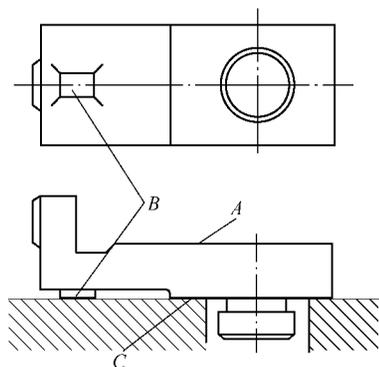


图 4-15 工艺凸台结构

第五，保证工件定位准确、夹紧可靠、操作方便的原则。

c. 辅助基准的应用。工件定位时，为保证加工表面的位置精度，多优先选择设计基准或装配基准为主要定位基准，这些基准一般为零件上的重要工作表面。但有些零件的加工，为装夹方便或易于实现基准统一，人为地制造一种基准，如图 4-15 所示零件上的工艺凸台和轴类零件加工时的中心孔。这些表面

不是零件上的工作表面，只是由于工艺需要而做出的结构，该种基准被称为辅助基准或工艺基准。另外零件上的某些次要表面（非配合面），因工艺上宜作定位基准而提高它的加工精度和表面质量以便定位时使用，该种表面也称为辅助基准。

4.1.6 工艺路线的拟订

机械加工工艺规程的制订，大体可分为两部分：其一，是拟订零件加工的工艺路线；其二，是确定各工序的工序尺寸及公差、所用设备及工艺装备、切削规范和时间定额等。

工艺路线的拟订是制订工艺规程的关键，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工序集中与分散等。关于工艺路线的拟订，目前还没有一套普遍而完善的方法，大部分是采取经过生产实践总结出的一些综合性原则。在应用这些原则时，要结合具体的生产类型及生产条件灵活处理。

(1) 加工方法的选择 加工方法的选择原则是保证加工质量、生产率与经济性。为正确选择加工方法必须了解各种加工方法的特点和掌握加工的经济精度及经济粗糙度的概念。

① 经济精度与经济粗糙度。加工过程中，影响精度的因素很多，每种加工方法在不同的工作条件下所能达到的精度是不同的。如在一定设备条件下，操作精细、选择较低的进给量和切削深度，就能获得较高的加工精度和较小的表面粗糙度。但是这必然会使生产率降低，生产成本增加。反之，提高了生产率，虽然成本降低，但会增大加工误差，降低加工精度。

经济精度是指在正常的加工条件下（采用符合质量的标准设备、工艺装备及标准技术等级的工人，不延长加工时间）所能保证的加工精度。经济粗糙度的概

念类同于经济精度的概念。

各种加工方法所能达到的经济精度和经济粗糙度等级，以及各种典型的加工方法均已制成表格，在机加工的各种手册中均可查到。表 4-8 摘录了典型表面加工方法与经济精度、经济粗糙度等级值。表 4-9 则摘录了用各种加工方法加工轴线平行孔系位置精度。

表 4-8 典型表面加工方法与经济精度、经济粗糙度等级值

序号	加工方法	经济精度 IT	经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	使用范围
外圆柱表面				
1	粗车	11~13	12.5~50	使用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车-半精车	8~10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	7~8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-精车-滚压(或抛光)	7~8	0.025~0.2	
5	粗车-半精车-磨削	7~8	0.4~0.8	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-半精车-粗磨-精磨	6~7	0.1~0.4	
7	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精加工(或轮式超精磨)	5	0.012~0.1 (R_z 0.1)	
8	粗车-半精车-精车-精细车(金刚车)	6~7	0.025~0.4	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精磨(或镜面磨)	5 以上	0.006~0.025 (R_z 0.05)	极高精度的外圆加工
10	粗车-半精车-粗磨-精磨-研磨	5 以上	0.006~0.1 (R_z 0.05)	
内圆柱表面				
11	钻	11~13	12.5	加工为淬火钢及铸铁的实心毛坯,孔径小于15~20mm
12	钻-铰	8~10	1.6~1.3	
13	钻-粗铰-精铰	7~8	0.8~1.6	
14	钻-扩	10~11	6.3~12.5	加工为淬火钢及铸铁的实心毛坯,孔径大于15~20mm
15	钻-扩-铰	8~9	1.6~3.2	
16	钻-扩-粗铰-精铰	7	0.8~1.6	
17	钻-扩-机铰-手铰	6~7	0.2~0.4	
18	钻-扩-拉	7~9	0.1~1.6	大批大量生产
19	粗镗(或扩孔)	11~13	6.3~12.5	除淬火钢外各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
20	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)	9~10	1.6~3.2	
21	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗(铰)	7~8	0.8~1.6	
22	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗-浮动镗刀精镗	6~7	0.4~0.8	

续表

序号	加工方法	经济精度 IT	经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	使用范围
内圆柱表面				
23	粗镗(扩)-半精镗-磨孔	7~8	0.2~0.8	主要用于淬火钢
24	粗镗(扩)-半精镗-粗磨-精磨	6~7	0.1~0.2	可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
25	粗镗-半精镗-精镗-精细镗(金刚镗)	6~7	0.05~0.4	主要用于精度要求高的有色金属
26	钻-(扩)-粗铰-精铰-珩磨;钻-(扩)-拉-珩磨; 粗镗-半精镗-精镗-珩磨	6~7	0.025~0.2	用于精度要求很高的孔
27	以研磨替代上述方法中的珩磨	5~6	0.006~0.1	
平 面				
28	粗车	11~13	12.5~50	端面
29	粗车-半精车	8~10	3.2~6.3	
30	粗车-半精车-精车	7~8	0.8~1.6	
31	粗车-半精车-磨削	6~8	0.2~0.8	
32	精刨(或粗铣)	11~13	6.3~25	一般不淬硬平面
33	精刨(或粗铣)-精刨(或精铣)	8~10	1.6~6.3	
34	精刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-刮研	6~7	0.1~0.8	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
35	以宽刃精刨代替上述刮研	7	0.2~0.8	
36	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-磨削	7	0.2~0.8	精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
37	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-粗磨-精磨	6~7	0.025~0.4	
38	粗铣-拉	7~9	0.2~0.8	大量生产,较小的平面
39	粗铣-精铣-磨削-研磨	5以上	0.006~0.1 (R_z 0.05)	高精度平面

应该指出经济精度的数值不是一成不变的,随着科学技术的发展、工艺技术的改进,加工的经济精度会逐步提高。

② 选择加工方法时考虑的因素。选择加工方法,通常是根据经验或查表来确定,再根据实际情况或工艺试验进行修改。从上述表中可知,满足同样精度要求的加工方法有若干种,所以选择时还要考虑如下因素。

a. 选择相应能获得经济精度的加工方法。如加工精度为 IT7,表面粗糙度 R_a 为 $0.4\mu\text{m}$ 的外圆柱面,通过精心车削是可以达到设计要求的,但不如磨削经济。

b. 工件材料的性质。如淬火钢的精加工要用磨削。有色金属圆柱表面的精

加工为避免磨削时阻塞砂轮，则要用高速精细车或精细镗（金刚镗）。

表 4-9 轴线平行孔系位置精度（经济精度）

加工方法	工具定位	两孔轴线间的距离误差或从孔轴线到平面的距离误差/mm	加工方法	工具定位	两孔轴线间的距离误差或从孔轴线到平面的距离误差/mm
立钻或摇臂钻钻孔	用钻模	0.1~0.2	卧式镗床上镗孔	用镗模	0.05~0.08
	按划线	1.0~3.0		按定位样板	0.08~0.2
立钻或摇臂钻镗孔	用镗模	0.05~0.03		按定位器指示读数	0.04~0.06
车床上镗孔	按划线	1.0~2.0		用块规	0.05~0.1
	用带有滑座的角尺	0.1~0.3		用内径规或用塞尺	0.05~0.25
坐标镗床上镗孔	用光学仪器	0.004~0.015		用程序控制的坐标装置	0.04~0.05
金刚镗床上镗孔	—	0.008~0.02		用游标卡尺	0.2~0.4
多轴组合机床镗孔	用镗模	0.03~0.05		按划线	0.4~0.6

c. 工件的结构形状和尺寸大小。如对于加工精度要求为 IT7 的孔，采用镗削、铰削、拉削和磨削均可达到要求。但箱体上的孔一般不宜选用拉削而宜采用镗削（孔径大）或铰削（孔径小）。

d. 结合生产类型考虑生产率与经济性。大批大量生产时，应采用高效率的先进工艺。如用拉削方法加工孔和平面，同时加工几个表面的组合铣削和磨削等。单件小批生产时宜采用刨削、铣削平面和钻、扩、铰孔等加工方法，避免盲目采用高效加工方法和专用设备而造成经济损失。

e. 现有生产条件。应该充分利用现有设备，选择加工方法时要注意合理安排设备负荷。同时要充分挖掘企业潜力，发挥工人的创造性。

(2) 加工顺序的确定 复杂工件的机械加工工艺路线中，要经过切削加工、热处理和辅助工序。因此在拟订工艺路线时，必须全面地把切削加工、热处理和辅助工序一起考虑，以合理安排。为确定各表面的加工顺序和工序数目，在实际生产中已经总结出一些指导性原则及具体安排时应注意的问题，下面就其进行分析。

① 加工工序安排原则。为提高机械加工质量，特别是质量要求较高时，加工应划分阶段。通常情况下可分为粗加工、半精加工和精加工三个阶段。如果加工精度和表面粗糙度要求特别高时，还可增设光整加工和超精密加工阶段。

粗加工阶段的主要任务是从毛坯上切除大部分加工余量，使其达到较低加工精度和表面质量。

半精加工阶段是介于粗加工和精加工之间的切削加工过程，它能完成一些次要表面的加工，并为主要表面的精加工作准备（如加工前必要的精度、表面粗糙

度和合适的加工余量等)。

精加工阶段是使各主要表面达到规定质量要求。

光整加工和超精密加工是对要求特别高的零件增设的加工方法，主要目的是达到所要求的表面粗糙度值和加工精度。

工艺过程划分加工阶段的主要原因是保证加工质量，合理使用设备，便于安排热处理工序，便于及时发现毛坯的缺陷。

在拟订零件的工艺路线时，一般应遵循划分加工阶段这一原则，但具体应用时要灵活处理。必须注意，工艺路线的划分阶段，是指零件加工的整个过程，不能从某一表面的加工或某一工序的性质来判断。

加工时应先加工基准面，选为精基准的表面，应安排在起始工序，先进行加工，以便尽快为后续工序提供精基准。

对于箱体、支架和连杆等零件应先加工面后加工孔。其原因是平面的轮廓平整，安放和定位比较稳定可靠。若先加工好平面就能以平面定位加工孔，便于保证与孔的位置精度。

次要表面穿插在各加工阶段进行。次要表面一般加工量都较少，加工较方便，把次要表面穿插在各加工阶段中进行加工，就能使加工阶段更加明显和顺利进行，又能增加加工阶段间的时间间隔，使工件有足够的时间让残余应力重新分布并使其引起的变形充分表现，以便在后续工序中进行修正。

② 工序集中与分散。在拟订零件加工工艺路线时，必须分析并确定工序集中或分散程度。工序集中就是将工件的加工集中在少数几道工序内完成，每道工序的加工内容较多；工序分散是将工件的加工分散在较多的工序中进行的，每道工序的加工内容很少，最少时每道工序仅包含一个简单工步。工序集中可采用多刀多刃、多轴机床、自动机床、数控机床和加工中心等技术措施，也可采用普通机床进行顺序加工。

③ 工序顺序的安排。根据零件的功用和技术要求，先将零件的主要表面和次要表面分开，然后着重考虑主要表面的加工顺序。按照机械加工工序的安排原则，其安排顺序为：加工精基准面→粗加工主要表面→半精加工主要表面→精加工主要表面→光整加工、超精密加工主要表面。次要表面的加工穿插在各阶段进行。

机械零件常用的热处理工艺包括退火、正火、调质、时效、淬火、回火、渗碳淬火和渗氮等。热处理一般分为预备热处理和最终热处理。

预备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准备良好的金属组织。其处理工艺包括退火、正火、时效和调质等。

最终热处理的目的是提高零件材料的硬度、耐磨性和强度等力学性能，处理工艺包括淬火、渗碳淬火、渗氮等。

辅助工序一般包括去毛刺、倒棱、清洗、防锈、退磁及检验等。其中检验是主要的辅助工序，它对产品的质量有极其重要的作用。一般检验工序安排在关键工序或工时较长的工序前后；也可安排在零件转换车间前后，特别是进行热处理工序的前后；各加工阶段前后及零部件全部加工完毕后也可作为辅助工序。

4.1.7 加工余量的确定

当零件加工余量确定后，在进一步安排各个工序的具体内容时，应正确地确定各工序的工序尺寸，而确定工序尺寸则应首先确定加工余量。

(1) 加工余量 由于毛坯不能达到零件所要求的精度和表面粗糙度，因此要留有加工余量，以便经过机械加工来达到这些要求。加工余量是指加工过程中从加工表面切除的金属层厚度。

① 总加工余量和工序加工余量。为了得到零件上某一表面所要求的精度和表面质量，从毛坯这一表面上切除的全部多余的金属层，称为该表面的总加工余量；完成一个工序而从某一表面上切除的金属层，称为工序加工余量。二者的关系是：总加工余量等于各工序余量之和。

② 公称加工余量、最大加工余量和最小加工余量。在制订工艺规程时，应根据各工序的性质来确定工序的加工余量，进而求出各工序的尺寸。由于在加工过程中各工序尺寸都有公差，所以实际切除的余量也是变化的。因此，加工余量又可分为公称加工余量、最大加工余量和最小加工余量，通常所说的加工余量是指公称加工余量，其值等于前后工序的基本尺寸之差，如图 4-16 所示。

加工余量有双边和单边之分，平面的加工余量是单边余量，它等于实际切削的金属层厚度；对于外圆和孔等回转表面，其加工余量是指双边余量，即以直径方向计算，实际切削的金属为加工余量数值的 1/2。

外表面的单边余量计算： $Z_b = a - b$ ，如图 4-16(a) 所示。

内表面的单边余量： $Z_b = b - a$ ，如图 4-16(b) 所示。

轴余量的计算： $2Z_b = d_a - d_b$ ，如图 4-16(c) 所示。

孔余量的计算： $2Z_b = d_b - d_a$ ，如图 4-16(d) 所示。

(2) 影响加工余量的因素 加工余量的大小对零件的加工质量和生产效率均有影响，加工余量过大，不仅增加机械加工的劳动量，降低生产率且增加材料、工具和电力的消耗，增大成本。但加工余量过小，又不能保证消除前工序的各种误差和表面缺陷，甚至出现废品。因此必须合理确定加工余量。零件表面总加工余量等于各工序加工余量的总和，而工序加工余量又是由工序最小加工余量和前工序的工序尺寸公差所组成。因此要正确确定加工余量的大小，必须首先分析影响工序最小加工余量的因素。

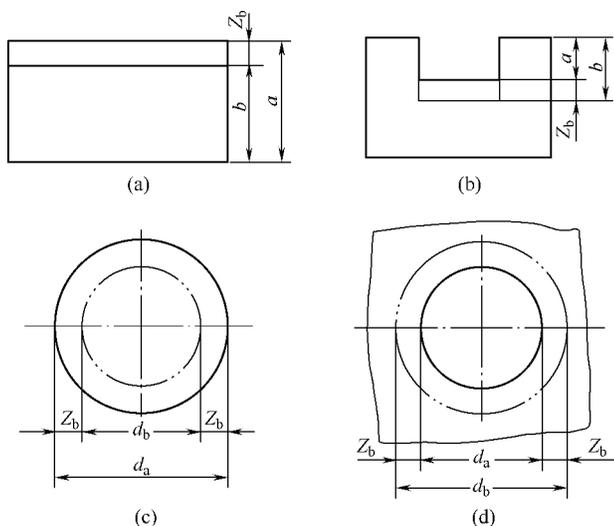


图 4-16 加工余量

为使工件的加工质量逐步得到提高，各工序所留的最小加工余量，应该保证前工序所产生的形位误差和表面层缺陷被相邻后续工序切除。这是确定工序最小加工余量的基本要求。

图 4-17 所示为最小加工余量的构成因素，图 (a) 为一个需要镗孔的工件，图 (b) 为前工序加工内孔所产生的形位误差和表面缺陷的放大示意图。其中 p_a 为轴线歪斜的形位误差； η_a 为圆柱度误差； R_a 与 H_a 分别为表面粗糙度和变形层深度。由图 (b) 可看出，为了将镗孔前的形位误差及表面缺陷切除，镗孔工序的单边最小余量应包括上述误差及缺陷值，即：

$$Z'_b = H_a + R_a + \eta_a + p_a$$

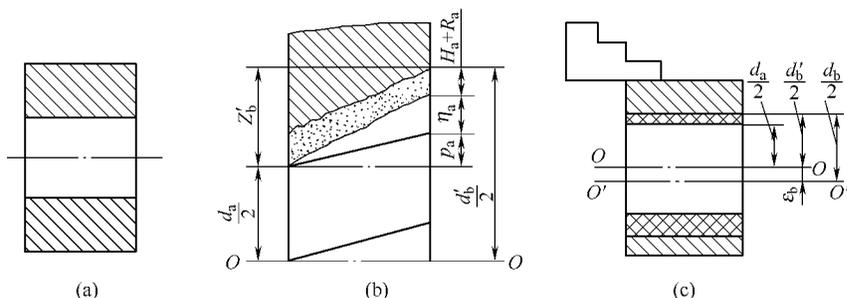


图 4-17 最小加工余量构成因素

分析了最小工序加工余量的因素后，考虑到前工序的尺寸公差通常已经包括

了形位误差。所以，影响加工余量的因素可归纳为以下几项：前工序的表面质量 H_a 与 R_a ；前工序的工序尺寸公差 T_a ；前工序的位置误差 p_a ；本工序的装夹误差 ϵ_b 。

加工余量的确定方法通常有三种，其一是分析法，该方法是以一定的试验资料和计算公式，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。此方法经济合理，但需要积累较全面的试验资料，且计算过程也比较复杂，目前较少使用。其二是修正法，此方法是以生产实践和各种试验研究积累的有关加工余量的资料数据为基础，并结合实际的加工情况来确定加工余量，此方法应用较为广泛。在查表时应注意表中的数据是公称值，对称表面（轴或孔）是加工余量的双边值，非对称表面的加工余量是单边值。其三是经验估算法，此法是根据工艺人员的实践经验来确定加工余量的。该方法的缺点是准确度差，且为了避免废品的出现，估算余量均较大，适合于单件小批生产。

4.1.8 工序尺寸与公差确定

零件图上要求的设计尺寸和公差，是经过多道工序加工后达到的。工序尺寸是零件的加工过程中各个工序应达到的尺寸。每个工序的加工尺寸是不同的，是逐步向设计尺寸靠近的。在工艺规程中需要标注出这些工序尺寸，以作为加工或检验的依据。

(1) 基准重合时工序尺寸及公差确定 内、外圆柱表面和某些平面的加工，其定位基准与设计基准（工序基准）重合，同一表面需经过多道工序加工才能达到图样要求。此时各工序的加工尺寸取决于各工序的加工余量；其公差则由该工序所采用加工方法的经济精度决定。

各工序尺寸的计算顺序是由后往前推算，即由零件图形的设计尺寸开始，一直推算到毛坯图的尺寸。

如图 4-18 所示，孔径为 $\phi 60^{+0.030}_0$ mm，其工艺路线见表 4-10。

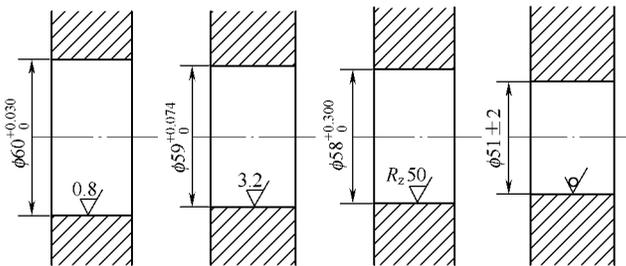


图 4-18 内孔工序尺寸计算

表 4-10 工序尺寸及公差计算

工序名称	工序余量 /mm	工序所能到达的等级 /mm	最小工序尺寸 /mm	工序尺寸及上、下偏差 /mm
磨孔	0.4	H7 ^{+0.030} ₀	60	60 ^{+0.030} ₀
半精镗孔	1.6	H9 ^{+0.074} ₀	59.6	59.6 ^{+0.074} ₀
粗镗孔	7	H12 ^{+0.300} ₀	58	58 ^{+0.30} ₀
毛坯孔	—	±2	51	51±2

具体确定步骤如下：

① 确定各工序的加工余量。根据各工序的加工性质，查表得到各工序的加工余量，见表 4-10 中的第 2 列。

② 根据查得的加工余量计算各工序尺寸。其顺序是由最后一道工序往前推算，图样上规定的尺寸，就是最后的磨孔工序尺寸（最小工序尺寸），计算结果见表 4-10 中第 4 列。

③ 确定各工序的尺寸公差及表面粗糙度。最后磨孔工序的尺寸公差和表面粗糙度就是图样上所规定的孔径公差和表面粗糙度值。各中间工序的公差及表面粗糙度是根据其对应工序的加工性质，查阅有关经济加工精度的表格得到，查得的结果见表 4-10 中第 3 列。

④ 确定各工序的上、下偏差。查得各工序的公差之后，按“人体原则”标注各工序尺寸的上、下偏差（对于孔则取上偏差为“+”的公差值，下偏差为 0；对于轴则上偏差为 0，下偏差为“-”的公差值；对于毛坯则无论是孔还是轴则取双向值，即上偏差为公差的 +1/2，下偏差为公差的 -1/2），得出的结果见表 4-10 中第 5 列。

(2) 基准不重合时工序尺寸及其公差的确定 当基准不重合时，各工序尺寸及公差的确定就必须用尺寸链的原理进行计算。

① 工艺尺寸链的概念。工艺尺寸链是指在机器装配或零件加工过程中，由

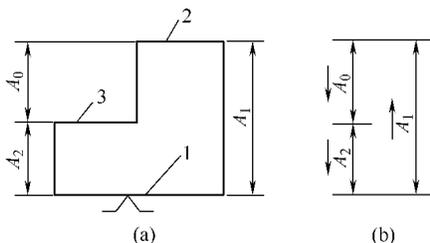


图 4-19 加工尺寸链示例

相互连接的尺寸形成封闭尺寸环。如图 4-19 所示，用零件的 1 面来定位加工 2 面，得尺寸 A_1 。仍以 1 面定位加工 3 面，保证尺寸 A_2 ，于是 $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_0$ 连接成一个封闭的尺寸组，如图 4-19(b) 所示，形成一个尺寸链。

在机械加工过程中，同一个工件的各有关工艺尺寸所组成的尺寸链称为工

艺尺寸链。

从图中可看出：工艺尺寸链由一个自然形成的尺寸与若干个直接获得的尺寸组成，如图 4-19 中的尺寸 A_1 、 A_2 是直接获得的，而 A_0 是自然形成的尺寸，其中自然形成的尺寸大小和精度受直接获得的尺寸大小和精度的影响，且自然形成的尺寸精度必然低于任何一个直接获得的尺寸精度；尺寸链必然是封闭的且各尺寸按一定的顺序首尾相接。

人们将组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的环，图 4-19 中的尺寸 A_1 、 A_2 和 A_0 都是尺寸链的环。尺寸链的环可分为以下 2 类。

a. 封闭环。加工或测量过程中最后自然形成的一个环称为封闭环，如图 4-19 中的 A_0 。每个尺寸链只有一个封闭环。

b. 组成环。加工或测量过程中直接获得的环称为组成环。尺寸链中，除封闭环外的其它环都是组成环。按其对封闭环的影响又可分为增环和减环。

增环是指尺寸链中某一类组成环，由于该类组成环的变动引起封闭环同方向的变动，如图 4-19 中的尺寸 A_1 即为增环，当其增加时， A_0 也跟着增加。

减环是指尺寸链中某一类组成环，由于该类组成环的变动引起封闭环反方向的变动，如图 4-19 中的尺寸 A_2 即为减环，当其增加时， A_0 减少。

上述尺寸链的组成环较少，可直接判断增环、减环。但当组成环比较多时直接判断就比较困难。有一种简单的方法，可便捷地判断出是增环还是减环。具体方法是在尺寸链图上，先给封闭环任意定出方向并画出箭头。然后沿此方向环绕尺寸链回路，顺次给每一个组成环画出箭头。凡箭头方向与封闭环箭头方向相反的组成环为增环，方向相同的为减环，如图 4-20 所示。

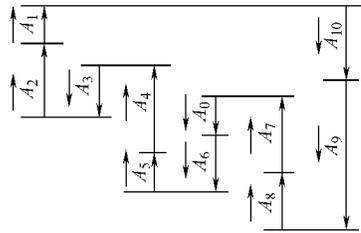


图 4-20 增、减环的判断方法

② 工艺尺寸链的建立。工艺尺寸链的计算并不难，但在其建立中，封闭环的判定和组成环的查找必须引起注意。因为一旦封闭环判定出现错误，整个尺寸链的解算将得出错误的结论。组成环查找出现错误，将得不到最少链环的尺寸链，解出的结果也是错误的。

a. 封闭环的判定。在工艺尺寸链中，封闭环是加工过程中自然形成的尺寸，如图 4-19 中的 A_0 。但是，在同一零件加工的工艺尺寸链中，封闭环是随着零件加工方案的变化而变化的。仍以图 4-19 为例，若以 1 面定位加工 2 面得尺寸 A_1 ，然后以 2 面定位加工 3 面，则 A_0 为直接获得的尺寸，而 A_2 为自然形成的尺寸，即为封闭环。再如图 4-21 所示，当以 3 面定位加工 1 面而获得尺寸 A_1 ，然后以 1 面为测量基准加工 2 面而直接获得尺寸 A_2 ，则自然形成的尺寸 A_0 即为

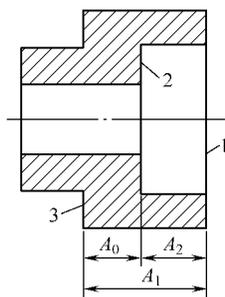


图 4-21 封闭环的判断

封闭环。但是如果以加工过的 1 面作测量基准加工 2 面直接获得尺寸 A_2 ，再以 2 面为定位基准加工 3 面，直接获得尺寸 A_0 ，此时尺寸 A_1 便为自然形成而成了封闭环。所以，封闭环的判定应根据零件加工的具体方案，紧抓“自然形成”之要领。

b. 组成环的查找。查找组成环时应从构成封闭环的两表面开始，同步地按照工艺过程的顺序，分别向前查找各表面最近一次加工的加工尺寸，之后再进一步向前查找此加工尺寸的工序基准的最近一次加工时的加工尺寸，如此继续向前查找，直到两条路线最后得到的加工尺寸的工序基准重合（即两者的工序基准为同一表面），至此上述尺寸系统即形成封闭轮廓，从而构成了工艺尺寸链。

查找组成环必须掌握的基本特点为：组成环是加工过程中“直接获得”的，而且对封闭环有影响。

③ 工艺尺寸链计算公式。工艺尺寸链计算有两种方法，极值法和概率法。这里重点介绍极值法计算公式。

a. 封闭环基本尺寸计算方法。

封闭环基本尺寸(A_0)=所有增环基本尺寸之和-所有减环基本尺寸之和

b. 封闭环中间偏差计算方法。

封闭环中间偏差(Δ_0)=所有增环的中间偏差之和-所有减环的中间偏差之和
中间偏差是指上偏差与下偏差的平均值，即上、下偏差之和的 1/2。

c. 封闭环公差计算方法。

封闭环公差(T_0)=所有组成环公差之和

d. 封闭环极限偏差计算方法。

上偏差(ES_0)=封闭环中间偏差(Δ_0)+封闭环公差(T_0)的 1/2

下偏差(EI_0)=封闭环中间偏差(Δ_0)-封闭环公差(T_0)的 1/2

e. 封闭环极限尺寸计算方法。

最大极限尺寸(A_{0max})=封闭环基本尺寸(A_0)+上偏差(ES_0)

最小极限尺寸(A_{0min})=封闭环基本尺寸(A_0)+下偏差(EI_0)

f. 组成环平均公差计算方法。

组成环平均公差(T_{avi})=封闭环公差(T_0)/组成环数目(m)

g. 组成环极限偏差计算方法。

上偏差(ES_i)=第 i 组成环中间偏差(Δ_i)+第 i 组成环公差(T_i)的 1/2

下偏差(EI_i)=第 i 组成环中间偏差(Δ_i)-第 i 组成环公差(T_i)的 1/2

h. 组成环极限尺寸计算方法。

最大极限尺寸($A_{i\max}$)=第 i 组成环基本尺寸(A_i)+上偏差(ES_i)

最小极限尺寸($A_{i\min}$)=第 i 组成环基本尺寸(A_i)+下偏差(EI_i)

4.1.9 机床工艺装备等的选择

制订机械加工工艺,其中一项重要的内容是选择机床和夹具等设备。合理地选择上述设备,对提高功效与产品质量有重要意义。

(1) 机床的选择 选择机床时应注意如下几点:

① 机床的主要规格尺寸应与加工工件的外形轮廓尺寸相适应,即小工件应选择小机床,大工件应选择大机床,做到设备合理使用。

② 机床的精度应与要求的加工精度相适应。对于高精度的工件,在缺乏精密设备时,可通过设备改装,以粗干精。

③ 机床的生产率应与加工工件的生产类型相适应。单件小批生产一般选择通用设备,大批大量生产宜选用高效率的专用设备。

④ 机床的选择应结合现场的实际情况。如设备的类型、规格及精度状况,设备负荷平衡情况及设备分布排列情况等。

(2) 工艺装备的选择 工艺装备包括夹具、刀具及量具。单件小批生产时,应尽量选择通用夹具,如各种卡盘、台虎钳、回转台等。为提高生产效率,应积极推广使用组合夹具。大批大量生产,应采用高生产率的气、液传动专用夹具,夹具的精度应与加工精度相适应。

选择刀具时应优先选用通用刀具,以缩短刀具制造周期和降低成本。必要时可采用各种高生产率的专用刀具和复合刀具。刀具的类型、规格和精度等应符合加工要求,如铰孔时,应根据被加工孔的不同精度,选择相应精度等级的铰刀。

在选择量具时,对于单件小批生产应选择通用量具,如游标卡尺、百分表等。大批大量生产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。

(3) 切削用量与时间定额的确定 正确选择切削用量,对保证加工精度、提高生产率和降低刀具的损耗都有很大意义。在一般工厂中,由于工件材料、毛坯状况、刀具材料和几何角度及机床刚性等多种工艺因素变化较大,故在工艺文件中不规定切削用量,而由操作者根据实际情况确定。但是,在大批大量生产中,特别是在流水线和自动线上生产的工件,就必须合理地确定每一工序的切削用量,确定切削用量时可参考有关手册。

时间定额是在一定生产条件下,完成某一工序所规定的时间。时间定额的制订应考虑到最有效地利用生产工具,并参照工人的实践经验和实际操作情况,在充分调查研究、广泛征求意见的基础上,实事求是地予以确定。

4.2 模具典型零件的加工

机械加工是制造模具零件的主要加工方法，可通过普通切削机床、精密机床、仿形机床、数控机床按图样要求加工成所需要的模具零件。不同的零件有各自不同的加工方法和工艺规程。

4.2.1 模架组成零件的加工

模架由导向装置与支承零件组成，其作用是把模具的其它零件连接起来，并保证模具的工作部分在工作时有正确的相对位置。图 4-22 为冲模模架的常见结构，尽管各种模架结构不同，但它们的支承零件如模座、垫板、固定板都是平面零件，在工艺上主要都需进行平面及孔系加工。模架中导向装置的导套和导柱都是机械加工中常见的套类和轴类零件，都需要进行内、外圆柱表面的加工。

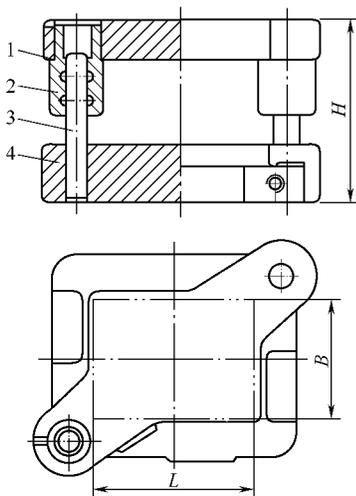


图 4-22 冲模模架

1—上模座；2—导套；
3—导柱；4—下模座

(1) 上下模座的加工 按导柱在模座中的位置和数量，模架可分为对角、中间、后侧、四导柱模架；按导柱导向的方式，模架可分为滑动、滚动、可卸导柱模架。模座的主要作用是用于安装导柱、导套，连接上下模固定板零件，其结构、尺寸均已标准化。图 4-23 为一标准对角导柱模架的上下模座，一般采用铸铁或铸钢制造。

① 模座加工技术要求。模座加工后应满足的技术要求是：模座的上下平面应保持平行，不同尺寸模座的平行度公差要求见表 4-11；模座上的导柱、导套孔必须与基准面垂直，其垂直度公差见表 4-12；模座上的未标注公差尺寸按 IT14 级精度加工；模座上下工作面精磨后的表面粗糙度值 R_a 为 $1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ，其余面为 $6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$ ，四周非安装面可按非加工表面处理。

② 模座的加工原则。模座主要是平面加工和孔系加工，在加工过程中为了保证技术要求和加工方便，一般应遵循先面后孔的加工原则，即先加工平面，然后再以平面定位加工孔系。模座的毛坯经过刨削或铣削加工后，再对平面进行磨削，这样可以提高模座平面的平面度和上下平面的平行度，同时易于保证孔轴线与模座上下平面的垂直度要求。

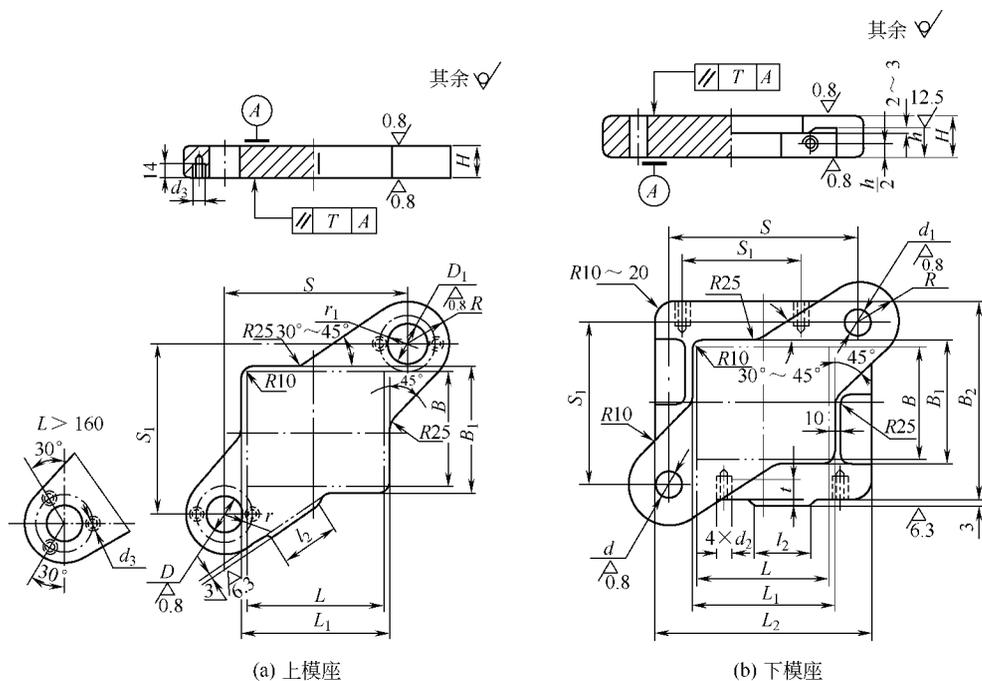


图 4-23 冲模模座

表 4-11 模座上下平面的平行度公差

基本尺寸/mm	模架精度等级/mm	
	0 I、I	0 II、II
	平行度	
>40~63	0.008	0.012
>63~100	0.010	0.015
>100~160	0.012	0.020
>160~250	0.015	0.025
>250~400	0.020	0.030
>400~630	0.025	0.040
>630~1000	0.030	0.050
>1000~1600	0.040	0.060

注：滚动导向模架的模座采用 0 I、I 级。其它模座和板的平行度误差采用公差等级 0 II、II 级。

上下模座孔可根据加工要求和现场的生产条件，在镗床、铣床或摇臂钻等机床上采用坐标法或利用引导装置进行加工。生产批量较大时可以在专用镗床上进行加工。为了使导柱、导套的孔中心距尺寸一致，在镗孔时经常将上下模座重叠

在一起，一次装夹同时镗出导柱和导套的安装孔。

表 4-12 模座上的导柱导套孔与平面的垂直度公差

被测尺寸/mm	模架精度等级/mm	
	0 I、I	0 II、II
	垂直度	
>40~63	0.008	0.012
>63~100	0.010	0.015
>100~160	0.012	0.020
>160~250	0.025	0.040

③ 模座的加工工艺过程（单件小批生产）。模座一般用铸铁和铸钢作毛坯，基本工艺过程包括：

a. 铸造。铸造后的毛坯应留有适当的切削加工余量，并不允许有夹渣、裂纹和过大的缩孔、过烧现象。

b. 热处理。进行退火处理消除内应力，以利于后续工序的切削加工。

c. 钳工划线。根据模座的尺寸要求进行划线。

d. 铣或刨削。铣或刨削上下平面，上下各留单面磨削余量 0.15~0.20mm。

e. 钻削。钻导套、导柱孔，各孔留镗孔余量 2mm。

f. 刨削。刨削气槽、油槽，加工到尺寸要求的数值。

g. 磨削。磨削上下平面，加工到尺寸要求的数值。

h. 铣削。铣削到肩台至尺寸要求。

i. 镗削。镗削导柱、导套孔。在镗孔时，上下模座的导套及导柱孔应配对加工，其余各螺孔、销钉孔应与凸模固定板、凹模配钻加工，以保证两零件孔的同轴度要求。

加工模板孔时，需以模板平面为基准，用专用镗床或钻床加工。其上下模座相应的导柱、导套孔应保持同轴，而孔的中心线应与模板平面保持垂直并达到孔径尺寸要求。

j. 检验。按图样要求进行检验。

k. 钳工。加工后的模板应去除未加工表面的毛刺、凸起或对非加工表面涂漆。

(2) 导柱的加工 模具应用的导柱结构种类很多，其典型结构如图 4-24 所示。导柱主要的表面为不同直径的同轴圆柱面，根据结构尺寸和材料要求，可直接选用适当尺寸的圆钢作为毛坯。

① 导柱的技术要求。导柱与固定模板配合部位直径的同轴度公差，应小于工作部分直径公差的 1/2；导柱的工作部分圆柱度公差应满足相关国家的要

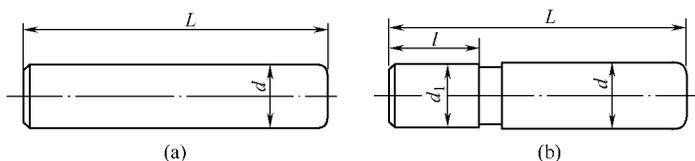


图 4-24 典型导柱结构

求，见表 4-13；导柱加工后，其各部分尺寸精度、表面质量及热处理要求等均应符合图样要求。在渗碳处理时，其工作表面上的渗碳层应均匀，深度一般为 0.8~1.2mm。

表 4-13 导柱工作部分圆柱度公差

导柱直径/mm	模架精度等级/mm	
	0 I、I	0 II、II
	圆柱度	
≤30	0.003	0.004
>30~45	0.004	0.005
>45	0.005	0.006

② 典型导柱结构的加工工艺过程（单件小批生产）。由于导柱结构简单且种类不多，因此以典型导柱结构为例说明其加工工艺。

a. 备料与切断。导柱的材料一般为 20 钢（或按图纸要求选择材料）。切断后断面应留有端面车削余量 3~5mm，外圆应留有 3~4mm 的切削余量。

b. 车削端面与钻中心孔。车削一端面，应给另一端面留出 1.5~2.5mm 的车削余量，车完后钻中心孔；调头车另一端面至尺寸要求，车后钻中心孔。

c. 车削外圆。按图纸粗车外圆，两边各留 0.5mm 的磨削余量，如果导柱有槽，则切槽至尺寸要求。

d. 中间检验。主要检验前几道工序的加工尺寸是否符合工序要求。

e. 热处理。按热处理工艺要求进行操作，保证渗碳层厚度为 0.8~1.2mm，渗碳后的淬火硬度为 58~62HRC。

f. 研磨。研一端中心孔，然后调头研另一端中心孔。

g. 磨削。用外圆磨床及无心磨床磨削外圆。磨削后应留 0.01~0.05mm 的研磨余量。

h. 研磨。加工后的导柱，为降低其外圆表面粗糙度值，达到表面质量要求，应采用抛光处理。

i. 最终检验。检验各工序尺寸是否符合设计要求。

③ 导柱光整加工。导柱经过粗加工、热处理及外圆磨削后，为进一步提高导柱圆柱面尺寸精度、减小表面粗糙度，可在最后采用研磨导柱工序。专业化大规模生产时，可在专业用研磨机上进行研磨；单件小批生产时，可采用导柱研磨套在卧式车床上进行研磨。研磨时将导柱安装在车床上，在导柱表面均匀涂上一层研磨剂，然后把研磨工具套装在导柱被研磨表面上，利用滑板的往复运动和主轴的旋转运动进行研磨。

粗磨时研磨速度为 $40\sim 60\text{m/min}$ ，精磨时研磨速度为 $6\sim 12\text{m/min}$ 。通过研磨工具上的调整螺栓，调节研磨套的直径以控制研磨量的大小。研磨余量一般取 $0.05\sim 0.012\text{mm}$ 。研磨时的工作压力：粗磨时为 $(1\sim 2)\times 10^5\text{Pa}$ ；精磨时为 $(0.1\sim 1)\times 10^5\text{Pa}$ 。研磨套是用铸铁制造的，其内径比工件的外径大 $0.02\sim 0.04\text{mm}$ ，长度一般取工件研磨表面长度的 $25\%\sim 50\%$ 。利用研磨套研磨导柱的方法简单且加工效果好。

在加工导柱时，为保证各外圆柱面之间的位置精度和均匀的磨削余量，外圆车削及磨削工序的定位基准应重合，导柱以中心孔定位，其各道工序的定位基准应统一。导柱在热处理后要要进行中心孔修整，目的在于消除中心孔在热处理过程中可能产生的变形和其它缺陷，使磨削外圆柱面时，中心定位孔与顶尖表面之间配合良好，获得准确定位。通常采用的方法有：磨削、研磨、挤压等。

(3) 导套的加工 导套和导柱一样，都是模具中应用最为广泛的导向零件，典型结构如图 4-25 所示。主要表面是内外圆柱面。因此，可根据它们的结构形状、尺寸和材料要求，选择适当尺寸的圆钢作为毛坯。

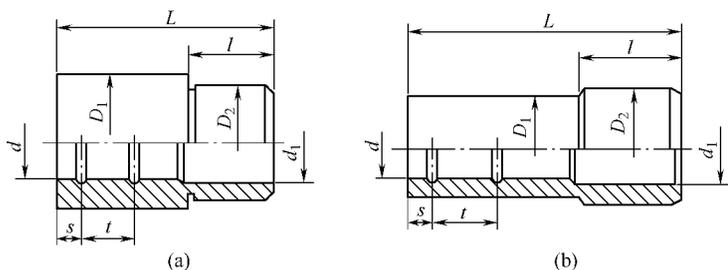


图 4-25 冲模用滑动导套

① 导套的技术要求。导套工作部分圆柱度误差应满足相应的国家标准（见表 4-14）；导套加工后应进行渗碳处理，其渗碳后的淬火硬度为 $58\sim 62\text{HRC}$ ，渗碳层应均匀；导柱与导套配合面的表面粗糙度 R_a 应小于 $0.4\mu\text{m}$ ；导套加工后必须符合图纸要求的形状与尺寸精度要求；导套与固定模座配合部位直径的同轴度公差，不应超过工作部分直径公差的 $1/2$ 。

表 4-14 导套内径圆柱度公差

导柱直径/mm	模架精度等级/mm	
	0 I、I	0 II、II
	圆柱度	
≤30	0.004	0.006
>30~45	0.005	0.007
>45	0.006	0.008

② 导套的加工工艺过程。典型导套加工工艺过程如下：

a. 备料。将圆钢切断，长度方面，留端面切削余量 4mm（两端），在圆柱直径上应留 3~4mm 的车削余量。

b. 车削。车削端面，留 2~3mm 余量，钻导套孔，留 2mm 车、磨削余量，车削外圆，留磨削余量，镗孔镗油槽。

c. 车削另一端面至尺寸要求，车削外圆至尺寸要求。

d. 中间检验。检验前几道工序尺寸是否符合要求。

e. 热处理。按热处理工艺进行，保证渗碳层厚度在 0.8~1.2mm 之间，硬度为 58~62HRC。

f. 磨削。磨削内孔，留 0.01mm 研磨余量，磨削外圆至尺寸要求。

③ 导套的光整加工。为提高导套内孔尺寸精度和减小表面粗糙度值，对导套常进行光整加工，常用的方法有：挤压加工导套孔；研磨导套孔；磨削导套外圆等。

(4) 型腔类模架的加工工艺流程 型腔类模架特别是塑料模模架，目前成为标准化、大批生产的定型产品，故应采用高效、性能优良、机械化、自动化程度较高的专用加工机床和设备，建立生产线来进行生产。图 4-26 为型腔标准模架生产工艺流程。其同样适合压铸模、压缩模生产。

应当注意的是，在各种零件加工阶段中，工序的划分、工艺方案和设备的选择等，必须根据零件的形状、结构、尺寸大小、精度等级、表面质量及工厂的设备技术条件等综合考虑。在不同生产条件下，对同一零件加工采用的加工设备、工艺方案不一定相同。

4.2.2 冲裁模凸模的加工

凸模是冲裁模的工作零件，其工作表面的加工方法与其形状、尺寸及精度有关，由于冲裁件的形状繁多，凸模刃口轮廓也多种多样。从工艺角度考虑，凸模大致可分为圆形和非圆形两种类型。

(1) 圆形凸模的加工 圆形凸模的工作面和固定端一般都是圆形，其结构主

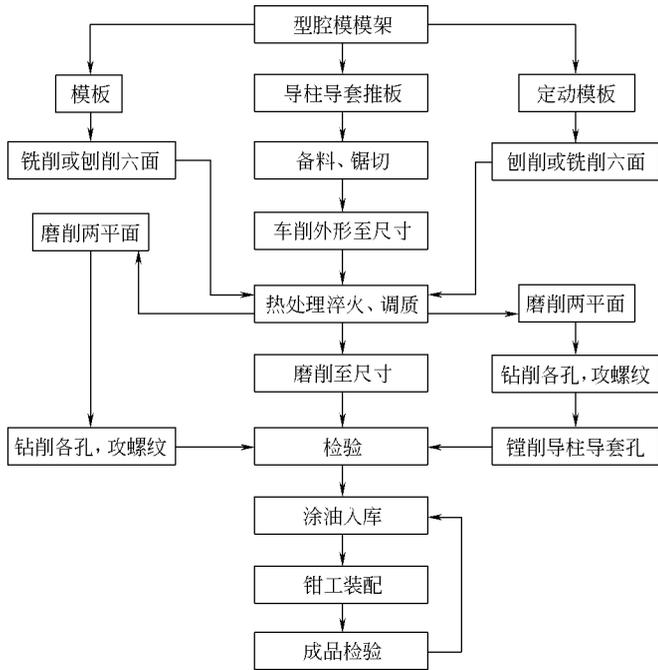


图 4-26 型腔标准模架生产工艺流程

要由外圆柱面和端面及过渡圆角组成。圆形凸模制造方法比较简单，首先在车床上加工毛坯，经过热处理后用外圆磨床精磨，最后刃磨工作部分。

如图 4-27 所示，圆形凸模工作部分相对固定部分具有同轴度小于 $\phi 0.02$ 的位置公差要求。一般在加工时，可通过一次装夹或采用同一定位基准安装加工的工艺措施来保证，常见的工艺方案有双顶尖法与工艺夹头法两种。

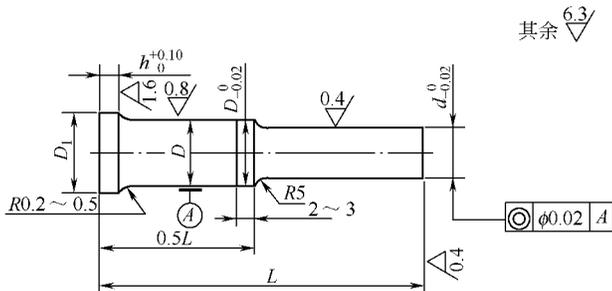


图 4-27 圆形凸模

① 双顶尖法。该方法是先车削出圆形凸模的两个端面，按国家标准中对中心孔的要求，钻两端顶尖孔，再用双顶尖装夹圆凸模毛坯，车削及磨削圆柱面。

这种方法可保证车削、磨削外圆时安装定位基准相同，适用于细长圆形凸模的加工。

② 工艺夹头法。工艺夹头是先车削出圆形凸模两端面、外圆及工艺夹头，然后用三爪自动定心卡盘，一次装夹磨削三个阶梯圆。这种方法适用于长径比不大的圆形凸模加工。

(2) 非圆形凸模的加工方法 对于非圆形凸模，传统的加工方法有压印锉修、刨削加工、铣削加工和成形磨削。这些方法均是在热处理前进行的，由于热处理变形等原因，凸模的加工精度不高且生产率低。

① 压印锉修。用凹模压印锉修制造凸模刃口，是模具钳工经常应用的一种制造凸模的方法，特别是在缺少专用制模设备的情况下，采用该方法十分有效。

压印锉修是利用压力机，将未淬火的凸模压入已经淬硬的成形凹模内，如图 4-28 所示。凸模上的多余金属由于压力的作用被凹模挤出，凸模上出现凹模印痕，再根据印痕把多余的金属锉去。如此反复几次，直到凸模刃口达到所要求的尺寸，压印后，按图样所规定的间隙值再锉修凸模，直到间隙符合要求并经检验合格后进行热处理，再经刃磨修复后即可使用。

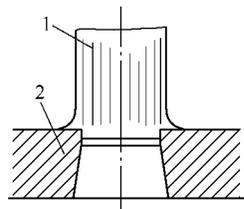


图 4-28 凹模压印示意图
1—凸模；2—凹模

凹模压印锉修制造凸模时，压印凹模刃口的上下平面应磨修平整。并将压印凹模和凸模坯料先进行退磁处理，否则在压印过程中，其碎铁屑会附在刃口上，使刃口擦伤产生划痕，影响压印质量。

为减少压印摩擦和提高凸模表面质量，凹模工作刃口表面质量要求较高，表面粗糙度值 $R_a < 0.4 \mu\text{m}$ 。在压印前凸模及凹模表面上应涂一层硫酸铜（少量）；压印时，应将凸模正确地放在凹模刃口内，使四周余量分布均匀，压印凹模表面与凸模中心线垂直后才可进行挤压；在压印时最好用手扳动压力机或油压机，不宜采用曲柄压力机。应当始终保持压力机的压力中心通过凹模的中心线，不能倾斜；每次压印不宜过深，首次压印控制在 0.2mm 以内，以后可逐渐增加到 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ ；每次压印后，可根据压印印痕锉修，锉修时不允许碰到已压光的表面。锉修后留下的余量要均匀，以免下次压印时产生不必要的偏斜。

② 刨削加工。模具制造的特点是单件小批生产。因此，可用刨床加工模具零件的外形平面和曲面。其尺寸精度可达 0.05mm ，表面粗糙度值 R_a 为 $6.3 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。刨削后需经热处理，一般都留有精加工余量。

a. 刨削冲孔凸模。图 4-29 为一个需要刨削的凸模结构。加工时需使用通用夹具（机床用平口台虎钳和专用夹具）进行装夹。

刨削前先按凸模尺寸留出合适的加工余量锻造出矩形毛坯，并根据所用的材

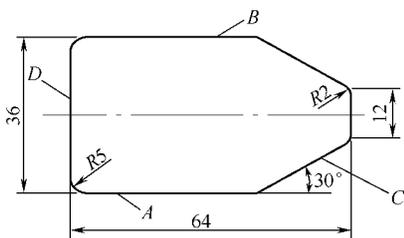


图 4-29 需刨削的凸模结构

料进行适当的退火、正火或调质处理；准备好所有的量具、刀具和样板；安装、调整好专用的夹具。

用机床平口台虎钳或专用夹具装夹凸模毛坯后进行刨削加工，加工时进刀量一定要均匀并经常测量各部分尺寸。工艺过程可分三步进行，具体步骤如下：

第一步，用机床平口台虎钳装夹并刨削坯料 A、B 两平面，保证两平面的平行度，使厚度至尺寸要求，并留有 0.02mm 的余量。

第二步，用机床平口台虎钳装夹并刨削坯料 C、D 两侧面，及 R5 圆弧面，保证圆弧与两平面圆滑过渡。刨削两端面，使坯料宽度、高度至尺寸要求，留有单边加工余量 0.02mm。

第三步，用专用工具装夹，刨削两斜面至尺寸要求并留 0.02mm 的加工余量。用圆弧刨刀刨削 R2 圆弧，保证与两平面圆滑过渡，如图 4-30 所示。

热处理：按热处理工艺进行，淬火硬度为 58~62HRC。

研磨：研磨凸模侧面及刃口，保证尺寸精度和表面粗糙度达到设计要求。

检验：测量各部分尺寸及检验圆弧。

b. 刨削凸模注意事项。首先在凸模非加工端面上划线或在端面粘贴样板，以作为刨削时的依据。划线线条必须明显、清晰、准确，最好能点样冲眼，以避免加工时造成线条模糊，影响加工的准确性。

将量具及加工专用夹具准备好，根据凸模的几何形状，制造专用的成形刀具和样板；选择、安装、调整好专用夹具。

加工时凸模要牢固地夹紧在刨床的工作台或夹具之中，不得松动；每次进刀量不可太大，当即将到达所要求尺寸时更要小心，以防划伤已加工表面；在刨削过程中要用测量工具、样板等随时进行检验，并根据加工余量调整进刀量，以保证刨削质量。

对刨削后的凸模，要以量具和样板配合检验，刨削后应留有精加工余量。一般粗刨后单边研磨余量为 0.2mm 左右，精刨后单边研磨余量为 0.02mm 左右。

③ 铣削加工。在铣床上加工凸模，一般按划线加工。加工时，铣床的工作台和固定在铣床工作台上的坯料，采用手工操作纵横向进给。如图 4-31(a) 所示

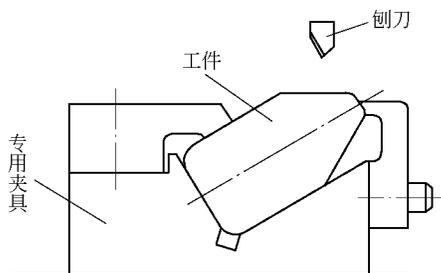


图 4-30 刨削斜面圆弧面示意图

的凸模，可采用立铣加工，其加工工艺过程为：

a. 准备 $\phi 55 \sim 60\text{mm}$ 圆钢或锻件，按图样要求车削成图 4-31(b) 所示的坯料。

b. 用平面磨床磨削上、下端面，在坯料的上端面按图样划线。

c. 将毛坯夹紧在立铣床的圆盘夹头上，开启铣床，利用圆柱铣刀顺划线轨迹进行铣削，如图 4-31(c) 所示。

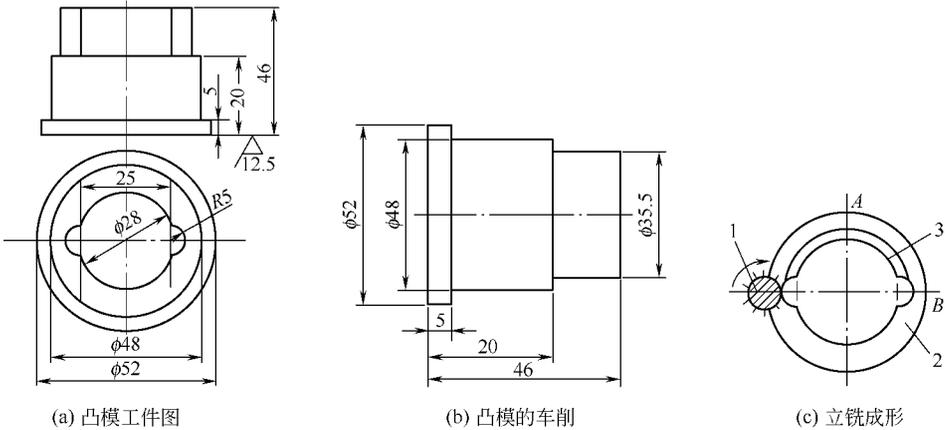


图 4-31 成形铣削

1—铣刀；2—毛坯；3—划线线条

d. 钳工修整至尺寸要求，铣削加工时，用手操作铣床工作台，应使毛坯随工作台转动的轨迹与划线的外缘形状相吻合，并使刀具能靠线均匀地行走。铣削后，各铣削面一般都应留有 $0.15 \sim 0.30\text{mm}$ 的余量以便于钳工最后修整成形。

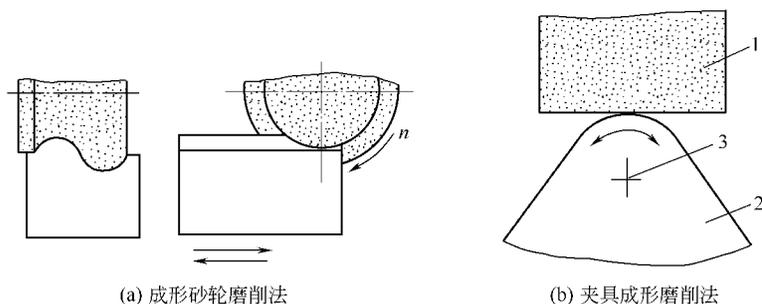
④ 成形磨削。成形磨削是模具零件成形表面精加工的一种主要方法，可对凸模、凹模镶电火花加工用的电极等成形表面进行精加工，也可以加工硬质合金和热处理后硬度很高的模具零件。成形磨削可以在成形磨床、万能工具磨床和工具曲线磨床上进行。

成形磨削的基本方法包括：成形砂轮磨削法、夹具成形磨削法、光学曲线磨削法、数控成形磨削法等，如图 4-32 所示。

4.2.3 凹模型孔的加工

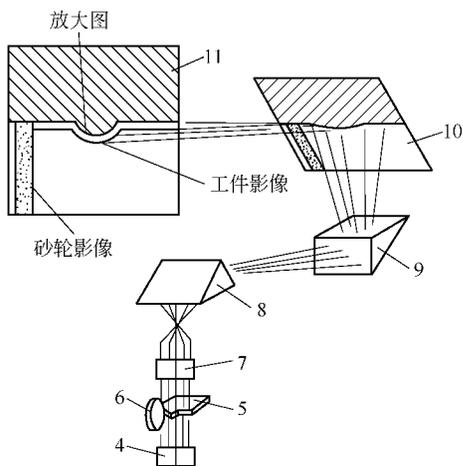
凹模型孔一般指模具中成形制件内外表面轮廓的通孔，由于成形制件表面轮廓的形状比较多，因此型孔的轮廓也是多种多样。按形状凹模型孔可分为圆形凹模型孔和异形凹模型孔两类。

(1) 圆形凹模型孔加工 圆形凹模型孔分为单圆形和多圆形两种，单圆形孔



(a) 成形砂轮磨削法

(b) 夹具成形磨削法



(c) 光学曲线磨削法

图 4-32 成形磨削法

1—砂轮；2—工件；3—旋转中心；4—光源；5—工件；6—砂轮；7—物镜；
8,9—三棱镜；10—平面镜；11—光源

加工比较简单，一般采用钻、扩、镗等加工方法进行粗加工和半精加工。经过热处理后，用内圆磨床进行精加工。

多圆形凹模型孔的加工属于孔系加工，加工时，在保证各凹模型孔的尺寸与形状精度前提下，必须保证凹模型孔之间的相对位置。多圆形凹模型孔一般采用高精度的坐标镗床和立式铣床进行加工。

① 用坐标镗床加工时的加工工艺。坐标镗床是利用坐标法原理进行精加工的机床，主要用于孔及孔系工件的精密加工。坐标镗床设有有误差补偿功能的精密丝杠、游标精密直尺、光学读数装置等工具，用来控制工作台的移动，精度可达 0.005mm 。此外还设有精密回转工作台，可加工沿圆周分布的孔系，读数精度高。其加工工艺过程如下：

- a. 根据图样要求，选择加工工艺基准、工艺基准精度及表面粗糙度。
- b. 确定圆点位置，可以选择相互垂直的两基准线（面）的交点（线），也可

利用光学显微镜对准模板上的基准轮廓线来确定原始点。

c. 按坐标加工要求，将零件图原图标注尺寸的形式转换成坐标标注尺寸的形式，如图 4-33 所示。

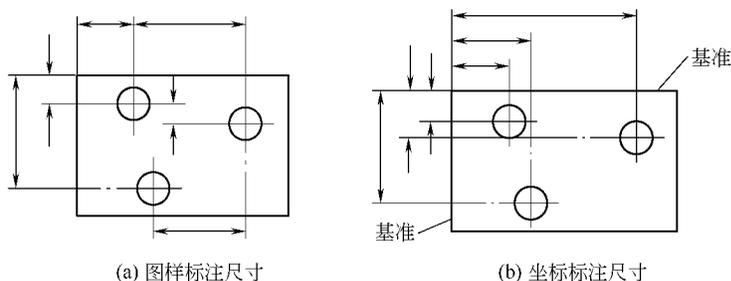


图 4-33 尺寸标注形式换算

d. 工件在加工前应放在恒温室内，以减少工件受环境温度影响而产生的变形。

e. 工件定位与找正，将工件在坐标镗床上正确定位并夹紧，然后对工件找正。找正的方法包括千分表找正、开口形端面规找正、中心显微镜找正、L 形端面规找正、芯棒和量规找正。

f. 根据已经换算的坐标尺寸移动工作台，在坐标镗床主轴内安装弹簧样冲器，如图 4-34 所示。在各型孔中心逐点打出样冲眼。打出中心样冲眼时转动手轮，手轮上的斜面将栓销向上推动，顶尖则被提升并压缩弹簧。当栓销达到斜面最高位置时继续转动手轮，则弹簧将顶尖弹下，随即打出中心样冲眼。

g. 根据各型孔中心的定位尺寸和坐标换算值，对各个要求加工的型孔钻出适当大小的定心孔。中心钻孔必须具有良好的刚性，刃磨正确。

h. 对已经钻出的定心孔进行钻、扩、铰、镗等孔系加工。为防止由于切削热而影响孔距精度，应先钻削孔距较近的大型孔，然后钻铰小型孔。

② 用立式铣床加工时的加工工艺。当没有高精度坐标镗床时，可采用普通立式铣床加工多圆形凹模型孔。加工时，在铣床工作台的纵横移动方向上安装量块和百分表测量装置，按坐标法进行多圆形凹模型孔的加工，以保证各型孔中心距要求。如图 4-35 所示，该零件上有三个圆形凹模型孔。用坐标法的加工步骤为，加工型孔 C→工作台横向移动 B 距离→纵向移动 N 距离并加工型

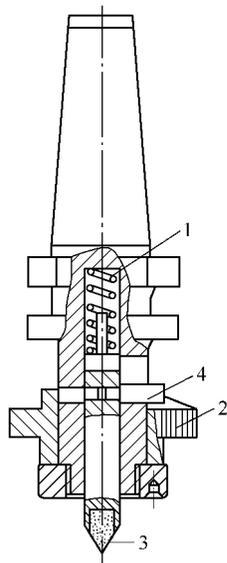


图 4-34 弹簧样冲器
1—弹簧；2—手轮；
3—顶尖；4—栓销

孔 $D \rightarrow$ 用同样方法加工型孔 E 。

该方法的加工特点是，将各型孔间的尺寸转化为直角坐标上的尺寸进行加工。为提高型孔位置加工精度，可在立式铣床纵横滑板上加装千分表、块规等测量装置，用于准确地控制工作台的移动距离。

③ 用坐标磨床加工时的加工工艺。该方法与坐标镗床加工的工艺类似。首先按准确的坐标位置保证加工孔中心距尺寸精度要求，只是将镗刀改为砂轮。用坐标磨床加工是一种高精度的加工工艺方法。加工时，将工件固定在精密的工作台上，并使工作台移动或转动到孔的坐标位置，在高速磨头的旋转、行星运动（砂轮回转轴线的圆周运动）及上下往复运动下进行磨削，如图 4-36 所示。

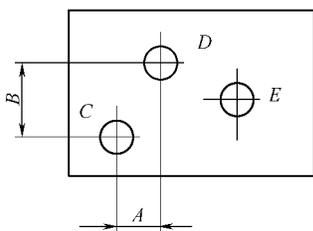


图 4-35 型孔的加工方法

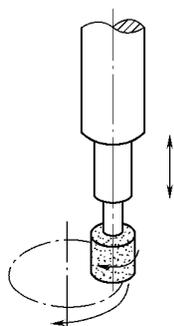


图 4-36 磨床砂轮运动轨迹

用坐标磨床可以进行规则或不规则的内孔与外形磨削。根据所用磨床的不同，目前坐标磨床加工主要是手动坐标磨削加工和连续轨迹数控坐标磨削加工。

手动坐标磨削加工是指手动坐标磨床上用点位进给法实现对工件轮廓的加工。

连续轨迹数控坐标磨削加工是在连续轨迹坐标磨床上用计算机自动控制以实现其对工件型面的加工。

坐标磨削方法主要包括以下几种形式。

a. 内孔磨削。利用砂轮的高速自转、行星运动和轴向的直线往复运动，完成内孔的磨削，如图 4-37(a) 所示。

b. 外圆磨削。外圆磨削也是利用砂轮的高速自转、行星运动及轴向直线往复运动实现的，如图 4-37(b) 所示。其径向进给是利用行星运动直径的缩小完成的。

c. 锥孔磨削。锥孔的加工是利用磨床上的专门机构，使砂轮在轴向进给的同时连续改变行星运动半径，如图 4-37(c) 所示。锥孔的锥顶角大小取决于两者的变化比值，一般磨削锥孔的最大锥顶角为 12° 。

d. 平面磨削。磨削平面时，砂轮仅高速自转而没有行星运动。用工作台

的移动实现进给运动，如图 4-37(d) 所示。平面磨削适用于平面轮廓的精密加工。

e. 侧磨。该种磨削方法是用专门的磨槽附件对槽形、方形及带清角的内表面进行磨削加工。砂轮在磨槽附件上的装夹和运动情况如图 4-37(e) 所示。

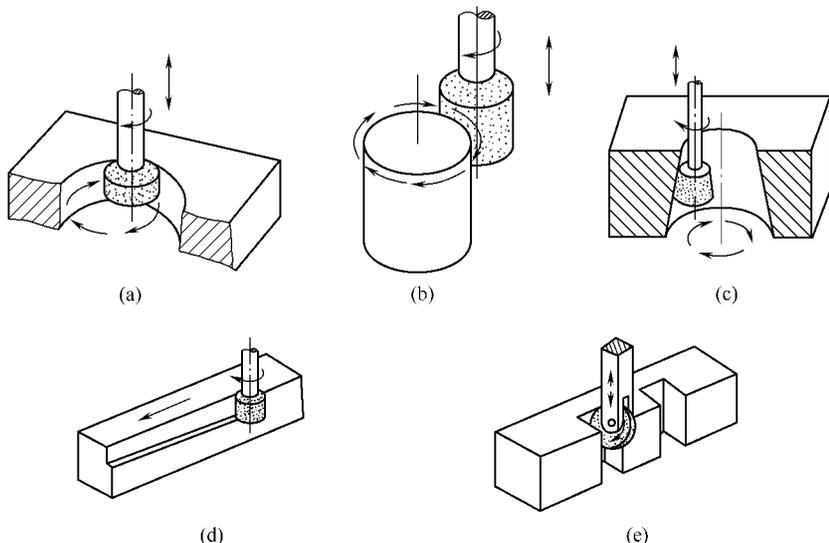


图 4-37 坐标磨削的几种方法

(2) 异形凹模型孔的加工 异形凹模及模具中的套、固定板及推板等零件上，常常需要加工各种矩形与异形型孔，并要求保证尺寸精度及形位公差。常用的加工方法包括以下几种。

① 铣削加工法。用简单靠模装置精加工异形凹模型孔，可在立式铣床上进行，如图 4-38 所示。精加工前应先进行粗加工，将样板、垫板和凹模一起紧固在铣床工作台上，在铣刀和刀柄上装有一个钢制且淬硬的滚轮。加工异形凹模型孔时，用手操作铣床台面纵向和横向移动，使滚轮始终与样板接触并沿样板的轮廓运动，最终加工出异形凹模型孔。

利用靠模装置加工时，铣刀的半径应小于异形凹模型孔转角处的圆角半径。铣削完毕还应进行钳工锉修，锉出型孔的斜度。

② 插床加工。适合于加工型孔的尺寸大、型孔

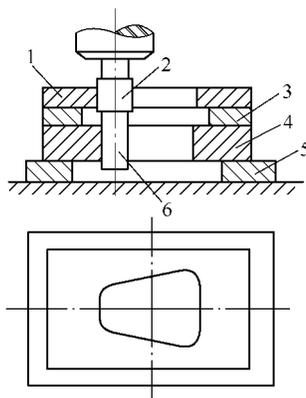


图 4-38 成形铣削法

1—样板；2—滚轮；3,5—垫板；
4—异形凹模型孔；6—铣刀

深（直壁或斜壁）、直线段及圆弧组成的型孔和有尖角的型孔，但不宜加工有小圆角的型孔。图 4-39 为非圆形凹模型孔的加工示例，由于四边均有斜度，四角都为两个斜面相交，为保证四角的加工质量，可采用四角钻孔的结构以简化加工过程，如图 4-39(a) 所示；如果四角必须为斜面，应按图 4-39(b) 所示的方法将工件用斜垫块垫起，使其中一斜面与工作台垂直，另一斜面与工作合成 α_1 角度。当加工 A 面时，插床可作直面加工；加工 B 面时滑枕倾斜 α_1 角即可加工出理想角度。

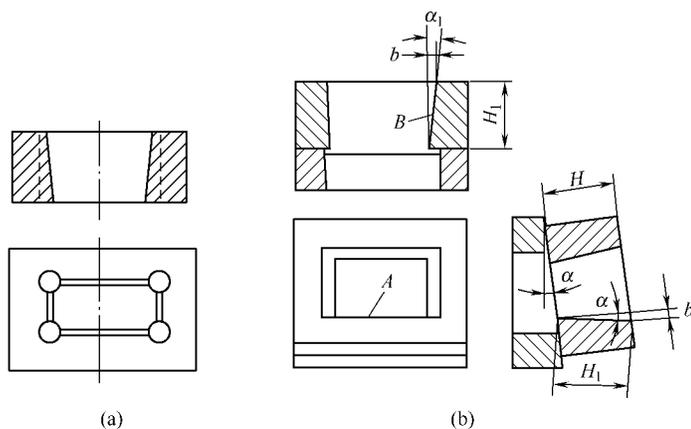


图 4-39 非圆形凹模型孔的加方法

③ 钳工修正加工。钳工修正是异形凹模加工中不可缺少的工序，一般异形凹模型孔经铣削加工后，都需要钳工修正、修光，有些机床无法加工的部分也需钳工加工，常用的方法有：

a. 利用锉、铍等钳工工具进行手工加工。为减轻劳动强度、提高效率及质量，也常采用电动或风动等手持工具进行加工。

b. 压印修正。该方法的操作原理与凸模压印加工方法类似，其区别在于异形凹模型孔压印采用的基准件为凸模。这种方法适用于凹模型孔的热处理变形比凸模小的场合。

第 5 章 模具制造加工原理及工装夹具

根据模具形状的复杂程度，加工制造可采用不同的方法。对于形状复杂的型腔凸模和凹模型孔等零件的加工，通常以机械加工和电加工为主；另一部分零件，可采用超声波加工、化学及电化学加工、电解磨削、挤压成形、超塑成形、铸造成形及合成树脂模加工等方法。

5.1 模具制造加工原理

目前模具制造，大多数都采用特种加工技术。由于该技术精度高，生产效率高且安全可靠，所以得到了广泛的应用。

5.1.1 电火花加工

电火花加工原理如图 5-1 所示，电火花加工是利用电、热能量对金属进行加工的方法。加工过程中，使工具和工件之间不断产生脉冲性的火花放电，依靠放电时局部、瞬时产生的高温把金属蚀除掉。日常生活中插头或电器开关触点开、闭时，往往产生火花而将接触部分熔化、腐蚀。利用这种电腐蚀现象作为一种加工方法，即为“电火花加工”。

工件 1 与工具 4 分别与脉冲电源 2 的两极相连接。自动进给调节装置 3（液压缸）使工具和工件间经常保持很小的放电间隙，当脉冲电压加到两极之间，便在某一相对最小间隙处击穿介质，在该局部产生火花放电，瞬时高温（ $10000\sim 12000^{\circ}\text{C}$ ）使工具和工件表面都蚀除掉一小部分金属，各自形成一个小凹坑。脉冲放电结束后，经过一段时间间隔，使工作液恢复绝缘后，第二个脉冲电压又加到两极上，还会在当时相对最小间隙处击穿放电，电蚀出一个小凹坑。如此随着相当高的频率，连续不断地重复放电，工具电极不断地

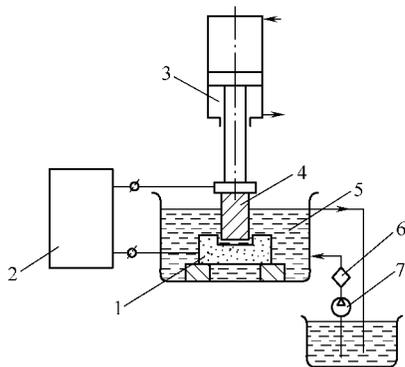


图 5-1 电火花加工原理

- 1—工件；2—脉冲电源；3—自动进给调节装置；4—工具；5—工作液；6—过滤器；7—工作液泵

向工件进给，就可将工具的形状复制在工件上，加工出所需要的零件，整个加工表面将由无数个小坑所组成。

(1) 电火花穿孔成形加工设备 图 5-2 所示为电火花穿孔成形加工机床，它主要由机床总体、液压油箱、工作液箱、电源箱等几部分组成。其中机床总体部分包括床身、立柱、主轴头、工作台及工作液槽等几部分。

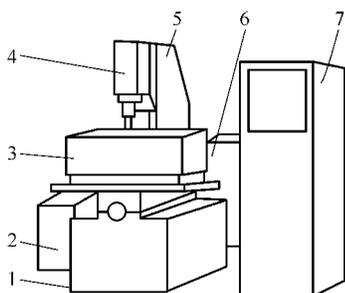


图 5-2 电火花穿孔成形加工机床

1—床身；2—液压油箱；3—工件液槽；4—主轴头；5—立柱；6—工作液箱；7—电源箱

脉冲电源是电火花加工机床的心脏，其作用是将交流电流转换成一定频率的单向脉冲电流，以提供电极间放电所需要的能量。脉冲电源对电火花加工的生产率、表面质量、加工精度、加工稳定性和工具电极损耗等技术经济指标有很大影响。常用的有 RC、RLC 线路脉冲电源、晶体管式脉冲电源等。

电极间隙自动进给调节系统的作用，是使工具电极与工件之间保持一定的放电间隙。主轴头作为自动调节系统中的执行机构，是电火花加工机床中最关键的部件，它带动工具电极向工件进给。其工作性能好坏，直接影响电火花加工质量。通常情况下大多采用液压主轴头。工作液过滤循环系统一般采用强迫循环，使电蚀产物在间隙中及时排除，并使工作液经过过滤后循环使用，以保持工作液的清洁，防止引起短路和电弧放电。

近几年，由于工艺水平的提高及数控技术的发展，已经生产出具有 3~5 坐标的数控电火花机床。带有工具电极库，可自动更换电极，与机械加工的加工中心很类似。

(2) 电火花线切割加工设备 电火花线切割加工简称“线切割”加工。该方法是在电火花穿孔成形加工的基础上发展起来的，通过连续移动的 $\phi 0.05 \sim 0.3\text{mm}$ 的钼丝或黄铜丝作工作电极，与工件之间产生电蚀而进行切割加工，其加工原理如图 5-3 所示。电极丝 4 穿过工件上预先钻好的小孔，经导轮 3 由滚丝筒 2 带动往复交替移动。工件通过绝缘板 7 安装在工作台上，由数控装置 1 按加工要求发出指令，控制两台步进电动机 11，以驱动工作台在水平面的 x 、 y 两个坐标方向上移动而合成任意曲线轨迹。电极丝与高频脉冲电源负极相接，工件与电源正极相接。喷嘴 6 将工作液以一定压力喷向加工区，当脉冲电压击穿电极丝与工件之间的间隙时，两者之间即产生火花放电而蚀除金属，以切割出一定形状的工件。另外有一种线切割机床，电极丝单向低速移动（也被称为“慢走丝”），该机床加工精度高，但电极丝只是一次性使用。

常用的线切割机床控制方式是数字程序控制，其加工精度在 0.01mm 之内，

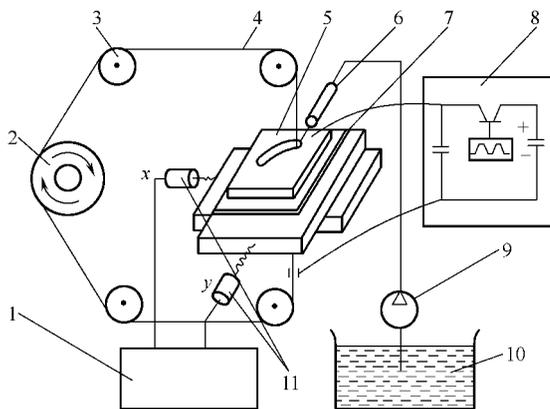


图 5-3 数控线切割加工原理

1—数控装置；2—滚丝筒；3—导轮；4—电极丝；5—工件；6—喷嘴；7—绝缘板；
8—高频脉冲发生器；9—泵；10—工作液；11—步进电动机

表面粗糙度值 R_a 为 $0.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

(3) 其它电火花加工设备 除电火花穿孔成形加工、电火花线切割加工外，还出现了许多其它方式的电火花加工方法。

① 工具电极相对工件采用不同组合运动方式的电火花加工法，有电火花磨削、电火花共轭回转加工、电火花展成加工等。如电火花外圆磨削，由工件旋转和直线往复运动、工具电极的旋转和进给运动所组成；电火花共轭回转螺纹加工由工具电极与工件的同步回转运动、工件的径向进给运动所组成。

② 工具电极和工件在气体介质中进行放电的电火花加工法。如金属电火花表面强化、电火花刻字等。金属电火花表面强化是采用硬质合金、高强度合金钢、石墨等作电极，在空气中与工件表面之间产生表面放电，使工件表面形成电极材料的熔渗层（涂覆层），从而提高了表面的硬度、耐磨性、耐蚀性和使用寿命。

③ 与其它特种加工复合的加工方法。如电解电火花加工，是在电解液中进行火花放电，同时产生电解和电蚀作用，使电解加工和电火花加工复合。该方法可提高工效且表面质量良好。

5.1.2 超声加工

随着机械制造与仪器制造中各种脆性材料和难以加工材料的不断出现，超声加工在国内外模具行业得到了越来越广泛的应用。

(1) 超声加工设备 超声加工是利用频率为 16000Hz 以上的声波，对工件进行加工制造。其基本原理是利用工具端面作超声频振动，迫使磨料悬浮液对硬

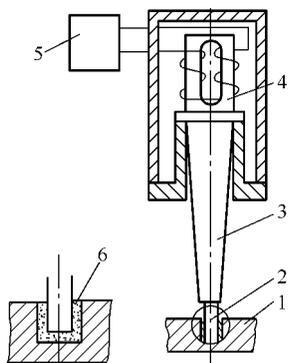


图 5-4 超声加工原理

1—工件；2—工具；3—变幅杆；
4—超声换能器；5—超声
发生器；6—磨料悬浮液

脆材料表面进行加工的一种成形方法，其原理如图 5-4 所示。抛光时，工具 2 和工件 1 之间加入由磨料和工作液组成的磨料悬浮液 6，工具以较小的压力压在工件表面上。超声换能器 4 通入 50Hz 的交流电，产生 16000Hz 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 0.02~0.08mm。驱使工具端面作超声频振动，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和抛磨被加工表面，使被加工表面的材料，不断遭到破坏而变成粉末，起到微切削作用。虽然每次打击下来的粉末很少，但由于打击的频率很高，所以仍能保持一定的加工速度。超声加工的主要作用是磨料在超声频振动下的机械撞击和抛磨，其次是工作液中的“空化”作用加速了抛光和加工效率。“空化”作用是当产生面冲击时，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。在超声频振动的某一瞬间，工作液又以很大的加速度离开工件表面，使工件表面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，迫使空腔闭合而引起强烈的液压冲击波，使加工过程进一步强化。

(2) 超声加工特点

① 超声加工适合于脆性材料，对不导电的非金属材料尤为适合，如玻璃、石英、陶瓷、宝石、金刚石等；也适合各种半导体材料及导电的硬质金属材料，如淬火钢和硬质合金等。

② 可采用比工件软的材料制成形状复杂的工具，加工时工具和工件不需作比较复杂的相对运动。因此，超声加工设备比较简单，操作、维修也方便。

③ 去除加工余量靠极小的磨料瞬时局部的撞击作用。工具对工件加工表面宏观作用及热影响小，不会引起变形和烧伤。表面粗糙度值 R_a 为 0.63~0.08 μm 或更低些，加工精度可达 0.01~0.02mm。

(3) 超声加工主要工具与系统 超声加工工具的几何形状和尺寸决定于被加工表面的形状和尺寸。工具的结构尺寸、自重大小与变幅杆连接好坏，对超声频振动系统的共振频率和工作性能影响较大。工具的形状、尺寸和制造质量都对工件的加工精度有直接影响。

工具和变幅杆的连接必须可靠，连接面必须紧密接触，否则超声波在传递过程中将损失很多能量。工具和变幅杆采用螺纹或锡焊连接。螺纹连接处应涂抹凡士林油，切不可存在空气间隙以保证声能的传递效果。工具材料通常采用 45 钢或碳素工具钢制造。

磨料是根据工件的材料及加工要求进行选择的。在加工硬度较高的脆性材料时，可采用人造金刚石或碳化硼；加工硬度不太高的脆性材料时可选用碳化硅。磨料的硬度越高、颗粒越粗，加工速度就越快，但加工表面质量差；磨料颗粒越小，加工后的表面质量越好。

超声加工系统与加工的复杂程度有关，进行简单的超声加工时，磨料是靠人工输送和更换的，在加工前将磨料悬浮液浇注在加工区，加工过程中定时抬起工具补充磨料，或用小型离心泵将磨料悬浮液搅拌后浇入加工间隙中。对深度较大的工件进行加工时，可从工具和变幅杆中空部分向外抽吸磨料悬浮液，进行强迫循环以提高加工速度。

5.1.3 电化学加工

电化学加工包括：电解加工、电铸加工和电解抛光等。

(1) 电解加工 电解加工是利用金属在电解液中产生阳极溶解的原理，将工件加工成形。图 5-5 为电解加工示意图，加工时工件接直流电源的阳极，工具接直流电源的阴极。工具向工件缓慢进给，使两极间保持较小的间隙（0.1~1.0mm），在间隙内通过高速流动的电解液。此时阳极工件的金属被逐渐电解腐蚀，电解产物被电解液冲走。

与其它加工方法相比电解加工有以下特点：

① 加工范围广泛，不受金属材料硬度和强度的限制，可以加工硬质合金、淬硬钢、不锈钢、耐热合金钢等高硬度、高强度及韧性金属材料，并可加工叶片、锻模等各种复杂型面。

② 生产率高，该方法的生产率约为电火花加工的 5~10 倍，在某种情况下，比切削加工的生产率还高且加工生产率不直接受加工精度和表面粗糙度的限制。

③ 表面粗糙度值较小，通常 R_a 为 $1.25 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，平均加工精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

④ 加工过程中，无热及机械切削力的作用，所以在加工面上不产生应力、变形及加工变质层。

⑤ 加工过程中，工具阴极在理论上不会损耗，可长期使用。

(2) 电铸加工 电铸加工与电解加工相反，是利用电铸液中的金属正离子在电场的作用下，镀覆沉积到阴极上。其基本原理与电镀相同，所不同的是电镀时要求得到与基体结合牢固的金属镀层，而电铸层要求能与原模分离，其厚度也远

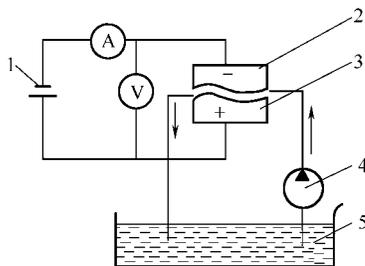


图 5-5 电解加工示意图

1—直流电源；2—工具阴极；3—工件阳极；4—电解液泵；5—电解液

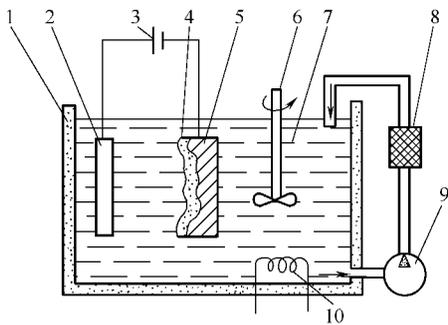


图 5-6 电铸加工原理

- 1—电铸槽；2—阳极；3—直流电源；4—电铸层；
5—原模（阴极）6—搅拌器；7—电铸液；
8—过滤器；9—泵；10—加热器

大于电镀层。

电铸加工的原理如图 5-6 所示。用可导电的原模作阴极，用电铸材料（如紫铜）作阳极，用其金属盐（如硫酸铜）溶液作电铸液。在直流电源作用下，电铸液中的金属离子在阴极还原成金属，沉积于原模表面；阳极金属则源源不断地成为金属离子溶解到电铸液中进行补充，使溶液中金属离子的浓度保持不变。当阴极原模电铸层逐渐加厚达到要求的厚度时即可取出与原模分离，可获得与原模样面凹凸相反的电铸件。

电铸加工的特点是：

- ① 能准确精密地复制复杂型面和细微纹路，复制品尺寸精度高，表面粗糙度 R_a 小于 $0.1\mu\text{m}$ ，且同一原模生产的电铸件一致性好。
- ② 借助石膏、石蜡、环氧树脂等作原模，可把复杂的内表面复制为外表面，外表面复制为内表面，然后再电铸复制，适应性广泛。
- ③ 使用设备简单，操作容易。
- ④ 电铸速度慢，生产周期长（几十到上百小时），尖角或凹槽处铸层不均匀，电铸件不能承受大的冲击负荷。

5.1.4 电解磨削加工

电解磨削是电解加工和磨削加工相结合的一种复合加工方法，它能获得比电解加工更高的加工精度和更小的表面粗糙度值，生产效率则高于磨削加工。

(1) 基本原理与特点 电解磨削时工件接电源的正极，电解砂轮接负极，如图 5-7 所示。电解砂轮和工件表面之间，在凸出的磨料处保持一定的电解间隙。当电解间隙中注入电解液并有直流电流通过时，工件表面便发生电化学阳极溶解，同时在表面生成极薄的氧化膜。这层氧化膜具有较高的电阻，可使金属的阳极溶解过程减慢，由于电解砂轮的切削作用，该层阳极氧化膜被磨粒去除并被电解液带走，使工件又露出新的金属表面，继续产生电解反应。如此在电化学反应和机械磨削的综合作用下，工件表面不断被去除并形成光滑的表面，达到一定的尺寸精度。

电解磨削具有如下特点：

- ① 电解磨削能够加工任何高硬度与高韧性的金属材料，其加工效率非常高。在电解磨削过程中，电解的作用约占 90%，机械磨削的作用仅占 10% 左右，所

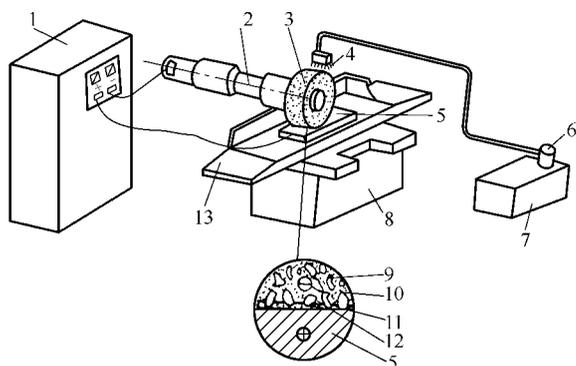


图 5-7 电解磨削加工原理

- 1—直流电源；2—绝缘主轴；3—电解砂轮；4—电解液喷嘴；5—工件；
6—电解液泵；7—电解液箱；8—机床体；9—磨料；10—结合剂；
11—电解间隙；12—电解液；13—工作台

以电解磨削的加工过程与工件材料硬度无关。电解磨削可以加工硬质合金、不锈钢、耐热合金钢等金属，且磨削硬质合金时与普通的金刚石砂轮磨削相比，其加工效率可提高 3~5 倍。

② 加工精度高、表面质量好。由于电解磨削过程中的机械磨削力和磨削热都很小，不会产生变形、裂纹、烧伤等现象，表面粗糙度值 R_a 可达 $0.1\mu\text{m}$ 。磨削硬质合金时，表面粗糙度值 R_a 最小可达 $0.008\mu\text{m}$ 。

③ 砂轮寿命长，电解磨削时的磨削力小，电解磨削用的金刚石砂轮与普通金刚石砂轮相比较，其消耗速度可降低 80%~90%，大大降低了砂轮的成本。

④ 电解磨削的辅助设备较多，设备投入费用较高。

⑤ 在加工过程中有刺激性气体和电解雾沫产生，应设有防护、抽风、吸雾等装置。

(2) 电解液及砂轮的选择 对电解磨削的基本要求是：

① 对工件易起化学反应且有一定的耐久性。

② 导电性好，可通过较大的电流。

③ 能溶解反应生成物，且腐蚀性小。

④ 使用寿命长，价格便宜，对人体健康无影响。

电解液的选择与磨削金属有关，磨削硬质合金时可用 NaNO_2 (9.6%) + NaNO_3 (0.3%) + Na_2HPO_4 (0.3%) + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0.1%) + H_2O (89.7%) 化合物，其电流效率为 80%~90%，加工表面粗糙度值 R_a 为 $0.1\mu\text{m}$ ；也可用 NaNO_2 (10%) + $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (2%) + H_2O (88%) 化合物，电流效率为 90%，加工表面粗糙度值 R_a 为 $0.1\mu\text{m}$ 。

当加工双金属（如硬质合金与钢料的组合件）时，电解液可用7%的 Na_2HPO_4 、2%的 KNO_3 、2%的 NaNO_2 及89%的 H_2O 的化合物，其电流效率为70%，加工表面粗糙度值 R_a 为 $0.4\mu\text{m}$ 。

当磨削低、中碳钢时，可用与加工双金属时相同的电解液，但电流效率相对要高一点（78%）。

电解砂轮的种类较多，应根据被加工零件的形状、材料等选择，见表5-1。为保证加工精度及稳定性，电解砂轮在使用前和使用后，必须进行机械修整和反极性处理。

表 5-1 电解砂轮的类型与性能

类 型	磨料粒度	性能特点	用 途
金属结合剂人造金 刚石电解砂轮	80# ~100#	磨料形状规则、硬度高、电解间隙均匀、磨削效率高、使用寿命长、成本高、修整困难	模具、刀具、内外圆磨削
树脂结合剂电 解砂轮	120# ~150#	不用反极性处理即可使用，具有抗电弧和防止短路的性能，磨削效率低、使用寿命短，修整方便	模具、内外圆、成形磨削 (简单形状)
陶瓷松组织渗银电 解砂轮	80# ~180#	不用反极性处理即可使用，具有抗电弧能力，可用一般机械磨削的修整方法修整砂轮	模具、叶片榫齿、刀具成形 磨削
石墨碳素结合剂电 解砂轮	不含磨料	成形最方便，可用车刀修整成任何形状，具有良好的抗电弧能力，但磨削效率低、精度差，使用寿命短	成形磨削(一般作粗加工)

砂轮必须具有良好的导电性、足够的强度、成形和修整方便等特点。

5.2 工装夹具

在机械加工过程中，夹具直接影响被加工工件的精度。机床、夹具、工件及刀具等组成了机械加工的工艺系统。

5.2.1 夹具的作用与分类

夹具是机械加工的主要工艺装备之一，可将已定位的工件，保持在正确的位置而固定不动。具体归纳如下。

(1) 稳定地保证工件的工序位置精度 确保被加工几何要素对基准要素的相互位置精度是其独特的作用。专用夹具不仅将加工总误差控制到规定范围内且质量稳定。

(2) 确保恰当的生产率 夹具是保证产品质量及产量的重要工装之一，因

此，处理好工件质量、生产率及经济效益三者间的关系，是设计夹具的关键。设计夹具时，应以稳定地确保工件质量为前提而又不给夹具留有过的精度储备。考虑夹具的工作效率时则应与工件的生产纲领相协调而又不盲目地追求“先进”，以取得“最佳”的经济效益。

(3) 改善工人的劳动条件 减轻工人的劳动强度，是实现人身、设备、工装及产品安全的重要技安措施之一。根据批量大小等条件，酌情采用联动，气、液或电动，甚至自动化夹具，显然比一般手动夹具要方便、省力且安全可靠。这样做，不仅可以合理地提高劳动生产率，而且还可以改善工人的劳动条件。

(4) 扩大机床的范围 为解决产品品种多、数量小及普通机床的数量品种有限这一矛盾，往往采取在机床上配一套或数套夹具的办法来扩大机床的工艺范围。其目的是做到一机多用，如实际生产中的“以车代拉”便是借助于夹具扩大车床的工艺范围。

5.2.2 夹具的分类

夹具类型很多，一般按夹具用途可分为通用夹具、专用夹具、通用可调夹具和成组夹具以及组合夹具等。

(1) 通用夹具 通用夹具是指已经标准化，在一定范围内可用于加工不同工件的夹具。如机床附件的三爪卡盘、四爪卡盘及万能分度头等。它们主要适用于单件及中、小批生产。

(2) 专用夹具 为满足某一工件的某道工序的生产率或加工要求而专门设计、制造的夹具，称为专用夹具。一般在一定的批量生产中应用，专用夹具应用量较大。

(3) 通用可调夹具和成组夹具 通用可调夹具和成组夹具的结构很相似，其共同点是加工完一种工件后，经过调整或更换个别元件，即可加工形状相似、尺寸相近或加工工艺相似的多种工件。但通用可调夹具的加工对象并不很确定，通用范围也较大；而成组夹具则是专门为成组加工工艺中某一组工件而设计、制造的，针对性强，加工对象及适用范围明确，结构更为紧凑。它是使小批量生产（如模具）有可能获得类似于大批量生产效益的有效措施。

(4) 组合夹具 按某一工件的某道工序的加工要求，由一套事先准备好的通用标准元件及组合件组成的夹具，称为组合夹具。该种夹具以复用性强、组装周期短的优势而特别适用于新产品试制及在多品种、小批生产中使用。

5.2.3 工件的定位原理

工件在夹具中必须正确地定位，定位的基本任务是：确保工序加工要求的实现，使同一批工件在夹具中占据一致的确定的位置；确保必要的定位精度，使一

批工件的任何一件定位时，实际产生的误差不超过工序距离尺寸公差（或位置公差）的 $1/3$ 倍；根据定位误差的定性分析及定量计算结果，全面完成定位设计并据此协调设计其它装置或元件。

以下介绍六点定位规则与限制几何体自由度的方案。

① 六点定位规则。置于约定坐标系中的任一几何体均具有 6 个自由度，如图 5-8 所示。即沿 x 、 y 、 z 三坐标轴的移动自由度及转动自由度，要使几何体在一个方向占据确定位置，就必须限制该方向的自由度。当要求任一方向的位置均确定时，显然应限制其 6 个自由度。

从上述分析可知，用 1 个支承点可限制几何体 1 个自由度，6 个合理分布的支承点便可限制 6 个自由度，从而使几何体在坐标系中的位置完全确定，这个规则即为“六点定位规则”。

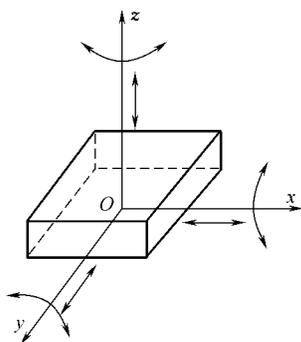


图 5-8 几何体的 6 个自由度

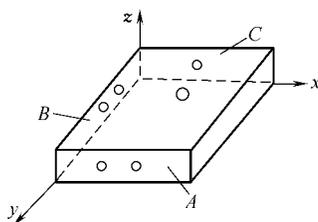


图 5-9 工件定位分析

② 限制几何体 6 个自由度的基本方案。由基本几何要素构成的几何体均可在约定的坐标系中取得完全确定的位置，但其支承点的实际分布及规律却存在着一定的差异。如图 5-9 所示，工件的 A 面与 3 个支承点接触，限制了 3 个自由度，是主要定位基准。显然，3 个支承点之间的面积越大，支承工件就越稳定；工件的表面越平整，定位越可靠。所以，在满足加工表面位置精度的前提下，一般应选择工件上大而平整的表面作为主要定位基准。B 面与 2 个支承点接触，限制了 2 个自由度，称为导向定位基准。C 面与 1 个支承点接触，限制了 1 个自由度，称为止推定位基准。

在机械加工中，定位与夹紧是两个不同的概念。定位是使工件在机床或夹具中占据一正确位置，而夹紧是使工件的这一正确位置在加工过程中保持不变。所以夹紧是不能代替定位的。在实际生产过程中工件定位时需要限制的自由度数目，应根据加工表面的尺寸及位置要求来确定。

如图 5-10 所示，由于要求槽深方向的尺寸 A_2 ，故要限制 z 方向的移动自由

度；由于要求槽底面与 C 面平行，故绕 x 轴的转动自由度及绕 y 轴的转动自由度要限制；由于要保证槽长 A_1 ，故在 x 方向的移动自由度要限制；由于导向槽要在压板的中心，与长圆孔一致，故在 y 方向的移动自由度和绕 z 轴转动自由度要限制。这样，压板在加工导向槽时，6 个自由度都被限制了，称为完全定位。

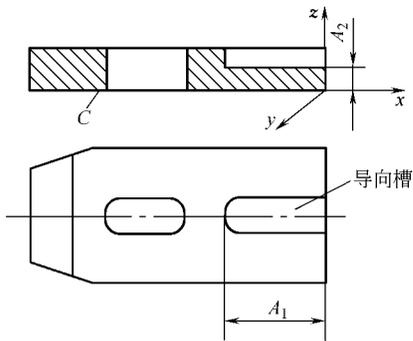


图 5-10 零件加工定位分析

如图 5-11 所示，加工要求保证板厚 B ，同时，加工表面要与底面平行。此时，只要限制 z 方向移动、 x 和 y 方向的转动就可以了。这种根据零件加工表面要求限制少于 6 个自由度的方法称为对应定位。

工件在某工序加工时，根据加工面的尺寸和位置要求定位而未能满足其限制的自由度数目的时，称为欠定位。注意欠定位在工程加工过程中是不允许的，因为满足不了加工精度要求。

如果某一个自由度同时由多于一个的定位元件来限制，称为过定位或称为重复定位。如图 5-12 所示，零件在 x 方向上的移动自由度由左右 2 个支承点限制，这就产生了过定位。

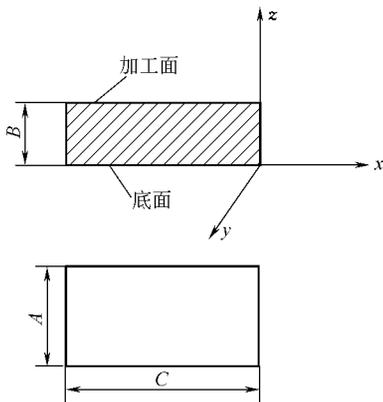


图 5-11

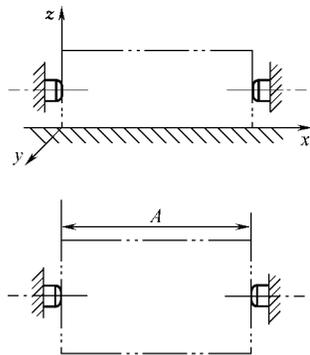


图 5-12 过定位示例

5.2.4 常用专用夹具

常用的专用机床夹具包括：车、铣、钻及镗床等。这里重点介绍其基本结构、作用及特点等。

(1) 车床夹具 按夹具与车床连接形式的不同,一般分为主轴连接式车具、安装在拖板或床身上的车具两种形式。

① 主轴连接式车具。一般分为芯轴式及卡盘式两种,如图 5-13 所示。前者通过芯轴 2 的莫氏锥柄在主轴莫氏锥孔中实现安装,拉杆 1 用以增强芯轴的刚性,如图 5-13(a) 所示。也可通过前顶尖 5、后顶尖 3、拨盘 6 及鸡心夹头 4 组合成芯轴式车具,如图 5-13(b) 所示。图 5-13(c)、图 5-13(d) 则需通过过渡盘实现卡盘在主轴上的安装。必要时,可以考虑设置抱爪或防松螺母,使卡盘对主轴自锁。

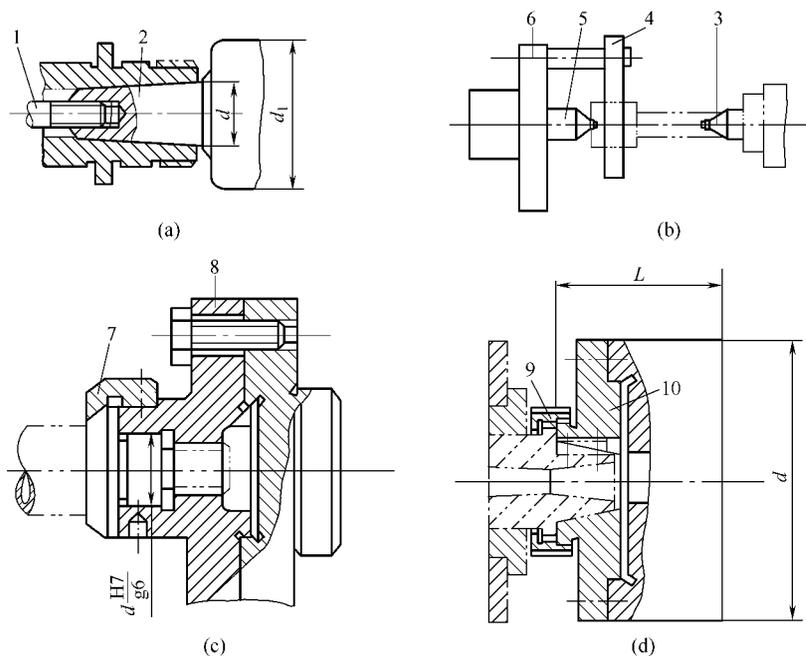


图 5-13 主轴连接式车具

1—拉杆; 2—芯轴; 3—后顶尖; 4—鸡心夹头; 5—前顶尖; 6—拨盘; 7—抱爪;
8, 10—过渡盘; 9—防松螺母

② 安装在拖板或床身上的车具。为平衡机床负荷或因工件的几何形状畸形及重力过大(工件及车具的总重力超过 200N)时,一般应将夹具安装在拖板上,如图 5-14 所示。此时刀具作旋转运动,夹具随拖板作直线进给运动。

角铁式车床夹具是车床常用夹具之一。该夹具常用于加工壳体、支座、接头等零件上的圆柱面及端面。当被加工工件的主要定位基准是平面,被加工面的轴线对主要定位基准面保持一定的位置关系(平行或成一定的角度)时,相应的夹具上的平面定位件设置在与车床主轴轴线相平行或成一定角度的位置上。

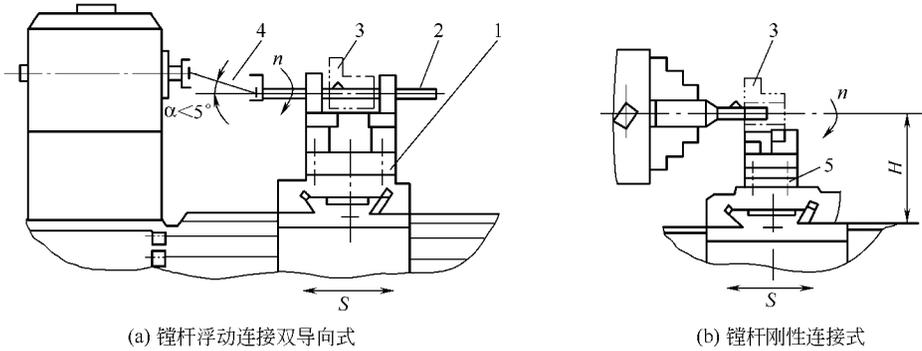


图 5-14 工作台连接式车具

1—双导向车具夹具体；2—镗杆；3—工件；4—浮动十字接头；5—中心高调整垫块

其结构如图 5-15 所示，本夹具适用于加工孔类结构。夹具以台阶面、内孔 $\phi 13H7$ 和 $\phi 8.7H7$ 在菱形销 3、支承钉 11、定位轴 2 上定位，由螺钉 10 夹紧工件。夹紧装置可绕铰链回转，以便于装卸。

为使夹具在回转运动时平衡，有时其上要设置配重；该夹具遵循基准重合原则设计定位装置，并采用联动夹紧机构，使结构更合理，操作更方便。

车床夹具定位装置的特点：当在车床上加工回转面时，要求工件被加工表面的轴线与车床主轴的旋转轴线重合，夹具上定位装置的结构和布置，必须保证这一点。因此，对于轴套类和盘类工件，要求夹具定位元件工作表面对称中心线与夹具的回转轴线重合。对于壳体、接头或支座等工件，被加工的回转面轴线与工序基准之间有尺寸联系或相互位置精度要求时，应以夹具轴线为基准确定定位元件工作表面的位置。

夹紧装置的基本要求：在车削过程中，由于工件和夹具随主轴旋转，除工件受切削扭矩的作用外，整个夹具还受到离心力的作用。此外，工件定位基准的位置相对于切削力和重力的方向是变化的。因此，夹紧机构必须产生足够的夹紧力，自锁性能要可靠。对于角铁式夹具，还应注意施力方式，防止引起夹具变形。

夹具与车床主轴的连接：车床夹具与机床主轴的连接精度对夹具的回转精度有决定性影响。因此，要求夹具的回转轴线与主轴轴线应具有尽可能高的同轴度。

芯轴类车床夹具以莫氏锥柄与机床主轴锥孔配合连接，用螺杆拉紧。有的芯轴以中心孔与车床前、后顶尖配合使用，由鸡心夹头或拨盘传递扭矩。

(2) 铣床夹具 铣削加工是机械加工中用于加工平面、键槽、成形孔及成形曲面的常用方法之一。实现上述工艺内容所使用的铣床夹具在夹具中所占比重相

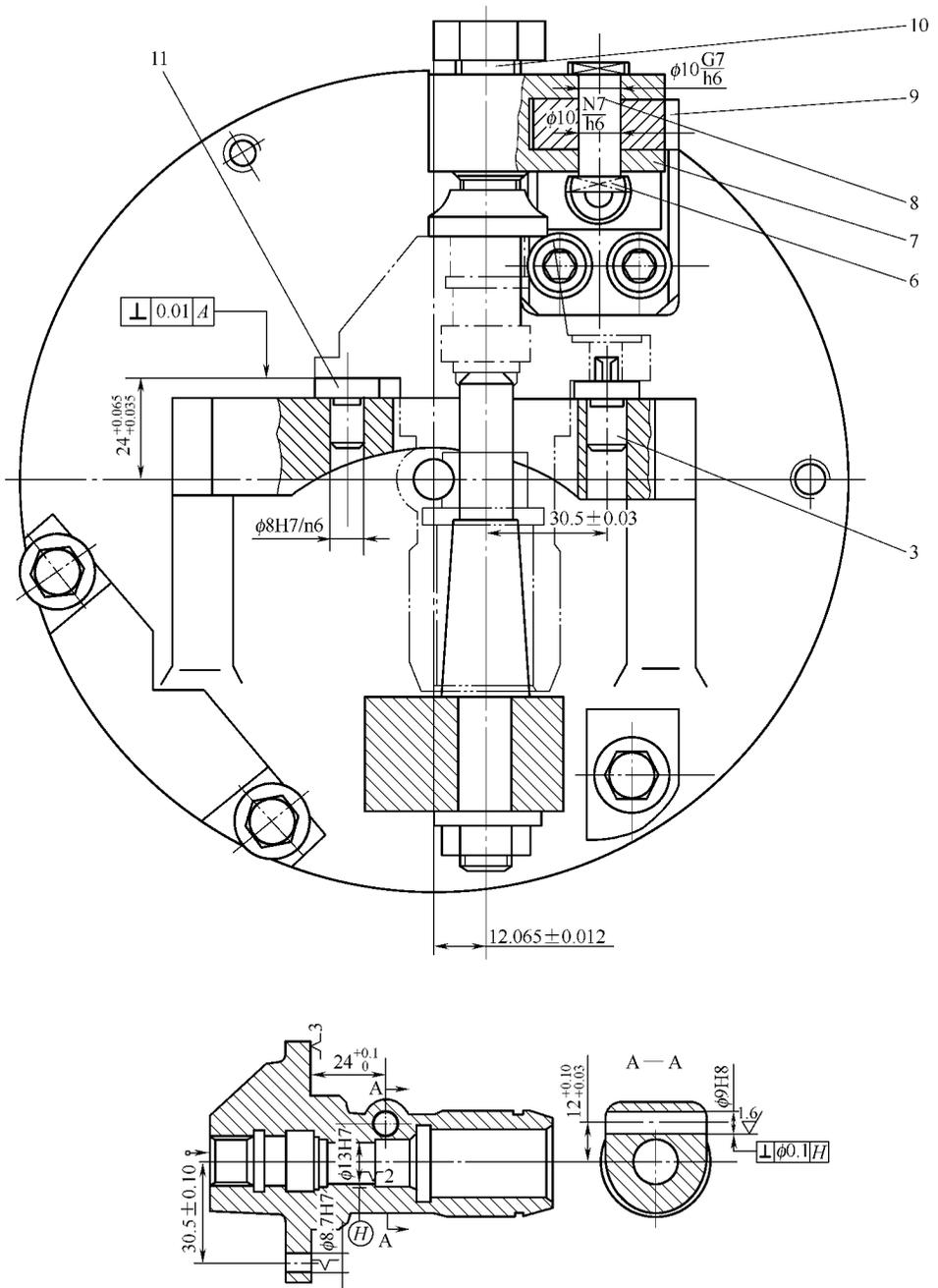
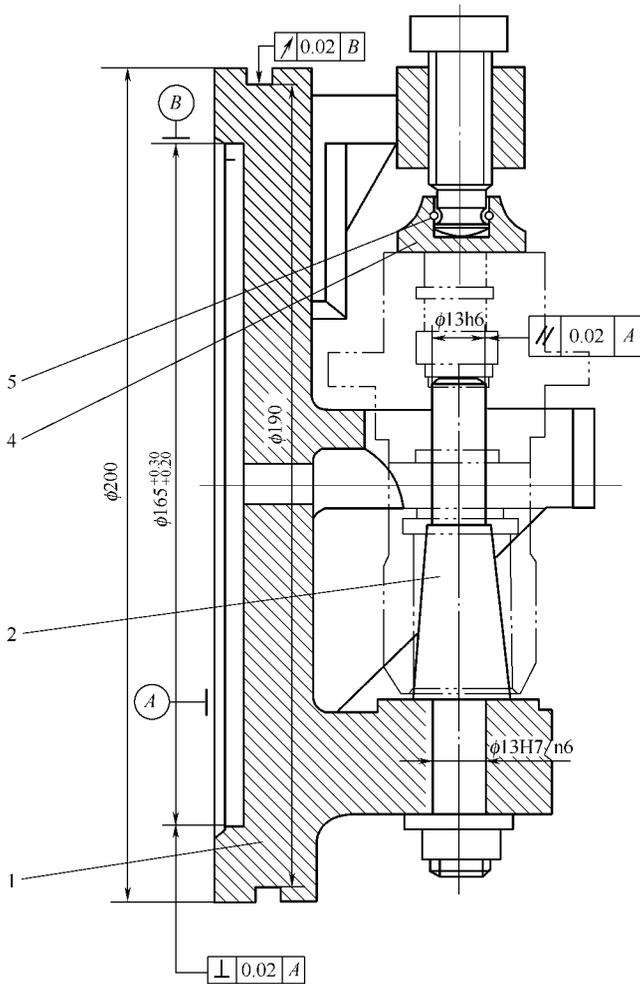


图 5-15 角铁
 1—夹具体；2—定位轴；3—菱形销；4—压头；5—挡圈；6—紧钉；



式车床夹具

7—活块；8—活销；9—支架；10—螺钉；11—支承钉

当大。

铣床夹具的种类与结构形式：按工件进给方式的不同，一般可将铣床夹具分为三类。

① 直线进给式铣床夹具。此类夹具在铣床工作台上随工作台按直线进给方式运动，工作原理如图 5-16 所示。其中图 (a) 为多件装夹的铣床夹具工作原理；图 (b) 为两个工位铣床夹具的工作原理；图 (c) 为摆式铣床夹具的工作原理；图 (d) 为双工位分度铣床夹具的工作原理。

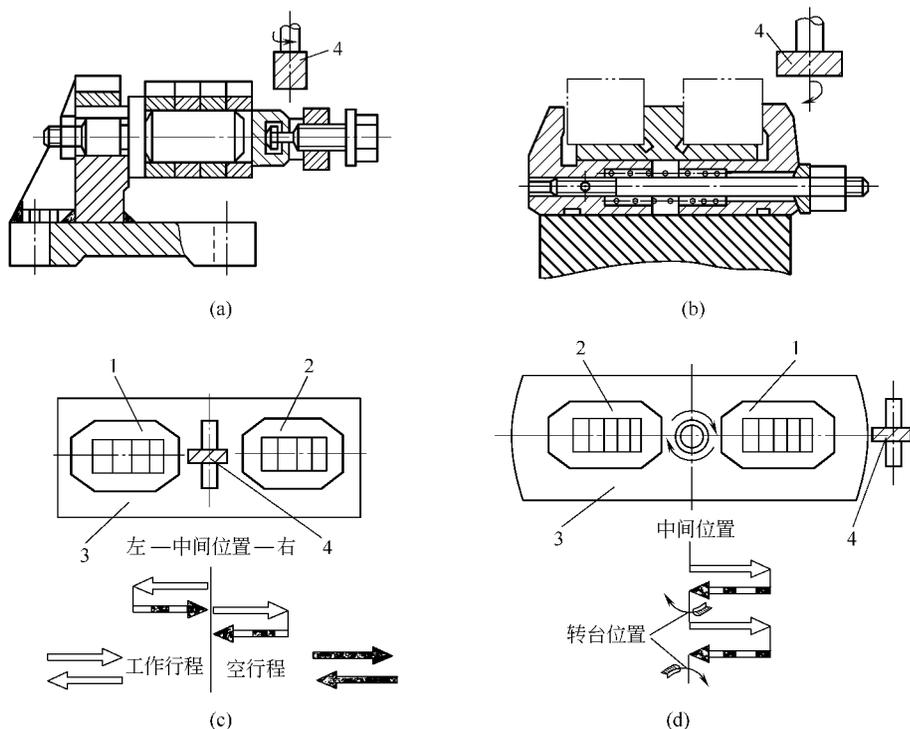


图 5-16 直线进给铣床铣刀工作原理
1—工位 I；2—工位 II；3—夹具体；4—铣刀

从上述铣床夹具工作原理图中不难看出，其工作原理虽有差异，结构也有繁简，但均存在不同程度的空行程的时间损耗。

② 多工位圆周进给铣床夹具。该类铣床夹具工效高，无空行程，其工作原理如图 5-17 所示。依次装入装卸工位 2 铣床夹具中的工件，按转台回转方向顺序进入双轴铣头的切削区。工件经粗、精铣后便离开切削区，操作者便可在装卸工位 2 卸下铣毕的工件，另装待铣的坯件。

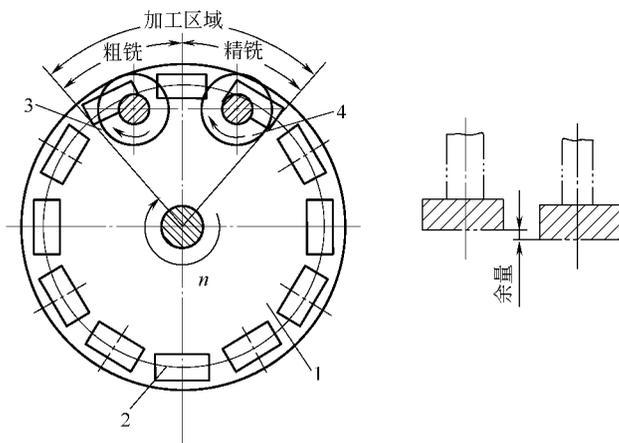


图 5-17 圆周进给铣床铣刀工作原理

1—转台；2—装卸工位；3—粗铣头；4—精铣头

③ 靠模铣床夹具。靠模夹具安装在普通铣床上便可加工各种成形表面，该夹具解决了缺少专用靠模铣床而无法解决的问题，对中小型工厂具有特别的现实意义及经济价值。

图 5-18 为靠模夹具的结构原理，其中图 (a) 为直线进给式，用以加工发生线为直线的开式曲面。靠模 3 及工件 1 分别装在机床工作台上的夹具中，滚子滑座 5 和铣刀滑座 6 两者连为一体，且保持两者轴线间的距离 L 不变。该滑座组合体在重锤或弹簧拉力 F 作用下，使滚子 4 压紧在靠模上，而铣刀 2 则保持与工件 1 接触。当工作台作纵向进给时，靠模上的轮廓就通过铣刀按靠模曲线在工件上铣出所需的曲面轮廓；图 (b) 是最简单的圆周进给靠模夹具的工作原理图。该夹具装在回转工作台 7 上，回转工作台则装在滑座 8 上，滑座受重锤或弹簧力作用而使靠模 3 与滚子 4 保持紧密接触。此处铣刀 2 与滚子 4 为同轴安装，一般可按整体设计且应等于直径。布局时，应将靠模 3 置于工件 1 的上方，当铣刀因钝化而重新刃磨时，滚子 4 也必须按刃磨后的铣刀直径磨削成形，否则工件轮廓将会失真；图 (c) 所示方式其传动情况与图 (b) 相同，但滚子 4 与铣刀 2 不同轴，两轴距为 R 。这样便可使靠模 3 的尺寸大一些，使靠模与滚子的接触更加平稳，因而加工精度较高。

(3) 钻床夹具 安装在钻床工作台上并利用钻套引导刀具实现钻、扩、铰孔的夹具称钻床夹具，工程上又将其称为钻模。一批工件加工前，应首先将钻模正确安装到钻床上。安装在钻模上的工件，则借助于钻套对定位元件的位置联系及其与主安装元件（夹具体与钻套）的位置公差关系，便可使工序基准相对于刀具和机床取得相对正确的位置。显然，工件的定形尺寸精度主要依靠刀具取得，而

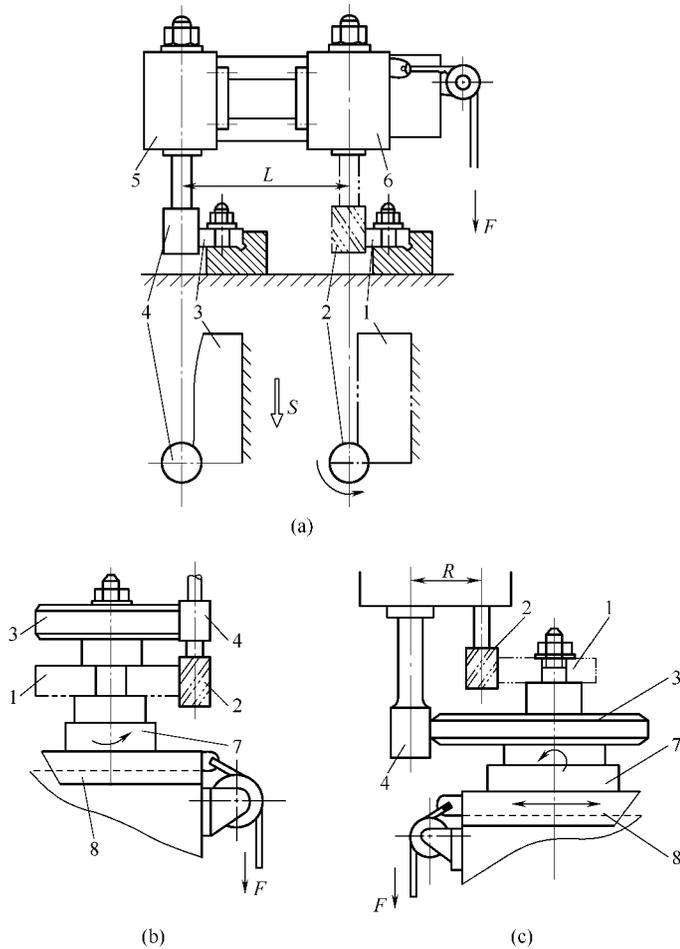


图 5-18 靠模夹具的工作原理

1—工件；2—铣刀；3—靠模；4—滚子；5—滚子滑座；6—铣刀滑座；7—回转工作台；8—滑座

其位置精度则是由钻模保证的。

由于钻模既能保证并提高被加工孔的位置精度，又有利于提高孔的定形尺寸精度，同时又可节省划线找正的辅助时间而显著地提高劳动生产率，因此专用钻床在批量生产中得到了广泛的应用。

按使用性质及工艺特征，一般将钻模分为固定式、移动式、回转式、翻转式、盖板式、铰链式及滑柱式等类型。

① 固定式钻模。加工过程中，在机床上的位置始终不变的钻模，称为固定式钻模。该钻模与立式钻床配套用于加工单孔，与摇臂钻床配套使用则可加工平行孔系。借助于钻模的主安装面与钻床工作台组成主安装副后，利用装在主轴上

的钻头插入钻套内孔组成定心安装副，然后用 T 形螺栓将钻模紧固在钻床工作台上，便可实现钻模在立式钻床上的正确安装。

如图 5-19 所示，图 (a) 是为满足图 (b) 所示钻孔工序加工要求的固定式钻模。套筒的第一定位基准 S_1 与定位支承 7 组成第一定位副，对 S_1 有一定垂直度要求的止推基准 S_2 与定位支承 7 组成止推定位副。为便于工件快速装卸，本钻模采用弹簧 8 复位的削边偏心轮 9 夹紧机构。刀具通过钻套 6 的 A_2 面导向，并实现对定位支承 7 的对定。

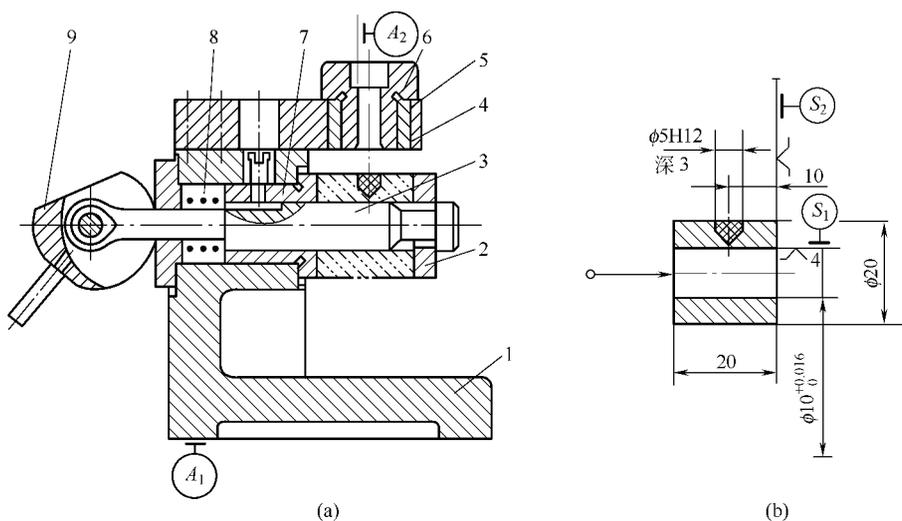


图 5-19 固定式钻模

1—夹具体；2—开口垫圈；3—芯轴；4—模板；5—衬套；6—钻套；
7—定位支承；8—弹簧；9—偏心轮

② 移动式钻模。如图 5-20 所示，该钻模在工作时，对钻床工作台可相对移

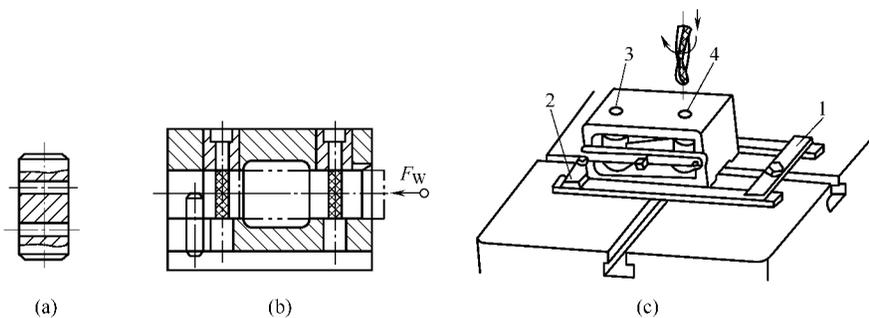


图 5-20 移动式钻模

1, 2—限制板；3, 4—孔

动。它适合于在立式钻床顺序钻削工件同一方向上直径较小的一个或多个孔的加工 [见图 5-20(a)]。此类钻模的移动方式有两种, 其一是自由移动, 结构与固定式钻模相同 [见图 5-20(b)], 但加工时刀具对定的快慢取决于操作者的熟练程度; 其二是定向移动 [见图 5-20(c)], 在夹具或机床工作台上设置专用导轨或定程机构, 用以控制移动方向和移动距离。当钻模紧靠限制板 1 时, 用于钻削孔 3; 退出刀具使钻模紧靠限制板 2 时, 则可实现孔 4 的钻削。若工件上分布的孔位超过 2 个时, 则图中限程机构将无法实现, 此时应改用对定机构解决。

③ 回转式钻模。该钻模可与各种钻床配套使用, 适用于加工分布在同一圆周上的轴向平行孔系或分布在圆周上的径向孔系。工件一次安装后, 依靠钻套引导刀具依次对定加工各孔, 既可保证孔系的分度精度, 又能取得较高的生产率, 其结构如图 5-21 所示。

回转式钻模分为自位式和分度式两种, 由于自位式回转钻模无分度装置, 故被加工孔的位置精度除受定位误差影响外, 主要取决于导向元件 (钻套) 相对于定位元件的位置误差及定位元件相对于安装元件的位置误差, 因此钻套的数量及分布必须与被加工几何要素相适应。图 5-21(a) 为立轴自位式回转钻模; 图 (b) 为加工活塞 24 个油孔的卧轴自位式回转钻模。由于自位式回转钻模结构简单, 分度精度高, 维修方便, 故在孔系加工中得到广泛采用。

具有分度装置且具有相应引导和对定刀具的钻套结构, 是分度式回转钻模 [见图 5-21(c)] 不同于自位式回转钻模的标志。一般情况下, 可将夹具安装在通用分度盘上组成分度式回转钻模。当通用分度盘的分度精度不能满足钻孔分度精度要求或特殊需要, 以及上述组合式结构不能达到要求的生产率时, 才自行设计分度式回转专用钻模。

④ 翻转式钻模。该钻模通常与立式钻床或台钻配套, 主要用于加工小型工件上多向分布的孔系。工作时, 夹具连同工件一起在钻床的工作台面上翻转。由于工件一次安装后, 通过翻转钻模能实现多向孔系加工, 故可取得孔系间高的位置精度要求, 但应使工件与钻模的总重力限制在 100N 范围内, 否则将会引起操作者的疲劳。图 5-22 所示, 其中图 (b) 是为钻削图 (a) 所示的螺塞工件的径向及端面上 6 个孔的翻转式钻模。工件以端面 S_1 与钻模的端面 J_1 组成平面定位副, 以外径 S_2 与定心支承面 J_2 组成定心定位副后, 总计被限制 5 个自由度。拧紧带动钩形压板 3 的两个螺母 2 便可夹紧工件。使用安装面 A 并依次借助于钻套 4, 可钻出端面三孔; 然后使用安装面 B, 同理便钻出径向三孔。

⑤ 盖板式钻模。该钻模无夹具体, 一般由安装在钻模上的定位装置、夹紧装置及钻套组成。为确保加工顺利实施 (使钻头在动态下顺利切入及切出), 除处理好钻模自身的设计问题外, 必须在钻孔前从工艺的角度控制工件上下平面平

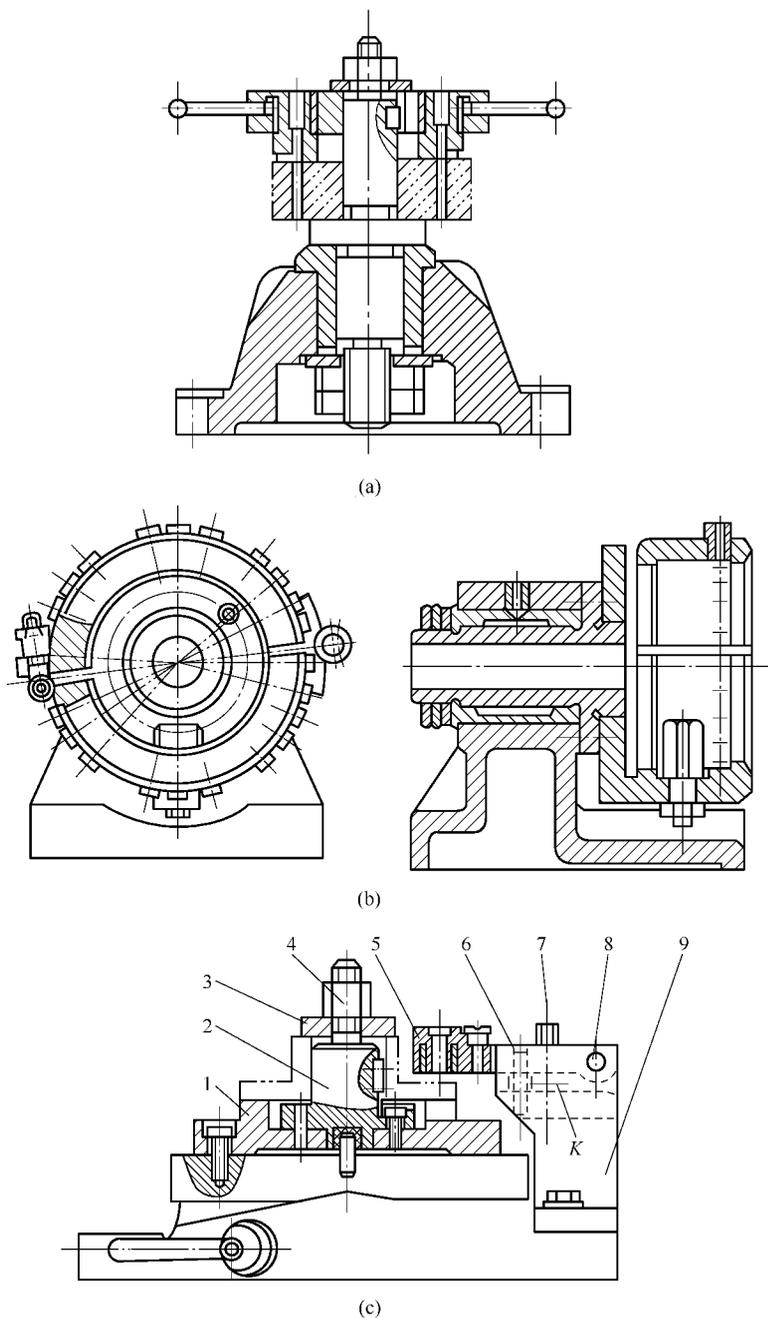


图 5-21 回转式钻模

1—夹具体；2—定位销；3—开口垫圈；4—螺母；5—钻套；6—平头支钉；
7—菱形螺母；8—铰链销；9—支架

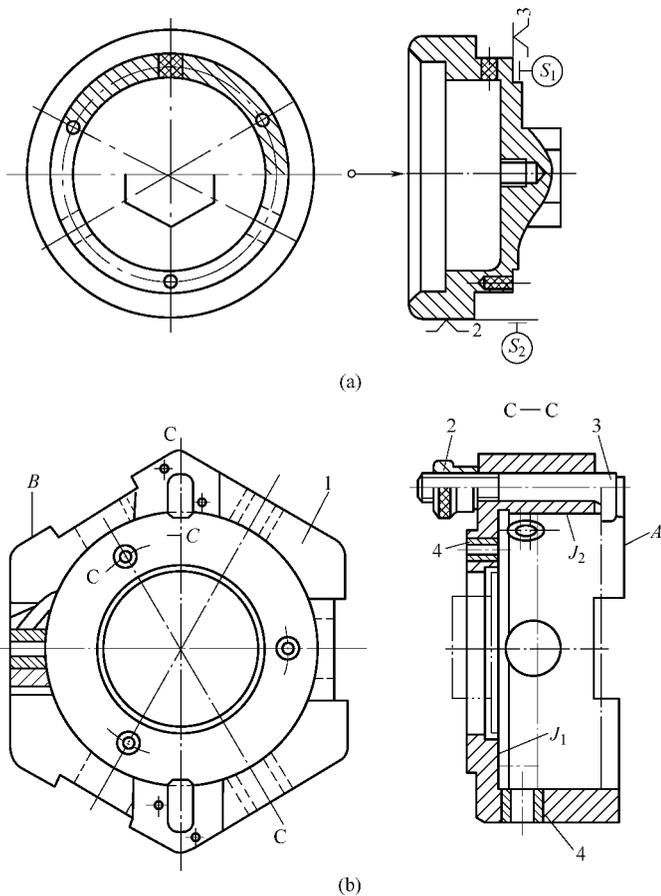


图 5-22 翻转式钻模

1—夹具体；2—螺母；3—钩形压板；4—钻套

行度要求。这类钻模与摇臂钻配套可加工大型工件上的小孔（如箱体上的两个工艺孔），此时，工件不用夹紧；与立钻配套时，则主要用于加工小型工件上的小孔，工件连同盖板钻模一起相对于钻床移动以实现钻孔。盖板式钻模的钻模板可用钢板经调质制成，也可用钢板和型材焊接而成或带筋铸件铸成。前者应退火，后者则应时效处理。为减轻重量，有时也采用铝合金钻模板，经组装而成的盖板式钻模，其重力以不超过 100N 为宜。

图 5-23 所示为钻箱体小孔所使用的盖板式钻模。该工件平放在摇臂钻床的工作台上，钻模板 1 以 4 个支承钉 4 组成平面，圆柱销 2 及削边销 3 在工件的一面双孔中定位后，无需夹紧便可实现钻削工作。

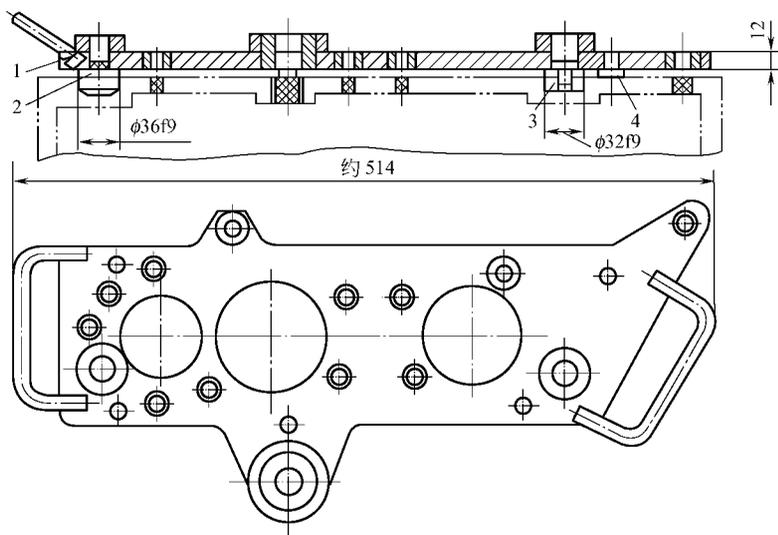


图 5-23 盖板式钻模

1—钻模板；2—圆柱销；3—削边销；4—支承钉

图 5-24 所示盖板钻模为一具两用钻模，用 A 面定心钻法兰盘上的空套孔；用 B 面定心则可钻配对件上的螺纹底孔。一具两用盖板钻模，不仅能节约一个钻具、降低成本并便于管理，而且是保证配对产品装配质量并求得可互换工件的有效措施。

⑥ 铰链式钻模。由于铰链式钻模的模板可以围绕铰链销旋转，故该类夹具特别方便工件的安装，对钻孔后需要倒角扩孔，以及钻孔后尚需倒角攻螺纹或钻孔后需要借助于底孔引导刀具实现扩、铰等工作也特别有利。

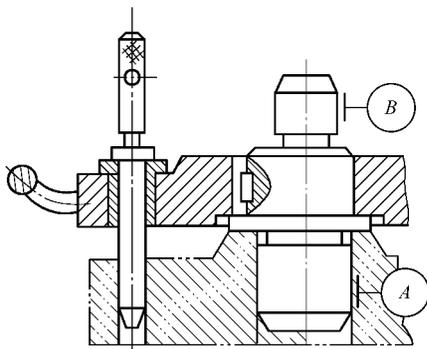


图 5-24 一具两用盖板钻模

由于铰链式钻模的铰链定位副及槽定位副均存在间隙，故钻套沿铰链销轴线方向及垂直于销轴方向的对定精度必然低于固定式钻模。如图 5-25 所示，当压入模板 6 及夹具体 1 的一对平头支承钉 8 紧贴后，便可借助于菱形螺母 4 将模板 6 锁紧，利用钻套 7 引导刀具并实现对定，便可完成钻孔操作，松开菱形螺母 4 并掀起模板，便可完成后续工步的加工。

⑦ 滑柱式钻模。该钻模是一种标准化且带有升降钻模板的通用可调整夹具。

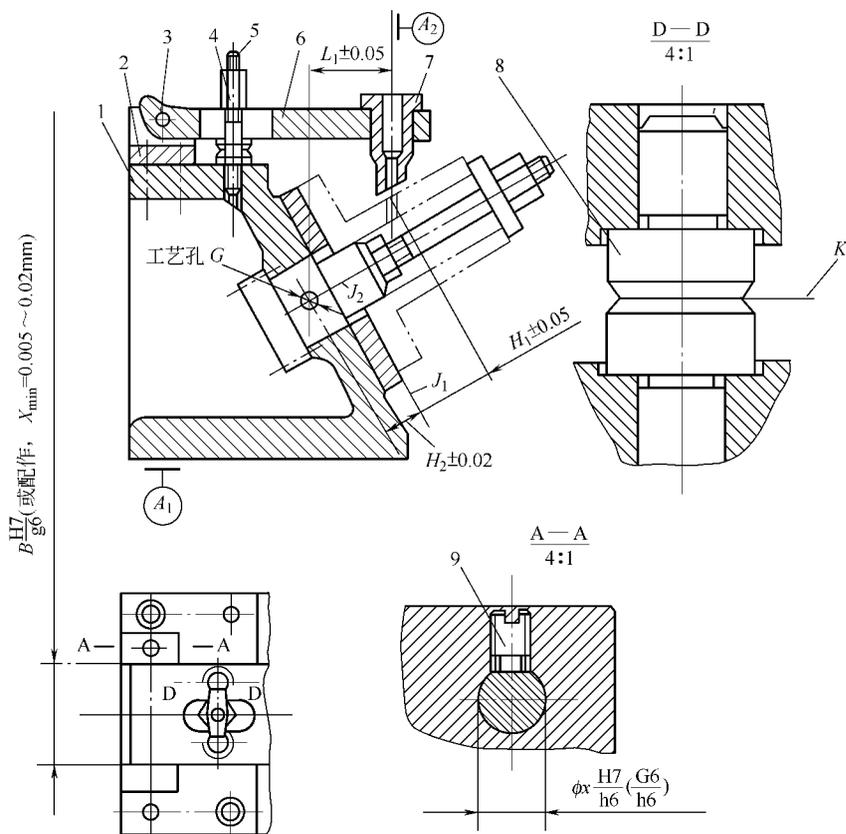


图 5-25 铰链式钻模

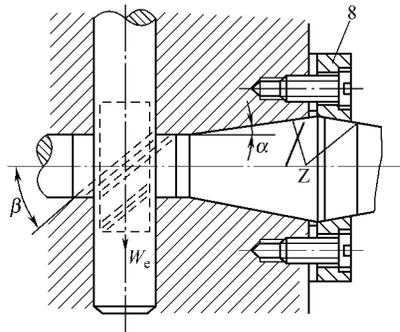
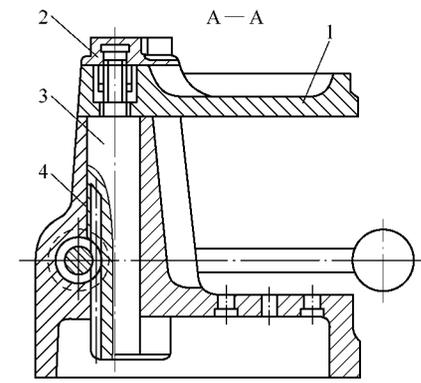
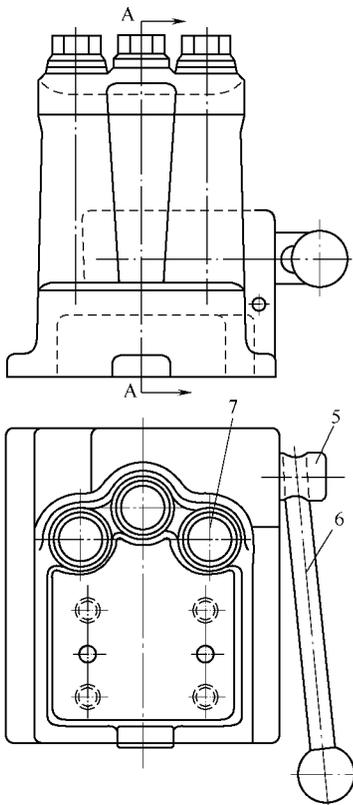
- 1—夹具体；2—支座；3—铰链销；4—菱形螺母；5—双头螺柱；6—模板；
7—钻套；8—平头支承钉；9—限位螺钉

通常由夹具体、滑柱式升降模板及锁紧装置等几部分组成，如图 5-26 所示。

按力源特性可将其分为手动夹紧和气动夹紧两种。图 5-26(a) 为手动滑柱式钻模，钻模板 1 由螺母 2 紧固在齿条轴 3 和两个滑柱 7 上。转动手柄 6，可以转动斜齿轮轴 5 并带动齿条轴 3 使钻模板上升或下降，从而完成工件的松夹，同时借助于斜齿轮轴 5 上的圆锥体得到自锁。

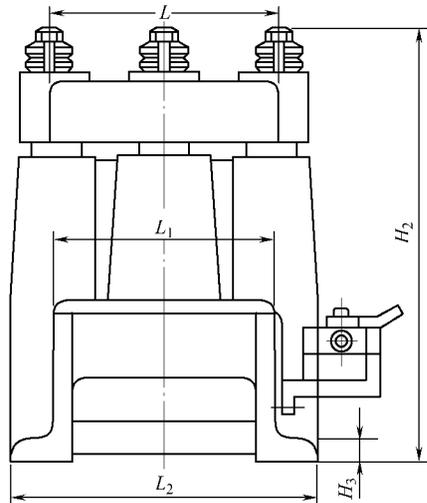
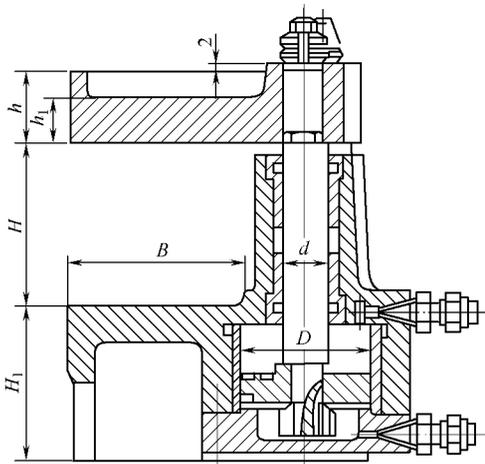
为确保自锁性能，圆锥体 Z 的锥度通常按 1 : 5，使锥角小于 2 倍摩擦角，即当锥体与锥孔的摩擦因数为 0.1 时，其 2 倍摩擦角数值为 10° 左右，所以能自锁。当加工完毕反向旋转手柄 6 使钻模板 1 上升至所需高度时，由于自重使斜齿轮轴产生轴向分力，迫使其另一段锥体楔紧在套环 8 的锥孔中，使钻模板锁紧并方便装卸工件。

手动滑柱式钻模的机械效率较低，夹紧力不大。外加导向副存在一定的间



锁紧原理图

(a)



(b)

图 5-26 滑柱式钻模

1—钻模板；2—螺母；3—齿条轴；4—夹具体；5—斜齿轮轴；6—手柄；7—滑柱；8—套环

隙，特别是夹紧状态时，钻模板所承受的颠覆力矩必然导致钻套轴线的歪斜，使钻模保证位置精度受到一定的限制。但由于其自锁性能可靠，结构简单，操作迅速，具有通用可调性能，因而在各种生产类型的生产中均得到不同程度的应用。

图 5-26(b) 为气动滑柱式钻模，利用夹具体内安装的汽缸带动升降模板实现工件的松夹。由于气路附件中备有单向阀，故本机可不另设置自锁机构。

(4) 镗床夹具 镗床夹具是利用按工件孔系位置精度分布的镗套，引导镗刀杆以保证镗孔的位置精度要求为主的夹具，故又称镗模。镗模不仅广泛用于一般镗床和镗孔的组合机床上，也常用在车床、铣床和摇臂钻床上，用来加工有较高

精度要求的孔或孔系。当镗刀杆与机床刚性连接时，一般采用单镗模板引导；当镗刀杆与机床浮动连接时，则采用双镗模板引导。

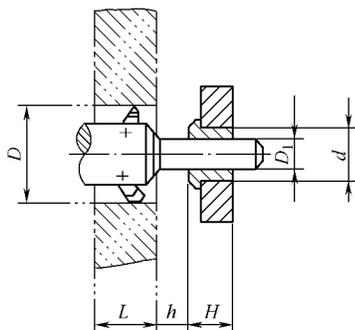


图 5-27 单支承前镗套

① 单支承前镗套。镗杆与机床主轴刚性连接时，常将镗模板布置在刀具行进方向，一般采用就地镗削模板底孔 D_1 的方法确保镗套轴线与主轴轴线重合，如图 5-27 所示。这种结构适用于加工 $D > 60\text{mm}$ ， $L/D < 1$ 的通孔或单向排列的同轴孔系。当加工不同孔径时，只需要借助于 V 形校刀器调刀，而不需要更换镗套，有利于进行复合工步的加工，但也由此而增大了

刀具的引进和退出的行程。为便于排屑及随机床抽检，一般取 $h = (0.5 \sim 1)D$ ，但 h 不应小于 20mm 。当镗套竖放时，为防止切屑进入镗套而过早磨损。除应保证 H 及 h 尺寸外，还应保证导向副的配合公差和防屑要求。

② 单支承后镗套。如图 5-28 所示，该种引导方式用于镗杆与主轴刚性连接，适用于镗削 $D < 60\text{mm}$ 的短孔。此时，镗模板位于刀具前进方向的后方，同样应保证镗杆与主轴轴线达到规定的同轴度公差要求。

加工 $L/D < 1$ 的通孔或小型箱体的盲孔时，如图 5-28(a) 所示，镗杆导向部分的直径 d 可大于被加工孔径 D 。由于镗杆刚性好，故加工精度高，同时，还具备换刀不换套的优点。

加工 $1 < L/D < 1.5$ 的通孔或盲孔时，如图 5-28(b) 所示，为使镗杆能进入镗削孔内，除在镗套上开过刀槽外，应尽量减少镗杆的悬伸长度 h ，镗杆导向部分的直径 d 也必须小于被加工孔径 D 。

h 的大小，应从有利于刀具的调整、更换，工件的装卸和测量以及排屑方面加以考虑。一般在卧式镗床上镗孔时，取 $h = 60 \sim 100\text{mm}$ 。

③ 后支承双镗套。如图 5-29 所示，当镗杆与机床主轴为浮动连接时，常在镗削工件的后面安装两镗模板导向镗削，这种镗削方案完全消除了机床回转精

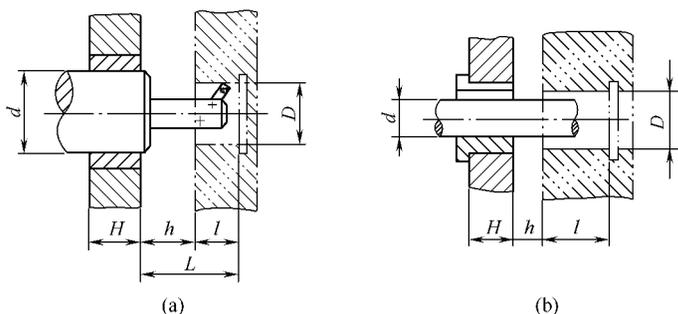


图 5-28 单支承后镗套

度对镗孔精度的影响。

在某些情况下，因受条件限制，不能使用单支承前镗套或双支承单镗套，而主轴至加工孔间的距离较大又不宜采用单支承单镗套时，宜采用该结构。但由于镗杆受切削力作用时呈悬臂状态，故镗杆伸出支承的距离 L_1 一般不应大于 $5d$ 。为保证导向精度，两支承间距离 L_2 应大于 $(1.5 \sim 5)L_1$ 。

④ 前后支承双镗套。两镗模板位于被镗削工件前后的导向方案应用十分广泛，如图 5-30 所示。它适用于加工 $L/D > 1.5$ 的通孔或排列在同一轴线上的几个通孔，由于镗杆与机床主轴的连接为浮动式，所以该种导向方案也可以在低精度机床上加工出高精度的孔系。

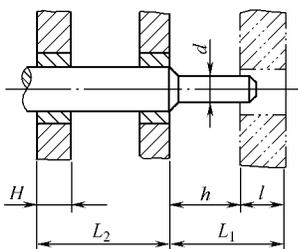


图 5-29 后支承双镗套

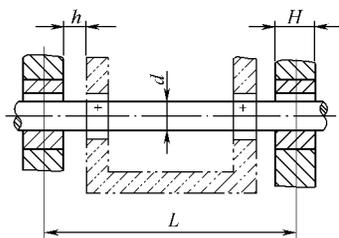


图 5-30 前后支承双镗套

5.2.5 成组夹具和通用可调夹具

成组夹具和通用可调夹具都是具有可调元件的夹具，这些柔性化夹具，为多品种生产开辟了广阔的前景。成组夹具是一种专门化可调夹具，专用于成组工艺中，能够加工一组或一族工艺特征相近的工件。

(1) 成组夹具

① 基本结构与特点。成组夹具的结构如图 5-31 所示。该夹具适用于车削一组阀片工件的外圆。多件阀片以内孔和端面为定位基准在定位套 4 上定位，经由

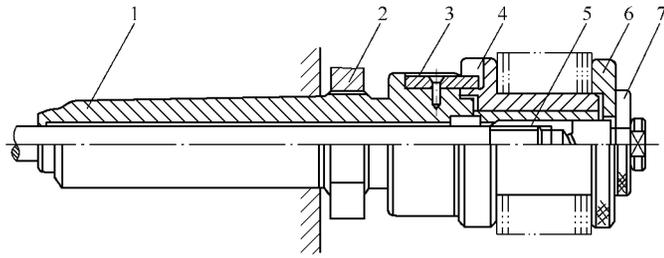


图 5-31 成组夹具

1—芯轴体；2—螺母；3—键；4—定位套；5—滑柱；6—压圈；7—垫圈

气压传动拉杆，通过滑柱 5、压圈 6、垫圈 7 使工件夹紧。加工不同规格尺寸的阀片时，只需要换定位套 4 即可，定位套 4 与芯轴体 1 由键 3 紧固。

成组夹具主要由基础部分和可调部分组成，图 5-31 中芯轴体 1、螺母 2、滑柱 5 及气压夹紧装置等为基础部分；键 3、压圈 6、垫圈 7 均为可调元件，可调整部分是成组夹具的重要特征标志之一，它直接决定夹具精度和效率。

典型的成组夹具结构包括：用于单机成组加工的“双孔立式镗床用成组夹具”，它可加工两个支架类工件。适用于加工外形与尺寸基本相似，加工孔径尺寸接近，被加工孔的轴线与主要定位基准具有一定垂直度要求的工件组；其次是用于成组加工单元主要机床的成组夹具。图 5-32 所示为用于拨叉成组加工单元的成组夹具，其主要设备为八个工位组合机床。

② 成组夹具的特点。成组夹具是使加工工件的种类从一种发展到多种，因此有较高的技术经济效益。

由于夹具能适用于一组工件的多次使用，因此可大幅度降低夹具的设计、制造成本，降低工件的单件生产成本；可缩短产品制造的生产准备周期。

更换产品工件时，只需对夹具的部分元件进行调节或更换，而不需重新更换整套夹具，从而减少了总的调整时间。

对于新投产的产品工件，夹具只需添制极少数调整元件，因此能节约大量金属材料，并减少夹具的库存面积。

(2) 通用可调夹具 通用可调夹具是在通用夹具的基础上发展形成的一种可调工装设备。适用范围广，可用于不同的生产类型工件的加工，但调整环节多，费时也多。

通用可调夹具常见的结构有：通用可调台虎钳、通用可调卡盘、通用可调钻模等。图 5-33 为通用可调三爪卡盘，卡盘规格有 $\phi 250\text{mm}$ 、 $\phi 320\text{mm}$ 、 $\phi 400\text{mm}$ 三种，夹紧行程为 4~10mm。卡盘内的杠杆-斜楔机构由装在机床主轴后端的气压装置驱动。螺杆 1 与气动装置连接，通过螺母 2 中的弹簧制动销 3 的作用可防

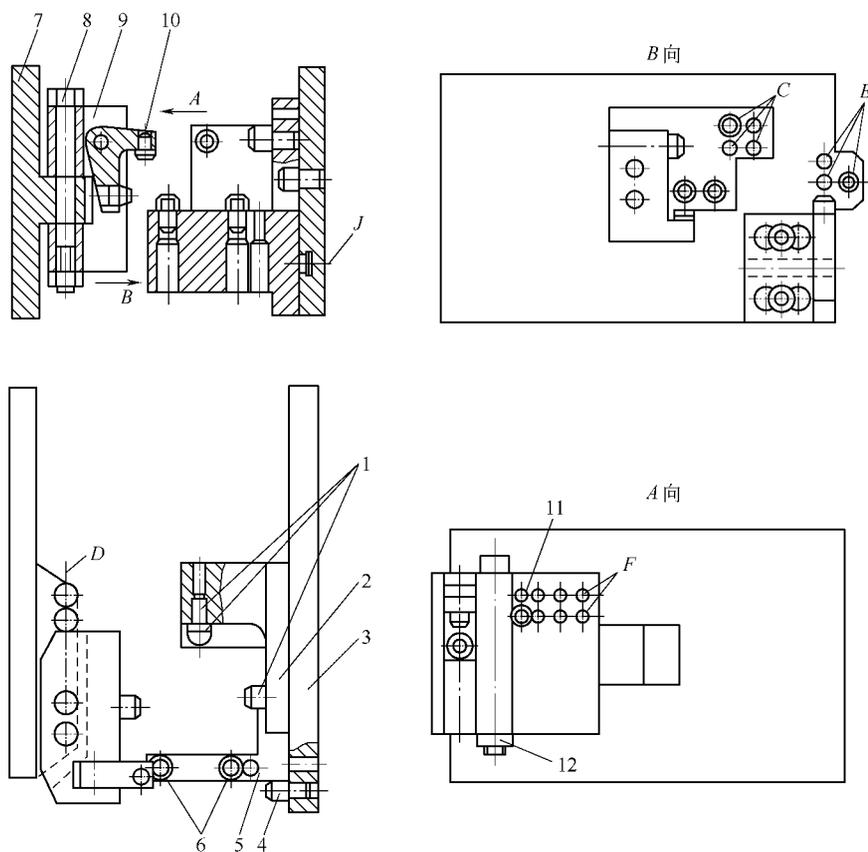


图 5-32 拨叉多工位加工成组夹具

1,4,6—支承钉；2—定位板；3—钳口；5—定位板；7—钳口；8—螺杆；9—过渡板；
10—压板；11—支承；12—螺母

止螺杆 1 在卡盘工作过程中松动。杠杆 5 与卡盘 8 的圆弧紧贴，卡爪 7 的螺杆 1 经套筒 4 及杠杆 5 便可使工件自动定心夹紧。活塞回程时，卡爪 7 沿套筒 4 的斜面退出，将工件松开。需要在三爪卡盘中装夹形状复杂的工件时，可更换可调的卡爪 7。

图 5-34 所示为带分度装置的通用可调钻模。用于加工圆盘、法兰及端盖等端面上的轴向孔。钻模包括滑座 3、钻模板 5、立柱 2、7、三爪卡盘 10 和装在夹具体 11 内的通用分度装置等。

调整时，水平方向按刻线尺 6 把钻模板 5 上的钻套 12 的轴线调整到需要的位置上，并用螺钉 4 固定；竖直方向调整时，扳动手柄 8 使滑座在立柱 2、7 上上下下移动，然后用手柄 1 和 9 将滑座锁紧。

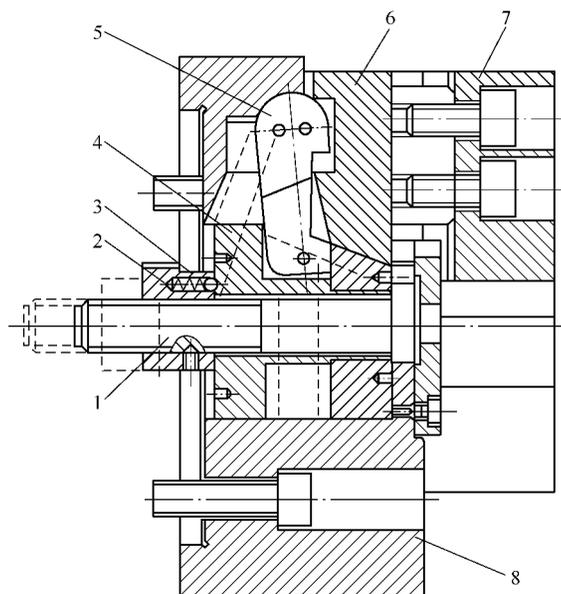


图 5-33 通用可调三爪卡盘

1—螺杆；2—螺母；3—弹簧制动销；4—套筒；5—杠杆；
6—卡爪座；7—卡爪；8—卡盘

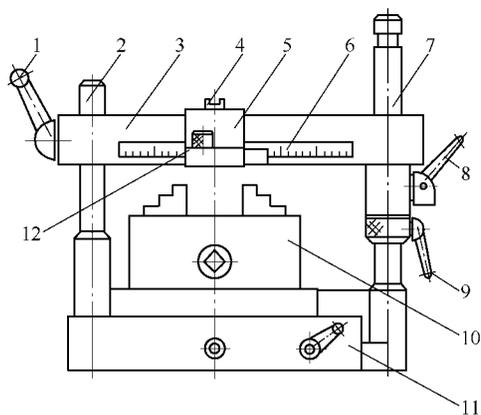


图 5-34 带分度装置的通用可调钻模

1,8,9—手柄；2,7—立柱；3—滑座；4—螺钉；
5—钻模板；6—刻度尺；10—三爪卡盘；
11—夹具体；12—钻套

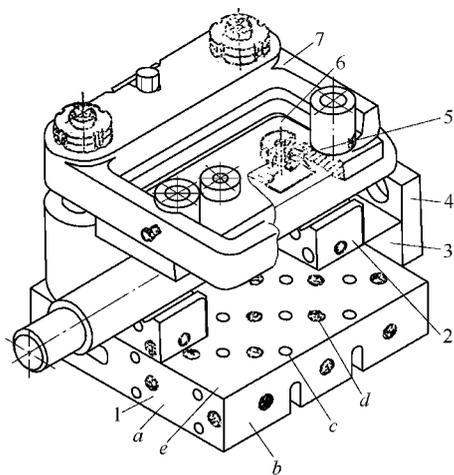


图 5-35 模块化钻模

1—基础板；2—V形模块；3—方形模块；4—板
形模块；5—可换钻套；6—可换钻模板；
7—滑柱式钻模板

(3) 其它夹具 随着现代化生产的需要,越来越多的先进夹具不断出现,以满足生产需要。模块化夹具是一种柔性化的夹具。通常由模块化的基础件和其它模块化元件(合件)组成。

模块化是指将同一功能的单元,设计成具有不同用途或性能的且可以相互交换使用的模块,以满足加工需要的一种方法。同一功能单元中的模块,是一组具有同一功能和同一连接要素的元件,也包括各种能够增加夹具功能的小单元。

图 5-35 所示为一种模块化钻模,主要由基础板 1、滑柱式钻模板 7 和 V 形模块 2、方形模块 3、板形模块 4 等组成。基础板上有精密坐标孔系 c 和螺孔 d ,在其平面 e 和侧面 a 、 b 上可组合拼装其它模块。图中所配置的 V 形模块 2 和板形模块 4 的作用是使工件定位,按照工件上被加工孔的位置要求用方形模块 3 调整板形模块 4 的轴向位置。可换钻套 5 和可换钻模板 6,则按工件的加工需要加以更换调整。

图 5-36 所示为随行夹具在自动生产线机床上工作的结构简图。随行夹具 1 由带棘爪的步伐式输送带 2 运送到机床上。固定夹具 4 除了在输送支承 3 上用一面两销及夹紧装置使随行夹具完全定位并夹紧外,还应提供输送支承面 A_1 。随行夹具在一面两销上定位后,由油缸 6 经杠杆 5 带动四个钩形压板 8,使随行夹具在下部底板凸缘处夹紧。这种夹紧方式使自动线有很好的敞开性,便于观察工

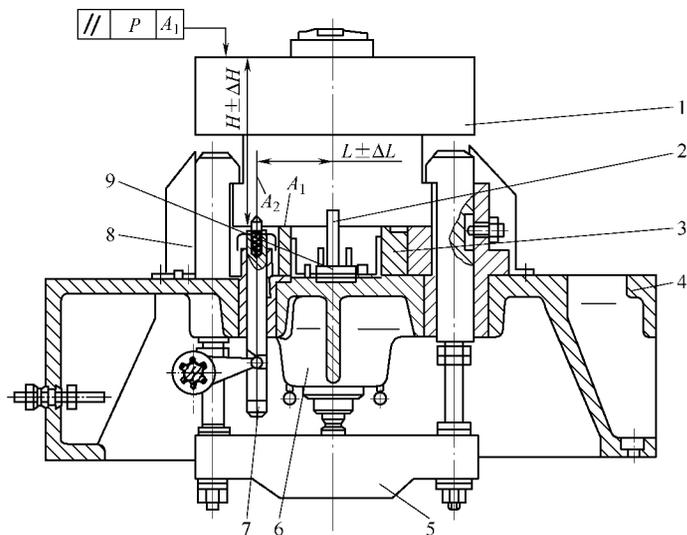


图 5-36 随行夹具在自动生产线机床上工作的结构简图

- 1—随行夹具; 2—带棘爪的步伐式输送带; 3—输送支承; 4—固定夹具;
5—杠杆; 6—油缸; 7—定位机构; 8—钩形压板; 9—杠杆

作情况和进行调整。

不同的自动线对随行夹具有不同的设计要求，故随行夹具应设计成相应的结构形式。一般按随行夹具是否有定位和夹紧装置，可分成三种类型，第一种是只为工件设置定位元件的随行夹具；第二种是另用专用装置帮助工件定心的随行夹具；第三种是确保工件定位夹紧的随行夹具。

第 6 章 公差与精度测量技术

在实际生产中，为便于零部件的管理、设备的维修等经常将零件或部件制成同一规格。机械加工中将其称为互换零件或配件。

互换是指制成的同一规格的一批零件或部件，不需进行任何挑选、调整或辅助加工，就能进行装配，同时能满足机器规定的使用功能要求的特性。

互换性的作用主要体现在三个方面，其一是在设计方面，能最大限度地使用标准件，如各种规格的螺母、垫片、模具中的模架、螺栓组件等，从而减少或简化绘图和计算量；其二是在制造方面，有利于组织专业化生产，使用专业设备和计算机辅助制造技术，有利于装配过程的机械化、自动化，实现高效率装配；其三是在使用和维修方面，便于及时更换已经磨损或损坏的零部件，减少机器的维修时间和费用，提高设备的使用率和使用价值。为使零部件达到互换的要求，在生产过程中，必须对其基本形状和尺寸等进行严格控制和测量，使尺寸等能反映几何形状的指标满足设计要求。

6.1 公差与表面粗糙度知识

为确保零部件的配合、制造等达到设计要求，制造的零部件必须与国家标准所要求的尺寸公差、形状和位置公差及表面粗糙度值等相一致，否则无法达到互换之目的。

6.1.1 尺寸公差概念

任何零部件在加工过程中，都会有加工误差。即不可能得到与基本尺寸丝毫不差的结果，如某一个轴的基本尺寸为 $\phi 45\text{mm}$ ，加工后或多或少都会与规定的基本尺寸 $\phi 45\text{mm}$ 有一定差距。但只要规定了一批零件的加工误差范围，在不超过该范围的情况下，就可以认为该零件为合格产品。

对于同一批同一基本尺寸的零件来讲，在加工过程中，可能会有比基本尺寸大的零件，也可能会有比基本尺寸小的零件。因此尺寸公差包括以下内容和含义。

(1) 尺寸偏差 尺寸偏差是指偏离基本尺寸大小的数值，它包括：上偏差和下偏差，两种统称为极限偏差。上偏差是指“最大极限尺寸”（工件所允许的最大尺寸）与基本尺寸的代数差；下偏差是指“最小极限尺寸”（工件所允许的最

小尺寸)与基本尺寸的代数差。

实际偏差是指实际尺寸与基本尺寸的代数差。合格零件的实际偏差应在上、下偏差之间,可见极限偏差是用于控制实际偏差的指标。

值得注意的是偏差可以为正、负或零。

各种偏差的表达形式如下。

$$\text{孔的上偏差: } ES = D_{\max} - D$$

$$\text{孔的下偏差: } EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的上偏差: } es = d_{\max} - d$$

$$\text{轴的下偏差: } ei = d_{\min} - d$$

式中 D_{\max} ——孔的最大极限尺寸;

D ——孔的基本尺寸;

D_{\min} ——孔的最小极限尺寸;

d_{\max} ——轴的最大极限尺寸;

d ——轴的基本尺寸;

d_{\min} ——轴的最小极限尺寸。

$$\text{孔的实际偏差: } E_a = D_a - D$$

$$\text{轴的实际偏差: } e_a = d_a - d$$

式中 D_a ——孔的实际尺寸;

D ——孔的基本尺寸;

d_a ——轴的实际尺寸;

d ——轴的基本尺寸。

不难看出,工件尺寸合格的条件也可用偏差表示。

对于孔应满足: $ES \geq E_a \geq EI$; 对于轴应满足: $es \geq e_a \geq ei$ 。

(2) 尺寸公差 从上述零件合格尺寸定义可知,零件的实际尺寸只能在最大极限尺寸与最小极限尺寸之间的范围内变动,显然,两个极限尺寸之间就是实际尺寸允许的变动范围,所以国际上将尺寸公差定义为“允许尺寸的变动量”。由于变动量只涉及大小,因此尺寸公差没有正、负之分,而是用绝对值表示。所以公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸的代数差的绝对值,或等于上偏差与下偏差代数差的绝对值。因加工误差不可避免,即零件的实际尺寸总是变动的,所以公差不能取为零。

由于同一基本尺寸的零件,公差的大小决定着该零件的尺寸加工精度,因此只要按照不同精度的要求,对不同的尺寸规定一系列相应的公差值,就可以实现公差带大小的标准化。

公差的表达形式如下。

$$\text{孔的公差: } T_D = D_{\max} - D_{\min} = |ES - EI|$$

轴的公差： $T_d = d_{\max} - d_{\min} = |es - ei|$

各符号含义同上。

6.1.2 形状公差概念

反映零件是否合格的另一类指标是零件的形状精度，包括：直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度及面轮廓度等。

形状误差是指被测实际要素相对其理想要素的变动量。实际上就是当被测实际要素和其理想要素进行比较时，如果被测实际要素与其理想要素处处重合，则被测实际要素的形状误差为零；如果被测实际要素相对其理想要素的形状不能处处重合而有变动时，则表明被测实际要素存在着形状误差。通常被测实际要素总是存在着一定的形状误差。

为保证机械产品的质量和零件的互换性，在加工中，应对形状误差加以限制，给出一个经济合理的误差许可变动范围，这个范围即为形状公差。如图 6-1 所示，该图是对轴的形状公差“直线度”加以限制，其公差为 0.02mm。形状公差就是单一实际要素的形状所允许的变动全量，通俗地说就是被测实际要素在形状上相对于理想要素所允许的最大变动量。形状公差是以一个“带”体现的，工程上称为“公差带”。

6.1.3 位置公差概念

在机械零件的结构中，常常会有两个以上的同一结构形状出现在一个整体零件上，而技术要求有时又对这些结构有精度要求，这就是位置精度。通常包括：线轮廓度、面轮廓度、平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动及全跳动等。

位置误差是指被测实际要素的方向或位置相对理想要素的变动量。

位置公差是为保证机械产品的质量和零件的互换性的，在加工中就应对位置误差加以限制，给出一个经济合理的误差许可变动范围，即位置公差，如图 6-2 所示。

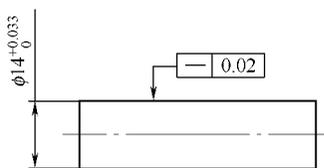


图 6-1 轴的形状公差

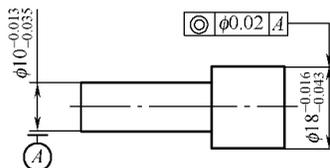


图 6-2 轴的位置公差

位置公差也是以带的形式体现，它是关联实际要素的位置对基准所允许的变动量。形状公差与位置公差统称为形位公差。

6.1.4 表面粗糙度概念

零件表面粗糙度是衡量零件表面质量的一项重要指标，在零件几何精度设计中是必不可少的。作为零件质量评定指标也是十分重要的，表面粗糙度特征参数指标包括：轮廓算术平均偏差 R_a ；微观不平度十点高度 R_z ；轮廓最大高度 R_y 。

(1) 轮廓算术平均偏差 R_a 如图 6-3 所示，轮廓算术平均偏差 R_a 是指在取样长度内轮廓偏距绝对值的算术平均值，也可以说是在取样长度内被测表面轮廓上各点到轮廓中线距离绝对值的算术平均值，单位为 μm 。

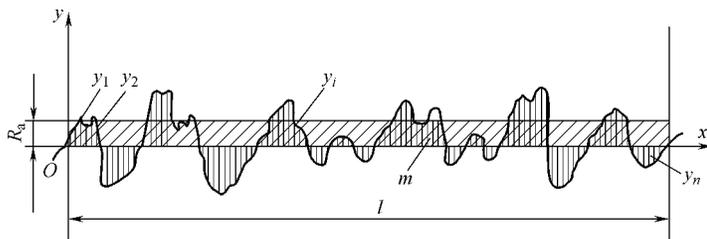


图 6-3 轮廓算术平均偏差

参数 R_a 能充分反映表面微观几何形状高度方面的特征，并且测量简单。它是评定零件表面粗糙度的主要参数。

(2) 微观不平度十点高度 R_z 如图 6-4 所示，该项指标是指在取样长度内 5 个最大轮廓峰高的平均值与 5 个最大的轮廓谷深的平均值之和，单位为 μm 。

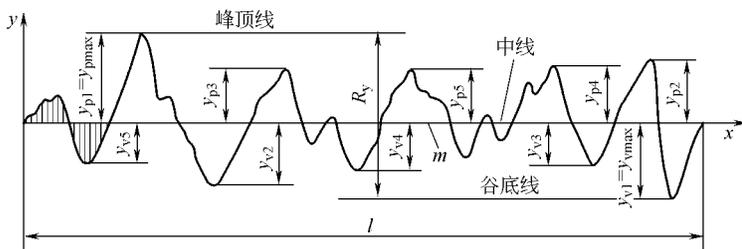


图 6-4 微观不平度十点高度和轮廓最大高度

由于参数 R_z 的测点不多，因而反映微观形状高度方面的特性不如 R_a 充分，但由于 y_p 和 y_v 值易在光学仪器上直观地测量且计算简单，因而应用也比较多。

(3) 轮廓最大高度 R_y 如图 6-4 所示，轮廓最大高度是指在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷底线之间的距离，单位为 μm 。峰顶线和谷底线分别指在取样长度范围内，与基准线平行并通过轮廓最高点和最低点的线。

从反映几何特性准确度上看，轮廓最大高度不如微观不平度十点高度。一般与 R_z 或 R_a 值联用控制微观不平度的谷深，以控制表面微观裂纹的深度。

6.2 测量与工具应用

在机械零件和部件的制造过程中，为确保加工质量和精度，必须对工件进行阶段和最终的尺寸、形位公差及表面质量等进行检测。测量的几何要素包括：长度、回转面直径、锥度、斜度、螺纹、齿轮、各种形位公差等。其测量工具也各不相同，使用时各有要求和特点。

6.2.1 测量器具的基本技术性能指标

测量器具（计量器具）基本性能指标是合理选择和使用计量器具的重要依据。计量器具性能指标主要包括：

(1) 标尺刻度间距 标尺刻度间距是指计量器具标尺或分度盘上相邻两刻线中心之间的距离或圆弧长度，为适于人眼的观察，标尺刻度间距一般为 1~2.5mm。

(2) 标尺分度值 标尺分度值是指计量器具标尺或分度盘上每一刻度间距所代表的量值。一般长度计量器具的分度值有：0.1mm、0.05mm、0.02mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm、0.001mm 等几种。

(3) 分辨率 分辨率是指计量器具所能显示的最末一位数所代表的量值。由于在一些量具中（数字式量仪），读数采用非标尺或非分度盘显示，因此就不能使用分度值这一概念，而将其称为分辨率。

(4) 标尺示值范围 标尺示值范围是指能显示或指示的被测几何量起始值到终止值的范围，如 25~50mm 的千分尺的示值范围为 25~50mm。

(5) 计量器具的测量范围 测量范围是指计量器具在允许的误差范围内所能测出的被测几何量量值的下限值到上限值的范围。测量范围上限值与下限值之差称为量程。如 25~50mm 的千分尺的测量范围为 25~50mm，量程为 25mm。

(6) 计量器具的测量不确定度 测量不确定度是指在规定的条件下测量时，由于计量器具的误差而对被测几何量量值不能肯定的程度，它用测量极限误差表示。

6.2.2 尺寸的测量

机械零件形状的测量包括外形的定形和定位尺寸、孔的内径和外径等尺寸。测量器具主要有游标卡尺（测长度、孔的深度等）、千分尺、百分表及千分表等。

(1) 游标卡尺及测量 游标卡尺的基本形状如图 6-5 所示，装有游标的尺框 3 可以沿主尺 1 移动。测量工件时，尺框在主尺上移动到适当位置后，将锁紧螺钉 6 拧紧，再旋转微动螺母 2 还可以使尺框移动一段不大的距离。两副测量爪 4 和 5 的内测量面用于测量外尺寸，测量爪 4 的外测量面用于测量内尺寸。

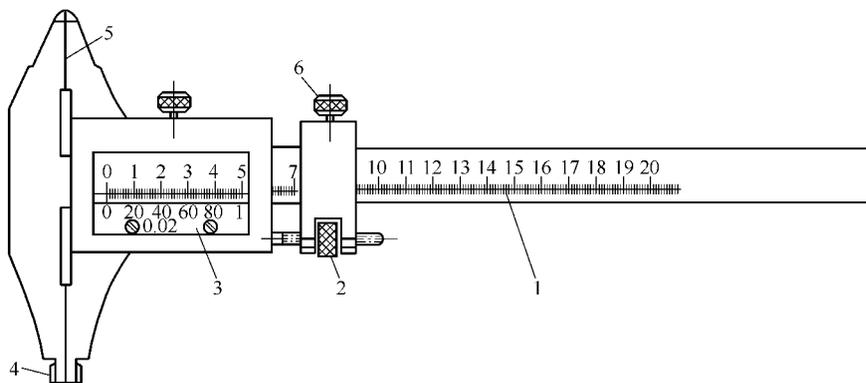


图 6-5 游标卡尺

1—主尺；2—微动螺母；3—尺框；4—内、外尺寸测量爪；
5—外尺寸测量爪；6—锁紧螺钉

① 游标卡尺的读数。测量工件时的读数方法如下：首先确定并读出主尺零刻线与游标零刻线之间有多少毫米整数部分，其次看游标上哪一条刻线与主尺的某一条刻线对齐，然后用游标分度值乘以游标上对准主尺某刻线的那一条刻线的序号就可得到读数的小数部分。两者相加，就是被测工件尺寸的数值。

被测工件尺寸的整数毫米部分在游标零刻线左边的主尺上读出，比 1mm 小的部分则利用游标读出。游标的分度值有 0.10mm、0.05mm、0.02mm 三种。它是指主尺或两个刻度间距与游标一个刻度间距的微小差值。如图 6-6 所示，首先读出游标零刻线左侧尺身刻线的整毫米数；图 (a) 为 10mm；图 (b) 为 32mm；图 (c) 为 32mm；再读出游标上从零线开始与主尺身对得最齐的刻线：图 (a) 为第 4 条刻线；图 (b) 为第 11 条刻线；图 (c) 为第 11 条刻线；用刻线数乘以卡尺精度：图 (a) 为 0.10mm；图 (b) 为 0.05mm；图 (c) 为

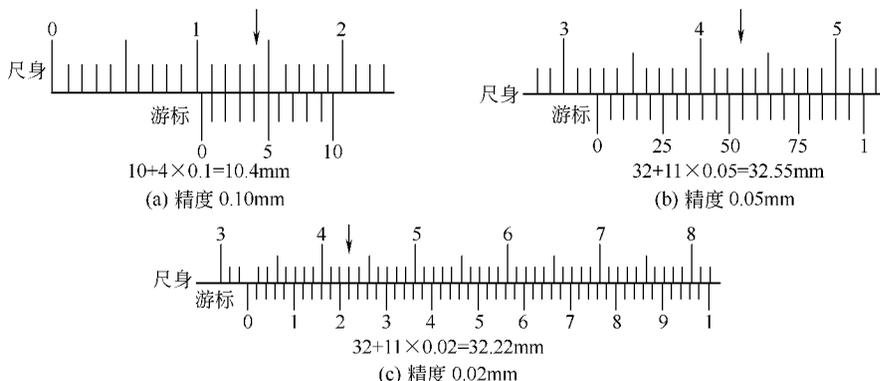


图 6-6 游标卡尺读数示例

0.02mm。将整数与小数相加即得出所测的实际尺寸。

② 测量规范。用游标卡尺测量时，左手拿工件，右手握尺子。量爪张开的尺寸略大于被测工件尺寸，然后用右手拇指慢慢推动游标，使两量爪轻轻地与被测工件表面接触，稳定后读出尺寸数值。测量过程中，应避免定住尺寸卡入工件测量，防止量爪损坏，如图 6-7 所示。

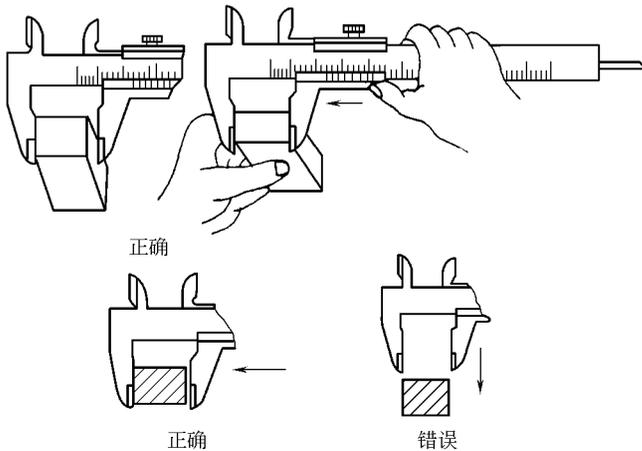


图 6-7 卡尺测量工件时的基本方法

当测量的工件尺寸较大时，首先应使外尺寸测量爪张开，略大于工件长度，拧紧锁紧螺钉；其次大拇指转动微动螺母，使测量爪渐渐靠近工件表面直到完全贴合；最后拧紧固定螺钉，读出测量数值。

(2) 千分尺及测量 千分尺分为外径、内径、深度及专用等类型，它是利用螺旋副运动原理制成的计量器具，主要用于测量线性尺寸。外径千分尺的基本结构与组成如图 6-8 所示。

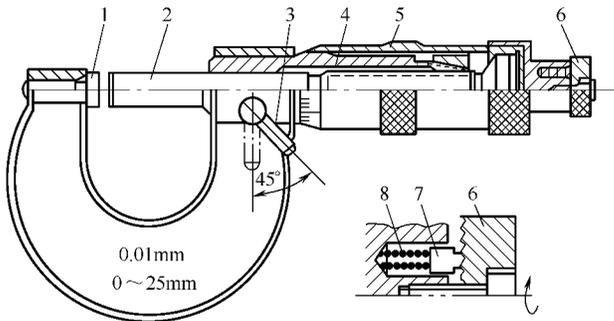


图 6-8 外径千分尺

- 1—测量砧；2—测微螺杆；3—锁紧柄；4—固定套筒；5—微分筒；
6—棘轮；7—棘爪；8—弹簧

① 千分尺的读数。如图 6-9 所示，首先读出固定套筒上刻线露在外面的刻线数值，中线之上为整毫米数值，中线之下为半毫米数值；图 (a) 显示为 8mm；图 (b) 显示为 8.5mm；然后读出微分筒上从零线开始与固定套筒上基准线对得最齐的线的数值；图 (a) 显示为 27；图 (b) 显示为 27，用该数值乘上千分尺的精度（本尺的精度为 0.01mm），即为读数不足 0.5mm 小数部分；最后将整数与小数相加即为实际测量的尺寸；图 (a) 为 $(8+27 \times 0.01)$ mm，图 (b) 为 $(8.5+27 \times 0.01)$ mm。

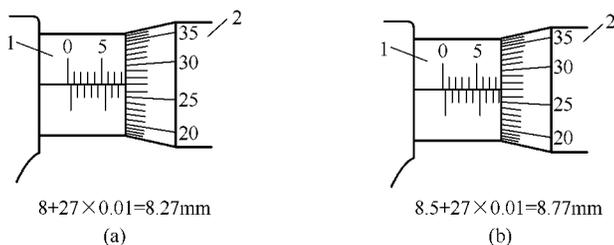


图 6-9 千分尺读数示例

1—固定套筒；2—微分筒

② 千分尺的使用规范。测量前，要将工件表面擦拭干净，同时擦拭千分尺的砧座端面和测微螺杆端面；测量时先转动微分筒，使测微螺杆端面逐渐接近工件被测表面，再转动棘轮，直到棘轮打滑并发出“嗒嗒”声，表明两测量端面与工件刚好贴合或相切并满足测量力的要求，然后读出测量尺寸值。退出时应反转微分筒，使测微螺杆端面离开工件被测表面后将千分尺退出，如图 6-10 所示。

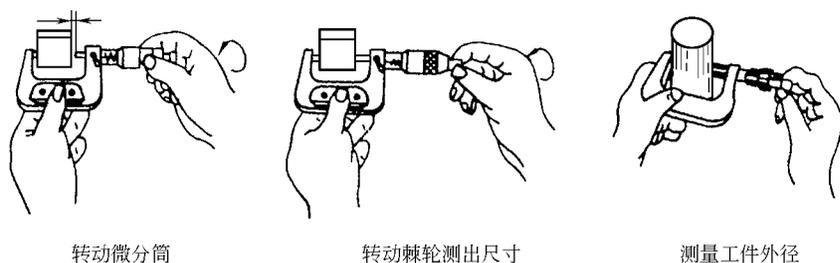


图 6-10 千分尺的测量规范

6.2.3 形位误差的测量

形位误差包括 14 项，加之零件结构形式又各式各样，因此其检测方法很多。国家标准对形状误差的检测规定了基本原则，实际测量时应根据这些基本原则选

择最合理的方法。

(1) 形位误差的测量工具 形位误差测量时所用的工具包括：刀口形直尺——主要用于光隙法或涂色法检验精密平面的直线度和平面度；塞尺（塞规）——用于检验两个结合面之间缝隙大小的片状定值量具，常见的塞尺为 13 片，各种不同片数的塞尺的规格可查阅相关手册；平板——一般用于鉴定或用作精密测试中的基准定位面；指示表（百分表与千分表）——用于测量线性尺寸、形位误差及齿轮误差等，其结构如图 6-11 所示；三坐标测量仪——可完成精密的检测，并能为不同形状的工件提供完美的检测方案，广泛用于质量控制、设计、工艺等部门。

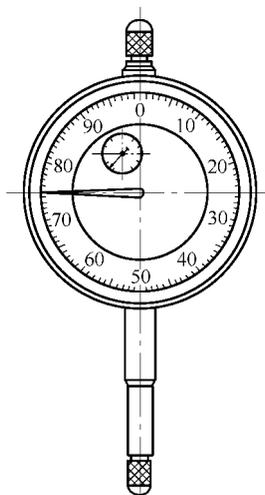


图 6-11 钟表形百分表

(2) 测量直线度 直线度误差测量包括检测给定方向上的直线度误差；检测任意方向上的直线度误差；检测给定平面内的直线度误差。这里重点介绍检测给定方向上的直线度误差的方法和步骤。

测量工具包括：刀口形直尺或样板直尺、塞尺。

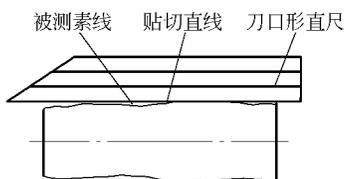


图 6-12 用刀口形直尺测量直线度误差

测量步骤（参考图 6-12）如下。

第一步，将刀口形直尺与被测素线直接接触，并使两者之间的最大间隙为最小，此时的最大间隙即为该条被测素线的直线度误差。

误差的大小应根据光隙测定，当光隙较小时，可按标准光隙估读；当光隙较大时，则用塞尺测量。

第二步，按上述方法测量若干条素线，取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差。如果测得的最大误差值小于或等于图纸所要求的数值，则该零件的该项误差符合要求；若大于图纸所要求的数值，则该零件在给定方向上的直线度超差。

(3) 测量平面度 平面度误差的测量工具包括：平板、指示表、指示表支架。

测量步骤（参考图 6-13）如下。

第一步，将被测零件支承在平板上。

第二步，用指示表调整被测表面对角线上的 a 与 b 两点使之等高，再调整另一对角线上 c 与 d 两点也使其等高，其目的是以包

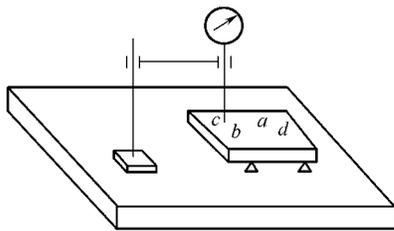


图 6-13 平面度测量示意图

含被测表面上—根对角线，且与另一对角线相平行的平面为理想平面。

第三步，推动表座，使指示表在被测表面上移动，指示表的最大与最小读数之差即为平面度误差。

如果指示表的最大与最小读数之差小于或等于规定值，则该工件的平面度误差符合要求；如果其值大于规定值，则该零件的平面度超差。

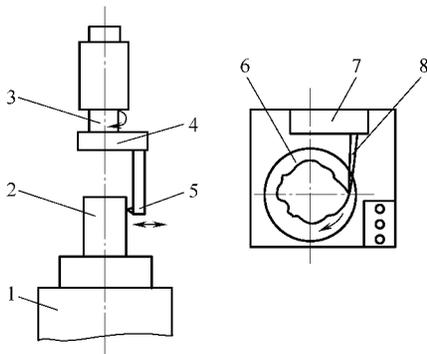


图 6-14 圆度仪测量圆度误差

- 1—工作台；2—被测零件；3—回转主轴；
- 4—传感器；5—测头；6—转盘；
- 7—放大器；8—记录笔

(4) 测量圆度 圆度误差测量工具为圆度仪。

测量步骤（参考图 6-14）如下。

第一步，将被测零件放置在圆度仪上。

第二步，调整被测零件的轴线，使之与圆度仪的回转轴同轴。

第三步，记录被测零件在回转一周过程中测量截面上各点的半径差，计算该截面的圆度误差。

第四步，测头间断移动，测量若干截面，取各截面圆度误差中最大误差值作为该零件的圆度误差。

如果计算得出的最大值小于或等于工件技术要求规定的数值，则该零件的圆度合格，否则超差。

(5) 测量圆柱度 圆柱度的测量工具包括：平板、V形架、带指示表的支架。

测量步骤（参考图 6-15）如下。

第一步，将长度大于零件长度的 V 形架放在平板上，被测零件放在 V 形架内，为测量准确，通常使用夹角 $\alpha = 90^\circ$ 和 $\alpha = 120^\circ$ 的两个 V 形架分别测量。

第二步，在被测零件回转一周过程中，得出一个截面上最大与最小读数。

第三步，按上述方法，沿被测件从截面方向推动带指示表的支架，连续测量若干个横截面，然后取各截面内所测得的所有读数中最大与最小读数的差值的 1/2，作为该零件的圆柱度误差。

如果测得的圆柱度误差小于或等于技术要求规定的数值则合格，否则为超差。

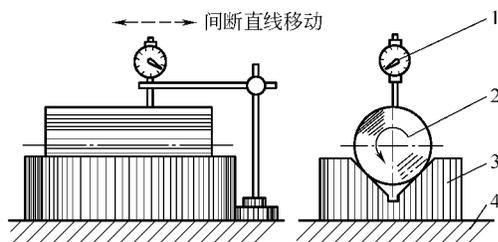


图 6-15 圆柱度误差测量示意图

- 1—指示表；2—被测件；3—V形架；4—平板

(6) 测量平行度 平行度测量（面对面）工具包括平板、指示表支架、指示表。测量步骤（参考图 6-16）如下。

第一步，将被测零件放置在平板上。

第二步，在整个被测表面上多方向地移动指示表支架进行测量。

第三步，取指示表的最大与最小读数之差作为该零件的平行度误差。如果指示表最大与最小读数之差小于或等于技术要求所规定的数值则合格，否则超差。

线对线平行度的测量工具包括：平板、芯轴、等高 V 形架、带指示表的测量架。

测量步骤（参考图 6-17）如下。

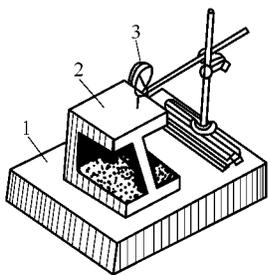


图 6-16 面对面平行度误差测量示意图

1—平板；2—被测件；3—指示表

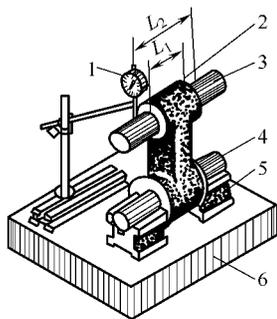


图 6-17 线对线平行度误差测量

1—指示表；2—被测件；3,4—芯轴；5—V形架；6—平板

第一步，将被测零件放在等高 V 形架上，基准轴线和被测轴线由芯轴 4、芯轴 3 模拟。

第二步，在测量距离为 L_2 的两个位置上测量芯轴 3 的上素线，设测得的读数分别为 A_1 和 A_2 。

第三步，该测量位置的平行度误差为 $|A_1 - A_2| L_1 / L_2$ (L_1 为被测轴线长度)。

第四步，在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内按上述方法测量若干个不同的角度位置，取各测量位置所对应的平行度误差中的最大值，作为该零件的平行度误差。

计算出的最大值若小于或等于技术要求所允许的数值则合格，否则平行度超差。

(7) 垂直度的测量 线对线垂直度测量工具

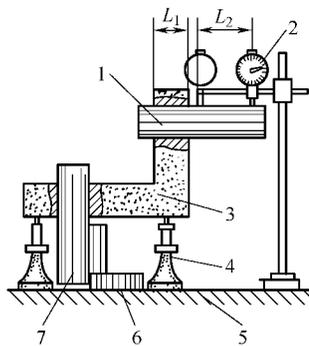


图 6-18 两线之间垂直度测量示意图

1,7—芯轴；2—指示表；3—被测件；4—可调支撑；5—平台；6—精密直角尺

包括：平板、精密直角尺、芯轴、可调支承、带指示表的支架。

测量步骤（参考图 6-18）如下。

第一步，基准轴线和被测轴线由芯轴 1、7 模拟，应选用胀式或与孔成无间隙配合的芯轴。调整基准芯轴 7，使其与平台 5 垂直。

第二步，在测量距离为 L_2 的两个位置上，设测得的读数分别为 A_1 和 A_2 。

第三步，根据式 $|A_1 - A_2| L_1 / L_2$ (L_1 为被测轴线长度)，计算出垂直度误差。

如果计算出的数值小于或等于技术要求规定的数值则合格，否则为超差。

面对面垂直度测量工具包括：平板、精密直角尺、塞尺。

测量步骤（参考图 6-19）如下。

第一步，将被测零件放置在平板上，用平板模拟基准，将精密直角尺的短边置于平板上，长边靠在被测零件侧面上，此时长边即为理想要素。

第二步，用塞尺测量精密直角长边与被测侧面之间的最大间隙，测得值即为该位置的垂直度误差。

第三步，移动精密直角尺，在不同位置重复上述测量，取最大误差值为该被测表面的垂直度误差。

如果测量的最大值小于或等于技术要求所规定的数值则合格，否则垂直度超差。

(8) 同轴度测量 阶梯轴同轴度测量工具包括：平板、V 形架、带指示表的测量架。

测量步骤（参考图 6-20）如下。

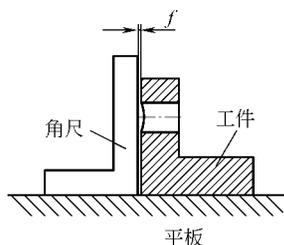


图 6-19 面对面垂直度误差的测量

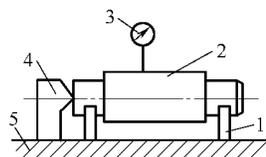


图 6-20 同轴度误差的测量
1—V 形架；2—被测零件；3—指示表；4—轴向定位块；5—平板

第一步，将被测零件基准面两端放在 V 形架上。

第二步，然后使指示表与测量面接触，当被测零件在 V 形架上转动一圈，指示表的变动量即为该零件的同轴度误差。

如果指示表的变动量小于或等于技术要求所规定的数值则合格，否则同轴度

超差。

衬套同轴度误差测量的工具包括：定件架、芯轴、带指示表的支架。

测量步骤（参考如图 6-21）如下。

第一步，将标准芯轴插入被测零件孔内，装在两顶尖之间。

第二步，把指示表与被测零件接触，转动被测零件，指示表的变动量即为该零件的同轴度误差。

如果指示表的变动量小于或等于技术要求所规定的数值则合格，否则为超差。

(9) 圆跳动测量 径向圆跳动误差测量工具包括：一对同轴顶尖、带指示表的支架。

测量步骤（参考图 6-22）如下。

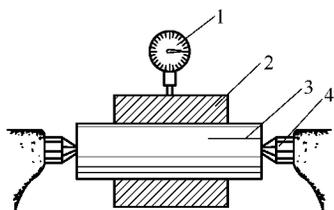


图 6-21 衬套同轴度测量示意图
1—指示表；2—被测件；3—芯轴；4—顶尖

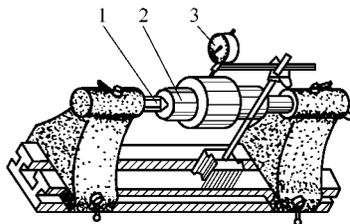


图 6-22 径向圆跳动误差测量示意图
1—顶尖；2—被测零件；3—指示表

第一步，将被测零件装夹在两顶尖之间。

第二步，在被测零件回转一周过程中，指示表读数最大差值即为单个测量平面上的径向圆跳动。

第三步，按上述方法，测量若干个截面，取各截面上测得的跳动量中的最大值，作为该零件的径向圆跳动。

如果测得的最大值小于或等于技术要求所规定的数值则为合格，否则为超差。

端面圆跳动测量工具包括：平板、导向套筒、支承、带指示表的支架。

测量步骤（参考图 6-23）如下。

第一步，将被测零件支承在导向套筒内，并在轴向固定。导向套筒的轴线应与平板垂直，也可用 V 形架来测量。

第二步，测头只在被测零件端面上距基准轴线为某指定位置的一点（未指定时可在距端面边缘 1~2mm

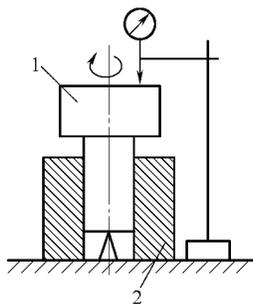


图 6-23 端面圆跳动
误差测量示意图
1—被测零件；2—导向套筒

处) 测量, 而相对被测端面无径向移动。

第三步, 在被测零件回转一周过程中, 指示表读数的最大差值即为该被测零件的端面圆跳动。

如果指示表读数的最大差值小于或等于技术要求所规定的数值则合格, 否则为超差。

值得注意的是, 目前有很多条件好的企业在测量形位公差时都采用先进的测量仪器。如用“合像水平仪”或“自准值仪”测量直线度误差。但传统的测量方法依然占主导地位, 这里对一些先进仪器的测量不再陈述。

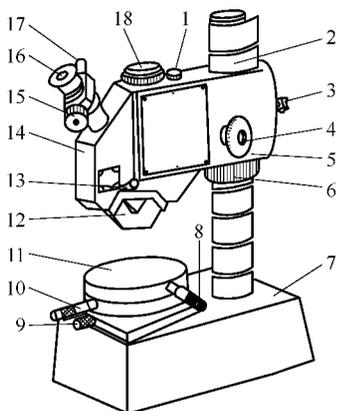


图 6-24 双管显微镜

- 1—光源; 2—立柱; 3—锁紧螺钉; 4—微调手轮; 5—横臂; 6—升降螺母; 7—底座; 8—工作台纵向移动千分尺; 9—工作台固定螺钉; 10—工作台横向移动千分尺; 11—工作台; 12—物镜组; 13—手柄; 14—壳体; 15—目镜测微鼓轮; 16—测微目镜头; 17—紧固螺钉; 18—照相机插座

6.2.4 表面粗糙度的测量

零件表面粗糙度的测量手段较多, 各种测量仪所测的表面粗糙度参数也有所不同。如用双管显微镜可测 R_z 和 R_y ; 用干涉显微镜测量 R_z ; 用电动轮廓仪测量 R_a 。

(1) 双管显微镜测量微观不平度十点高度 R_z 双管显微镜的结构与组成如图 6-24 所示。其测量步骤如下:

① 选择取样长度 L , 选择并安装物镜。

按表面粗糙度标准样块评估的被测表面粗糙度参数值, 来确定取样长度 L 和评定长度 L_n , 两个参数值见表 6-1。按表 6-2 选择适当放大倍数的一对物镜并将它们安装在测量仪上。

表 6-1 R_a 、 R_z 、 R_y 取样长度 L 和评定长度 L_n 选用值

轮廓算术平均偏差 μm	微观不平度十点高度 R_z 、轮廓 最大高度 $R_y/\mu\text{m}$	取样长度 L/mm	评定长度($L_n=5L$) μm
$>40\sim80$	$>160\sim320$	8	40
$>20\sim40$	$>80\sim160$		
$>10\sim20$	$>40\sim80$		
$>5\sim10$	$>20\sim40$	2.5	12.5
$>2.5\sim5$	$>10\sim20$		
$>1.25\sim2.5$	$>6.3\sim10$	0.8	4.0
$>0.63\sim1.25$	$>3.2\sim6.3$		
$>0.32\sim0.63$	$>1.6\sim3.2$		
$>0.16\sim0.32$	$>0.8\sim1.6$		

续表

轮廓算术平均偏差 μm	微观不平度十点高度 R_z 、轮廓 最大高度 $R_y/\mu\text{m}$	取样长度 L/mm	评定长度 ($L_n=5L$) μm
$>0.08\sim 0.16$	$>0.4\sim 0.8$	0.25	1.25
$>0.04\sim 0.08$	$>0.2\sim 0.4$		
$>0.02\sim 0.04$	$>0.1\sim 0.2$		
$>0.01\sim 0.02$	$>0.05\sim 0.1$	0.08	0.4
$>0.008\sim 0.01$	$>0.025\sim 0.05$		

表 6-2 物镜放大倍数 K 与可测 R_z 范围的关系

物镜放大倍数	测量仪的总放大倍数	分度值 $i/\mu\text{m}\cdot\text{格}^{-1}$	目镜视场直径/ mm	可测 R_z 范围/ μm
7	60	1.28	2.5	20~80
14	120	0.16	1.3	6.3~20
30	260	0.29	0.6	1.6~6.3
60	510	0.16	0.3	0.8~1.6

② 接通电源粗调焦距。通过变压器接通电源，点亮光源 1。把被测工件放在工作台 11 上。松开锁紧螺钉 3，旋转升降螺母 6，使横臂 5 沿立柱 2 下降，进行粗调焦距，直至目镜视场中出现绿色光带为止。转动工作台 11，使光带与被测表面的加工痕迹垂直，然后拧紧锁紧螺钉 3 和工作台固定螺钉 9。

③ 微调焦距。从测微目镜头 16 观察光带，旋转微调手轮 4 微调焦距，使目镜视场中央出现最狭窄且有一边缘较清晰的光带。

④ 调整视场。松开紧固螺钉 17，转动测微目镜头 16，使视场中十字线的水平线与光带总的方向平行，然后拧紧紧固螺钉 17，使测微目镜头 16 位置固定。

⑤ 在一个取样长度 L 范围内测量并计算 R_z 。转动目镜测微鼓轮 15，在取样长度 L 范围内使十字线中的水平线分别与 5 个最大的轮廓峰顶和 5 个最大的轮廓谷底相切，如图 6-25 所示。从目镜测微鼓轮 15 上分别读出 5 个最高点至基准线

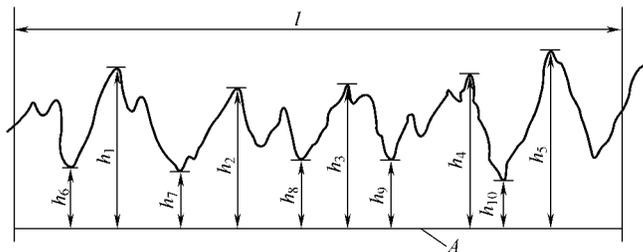


图 6-25 5 个最高点与 5 个最低点至基准线的距离

A 的距离 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 、 h_5 和 5 个最低点至基准线 A 的距离 h_6 、 h_7 、 h_8 、 h_9 、 h_{10} (切勿在取样长度范围内任意或按顺序找出 5 个峰值 5 个谷值, 必须找出 5 个最高峰值和 5 个最低谷值)。将 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 、 h_5 相加, 再将 h_6 、 h_7 、 h_8 、 h_9 、 h_{10} 相加。计算出二者 (两个和值) 的差值后除以 5, 然后再乘以分度值 i (查表 6-2), 即得出 R_z 值。

⑥ 评定长度 L_n 范围内测量并计算 R_z 平均值。由于被测表面各部分的表面粗糙度不一定均匀一致, 为充分反映整个表面的表面粗糙度特性, 取评定长度范围内的几个 R_z 值的平均值作为测量结果。

⑦ 判断合格性。根据测得结果与图样规定数值比较, 小于或等于图纸规定数值则合格, 否则为超差。

(2) 用电动轮廓仪测量表面粗糙度 R_a 。BCJ-2 型电动轮廓仪如图 6-26 所示。分为按读数方式测量和按记录方式测量两种方法。这里仅介绍按读数方式测量的检测方法。

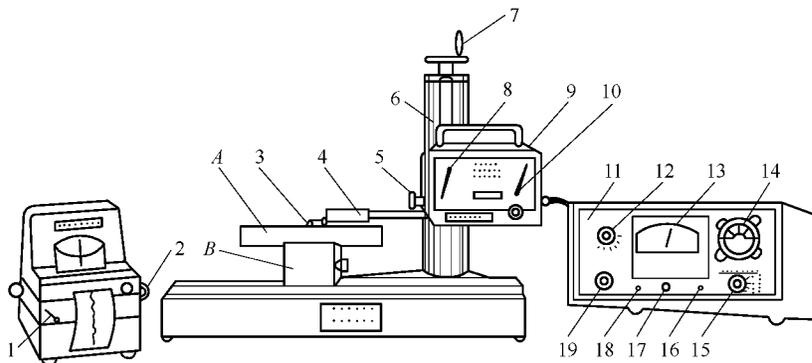


图 6-26 BCJ-2 型电动轮廓仪

- 1—记录器开关; 2—变速手柄; 3—触针; 4—传感器; 5—锁紧螺钉; 6—立柱; 7—手轮; 8—启动手柄; 9—驱动箱; 10—变速手柄; 11—电器箱; 12—垂直放大倍数旋钮; 13—平均表; 14—指零表; 15—行程长度旋钮; 16—电源开关; 17—指示灯; 18—选择开关; 19—调零旋钮; A—工件; B—V 形块

按读数方式测量 R_a 的基本步骤如下。

① 准备工作。将驱动箱 9 可靠地安装在立柱 6 的横臂上, 松开锁紧螺钉 5, 然后将传感器 4 插入驱动箱并锁紧。连接好测量仪的全部插件, 并通过变压器接通电源。把驱动箱上的启动手柄 8 转到左边“返回”位置。打开电源开关 16, 点亮指示灯 17, 把测量仪预热 10min 左右。

② 放置工件。将工件 A 及 V 形块 B 擦拭干净, 工件被测表面的形状为圆柱形时, 将其放在 V 形块的槽内, 若被测表面为平面, 则被测表面朝上放置。注

意被测表面的加工纹理应垂直于触针运动方向。

③ 开始测量。按读数方式测量 R_a 。

a. 将电器箱 11 上的测量方式选择开关 18 拨到“读表”位置，把驱动箱 9 上的变速手柄 10 转到“Ⅱ”位置。

b. 用表面粗糙度标准样块评估被测表面的表面粗糙度参数 R_a 值的范围，按表 6-3 的规定，分别转动电器箱 11 上的垂直放大倍数旋钮 12 和行程长度旋钮 15，选择垂直放大倍数和取样长度。

表 6-3 垂直放大倍数和取样长度选择表

被测表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	用平均表读数时各参数的选择			用记录器记录图形 时放大倍数的选择
	放大倍数	取样长度/mm	有效行程长度/mm	
0.025	100000	0.25	2	20000~100000
0.050	50000			10000~50000
0.100	20000~50000			5000~20000
0.200	10000~20000			2000~10000
0.400	5000~10000	0.80	4	2000~5000
0.800	2000~5000			500~2000
1.600	1000~2000			500~1000
3.200	500~1000	2.50	7	500~1000
6.300	500			

c. 松开锁紧螺钉 5，转动手轮 7 移动驱动箱 9，使传感器 4 上的导头和触针 3 接触被测表面，直至指零表 14 的指针处于该表分度盘上两条红带之间，然后拧紧锁紧螺钉 5。

d. 将启动手柄 8 转到右边“启动”位置，使传感器 4 在被测表面上移动，与此同时平均表 (R_a 值指示表) 13 的指针开始转动，最后停在某一位置上，则此处的示值即为被测表面的 R_a 值。将启动手柄 8 转回到左边，准备下一次测量。

e. 校核垂直放大倍数和取样长度，根据表 6-3，若测得的 R_a 值所对应的放大倍数和取样长度与事先选择的不符，则需要重新选择放大倍数和取样长度进行测量。

f. 按上述方法测出 5 个取样长度上的 R_a 值，取其平均值，得出在评定长度内的 R_a 值。

g. 与图样技术要求规定的数值比较，若测量数值小于或等于规定数值则合格，否则为超差。

参 考 文 献

- 1 朱焕池主编. 机械制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 2 蔡光耀主编. 机床夹具设计. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 吴兆祥, 高枫主编. 模具材料及表面处理. 北京: 高等教育出版社, 2002
- 4 柳燕君, 杨善义主编. 模具制造技术. 北京: 高等教育出版社, 2002
- 5 许发樾主编. 模具标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 6 乔元信主编. 公差配合与技术测量. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006
- 7 闫红主编. 互换性与测量技术实训教程. 重庆: 重庆大学出版社, 2004

化工出版社模具图书推荐

书 号	书 名	作 者	定 价	出版时间
7-5025-9227-X	UG NX3.0 注塑与冲压级进模具设计案例精解(附光盘)	杨占尧	65	2006-10-1
7-5025-8633-4	橡胶工业制品模具图册	张秀英	55	2006-10-1
7-5025-8765-9	金属材料成型与模具	葛正浩	32	2006-8-1
7-5025-8673-3	模具设计及 CAD	高 军	48	2006-8-1
7-5025-8774-8	塑料注射模具机构设计动画演示 200 例	郁文娟	29.8	2006-8-1
7-5025-8351-3	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 钣金零件及其成形模具设计(附光盘)	葛正浩	39	2006-4-1
7-5025-8286-X	冲压工艺与模具设计	马朝兴	17	2006-4-1
7-5025-8276-2	模具识图与制图	付宏生	35	2006-4-1
7-5025-8237-1	挤压模具简明设计手册	郝滨海	33	2006-3-1
7-5025-8259-2	陶瓷制品造型设计与成型模具	杨裕国	40	2006-3-1
7-5025-6871-9	冲压模具设计结构图册	*	58	2005-7-1
7-5025-6999-5	材料成形新技术及模具	邓明	25	2005-6-1
7-5025-7045-4	模具制造技术	*	25	2005-6-1
7-5025-7052-7	现代模具设计	*	32	2005-6-1
7-5025-6842-5	塑料模具钢应用手册	陈再枝	28	2005-5-1
7-5025-6683-X	冷冲压成形工艺与模具设计制造	付宏生	42	2005-3-1
7-5025-6233-8	冲压模具简明设计手册	郝滨海	66	2005-1-1
7-5025-6208-7	模具工程, 第二版	[加]H·瑞斯	78	2005-1-1
7-5025-5870-5	模具设计与制造实训教程	李学锋	29	2005-1-1
7-5025-6003-3	塑料加工和模具专业英语	*	39	2005-1-1
7-5025-5811-X	电火花加工技术在模具制造中的应用	马名峻	35	2004-9-1
7-5025-5727-X	挤压工艺及模具	翟德梅	28	2004-8-1
7-5025-5400-9	冲压模具与制造	*	55	2004-5-1
7-5025-5383-5	模具工	马朝兴	20	2004-5-1
7-5025-5316-9	Pro/ENGINEER Wildfire 塑料模具设计入门与实践	葛正浩	50	2004-4-1
7-5025-5286-3	模具数控加工技术及应用	*	40	2004-1-1
7-5025-4972-2	塑料注射模具设计技巧与实例	王文广	56	2004-1-1
7-5025-4480-1	玻璃制品及模具设计	杨裕国	50	2003-8-1
7-5025-4284-1	塑料成型加工与模具	*	29	2003-3-1
7-5025-4193-4	模具制造手册	*	40	2003-2-1

联系方式:

化学工业出版社 机械-电气分社

地址: 北京市东城区青年湖南街 13 号 (100011)

购书电话: 010-64518888, 64518899

咨询电话: 010-64519270, 64519283